



ANDREW FRANKNOI
DAVID MORRISON
SIDNEY WOLFF

DU HÀNH **TỚI CÁC VÌ SAO** **& THIÊN HÀ**



NHÀ XUẤT BẢN TRẺ
TỪ ĐIỂN BÁCH KHOA

Du hành

TỚI CÁC VÌ SAO
& THIÊN HÀ

Andrew Fraknoi ♦
David Morrison ♦
Sidney Wolff ♦

Du hành
TỚI CÁC VÌ SAO
& THIÊN HÀ

Người dịch: Nguyễn Quốc Dũng



NHÀ XUẤT BẢN TỪ ĐIỂN BÁCH KHOA

MỤC LỤC



Về các tác giả	7
Lời nói đầu cho các độc giả sinh viên	9
Một chuyến du lịch ngắn qua vũ trụ	11
CHƯƠNG 1: Quan sát bầu trời: Sự ra đời của thiên văn học.....	27
CHƯƠNG 2: Quỹ đạo và lực hấp dẫn.....	59
CHƯƠNG 3: Trái Đất, Mặt Trăng và bầu trời	83
CHƯƠNG 4: Bức xạ và quang phổ.....	113
CHƯƠNG 5: Các thiết bị thiên văn.....	147
CHƯƠNG 6: Mặt Trời: Một ngôi sao bình thường	176
CHƯƠNG 7: Mặt Trời: Nhà máy điện hạt nhân.....	204
CHƯƠNG 8: Phân tích ánh sáng sao	229
CHƯƠNG 9: Các ngôi sao: Cuộc điều tra dân số bầu trời.....	247
CHƯƠNG 10: Các khoảng cách vũ trụ.....	276
CHƯƠNG 11: Giữa các ngôi sao: Khí và bụi trong không gian.....	297
CHƯƠNG 12: Sự ra đời của các ngôi sao và sự khám phá các hành tinh bên ngoài hệ mặt trời	323
CHƯƠNG 13: Các ngôi sao: Từ trưởng thành tới tuổi già	352
CHƯƠNG 14: Cái chết của các ngôi sao	378
CHƯƠNG 15: Lỗ đen và không – thời gian cong	407
CHƯƠNG 16: Bí mật của các vụ bùng nổ tia gamma	433
CHƯƠNG 17: Dải Ngân Hà.....	443

CHƯƠNG 18: Các thiên hà	471
CHƯƠNG 19: Quasar và các thiên hà hoạt động.....	496
CHƯƠNG 20: Vẽ bản đồ vũ trụ	522
CHƯƠNG 21: Vụ Nổ Lớn	556
PHẦN KẾT: Sự tiến hóa của vũ trụ và cuộc tìm kiếm sự sống ở nơi khác	598
<i>Phụ lục 1:</i> Từ vựng Anh ngữ	618
<i>Phụ lục 2:</i> Ký hiệu lũy thừa của 10	646
<i>Phụ lục 3:</i> Viết các số nhỏ.....	647
<i>Phụ lục 4:</i> Phép nhân và phép chia.....	648
<i>Phụ lục 5:</i> Các đơn vị dùng trong khoa học	649
<i>Phụ lục 6:</i> Một số hằng số thiên văn	651
<i>Phụ lục 7:</i> Các hiện tượng thiên thực (toàn phần) gần đây	652
<i>Phụ lục 8:</i> Các ngôi sao gần nhất.....	653
<i>Phụ lục 9:</i> Các ngôi sao sáng nhất.....	654
<i>Phụ lục 10:</i> Các thành viên sáng nhất của Nhóm Cục Bộ.....	655
<i>Phụ lục 11:</i> Các nguyên tố hoá học	657
<i>Phụ lục 12:</i> Các chòm sao	660
<i>Phụ lục 13:</i> Bảng mục lục của Messier về các tinh vân và quần tinh	663

VỀ CÁC TÁC GIẢ



Andrew Fraknoi là Chủ nhiệm Khoa Thiên văn học (Chair of the Astron-omy Department) tại đại học Foothill College gần San Francisco và Cố vấn giáo dục của Hội Thiên văn học Thái Bình Dương (Educational Consultant for the Astronomical Society of the Pacific) nơi ông lãnh đạo Dự án Astro, một chương trình quốc gia đưa thiên văn học vào các lớp tiểu học và trung học phổ thông. Từ năm 1978 đến 1992, ông là Giám đốc điều hành của Hội Thiên văn, đồng thời là chủ bút của tạp chí Thủy Tinh (Mercury Magazine) và tập san Vũ Trụ Trong Lớp Học (Universe in the Class-room Newsletter). Ông đã dạy thiên văn học và vật lý học tại Đại học bang San Francisco, Đại học Canada, và Đại học mở California. Ông đã nhận được Giải thưởng Sáng lập "Annenberg Foundation Prize" của Hội Thiên văn học Hoa Kỳ và Giải thưởng "Klumpke-Roberts Prize" của Hội Thiên văn học Thái Bình Dương do những cống hiến cho sự hiểu biết về thiên văn học của công chúng. Tiểu hành tinh 4895 được đặt tên là Fraknoi vào 1992 để công nhận sự nghiệp của ông.

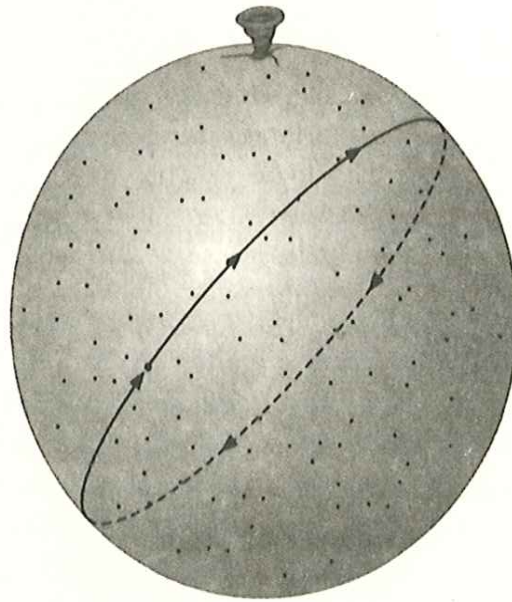
David Morrison là Giám đốc chương trình Nghiên cứu về Sinh học

vũ trụ và không gian (Astrobiology and Space Research) tại Trung tâm Nghiên cứu Ames của NASA (Cơ quan hàng không và không gian Hoa Kỳ), quản lý các chương trình nghiên cứu cơ bản và ứng dụng trong không gian. Trước khi gia nhập NASA, ông là giáo sư Thiên văn học tại trường Đại học Hawaii, nơi đây ông phụ trách thiết bị viễn vọng kính hồng ngoại (Infrared Telescope Facility) của Đài Thiên văn Mauna Kea và là Phó hiệu trưởng về nghiên cứu của đại học này. Ông điều khiển chương trình nghiên cứu chính thức của NASA về những nguy cơ va chạm, đề nghị một chương trình Thăm dò bảo vệ không gian (Spaceguard Survey) để nghiên cứu các tiểu hành tinh và sao chổi có khả năng đe dọa Trái đất, và vào năm 1995 nhận Huy chương Lãnh đạo xuất sắc (Outstanding Leadership Medal) của NASA cho công việc này. Ông đã nhận được Giải thưởng "Klumpke-Roberts Prize" của Hội Thiên văn học Thái Bình Dương. Tiểu hành tinh 2410 được mang tên Morrison để tôn vinh ông.

Sidney C. Wolff làm việc tại Viện Thiên văn học ở Đại học Hawaii. Viện Thiên văn học đã phát triển Mauna Kea thành đài thiên văn quốc tế đầu tiên trên

thế giới. Năm 1984, bà được cử làm Giám đốc Đài Thiên văn Quốc gia Kitt Peak, và năm 1987 trở thành Giám đốc các Đài Thiên văn Quang học Quốc gia. Bà là người phụ nữ đầu tiên lãnh đạo một đài thiên văn chính ở Hoa Kỳ. Trong những giai đoạn đầu, bà là Giám Đốc Chương

trình Gemini (Gemini Project), là một chương trình quốc tế xây dựng hai viễn vọng kính hiện đại, đường kính 8m. Bà còn là Chủ tịch Hội Thiên văn học Thái Bình Dương, và là người phụ nữ thứ hai được bầu làm Chủ tịch Hội Thiên văn học Hoa Kỳ.



LỜI NÓI ĐẦU CHO CÁC ĐỘC GIẢ SINH VIÊN



Chúng tôi bắt đầu cuốn sách này với lời tựa đặc biệt dành cho độc giả sinh viên. Nó không nói về vấn đề đối tượng của thiên văn học, được giới thiệu trong Phần Mở Đầu. Đúng hơn, chúng tôi muốn cung cấp cho bạn một số gợi ý đối với việc nghiên cứu thiên văn học.

Thiên văn học, môn học nghiên cứu về vũ trụ bên ngoài hành tinh chúng ta, là một trong những ngành khoa học hấp dẫn nhất và biến chuyển nhanh nhất. Ngay cả các nhà khoa học thuộc nhiều lĩnh vực khác cũng có sự quan tâm lâu dài về thiên văn học, dù hiện nay họ nghiên cứu ở một lĩnh vực khác. Không có nhiều nhà thiên văn học chuyên nghiệp trên toàn cầu. Tuy nhiên, thiên văn học có rất nhiều nhà say mê nghiệp dư bỏ ra nhiều đêm với kính viễn vọng để quan sát bầu trời đầy sao, và họ thỉnh thoảng cũng thực hiện được một khám phá, chẳng hạn như một sao chổi mới hay một cơn bão trên Sao Thổ.

Nhiều người khác say mê đọc về các thế giới và những quá trình kỳ lạ mà các nhà thiên học đang khám phá. Biết về sự kiện thiên văn trên báo chí có thể làm nảy sinh trong bạn sự quan tâm thích thú tham dự một khóa thiên văn học.

Nhưng một số điều làm cho thiên văn học trở nên thú vị cũng làm cho nó trở thành một thử thách đối với các sinh viên. Vũ trụ rộng lớn mênh mông, tràn ngập những vật thể và các quá trình thường là không có những đối tác quen thuộc trên Trái Đất này. Giống như một khách tham quan tới một xứ sở mới lạ, bạn sẽ mất một khoảng thời gian để quen thuộc với phong thổ hay các tập tục địa phương. Thiên văn học, cũng như những khoa học khác, có từ vựng riêng biệt của nó, một số từ vựng mà bạn sẽ phải học nếu bạn muốn có một chuyến du hành tốt đẹp.

Để giúp các sinh viên tham dự khóa học đầu tiên về thiên văn học, chúng tôi đã xây dựng một số đặc trưng trong cuốn sách này, và bạn hãy vận dụng chúng:

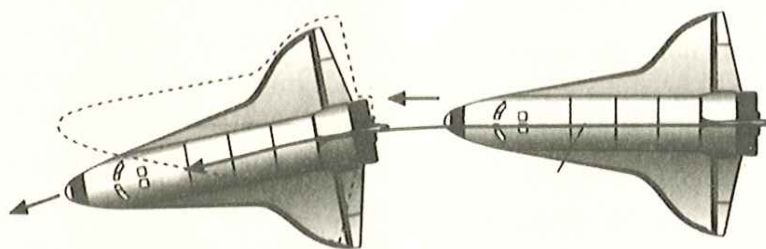
1. Tất cả các từ kỹ thuật được in theo kiểu chữ đậm và được liệt kê theo thứ tự ABC trong Phụ Lục 3 (Mục từ vựng), để bạn có thể tham khảo.
2. Cuốn sách bắt đầu bằng một bảng tổng kết lịch sử về thiên văn học và kể đến thăm dò vũ trụ, bắt đầu với Mặt Trời và kết thúc với những đặc tính của toàn thể vũ trụ.

3. Chúng tôi dùng những biểu đồ để cung cấp các dữ liệu số học. Thí dụ, một số biểu đồ tổng kết những đặc tính quan trọng của những loại sao và thiên hà khác nhau. Các phụ lục ở cuối sách sẽ cung cấp các thông tin mới nhất về nhiều phương diện của thiên văn học.
4. Những thuyết minh hình ảnh diễn tả rõ ràng các hiện tượng nào hay các vật thể nào mà bạn đang xem.
5. Mỗi chương kết thúc với một bảng tóm lược về các điểm chính yếu giúp bạn “xử lý” những gì bạn đã học.

6. Nếu thiên văn học là mới mẻ đối với bạn, nhiều ý tưởng và thuật ngữ trong sách này có thể không quen thuộc. Thiên văn học giống như bất kỳ một ngôn ngữ mới nào; có thể phải mất một thời gian để trở nên lưu loát. Phải thực hành nhiều đến mức bạn có thể, nhưng cũng nên hiểu rằng cũng là điều tự nhiên nếu như ta có bị choáng ngợp bởi sự bao la của vũ trụ và những gì đang diễn ra trong nó.

Chúng tôi mong rằng bạn cũng sẽ thích thú đọc cuốn sách này như chúng tôi đã thích thú khi viết ra nó.

Các tác giả



MỘT CHUYẾN DU LỊCH NGẮN QUA VŨ TRỤ



Chúng tôi mời bạn đi cùng chúng tôi vào một cuộc du hành. Ở ngoài không gian, chúng ta sẽ tìm thấy những thế giới bao la, rộn ngợp, lộng lẫy và đầy ấp những vật thể lạ lùng. Tuy nhiên, chúng ta sẽ thấy rằng sự phát triển của vũ trụ có liên quan trực tiếp đến sự hiện diện của chúng ta trên hành tinh Trái Đất.

Vô số khám phá kỳ lạ làm cho thiên văn học trở thành một lãnh vực hết sức hấp dẫn.

Nhưng đến nay, thiên văn học vẫn phải được thực hiện các khảo sát hầu như hoàn toàn từ Trái đất. Chúng ta thu thập những thông tin về vũ trụ từ những tín hiệu mà vũ trụ gửi về phía chúng ta. Và bởi vì các sao là những khối kiến trúc cơ bản của vũ trụ, cho nên việc giải mã được các tín hiệu của ánh sáng sao là thử thách trọng yếu của thiên văn học hiện đại.

❖ BẢN CHẤT CỦA THIÊN VĂN HỌC

Thiên văn học được định nghĩa như là khoa học nghiên cứu về các vật thể nằm bên ngoài bầu khí quyển của hành tinh Trái Đất, và về những quá trình qua đó những vật thể này tương tác với

nhau. Tuy nhiên, nó còn nhiều hơn thế nữa. Nó cũng là cố gắng của con người để tổ chức xếp đặt những gì chúng ta hiểu biết thành một lịch sử rõ ràng về vũ trụ,



Một xác sao: Một phần dấu vết còn lại của một sao bị nổ trong Chòm Vela ở phía nam Dải Ngân Hà. Những sao nổ như thế này là thiết yếu cho sự phát triển sự sống trong vũ trụ. Vạch chéo là đường đi của một vệ tinh nhân tạo tình cờ đi qua hiện trường trong khi tấm hình này đang được thực hiện.

từ lúc khai sinh trong Vụ Nổ Lớn (Big Bang) cho tới thời điểm hiện tại.

Hình thành lịch sử này là một nhiệm vụ táo bạo – đặc biệt đối với một sinh vật (con người) với vóc dáng khiêm tốn nhỏ bé, sinh sống trên một quả cầu đá quay xung quanh một ngôi sao khó mô tả trong vùng ngoại vi của Dải Ngân Hà (Milky Way) – và chắc chắn chúng ta còn lâu mới hoàn thành công việc.

Trong việc xem xét lịch sử vũ trụ, chúng ta sẽ thấy đi thấy lại rằng vũ trụ tiến hóa – nó thay đổi theo những phương cách bí ẩn qua những thời kỳ lâu dài. Mặc dù quan niệm về sự tiến hoá vẫn đang gây tranh cãi trong giới khoa học, hiếm có ý tưởng nào được xây dựng tốt hơn là khái niệm cho rằng vũ trụ ngày nay không giống hệt ngày xưa. Ngày nay, sau nhiều tỉ năm, vũ trụ đã tiến triển thành một nơi hiếu khách hơn đối với sự sống. Theo dõi các quá trình tiến hóa tiếp tục hình thành vũ trụ là một trong những lĩnh vực quan trọng nhất (và hào hứng nhất) của thiên văn học hiện đại.

♦ BẢN CHẤT CỦA KHOA HỌC

Sự phán xét tối hậu trong khoa học lúc nào cũng là sự thử nghiệm hay quan sát: tự nhiên tự bản thân nó tiết lộ điều gì. Khoa học không phải chỉ là một tập hợp kiến thức, mà còn là một phương pháp qua đó chúng ta cố gắng tìm hiểu về tự nhiên và về việc nó vận hành ra sao. Phương pháp này bắt đầu bằng nhiều cuộc quan sát lâu dài. Từ những cuộc quan sát, các nhà khoa học có thể nêu ra được một *mô hình* hay *kiểu mẫu* của các hiện tượng riêng biệt. Những mô hình như vậy lúc nào cũng là những sự gần đúng với tự nhiên và cần được kiểm nghiệm thêm.

Lấy một thí dụ thiên văn cụ thể, các nhà thiên văn thời cổ đại xây dựng một mô hình: Trái Đất là trung tâm của vũ trụ, và mọi vật chuyển động chung quanh nó. Ban đầu, các quan sát về Mặt Trời, Mặt Trăng và các hành tinh có thể phù hợp với mô hình này, nhưng cuối cùng những quan sát kỹ hơn đòi hỏi mô hình ấy phải có thêm các quỹ đạo vào chuyển động của các hành tinh để giữ Trái Đất ở vị trí trung tâm. Nhiều thế kỷ trôi qua, những thiết bị dụng cụ được phát triển để theo dõi các thiên thể chính xác hơn, mô hình cũ (ngay cả với một số lượng lớn các quỹ đạo) không còn giải thích được hết các sự kiện quan sát. Một mô hình mới, với Mặt Trời ở vị trí trung tâm, phù hợp hơn với chứng cứ thực nghiệm. Sau một thời kỳ tranh luận, nó được chấp nhận như là vũ trụ quan của chúng ta.

Khi mới được đề xuất, những mô hình mới hay những ý tưởng đôi khi gọi là những *giả thuyết* (hypotheses). Ngày nay nhiều người nghĩ rằng không thể có những giả thuyết mới trong một ngành khoa học chẳng hạn như thiên văn học, rằng mọi điều quan trọng đã được am hiểu. Suốt trong cuốn sách này bạn sẽ tìm thấy những cuộc bàn luận về những giả thuyết gần đây nhất, và thỉnh thoảng vẫn còn gây tranh cãi, trong thiên văn học – liên quan tới sự sống trên hành tinh chúng ta của những tảng đá khổng lồ đã va chạm vào Trái đất; sự tồn tại của “vật chất đen” vô hình, có thể hình thành phần lớn của vũ trụ; và sự có mặt của “lỗ đen” kỳ lạ ngay trung tâm Ngân Hà. Tất cả những giả thuyết như thế dựa trên những quan sát khó khăn được thực hiện với kỹ thuật tiên tiến, và tất cả đòi hỏi thử nghiệm nhiều hơn nữa trước khi chúng ta kết hợp chúng vào các mô hình thiên văn tiêu chuẩn.

Vấn đề sau cùng này là vô cùng quan trọng: nếu không có một phương pháp khả dĩ nào để kiểm chứng một giả thuyết, thì giả thuyết ấy không thuộc vào lãnh vực khoa học. Trong một số trường hợp, các lý thuyết (đặc biệt là những lý thuyết về những cấu trúc cực kỳ to lớn trong vũ trụ hay những cấu trúc cực kỳ nhỏ bé bên trong nguyên tử) không thể thích ứng với sự kiểm chứng bằng những thiết bị dụng cụ hiện thời. Có thể rất nhiều năm sẽ trôi qua trước khi những cuộc thử nghiệm hay những sự quan sát thích hợp có thể được thực hiện, nhưng cuối cùng, tất cả các ý tưởng về khoa học phải có thể kiểm chứng. Hơn nữa, chúng phải chịu đựng được việc kiểm chứng đi kiểm chứng lại nhiều lần bằng nhiều phương pháp. Nếu các cuộc thử nghiệm hay quan sát không chứng minh được một mô hình hay một giả thuyết, thì những người đề xuất ra nó phải sẵn sàng thay đổi nó hoặc bỏ nó đi, cho dù họ đã từng say mê nó đến thế nào đi nữa.

Đây là một trong những lý do khiến khoa học đã tạo nên những tiến bộ mạnh mẽ và vĩ đại. Trong khóa thiên văn học nhập môn này, bạn sẽ học về những vật thể và những tiến trình mà cách đây một vài thế hệ chẳng ai thậm chí dám nghĩ rằng chúng đã tồn tại.

✧ QUY LUẬT CỦA TỰ NHIÊN

Qua bao thế kỷ, các nhà khoa học đã rút ra một số nguyên lý cơ bản, gọi là các *định luật khoa học*, từ vô số cuộc quan sát. Về một ý nghĩa nào đó, đây là những qui luật của trò chơi mà tự nhiên bày ra. Một khám phá nổi bật về tự nhiên làm nền tảng cho mọi điều là những quy luật giống nhau áp dụng cho mọi nơi trong vũ trụ.

Nếu không có sự tồn tại của những quy luật vũ trụ như vậy, chúng ta không thể thực hiện được nhiều sự tiến bộ trong thiên văn học.

Điều này không phải nói rằng các mô hình hay quy tắc của chúng ta không thể thay đổi. Những cuộc thử nghiệm và những sự quan sát mới mẻ có thể dẫn tới những mô hình mới hay phức tạp hơn – thậm chí bao gồm những hiện tượng mới và những quy luật mới về sự vận hành của chúng. Thuyết tương đối do Albert Einstein đề xuất là một thí dụ hoàn hảo về một sự biến đổi như thế, một sự biến đổi xảy ra cách đây không lâu. Nó khiến cho chúng ta dự đoán, và gần đây hơn bất gặp, những sự xuất hiện gián tiếp của một loại vật thể mới lạ mà các nhà thiên văn gọi là *những lỗ đen* (black holes). Nhưng sự mong muốn sẽ không đem những mô hình mới mẻ như thế vào hiện thực được; chỉ có quá trình quan sát kiên nhẫn về vũ trụ chính xác hơn mới có thể gạt hái được những phần thưởng như vậy.

Một vấn đề quan trọng về việc mô tả những mô hình khoa học phải thực hiện với những hạn chế của ngôn ngữ. Khi chúng ta cố gắng mô tả những hiện tượng phức tạp bằng những ngôn ngữ hàng ngày, những từ ngữ tự nó không thể thích hợp. Thí dụ, bạn có thể đã nghe về cấu trúc của nguyên tử giống một hệ mặt trời thu nhỏ. Trong khi một số phương diện của mô hình hiện đại về nguyên tử gợi cho chúng ta nghĩ tới những quỹ đạo hành tinh, nhiều phương diện khác nữa về mặt căn bản là khác hẳn.

Đây là lý do tại sao các nhà khoa học thường thích mô tả các học thuyết của họ bằng phương trình toán học hơn là các từ ngữ. Trong cuốn sách này, để giới

thiếu về lãnh vực thiên văn học, chúng ta chủ yếu đã sử dụng từ ngữ để bàn luận những gì mà các nhà khoa học đã biết và tránh né cách diễn đạt toán học ngoại trừ môn đại số cơ bản. Song càng ngày càng nhiều vấn đề thuộc thiên văn học liên quan tới ngôn ngữ của toán học.

♦ CON SỐ TRONG THIÊN VĂN HỌC

Trong thiên văn học, chúng ta phải xử lý những khoảng cách bằng một thang đo mà bạn có thể đã chưa bao giờ nghĩ tới trước đây, và với những con số lớn hơn bất kỳ con số nào bạn có thể đã từng gặp.

Trong văn bản này, chúng ta áp dụng hai phương pháp để đối phó với những con số thiên văn. Thứ nhất, chúng ta sử dụng một hệ thống để viết những con số lớn và nhỏ gọi là ký hiệu lũy thừa của số 10 (hay đôi lúc gọi là *ký hiệu khoa học*). Hệ thống này tránh thật nhiều con số zero (hay số không) có thể dường như quá mức đối với đông đảo độc giả.

Trong ký hiệu khoa học (scientific notation), nếu bạn muốn viết một con số như 490.000, bạn viết là $4,9 \times 10^5$; số nhỏ nằm sau số 10, gọi là số mũ, hãy theo dõi những con số 10 mà bạn phải nhân với nhau để có được con số bạn mong muốn. Trong thí dụ của chúng ta, năm con số 10 được nhân với nhau, để cho $10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10$ thành 100.000. Nhân 100.000 với 4,9 thì bạn có được 490.000. Một cách thức nữa để nhớ những căn bản của cách ký hiệu này là chú ý rằng số 5 là số lượng vị trí mà bạn phải di chuyển dấu thập phân (decimal point) về bên phải để biến đổi 4,9 thành 490.000. Nếu bạn bất chợt gặp phải hệ thống này lần đầu tiên, đề nghị bạn xem ở Phụ Lục 4 để biết thêm thông tin và các thí dụ.

Những con số nhỏ được viết với số mũ âm (số mũ có dấu trừ ở phía trước). Ba phần triệu (0,000003) được diễn tả là $3,0 \times 10^{-6}$. Lý do mà cách ký hiệu này rất phổ biến đối với các nhà khoa học là nó làm cho toán học dễ dàng hơn nhiều. Để nhân hai con số bằng cách ký hiệu khoa học, bạn chỉ cần thêm vào số mũ của chúng: thế là $10^3 \times 10^9 = 10^{12}$. Để chia các con số, chỉ cần trừ bớt các số mũ đi.

Cách thứ hai mà chúng ta cố gắng giữ cho những con số được đơn giản là sử dụng một tập hợp bất biến của các đơn vị – hệ thống mét quốc tế (thuộc hệ thống đo lường quốc tế). Không giống như hệ thống của Anh, trong đó một con số hoàn toàn tùy ý chẳng hạn như 5280 feet (bộ) bằng 1 mile (dặm), các đơn vị mét được liên kết bởi lũy thừa của số 10: thí dụ, 1 kilômét (1 km) bằng 1 ngàn mét (10^3 m). Hệ thống mét, đã được áp dụng ở hầu hết quốc gia trên thế giới, được tóm tắt ở Phụ Lục 5 và sẽ trở thành một phần từ vựng của bạn.

♦ NĂM ÁNH SÁNG

Trong phần kế tiếp, chúng tôi định nghĩa một đơn vị thông dụng mà các nhà thiên văn dùng để mô tả các khoảng cách vũ trụ bên ngoài hệ mặt trời. *Năm Ánh Sáng* (Light year – LY) là khoảng cách mà ánh sáng đi qua trong một năm. Do ánh sáng luôn luôn đi với cùng một vận tốc, và bởi vận tốc của nó là tốc độ khá dĩ nhanh nhất trong vũ trụ, nó trở thành một tiêu chuẩn thích hợp để thể hiện những khoảng cách vũ trụ. Có bao nhiêu cây số (km) trong một năm ánh sáng (hay một quang niên)? Trước tiên, bạn cần biết rằng 1 km (kilômét) là khoảng 0,6 miles (dặm). Ánh sáng đi với tốc độ kinh khủng là 3×10^5 km/giây (km/s). Trong một giây,

ánh sáng có thể đi vòng quanh trái đất bảy lần; máy bay thương mại, sẽ phải mất khoảng hai ngày để đi vòng quanh một lần, chưa tính thời gian đổ xăng.

Nếu chúng ta biết trong một giây ánh sáng đi xa bao nhiêu, chúng ta có thể tính được trong một năm nó sẽ đi xa bao nhiêu. Mỗi phút có 60 (6×10^1) giây, và mỗi giờ có 6×10^1 phút. Do vậy, ánh sáng trải qua 3×10^5 km/s $\times 3,6 \times 10^3$ giây/giờ (s/h) = $1,08 \times 10^9$ km/giờ (km/h).

Trong một ngày có 24 hay $2,4 \times 10^1$ giờ, và trong một năm có $365,24$ ($3,65 \times 10^2$) ngày. Tích số của hai con số này là $8,77 \times 10^3$ giờ/năm (h/year). Nhân con số đó cho $1,08 \times 10^9$ km/h thành ra $9,46 \times 10^{12}$ km trong một năm ánh sáng. Trong một năm, ánh sáng (1 LY) có thể đi vòng quanh chu vi trái đất 236 triệu lần!

Bạn có thể nghĩ rằng một đơn vị dài như thế sẽ dễ dàng đi tới những ngôi sao gần nhất. Tuy nhiên những vì sao nằm ở chốn xa xôi hơn nhiều so với trí tưởng tượng của chúng ta. Ngay cả sao gần nhất cũng cách xa $4,3$ LY – nhiều hơn 40 ngàn tỉ km. Những sao khác có thể nhìn thấy được bằng mắt ở cách xa hàng trăm hoặc thậm chí hàng ngàn năm ánh sáng. Đây là lý do tại sao các nhà thiên văn nghi ngờ việc các vật thể bay không xác định (UFOs) là những phi thuyền ngoài trái đất (*extraterrestrial spacecraft*) có thể dễ dàng tới Trái Đất.

♦ HỆ QUẢ CỦA THỜI GIAN DI CHUYỂN CỦA ÁNH SÁNG

Có một nguyên do khác nữa để các nhà thiên văn chọn tốc độ ánh sáng là đơn vị tự nhiên để đo khoảng cách. Các thông tin về vũ trụ đi tới chúng ta hầu hết là nhờ bức xạ (mà ánh sáng là một thí dụ), và tất cả các bức xạ như vậy đi

với vận tốc của ánh sáng. Điều này tạo ra một giới hạn về việc làm sao chúng ta có thể nhanh chóng hiểu biết về các diễn biến trong vũ trụ. Nếu một ngôi sao cách xa 100 LY, ánh sáng mà đêm nay chúng ta thấy đã rời khỏi ngôi sao ấy cách đây 100 năm và ngay bây giờ đang đi tới hành tinh láng giềng của chúng ta. Thời gian sớm nhất mà chúng ta có thể biết được về bất kỳ sự thay đổi trong ngôi sao ấy – sự bùng nổ của nó chẳng hạn – là 100 năm sau khi sự kiện đó xảy ra. Đối với một ngôi sao cách xa 500 LY, bức xạ mà chúng ta dò được đêm nay đã xuất phát cách đây 500 năm, và đang chuyển tải những thông tin cách đây 500 năm.

Đối với các nhà thiên văn, bây giờ (hay hiện giờ) là thời điểm mà ánh sáng đi tới chúng ta trên Trái đất này. Chẳng còn có cách nào để cho chúng ta biết được bất cứ điều gì về ngôi sao ấy (hay một vật thể khác) cho tới khi bức xạ của nó đi tới chúng ta. Bất luận những ước mơ của các nhà tiểu thuyết khoa học viễn tưởng, sự thông tin liên lạc tức thời qua vũ trụ là không thể nào có được.

Song những gì đầu tiên có thể tỏ ra là một thất bại to lớn, thực tế lại hóa ra là lợi ích vô cùng. Nếu các nhà thiên văn thực sự muốn ráp nối với nhau những gì đã xảy ra trong vũ trụ kể từ khi chúng bắt đầu, họ cần phát hiện ra chứng cứ về mỗi giai đoạn của quá khứ. Ngày nay, chúng ta có thể tìm thấy chứng cứ về các diễn biến của vũ trụ diễn ra cách đây hàng tỉ năm ở đâu?

Sự chậm trễ về thông tin trong vũ trụ cung cấp những dữ kiện một cách tự động. Chúng ta tìm kiếm càng xa hơn ngoài không gian, thì ánh sáng đi tới đây với thời gian càng dài hơn, và nó rời khỏi vị trí ban đầu cách đây càng lâu hơn. Bằng

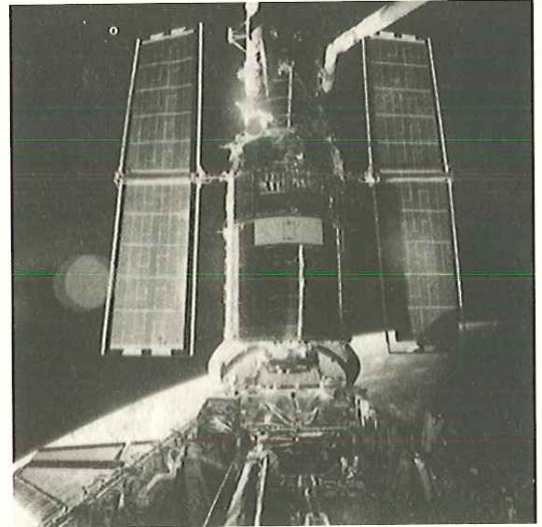
cách tìm kiếm trong không gian, các nhà thiên văn thực tế đang nhìn thấy hàng tỉ năm trong quá khứ, có thể tái hiện lại lịch sử vũ trụ và có một nhận thức về việc nó đã tiến hóa ra sao qua thời gian.

Đây là lý do mà các nhà thiên văn gắng sức để có thể thu thập ngày càng nhiều ánh sáng mờ nhạt (và các tia bức xạ khác) mà vũ trụ truyền đến chúng ta. Chúng ta càng thu thập nhiều ánh sáng hơn, thì chúng ta có thể nhận ra những vật thể mờ nhạt hơn. Nói chung, các vật thể mờ hơn thì ở cách xa hơn, và do đó có thể nói cho chúng ta biết về những giai đoạn thậm chí xa xưa hơn trong quá khứ. Những thiết bị, dụng cụ mới chẳng hạn như viễn vọng kính không gian Hubble và viễn vọng kính Keck của đảo Hawaii (xem Chương 5), đang mang đến cho các nhà thiên văn những khung cảnh của không gian sâu thẳm và thời gian sâu thẳm tốt hơn bất cứ kính viễn vọng nào từng có trước đây.

✧ CUỘC DU LỊCH VŨ TRỤ

Chúng ta bắt đầu cuộc du hành tại nhà, với Trái Đất, một hành tinh gần như hình cầu, đường kính khoảng chừng 13.000 km. Một người du hành không gian đi vào hệ hành tinh của chúng ta sẽ dễ dàng nhận ra Trái Đất do bởi lượng nước lỏng khổng lồ bao phủ khoảng hai phần ba bề mặt của nó. Nếu người du hành ấy có những thiết bị để tiếp nhận các tín hiệu vô tuyến hay các tín hiệu truyền hình, hoặc đi đến đủ gần để nhìn thấy những ánh đèn của các thành phố của chúng ta vào ban đêm, sẽ ngay lập tức nhận ra những dấu hiệu rằng hành tinh nước này có những sinh vật thông minh.

Thiên thể láng giềng gần nhất của chúng ta là vệ tinh của Trái Đất, thường



Viễn vọng kính trên quỹ đạo: Viễn vọng kính không gian Hubble, được mô tả ở đây đang được sửa chữa trên tàu con thoi Endeavour vào tháng 12 năm 1993, là một ví dụ về thế hệ mới của các thiết bị thiên văn trong không gian.

gọi là Mặt Trăng. Hình trang bên mô tả Trái Đất và Mặt Trăng được vẽ theo tỉ lệ trên cùng một sơ đồ. Hãy chú ý rằng chúng ta phải tạo ra những thiên thể này nhỏ đến mức nào để làm cho chúng



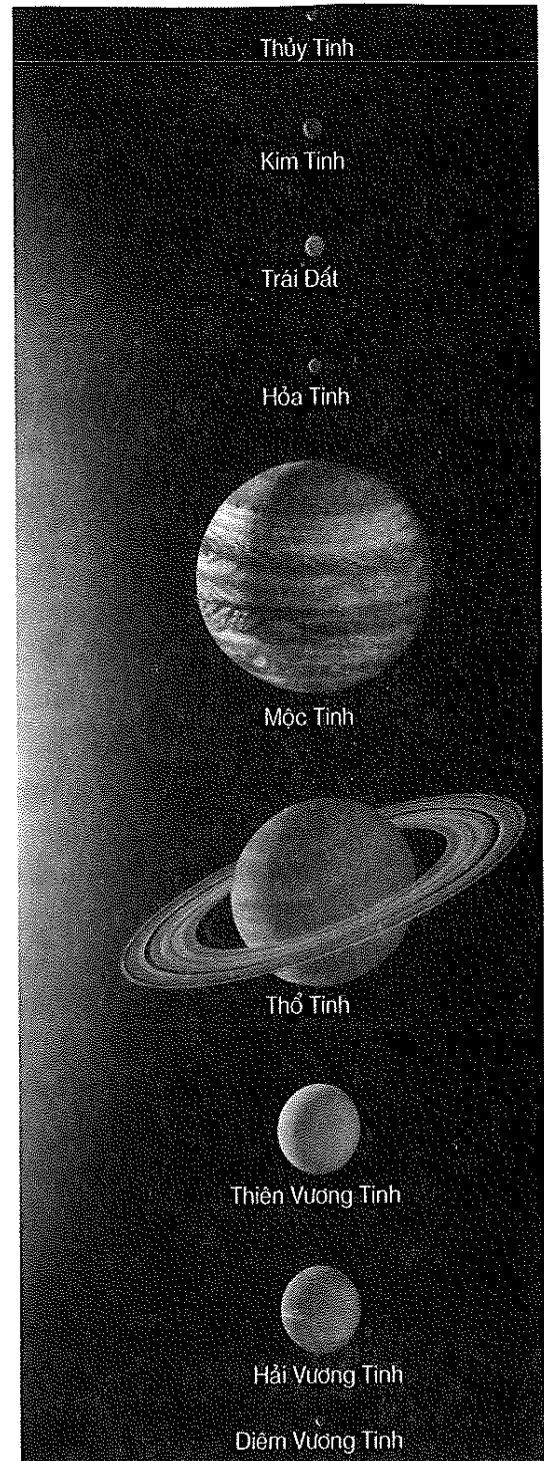
Ngôi nhà của nhân loại: Hành tinh Trái Đất được quan sát từ một viễn ảnh trong không gian. Bức ảnh này do vệ tinh khí tượng Meteosat, bay trên quỹ đạo của Trái Đất, chụp vào tháng 5/1990.

Trái Đất và Mặt Trăng, về theo tỉ lệ

vừa với trang giấy với một tỉ lệ chính xác. Khoảng cách từ Trái Đất tới Mặt Trăng gần bằng 30 lần đường kính của Trái Đất, hoặc tương đương 384.000 km, và phải mất thời gian khoảng một tháng để cho Mặt Trăng đi một vòng quanh Trái Đất. Đường kính của Mặt Trăng là 3476 km, bằng một phần tư kích thước của Trái Đất.

Ánh sáng (hay sóng vô tuyến) mất 1,3 giây để đi qua giữa Trái Đất và Mặt Trăng. Nếu đã xem các băng video về các chuyến bay Apollo tới Mặt Trăng, bạn có thể nhớ lại rằng có một sự chậm trễ khoảng 3 giây giữa thời điểm đài kiểm soát hỏi một câu hỏi và thời điểm các nhà du hành không gian đáp lại. Nguyên do không phải là các phi hành gia đang suy nghĩ chậm, nhưng mà các sóng vô tuyến phải mất gần 3 giây để thực hiện cuộc hành trình khứ hồi.

Trái Đất quay xung quanh ngôi sao của chúng ta, Mặt Trời, nằm cách xa khoảng 150 triệu km – tương đương 400 lần khoảng cách từ Trái Đất đến Mặt Trăng. Chúng ta vẫn gọi khoảng cách trung bình giữa Trái Đất và Mặt Trời là đơn vị thiên văn (astronomical unit – AU), bởi vì trong thuở ban đầu của thiên văn học nó là tiêu chuẩn đo lường quan trọng nhất. Ánh sáng mất hơn 8 phút một chút để đi được một đơn vị thiên văn hay 1 AU, điều đó có nghĩa là thông tin mới nhất của chúng ta từ Mặt Trời lúc nào cũng là đã sau 8 phút hay đã được 8 phút tuổi.



Mặt Trời và các hành tinh được trình bày theo tỉ lệ. Hãy lưu ý kích thước của Trái Đất so sánh với các hành tinh khổng lồ.

Trái Đất phải mất một năm (3×10^7 s) để đi vòng quanh Mặt Trời với khoảng cách của chúng ta; để đi vòng quanh, chúng ta phải đi với vận tốc tương đương 110.000 km/giờ (km/h). Để đổi kilômét (km) ra dặm (miles), bạn có thể nhân km với 0,6. Do đó, 110.000 km/h trở thành 66.000 mi/h (dặm/giờ). Bởi vì lực hút hay lực hấp dẫn giữ chặt chúng ta trên Trái Đất và không có sự cản trở nào đối với chuyển động của Trái Đất trong khoảng không vũ trụ, chúng ta tham gia vào cuộc hành trình với tốc độ quá nhanh này mà không hề nhận thức được nó.

Đường kính của Mặt Trời khoảng chừng 1,5 triệu km; Trái Đất của chúng ta có thể đặt vừa khớp vào bên trong một trong những sự phun trào nhỏ xảy ra trên bề mặt của ngôi sao nóng bỏng ấy. Nếu Mặt Trời được thu nhỏ bằng kích thước của một trái bóng rổ, thì Trái Đất sẽ là một hạt táo nhỏ nằm cách trái bóng 30 mét.

Trái Đất chỉ là một trong chín hành tinh quay chung quanh Mặt Trời. Những hành tinh này, cùng với các vệ tinh của chúng và những đám thiên thể nhỏ hơn, tạo thành *Hệ Mặt Trời* (solar system), những gì mà chúng ta có thể gọi là gia đình của Mặt Trời. Hành tinh được định nghĩa như một thiên thể với kích thước đáng kể quay quanh một ngôi sao và không phát ra ánh sáng riêng.

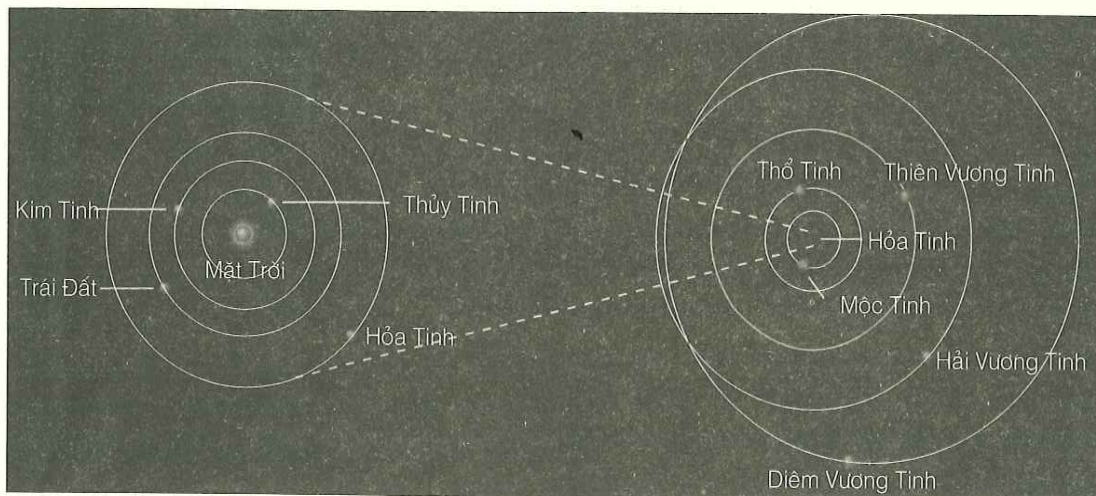
(Nếu một thiên thể lớn liên tục phát ra ánh sáng của chính nó, nó được gọi là một ngôi sao). Chúng ta chỉ có thể nhìn thấy những hành tinh bên cạnh trong bầu trời bởi vì chúng phản chiếu ánh sáng của ngôi sao của chúng ta, Mặt Trời. Nếu các hành tinh ở cách xa hơn nữa, lượng ánh sáng nhỏ bé mà chúng dùng để phản chiếu sẽ không thể nhìn

thấy được đối với chúng ta. Những hành tinh, mà chúng ta cho đến bây giờ mới có thể khám phá đang quay quanh những ngôi sao khác, được phát hiện do sức hút mà trọng lực của chúng tác động lên các ngôi sao chủ của chúng, chứ không phải do ánh sáng của chúng.

Mộc Tinh (Jupiter), hành tinh lớn nhất trong hệ mặt trời, có đường kính khoảng 143.000 km, gấp 11 lần kích thước của Trái Đất. Khoảng cách từ Mộc Tinh đến Mặt Trời bằng năm lần khoảng cách từ Trái Đất tới Mặt Trời, hay bằng 5 AU. Theo tỉ lệ, nếu Mặt Trời là một trái bóng rổ, thì Mộc Tinh tương đương kích thước của quả nho, nằm cách trái bóng rổ khoảng 150 mét. Quỹ đạo của các hành tinh được mô tả theo dạng giản đồ trong hình. Diêm Vương Tinh (Pluto) có một quỹ đạo không tròn, nhưng khoảng cách *trung bình* của nó tới Mặt Trời vào khoảng 40 AU hay 5,9 tỉ km. Theo tỉ lệ quả bóng rổ, Diêm Vương Tinh là một hạt cát, cách xa quả bóng 1km.

Mặt Trời là ngôi sao cục bộ (local star) của chúng ta, và tất cả những ngôi sao khác cũng là những mặt trời – những quả cầu khổng lồ với khí cháy sáng rực sinh ra những năng lượng vĩ đại do những phản ứng hạt nhân nằm sâu bên trong. Chúng ta sẽ bàn luận những tiến trình hấp dẫn hình thành các sao phát sáng một cách chi tiết hơn trong sách này. Những sao khác nữa chỉ trông thấy yếu ớt mờ nhạt bởi vì chúng ở xa tít. Tiếp tục phép so sánh tương đương với quả bóng rổ, thì Proxima Centauri, ngôi sao gần nhất, ngoại trừ Mặt Trời, ở cách xa 4,3 LY, sẽ nằm cách quả bóng rổ Mặt Trời khoảng 7000 km.

Khi chúng ta trông lên bầu trời lốm đốm đầy sao vào một đêm trong trẻo, tất



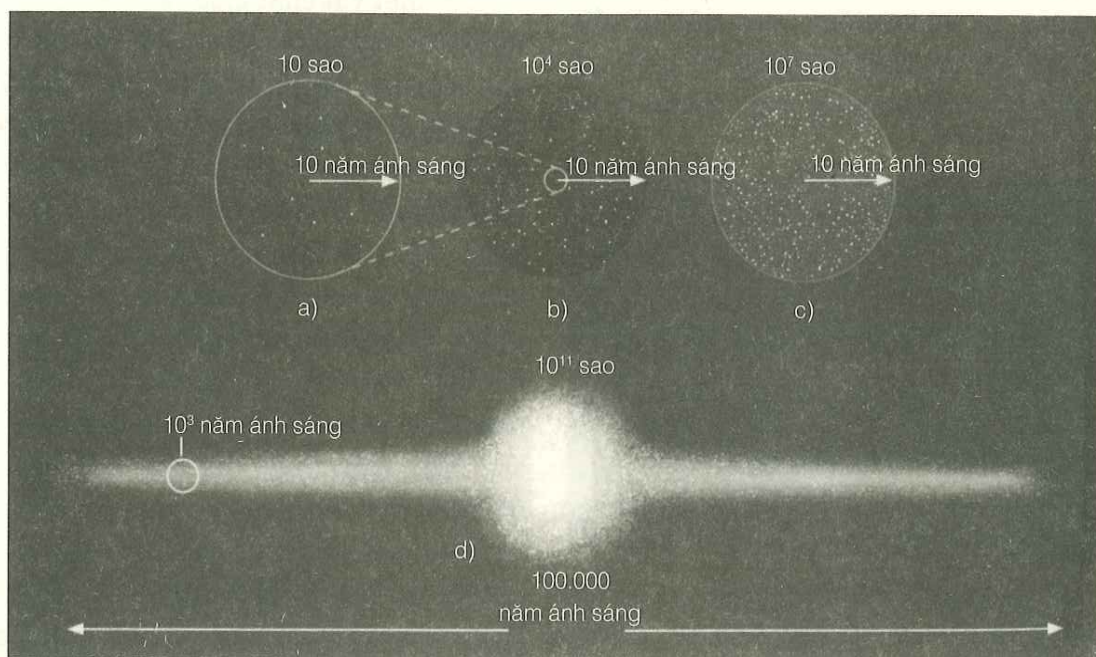
Quỹ đạo của các hành tinh trong Thái Dương Hệ
(Trái) Các hành tinh bên trong. (Phải) Các hành tinh bên ngoài (chú ý sự thay đổi về tỉ lệ)

cả các vì sao thấy được bằng mắt hóa ra là một phần của một tập hợp sao riêng lẻ mà chúng ta gọi là Dải Ngân Hà (Milky Way Galaxy), hay chỉ đơn giản là Ngân Hà (Galaxy).

(Khi nói đến Dải Ngân Hà (Milky Way), chúng ta viết hoa chữ Ngân Hà (Galaxy); khi nói về những thiên hà khác

của các sao, chúng ta sử dụng chữ thường). Mặt Trời là một trong số hàng trăm tỉ sao cấu tạo thành Ngân Hà; phạm vi của nó, như chúng ta sẽ thấy, làm choáng ngợp trí tưởng tượng của con người.

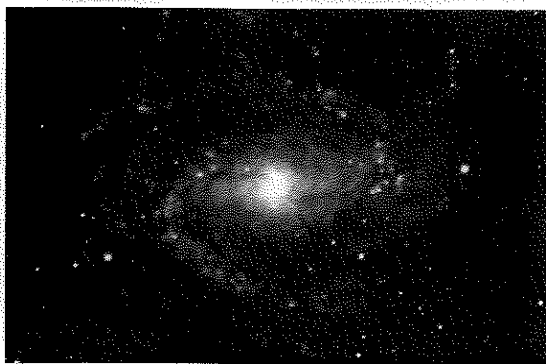
Chúng ta hãy thực hiện một bản vẽ với tỉ lệ gần đúng để mô tả những sao trong vòng 10 LY của Mặt Trời. Vòng tròn



Sự phân bố sao chung quanh Mặt Trời trong vòng:
(a) 10 LY, (b) 100 LY, (c) 1000 LY, và (d) Thiên Hà (với cái đĩa được nhìn ở phía cạnh).

nhỏ mang tên (a) trình bày một hình cầu bán kính 10 LY mà tâm là Mặt Trời. Có khoảng mười sao trong hình cầu này. Bây giờ chúng ta thay đổi tỉ lệ: vòng tròn mang tên (b) trình bày một hình cầu bán kính 100 LY. Hãy chú ý rằng toàn bộ của (a) bây giờ chỉ là một vòng tròn nhỏ ở giữa tâm. Hình cầu (b) chứa khoảng 10.000 (10^4) sao, quá nhiều đến nỗi khó mà đếm chúng một cách dễ dàng hay đặt tên cho chúng một cách hợp lý. Và tuy nhiên bằng việc đi ra tới một khoảng cách 200 LY, chúng ta đã chỉ mới đi qua một phần nhỏ xíu của Dải Ngân Hà.

Bây giờ chúng ta hãy vẽ một vòng tròn bán kính 1000 LY (c), trong đó một lần nữa, vòng tròn trước của chúng ta chỉ là một tâm điểm nhỏ. Trong phạm vi hình cầu bán kính 1000 LY, chúng ta thấy chừng 10 triệu (10^7) sao. Ở nửa dưới của hình, chúng ta thay đổi tỉ lệ và xem xét toàn bộ Ngân Hà, một hệ thống có dạng hình bánh xe mà đường kính nhìn thấy được của nó xấp xỉ 100.000 LY (nhìn ở rìa bức hình). Ngân Hà của chúng ta trông giống như một cái đĩa nhựa (của trò chơi ném đĩa) với một quả cầu nhỏ ở chính giữa. Nếu chúng ta có



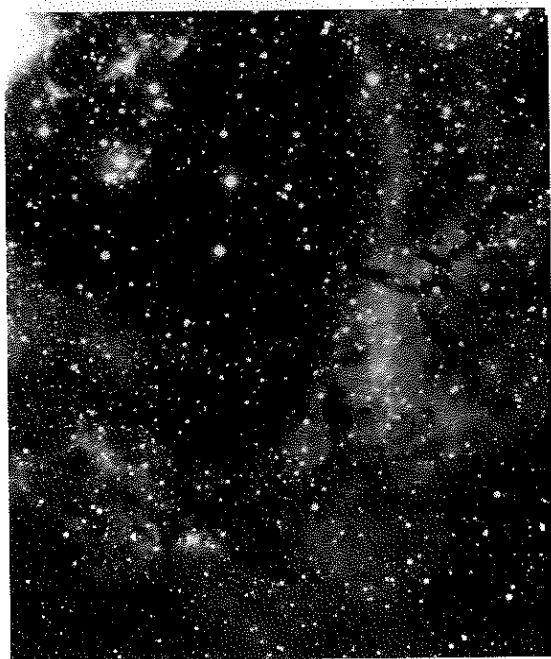
Thiên hà xoắn ốc: Thiên hà của hàng tỉ sao này, gọi theo số danh mục của nó là M83, cách xa khoảng 10 triệu năm ánh sáng và được cho là tương tự như Dải Ngân Hà của chúng ta. Ở đây chúng ta thấy bề mặt của hệ thống khổng lồ hình bánh xe.

thể di chuyển ra ngoài Dải Ngân Hà và nhìn xuống cái đĩa của Ngân Hà từ trên cao, nó sẽ có thể giống như thiên hà ở trong hình, cấu trúc hình xoắn của nó được nổi rõ lên do ánh sáng của những sao nóng trưởng thành.

Mặt Trời cách xa tâm của Dải Ngân Hà ít hơn 30.000 LY một chút, ở tại một vị trí mà chẳng có gì nhiều để phân biệt ra nó. Từ vị trí của chúng ta bên trong Dải Ngân Hà, chúng ta không thể thấy xuyên suốt tới rìa xa của nó (ít nhất không phải là với ánh sáng bình thường) bởi vì không gian giữa các sao không phải hoàn toàn trống rỗng. Nó bao gồm một sự phân bố rải rác chất khí (hầu hết là nguyên tố đơn giản nhất, khí hydro) xen lẫn với những phần tử (hay hạt) rắn li ti mà chúng ta gọi là *bụi vũ trụ* hay *bụi giữa các sao* (inter-stellar dust). Khí và bụi này tập hợp lại thành những đám mây khổng lồ ở nhiều nơi trong Dải Ngân Hà, trở thành vật liệu nguyên sinh cho các thế hệ tương lai của các sao.

Đặc biệt vật chất giữa các sao rải rác tối đa đến mức không gian giữa các sao là một khoảng chân không tốt hơn bất kỳ khoảng chân không nào mà chúng ta có thể tạo ra trong những phòng thí nghiệm trên mặt đất. Tuy nhiên, bụi trong không gian, tích tụ bao trùm cả hàng ngàn năm ánh sáng, có thể ngăn chặn ánh sáng của nhiều sao ở xa hơn. Nhiều vùng xa hơn của Dải Ngân Hà không thể nhìn thấy được phía sau các lớp sương mù giữa các sao. May mắn thay, các nhà thiên văn đã nhận thấy rằng các sao và các nguyên vật liệu chiếu sáng với đủ loại dạng của tia bức xạ không nhìn thấy được vẫn cứ xuyên qua được sương mù, và do đó chúng ta đã có thể tạo dựng được một bản đồ khá chính xác của Dải Ngân Hà.

Tuy nhiên, những cuộc quan sát mới đây cũng đã tiết lộ một sự kiện khá ngạc nhiên. Từ các cuộc nghiên cứu, chúng ta có chứng cứ rằng phần lớn của Ngân Hà được cấu tạo bằng thứ vật chất không thể quan sát trực tiếp hiện nay bằng các thiết bị của chúng ta (thậm chí cũng không thể bằng những thiết bị dò được các dạng không nhìn thấy của tia bức xạ mà chúng ta vừa đề cập). Vì thế cho nên chúng ta gọi thành phần này là *vật chất tối* hay *chất tối* (dark matter). Chúng ta biết *chất tối* là những gì mà ở đó lực hấp dẫn của nó tác động lên các sao và vật liệu nguyên sinh mà chúng ta có thể quan sát được, nhưng *chất tối* này được cấu tạo thế nào và nó hiện có bao nhiêu vẫn còn là một bí mật. (*Chất tối* không chỉ có ở Ngân Hà của chúng ta; nó dường như cũng là một thành phần quan trọng của những nhóm sao khác).



Một vườn ươm sao: Trong một đám mây vật chất vũ trụ nguyên sinh gọi là Tinh vân Rosette (Rosette Nebula), một chùm sao sáng, nóng có thể được nhìn thấy đang hình thành ở phía trên bên trái.

Hơn nữa, không phải tất cả các sao hoạt động với chính bản thân chúng, như Mặt Trời của chúng ta đang hoạt động. Nhiều sao được sinh ra trong những hệ sao đôi hay sao ba, với hai hay ba sao quay quanh lẫn nhau (và thậm chí còn có thể có nhiều sao đối tác hơn nữa). Bởi vì các sao ảnh hưởng lẫn nhau trong những hệ thống chặt chẽ như thế, nhiều sao cho phép đo lường được những đặc tính mà chúng ta không thể phân biệt được từ việc quan sát những sao đơn. Ở một số nơi, khá nhiều sao đã hình thành cùng nhau mà chúng ta nhận ra chúng như những chòm sao. Một số chòm sao lớn nhất trong số hơn một ngàn chòm sao mà các nhà thiên văn đã liệt kê danh sách chứa hàng trăm ngàn sao và chiếm những khoảng không gian mà hàng trăm năm ánh sáng mới vượt qua được.

Bởi vì các sao sống (hay hoạt động) trong một thời gian dài, bạn thường nghe nói chúng được ám chỉ như là vĩnh cửu hay bất diệt. Nhưng thật ra, chẳng có sao nào có thể tồn tại mãi mãi. Bởi vì “công việc” của sao là tạo ra năng lượng, và việc sản sinh năng lượng đòi hỏi một số lượng nhiên liệu được sử dụng, cuối cùng tất cả các sao sẽ cạn nhiên liệu và ngừng hoạt động.

Nói cho cùng, Mặt Trời và tất cả các sao đều sẽ chết, và chính trong quá trình chết của chúng mà một trong các biến cố hấp dẫn nhất và quan trọng nhất của vũ trụ mới được tiết lộ. Thí dụ, hiện nay chúng ta biết rằng nhiều nguyên tử trong cơ thể chúng ta trước kia đã từng ở bên trong các sao. Những sao này nổ tung vào giai đoạn cuối cuộc sống của chúng, trả lại vật liệu của chúng trở về bể chứa của Dải Ngân Hà. Theo chiều hướng này, tất cả chúng ta rõ ràng được cấu tạo bằng “bụi sao”.

✧ VŨ TRỤ VĨ MÔ

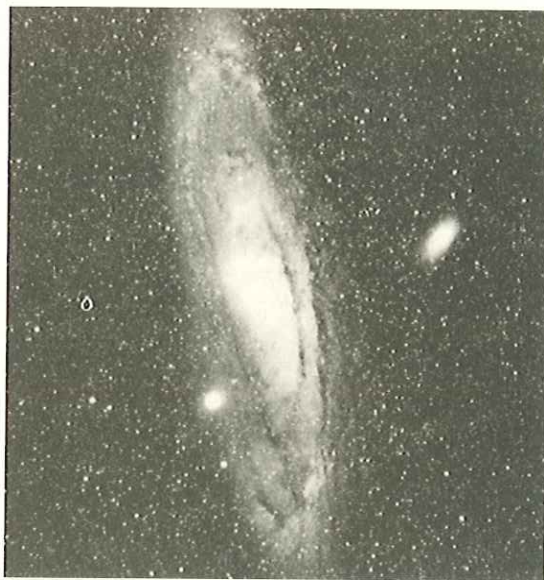
Theo một ý nghĩa rất khái quát, bạn có thể nghĩ về hệ mặt trời như ngôi nhà của bạn, và Dải Ngân Hà như thành phố của bạn, được hình thành bởi nhiều ngôi nhà và các tòa cao ốc. Trong thế kỷ XX, các nhà thiên văn có thể chứng minh rằng cũng như thế giới chúng ta được hình thành bởi rất nhiều thành phố, vũ trụ được hình thành bởi số lượng vô cùng lớn các thiên hà. (Chúng ta định nghĩa *vũ trụ* là tất cả mọi vật thể đang tồn tại và có thể tiếp cận được với những quan sát của chúng ta). Các thiên hà trải ra xa tít trong không gian, nhiều tỉ thiên hà nằm trong tầm ngắm của các thiết bị hiện đại. Khi lần đầu chúng được khám phá, một số nhà thiên văn gọi các thiên hà là các “đảo vũ trụ”, và thuật ngữ này có tính chất mô tả một cách thích hợp: các thiên hà trông giống như những hòn đảo sao trong đại dương mênh mông, tối đen của không gian giữa các thiên hà.

Thiên hà gần nhất, được phát hiện vào năm 1993, là một thiên hà nhỏ bé



Một thiên hà lân cận: Đám mây khổng lồ Magellanic, với khoảng cách 160.000 năm ánh sáng, là một trong những thiên hà lân cận gần nhất của Dải Ngân Hà, và chứa hàng tỉ sao. Tinh vân là những nơi khí và bụi được chiếu sáng bởi ánh sáng cực mạnh của các sao trẻ. Tinh vân sáng nhất, ở chính giữa bên trái, có biệt danh là Tarantula.

nằm cách Mặt Trời 75.000 LY về hướng của chòm sao Nhân Mã (Constellation Sagittarius), đặc biệt nơi đó sương mù trong Ngân Hà của chúng ta làm cho nó khó được nhận ra. (*Chòm sao*, chúng ta sẽ lưu ý, là một trong 88 khu vực mà trong đó các nhà thiên văn phân chia bầu trời, mỗi khu vực được đặt tên theo một kiểu sao nổi bật nhất nằm trong khu vực đó). Sự tồn tại của thiên hà Nhân Mã nhỏ bé này, thực ra, vẫn còn gây tranh cãi và sẽ đòi hỏi những cuộc quan sát khác nữa. Ra xa hơn là hai thiên hà nhỏ khác nằm cách xa khoảng 160.000 LY. Đầu tiên được thủy thủ đoàn của Magellan ghi nhận khi họ dong buồm đi vòng quanh thế giới, những thiên hà này được gọi là các Đám mây Magellanic. Toàn bộ ba thiên hà nhỏ này là các vệ tinh của Dải Ngân Hà, tương tác với nó



Thiên hà xoắn ốc gần nhất: Thiên Hà Andromeda (M31) là một tập hợp sao hình xoắn ốc tương tự như Dải Ngân Hà của chúng ta. Đĩa sao hình phẳng của nó trông có vẻ xanh do ánh sáng của nó bị chi phối bởi năng lượng ánh sáng cực mạnh của những sao nóng. Mặt khác, chỗ phình ra ở trung tâm, chứa các sao già hơn, có màu vàng và đỏ nhiều hơn. Hai thiên hà nhỏ hơn có thể được nhìn thấy ở hai bên của M31.

qua lực hấp dẫn. Cuối cùng, cả ba thậm chí có thể bị nuốt chửng bởi Dải Ngân Hà lớn hơn nhiều.

Thiên hà lớn gần nhất có hình xoắn ốc hoàn toàn giống như thiên hà của chúng ta, nằm ở trong chòm sao Tiên Nữ (Andromeda) và do đó thường gọi là Thiên Hà Tiên Nữ (Andromeda Galaxy); nó cũng được biết bằng một trong những con số của bảng mục lục, M31. Căn cứ vào số lượng thiên hà, không thể đặt cho toàn thể các thiên hà những cái tên thích hợp. M31 cách xa khoảng 2 triệu LY, và cùng với Dải Ngân Hà, là một phần của một chùm (hay quần thể) thiên hà nhỏ bao gồm hơn 40 thiên hà mà chúng ta gọi là Nhóm Cục Bộ (Local Group).

Tại những khoảng cách từ 10 cho tới 15 triệu LY, chúng ta tìm thấy những nhóm thiên hà nhỏ khác, và sau đó ở khoảng 50 triệu LY có một hệ thống gây ấn tượng hơn, với hàng ngàn thiên hà thành viên, gọi là Chùm sao Trinh Nữ (Virgo Cluster). Chúng ta đã khám phá ra rằng các thiên hà xuất hiện hầu hết trong các quần tinh hay chùm sao (clusters), cả lớn lẫn nhỏ. Một số các quần tinh tự hình thành các nhóm lớn hơn gọi là *siêu quần tinh* (superclusters).

Nhóm Cục Bộ của chúng ta, cũng như Chùm Trinh Nữ, là một phần của một siêu quần tinh như vậy, trải dài cả một đường kính ít nhất là 60 triệu LY. Chúng ta chỉ mới bắt đầu thăm dò cấu trúc của vũ trụ với những qui mô như vậy và phát hiện một số kết quả bất ngờ (sẽ được thảo luận trong Chương 27).

Tại những khoảng cách thậm chí lớn hơn, nơi có nhiều thiên hà bình thường quá mờ cho nên không thấy được, chúng ta phát hiện ra những quasar. Đây là những trung tâm chói sáng của các thiên

hà, sáng rực với ánh sáng của một quá trình tạo năng lượng phi thường. Một lý thuyết đề nghị rằng có lẽ một lỗ đen khổng lồ đang nuốt chửng toàn bộ những vùng lân cận gồm vật liệu nguyên sinh. Chúng ta sẽ mô tả những vật thể kỳ dị gọi là các lỗ đen khi nói về đời sống của các sao. Dù các quasar là gì đi nữa, sự chiếu sáng của chúng làm cho chúng trở thành những đèn hiệu xa xôi nhất mà chúng ta có thể thấy trong đại dương không gian đen tối. Chúng giúp cho chúng ta thăm dò vũ trụ ở cách xa 10 tỉ LY hay xa hơn nữa, và do vậy cách đây 10 tỉ năm hay lâu hơn nữa trong quá khứ.

Với những quasar, chúng ta thấy con đường cụ thể để quay lại Vụ Nổ Lớn (Big Bang) đánh dấu sự khởi đầu của thời gian. Bên ngoài quasar, chúng ta chỉ có thể dò tìm được sự rực sáng yếu ớt của bản thân vụ nổ, lấp đầy vũ trụ và do đó đi tới chúng ta từ mọi hướng. Khám phá về “ánh sáng của sự sáng tạo” này là một trong những sự kiện hấp dẫn nhất của khoa học trong thế kỷ XX.

♦ VŨ TRỤ VI MÔ

Vũ trụ mênh mông và trống rỗng lạ thường. Trung bình vũ trụ trống rỗng hơn 10.000 lần so với Dải Ngân Hà của chúng ta. Tuy nhiên, như chúng ta đã thấy, ngay cả Dải Ngân Hà cũng hầu như là không gian trống rỗng. Không khí mà chúng ta hít thở có khoảng 10^{19} nguyên tử trong mỗi một centimét khối (1 cm^3) – và chúng ta nghĩ về không khí như một thứ gì đó gần như trống không. Trong không khí giữa các sao của dãy Ngân Hà, có khoảng một nguyên tử trong mỗi một cm^3 . Không gian giữa các thiên hà rải rác đến mức để tìm thấy một nguyên tử, bình quân, chúng ta phải tìm kiếm trong

cả một mét khối (1 m^3) không gian! Phần lớn vũ trụ trống rỗng một cách kỳ lạ; những nơi dày đặc, chẳng hạn như thân thể của chúng ta, là vô cùng hiếm hoi.

Song ngay cả những chất rắn quen thuộc, chẳng hạn như cuốn sách bạn đang đọc cũng phần lớn là khoảng không. Nếu chúng ta có thể tách một chất rắn như vậy ra từng phần cực nhỏ, cuối cùng chúng ta sẽ chạm tới những phân tử. Các phân tử là những phần tử nhỏ nhất mà trong đó vật chất có thể được phân chia mà vẫn còn giữ được nguyên vẹn các đặc tính hoá học. Một phân tử nước (H_2O), thí dụ, bao gồm hai nguyên tử hydro và một nguyên tử oxy, nối kết với nhau.

Đến lượt các phân tử được cấu tạo bởi các nguyên tử, là những phần tử nhỏ nhất của một nguyên tố mà vẫn còn được phân biệt với tư cách là nguyên tố. Lấy ví dụ, một nguyên tử vàng là miếng vàng nhỏ nhất có thể có.

Gần 100 loại nguyên tử khác nhau (các nguyên tố) tồn tại trong tự nhiên, nhưng hầu hết chúng rất hiếm, và chỉ có một số lượng nhỏ đối với hơn 99% của mọi nguyên tố mà chúng ta có thể tiếp xúc. Các nguyên tố có nhiều nhất trong vũ trụ ngày nay được liệt kê trong bảng.

Tất cả các nguyên tử bao gồm một *nhân* (nucleus) ở giữa, mang điện dương được quay xung quanh bởi các *điện tử* (electron) mang điện âm. Phần lớn vật chất trong mỗi nguyên tử được tìm thấy trong nhân, bao gồm những proton dương và các electron trung hoà kết nối chặt chẽ với nhau trong một khoảng không gian rất nhỏ. Mỗi nguyên tố được xác định bởi số proton trong nguyên tử của nó: do đó, bất kỳ nguyên tử nào có 6 proton trong nhân được gọi là carbon, với 50 proton được gọi là thiếc, và với 70 proton thì

gọi là ytterbium (Yb). Về danh sách các nguyên tố, hãy xem Phụ Lục 11.

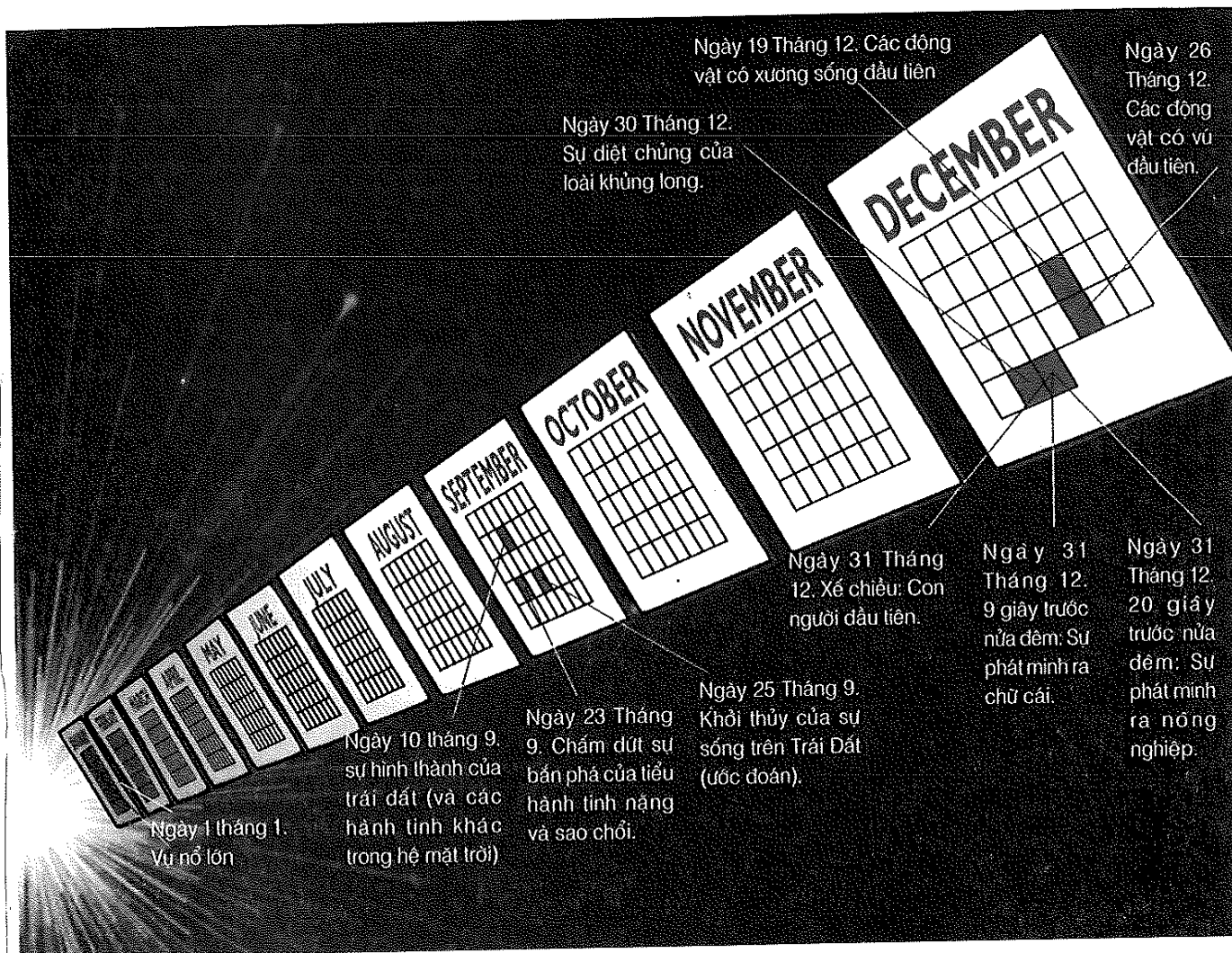
Khoảng cách từ nhân của một nguyên tử tới các electron lớn gấp 100.000 lần kích thước của bản thân nhân nguyên tử. Đây là lý do tại sao chúng ta nói rằng ngay cả chất rắn phần lớn vẫn là khoảng không.

Nguyên tử tiêu biểu còn rộng hơn nhiều so với khoảng cách từ Mặt Trời ra tới Pluto (Diêm Vương Tinh). Khoảng cách từ Trái Đất tới Mặt Trời, thí dụ, chỉ gấp 100 lần kích thước của Mặt Trời. Đây là một lý do khác nữa mà các nguyên tử không giống những hệ mặt trời thu nhỏ.

Đáng chú ý là các nhà vật lý đã khám phá ra rằng mọi sự vật đều diễn ra trong vũ trụ, từ các nguyên tử nhỏ nhất cho tới những chùm siêu thiên hà lớn nhất, có thể được giải thích qua sự tác động của bốn lực: lực hấp dẫn, lực điện từ (kết hợp các tác động của điện và từ), và hai lực tác động ở mức độ nguyên tử. Sự kiện rằng có bốn lực (và không phải một triệu, hay chỉ một lực duy nhất) đã làm bối rối các nhà vật lý trong nhiều năm, và đã đưa tới cuộc tìm kiếm một hình ảnh thống nhất của vũ trụ.

♦ KẾT LUẬN VÀ KHỞI ĐẦU

Có thể bạn đã đi tới cùng cuộc du lịch trong Phần Mở Đầu này với những cảm giác lẫn lộn. Một mặt, bạn có thể bị lôi cuốn bởi một số ý tưởng mới, và háo hức muốn hiểu biết thêm. Mặt khác, bạn có thể đang cảm thấy quá mức bởi số lượng chủ đề chúng ta đã bàn đến, và số lượng các từ ngữ và ý tưởng mới đã được giới thiệu. Tìm hiểu thiên văn học giống như tìm hiểu một ngôn ngữ mới – ban đầu nó dường như có quá nhiều thành ngữ mới mà bạn sẽ không bao giờ làm quen



Lập sơ đồ thời gian vũ trụ: Trên một cuốn lịch vũ trụ, nơi mà thời gian kể từ Vụ Nổ Lớn (Big Bang) bị nén lại thành một năm, các sinh vật mà chúng ta sẽ gọi là con người không xuất hiện trên sân diễn mãi cho tới chiều tối ngày 31 tháng 12.

Các nguyên tố có nhiều trong vũ trụ		
Nguyên tố*	Ký hiệu	Số lượng nguyên tử trên một triệu nguyên tử Hydro
Hydro	H	1.000.000
Helium	He	80.000
Carbon	C	450
Nitro	N	92
Oxy	O	740
Neon	Ne	130
Magnesium	Mg	40
Silic	Si	37
Sulfur	S	19
Sắt	Fe	32

* Danh sách các nguyên tố được xếp theo thứ tự của số lượng nguyên tử, là số lượng proton trong mỗi nhân nguyên tử.

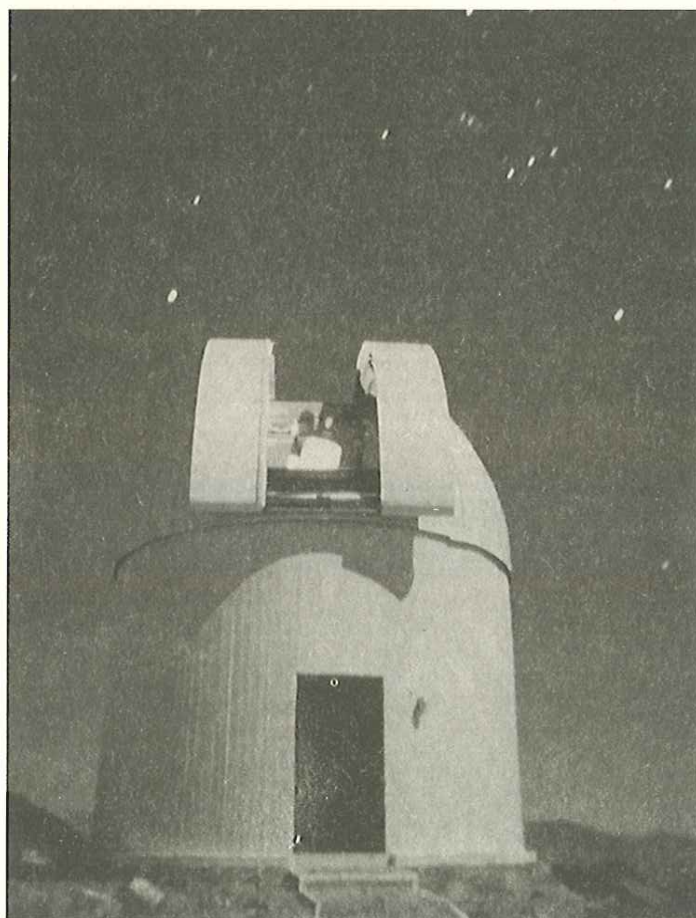
được hết, nhưng dần dần bạn sẽ thấy dễ dàng hơn.

Chúng ta hãy chú ý đến lịch sử của vũ trụ từ Vụ Nổ Lớn (Big Bang) cho tới ngày nay, và rồi nén nó lại thành một năm duy nhất, để cho dễ tham khảo. Theo qui mô này, Vụ Nổ Lớn xảy ra vào thời điểm đầu tiên của ngày 1 tháng Giêng, hệ mặt trời hình thành khoảng ngày 9 tháng 9, và những tảng đá lâu đời nhất mà chúng ta có thể ghi niên đại trên Trái Đất bắt đầu vào tuần thứ ba của tháng 9.

Trong “năm vũ trụ” này, sự khởi nguyên của con người rơi vào chỗ nào? Câu trả lời là đêm ngày 31 tháng 12! Sự phát minh ra bảng chữ cái không xảy ra

mãi cho tới giây thứ 50 của 11 giờ 59 phút đêm 31 tháng 12. Và những buổi đầu của thiên văn học hiện đại chỉ là một phần thật nhỏ của giây trước Năm Mới (New Year). Như đã thấy trong văn bản về vũ trụ, lượng thời gian mà chúng ta đã có để nghiên cứu các sao là phút, và thành công của chúng ta về việc ráp nối như những câu chuyện mà chúng ta có là đáng kể.

Chắc chắn, những nỗ lực của chúng ta để am hiểu vũ trụ là không trọn vẹn. Vì khi những thiết bị mới và những ý tưởng mới cho phép chúng ta thu thập những dữ liệu tốt hơn về vũ trụ, bức tranh hiện tại của chúng ta về thiên văn học sẽ chắc chắn đã có nhiều sự biến đổi.



Chòm Lạp Hộ – Orion (một nhóm sao với một dãy 3 sao nổi bật, một phần của hình dạng người thợ săn trong thần thoại Hy Lạp cổ đại) có thể thấy được ở trên và bên trái của mái vòm kính viễn vọng của trường Đại học Toronto trên núi Las Campanas ở Chile.

CHƯƠNG 1

QUAN SÁT BẦU TRỜI: SỰ RA ĐỜI CỦA THIÊN VĂN HỌC

“Nếu Thượng đế bói ý kiến tôi trước khi bắt tay vào việc sáng tạo, có lẽ tôi đã đề nghị một cái gì đó đơn giản hơn”.

Lời phát biểu được cho là của Alfonso X, vua xứ Castile, sau khi được giải thích về hệ thống của Ptolemy.

Nhày nay, khi xem những mô hình vũ trụ, rất có thể là chúng ta chỉ nhìn vào màn ảnh truyền hình hơn là nhìn vào bầu trời trên đầu. Nhưng thời xưa, trước khi đèn điện và truyền hình cướp đi vẻ lộng lẫy huy hoàng của bầu trời, thì các vì sao và các hành tinh là cảnh tượng quan trọng đối với cuộc sống hàng ngày của mọi người. Tất cả mọi sự ghi chép mà chúng ta có – trên giấy và trên đá – chứng tỏ rằng các nền văn minh cổ đại trên thế giới chú ý, tôn thờ, và cố gắng tìm hiểu những ngọn đèn trời (hay thiên đấng) và làm cho chúng phù hợp với quan niệm của họ về thế giới. Các nhà quan sát cổ xưa này nhận thấy cả hai điều, tính đều đặn hùng vĩ và sự ngạc nhiên bất tận trong chuyển động của bầu trời.

Chẳng hạn, người Babylon và người Hy Lạp tin rằng các hành tinh là các vị thần. Họ nghiên cứu chuyển động của chúng với hy vọng tìm hiểu những điều

được cho là ảnh hưởng của các vị thần – hành tinh ấy đối với công việc của con người; do đó họ phát triển thuật chiêm tinh. Tuy nhiên, qua sự nghiên cứu cẩn thận về các hành tinh, người Hy Lạp cổ đại và sau đó người La Mã đã đặt ra các nền tảng khoa học của thiên văn học. Như chúng ta sẽ thấy, thành quả hoàn thiện của họ là mô hình khéo léo phi thường của Claudius Ptolemy vào thế kỷ thứ II sau Công nguyên.

Hệ thống của Ptolemy tiên đoán các vị trí của các hành tinh với sự chính xác hợp lý trong hàng trăm năm, và nó thực sự không được cải tiến mãi cho tới Thời Đại Phục Hưng châu Âu (European Renaissance) vào thế kỷ XVI và XVII. Trong chương này chúng ta sẽ nhìn vào bầu trời đêm như được thấy bằng mắt và một số câu chuyện thú vị về việc làm thế nào chúng ta đi đến chỗ hiểu ra được những gì trên đầu chúng ta.

1.1 BẦU TRỜI

Các giác quan của chúng ta khiến cho chúng ta nghĩ rằng Trái Đất là trung tâm của vũ trụ mà bầu trời quay chung quanh. Quan niệm *địa tâm* (geocentric view) này là điều hầu hết mọi người đều tin cho tới Thời Phục Hưng (Renaissance). Dẫu sao thì, điều đó là đơn giản, logic và dường như hiển nhiên. Vì thế, quan điểm địa tâm củng cố những hệ thống triết lý và tôn giáo nói rằng vai trò của con người là trung tâm của vũ trụ. Tuy nhiên, một trong những chủ đề vĩ đại về lịch sử trí tuệ loài người của chúng ta là sự lật đổ quan điểm địa tâm, qua đó chúng ta đánh giá lại vị trí của chúng ta trong trật tự vũ trụ.

✧ THIÊN CẦU

Nếu bạn đi cắm trại hay sống xa ánh đèn thành phố, quang cảnh bầu trời của bạn vào một đêm trời trong, rất giống với những gì mà con người trên khắp thế giới, trước khi phát minh ra viễn vọng kính, nhìn thấy. Khi chăm chú nhìn, bạn có cảm giác rằng bầu trời là một vòm rỗng khổng lồ, mà bạn đang ở tại trung tâm. Đỉnh của mái vòm này, điểm ngay trên đầu bạn, được gọi là *thiên đỉnh* (zenith), và nơi mà vòm gặp Trái Đất được gọi là *chân trời* (horizon). Từ biển khơi hay đồng cỏ bằng phẳng thì dễ dàng nhìn thấy chân trời như một vòng tròn bao quanh, nhưng từ hầu hết các nơi mà con người sinh sống hiện nay, chân trời bị che khuất bởi núi non, cây cối, nhà cao tầng hay sương mù.

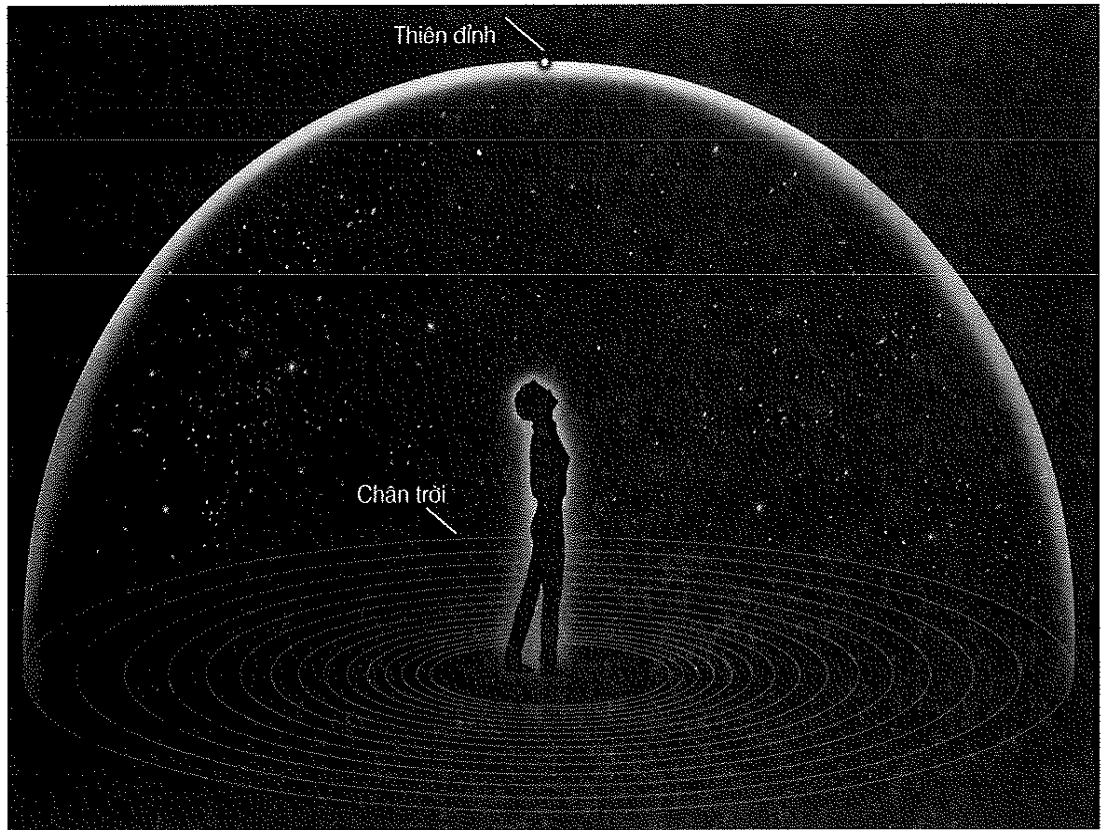
Nếu bạn nằm ngửa trên một cánh đồng mênh mông thoáng dang và quan sát bầu trời đêm trong nhiều giờ, như những nhà lý hành thời xưa thường làm,

bạn sẽ thấy các vì sao mọc ở chân trời phía đông (đúng như Mặt Trời và Mặt Trăng mọc), di chuyển ngang qua vòm trời trong đêm, và lặn ở chân trời phía tây.

Ngắm nhìn bầu trời xoay tròn như thế đêm này sang đêm kia, cuối cùng bạn sẽ có ý tưởng rằng vòm trời thực sự là một phần của quả cầu vĩ đại đang quay quanh bạn, mang các vì sao khác nhau vào khung cảnh khi nó quay. Người Cổ Hy Lạp nhìn bầu trời đúng như là một *thiên cầu* (celestial sphere) như thế. Một số người nghĩ về nó như một quả cầu bằng pha lê trong suốt, trong đó có những ngôi sao rải rác lốm đốm như những viên ngọc nhỏ.

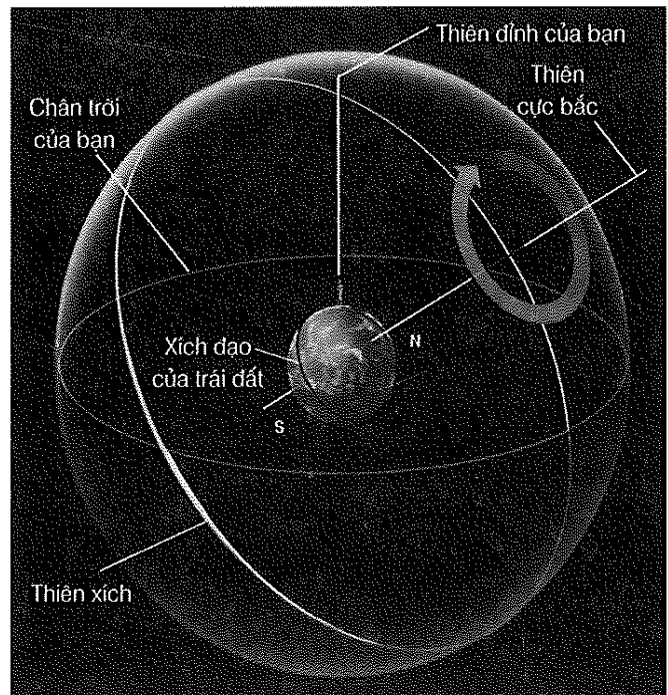
Ngày nay, chúng ta biết rằng đó không phải là thiên cầu xoay tròn như đêm và ngày nối tiếp nhau, nhưng đúng hơn là hành tinh trên đó chúng ta sống đang xoay tròn. Chúng ta có thể đặt một cái que tưởng tượng xuyên qua hai cực Bắc Nam của Trái Đất, gọi cái que này là Trục (axis) của hành tinh (hay Trục Trái Đất). Chính là vì Trái Đất xoay tròn quanh trục này mỗi 24 giờ mà chúng ta mới thấy Mặt Trời, Mặt Trăng, và các sao mọc và lặn với sự đều đặn như bộ máy đồng hồ. Những thiên thể này không nằm trên một cái vòm, nhưng ở những khoảng cách thay đổi rất lớn cách xa chúng ta trong không gian. Tuy thế, đôi khi việc nói về vòm trời hay thiên cầu để giúp chúng ta theo dõi những vật thể trong bầu trời vẫn rất tiện lợi. Thậm chí có cả một nhà hát đặt biệt, gọi là *cung thiên văn* (planet-arium), trong đó chúng ta chiếu một mô hình tương tự của các sao và hành tinh lên trên một mái vòm.

Khi thiên cầu quay tròn, các vật thể trên đó giữ nguyên vị trí của chúng đối với nhau. Một nhóm sao như Đại Hùng



Bầu trời chung quanh chúng ta: Vòm trời hiện ra với người quan sát ngay thờ. Chân trời là nơi bầu trời gặp mặt đất, và thiên đỉnh của người quan sát là điểm nằm ngay trên đỉnh đầu.

Các đường tròn trên thiên cầu: Thiên cầu (tưởng tượng) bao quanh Trái Đất, trên đó các vật thể trong bầu trời có thể quay tròn. Hãy chú ý trục xuyên qua Trái Đất. Thực ra, chính là Trái Đất xoay tròn quanh trục này, tạo ra ảo tưởng rằng bầu trời quay chung quanh chúng ta. Lưu ý rằng Trái Đất trong hình này đã bị nghiêng đi đến mức vị trí của bạn ở ngay đỉnh và Cực Bắc là nơi có chữ N.

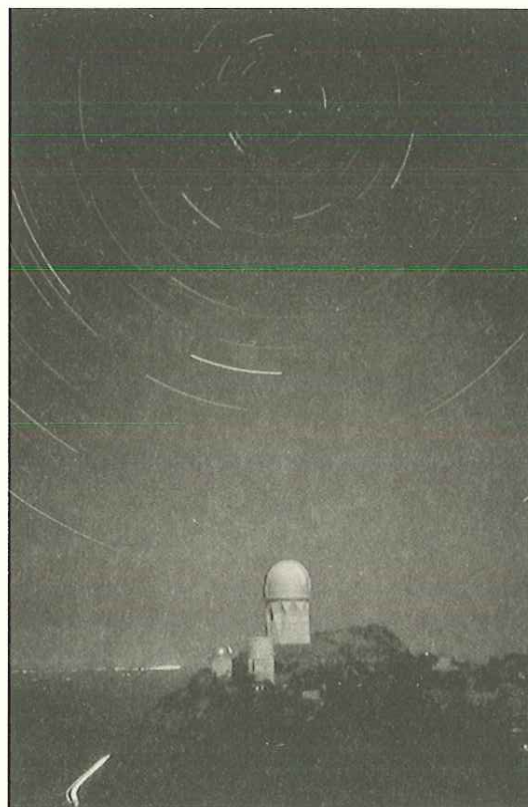


Tinh hay Chòm Sao Gấu Lớn (Big Dipper) có cùng một hình dạng trong suốt đêm, dù cho nó cùng xoay với bầu trời. Trong chỉ một đêm, ngay cả những vật thể mà chúng ta biết có những chuyển động đáng kể của riêng chúng, chẳng hạn như các cận tinh (các hành tinh gần bên), có vẻ tương đối cố định đối với các vì sao. (Chỉ có sao băng – meteor hay shooting star, lóe sáng vào trong khung cảnh chỉ vài giây – di chuyển đáng kể so với thiên cầu, đó là bởi vì chúng không phải là sao, đúng hơn, là những mảnh bụi vũ trụ nhỏ bé, chúng bùng cháy lên khi chạm vào khí quyển của Trái Đất). Chúng ta có thể sử dụng sự kiện toàn bộ thiên cầu dường như cùng xoay để giúp thiết lập một hệ thống theo dõi những gì nhìn thấy được trong bầu trời và chúng diễn ra ở đâu tại một thời điểm nhất định.

✧ THIÊN CỰC VÀ THIÊN XÍCH

Để giúp chúng ta định hướng trong bầu trời xoay, các nhà thiên văn sử dụng một hệ thống mở rộng hay kéo dài các điểm đặc biệt của Trái Đất vào bầu trời. Chúng ta kéo dài đường trục của Trái Đất ra xa hơn: Các điểm nơi mà đường trục gặp thiên cầu được định nghĩa là *Thiên Cực Bắc* (north celestial pole) và *Thiên Cực Nam* (south celestial pole). Vì Trái Đất quay quanh trục của nó, cho nên bầu trời có vẻ quay theo chiều ngược lại quanh những thiên cực này. Chúng ta cũng (bằng trí tưởng tượng) bung xích đạo Trái Đất vào trong bầu trời và gọi đường này là *thiên xích* hay *xích đạo trời* (celestial equator). Nó nằm giữa hai thiên cực, y như xích đạo Trái Đất nằm giữa hai cực của hành tinh chúng ta.

Bây giờ hãy tưởng tượng việc đứng trên những phần khác nhau của Trái Đất



Quay quanh thiên cực bắc: Sự phơi sáng lâu (time exposure) thể hiện các vết sáng do các sao để lại như là một kết quả của sự quay biểu kiến của thiên cầu. (Thực ra, chính là Trái Đất quay). Vết sáng ở giữa đỉnh do Sao Bắc Cực (Polaris) tạo ra, nó nằm rất gần với thiên cực bắc.

đang quay ảnh hưởng ra sao tới tầm nhìn của chúng ta về bầu trời. Chuyển động biểu kiến của thiên cầu tùy thuộc vào vĩ độ của bạn (vị trí bắc hay nam đối với xích đạo). Hãy nhớ rằng trục Trái Đất đang hướng vào các thiên cực, vì thế hai điểm này trên bầu trời có vẻ như không quay.

Nếu đứng tại Cực Bắc của Trái Đất, thí dụ, bạn sẽ thấy thiên cực bắc trên đỉnh đầu, ngay thiên đỉnh của bạn. Xích đạo trời, cách các thiên cực 90° , nằm dọc theo đường chân trời. Khi bạn theo dõi chúng suốt đêm, các sao sẽ đều quay quanh thiên cực, không mọc mà cũng không lặn. Chỉ có phân nửa bầu trời ở phía bắc của xích đạo trời là lúc nào cũng nhìn thấy được đối với một người quan

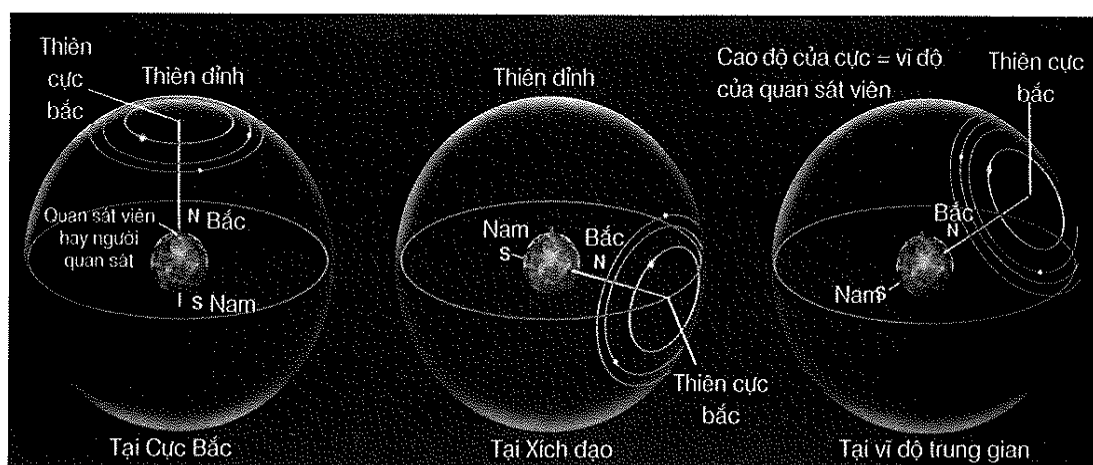
sát tại Cực Bắc. Tương tự, một người quan sát tại Cực Nam chỉ sẽ thấy phân nửa bầu trời ở phía nam.

Mặt khác, nếu đứng tại xích đạo Trái Đất, bạn sẽ thấy xích đạo trời (mà nói cho cùng chính là sự “mở rộng” của xích đạo Trái Đất) đi ngang trên đầu qua thiên đỉnh của bạn. Các thiên cực, cách xích đạo trời 90° , do đó phải ở tại những điểm bắc và nam trên đường chân trời. Vì bầu trời quay, tất cả các sao mọc và lặn; chúng di chuyển thẳng đứng từ phía đông của chân trời và lặn thẳng xuống ở phía tây. Trong suốt thời gian 24 giờ, tất cả các sao nằm bên trên đường chân trời đứng phân nửa thời gian. (Dĩ nhiên, trong một số giờ này, Mặt Trời quá sáng chói nên chúng ta không thể nhìn thấy chúng được).

Một người quan sát ở các vĩ độ trung gian của Hoa Kỳ hay của châu Âu sẽ thấy được những gì? Trong trường hợp này, thiên cực bắc không nằm trên đỉnh đầu cũng không nằm trên đường chân trời, nhưng ở giữa. Nó xuất hiện bên trên chân trời phía bắc tại một đỉnh góc, hay một

cao độ, bằng với vĩ độ của người quan sát. Ở San Francisco, nơi có vĩ độ là 38° Bắc, thì thiên cực bắc là 38° bên trên chân trời phía bắc.

Đối với một người quan sát tại 38° vĩ Bắc, thiên cực nam ở 38° bên dưới chân trời phía nam và do đó không bao giờ có thể nhìn thấy. Vì Trái Đất quay, toàn bộ bầu trời dường như quay quanh thiên cực bắc. Đối với quan sát viên này, các sao nằm trong vòng 38° của Cực Bắc có thể không bao giờ lặn. Lúc nào chúng cũng nằm bên trên chân trời, cả đêm lẫn ngày. Phần bầu trời này được là vùng bắc cực khuyên (north circumpolar zone). Đối với các quan sát viên trong lục địa Hoa Kỳ, chòm sao Đại Hùng, Tiểu Hùng và Thiên Hậu là những thí dụ về các nhóm sao trong vùng bắc cực khuyên. Mặt khác, các sao nằm trong vòng 38° của thiên cực nam không bao giờ mọc. Phần bầu trời ấy thuộc vùng nam cực khuyên (south circumpolar zone). Đối với hầu hết các quan sát viên Hoa Kỳ, chòm sao Nam Thập Tự nằm trong vùng ấy.



Các quỹ đạo sao tại các vĩ độ khác nhau: Sự quay của bầu trời trông khác nhau tùy theo vĩ độ của bạn trên Trái Đất. (a) Tại cực bắc, các sao quay quanh thiên đỉnh và không mọc cũng không lặn. (b) Tại xích đạo, các thiên cực nằm trên đường chân trời, và các sao mọc thẳng đứng và lặn thẳng đứng. (c) Tại các vĩ độ trung gian, thiên cực bắc nằm ở vị trí nào đó giữa đỉnh đầu và chân trời. Góc của nó hoá ra là bằng với vĩ độ của quan sát viên. Các sao mọc và lặn tại một góc so với chân trời.

Góc của bạn là gì?

Các nhà thiên văn đo đạc các vật thể hiện ra trong bầu trời cách xa bao nhiêu bằng cách sử dụng các góc. Theo định nghĩa, có 360° trong một vòng tròn, do vậy một vòng tròn kéo dài hoàn toàn quanh thiên cầu chứa 360° . Thế thì một bán cầu hay vòm trời chứa 180° từ chân trời này đến chân trời đối diện. Cho nên, nếu hai sao cách nhau 18° , khoảng cách của chúng trải rộng khoảng $1/10$ vòm trời (hay vòm cầu của bầu trời). Để cho bạn có một nhận thức về việc 1 độ lớn bao nhiêu, Mặt Trăng tròn là khoảng phân nửa độ ngang.

Tại thời điểm đặc biệt này trong lịch sử Trái Đất, tình cờ có một ngôi sao rất gần với thiên cực bắc. Nó được gọi là sao Bắc Cực (Polaris), hay sao cực (pole star), và có điểm độc đáo là ngôi sao di chuyển với số lần ít nhất khi bầu trời phương bắc quay mỗi ngày. (Bởi vì nó di chuyển rất ít trong khi các sao khác di chuyển nhiều hơn, lấy ví dụ, nó đóng một vai trò đặc biệt nhiều trong thần thoại.

♦ MẶT TRỜI MỌC VÀ LẶN

Chúng ta đã mô tả sự chuyển động của các sao trong bầu trời đêm. Các sao không ngừng đi vòng quanh suốt ngày, nhưng sự chói sáng của Mặt Trời làm cho chúng trở thành khó nhìn thấy. (Tuy nhiên, Mặt Trăng vẫn còn dễ dàng được nhìn thấy vào ban ngày). Vào bất kỳ một ngày nhất định nào đó, chúng ta nghĩ rằng Mặt Trời đang tọa lạc tại một vị trí nào đó trên thiên cầu giả thuyết. Khi Mặt Trời mọc – nghĩa là, khi sự quay của Trái Đất đem Mặt Trời lên bên trên chân trời – ánh sáng mặt trời bị khuếch tán bởi các phân tử của bầu khí quyển, lấp đầy bầu trời bằng ánh sáng và che khuất các sao nằm bên trên chân trời.

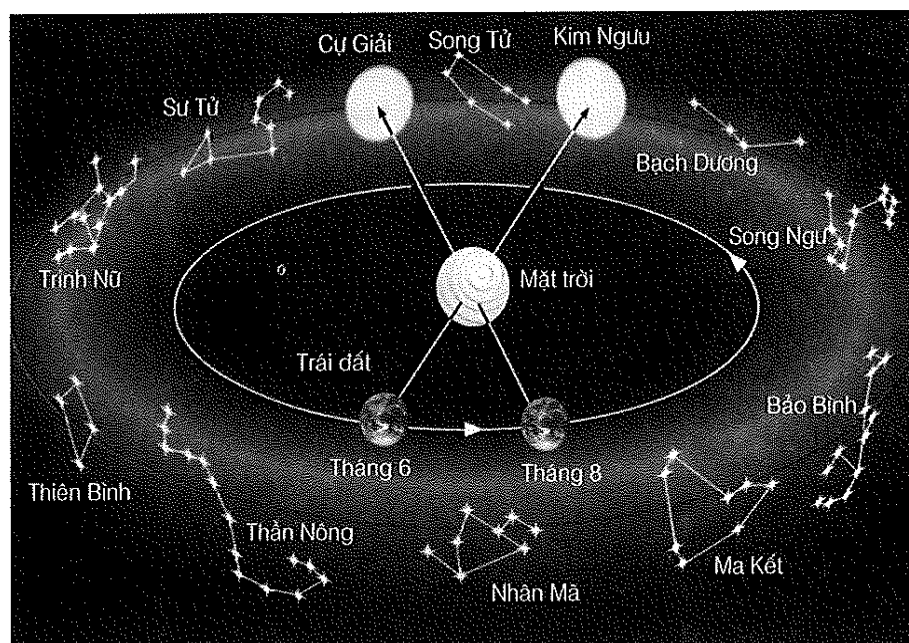
Trải qua hàng ngàn năm, các nhà thiên văn đã nhận thức được rằng Mặt Trời không chỉ có mọc và lặn mà còn nhiều biểu hiện hơn nữa. Nó từ từ thay đổi vị trí trên thiên cầu, mỗi ngày dịch chuyển khoảng 1° về phía đông so với các sao. Rất hợp lý, người cổ đại cho điều này có nghĩa là Mặt Trời đang quay quanh Trái Đất một cách chậm chạp, mất một khoảng thời gian mà chúng ta gọi là một năm (year) để thực hiện trọn một vòng tròn. Ngày nay, lẽ tất nhiên, chúng ta biết rằng chính là Trái Đất đi chung quanh Mặt Trời, song hiệu quả vẫn như nhau: Vị trí của Mặt Trời trên bầu trời thay đổi hết ngày này sang ngày khác. Chúng ta có một kinh nghiệm tương tự khi chúng ta bước đi vòng quanh một đồng lửa trại vào ban đêm; chúng ta thấy các ngọn lửa lần lượt hiện ra ngay trước mặt mỗi người ngồi xung quanh đồng lửa.

Đường đi biểu kiến của Mặt Trời vòng quanh thiên cầu mỗi năm được gọi là **Đường Hoàng Đạo** (ecliptic). Do chuyển động của nó trên đường hoàng đạo, Mặt Trời mọc trễ khoảng 4 phút mỗi ngày so với các sao. Trái Đất phải thực hiện chỉ hơn một vòng quay một chút (so với các sao) để Mặt Trời mọc lên trở lại. Khi nhiều tháng trời trôi qua và nhìn ngắm Mặt Trời từ nhiều vị trí khác nhau trên quỹ đạo, chúng ta thấy nó chiếu vào những sao khác nhau trên nền trời, hoặc ít ra sẽ thấy như thế, nếu như chúng ta có thể thấy các sao vào ban ngày. Trong thực tế, chúng ta phải suy luận những sao nào nằm phía sau hay bên ngoài Mặt Trời bằng cách quan sát các sao có thể thấy được ở hướng đối nghịch vào ban đêm. Sau một năm, khi Trái Đất đã kết thúc chuyến đi vòng quanh Mặt Trời, Mặt Trời sẽ hiện ra để hoàn tất một vòng tròn của bầu trời dọc theo đường hoàng đạo.

Đường hoàng đạo không trùng với xích đạo trời mà nghiêng với nó một góc khoảng 23° . Nói cách khác, đường đi hàng năm hay niên đạo của Mặt Trời trong bầu trời không song song với xích đạo Trái Đất. Điều này là do trục quay của hành

tinh chúng ta bị nghiêng khoảng 23° so với mặt phẳng của đường hoàng đạo. Bị nghiêng theo cách này chẳng phải là điều lạ thường đối với các hành tinh. Thiên Vương Tinh (Uranus) và Diêm Vương Tinh (Pluto) thực sự bị nghiêng nhiều

CHÒM SAO TRÊN ĐƯỜNG HOÀNG ĐẠO	NGÀY THÁNG MẶT TRỜI ĐI QUA NÓ	CHÒM SAO TRÊN ĐƯỜNG HOÀNG ĐẠO	CHÒM SAO TRÊN ĐƯỜNG HOÀNG ĐẠO
Ma Kết	21/01 – 16/02	Sư Tử	10/08 – 16/09
Bảo Bình	16/02 – 11/03	Trình Nữ	16/09 – 31/10
Song Ngư	11/03 – 18/04	Thiên Bình	31/10 – 23/11
Bạch Dương	18/04 – 13/05	Thần Nông	23/11 – 29/11
Kim Ngưu	13/05 – 22/06	Xà Phu	29/11 – 18/12
Song Tử	22/06 – 21/07	Nhân Mã	18/12 – 21/01
Cự Giải	21/07 – 10/08		



Các chòm sao trên đường hoàng đạo. Khi Trái Đất quay chung quanh Mặt Trời, chúng ta ngồi trên "sàn Trái Đất" và thấy Mặt Trời di chuyển quanh bầu trời. Quỹ đạo trong bầu trời mà Mặt Trời xuất hiện để đi quanh chúng ta trong quá trình một năm được gọi là đường hoàng đạo. Quỹ đạo này (giống như tất cả các quỹ đạo trong bầu trời) đi xuyên qua một tập hợp các chòm sao; người cổ đại nghĩ rằng các chòm sao này, mà Mặt Trời (và Mặt Trăng và các hành tinh) "ghé qua thăm viếng", phải là đặc biệt và kết hợp chúng lại thành hệ thống chiêm tinh của họ (xem Phần 1.3). Lưu ý rằng vào bất kỳ thời điểm nhất định nào trong năm, một số chòm sao gặp đường hoàng đạo đi ngang qua được nhìn thấy trong bầu trời đêm và các chòm sao khác thì ở trong bầu trời ngày và do vậy bị che khuất bởi sự sáng chói của Mặt Trời. Như chúng ta thảo luận sau đây trong chương này, ngày nay các chòm sao trên đường hoàng đạo trong đó chúng ta "phát hiện" ra mỗi tháng Mặt Trời không còn song song với các dấu hiệu mà các nhà chiêm tinh sử dụng.

đến nỗi chúng quay quanh Mặt Trời “ở về phía của chúng”. Độ nghiêng của đường hoàng đạo là nguyên nhân mà Mặt Trời di chuyển về hướng Bắc và hướng Nam trên bầu trời khi các mùa thay đổi. Trong Chương 3 chúng ta sẽ thảo luận về sự diễn tiến của các mùa.

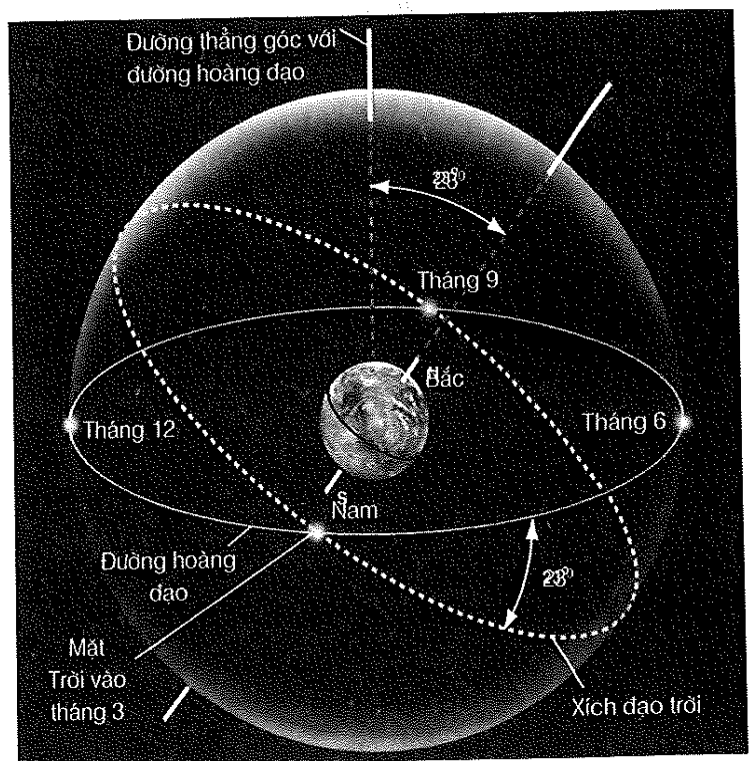
❖ ĐỊNH TINH (SAO CỐ ĐỊNH) VÀ DU TINH (SAO LANG THANG)

Mặt Trời không phải là vật thể duy nhất di chuyển trong số các định tinh. Mặt Trăng và mỗi một trong năm hành tinh nhìn thấy được bằng mắt – Thủy Tinh (Mercury), Kim Tinh (Venus), Hỏa Tinh (Mars), Mộc Tinh (Jupiter) và Thổ Tinh (Saturn) – cũng thay đổi dần vị trí của chúng từ ngày này qua ngày khác. Trong chỉ một ngày, Mặt Trăng và các hành tinh đều mọc và lặn khi Trái Đất quay, Mặt Trời và các sao cũng mọc và lặn. Nhưng giống như Mặt Trời, chúng có những chuyển động độc lập đối với các

sao, chồng lên sự quay hàng ngày của thiên cầu. Khi chú ý những chuyển động này, người Hy Lạp cách đây 2000 năm đã phân biệt giữa những gì họ gọi là các định tinh, đó là những sao giữ nguyên các mẫu hình cố định đối với chính bản thân chúng qua suốt nhiều thế hệ, và các sao lang thang, hay các hành tinh. Từ “planet” (hành tinh), thực ra, có nghĩa là “kẻ lang thang” trong tiếng Hy Lạp.

Ngày nay chúng ta không coi Mặt Trời và Mặt Trăng là những hành tinh, tuy nhiên người cổ đại áp dụng thuật ngữ này cho tất cả bảy vật thể di chuyển trong bầu trời. Phần lớn thiên văn học cổ đại dành cho việc quan sát và dự đoán những chuyển động của các thiên thể “lang thang” này. Mặt Trăng, là thiên thể láng giềng gần nhất của Trái Đất, có chuyển động biểu kiến nhanh nhất; nó hoàn tất một chuyến đi vòng quanh bầu trời trong khoảng một tháng. Để làm điều này, Mặt Trăng di chuyển khoảng

Độ nghiêng thiên cầu. Xích đạo trời nghiêng khoảng 23° so với đường hoàng đạo. Do đó, người dân Bắc Mỹ và châu Âu thấy Mặt Trời ở phía Bắc của xích đạo trời và ở trên cao trong bầu trời vào tháng 6, và ở phía Nam của xích đạo trời và ở dưới thấp trong bầu trời vào tháng 12.



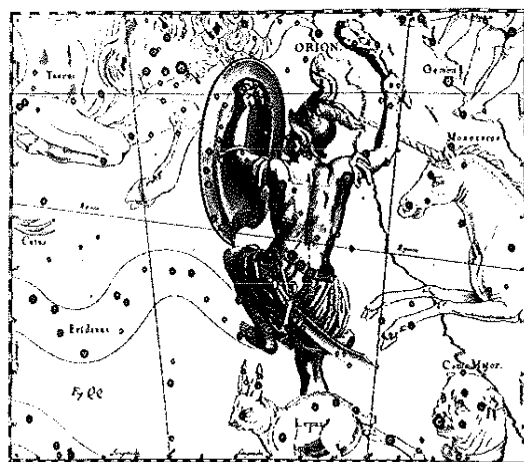
12°, hay gấp 24 lần chiều rộng biểu kiến của riêng nó trên bầu trời, mỗi ngày.

Các đường đi riêng biệt của Mặt Trăng và các hành tinh trong bầu trời đều nằm gần sát với đường hoàng đạo, tuy nhiên không chính xác ngay trên nó. Đó là bởi vì các đường đi của các hành tinh chung quanh Mặt Trời, và của Mặt Trăng chung quanh Trái Đất, đều gần như trên cùng một mặt phẳng, như thể chúng là những quỹ đạo trên một tờ giấy khổng lồ. Các hành tinh, Mặt Trời và Mặt Trăng do vậy lúc nào cũng được nhận ra trên bầu trời nằm trong một dãy hẹp có độ rộng 18° gọi là hoàng đạo (zodiac) tập trung trên đường hoàng đạo. (Căn gốc của thuật ngữ này “zodiac” (hoàng đạo) cùng một gốc của từ “Zoo” (vườn bách thú) và có nghĩa là một tập hợp các con thú: nhiều mẫu hình của các sao nằm trong cung hoàng đạo gọi cho người cổ đại nhớ về những con vật, chẳng hạn như con cá hay con dê).

Cách thức mà hành tinh xuất hiện để di chuyển trong bầu trời khi các tháng ngày trôi qua là một sự kết hợp các chuyển động thực sự của chúng cộng với sự chuyển động của Trái Đất quanh Mặt Trời; kết quả là các đường đi của chúng khá phức tạp. Như chúng ta sẽ thấy, sự phức tạp này đã thu hút và thách thức các nhà thiên văn học hàng thế kỷ.

✧ CÁC CHÒM SAO

Nền tảng dành cho những sự chuyển động của các “gã lang thang” trong bầu trời là vòm sao. Nếu trời không có mây và chúng ta đứng trên một cánh đồng cỏ bằng phẳng không có vật gì ngăn cản tầm nhìn, chúng ta có thể thấy khoảng 3000 sao bằng mắt thường. Để tìm thấy đường đi của chúng ở gần một đám



Chòm Tráng sĩ: Chòm sao Lạp Hộ (Orion) vào mùa đông, giống hình người thợ săn, theo như Hevelius mô tả trong cuốn Atlas thế kỷ XVII.

đông đến như thế, những người cổ đại tìm ra những nhóm sao tạo thành một số mô hình quen thuộc hoặc (hiếm hoi hơn) giống một vật nào đó mà họ biết. Mỗi nền văn minh phát hiện ra những mô hình riêng trong các sao, rất giống với cuộc kiểm nghiệm Rorschach hiện đại, trong đó bạn được hỏi để tìm ra những mô hình hay các hình ảnh trong một tập hợp các dấu mực. Người Trung Hoa, người Ai Cập và người Hy Lạp cổ đại, trong số những dân tộc khác, phát hiện ra các nhóm sao hay những *chòm sao* của riêng họ có ích trong việc định hướng và trong việc lưu truyền vốn kiến thức cho con cháu.

Bạn có thể làm quen với một số mẫu sao hay mô hình sao mà ngày nay chúng ta vẫn còn sử dụng, chẳng hạn như chòm Đại Hùng hay Gấu Lớn (Big Dipper) và Tiểu Hùng hay Gấu Nhỏ (Little Dipper) hay chòm Lạp Hộ (Orion) người thợ săn, với dây đai 3 sao nổi bật. Tuy nhiên, nhiều sao mà chúng ta thấy được không phải là bộ phận của một mẫu hình sao riêng biệt nào cả, và kính viễn vọng có thể làm lộ ra hàng triệu sao thật mờ

nhật yếu ớt khó thấy bằng mắt thường. Vì vậy, trong những thập niên đầu thế kỷ XX, các nhà thiên văn thuộc nhiều quốc gia quyết định thành lập một hệ thống toàn cầu để sắp xếp bầu trời.

Ngày nay, chúng ta sử dụng thuật ngữ *chòm sao* (constellation) có nghĩa là một trong số 88 khu vực trong đó chúng ta phân chia bầu trời. Các biên giới hiện đại giữa các chòm sao là những đường tưởng tượng trong bầu trời chạy theo hướng bắc – nam và đông – tây, để cho mỗi vị trí trên bầu trời rơi vào một chòm sao riêng biệt. Tất cả các chòm sao được liệt kê trong Phụ Lục 12. Bất cứ khi nào có thể, chúng ta đã đặt tên mỗi chòm sao hiện đại theo bản dịch tiếng Latin của một trong những mẫu hình sao của người cổ Hy Lạp. Do đó, chòm sao Lạp Hộ (Orion) đại loại là một ô trên bầu trời, bao gồm, những sao tạo thành hình ảnh một người thợ săn. Một số người sử dụng thuật ngữ “quần tinh” hay “chùm sao” (asterism) để mô tả một mẫu hình sao đặc biệt đáng chú ý nằm trong một chòm sao (hoặc, đôi khi, những phần kéo dài của nhiều chòm sao). Thí dụ, Big Dipper là một quần tinh nằm trong chòm sao Đại Hùng (Ursa Major hay Big Bear).

Rất có khả năng, chính người Hy Lạp không tự đặt tên các nhóm sao bởi vì chúng trông giống như con người hay vật thể thực tế. Đúng ra, họ đặt tên các khu vực của bầu trời để tôn vinh những nhân vật trong thần thoại và sau đó gán ghép những tượng sao (hay hình thể sao) với các con vật và người phù hợp.

1.2 THIÊN VĂN HỌC CỔ ĐẠI

Phần lớn nền văn minh phương Tây hiện đại xuất phát bằng cách này hay

cách khác từ các ý tưởng của người Hy Lạp và La Mã cổ đại, và điều này cũng đúng với thiên văn học. Tuy nhiên, nền văn hoá khác cũng phát triển những hệ thống tinh vi để quan sát và giải thích bầu trời.

♦ THIÊN VĂN HỌC TRÊN THẾ GIỚI

Các nhà thiên văn Babylon, Assyri, và cổ Ai Cập biết được độ dài gần đúng của năm. Người Ai Cập cách đây 3000 năm, áp dụng một loại lịch dựa trên một năm 365 ngày. Họ theo dõi cẩn thận thời điểm mọc của ngôi sao sáng Thiên Lang (Sirius) trên bầu trời trước lúc rạng đông, mà chu kỳ của nó diễn ra tình cờ liên quan với lũ lụt của con sông Nile. Người Trung Hoa cũng có một thứ lịch xác định độ dài của năm gần với khoảng thời gian như vậy. Họ ghi chép về sao chổi, sao băng, và các vết đen trên Mặt Trời. Về sau, các nhà thiên văn Trung Hoa giữ gìn cẩn thận các ghi chép về “các sao khách” (guest stars) – những sao mà bình thường quá mờ nhạt nên khó thấy, nhưng bất ngờ lóe sáng để trở thành nhìn thấy được bằng mắt trong một vài tuần hay một vài tháng. Chúng ta vẫn còn sử dụng một số các ghi chép này trong việc nghiên cứu các sao bùng nổ cách đây đã lâu.

Nền văn minh của người Maya ở Trung Mỹ phát triển một loại lịch tinh vi dựa trên hành tinh Kim (Venus), và họ thực hiện các cuộc quan sát thiên văn từ các địa điểm dành cho mục đích này cách đây một ngàn năm. Người Polynesia biết lái tàu thuyền đi bằng các sao qua hàng trăm cây số (km) của đại dương bao la, do đó cho phép họ định cư ở những hòn đảo mới cách xa nơi họ bắt đầu khởi hành.

Trên quần đảo Anh, trước khi chữ viết được sử dụng phổ biến, người cổ đại

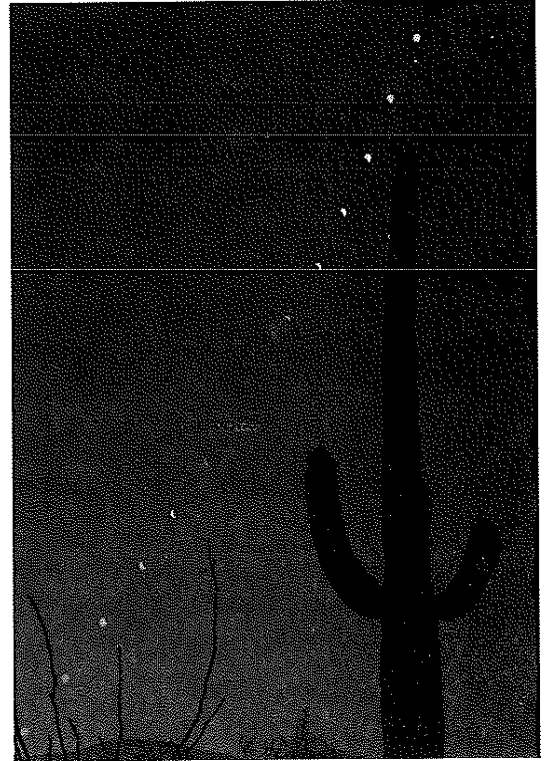
sắp xếp các tảng đá để theo dõi những chuyển động của Mặt Trời và Mặt Trăng. Chúng ta còn phát hiện ra một số vòng tròn đá khổng lồ mà họ xây dựng cho mục đích này, có niên đại từ năm 2800 trước Công nguyên (2800 B.C.). Vòng tròn đá nổi tiếng nhất trong số đó là Cự Thạch (Stone-henge), được thảo luận ở Chương 3.

♦ VŨ TRỤ HỌC CỦA NGƯỜI HY LẠP VÀ LA MÃ CỔ ĐẠI

Quan niệm về vũ trụ của chúng ta – cấu trúc căn bản và nguồn gốc của nó – được gọi là *vũ trụ học* (cosmology), một từ ngữ Hy Lạp. Trước khi phát minh ra kính viễn vọng, loài người đã dựa vào những chứng cứ đơn thuần của các giác quan đối với hình ảnh của vũ trụ. Người cổ đại phát triển các môn vũ trụ học kết hợp cái nhìn trực tiếp của họ về bầu trời với sự đa dạng phong phú của các biểu tượng triết học và tôn giáo.

Tối thiểu là 2000 năm trước thời Columbus, những người có học vấn ở khu vực phía đông Địa Trung Hải đã biết Trái Đất tròn. Niềm tin vào một Trái Đất hình cầu có thể đã phát sinh từ thời đại của Pythagoras, triết gia và nhà toán học sống cách đây 2500 năm. Ông tin rằng những vòng tròn và hình cầu là “những hình dạng hoàn hảo” và gợi ý rằng Trái Đất vì thế có lẽ là một hình cầu. Để chứng minh rằng các vị thần thích hình cầu, người Hy Lạp nêu lên sự kiện rằng Mặt Trăng là một hình cầu, bằng cách sử dụng chứng cứ mà chúng ta sẽ mô tả sau đây.

Các tác phẩm của Aristotle (384 – 322 trước Công nguyên), vị thái phó của Alexander Đại đế, tổng kết nhiều ý tưởng của thời đại ông. Chúng mô tả sự tiến



Cái bóng tròn của trái đất. Hiện tượng nguyệt thực (lunar eclipse), với Mặt Trăng di chuyển vào và ra khỏi cái bóng của Trái Đất. Hãy chú ý hình dạng cong của cái bóng – bằng chứng về một Trái Đất hình cầu đã được công nhận kể từ thời thượng cổ.

triển của các *tuần trăng* (Moon's phases) – hình dạng biến đổi của nó – như thế nào là do việc quan sát những phần khác nhau của bán cầu được chiếu sáng của Mặt Trăng trong một tháng (xem Chương 3). Aristotle cũng hiểu rằng Mặt Trời phải ở cách Trái Đất xa hơn Mặt Trăng, bởi vì thỉnh thoảng Mặt Trăng đi ngang qua ngay giữa Trái Đất và Mặt Trời và tạm thời che khuất Mặt Trời khỏi tầm nhìn. Chúng ta gọi điều đó là hiện tượng *nhật thực* (solar eclipse) (xem Chương 3).

Aristotle nêu lên hai luận thuyết thuyết phục rằng Trái Đất phải tròn. Thứ nhất là sự kiện rằng khi Mặt Trăng đi vào hay ló ra khỏi bóng của Trái Đất trong khi nguyệt thực (an eclipse of the Moon), hình dạng của cái bóng hiện trên Mặt Trăng

LÀM SAO CHÚNG TA BIẾT TRÁI ĐẤT TRÒN?

Thêm vào hai cách thức (từ các tác phẩm của Aristotle) đã thảo luận trong chương này, bạn cũng có thể lý luận như sau:

1. Chúng ta hãy chăm chú nhìn một chiếc tàu rời cảng và đi ra khoảng xa trong một ngày trời trong. Trên Trái Đất bằng phẳng, bạn sẽ chỉ thấy chiếc tàu càng lúc càng nhỏ hơn khi nó đi xa thêm. Nhưng đó không phải là những gì chúng ta thực sự quan sát. Ngược lại, con tàu chìm xuống dưới đường chân trời, với thân tàu biến mất trước tiên, rồi cột buồm vẫn còn thấy trong một hồi lâu. Tất nhiên chỉ còn đỉnh cột buồm là có thể thấy được, vì con tàu đi theo độ cong của Trái Đất; sau đó cuối cùng con tàu biến mất hoàn toàn.

2. Tàu không gian con thoi (Space Shuttle) bay vòng quanh Trái Đất cứ mỗi lần là 90 phút hay tương đương như thế. Các tấm hình chụp từ Tàu Con Thoi và các vệ tinh khác chứng tỏ rằng Trái Đất tròn từ mọi phía.

3. Giả sử bạn kết giao với một người bạn trên mỗi múi giờ (khu vực nằm giữa hai kinh tuyến) của Trái Đất. Bạn có thể gọi điện thoại cho tất cả những người ấy trong cùng một giờ và hỏi, "Mặt Trời đang ở đâu?" Trên Trái Đất phẳng, mỗi người gọi điện sẽ cho bạn rõ ràng cùng một câu trả lời. Nhưng trên Trái Đất tròn, bạn sẽ nhận thấy rằng đối với một số người, Mặt Trời sẽ ở trên cao trong bầu trời, trong lúc đối với một số người khác nó sẽ đang mọc, hay đang lặn, hay hoàn toàn ra khỏi tầm nhìn.

thì lúc nào cũng tròn. Chỉ có một vật thể hình cầu mới lúc nào cũng tạo ra một cái bóng hình tròn. Nếu Trái Đất là một cái đĩa tròn, thí dụ, có thể sẽ có một số tình huống khi mà ánh sáng mặt trời chiếu vào cạnh của nó và cái bóng của nó trên Mặt Trăng sẽ là một đường thẳng.

Về luận thuyết thứ hai, Aristotle giải thích rằng những người lữ hành đi về hướng nam một khoảng cách đáng kể thì có thể quan sát các sao không nhìn thấy được khi ở xa hơn về phương bắc. Và độ cao của sao Bắc Đẩu – sao gần thiên cực bắc nhất – sẽ giảm khi người lữ hành di chuyển về phía nam. Trên Trái Đất phẳng, mọi người sẽ thấy cùng những ngôi sao trên đỉnh đầu. Sự giải thích duy nhất có thể là người lữ hành phải di chuyển trên một bề mặt cong trên Trái Đất, trình bày các sao từ một góc khác nhau.

Một nhà tư tưởng táo bạo người Hy Lạp, Aristarchus of Samos (310 – 230 trước Công nguyên), thậm chí đề nghị, trước Copernicus rất lâu, rằng Trái Đất

đang di chuyển chung quanh Mặt Trời, nhưng Aristotle và hầu hết các học giả Hy Lạp cổ đại phản đối ý tưởng này. Một trong những nguyên nhân khiến họ kết luận như vậy là do vì họ hiểu rằng nếu Trái Đất di chuyển quanh Mặt Trời, họ sẽ quan sát các sao từ các vị trí khác nhau dọc theo quỹ đạo của Trái Đất. Điều đó sẽ có nghĩa là các phương hướng biểu kiến của các sao ở gần trên bầu trời sẽ thay đổi trông năm so với các sao ở xa. (Cùng một cách tương tự, chúng ta thấy những vật thể cận cảnh có vẻ di chuyển so với một hậu cảnh hay phong cảnh ở xa hơn bất cứ khi nào bạn đang chuyển động. Khi chúng ta đi xe lửa, cây cối ở cận cảnh có vẻ dịch chuyển vị trí của chúng so với các ngọn đồi xa khi xe lửa chạy qua. Một cách không cố ý, chúng ta sử dụng hiện tượng này cho mọi thời điểm để ước tính khoảng cách chung quanh ta).

Sự dịch chuyển biểu kiến về phương hướng của một vật thể như là kết quả của sự chuyển động của người quan sát

được gọi là *thị sai* (parallax). Chúng ta gọi sự dịch chuyển trong phương hướng biểu kiến của một ngôi sao do sự chuyển động theo quỹ đạo của Trái Đất là *thị sai của sao* hay *tuế sai của sao* (stellar parallax). Người Hy Lạp đã tập trung nỗ lực để quan sát thị sai của sao, thậm chí nhận được sự giúp đỡ của các chiến binh Hy Lạp với thị lực rõ nhất, nhưng không có kết quả. Các sao sáng hơn (và có lẽ là gần hơn) không có vẻ gì dịch chuyển khi họ quan sát chúng vào mùa xuân và rồi quan sát lại vào mùa thu.

Điều này có nghĩa là hoặc Trái Đất không di chuyển hoặc các sao phải ở xa kinh khủng đến mức độ dịch chuyển thị sai cực kỳ nhỏ không thể đo được. Một vũ trụ ở qui mô khổng lồ như thế đòi hỏi một sự nhảy vọt của trí tưởng tượng mà hầu hết các tư tưởng gia cổ đại không được chuẩn bị để thực hiện, vì thế họ rút lui vào chỗ trú ẩn an toàn của quan niệm Địa Tâm, một quan niệm chế ngự tư tưởng Phương Tây trong gần hai thiên niên kỷ.

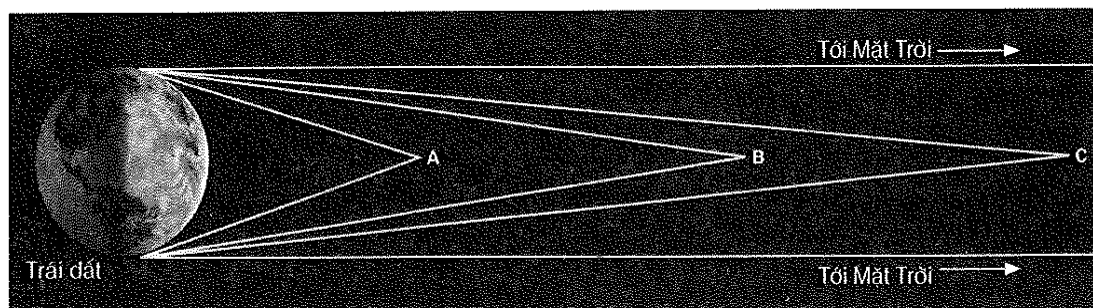
♦ PHƯƠNG PHÁP DO TRÁI ĐẤT CỦA ERATOSTHENES

Người Hy Lạp không chỉ biết Trái Đất tròn, mà họ còn có thể đo được kích thước của nó. Sự xác định tương đối chính

xác đầu tiên về đường kính của Trái Đất được Eratosthenes thực hiện vào khoảng năm 200 trước Công nguyên bởi Eratos-thenes, một người Hy Lạp sống ở Alexandria, Ai Cập. Phương pháp của ông là một phương pháp hình học, dựa trên những sự quan sát về Mặt Trời.

Mặt Trời cách xa chúng ta đến nỗi tất cả mọi tia sáng chiếu vào hành tinh chúng ta đi tới chúng ta về cơ bản theo những đường thẳng song song. Để hiểu tại sao, hãy xem hình vẽ. Lấy một nguồn sáng gần Trái Đất, thí dụ tại vị trí A. Các tia sáng của nó chiếu vào những phần khác nhau của Trái Đất theo các đường phân kỳ. Từ một nguồn sáng tại B, hay tại C, xa hơn, thì góc hình thành giữa các tia sáng chiếu vào những phần đối nhau của Trái Đất nhỏ hơn. Nguồn sáng càng xa, góc giữa các tia sáng càng nhỏ. Đối với một nguồn xa vô tận, các tia đi theo những đường thẳng song song.

Dĩ nhiên, Mặt Trời không ở xa vô tận, nhưng các tia sáng chiếu vào Trái Đất từ một vị trí trên Mặt Trời lệch với nhau bằng một góc nhỏ quá mức khó mà quan sát được bằng mắt thường. Kết quả là, nếu mọi người trên khắp Trái Đất, có thể nhìn thấy Mặt Trời, phải chỉ vào nó, những ngón tay của họ về cơ bản đều song song với nhau. (Cùng một điều đó cũng đúng đối với các hành tinh và các



Các tia sáng từ không gian: Một vật thể càng xa, các tia sáng xuất phát từ nó càng gần như song song.

sao, một ý tưởng mà chúng ta sẽ sử dụng trong cuộc thảo luận về việc các kính viễn vọng hoạt động ra sao).

Eratosthenes để ý rằng vào ngày đầu mùa hạ tại Syene, Ai Cập (gần Aswan hiện nay), ánh sáng mặt trời chiếu tới đáy một cái giếng thẳng đứng ngay giữa trưa. Điều này chứng tỏ rằng Mặt Trời nằm ngay trên cái giếng (rằng Syene đang nằm trên đường thẳng từ tâm Trái Đất tới Mặt Trời).

Tại thời gian và ngày tương ứng ở Alexandria, ông quan sát thấy Mặt Trời không ở ngay trên đỉnh đầu nhưng mà hơi chênh về phía nam của thiên đỉnh, để cho các tia sáng của nó cùng với đường thẳng đứng tạo thành một góc bằng khoảng $1/50$ của vòng tròn (7°). Vì các tia sáng Mặt Trời chiếu vào hai thành phố thì song song với nhau, tại sao sẽ không tạo ra cùng một góc độ với bề mặt Trái Đất? Eratosthenes lý luận rằng độ cong của Trái Đất tròn có nghĩa là “sự thẳng đứng” không phải y như nhau ở hai thành phố. Điều này, ông nhận thức, có thể được sử dụng để đo xem Trái Đất lớn đến mức nào.

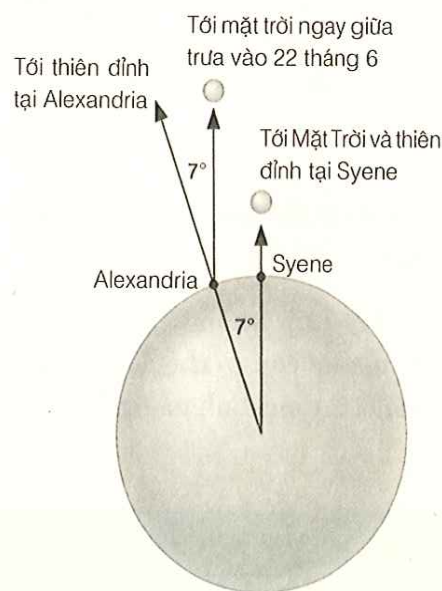
Ông hiểu ra, Alexandria phải nằm về hướng bắc của Syene và bằng $1/50$ của chu vi Trái Đất. Alexandria được đo là 5000 *stadia* về phía bắc của Syene (*stadium* – số nhiều là *stadia* – là đơn vị đo chiều dài của Hy Lạp, xuất phát từ độ dài của đường đua trong vận động trường (*stadium*)). Do đó Eratosthenes nhận thấy rằng chu vi của Trái Đất phải là 50×5.000 , hay bằng 250.000 *stadia*.

Không thể đánh giá đúng đắn sự chính xác của kết luận của Eratosthenes bởi vì có sự nghi ngờ về việc cái nào trong số nhiều loại đơn vị *stadia* của Hy Lạp mà ông sử dụng coi như là đơn vị

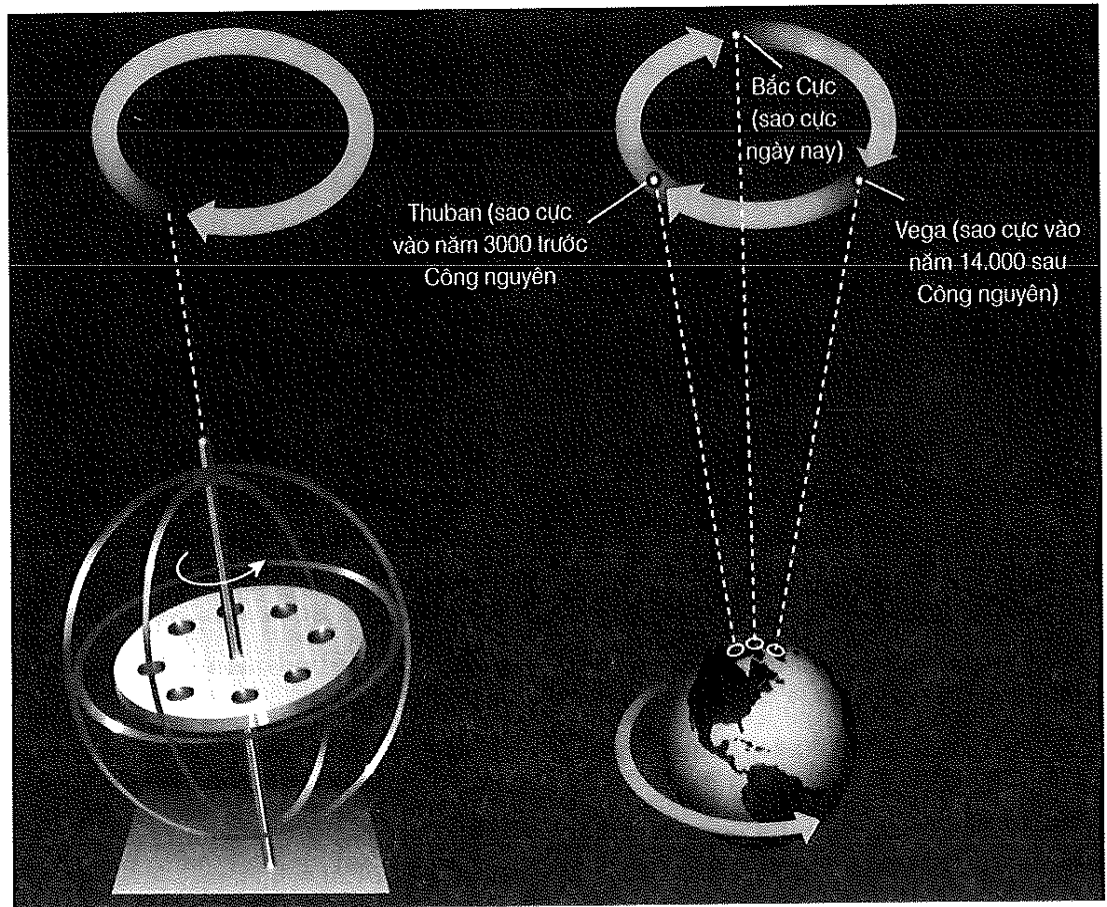
đo khoảng cách của ông. Nếu đó là vận động trường Olympic thông thường, thì kết quả của ông là lớn hơn khoảng 20%. Theo một sự diễn giải khác, ông đã dùng một stadium bằng khoảng $1/6$ km, trong trường hợp này con số của ông nằm trong khoảng 1% của trị số chính xác 40.000 km. Thậm chí nếu như số đo của ông không đúng, thì thành công của ông về việc đo đặc kích thước hành tinh chúng ta bằng cách chỉ sử dụng những cái bóng, ánh sáng mặt trời là một trong những thành quả trí tuệ vĩ đại của nhân loại.

✧ HIPPARCHUS

Có lẽ nhà thiên văn học vĩ đại nhất của thời thượng cổ tiền Thiên Chúa giáo là Hipparchus, sinh ra tại Nicaea ở nơi mà ngày nay là Thổ Nhĩ Kỳ. Ông xây dựng một đài thiên văn trên hòn đảo



Eratosthenes đo kích thước Trái Đất: Các tia Mặt Trời đi tới song song, nhưng do bề mặt của Trái Đất cong, một tia sáng tại Syene đi thẳng xuống, trong khi một tia sáng tại Alexandria tạo thành một góc 7° với đường thẳng đứng. Thực tế, điều đó có nghĩa là tại Alexandria, bề mặt Trái Đất đã cong đi so với Syene khoảng 7° trên 360° , hay $1/50$ của cả đường tròn. Do đó, khoảng cách giữa hai thành phố phải là $1/50$ chu vi của Trái Đất.



Sự tiến động: Giống như cái trục của một con quay đang quay nhanh lắc lư từ từ trong một đường tròn, trục của Trái Đất lắc lư trong một chu kỳ 26.000 năm. Ngày nay, thiên cực bắc nằm gần sao Bắc Đẩu, nhưng cách đây khoảng 5.000 năm, nó nằm gần một sao gọi là Thuban, và vào năm 14.000 sau công nguyên nó sẽ gần với sao Vega (Chức Nữ) nhất.

Rhodes trong thời gian khoảng năm 150 trước Công nguyên, khi Cộng hòa La Mã đang gia tăng ảnh hưởng khắp vùng Địa Trung Hải. Ở đó, ông đo đạc chính xác, đến mức có thể được, những phương hướng của các vật thể trong bầu trời, biên soạn ra một mục lục sao chủ yếu với khoảng 850 đề mục. Ông phác họa những sự phối hợp thiên thể của mỗi ngôi sao, phân biệt vị trí của nó trên bầu trời, y như chúng ta có thể xác định vị trí của một điểm trên Trái Đất bằng cách cho biết vĩ độ và kinh độ của nó. Ông cũng phân chia các sao thành các *độ lớn* (cấp sao), theo sự chiếu sáng biểu kiến của chúng. Ông gọi những sao sáng nhất

là “những sao độ lớn hạng nhất”, nhóm sáng nhất kế tiếp là “các sao độ lớn hạng nhì”, và cứ thế tiếp tục. Hệ thống này, trong hình thức đã được sửa đổi, ngày nay vẫn còn giữ nguyên công dụng.

Bằng cách quan sát các sao và so sánh những dữ liệu của mình với các cuộc quan sát trước kia. Hipparchus thực hiện được một trong những khám phá đáng chú ý nhất của ông: vị trí trong bầu trời của thiên cực bắc đã chuyển đổi qua một thế kỷ rưỡi trước. Hipparchus suy luận một cách chính xác rằng điều đó đã xảy ra không chỉ trong giai đoạn trải qua những cuộc quan sát của ông, mà thực tế còn xảy ra mọi lúc: phương

hướng mà quanh đó Mặt Trời có vẻ quay tròn thay đổi liên tục.

Bạn sẽ nhớ lại từ Phần 1.1 rằng thiên cực bắc chỉ là sự chiếu của Cực Bắc của Trái Đất vào bầu trời. Nếu thiên cực bắc đang lắc lư chung quanh, thì Trái Đất tự nó phải đang lắc lư. Ngày nay chúng ta hiểu rằng hướng mà trong đó trục Trái Đất chỉ thay đổi chậm chạp nhưng đều đặn, một chuyển động mà chúng ta gọi là *sự tiến động* (precession). Nếu như đã từng chăm chú nhìn con quay lắc lư, bạn đã quan sát một loại chuyển động tương tự. Trục của con quay thể hiện một đường dạng hình nón, vì sức hút của Trái Đất cố làm ngã nó.

Bởi vì hành tinh chúng ta không phải là một khối cầu chính xác, nhưng phình ra một chút ở xích đạo, lực hút của Mặt Trời và Mặt Trăng khiến cho nó lắc lư như một con quay. Phải mất khoảng 26.000 năm để cho trục Trái Đất hoàn tất một chu kỳ tiến động. Hậu quả của chuyển động này, điểm mà trục Trái Đất chỉ vào bầu trời thay đổi khi thời gian trôi đi. Trong lúc Bắc Cực là sao gần nhất với thiên cực bắc ngày nay (nó sẽ đạt tới điểm gần nhất khoảng năm 2100 sau Công nguyên), sao Chức Nữ (Vega) trong chòm sao Thiên Cầm (Lyra) sẽ là sao Bắc Cực trong năm 14.000 sau Công nguyên.

♦ PTOLEMY

Nhà thiên văn vĩ đại sau cùng của thời thượng cổ là Claudius Ptolemy (hay Ptolemaeus), nổi tiếng ở Alexandria của người La Mã vào khoảng năm 140 sau Công nguyên. Ông biên soạn một bộ sưu tập khổng lồ về kiến thức thiên văn học, mà ngày nay được gọi theo tên Ả Rập của nó, *Almagest* (nghĩa là "Vĩ Đại Nhất").

Tác phẩm *Almagest* không dành riêng cho công trình của Ptolemy, vì nó bao gồm sự bàn luận về các thành quả của thiên văn học của quá khứ, chủ yếu là về các thành công của Hipparchus. Thực vậy, nó là nguồn thông tin chính yếu của chúng ta về công trình của Hipparchus và các nhà thiên văn Hy Lạp khác.

Sự đóng góp quan trọng nhất của Ptolemy là sự trình bày mang tính hình học về hệ mặt trời. Sự trình bày này tiên đoán được các vị trí của các hành tinh đối với bất kỳ ngày giờ nhất định nào đó. Hipparchus, không có đủ dữ kiện trong tay để tự giải quyết vấn đề, nhưng đã tích lũy các tài liệu quan sát để cho hậu thế sử dụng. Ptolemy bổ sung thêm tài liệu này bằng những quan sát mới của chính mình và tạo ra một mô hình vũ trụ kéo dài hơn một ngàn năm, cho tới thời đại của Copernicus.

Yếu tố phức tạp trong sự giải thích những chuyển động của các hành tinh là sự di chuyển lệch hướng biểu kiến (apparent wanderings) của chúng trong bầu trời do sự kết hợp của chuyển động riêng của chúng với sự xoay tròn của Trái Đất theo quỹ đạo mang lại. Khi chúng ta theo dõi các hành tinh di chuyển từ vị trí thuận lợi của chúng ta trên Trái Đất đang quay, điều đó hơi giống như chăm chú nhìn một cuộc đua xe hơi từ bên trong một trong số những chiếc xe đó. Đôi khi những chiếc xe khác vượt lên trước, những lúc khác thì chúng ta lại vượt qua các xe đối thủ, khiến cho chúng có vẻ như chạy lùi lại phía sau một hồi lâu so với xe của chúng ta.

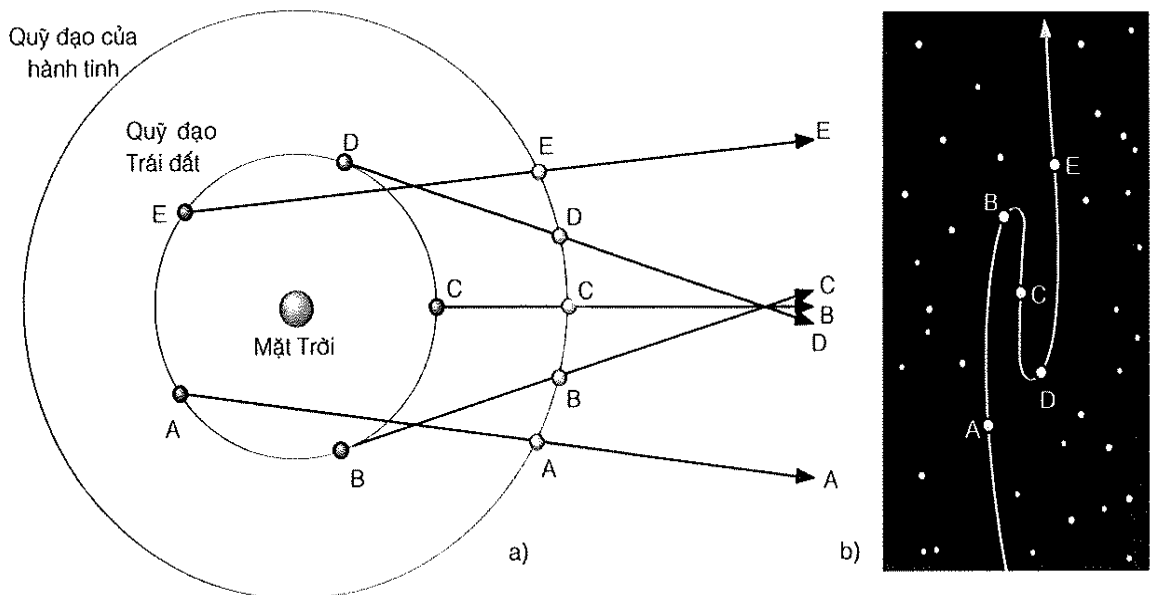
Hình a trang bên mô tả những chuyển động của Trái Đất và một hành tinh nằm cách Mặt Trời xa hơn, chẳng hạn như Hỏa Tinh (Mars) hay Mộc Tinh (Jupiter).

Trái Đất đi vòng quanh Mặt Trời theo cùng một hướng như hành tinh kia và gần như trong cùng một mặt phẳng, nhưng tốc độ quay theo quỹ đạo của nó nhanh hơn. Tóm lại, nó vượt qua hành tinh kia theo chu kỳ, giống như chiếc xe đua chạy nhanh hơn trên đường đua bên trong. Bức hình mô tả nơi chúng ta thấy hành tinh kia trong bầu trời tại các thời điểm khác nhau. Trong hình b bên dưới, chúng ta thấy đường đi biểu kiến sau cùng của hành tinh kia trong số các vì sao.

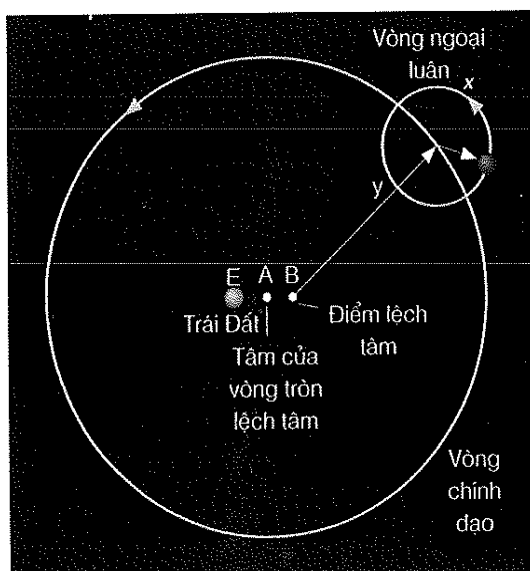
Thông thường, các hành tinh di chuyển về hướng đông trên bầu trời qua nhiều tuần và nhiều tháng khi chúng quay xung quanh Mặt Trời, tuy nhiên từ các vị trí B tới D trong bức hình, khi Trái Đất vượt qua hành tinh kia, hành tinh có vẻ dạt về phía sau, di chuyển theo hướng tây trên bầu trời. Cho dù nó thực sự đang di chuyển về phía đông, Trái Đất đi nhanh hơn đã vượt qua nó và hình như, từ viễn cảnh của chúng ta,

đang bỏ nó lại ở phía sau. Khi Trái Đất xoay tròn theo quỹ đạo về phía vị trí E, hành tinh kia lại thực hiện chuyển động biểu kiến về hướng đông trên bầu trời. Chuyển động biểu kiến tạm thời về hướng đông của một hành tinh khi Trái Đất xoay tròn giữa nó và Mặt Trời được gọi là *chuyển động nghịch* hay *chuyển động lùi* (retro-grade motion). Chuyển động về phía sau như thế, ngày nay, được chúng ta hiểu một cách dễ dàng hơn, chúng ta biết rằng Trái Đất là một trong số những hành tinh di động và không phải là trung tâm bất động của cả vũ trụ. Song Ptolemy phải đối mặt với một vấn đề phức tạp hơn nhiều về việc giải thích một chuyển động như thế khi kết luận rằng Trái Đất đứng yên.

Hơn nữa, bởi vì người Hy Lạp tin rằng chuyển động của các thiên thể phải là những vòng tròn, Ptolemy phải xây dựng một mô hình chỉ sử dụng các vòng tròn. Để thực hiện điều đó, ông cần hàng chục vòng tròn, một số vòng tròn



Chuyển động lùi của hành tinh bên ngoài quỹ đạo trái đất: (a) Các vị trí thực tế của hành tinh và Trái Đất. (b) Đường đi biểu kiến của hành tinh như được nhìn thấy từ Trái Đất đang quay, so với nền sao.



Hệ thống vũ trụ của Ptolemy: Mỗi hành tinh quay quanh một vòng tròn nhỏ gọi là ngoại luân (epicycle). Hệ thống này không đặt tâm một cách chính xác vào Trái Đất nhưng vào một điểm lệch tâm (equant). Người Hy Lạp cần tất cả sự phức tạp này để giải thích các chuyển động trong bầu trời, bởi vì họ tin rằng Trái Đất đứng yên.

này di chuyển chung quanh các vòng tròn khác, trong một cấu trúc phức tạp khiến cho người thời nay phải hoa mắt. Nhưng chúng ta cần phải bày tỏ sự thán phục của chúng ta đối với thành quả của Ptolemy. Ở vào thời đại ông, một vũ trụ phức tạp tập trung vào Trái Đất là hoàn toàn hợp lý, theo cách của riêng nó, và hết sức đẹp đẽ.

Ptolemy giải thích các chuyển động quan sát được của các hành tinh bằng cách cho mỗi hành tinh quay tròn trên một quỹ đạo nhỏ gọi là ngoại luân (epicycle). Sau đó, tâm của ngoại luân quay chung quanh Trái Đất trên một vòng tròn gọi là chính đạo (deferent). Khi hành tinh ở tại vị trí *x* trong hình trên *quỹ đạo ngoại luân* (epicycle orbit), nó đang di chuyển theo cùng một hướng với tâm của ngoại luân; từ Trái Đất, hành tinh có vẻ đang di chuyển về hướng đông. Tuy nhiên khi hành tinh ở

vị trí *y*, chuyển động của nó theo hướng ngược lại với chuyển động vòng quanh Trái Đất của tâm ngoại luân. Bằng cách chọn lựa sự phối hợp đúng đắn giữa tốc độ và khoảng cách, Ptolemy thành công trong việc có được hành tinh di chuyển về hướng tây tại điểm *y* với tốc độ hợp lý và đối với một khoảng thời gian hợp lý, do đó tái lập được chuyển động nghịch hay lùi bằng mô hình của mình.

Tuy nhiên, chúng ta sẽ thấy trong chương kế tiếp rằng các hành tinh, như Trái Đất, xoay quanh Mặt Trời trên các quỹ đạo là các hình elip chứ không phải hình tròn. Chuyển động thực sự của chúng không thể trình bày chính xác bằng một sơ đồ của các chuyển động tròn đều. Để cho những chuyển động quan sát được của các hành tinh được phù hợp, Ptolemy phải tìm tâm của các *vòng tròn chính đạo* (deferent circles) không nằm trên Trái Đất, mà ở những vị trí cách Trái Đất một khoảng. Ngoài ra, ông còn giới thiệu chuyển động tròn đều quanh một trục khác, gọi là *điểm lệch tâm* (equant point). Tất cả các điều này làm cho sơ đồ của ông trở nên phức tạp.

Đó là chỉ báo về thiên tài của Ptolemy với tư cách một nhà toán học có thể phát triển một hệ thống phức tạp đến như vậy để trình bày thành công những quan sát về các hành tinh. Có lẽ là Ptolemy không dự định đưa mô hình vũ trụ của ông để mô tả thực tiễn, mà để sử dụng như là một trình bày mang tính chất toán học cho phép dự đoán các vị trí của những hành tinh vào bất cứ thời điểm nào. Dù sao đi nữa, suy nghĩ của ông, mô hình của ông, với một số sửa đổi, cũng được chấp nhận là có thẩm quyền, có căn cứ đích xác trong thế giới Hồi giáo và (sau này) trong châu Âu Thiên Chúa giáo.

1.3 CHIÊM TINH HỌC VÀ THIÊN VĂN HỌC

Nhiều nền văn minh cổ đại coi những hành tinh và các sao như những đại diện hay những biểu tượng của các vị thần hoặc các thế lực siêu nhiên khác điều khiển cuộc sống của họ. Đối với họ, việc nghiên cứu bầu trời không phải là một vấn đề trừu tượng, nó liên hệ trực tiếp tới nhu cầu mang tính sinh tử về việc tìm hiểu những hành động của các vị thần và cầu xin thần linh ban ân huệ. Trước thời đại khoa học, mọi điều xảy ra trong thiên nhiên, từ thời tiết, bệnh tật và tai nạn, tới những hiện tượng bất ngờ của bầu trời như nhật thực, nguyệt thực hay các sao chổi xuất hiện, được cho là sự biểu lộ những ý nghĩ bất chợt hay những sự bất bình của các vị thần. Bất cứ dấu hiệu nào giúp cho con người hiểu được những gì các vị thần nghĩ đều được xem là cực kỳ quan trọng.

Sự di chuyển của bảy thiên thể có quyền “đi lang thang” qua vương quốc của bầu trời – Mặt Trời, Mặt Trăng, và năm hành tinh thấy được bằng mắt – rõ ràng phải có tầm quan trọng đặc biệt trong một hệ tư tưởng như vậy. Hầu hết các nền văn minh cổ xưa kết hợp bảy thiên thể này với nhiều đấng thống trị siêu nhiên trong đền thờ bách thần (Pantheon – đền thờ tất cả các vị thần ở Cổ Hy Lạp và La Mã) và chăm chú theo dõi chúng vì những lý do tôn giáo. Ngay cả ở cổ Hy Lạp, các hành tinh mang tên của các vị thần và được tin tưởng rằng có cùng những sức mạnh và ảnh hưởng như các vị thần mà chúng mang tên. Một hệ thống cổ xưa, được sinh ra từ những ý tưởng như vậy, gọi là **chiêm tinh học** (astrology), ngày nay vẫn còn được một số người sử dụng, trong đó vị trí của các thiên thể đối với

các sao khác của hoàng đạo được cho là nắm giữ chìa khóa để thấu hiểu những gì xảy ra trong cuộc sống.

✧ NHỮNG BƯỚC ĐẦU TIÊN CỦA CHIÊM TINH HỌC

Chiêm tinh học bắt đầu ở Babylon cách đây khoảng 2500 năm. Dân Babylon, tin rằng các hành tinh và chuyển động của chúng ảnh hưởng đến vận mệnh của các quốc gia, đã sử dụng kiến thức về thiên văn học để hướng dẫn những nhà cai trị của họ. Khi nền văn minh Babylon được người Hy Lạp hấp thụ, chiêm tinh học dần dần ảnh hưởng đến toàn bộ thế giới phương Tây.

Vào thế kỷ thứ II sau Công nguyên, người Hy Lạp phát triển ý tưởng rằng các hành tinh ảnh hưởng đến từng cá nhân. Đặc biệt, họ tin rằng vị trí của Mặt Trời, Mặt Trăng và các hành tinh vào lúc chào đời của một người ảnh hưởng đến nhân cách và vận mệnh của người đó, học thuyết này gọi là *chiêm tinh học căn cứ vào ngày sinh* (natal astrology). Chiêm tinh học căn cứ vào ngày sinh đạt đến đỉnh cao với Ptolemy 400 năm sau. Nổi tiếng về chiêm tinh học cũng như về thiên văn học, Ptolemy biên soạn tác phẩm *Tetrabiblos*, một luận thuyết về chiêm tinh học vẫn được coi là “thánh kinh” về đề tài này. Tín ngưỡng cổ xưa này, lâu đời hơn Thiên Chúa giáo hay Hồi giáo, về cơ bản vẫn còn được các nhà chiêm tinh ngày nay thực hành.

✧ LÁ SỐ TỬ VI HAY KHOA TỬ VI TÂY PHƯƠNG

Chìa khóa của chiêm tinh học căn cứ vào ngày sinh là khoa tử vi, một biểu đồ mô tả vị trí các hành tinh trong bầu trời vào thời điểm chào đời của một cá nhân.

Trong việc lập một lá số tử vi, các hành tinh (bao gồm Mặt Trời và Mặt Trăng, được người xưa xếp hạng là các vì sao lang thang hay các hành tinh) trước hết phải được phân bố trên hoàng đạo. Khi hệ thống chiêm tinh học được thành lập, hoàng đạo được phân chia thành 12 khu vực gọi là cung (signs), mỗi cung dài 30°. Mỗi cung được đặt tên theo một chòm sao trên bầu trời mà Mặt Trời, Mặt Trăng và các hành tinh được nhìn thấy đi ngang qua nó – thí dụ, cung Trinh Nữ (Virgo) theo tên của chòm sao Trinh Nữ.

Ngày nay khi một người nào đó thông thường hỏi bạn “cung gì?”, có nghĩa là họ đang hỏi về “cung mặt trời” của bạn – cung hoàng đạo nào mà Mặt Trời đang có mặt vào thời điểm bạn chào đời. Nhưng hơn 2000 năm đã trôi qua kể từ khi các cung tiếp nhận tên của chúng từ các chòm sao. Do sự tiến động, các chòm sao của hoàng đạo trượt về hướng tây dọc theo đường hoàng đạo, đi một lần chung quanh mặt trời trong khoảng 26.000 năm. Do đó ngày nay các sao thực sự đã trượt quanh khoảng 1/12 của hoàng đạo – khoảng bằng bề rộng của một cung.

Tuy nhiên trong hầu hết các hình thức của chiêm tinh học, các cung vẫn giữ nguyên theo ngày tháng của năm mà chúng đã được phân định khi chiêm tinh học ban đầu được hình thành. Điều này có nghĩa là các cung thiên văn và các chòm sao thực sự đã bị sai nhịp; cung Bạch Dương (Aries), thí dụ, hiện nay đang đóng tại chòm sao Song Ngư (Pisces). Khi bạn xem cung mặt trời của bạn trong cột báo nói về chiêm tinh, do sự tiến động, tên của cung liên hệ với ngày sinh của bạn không còn là tên của chòm sao mà trong đó Mặt Trời thực sự tọa lạc khi bạn được sinh ra. Để biết

chòm sao ấy, bạn phải xem cung đứng trước cung có ngày sinh của bạn.

Một lá số tử vi đầy đủ trình bày vị trí không chỉ của Mặt Trời mà còn của từng hành tinh trong bầu trời bằng cách thể hiện vị trí của chúng trong cung hoàng đạo thích hợp. Tuy nhiên, vì thiên cầu xoay tròn (do sự quay của Trái Đất), toàn bộ hoàng đạo di chuyển qua bầu trời về phía tây, hoàn tất một vòng bầu trời mỗi ngày. Do vậy vị trí trên bầu trời (hay “cung” trong chiêm tinh học), cũng phải được tính toán. Có những qui tắc được tiêu chuẩn hoá không nhiều thì ít đối với việc giải thích về lá số tử vi, đa số trong đó (ít ra là trong các trường phái chiêm tinh học Tây phương) được xuất phát từ cuốn *Tetrabiblos* của Ptolemy. Mỗi cung và mỗi hành tinh, tác động được cho là cuối cùng như một trung tâm lực, được liên kết với các chất liệu riêng biệt.

Sự giải thích tỉ mỉ về một lá số tử vi do đó là một công việc rất phức tạp, và có nhiều trường phái chiêm tinh học với các cách giải thích khác nhau. Cho dù một số quy tắc có thể được tiêu chuẩn hóa, mỗi quy tắc được cân nhắc và áp dụng ra sao phụ thuộc khả năng phán đoán – và “nghệ thuật”. Nó cũng có nghĩa là rất khó mà ràng buộc chiêm tinh học vào những tiên đoán riêng biệt hay có những tiên đoán giống nhau từ các nhà chiêm tinh học khác nhau.

♦ CHIÊM TINH HỌC NGÀY NAY

Các nhà chiêm tinh phương Tây ngày nay sử dụng cùng những nguyên tắc căn bản do Ptolemy xây dựng cách đây gần 2000 năm. Họ lập các lá số tử vi (một quá trình được đơn giản hoá rất nhiều do sự phát triển các phần mềm máy tính tương thích) và đưa ra những cách kiến giải. Dù

chỉ là một sơ đồ cố gán ghép mọi người vào 12 nhóm, chiêm tinh học cung mặt trời vẫn được nhiều người chấp nhận.

Ngày nay, chúng ta biết rất nhiều về tính chất của các hành tinh với vai trò là các thiên thể, cũng như về các đặc tính di truyền của con người, nhiều hơn so với những người cổ xưa. Khó mà hình dung rằng vị trí của Mặt Trời, Mặt Trăng, hay các hành tinh trong bầu trời vào lúc chúng ta chào đời lại có thể có một tác động nào đó tới cá tính hay tương lai của chúng ta. Không hề có những lực đã biết nào, kể cả lực hấp dẫn, có thể gây ra những ảnh hưởng như vậy. Có một tính toán đơn giản mô tả rằng lực hút của bác sĩ sản khoa thực hiện với một em bé sơ sinh lớn hơn lực hút của Sao Hỏa (Mars). Các nhà chiêm tinh do đó phải đưa ra lập luận rằng có những lực chưa biết do các hành tinh sử dụng, tùy thuộc vào cấu hình giữa chúng với nhau và không biến đổi theo khoảng cách của hành tinh – những sức mạnh không hề có một chứng cứ nào.

Một phương diện đáng ngờ khác nữa của chiêm tinh học hay khoa tử vi là sự nhấn mạnh vào thời điểm *con người chào đời*. Những sức mạnh nào có thể ảnh hưởng tới chúng ta lúc thụ thai? Cấu trúc gen di truyền không quan trọng đối với việc xác định cá tính của chúng ta hơn những tình huống ra đời của chúng ta sao? Có phải chúng ta thực sự là một cá nhân khác nếu chúng ta đã được sinh ra trước hoặc sau vài giờ, như chiêm tinh học xác nhận? (Trở lại khi lúc ban đầu chiêm tinh học được quan niệm, sự chào đời của con người được coi như một thời điểm có ý nghĩa quan trọng, song ngày nay chúng ta hiểu nhiều về quá trình lâu dài diễn ra trước đó).

Thực tế, ngày nay rất ít người có suy nghĩ nói rằng toàn bộ cuộc sống của chúng ta được tiền định bởi các ảnh hưởng của khoa tử vi lúc chào đời, nhưng nhiều người vẫn tin rằng khoa chiêm tinh có giá trị như một chỉ số về các khuynh hướng và cá tính. Bạn có thể lập luận rằng chúng ta nên sử dụng bất kỳ thông tin thích hợp nào có thể giúp chúng ta tạo ra sự chọn lựa đúng đắn. Nhưng có phải khoa chiêm tinh hay tử vi thực sự cung cấp bất cứ thông tin hữu ích nào về cá tính con người? Đây là loại câu hỏi có thể được kiểm chứng bằng cách sử dụng phương pháp khoa học (xem khung, “Kiểm chứng khoa chiêm tinh”).

Các kết quả của hàng trăm cuộc thử nghiệm đều giống nhau: Không hề có một bằng chứng nào rằng chiêm tinh học có bất kỳ năng lực tiên đoán nào, ngay cả trong khuynh hướng thống kê. Thế thì tại sao người ta dường như có những giai thoại về việc nhà chiêm tinh của riêng họ cố vấn cho họ tốt đến mức nào? Ngày nay các chiêm tinh gia có năng lực chỉ sử dụng ngôn ngữ của hoàng đạo và của lá số tử vi như trang trí bên ngoài cho mảnh lời của họ. Đa số họ hoạt động như những người chữa bệnh tâm lý nghiệp dư, đưa ra những chân lý đơn giản mà các khách hàng thích hay cần nghe. (Những nghiên cứu gần đây đã chứng tỏ rằng bất kỳ thứ liệu pháp tâm lý ngắn hạn nào cũng khiến cho người ta cảm thấy khá hơn một chút. Đó là bởi vì chính hành động nói chuyện về các vấn đề của chúng ta tự nó đã là có ích).

Tuy nhiên, sơ đồ của khoa tử vi không có cơ sở khoa học. Nó là một hệ thống lịch sử thú vị, lưu lại qua thời đại tiền khoa học và được ghi nhớ rõ nhất vì sự thúc đẩy mà nó mang đến cho con người

Để phản ứng lại sự quan tâm chú ý của công chúng hiện thời về khoa chiêm tinh, các nhà khoa học đã tiến hành một loạt các cuộc kiểm chứng thống kê để đánh giá năng lực tiên đoán của nó. Những cuộc kiểm chứng này đơn thuần chỉ là khảo sát khoa chiêm tinh theo cung hoàng đạo để xác định xem liệu – như các nhà chiêm tinh khẳng định – một số cung có khả năng liên quan nhiều hơn, so với những cung khác, với các biến pháp thành công cụ thể.

Thậm chí bạn không cần phải là chuyên môn về sự tiên đoán của bạn trong những kiểm chứng như thế. Nói cho cùng, nhiều trường phái chiêm tinh bất đồng về việc những cung nào hoà hợp với đặc điểm nhân cách nào. Để chứng minh giá trị của giả thuyết của khoa chiêm tinh, nếu ngày sinh của tất cả các nhà lãnh đạo đều tập trung vào một hay hai cung theo một phương pháp nào đó có giá trị về mặt thống kê là đủ. Hàng chục những cuộc kiểm chứng như vậy đã được thực hiện hoàn tất, và tất cả đã đi đến sự phủ nhận hoàn toàn: ngày tháng sinh của các lãnh tụ trong mọi lãnh vực được kiểm chứng đã được nhìn nhận là được phân bố một cách bất kỳ trong các cung. Khoa chiêm tinh theo cung hoàng đạo không tiên đoán được bất cứ điều gì về nghề nghiệp tương lai hay những nét cá tính của một cá nhân.

Nhiều cuộc nghiên cứu tỉ mỉ thêm cũng đã được thực hiện, bao gồm các lá số tử vi đầy đủ được tính toán cho hàng ngàn cá nhân. Kết quả

của tất cả các cuộc nghiên cứu này cũng đều là phủ nhận: không một hệ thống nào của khoa chiêm tinh đã được trình bày là có hiệu quả hoàn toàn trong việc liên kết những khía cạnh chiêm tinh với nhân cách, cá tính, sự thành công, hay việc tìm ra đúng người mình yêu.

Những cuộc kiểm chứng khác chứng tỏ rằng dường như khó đặt thành vấn đề những điều mà sự diễn giải lá số tử vi nói ra, chừng nào mà nó còn khá mờ mờ, và chừng nào mà mỗi chủ thể còn cảm thấy là nó được chuẩn bị riêng biệt cho mình. Nhà thống kê người Pháp Michel Gauguelin, thí dụ, gửi bản giải đoán lá số tử vi của một trong những tên sát nhân hàng loạt tệ hại nhất trong lịch sử tới 150 người, tuy nhiên ông nói với mỗi thân chủ rằng đó là “bản giải đoán” được chuẩn bị riêng cho anh ta hay cô ta. Chín mươi bốn phần trăm độc giả nói họ nhận ra chính họ trong bản giải đoán lá số tử vi của kẻ giết người hàng loạt ấy.

Geoffrey Dean, nhà nghiên cứu người Úc, đảo ngược các bản giải đoán chiêm tinh của 22 đối tượng, thay vào những câu ngược lại với những gì lá số tử vi thực sự nói. Tuy thế, các đối tượng của ông nói rằng những lời giải đoán sau cùng ứng nghiệm đối với họ nhiều như (95%) những người được đưa cho những câu đầu tiên. Rõ ràng, những người tìm kiếm các nhà chiêm tinh chỉ là muốn sự hướng dẫn, và hầu như bất kỳ sự hướng dẫn nào cũng sẽ có tác dụng.

để hiểu biết các chu kỳ và các mô hình của bầu trời. Từ nó đã phát triển ngành thiên văn học, là chủ đề chính trong cuốn sách của chúng ta.

1.4 SỰ RA ĐỜI CỦA THIÊN VĂN HỌC HIỆN ĐẠI

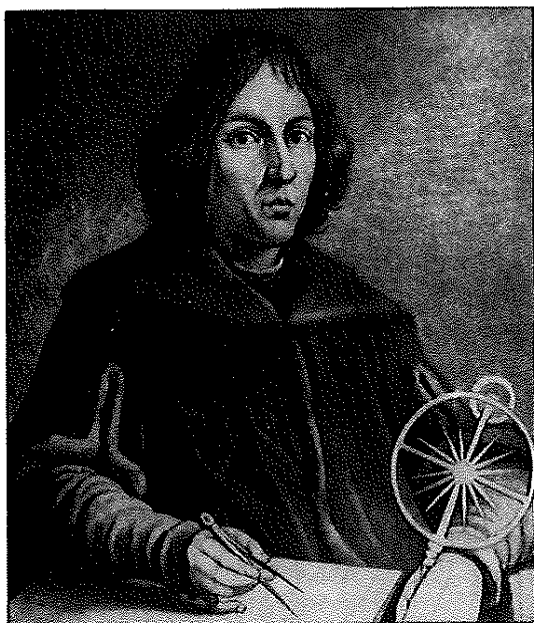
Thiên văn học đã không thực hiện được những bước tiến quan trọng nào

trong một châu Âu bị xâu xé thời Trung Cổ. Sự ra đời và sự bành trướng của Hồi giáo sau thế kỷ thứ VII sau Công nguyên dẫn đến sự khai hoa của các nền văn minh Ả Rập và Do Thái, chúng bảo tồn, chuyển tiếp, và bổ sung cho nhiều ý tưởng thiên văn của người Hy Lạp. (Ngày nay, thí dụ, nhiều tên của các vì sao sáng nhất được đặt từ tiếng Ả Rập, và cả những thuật ngữ thiên văn như “zenith” [thiên đỉnh] chẳng hạn).

Khi nền văn minh châu Âu bắt đầu lộ dạng từ Thời Đại Đen Tối (Dark Age) dai dẳng của nó, việc trao đổi thương mại với các xứ Ả Rập đã đưa đến sự tái phát hiện về những văn bản cổ như cuốn *Almagest*, và sự thức tỉnh trở lại hứng thú đối với các vấn đề thiên văn học. Thời kỳ của sự tái sinh này (tiếng Pháp, *Renaissance*) về thiên văn học được thể hiện rõ ràng trong tác phẩm của Copernicus.

✧ COPERNICUS

Một trong những sự kiện quan trọng nhất của Thời Phục Hưng là sự dời chỗ của Trái Đất ra khỏi trung tâm của vũ trụ, một cuộc cách mạng tinh thần do một tu sĩ Ba Lan khởi xướng vào thế kỷ XVI. Nicolaus Copernicus (1473–1543) ra đời ở Torun, một thành phố thương



Nicolaus Copernicus (1473–1543), vừa là một tu sĩ vừa là nhà khoa học, đóng một vai trò tiên phong trong sự khai sinh nền khoa học hiện đại. Mặc dù không thể chứng minh rằng Trái Đất quay quanh Mặt Trời, ông trình bày những lập luận thuyết phục cho ý tưởng này đến mức ông đã xoay chuyển trào lưu tư tưởng về thiên văn học và thiết lập nền tảng qua đó Galileo (Galileo) và Kepler xây dựng rất hiệu quả trong thế kỷ tiếp theo.

mại dọc theo sông Vistula. Ông được đào tạo về ngành luật và ngành y, tuy nhiên những mối quan tâm chính của ông lại là thiên văn học và toán học. Sự đóng góp to lớn của ông cho khoa học là sự đánh giá lại một cách nghiêm túc các học thuyết đương thời về sự chuyển động của các hành tinh và sự phát triển một mô hình nhật tâm (heliocentric) mới, hay Mặt Trời là trung tâm, của hệ Mặt Trời. Copernicus kết luận rằng Trái Đất là một hành tinh và rằng tất cả các hành tinh quay quanh Mặt Trời. Chỉ riêng Mặt Trăng là xoay quanh Trái Đất.

Ông trình bày các ý tưởng của mình một cách chi tiết trong cuốn sách *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (Về sự quay của các thiên thể), xuất bản năm 1543, là năm ông mất. Vào thời gian này, hệ thống xưa cũ của Ptolemy (giống như một bộ máy già nua xộc xệch) cần những nhận xét đúng đắn để tiên đoán các vị trí của các hành tinh một cách chính xác. Copernicus muốn phát triển một học thuyết tiến bộ để tính toán các vị trí hành tinh, nhưng trong khi thực hiện một công việc như vậy, tự bản thân ông không thoát khỏi được tất cả các định kiến truyền thống.

Ông bắt đầu với vài nhận định rất phổ biến trong thời đại của ông, chẳng hạn như ý tưởng cho rằng sự chuyển động của những thiên thể phải được hình thành từ sự kết hợp những chuyển động tròn đều. Song ông không thừa nhận (như hầu hết mọi người đã thừa nhận) rằng Trái Đất phải nằm ở trung tâm của vũ trụ, và ông đưa ra sự biện hộ về một hệ nhật tâm với vẻ tao nhã và có sức thuyết phục. Những tư tưởng của ông, dù không được chấp nhận rộng rãi cho tới hơn một thế kỷ sau khi ông chết, nhưng vẫn được

bàn luận rất nhiều trong số các học giả và sau cùng đã có một ảnh hưởng sâu rộng đối với tiến trình lịch sử thế giới.

Một trong những phản bác được nêu ra đối với thuyết nhật tâm là nếu Trái Đất đang di chuyển, tất cả chúng ta đều sẽ nhận thức hay cảm giác được sự chuyển động này. Các vật thể rắn sẽ bị văng ra hay tách ra khỏi bề mặt, một trái bóng rơi xuống từ một độ thật cao sẽ không chạm vào mặt đất ngay bên dưới được, và vân vân... Nhưng một cá nhân đang di chuyển không tất yếu nhận thức được chuyển động này. Chúng ta đều đã kinh qua việc thấy một chiếc xe lửa, xe hơi hay chiếc tàu bên cạnh di chuyển, chỉ để phát hiện ra rằng chính chúng ta đang di chuyển.

Copernicus lập luận rằng chuyển động biểu kiến của Mặt Trời quanh Trái Đất trong tiến trình một năm cũng có thể được trình bày như một chuyển động của Trái Đất quanh Mặt Trời. Ông cũng lý luận rằng sự xoay tròn biểu kiến của thiên cầu có thể được giải thích bằng cách thừa nhận rằng Trái Đất xoay tròn trong khi thiên cầu thì đứng yên. Đối với sự phản bác rằng nếu Trái Đất xoay tròn quanh một trục nó sẽ văng ra thành từng mảnh, thì Copernicus trả lời rằng nếu như một chuyển động như thế mà xé Trái Đất ra từng phần, thì chuyển động còn nhanh hơn nữa của thiên cầu lớn hơn rất nhiều mà hệ địa tâm đòi hỏi thậm chí sẽ còn tàn phá nhiều hơn.

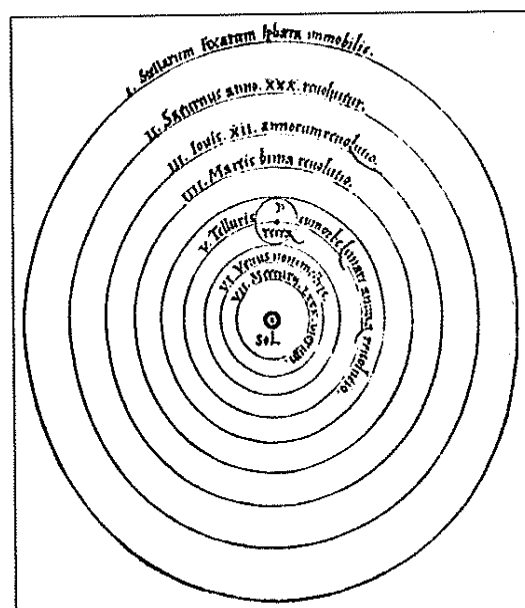
♦ MÔ HÌNH NHẬT TÂM

Tư tưởng quan trọng nhất trong cuốn *De Revolutionibus* (Sự quay tròn) của Copernicus đó là Trái Đất là một trong sáu hành tinh (đã biết đến lúc đó) xoay chung quanh Mặt Trời. Dùng khái niệm này, ông có thể phác họa một bức tranh

tổng thể chính xác của hệ mặt trời. Ông đặt các hành tinh, bắt đầu gần Mặt Trời nhất, theo thứ tự chính xác: Thủy Tinh (Mercury), Kim Tinh (Venus), Trái Đất (Earth), Hỏa Tinh (Mars), Mộc Tinh (Jupiter) và Thổ Tinh (Saturn).

Hơn nữa, ông suy diễn rằng hành tinh nào càng gần Mặt Trời hơn thì tốc độ quay trên quỹ đạo của nó càng lớn hơn. Với lý thuyết của mình, ông có thể giải thích những chuyển động nghịch phức tạp của các hành tinh mà không cần đến các vòng ngoại luân và xây dựng ra một thang đo khá chính xác dành cho hệ mặt trời.

Copernicus không thể *chứng minh* rằng Trái Đất xoay quanh Mặt Trời. Thực vậy, cùng với một số nhận xét hệ thống xưa cũ của Ptolemy cũng đã có thể giải thích về những chuyển động của các hành tinh trong bầu trời. Song Copernicus chỉ ra rằng vũ trụ luận của Ptolemy rườm rà, thiếu tính mỹ thuật và cân đối so với hệ thống kế tục.



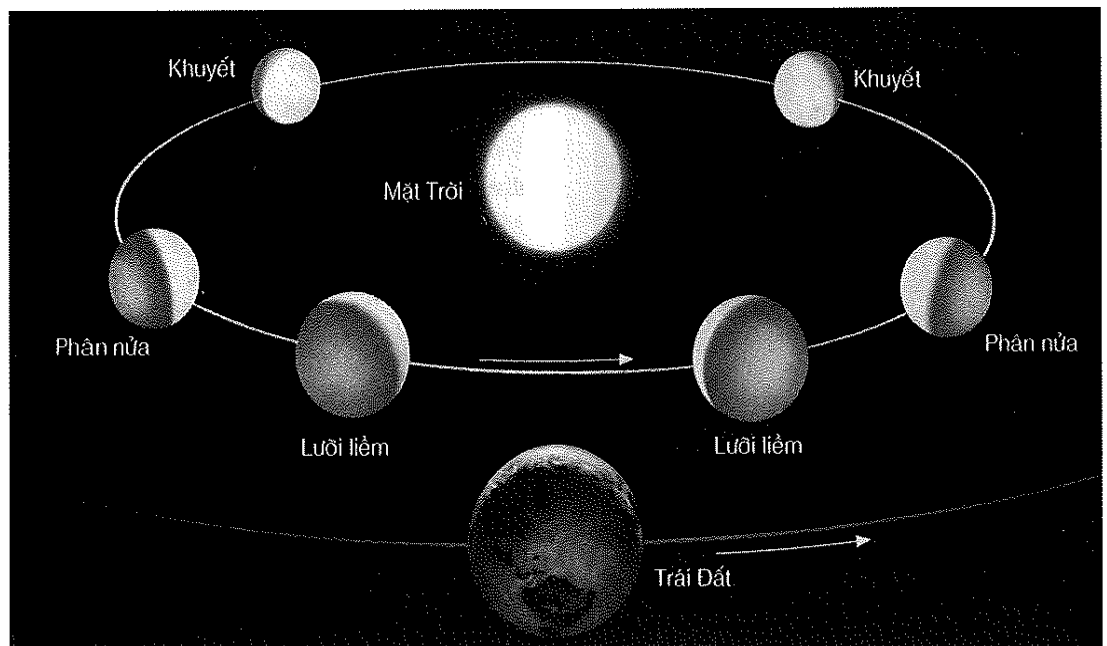
Sơ đồ nhật tâm của hệ mặt trời trong ấn bản đầu tiên của cuốn "De Revolutionibus" (Sự quay tròn) của Copernicus. Chữ "Sol" dành cho Mặt Trời ở chính giữa.

Quả thực, trong thời đại của Copernicus, ít người nghĩ rằng có cách nào để chứng minh hoặc hệ nhật tâm hay hệ địa tâm, cái nào là đúng. Một truyền thống triết lý lâu đời, ngược về đến người Hy Lạp và được Thiên Chúa giáo bênh vực, cho rằng tư tưởng của con người thuần khiết kết hợp với sự mặc khải của thần thánh là hiện thân cho con đường tới sự thật. Tự nhiên, được khám phá bởi các giác quan của chúng ta, là đáng nghi ngờ. Thí dụ, Aristotle đã lý luận rằng các vật thể nặng hơn (có nhiều chất làm cho chúng trở nên nặng) phải rơi tới Trái Đất nhanh hơn những vật thể nhẹ. Điều này tuyệt đối không đúng, khi bất kỳ cuộc thử nghiệm đơn giản nào làm rơi hai quả bóng có trọng lượng khác nhau sẽ chứng minh. Nhưng trong thời đại Copernicus, các cuộc thí nghiệm không có trọng lượng nhiều lắm; lý luận sáng chói của Aristotle mang tính thuyết phục hơn.

Trong lãnh vực này, có một động cơ

thúc đẩy nhỏ bé để tiến hành những cuộc quan sát hay thử nghiệm để phân biệt giữa các học thuyết vũ trụ đang tranh đua với nhau (hay bất cứ học thuyết nào khác). Tuy nhiên, nó sẽ không làm chúng ta ngạc nhiên rằng tư tưởng nhật tâm đã bị đánh bại trong hơn nửa thế kỷ mà không có bất kỳ một cuộc kiểm nghiệm nào được thực hiện để xác định giá trị của nó.

Ngày nay, chúng ta sẽ nhìn vào mô hình của Copernicus như thế nào? Khi một giả thuyết hay lý thuyết mới được đề nghị trong khoa học, trước tiên nó phải được kiểm chứng về tính nhất quán với những gì đã được biết. Ý tưởng nhật tâm trải qua sự kiểm chứng này, vì nó cho phép các vị trí hành tinh được tính toán nói cho cùng cũng như hệ địa tâm. Giai đoạn kế tiếp là xét xem những sự tiên đoán nào mà học thuyết mới tạo ra khác với những sự dự đoán của các tư tưởng cạnh tranh. Trong trường hợp của Copernicus, một thí dụ là sự tiên đoán

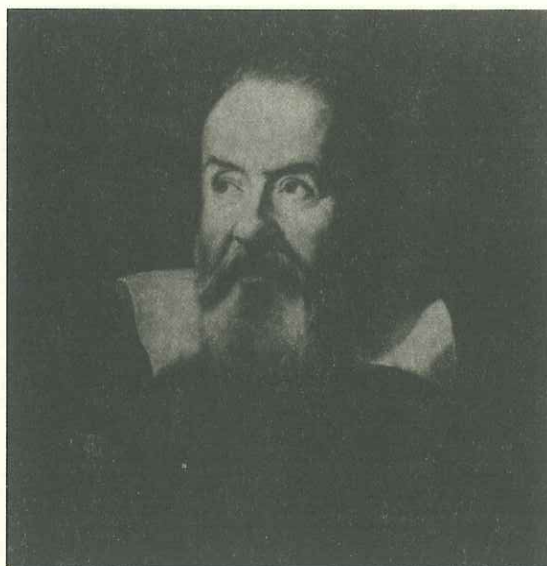


Kim tinh qua các giai đoạn hay các pha: Các giai đoạn của Kim Tinh theo thuyết nhật tâm. Vì Kim Tinh di chuyển quanh Mặt Trời, chúng ta thấy sự chiếu sáng trên bề mặt của nó thay đổi, giống như chúng ta thấy bề mặt của Mặt Trăng chiếu sáng khác nhau trong quá trình một tháng.

rằng, nếu Kim Tinh (Venus) quay quanh Mặt Trời, hành tinh này sẽ đi qua một dãy đầy đủ các pha giống như Mặt Trăng, ngược lại nếu Kim Tinh quay quanh Trái Đất, nó sẽ không qua các pha ấy. Nhưng vào thời kỳ đó, trước khi phát minh ra kính viễn vọng, không ai hình dung ra việc kiểm chứng sự tiên đoán này.

✧ GALILEO VÀ BƯỚC ĐẦU CỦA KHOA HỌC HIỆN ĐẠI

Nhiều khái niệm khoa học hiện đại về sự quan sát, thử nghiệm, và kiểm chứng các giả thuyết qua các phương pháp đo định lượng cẩn thận được thực hiện đầu tiên bởi một người đã sống sau Copernicus gần một thế kỷ. Galileo Galilei (1564–1642), một người cùng thời với Shakespeare, sinh ra ở Pisa. Giống như Copernicus, ông bắt đầu học nghề y, song ông ít quan tâm đến môn học này, rồi sau đó chuyển sang toán học. Ông

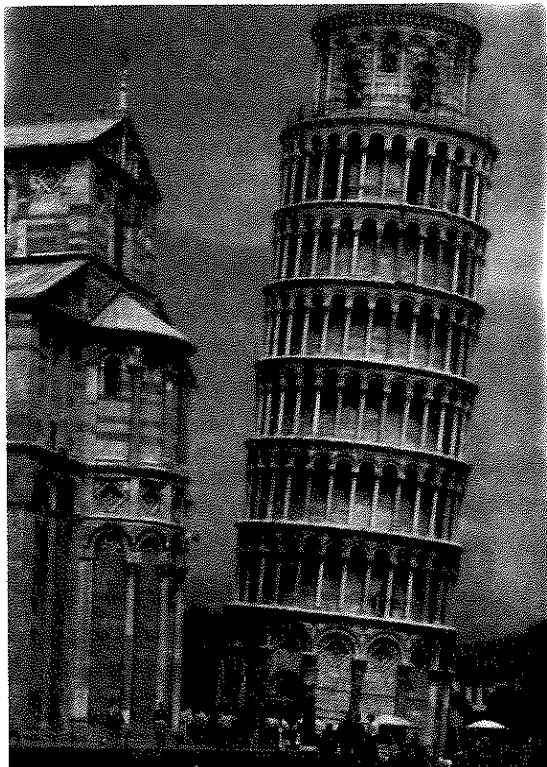


Galileo Galilei (1564–1642) chủ trương rằng chúng ta thực hiện những thí nghiệm hay những cuộc quan sát để khám phá tự nhiên. Khi Galileo xoay kính viễn vọng lên bầu trời, ông nhận thấy rằng mọi sự vật không đúng theo cách thức các triết gia đã nghĩ.

đảm nhận những vị trí giảng dạy tại các trường Đại học Pisa và Padua, cuối cùng ông trở thành nhà toán học phục vụ Đại công tước xứ Tuscany ở Florence.

Những đóng góp vĩ đại nhất của Galileo thuộc về lãnh vực cơ học, sự nghiên cứu về chuyển động và tác động của các lực đối với vật thể. Sau đó nó trở nên quen thuộc đối với tất cả mọi người, y như đối với chúng ta ngày nay, rằng nếu một vật thể đang đứng yên, nó có khuynh hướng vẫn đứng yên mãi và cần phải có một số tác động bên ngoài để khởi động nó (hay nói cách khác là, làm cho nó bắt đầu chuyển động). Do vậy sự đứng yên thường được coi như một trạng thái tự nhiên của vật chất. Tuy nhiên, Galileo chứng minh rằng *sự đứng yên* (rest) không phải là tự nhiên hơn sự chuyển động.

Nếu một vật thể bị trượt dọc theo một cái sàn nằm ngang gồ ghề, chẳng bao lâu nó cũng đi đến chỗ đứng yên do bởi sự ma sát giữa nó và cái sàn có tác dụng như một lực cản. Tuy nhiên, nếu cái sàn và vật thể cả hai đều thật nhẵn bóng, vật thể, được cung cấp cùng một tốc độ ban đầu, sẽ trượt xa hơn trước khi đi đến chỗ đứng yên. Trên một lớp băng trơn láng, nó sẽ còn trượt xa hơn nữa. Galileo lý luận rằng nếu mọi tác dụng cản trở có thể bị triệt tiêu, vật thể sẽ tiếp tục trong một trạng thái chuyển động bền vững vô hạn. Thực vậy, ông lập luận, một lực là cần thiết không chỉ để khởi động một vật thể, làm cho nó ra khỏi trạng thái đứng yên, mà còn làm chậm lại, làm ngừng, làm tăng vận tốc, hay làm thay đổi phương hướng của một vật thể đang chuyển động. Bạn sẽ đánh giá cao điều này nếu bạn đã từng cố gắng chặn đứng một chiếc xe hơi đang lăn bằng cách nghiêng người chống đỡ nó, hay chặn



Tháp chuông nghiêng của thánh đường ở Pisa: Trong lúc sống ở Pisa, Galileo tiến hành các thí nghiệm để chứng minh rằng các vật thể có khối lượng khác nhau rơi cùng một tốc độ. Theo truyền thuyết, một trong những thí nghiệm của ông bao gồm việc buông rơi những quả đạn pháo với trọng lượng khác nhau từ tháp này.

đứng một chiếc thuyền đang di chuyển bằng cách kéo một sợi dây.

Galileo cũng nghiên cứu cách thức mà các vật thể tăng tốc, hay thay đổi tốc độ của chúng, khi chúng rơi tự do hay lăn xuống một đường dốc. Ông nhận thấy rằng các vật thể như thế tăng tốc đều: nghĩa là, trong các khoảng thời gian bằng nhau chúng đạt được những sự gia tăng bằng nhau về vận tốc. Galileo lập công thức cho những định luật mới tìm ra này bằng những thuật ngữ toán học chính xác giúp cho các nhà thử nghiệm tương lai dự đoán các vật thể sẽ di chuyển nhanh và xa đến mức nào trong những khoảng thời gian khác nhau.

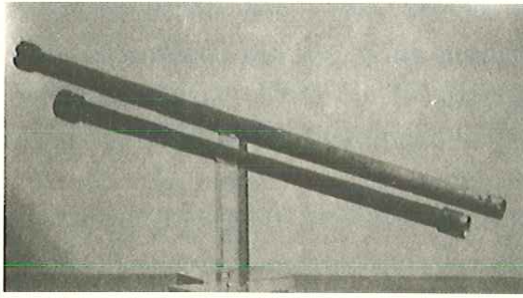
Đôi khi trong những năm 1950, Galileo áp dụng giả thuyết của Copernicus về hệ mặt trời. Ở nước Ý Thiên Chúa giáo, điều này không phải là một triết lý phổ biến, vì những người có thẩm quyền của Nhà Thờ vẫn còn duy trì những tư tưởng của Aristotle và Ptolemy, và họ có những lý do về chính trị và kinh tế mạnh mẽ đối với việc nhất quyết rằng Trái Đất là trung tâm của vũ trụ.

Trước hết chính là do Galileo và các tác phẩm của ông mà vào năm 1616, Nhà Thờ ban hành một cấm chỉ tuyên bố rằng học thuyết của Copernicus là “giả tạo và phi lý” và không được ủng hộ hay bênh vực.

✧ CÁC CUỘC QUAN SÁT THIÊN VĂN CỦA GALILEO

Không biết chắc ai là người đầu tiên nảy ra ý tưởng kết hợp hai hay nhiều miếng kính để tạo ra một dụng cụ làm cho các hình ảnh của các vật thể ở xa lớn hơn, khiến cho chúng có vẻ gần hơn. Những kính viễn vọng như vậy đầu tiên đã thu hút nhiều sự chú ý do một người thợ làm mắt kính Hà Lan, Hans Lippershey, chế tạo vào năm 1608. Galileo nghe nói về phát minh này và, chưa bao giờ tận mắt chứng kiến một kính viễn vọng đã được lắp ráp nào, tạo ra một kính viễn vọng cho riêng ông với độ phóng đại gấp ba lần, làm cho các vật thể xa hiện ra gần hơn và lớn hơn ba lần.

Vào ngày 25 tháng 8 năm 1609, Galileo trưng bày một kính viễn vọng với độ phóng đại gấp chín lần với các quan chức chính phủ của nhà nước đô thị Venice. Bằng một độ phóng đại gấp chín lần, chúng ta muốn nói rằng các kích thước thẳng của vật thể đang được quan



Vài kính viễn vọng do Galileo sử dụng: Kính viễn vọng dài hơn có một cái ống gỗ bọc giấy và một thấu kính đường kính 26 mm.

sát hiện ra lớn hơn gấp chín lần, hay nói khác đi, rằng các vật thể hiện ra gần hơn chín lần. Có những lợi thế rõ ràng về mặt quân sự kết hợp với một dụng cụ để nhìn thấy các vật ở xa. Đối với phát minh của mình, tiền lương của Galileo gần như tăng gấp đôi, và ông được bổ nhiệm vào chức vụ trọn đời là một giáo sư.

Một số người khác đã sử dụng kính viễn vọng trước khi Galileo quan sát các sự vật trên Trái Đất. Song, bằng một tia sáng của sự thông minh làm thay đổi lịch sử thiên văn học, Galileo nhận thức rằng ông có thể chuyển năng lực của kính viễn vọng về phía bầu trời. Trước khi dùng kính viễn vọng của mình vào các cuộc quan sát thiên văn, Galileo phải sáng chế một cái giá vững chắc, và ông cải tiến các tấm kính để cung cấp một độ phóng đại gấp 30 lần. Galileo cũng cần đạt được độ tin cậy nơi kính viễn vọng.

Vào thời đó, đôi mắt được tin là người phán xét cuối cùng về kích thước, hình dạng, và màu sắc. Các thấu kính, các tấm gương, và các lăng kính đã làm biến dạng các hình ảnh xa do sự làm lớn lên, làm nhỏ lại, hay ngay cả việc làm đảo ngược chúng. Galileo tiến hành các cuộc thử nghiệm được lập đi lập lại để tự thuyết phục ông rằng những gì ông nhìn thấy qua kính viễn vọng là giống

hệt với những gì ông nhìn thấy khi đứng gần. Chỉ từ lúc đó ông mới bắt đầu tin rằng các hiện tượng kỳ diệu trong bầu trời mà kính viễn vọng đã làm lộ ra là có thực,

Khởi sự sự nghiệp thiên văn của mình vào cuối năm 1609, Galileo nhận thấy rằng nhiều sao quá mờ nhạt nên không thể thấy bằng mắt trần, trở nên thấy được với kính viễn vọng. Đặc biệt, ông nhận thấy rằng một số vệt tinh vân mờ phân ra thành nhiều sao, và Dải Ngân Hà cũng được hình thành bởi vô số các sao riêng lẻ.

Khi xem xét các hành tinh, ông nhận thấy có bốn vệ tinh, hay các mặt trăng, xoay quanh Mộc Tinh (Jupiter), với các chu kỳ trong khoảng từ chỉ dưới hai ngày cho tới 17 ngày. Sự khám phá này đặc biệt quan trọng bởi vì nó chứng tỏ rằng không phải tất cả mọi vật đều xoay quanh Trái Đất và rằng có thể có những trung tâm chuyển động tự chúng cũng đang chuyển động. Những kẻ bênh vực quan niệm địa tâm đã lý luận rằng nếu Trái Đất chuyển động thì Mặt Trăng sẽ bị bỏ lại phía sau, bởi vì nó có thể khó mà bắt kịp với một hành tinh đang di chuyển nhanh. Tuy nhiên các vệ tinh của Mộc Tinh đang thực hiện chính xác điều đó! (Để tôn vinh sự nghiệp của ông, NASA đặt tên cho chiếc phi thuyền thám hiểm hệ Mộc Tinh là *Galileo*).

Với kính viễn vọng, Galileo có thể tiến hành sự kiểm chứng về học thuyết của Copernicus đã đề cập trước đây, dựa trên các pha của Kim Tinh (Venus). Trong vòng vài tháng ông đã nhận thấy Kim Tinh đi qua các pha giống như Mặt Trăng, chứng tỏ rằng nó phải xoay quanh Mặt Trời, để mà chúng ta thấy các phần khác nhau của bên ánh sáng ban ngày

của nó vào các thời điểm khác nhau. Các quan sát này không thể phù hợp với bất kỳ mô hình nào mà trong đó Kim Tinh quay quanh Trái Đất. Galileo cũng quan sát Mặt Trăng và thấy các miệng núi lửa, các dãy núi, các thung lũng, và các vùng tối bằng phẳng mà ông nghĩ có thể là nước. Những khám phá này chứng tỏ rằng Mặt Trăng có thể không khác gì so với Trái Đất – ngụ ý rằng Trái Đất cũng có thể phụ thuộc vào một hệ các thiên thể.

Với công trình của Galileo, sự phủ nhận quan niệm của Copernicus càng trở nên khó khăn hơn, và Trái Đất mất vị trí trung tâm của nó trong vũ trụ và ở vị trí thích hợp với vai trò là một trong những hành tinh đi theo Mặt Trời. Galileo phải ra hầu trước Tòa Giáo Hình (Inquisition) (do Giáo hội Thiên chúa La Mã lập ra vào thế kỷ XV) để chống lại những cáo buộc rằng công việc của ông là thuộc về dị giáo, và ông đã bị kết án là phải chịu quản thúc tại gia. Những cuốn sách của ông nằm trong danh sách cấm của Nhà Thờ mãi cho tới 1836, mặc dù vậy ở những xứ mà Nhà Thờ Thiên Chúa La Mã ít có thế lực, chúng vẫn được đọc và bàn luận rộng rãi. Mãi đến năm 1992, Nhà Thờ Thiên Chúa giáo mới công khai thừa nhận rằng mình đã sai lầm trong vấn đề kết án những tư tưởng của Galileo.

Những tư tưởng mới của Copernicus và Galileo bắt đầu một cuộc cách mạng về khái niệm vũ trụ của chúng ta. Rốt cuộc, hiển nhiên rằng vũ trụ là một nơi vô cùng rộng lớn, và rằng vai trò của Trái Đất trong đó là tương đối không quan trọng.

Quan niệm cho rằng Trái Đất quay quanh Mặt Trời giống như những hành tinh khác đã nêu lên khả năng rằng tự chúng có thể là những thế giới, thậm chí có lẽ mang sự sống. Và vì Trái Đất bị mất vai trò của nó là trung tâm vũ trụ, thì con người cũng vậy (cũng không phải là sinh vật thông minh duy nhất trong vũ trụ). Vũ trụ, bất luận những gì chúng ta có thể mong muốn, không xoay quanh chúng ta, và chúng ta tìm ra một vị trí khiêm nhường hơn cho chính chúng ta trong sơ đồ của vũ trụ.

Ngày nay cứ cho là hầu hết chúng ta chấp nhận những điều này, nhưng cách đây bốn thế kỷ các quan niệm như vậy là dị giáo đối với một số người, kích động đối với những người khác. Các nhà tiên phong của Thời Phục Hưng khởi động thế giới châu Âu theo con đường hướng đến khoa học và kỹ thuật mà ngày nay chúng ta vẫn bước theo. Đối với họ, vũ trụ là thuần lý (rational) và nói cho cùng là khả tri, và các cuộc thí nghiệm và quan sát cung cấp các phương tiện để vén bức màn che giấu các bí mật.

Vào hầu như bất cứ lúc nào trong đêm, và vào bất cứ mùa nào, bạn cũng có thể nhận ra một hay nhiều hành tinh chiếu sáng trên bầu trời. Tất cả năm hành tinh người xưa đã biết – Thủy Tinh (Mercury), Kim Tinh (Venus), Hỏa Tinh (Mars), Mộc Tinh (Jupiter), và Thổ Tinh (Saturn) – nổi bật hơn bất kỳ sao nào trừ những sao sáng nhất, và chúng có thể được nhìn thấy từ những khu vực thành phố nếu bạn biết chỗ nào và khi nào để nhìn.

Một cách thức để phân biệt các hành tinh với những sao sáng đó là các hành tinh không nhấp nháy hay lấp lánh.

Kim Tinh (Venus), đứng gần Mặt Trời từ phối cảnh của chúng ta, hiện ra hoặc như “sao hôm” (evening star) ở phía Tây sau khi hoàng hôn, hay như “sao mai” (morning star) ở phía Đông trước lúc bình minh. Nó là thiên thể sáng nhất trong bầu trời sau Mặt Trời và Mặt Trăng. Nó rực sáng hơn nhiều so với bất cứ ngôi sao thực sự nào, và trong những điều kiện thích hợp nhất, nó có thể thậm chí tạo ra một cái bóng thấy được.

Hỏa Tinh (Mars), với màu đỏ rõ rệt, có thể sáng gần như Kim Tinh là khi gần Trái Đất, nhưng thường vẫn khó thấy hơn nhiều. Mộc Tinh thường là hành tinh sáng hạng nhì, gần bằng về độ sáng so với những sao sáng nhất. Thổ Tinh mờ hơn, thay đổi đáng kể về độ sáng, tùy thuộc vào quãng sáng của nó được nhìn thấy gần ở rìa (yếu) hay mở rộng hơn (sáng).

Thủy Tinh (Mercury) sáng hoàn toàn, nhưng một số người lúc nào cũng nhận ra nó bởi vì nó không bao giờ di chuyển ra quá xa Mặt Trời (nó không bao giờ cách xa 28° trên bầu trời) và lúc

nào cũng được thấy trên bầu trời chạng vạng còn sáng. Có một câu chuyện (có thể ngụ ý tạo) kể rằng ngay cả Copernicus cũng chưa bao giờ thấy Thủy Tinh.

Đúng như tên của chúng, những hành tinh “lang thang” đối với cái nền của các sao “cố định”. Dù các chuyển động biểu kiến của chúng là phức tạp, chúng vẫn phản ánh một trật tự cơ bản, qua đó mô hình nhật tâm của hệ mặt trời, như mô tả trong chương này, được xây dựng.

1. Nếu như Kim Tinh hay Thủy Tinh được nhìn thấy, hãy đánh dấu vị trí của nó so với những sao nền và ghi ngày tháng. Dùng một bản đồ có chia thành từng phần thích hợp về bầu trời, hay phác họa vị trí của những sao sáng nhất. Hãy chờ đợi đôi ba ngày và lập lại sự quan sát. Ước tính hành tinh di chuyển bao nhiêu độ mỗi ngày. (Chiều ngang của ngón tay cái, được giữ thẳng với cánh tay duỗi thẳng, trải ra khoảng 1° của bầu trời; bề ngang của nắm tay bạn với cánh tay duỗi thẳng trải ra khoảng 10°). Nếu bạn tiến hành đầy đủ các cuộc quan sát, bạn có thể ước tính khoảng cách tối đa của mỗi hành tinh bằng độ từ Mặt Trời.
2. Hãy xác định những hành tinh xa hơn nào được nhìn thấy – Hỏa Tinh, Mộc Tinh và Thổ Tinh. Đối với mỗi hành tinh thấy được, hãy vẽ vị trí của nó so với những sao nền và ghi chú ngày tháng. Lập lại thí nghiệm này mỗi vài ngày trong hai tháng hoặc bao lâu mà mỗi hành tinh được nhìn thấy. Hành tinh đang di chuyển về phía đông hay phía tây? Nó có vẻ thay đổi hướng đi hay không? Bạn có quan sát chuyển động thụt lùi (hay chuyển động nghịch) của bất kỳ hành tinh nào hay không?

TÓM LƯỢC

- 1.1 Chứng cứ trực tiếp của các giác quan chúng ta ủng hộ **quan niệm địa tâm** (geocentric perspective), với **thiên cầu** (celestial sphere) xoay quanh các **thiên cực** (celestial poles) và quay chung

quanh Trái Đất đứng yên. Chúng ta chỉ thấy được phân nửa quả cầu này vào một thời điểm, bị giới hạn bởi chân trời (horizon); điểm nằm ngay trên đỉnh đầu chúng ta là **thiên đỉnh** (zenith).

Đường đi hàng năm (niên đạo) của Mặt Trời trên thiên cầu là đường hoàng đạo (ecliptic), một đường chạy xuyên qua tâm của hoàng đạo (zodiac), một dải rộng 18° của bầu trời trong đó chúng ta luôn luôn tìm thấy Mặt Trăng và các hành tinh. Thiên cầu được tổ chức thành 88 chòm sao (constellations), hay khu vực (sectors).

1.2 Những người Hy Lạp cổ đại chẳng hạn như Aristotle nhận biết rằng Trái Đất và Mặt trăng là những quả cầu, và am hiểu các tuần trăng, nhưng do thiếu khả năng để theo dõi độ thị sai (parallax) của sao, họ phản bác ý tưởng cho rằng Trái Đất di chuyển. Eratosthenes đo kích thước của Trái Đất với sự chính xác đáng ngạc nhiên. Hipparchus thực hiện nhiều cuộc quan sát thiên văn, thành lập một mục lục sao, định nghĩa hệ thống cấp sao (độ lớn của sao), và khám phá ra sự tiến động (precession) do sự chuyển đổi biểu kiến về vị trí của thiên cực bắc (north celestial pole). Ptolemy ở Alexandria tổng kết môn thiên văn học cổ điển trong cuốn *Almagest*; ông giải thích các chuyển động của hành tinh, kể cả chuyển động nghịch hay chuyển động thụt lùi (retrograde motion), với sự chính xác hết sức nổi bật khi sử dụng một mô hình đặt tâm điểm là Trái Đất. Mô hình địa tâm này, dựa vào sự kết hợp của những chuyển động tròn đồng dạng khi sử dụng các đường ngoại luân (epicycles), được chấp nhận như căn cứ đáng tin cậy trong hơn một ngàn năm.

1.3 Tín ngưỡng cổ xưa về thuật chiêm tinh (astrology), mà sự đóng góp chủ yếu của nó vào nền văn minh nhân loại là một sự quan tâm về bầu trời được

nâng cao, bắt đầu ở Mesopotamia. Nó đạt đến đỉnh cao ở thế giới Hy-La (Greco-Roman), đặc biệt như được ghi chép trong cuốn *Tetrabiblos* của Ptolemy. Thuật chiêm tinh về ngày sinh đặt cơ sở trên sự thừa nhận rằng vị trí của các hành tinh vào thời điểm được sinh ra đời, như được mô tả bằng lá số tử vi (horoscope), quyết định tương lai của chúng ta. Tuy nhiên, các cuộc kiểm chứng hiện đại chứng minh rõ ràng rằng không có một bằng chứng nào đối với điều này, ngay cả trong chiều hướng thống kê rộng lớn.

1.4 Nicolaus Copernicus giới thiệu một Vũ trụ luận nhật tâm (heliocentric cosmology) với châu Âu thời Phục Hưng trong cuốn sách *De Revolutionibus*. Mặc dù giữ lại ý tưởng của Aristotle về chuyển động tròn đồng dạng. Copernicus nêu ra rằng Trái Đất là một hành tinh và rằng các hành tinh tất cả đều quay quanh Mặt Trời, đưa Trái Đất ra khỏi vị trí của nó như là trung tâm của vũ trụ. Galileo Galilei là cha đẻ của cả hai ngành: vật lý thực nghiệm hiện đại và thiên văn học viễn vọng (telescopic astronomy). Ông nghiên cứu sự gia tốc (acceleration) của các vật thể di động, và vào năm 1610 bắt đầu các cuộc quan sát bằng viễn vọng kính, khám phá ra bản chất của Dải Ngân Hà, những đặc điểm trên qui mô lớn của Mặt Trăng, các tuần (các pha) của Kim Tinh, và bốn vệ tinh của Mộc Tinh. Dù cho ông bị kết tội là dị giáo (heresy) vì sự ủng hộ cho một vũ trụ luận hệ nhật tâm, các cuộc quan sát và những tác phẩm rực rỡ của Galileo đã thuyết phục hầu hết các nhà khoa học đương thời về tính chính xác của lý thuyết của Copernicus.



Tháng 2/1984, phi hành gia Bruce McCandless, đã thả lỏng sợi dây nối với phi thuyền con thoi (Space Shuttle), trở thành vệ tinh người đầu tiên của hành tinh Trái Đất. Hình này ông được mô tả đang dùng bộ phận điều khiển bằng tay (Manned Maneuvering Unit), các ống phản lực bằng khí nitro giúp di chuyển quanh quỹ đạo và cuối cùng quay trở về phi thuyền. Khi ông quay quanh hành tinh chúng ta, ông phải chịu cùng những quy luật chuyển động cơ bản chi phối tất cả các vệ tinh khác.

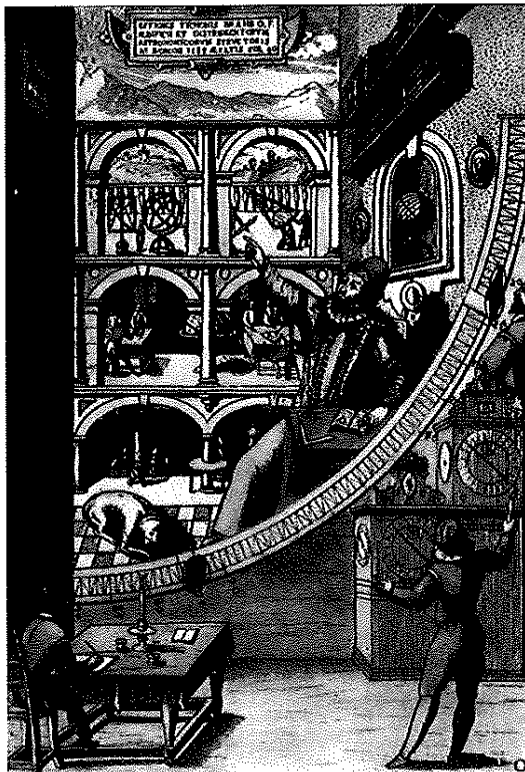
CHƯƠNG 2

QUỸ ĐẠO VÀ LỰC HẤP DẪN

“Một người nào đó phải là Newton để nhận biết rằng Mặt Trăng đang rơi, khi mà mọi người thấy rằng nó không rơi”.

Paul Valery in *Analects* (Collected Works, Vol. 14, 1996)

Nếu chúng ta, từ một nơi nào đó ngoài không gian, cách xa bên trên mặt



Tycho ở Hven. Một bản in khắc được cách điệu hoá mô tả Tycho Brahe sử dụng các dụng cụ của ông để đo độ cao của các thiên thể bên trên đường chân trời. Hãy chú ý rằng khung cảnh bao gồm những lời gợi ý về sự to lớn của đài quan sát của Tycho.

phẳng quỹ đạo của hành tinh, có thể nhìn xuống hệ mặt trời, thì việc giải thích các chuyển động hành tinh sẽ đơn giản hơn nhiều. Nhưng thực tế là, chúng ta phải quan sát vị trí của tất cả các hành tinh khác từ hành tinh đang di chuyển của chúng ta. Các nhà khoa học thời Phục Hưng không biết rõ hơn chút nào các chi tiết về quỹ đạo của Trái Đất so với các quỹ đạo của hành tinh khác. Vấn đề của họ là, như chúng ta xem ở Chương 1, họ đã suy diễn bản chất của mọi chuyển động hành tinh bằng cách chỉ sử dụng những quan sát của họ về các vị trí của các hành tinh khác trong bầu trời. Để giải quyết đầy đủ hơn vấn đề phức tạp này, cần có những quan sát kỹ hơn và những mô hình khái quát tốt hơn.

2.1 CÁC QUY LUẬT CHUYỂN ĐỘNG CỦA HÀNH TINH

Vào khoảng thời gian mà Galileo bắt đầu các thí nghiệm của mình với các vật thể rơi, những nỗ lực của hai

nhà khoa học khác làm cho tầm hiểu biết về chuyển động của các hành tinh của chúng ta tiến bộ mạnh mẽ. Hai nhà thiên văn học này là nhà quan sát Tycho Brahe và nhà toán học Johannes Kepler. Họ đã cùng nhau đặt các suy đoán của Copernicus trên cơ sở toán học chính xác và đặt nền tảng cho sự nghiệp của Isaac Newton trong thế kỷ sau.

✧ TYCHO BRAHE

Ba năm sau khi cuốn *De Revolutionibus* (Sự quay tròn) của Copernicus được xuất bản, Tycho Brahe (1546–1601) ra đời trong một gia đình quý tộc Đan Mạch. Ông phát lộ một sự quan tâm rất sớm về thiên văn học và đã thực hiện các cuộc quan sát thiên văn đầy ý nghĩa. Trong số những quan sát này là nghiên cứu cẩn thận về những gì mà ngày nay chúng ta biết là một ngôi sao đang bùng nổ, loé sáng rực rỡ trong bầu trời đêm. Danh tiếng ngày càng tăng đã giúp ông đạt được sự bảo trợ của vua Đan Mạch Frederick II, và vào tuổi 30, Tycho đã có thể thiết lập một đài thiên văn to lớn trên đảo North Sea của Hven. Tycho là người sau cùng và là người vĩ đại nhất trong số những nhà quan sát trước khi có kính viễn vọng ở châu Âu.

Ở Hven, Tycho tiến hành ghi chép liên tục các vị trí của Mặt Trời, Mặt Trăng, và các hành tinh trong gần 20 năm. Những cuộc quan sát bao quát và chính xác giúp cho ông nhận thấy rằng vị trí của các hành tinh thay đổi so với những vị trí đã ghi trong các bản đồ thiên văn đã xuất bản, những bản đồ này dựa trên tác phẩm của Ptolemy. Song Tycho là một người quá khích, và ông đã tạo ra những kẻ thù trong số các quan chức chính quyền. Khi chủ nhân của ông, vua

Frederick II, chết vào năm 1597, Tycho mất chỗ dựa chính trị và quyết định rời khỏi Đan Mạch. Ông trú ngụ gần Prague, nơi ông trở thành nhà thiên văn cho triều đình của Hoàng đế Rudolf xứ Bohemia. Ở đó, vào năm trước khi mất, Tycho phát hiện ra một nhà toán học trẻ tài năng, Johannes Kepler, để hỗ trợ trong việc phân tích các dữ liệu khá quát về thiên văn của ông.

✧ KEPLER

Kepler (1571–1630) sinh ra trong một gia đình nghèo ở tỉnh Wur-ttemberg của Đức và sống phần lớn cuộc đời mình giữa tình trạng rối loạn của Chiến tranh 30 năm (Thirty Years' War). Ông vào trường đại học ở Tübingen và nghiên cứu khoa thần học. Ở đây, ông học các nguyên lý về hệ thống của Copernicus và trở thành người cải đạo theo thuyết nhật tâm. Sau cùng, Kepler tới Prague để phục vụ với vai trò là người phụ tá cho Tycho, người đã giao cho ông cố gắng tìm ra một lý



Johannes Kepler (1571–1630), nhà toán học và thiên văn học người Đức. Khám phá của ông về các định luật định lượng cơ bản, mô tả sự chuyển động của hành tinh, đặt vũ trụ luận nhật tâm của Copernicus trên một cơ sở toán học vững chắc.

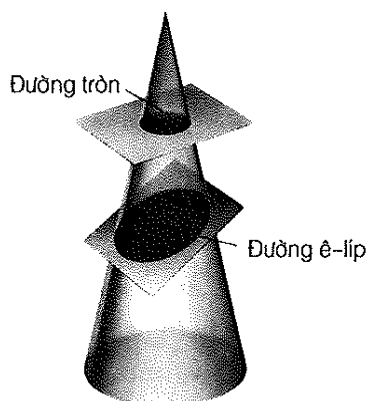
thuyết hoàn chỉnh về chuyển động của hành tinh, một lý thuyết phù hợp với những cuộc quan sát lâu dài được thực hiện tại Hven.

Tycho do dự cung cấp cho Kepler nhiều tài liệu, vì sợ rằng Kepler sẽ khám phá ra những bí mật về các chuyển động của vũ trụ, do đó sẽ lấy mất phần nào danh tiếng của Tycho. Chỉ sau khi Tycho mất vào năm 1601, Kepler mới sở hữu được những tài liệu ghi chép vô giá. Sự nghiên cứu của họ chiếm hầu hết thời gian của Kepler trong hơn 20 năm.

Nghiên cứu tỉ mỉ nhất của Kepler là về Sao Hỏa (Mars), vì các dữ kiện quan sát về Sao Hỏa là lớn nhất. Vào năm 1609, ông công bố những kết quả đầu tiên trong *The New Astronomy* (Tân thiên văn học), trong đó chúng ta tìm thấy hai định luật đầu tiên về sự chuyển động của hành tinh. Khám phá của họ là một bước đi có ảnh hưởng sâu sắc đến quá trình phát triển của khoa học hiện đại.

♦ QUỸ ĐẠO CỦA HẠNH TINH

Kepler bắt đầu công việc nghiên cứu bằng sự thừa nhận rằng quỹ đạo của

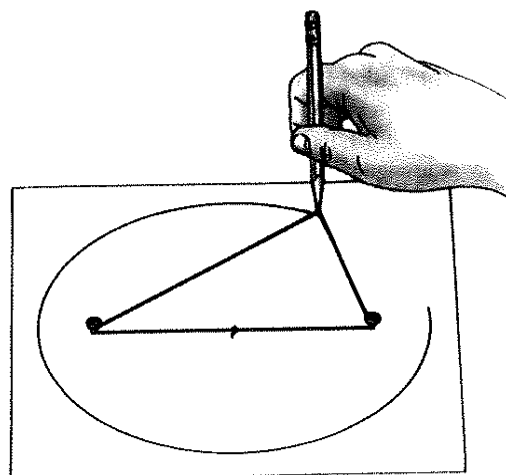


Các tiết diện nón. Đường tròn và đường ê-líp đều được hình thành bởi một sự giao nhau của một mặt phẳng với một hình nón. Điều này là lý do tại sao tất cả các đường cong đều được gọi là tiết diện nón hay mặt cắt nón.

các hành tinh là những đường tròn, song những quan sát lại trái ngược với ý tưởng này. Làm việc với các dữ kiện về Sao Hỏa, cuối cùng ông khám phá ra rằng quỹ đạo của hành tinh này có hình dạng của một vòng tròn hơi dẹt, hay hình ê-líp (ellipse). Gần như là đường tròn, hình ê-líp là một loại đường cong khép kín đơn giản nhất, thuộc về một họ đường cong gọi là *tiết diện nón* hay *tiết diện conic* (conic sections).

Bạn có thể nhớ lại từ các lớp học toán rằng trong một đường tròn, khoảng cách từ một điểm đặc biệt gọi là tâm đến bất kỳ một điểm nào trên vòng tròn đều hoàn toàn bằng nhau. Trong một hình ê-líp, tổng số các khoảng cách từ hai điểm đặc biệt bên trong ê-líp tới bất kỳ điểm nào trên đường ê-líp thì luôn luôn bằng nhau. Hai điểm này nằm bên trong ê-líp được gọi là các *tâm sai* (focus hay foci) của nó, một từ ngữ được Kepler sáng tạo cho mục đích này.

Đặc tính này nêu ra một cách thức đơn giản để vẽ một đường ê-líp. Chúng



Chúng ta có thể dựng một hình ê-líp với hai cây đinh mũ và một sợi dây, trong đó hai cây đinh là hai tâm sai của hình ê-líp. Lưu ý rằng độ dài của sợi dây giữ nguyên không thay đổi, để cho tổng số các khoảng cách từ bất cứ điểm nào trên đường ê-líp tới các tâm sai luôn luôn bằng nhau.

ta buộc các đầu của đoạn dây vào hai cây đinh ghim xuyên qua một tờ giấy vào một bảng vẽ, sao cho sợi dây bị chùng. Nếu chúng ta đẩy cây bút chì vào sợi dây, làm cho sợi dây bị căng ra, và kể đó trượt cây bút chì dựa vào sợi dây chạy quanh các cây đinh, đường cong cuối cùng có được là một hình ê-líp. Dù cho cây bút chì ở tại bất cứ điểm nào, tổng số của các khoảng cách từ bút chì tới hai cây đinh là một độ dài không đổi – độ dài của sợi dây. Các cây đinh là hai tâm sai của hình ê-líp.

Đường kính rộng nhất của hình ê-líp được gọi là trục chính (major axis). Phần nửa khoảng cách này – đó là, khoảng cách từ tâm của hình ê-líp tới một đầu – là *bán kính trục chính* hay *nửa trục chính* (semimajor axis), thường được dùng để xác định kích thước của ê-líp. Thí dụ, bán kính trục chính của quỹ đạo Sao Hỏa, hoá ra cũng là khoảng cách trung bình của hành tinh đối với Mặt Trời, là 228 triệu km.

Hình dạng (độ tròn) của hình ê-líp tùy thuộc vào hai tâm sai gần nhau đến mức nào, so với trục chính. Tỷ số khoảng cách giữa hai tâm sai với độ dài của trục chính được gọi là **độ lệch tâm** (eccentricity) của hình ê-líp. Nếu hình ê-líp được vẽ bằng cách dùng sợi dây và các cây đinh mũ, độ dài của trục chính là độ dài của sợi dây và độ lệch tâm là khoảng cách giữa của hai cây đinh chia cho độ dài của sợi dây.

Nếu các tâm sai (hay các cây đinh) ở cùng một vị trí, độ lệch tâm là zero (hay bằng không) và hình ê-líp chỉ là một hình tròn; do vậy, hình tròn là một hình ê-líp có độ lệch tâm bằng không. Chúng ta có thể tạo ra những hình ê-líp có nhiều dạng bằng cách thay đổi khoảng

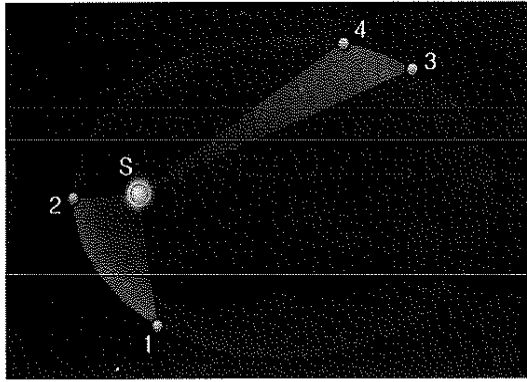
cách giữa các cây đinh (miễn là chúng không cách xa hơn độ dài của sợi dây). Độ lệch tâm càng lớn, hình ê-líp càng bị kéo thon dài ra, tới độ lệch tâm tối đa bằng 1.

Kích thước và hình dạng của một đường ê-líp hoàn toàn được xác định bởi bán kính trục chính và độ lệch tâm của nó. Kepler nhận thấy rằng Sao Hỏa có một quỹ đạo hình ê-líp, với Mặt Trời nằm ở một tâm sai (tâm sai còn lại thì trống không). Độ lệch tâm của quỹ đạo Sao Hỏa chỉ khoảng chừng là 0,1; quỹ đạo của nó, được vẽ theo tỉ lệ, sẽ thực sự không thể phân biệt được với một hình tròn. Tuy nhiên, sự phân biệt là hết sức quan trọng đối với việc tìm hiểu những chuyển động của hành tinh.

Kepler đã khái quát hoá kết quả này trong định luật đầu tiên của ông và nói rằng các quỹ đạo của tất cả các hành tinh là hình ê-líp. Đây là thời điểm quyết định trong lịch sử tư tưởng nhân loại: Không nhất thiết chỉ có những hình tròn để có một vũ trụ có thể chấp nhận được. Vũ trụ có thể phức tạp hơn một chút so với những gì các triết gia Hy Lạp mong muốn.

Định luật thứ hai của Kepler bàn về tốc độ mà với nó mỗi hành tinh di chuyển theo hình ê-líp. Làm việc với các quan sát của Tycho về Hỏa Tinh, Kepler khám phá ra rằng hành tinh này tăng tốc khi nó đi gần Mặt Trời hơn và chậm lại khi nó đi xa Mặt Trời. Ông diễn giải hình dạng chính xác của mối liên hệ này bằng cách tưởng tượng rằng Mặt Trời và Sao Hỏa được nối với nhau bằng một sợi dây thẳng nhưng khi co khi giãn (hay đàn hồi).

Khi Sao Hỏa gần Mặt Trời hơn (vị trí 1 và 2 trong hình), sợi dây đàn hồi



Định luật Kepler thứ hai: Định luật về các diện tích bằng nhau. Hành tinh di chuyển nhanh nhất trên quỹ đạo hình ê-líp của nó khi ở vị trí 1, gần Mặt Trời nhất, và Mặt Trời nằm ở một tâm sai của hình ê-líp ấy. Tốc độ đi trên quỹ đạo của hành tinh thay đổi theo cách thức mà trong những khoảng thời gian bằng nhau thì đường thẳng giữa Mặt Trời và hành tinh quét qua những diện tích bằng nhau. Do đó diện tích được quét qua từ 1 đến 2 thì cũng bằng như diện tích từ 3 đến 4. Hãy lưu ý rằng độ lệch tâm của các quỹ đạo hành tinh thực ra ít hơn là được mô tả ở đây.

không bị kéo căng quá nhiều, và hành tinh này di chuyển nhanh hơn. Khi xa Mặt Trời hơn, như ở vị trí 3 và 4, sợi dây bị kéo căng nhiều, và hành tinh không thể di chuyển nhanh được. Vì Sao Hỏa di chuyển trong quỹ đạo ê-líp của nó quanh Mặt Trời, sợi dây đàn hồi quét qua những khu vực của hình ê-líp. Kepler phát hiện ra rằng trong những khoảng thời gian bằng nhau, những diện tích được quét qua bởi sợi dây tưởng tượng này luôn luôn bằng nhau: nghĩa là, diện tích của vùng từ 1 tới 2 bằng với diện tích của vùng từ 3 tới 4.

Đây cũng là một đặc tính chung của các quỹ đạo của tất cả các hành tinh. Một hành tinh trong một quỹ đạo hình tròn lúc nào cũng di chuyển với một vận tốc không đổi (hay bất biến), nhưng trong một hình ê-líp tốc độ của hành tinh thay đổi đáng kể, theo quy luật mà Kepler đã phát hiện.

✧ CÁC ĐỊNH LUẬT CHUYỂN ĐỘNG CỦA HÀNH TINH

Hai định luật đầu tiên của Kepler về chuyển động của hành tinh mô tả hình dạng quỹ đạo của một hành tinh và cho phép chúng ta tính toán tốc độ chuyển động của nó ở bất cứ điểm nào trên quỹ đạo. Kepler vui mừng vì đã khám phá ra những quy luật cơ bản ấy, nhưng chúng không làm thỏa mãn tìm hiểu của ông về các chuyển động của hành tinh. Ông muốn biết rõ tại sao các quỹ đạo của các hành tinh lại nằm cách nhau như thế, và tìm ra một sơ đồ toán học về những chu kỳ quỹ đạo của chúng – một “sự phối hợp hài hoà của các thiên cầu”, như cách mà ông gọi. Trong nhiều năm trời, ông đã tìm cách khám phá những mối quan hệ toán học chi phối những khoảng cách của hành tinh và thời gian mà mỗi hành tinh cần để đi chung quanh Mặt Trời.

Năm 1619, Kepler thành công trong việc tìm ra một mối quan hệ đại số đơn giản để nối kết các bán kính trục chính của quỹ đạo các hành tinh và các chu kỳ xoay tròn của chúng. Nó áp dụng cho tất cả các hành tinh, kể cả Trái Đất, và cung cấp một phương tiện để tính toán các khoảng cách tương đối của chúng đối với Mặt Trời.

Về hệ mặt trời, định luật thứ ba của Kepler có dạng đơn giản nhất khi chu kỳ được diễn giải bằng năm (chu kỳ quay của Trái Đất) và bán kính trục chính của quỹ đạo được diễn giải bằng những thuật ngữ về khoảng cách trung bình của Trái Đất đối với Mặt Trời, gọi là đơn vị thiên văn (AU, viết tắt của chữ: astronomical unit). Một đơn vị thiên văn bằng $1,5 \times 10^8$ km. Định luật thứ ba của Kepler là:

$$(\text{khoảng cách})^3 = (\text{chu kỳ})^2$$

Thí dụ, mối quan hệ này cho chúng ta biết cách tính khoảng cách trung bình của Sao Hỏa đối với Mặt Trời (bán kính trục chính của quỹ đạo của nó) với chu kỳ của nó là 1,88 năm. Chu kỳ bình phương là $1,88 \times 1,88 = 3,53$, và con số này bằng 1,52 tam thừa (hay lũy thừa ba) ($1,52 \times 1,52 \times 1,52$). Do đó, bán kính trục chính của hành tinh bằng đơn vị thiên văn phải là 1,52. Nói cách khác, để đi chung quanh Mặt Trời trong thời gian ít hơn hai năm một chút, Sao Hỏa phải xa Mặt Trời hơn 50% so với Trái Đất. Ba định luật về chuyển động của hành tinh của Kepler có thể được tổng kết như sau:

Định luật Kepler thứ nhất:

Mỗi hành tinh di chuyển chung quanh Mặt Trời trên một quỹ đạo là hình ê-líp, với Mặt Trời nằm ở một tâm sai của ê-líp ấy.

Định luật Kepler thứ hai:

Đường thẳng nối liên hành tinh và Mặt Trời quét qua những diện tích bằng nhau trong không gian trong những khoảng thời gian bằng nhau.

Định luật Kepler thứ ba:

Bình phương chu kỳ quay của hành tinh hoàn toàn tương ứng (tương đương) với tam thừa của bán kính trục chính quỹ đạo của nó.

Ba định luật này cung cấp một sự mô tả hình học chính xác về chuyển động của hành tinh trong cấu trúc hệ thống của Copernicus. Với những công cụ này, ta có thể tính toán được các vị trí của hành tinh với sự chính xác rất lớn. Song các định luật của Kepler thuần túy là mô tả; chúng không giúp chúng ta hiểu rõ rằng

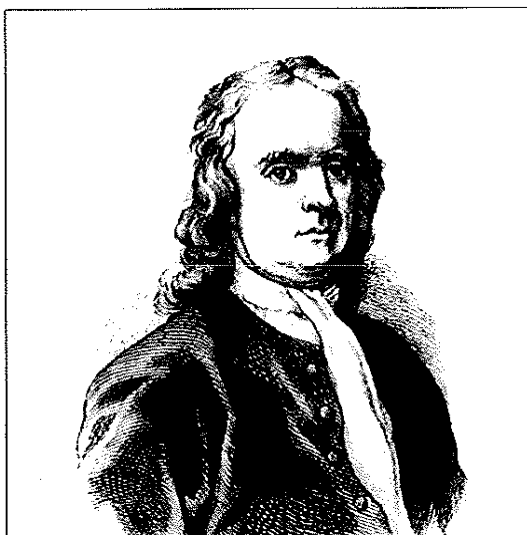
những lực vũ trụ nào buộc các hành tinh tuân theo tập hợp các quy luật riêng biệt này. Việc ấy dành cho Newton.

2.2 SỰ TỔNG HỢP VĨ ĐẠI CỦA NEWTON

Chính thiên tài của Isaac Newton (1643–1727) đã phát hiện ra một cấu trúc khái quát hoàn toàn giải thích được những sự quan sát và các quy luật do Galileo, Tycho và những người khác tập hợp. Newton sinh ra ở Lincolnshire, Anh, trong năm sau khi Galileo chết. Ngược lại lời khuyên của mẹ ông, muốn ông ở nhà và giúp đỡ nông trại của gia đình, ông thi vào trường Trinity College ở Cambridge năm 1661 và tám năm sau đó được bổ nhiệm làm giáo sư Toán tại đây. Trong số những người cùng thời với Newton ở Anh là kiến trúc sư Christopher Wren, hai tác giả Samuel Pepys và Daniel Defoe, và nhà soạn nhạc G.F. Handel.

♦ CÁC ĐỊNH LUẬT CHUYỂN ĐỘNG CỦA NEWTON

Khi còn là một sinh viên đại học, Newton quan tâm về triết học tự nhiên, như khoa học được gọi tên vào thời ấy. Ông nảy sinh ra một số ý tưởng về cơ học và quang học trong hai năm dịch bệnh 1665 và 1666, khi mà các sinh viên được gửi từ trường về nhà. Newton tiếp tục làm việc với những ý tưởng của mình một cách kín đáo, thậm chí phát minh ra những công cụ toán học mới để giúp ông giải quyết những rắc rối. Cuối cùng, bạn ông, Edmund Halley, thuyết phục ông thu thập và công bố những nghiên cứu đáng lưu ý về sự chuyển động và lực hút. Kết quả là một quyển sách trình



Isaac Newton (1643–1727), tác phẩm của ông về các định luật của sự chuyển động, lực hấp dẫn, quang học và toán học đặt nền tảng cho nhiều ngành khoa học vật lý.

bày hệ thống cơ bản của thế giới vật lý, mang tựa đề: *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, ra đời. *Principia* (Nguyên lý), như thường được biết đến, được xuất bản với chi phí của Halley vào năm 1687.

Ngay phần mở đầu của cuốn *Principia*, Newton nêu ra ba định luật mà ông cho là chi phối các chuyển động của tất cả các vật thể.

Định luật Newton thứ nhất:

Mọi vật thể tiếp tục thực hiện những gì chúng đang thực hiện – đang ở trạng thái đứng yên (hay trạng thái tĩnh), hay di chuyển đều trên một đường thẳng – trừ phi nó bị bắt buộc thay đổi do một lực bên ngoài.

Định luật Newton thứ hai:

Sự thay đổi về chuyển động của một vật thể tương ứng với lực tác động lên nó, và được tạo ra theo hướng trong đó lực đó đang tác động.

Định luật Newton thứ ba:

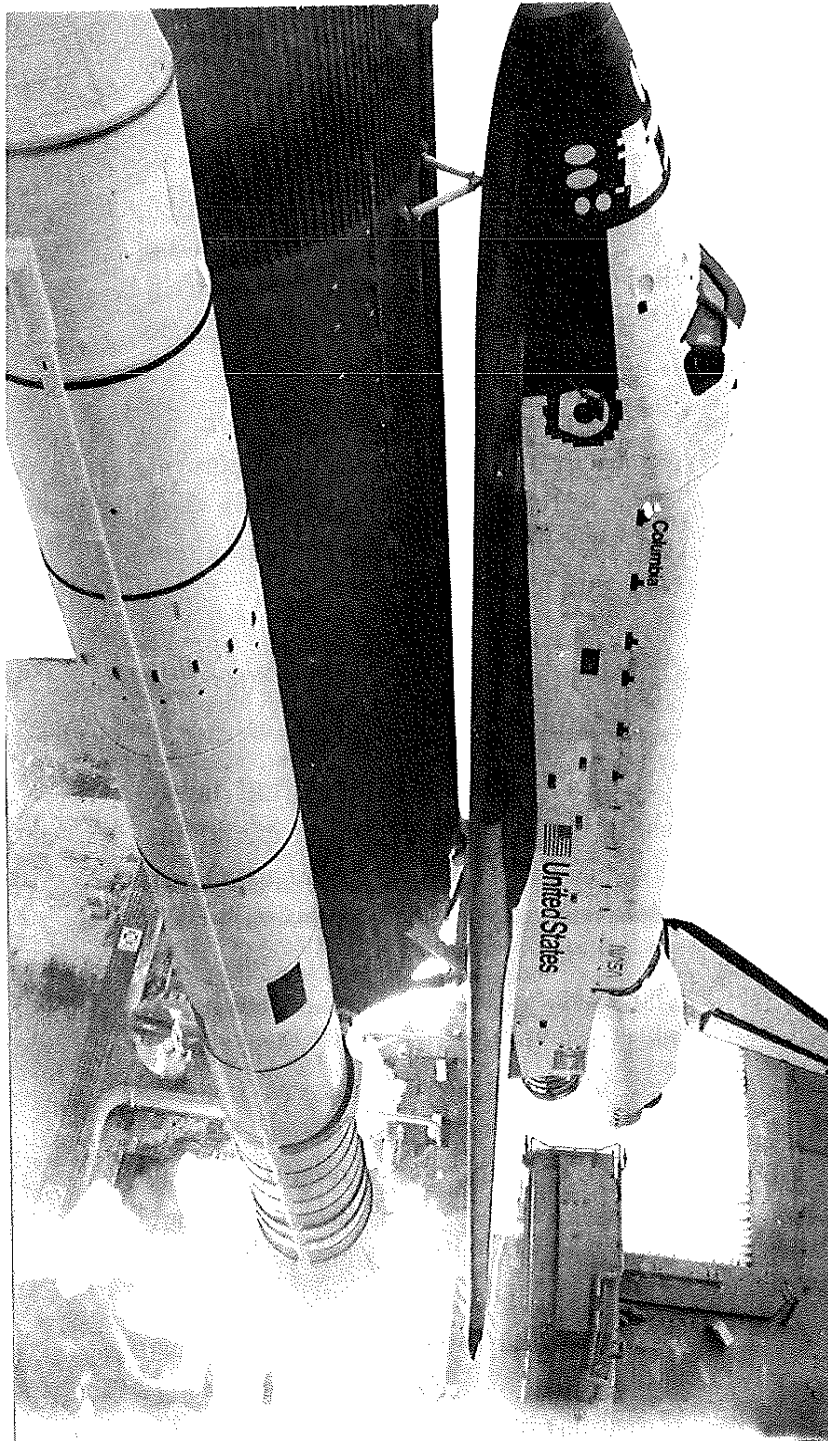
Đối với mỗi lực tác động, có một phản lực tương đương và ngược lại (hay, những lực tương tác giữa hai vật thể với nhau thì luôn luôn bằng nhau và tác động ngược chiều nhau).

Trong tiếng Latin nguyên văn, ba định luật này chỉ có 50 từ, tuy nhiên với ngần ấy từ ngữ như vậy đã đặt nền tảng cho khoa học hiện đại. Chúng ta hãy xem xét chúng kỹ càng hơn.

✧ SỰ DIỄN GIẢI VỀ CÁC ĐỊNH LUẬT CỦA NEWTON

Định luật Newton thứ nhất là sự phát biểu lại một trong số những khám phá của Galileo, gọi là *sự bảo toàn động lượng* (conservation of momentum) – ở đó động lượng là một đơn vị đo lường về sự chuyển động của vật thể. Định luật phát biểu rằng khi không có bất kỳ ảnh hưởng bên ngoài nào, động lượng của vật thể vẫn giữ nguyên không đổi. Nói khác đi, một vật thể đứng yên vẫn cứ đứng yên, và một vật thể di động vẫn cứ di động. Động lượng tùy thuộc vào ba yếu tố. Yếu tố đầu tiên là *vận tốc* (speed) – vật thể di chuyển nhanh đến mức nào (bằng không nếu nó đứng yên). Yếu tố thứ hai là *hướng* (direction) mà trong đó vật thể đang di chuyển. Các nhà khoa học dùng thuật ngữ “velocity” (tốc độ) để mô tả cả hai yếu tố: vận tốc và hướng. Thí dụ, 20 kilômét mỗi giờ (km/giờ) về hướng nam là tốc độ, thì 20 km/giờ là vận tốc. Yếu tố thứ ba về động lượng là điều mà Newton gọi là *khối lượng* (mass). Khối lượng là một đơn vị đo lường về số lượng vật chất trong một vật thể, như chúng ta sẽ bàn sau này.

Như đã đề cập trong Chương 1, không dễ dàng để thấy được quy luật này trong



Chứng minh định luật Newton thứ ba: Phi thuyền con thoi của Hoa Kỳ lúc phóng đi, được đẩy đi bằng ba động cơ nhiên liệu lỏng đốt cháy oxy và hydro lỏng, cùng với hai động cơ tăng cường bằng nhiên liệu đặc.

đáng kể, các vật thể thực sự có thể tiếp tục di chuyển (lao đi) bất tận. Định luật Newton thứ nhất đôi khi được gọi là **Định luật về Quán tính** (law of inertia), quán tính là khuynh hướng của vật thể (và những quy luật) cứ tiếp tục thực hiện những gì chúng đang thực hiện.

Động lượng của một vật thể chỉ có thể thay đổi dưới sự tác động của một ảnh hưởng bên ngoài. Định luật Newton thứ hai định nghĩa **lực** (force) bằng những thuật ngữ về khả năng làm **thay đổi động lượng** (to change momentum) của nó.

Lực (mà bạn có thể nghĩ đến như một sức đẩy hay sức kéo) có cả hai phần: độ lớn và hướng. Khi lực được tác động lên một vật thể, động lượng làm thay đổi hướng

các hoạt động của thế giới hàng ngày. Các vật thể trong chuyển động không giữ nguyên trong chuyển động, do các lực bên ngoài lúc nào cũng đang tác động. Một lực quan trọng là lực ma sát, có khuynh hướng làm chậm các vật lại. Nếu bạn lăn một trái bóng xuống vỉa hè (hay lề đường), cuối cùng nó cũng dừng lại bởi vì sự cọ xát của trái bóng xuống vỉa hè sinh ra một lực. Nhưng ngoài không gian giữa các sao, nơi mà lực ma sát là không

của lực tác động. Điều này có nghĩa là một lực cần thiết để làm thay đổi hoặc vận tốc hoặc chiều của vật thể, hoặc cả hai – nghĩa là, để làm cho nó bắt đầu di chuyển, làm cho nó di chuyển nhanh hơn, làm cho nó chậm lại, khiến cho nó ngừng lại, hay làm thay đổi hướng của nó.

Bất cứ sự thay đổi nào như thế trong trạng thái chuyển động của vật thể được gọi là **sự gia tốc** (acceleration). Newton chứng minh rằng gia tốc của một vật

thể thì tương ứng với lực được tác dụng lên nó. Bạn đá càng mạnh vào cuốn sách này chừng nào, thì nó càng bay ra khỏi căn phòng nhanh chừng nấy. Một lực sẽ gia tốc một vật thể đến mức nào được xác định bởi khối lượng của vật thể đó. Nếu bạn đá vào một trái banh quần vợt (tennis) với cùng một lực mà bạn đá vào cuốn sách giáo khoa, trái banh quần vợt – có khối lượng nhỏ hơn – có thể được gia tốc tới một tốc độ lớn hơn.

Định luật Newton thứ ba là sâu sắc nhất. Về cơ bản, nó là sự tổng quát hoá định luật thứ nhất, nhưng nó cũng cho chúng ta một phương cách để định nghĩa khối lượng. Nếu chúng ta xét một hệ thống của hai hay nhiều vật thể cô lập với các ảnh hưởng bên ngoài, định luật Newton thứ nhất nói rằng tổng số động lượng của hệ thống của các vật thể sẽ giữ nguyên không đổi. Cho nên, bất kỳ sự thay đổi động lượng nào nằm trong hệ thống cũng phải được cân bằng bởi một sự thay đổi khác ngang bằng và ngược chiều với nó, để cho động lượng của toàn bộ hệ thống không bị thay đổi.

Điều này có nghĩa là các lực trong tự nhiên không xuất hiện đơn độc: Chúng ta nhận thấy rằng trong mỗi trạng thái luôn luôn có một cặp lực (hai lực) bằng nhau và đối nghịch (hay ngược chiều) nhau. Nếu một lực được tác động lên một vật thể, nó phải được tác động do một cái gì hay vật gì khác, và vật thể sẽ tác động một lực ngang bằng và ngược chiều đối với cái gì hay vật gì khác đó. Giả sử rằng trong kỳ thi giữa học kỳ, một sinh viên vừa chạy vừa la hét từ phòng học rồi nhảy ra ngoài cửa sổ (không cao lắm). Lực kéo anh ta xuống sau khi nhảy (như chúng ta sẽ thấy trong phần kế tiếp) là lực hút (hay lực hấp dẫn) giữa anh ta và

Trái Đất. Cả anh ta và Trái Đất phải chịu cùng toàn bộ thay đổi về động lượng do ảnh hưởng của lực tương tác này. Vì thế, cả anh chàng sinh viên và Trái Đất được gia tốc bởi lực hút lẫn nhau. Tuy nhiên, chàng sinh viên di chuyển nhiều hơn. Bởi vì Trái Đất có khối lượng lớn hơn không thể tưởng, nó có thể cũng trải qua cùng một sự thay đổi động lượng ấy bằng cách chỉ gia tốc với một lượng vô cùng nhỏ. Mọi lúc mọi vật đều rơi xuống Trái Đất, song sự gia tốc của hành tinh chúng ta tóm lại là hết sức nhỏ bé khó mà nhận biết và đo đạc được.

Một thí dụ rõ ràng hơn về tính chất hỗ tương (hay tương tác) của các lực giữa các vật thể thì không lạ gì với tất cả những ai đánh bóng chày. Sự nảy lại mà bạn cảm thấy khi bạn vung cây gậy chứng tỏ rằng quả bóng tác động một lực lên nó trong sự va chạm mạnh, y như cây gậy tác động lên quả bóng. Tương tự, khi cây súng trường được bắn, lực đẩy viên đạn ra khỏi nòng súng ngang bằng với lực đẩy ngược trở lại khẩu súng và vai của người bắn.

Thực vậy, điều này là nguyên tắc phía sau các động cơ phản lực và hỏa tiễn: lực tổng khí thải ra khỏi đuôi hỏa tiễn được đi kèm bởi lực đẩy hỏa tiễn đi tới. Khí thải không cần đẩy vào không khí hay Trái Đất; thực ra hỏa tiễn hoạt động tốt nhất trong môi trường chân không.

✧ KHỐI LƯỢNG, THỂ TÍCH VÀ TỶ TRỌNG

Trước khi bắt tay vào việc thảo luận các tác phẩm khác của Newton, chúng ta lướt qua một số thuật ngữ sẽ rất quan trọng để phân loại cho rõ ràng. Chúng ta bắt đầu với từ *khối lượng* (mass), là một đơn vị đo lường về số lượng vật chất trong một vật thể. Ngày nay, các nhà khoa học thường nghĩ về nó bằng những từ ngữ về

những số lượng của các hạt hạ nguyên tử (chẳng hạn như proton và neutron) cấu tạo nên vật thể.

Thể tích (volume) là một đơn vị đo lường về khoảng không vật lý do một vật thể chiếm, như centimét khối (cm^3) hay lít (l). Tóm lại, thể tích là “kích thước” của một vật thể; nó không có gì liên quan đến khối lượng. Một đồng xu và một quả bóng căng phồng hơi có thể đều có cùng một khối lượng, tuy nhiên chúng có những thể tích rất khác nhau.

Đồng xu và quả bóng cũng rất khác nhau về *tỷ trọng* (density), là một đơn vị đo lường về việc chúng ta có khối lượng là bao nhiêu trên một đơn vị thể tích, nói khác đi tỷ trọng là tỷ số giữa khối lượng và thể tích. Lưu ý rằng, trong ngôn ngữ sinh hoạt hàng ngày chúng ta thường sử dụng “nặng” (heavy) và “nhẹ” (light) như những dấu hiệu về tỷ trọng (hơn là trọng lượng – weight), thí dụ như, khi chúng ta nói rằng sắt thì nặng hay bánh xốp bơ thì nhẹ.

Các đơn vị tỷ trọng sẽ được sử dụng trong cuốn sách này là gram trên centimét khối (g/cm^3)⁽¹⁾. Nếu một khối vật chất nào đó có khối lượng 300 g và thể tích 100 cm^3 , thì tỷ trọng của nó là 3 g/cm^3 . Các vật chất quen thuộc trải ra một phạm vi đáng kể về tỷ trọng, từ các chất nhân tạo chẳng hạn như bọt plastic cách điện (nhỏ hơn $0,1 \text{ g/cm}^3$) cho tới vàng (19 g/cm^3). Trong vũ trụ của thiên văn học, rất nhiều các tỷ trọng đặc biệt có thể được tìm ra, suốt một mạch từ đuôi sao chổi (10^{-16} g/cm^3) cho tới sao neutron (10^{15} g/cm^3).

Vậy thì, tóm lại, khối lượng là “nhiều cỡ nào” (how much), thể tích là “lớn cỡ nào” (how big), và tỷ trọng là “nhét chặt cỡ nào” (how tightly packed).

♦ ĐỘNG LƯỢNG GÓC

Khái niệm về *động lượng góc* (angular momentum) hơi phức tạp hơn một chút, nhưng quan trọng cho việc tìm hiểu nhiều thiên thể. Động lượng góc là một đơn vị đo lường về động lượng của một vật thể khi nó xoay tròn hay quay quanh một điểm cố định nào đó. Bất kỳ lúc nào chúng ta bàn về sự xoay tròn của các vật thể đang quay, từ các hành tinh cho tới các thiên hà, chúng ta phải xem xét đến động lượng góc. Động lượng góc của một vật thể được định nghĩa như sản phẩm của ba định lượng: khối lượng của nó, tốc độ của nó, và khoảng cách của nó từ điểm cố định mà nó quay chung quanh.

Nếu ba định lượng này giữ nguyên không đổi – nghĩa là, nếu sự chuyển động xảy ra với một vận tốc không đổi và với một khoảng cách cố định từ tâm quay – thì động lượng góc cũng không đổi. Vì vậy, không tính sức cản không khí, nếu cột một sợi dây vào cuốn sách và quay nó chung quanh đầu bạn với một vận tốc không đổi, bạn sẽ có một hệ thống với động lượng góc không đổi.

Tổng quát hơn, động lượng góc là không đổi, hay được bảo toàn, trong bất kỳ hệ thống xoay tròn nào mà không có các lực bên ngoài tác động vào, hoặc trong đó chỉ có các lực được hướng thẳng vào hay ra khỏi tâm quay. Một thí dụ về một

⁽¹⁾ Thông thường chúng ta sử dụng các đơn vị hệ mét tiêu chuẩn (hay SI) trong sách này. Đơn vị hệ mét riêng của tỷ trọng là kg/m^3 . Nhưng đối với hầu hết mọi người g/cm^3 mang đến một đơn vị ý nghĩa hơn bởi vì tỷ trọng của nước chính xác là 1 g/cm^3 . Tỷ trọng được diễn tả bằng g/cm^3 đôi khi được gọi là tỷ trọng riêng hay trọng lượng riêng.

<i>Tỷ trọng của các chất</i>	
<i>Các chất</i>	<i>Tỷ trọng (g/cm³)</i>
Vàng	19.3
Chì	11.4
Sắt	7.9
Đất	5.6
Đá	2.5
Nước	1.0
Gỗ	0.8
Bọt nhựa cách điện	0.1
Silica	0.02



Sự bảo toàn động lượng góc. Khi một vận động viên trượt băng nghệ thuật đang quay xếp đôi cánh tay vào, khoảng cách của chúng đối với tâm quay nhỏ, do đó tốc độ của cô gia tăng. Khi đôi cánh tay vươn rộng ra, khoảng cách của chúng đối với tâm quay lớn hơn, do vậy cô quay chậm lại.

hệ thống như thế là một hành tinh quay quanh Mặt Trời. Định luật Kepler thứ hai là một thí dụ của sự bảo toàn động lượng góc. Khi một hành tinh tiến tới gần Mặt Trời trên quỹ đạo hình ê-líp của nó, khoảng cách tới tâm quay giảm đi; hành tinh gia tăng tốc độ để giữ nguyên động lượng góc. Tương tự, khi hành tinh đi xa Mặt Trời hơn, nó quay chậm hơn.

Giống như hành tinh tăng tốc khi nó đến gần Mặt Trời, một đám mây bụi co

lại hay một ngôi sao sụp đổ vào chính nó (đều là những trạng thái mà bạn sẽ gặp khi đọc tiếp) gia tăng tốc độ quay khi nó co lại. Khoảng cách tới tâm quay nhỏ hơn, do đó vận tốc tăng lên để giữ cho động lượng góc không đổi. Khái niệm này cũng được thể hiện bởi các vận động viên trượt băng nghệ thuật, khi họ xếp đôi tay và đôi chân vào để xoay nhanh hơn, và vươn đôi tay và đôi chân ra để quay chậm lại.

2.3 LỰC HÚT VŨ TRỤ HAY LỰC VẠN VẬT HẤP DẪN

♦ ĐỊNH LUẬT VỀ LỰC HẤP DẪN

Các định luật chuyển động của Newton chứng tỏ rằng, nếu cứ để mặc chúng, các vật thể đứng yên sẽ cứ đứng yên, và các vật thể đang chuyển động tiếp tục chuyển động đều trên một đường thẳng. Do vậy, chính là đường thẳng, chứ không phải đường tròn, xác định rõ trạng thái tự nhiên nhất của sự chuyển động. Trong trường hợp của các hành tinh, một lực nào đó phải làm cong đường đi của chúng từ những đường thẳng thành các đường ê-clíp. Lực đó, theo Newton, là lực hút hay lực hấp dẫn.

Dù thời nay điều đó nghe có vẻ hiển nhiên, nhưng vào thời của Newton thì lực hút là một điều gì đó chỉ quan hệ với Trái Đất mà thôi. Kinh nghiệm hàng ngày chứng tỏ cho chúng ta thấy rằng Trái Đất tác động một lực hút đối với các vật thể tại bề mặt của nó. Nếu bạn thả một vật gì đó ra khỏi tháp nghiêng ở Pisa (thuộc Ý), nó vừa rơi xuống mặt đất, vừa tăng tốc khi rơi. Sự thông minh của Newton là lực hút của Trái Đất có lẽ vươn rộng tới tận Mặt Trăng và sinh ra một sự gia tốc cần thiết làm cong đường

đi của Mặt Trăng từ một đường thẳng và giữ nó trong quỹ đạo. Ông còn suy nghĩ xa hơn rằng lực hút không bị giới hạn đối với Trái Đất, mà có một lực hấp dẫn chung giữa tất cả các thiên thể. Nếu thế, lực hấp dẫn giữa Mặt Trời và mỗi hành tinh có thể giữ các hành tinh ấy nằm trong quỹ đạo của nó.

Một khi Newton đã mạnh dạn nêu lên giả thuyết rằng có một sức hút hay *lực hấp dẫn vũ trụ* (universal attraction) đối với tất cả các thiên thể khắp mọi nơi trong không gian, ông phải xác định bản chất thực sự của lực hút. Việc mô tả bằng toán học chính xác về lực hút này phải thừa nhận rằng các hành tinh di chuyển đúng như Kepler đã quan sát chúng (như trình bày trong ba định luật của Kepler). Cũng vậy, định luật về lực hút phải tiên đoán động thái chính xác của các vật thể rơi trên Mặt Đất, như Galileo đã từng quan sát được. Để cho những điều kiện này được thỏa mãn, lực hút hay lực hấp dẫn phải phụ thuộc vào khoảng cách như thế nào?

Câu trả lời cho câu hỏi này đòi hỏi các công cụ toán học chưa được phát minh. Song điều này không làm cho Isaac Newton nản chí, ông đã phát minh những gì mà ngày nay chúng ta gọi là các *phép tính vi phân và tích phân* (calculus) để giải quyết vấn đề. Cuối cùng ông cũng có thể kết luận rằng lực hấp dẫn phải giảm đi với sự gia tăng khoảng cách giữa Mặt Trời và hành tinh (hay giữa bất kỳ hai vật thể nào) tương ứng với *bình phương nghịch đảo* (inverse square) của khoảng cách giữa chúng. Nói khác đi, nếu một hành tinh cách xa Mặt Trời gấp hai lần, lực hút sẽ là $\frac{1}{2^2}$ hay $\frac{1}{4}$ về độ lớn. Nhưng hành tinh xa hơn gấp ba lần, và lực hút là $\frac{1}{3^2}$ hay $\frac{1}{9}$ về sức mạnh.

Newton cũng kết luận rằng lực hấp dẫn giữa hai thiên thể phải tương ứng với khối lượng của chúng. Một vật thể có khối lượng càng lớn, lực hấp dẫn của nó càng mạnh. Được diễn giải như một công thức, lực hấp dẫn giữa hai vật thể bất kỳ được nêu ra bằng một công thức nổi tiếng nhất trong toàn bộ lãnh vực khoa học:

$$L\ddot{o}ic = GM_1M_2/R^2$$

Trong đó M_1 và M_2 là khối lượng của hai vật thể và R là khoảng cách của chúng. Con số được G đại diện được gọi là *hằng số hấp dẫn* (constant of gravitation). Với một lực như thế và các định luật về sự chuyển động, Newton đã có thể chứng minh về mặt toán học rằng những quỹ đạo duy nhất được chấp nhận, chính xác là những quỹ đạo do các định luật của Kepler mô tả.

Định luật hấp dẫn của Newton ảnh hưởng đối với các hành tinh, tuy nhiên nó thực sự là một định luật phổ quát hay không? Thuyết về lực hấp dẫn cũng sẽ dự đoán được sự gia tốc quan sát được của Mặt Trăng về phía Trái Đất, quay chung quanh Trái Đất ở một khoảng cách xa gấp 60 lần bán kính Trái Đất, cũng như của một vật thể (thí dụ như một trái táo) rơi xuống gần bề mặt Trái Đất. Sự rơi của trái táo là một điều gì đó chúng ta có thể đo lường khá dễ dàng; chúng ta có thể sử dụng điều đó để dự đoán các chuyển động của Mặt Trăng không?

Lý thuyết của Newton nói rằng lực tác động lên (và do đó gia tốc của) một vật thể hướng về Trái Đất sẽ tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách tính từ tâm Trái Đất. Những vật thể như trái táo tại bề mặt Trái Đất ($R = 1$ bán kính Trái Đất, khoảng cách tính từ tâm) được quan sát đã gia tốc khi rơi xuống với 9,8 mét

trên một giây bình phương ($9,8 \text{ m/s}^2$).

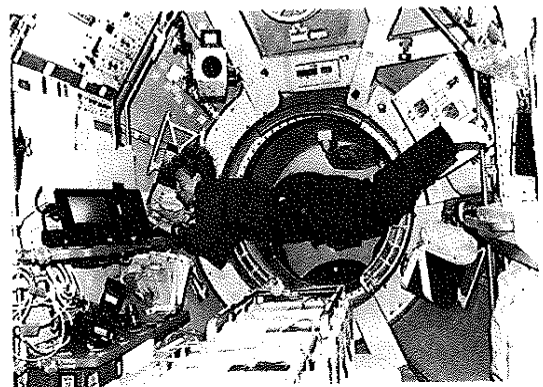
Do đó, nếu định luật có giá trị, thì Mặt Trăng, cách xa 60 lần bán kính Trái Đất tính từ tâm, sẽ chịu một sự gia tốc hướng về Trái Đất là $1/60^2$, hay ít hơn 3600 lần – nghĩa là, khoảng $0,00272 \text{ m/s}^2$. Đây chính xác là sự gia tốc quan sát được của Mặt Trăng trên quỹ đạo của nó. Quả là một thành tựu vĩ đại! Hãy tưởng tượng cảm xúc của Newton khi ý thức rằng ông đã khám phá và chứng minh một định luật có hiệu lực đối với cả Trái Đất, trái táo, Mặt Trăng và, theo như những gì chúng ta biết, mọi vật trong vũ trụ!

Hãy gác chuyện toán học sang một bên, điều mà định luật của Newton nêu ra là lực hút hay lực hấp dẫn là tính chất “có sẵn” hay “nội tại” của khối lượng. Bất kỳ nơi đâu sinh ra các khối lượng, chúng đều sẽ tương tác lẫn nhau qua lực hấp dẫn. Khối lượng càng lớn, lực mà nó tác động càng mạnh. Trên Trái Đất này, dĩ nhiên, sự tập trung lớn nhất của khối lượng là hành tinh chúng ta đang đứng, và lực hút của nó chi phối những sự tương tác mà chúng ta chịu đựng. Song mọi vật có khối lượng thu hút mọi thứ khác có khối lượng ở mọi trong vũ trụ. Thí dụ, bạn và cuốn sách này (mỗi bên đều có khối lượng) thu hút hay hấp dẫn lẫn nhau qua lực hút hay lực hấp dẫn. Tuy nhiên, nếu bạn làm rơi cuốn sách, nó bị Trái Đất hút mạnh hơn rất nhiều, vì vậy nó rơi xuống đất, chứ không rơi về phía bạn. Nhưng nếu bạn và cuốn sách này bằng một cách nào đó gặp nhau ngoài không gian bao la, cách xa khỏi bất cứ các sao hay hành tinh nào, bạn sẽ khám phá ra rằng lực hấp dẫn sẽ bắt đầu kéo cả hai lại với nhau.

Định luật Newton cũng nêu ra rằng lực hút không bao giờ trở thành số không

hay bằng không. Nó nhanh chóng yếu hơn theo khoảng cách, nhưng nó vẫn tiếp tục tác động tới một mức độ nào đó cho dù bạn cách xa là bao nhiêu đi nữa. Sức hút của Mặt Trời đối với Thủy Tinh (Mercury) mạnh hơn đối với Thiên Vương Tinh (Pluto), nhưng nó có thể được cảm nhận xa hơn Thiên Vương Tinh, nơi mà (như chúng ta sẽ thấy) chúng ta có bằng chứng hợp lý rằng nó vẫn tiếp tục khiến cho hàng hà sa số những thiên thể nhỏ bé quay quanh những quỹ đạo khổng lồ. Và lực hút của nó liên kết với lực hút của hàng tỷ sao khác để tạo ra lực hấp dẫn vạn vật của Dải Ngân Hà mà chúng ta đang sống. Đến lượt mình, lực ấy, có thể làm cho các tiểu thiên hà khác quay quanh Dải Ngân Hà, và cứ như thế.

Bạn có thể hỏi thế thì tại sao các phi hành gia đi trên tàu không gian con thoi có vẻ “vô trọng lực” và chúng ta xem trên màn ảnh truyền hình những hình ảnh về con người và các vật thể nổi bồng bồng trong phi thuyền? Xét cho cùng, các phi hành gia trong tàu con thoi chỉ cách xa vài trăm cây số bên trên mặt đất, thật



Trên phi thuyền con thoi Columbia vào tháng 7/1997, phi hành gia Susan Still nổi bồng bồng trước bàn điều khiển trung tâm trong phòng thí nghiệm của phi thuyền (Spacelab). Cả cô và phi thuyền con thoi đang rơi tự do chung quanh Trái Đất, và vì vậy cô không chịu một lực nào liên quan với phi thuyền (giống như những người trong một thang máy rơi tự do sẽ cảm thấy vô trọng lực trong một thời gian ngắn ngủi).

sự là một khoảng cách không đáng kể gì so với kích thước của Trái Đất. Lực hút chắc chắn là không yếu hơn nhiều lắm dù xa hơn nhiều. Vì cùng một nguyên nhân, các phi hành gia cảm giác tình trạng vô trọng lực cũng như những hành khách đang đi trong thang máy mà dây cáp bị đứt, hay đi trên máy bay mà động cơ không còn hoạt động⁽²⁾. Họ đang *rơi* (falling), và rơi tự do, họ gia tăng tốc độ cùng một mức độ như mọi vật chung quanh họ, kể cả chiếc phi thuyền và miếng bánh sandwich vừa vượt khỏi tay họ. Do đó, *phụ thuộc* (relative) vào phi thuyền con thoi, các phi hành gia không chịu một lực phụ nào cả và vì vậy cảm thấy “vô trọng lực”. Tuy nhiên, không giống như hành khách trong thang máy đang rơi, các phi hành gia đang rơi *chung quanh* Trái Đất, chứ không phải *rơi thẳng xuống* Trái Đất (và sẽ sống sót để kể lại câu chuyện của họ).

✧ SỰ CHUYỂN ĐỘNG TRÊN QUỸ ĐẠO VÀ KHỐI LƯỢNG

Các định luật của Kepler là những mô tả về quỹ đạo của các vật thể di chuyển theo các định luật chuyển động và định luật hấp dẫn của Newton. Tuy nhiên, khi biết rằng lực hấp dẫn là lực hút các hành tinh về phía Mặt Trời, cho phép Newton xét lại định luật thứ ba của Kepler. Nên nhớ rằng Kepler đã phát hiện ra sự tương quan giữa chu kỳ quay của hành tinh với khoảng cách của nó tính từ Mặt Trời. Định luật hấp dẫn của Newton có thể được sử dụng để chứng

minh về mặt toán học rằng mối tương quan này là có thực:

$$D^3 = (M_1 + M_2) \times P^2$$

Như đã giải thích ở phần 2.1, chúng ta mô tả khoảng cách trong hệ mặt trời bằng các đơn vị thiên văn (AU) và các chu kỳ bằng năm. Song công thức của Newton trình bày yếu tố phụ về các khối lượng của Mặt Trời (M_1) và hành tinh (M_2), cả hai đều được diễn tả bằng các đơn vị khối lượng Mặt Trời.

Kepler đã bỏ sót yếu tố này ra sao? Trong các đơn vị về khối lượng Mặt Trời, khối lượng của Mặt Trời là 1; trong các đơn vị về khối lượng Mặt Trời, khối lượng của một hành tinh tiêu biểu là một phân số vô cùng nhỏ, và vì thế ($M_1 + M_2$) là rất, rất gần 1. Điều này làm cho công thức của Newton trông y như công thức của Kepler. Khối lượng nhỏ bé của các hành tinh là nguyên do mà Kepler không nhận thức rõ rằng các khối lượng đều phải được tính đến. Tuy nhiên, có nhiều trường hợp trong thiên văn học, ở đó chúng ta không cần kể hết hai số hạng khối lượng – thí dụ, khi hai ngôi sao hay hai thiên hà quay quanh lẫn nhau.

Việc kể ra số hạng khối lượng cho phép chúng ta sử dụng công thức này bằng một phương thức mới. Nếu chúng ta có thể đo được những sự chuyển động (các khoảng cách và chu kỳ) của các vật thể hoạt động theo lực hấp dẫn giữa chúng, công thức sẽ cho phép chúng ta suy ra được khối lượng của chúng. Thí dụ, chúng ta có thể tính khối lượng của Mặt Trời

⁽²⁾Trong cuốn phim Apollo 13, các khung cảnh trong đó các phi hành gia bị “vô trọng lực” được quay phim thực sự trong một phi cơ đang rơi. Cũng như bạn có thể hình dung, chiếc phi cơ chỉ rơi xuống trong những khoảng thời gian ngắn trước khi các động cơ hoạt động trở lại.

bằng cách sử dụng các khoảng cách và chu kỳ của các hành tinh, hay khối lượng của Mộc Tinh bằng cách chú ý sự chuyển động của Mặt Trăng. Tóm lại, sự tái lập công thức về định luật Kepler thứ ba của Newton là một trong những khái niệm mạnh mẽ nhất trong thiên văn học. Khả năng của chúng ta về việc suy ra được khối lượng của các vật thể từ sự chuyển động của chúng là điểm mấu chốt để tìm hiểu bản chất và sự quay tròn của nhiều thiên thể. Chúng ta sẽ sử dụng định luật này nhiều lần suốt cuốn sách này trong các phép tính từ quỹ đạo các sao chổi cho tới sự tương tác giữa các thiên hà.

2.4 CÁC QUỸ ĐẠO TRONG HỆ MẶT TRỜI

✧ MÔ TẢ QUỸ ĐẠO

Cơ học thiên thể là môn nghiên cứu về sự chuyển động của các thiên thể, bằng cách sử dụng thuyết hấp dẫn. Đường đi của một vật thể qua không gian được gọi là quỹ đạo, cho dù vật thể ấy

là một phi thuyền, hành tinh, sao, hay thiên hà. Quỹ đạo, một khi đã được xác định, giúp cho chúng ta tính được các vị trí tương lai của vật thể. Khi chỉ hai vật thể có liên hệ với nhau (chẳng hạn một hành tinh trong quỹ đạo quanh Mặt Trời), ba định lượng cần thiết để mô tả quỹ đạo. Đó là kích thước (bán kính trục chính hay nửa trục chính), hình dạng (độ lệch tâm), và chu kỳ quay.

Hai vị trí trong bất kỳ quỹ đạo nào đã được đặt cho những cái tên đặc biệt. Nơi mà hành tinh gần Mặt Trời nhất (tiếng Hy Lạp là *Helios*) được gọi là điểm cận nhật (perihelion) của quỹ đạo, và nơi mà nó ra xa nhất và di chuyển chậm nhất là điểm viễn nhật (điểm xa mặt trời nhất) (aphelion). Đối với một vệ tinh quay quanh Trái Đất (tiếng Hy Lạp là *Geos*), thuật ngữ liên quan là cận điểm (perigee) và viễn điểm (điểm xa trái đất nhất) (apogee).

✧ QUỸ ĐẠO CỦA CÁC HÀNH TINH

Ngày nay, công trình của Newton giúp chúng ta tính được và tiên đoán được quỹ

Dữ liệu quỹ đạo của các hành tinh			
Hành Tinh	Nửa Trục Chính (Đơn Vị Thiên Văn - AU)	Chu Kỳ (Năm)	Độ Lệch Tâm
Thủy Tinh	0,39	0,24	0,21
Kim Tinh	0,72	0,62	0,01
Trái Đất	1,00	1,00	0,02
Hỏa Tinh	1,52	1,88	0,09
Ceres	2,77	4,60	0,08
Mộc Tinh	5,20	11,86	0,05
Thổ Tinh	9,54	29,46	0,06
Thiên Vương Tinh	19,19	84,07	0,05
Hải Vương Tinh	30,06	164,80	0,01
Diêm Vương Tinh	39,60	248,60	0,25

đạo các hành tinh, bắt đầu từ Thủy Tinh gần Mặt Trời nhất và ra tới Diêm Vương Tinh. Dữ liệu quỹ đạo trung bình đối với các hành tinh được tổng kết trong bảng. (trong trường hợp bạn không nhận ra nó, Ceres là cái lớn nhất trong các *tiểu hành tinh* [asteroid]; xem phần kế tiếp)

Theo các định luật của Kepler, Thủy Tinh phải có chu kỳ quay ngắn nhất (88 ngày Trái Đất); do đó nó có tốc độ (đi trên) quỹ đạo nhanh nhất (trung bình 48km/s). Hoàn toàn ngược lại, Diêm Vương Tinh có chu kỳ là 249 năm và tốc độ quỹ đạo trung bình chỉ là 5km/s.

Tất cả các hành tinh có quỹ đạo với độ lệch tâm khá nhỏ. Các quỹ đạo lệch tâm nhiều nhất là các quỹ đạo của Thủy Tinh (0,21) và Diêm Vương Tinh (0,25); tất cả các quỹ đạo còn lại có độ lệch tâm nhỏ hơn 0 (zero). May mắn thay cho sự phát triển của khoa học là Hỏa Tinh có độ lệch tâm lớn hơn so với nhiều hành tinh khác, vì nếu không thì các quan sát tiền kính viễn vọng của Tycho sẽ không đủ cho Kepler suy ra rằng quỹ đạo của nó có dạng một hình ê-líp hơn là một hình tròn.

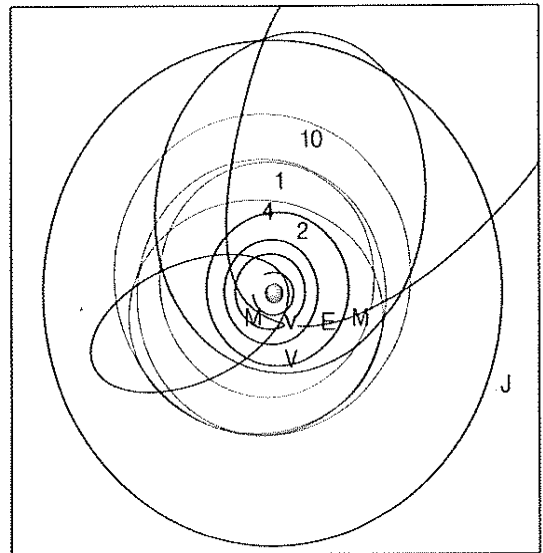
Các quỹ đạo hành tinh cũng được giữ gần với một mặt phẳng chung, nằm gần mặt phẳng của quỹ đạo Trái Đất (đường hoàng đạo). Quỹ đạo lạ lùng của Diêm Vương Tinh trung bình nghiêng đi khoảng 17° , nhưng tất cả quỹ đạo các hành tinh khác nằm trong khoảng 10° đối với mặt phẳng chung của hệ mặt trời.

♦ QUỸ ĐẠO CỦA CÁC TIỂU HÀNH TINH VÀ SAO CHỖI

Ngoài chín hành tinh ra, còn có nhiều thiên thể khác trong hệ mặt trời. Một số các thiên thể này là các vệ tinh tự nhiên

quay quanh các hành tinh ngoại trừ Thủy Tinh và Kim Tinh. Hơn nữa, có hai loại tiểu thiên thể trong quỹ đạo nhật tâm: các tiểu hành tinh và sao chổi. Cả tiểu hành tinh và sao chổi được cho là những mảnh vật chất còn sót lại từ quá trình hình thành hệ mặt trời.

Tiểu hành tinh và sao chổi khác biệt nhau về thành phần cấu tạo và đặc tính quỹ đạo của chúng. Nói chung, các tiểu hành tinh có quỹ đạo với bán kính trục chính nhỏ hơn so với sao chổi. Đa số chúng nằm giữa 2,2 và 3,3 AU (đơn vị thiên văn), trong khu vực có tên là **vành đai tiểu hành tinh** (asteroid belt). Như bạn có thể xem trong bảng, vành đai tiểu hành tinh (đại diện bởi thành viên lớn nhất của nó, Ceres) nằm ở giữa một khoảng trống giữa quỹ đạo của Hỏa Tinh và Mộc Tinh. Đó là do hai hành tinh này xa nhau rất nhiều cho nên các quỹ đạo ổn định của các tiểu thiên thể có thể tồn tại trong vùng nằm giữa chúng.



Các quỹ đạo hệ mặt trời. Chúng ta thấy quỹ đạo của các sao chổi và tiểu hành tinh tiêu biểu so sánh với quỹ đạo của Thủy Tinh, Kim Tinh, Trái Đất, Hỏa Tinh, và Mộc Tinh. Ba sao chổi: Halley, Kopff, và Encke và bốn tiểu hành tinh lớn nhất: 1 Ceres, 2 Pallas, 4 Vesta, và 10 Hygiea.

Thông thường các sao chổi có quỹ đạo với kích thước lớn hơn và độ lệch tâm lớn hơn so với quỹ đạo của các tiểu hành tinh. Điển hình là độ lệch tâm của các quỹ đạo của chúng là 0,8 hay lớn hơn. Cho nên, theo định luật Kepler thứ hai, chúng trải qua hầu hết thời gian ở xa Mặt Trời, và di chuyển rất chậm. Khi đến gần điểm cận nhật, các sao chổi tăng tốc và lao đi qua các phần bên trong của quỹ đạo nhanh hơn nhiều.

2.5 CHUYỂN ĐỘNG CỦA VỆ TINH VÀ PHI THUYỀN

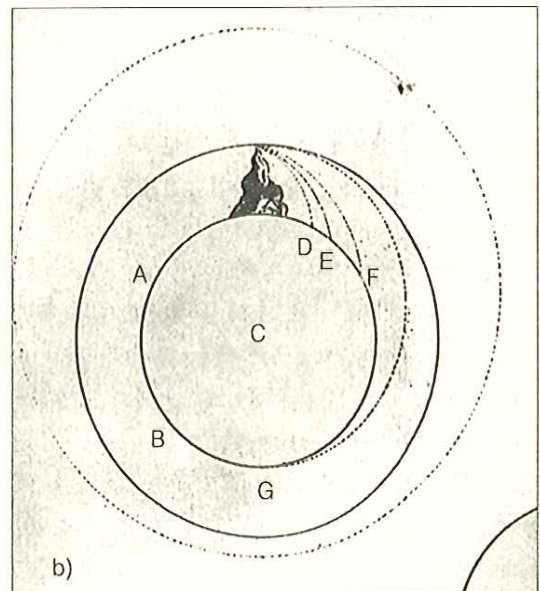
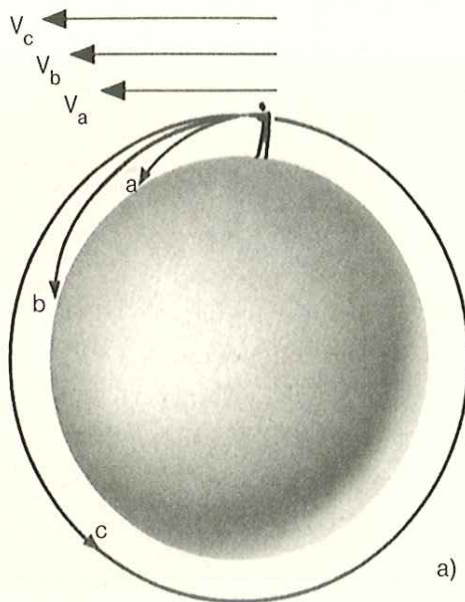
✧ SỰ BAY VÀO VŨ TRỤ VÀ QUỸ ĐẠO VỆ TINH

Định luật hấp dẫn và các định luật của Kepler mô tả sự chuyển động của các vệ tinh của Trái Đất và các tàu vũ trụ liên hành tinh cũng như các hành tinh. Sputnik, vệ tinh nhân tạo đầu tiên của Trái Đất, được Liên Xô phóng đi vào ngày

4/10/1957. Kể từ thời điểm đó, hàng ngàn vệ tinh đã được đưa vào quỹ đạo chung quanh Trái Đất, và tàu vũ trụ cũng đã quay quanh Mặt Trăng, Kim Tinh, Hoả Tinh, Mộc Tinh, và tiểu hành tinh Eros.

Một khi vệ tinh nhân tạo đã nằm trong quỹ đạo, sự vận hành của nó không khác với sự vận hành của vệ tinh tự nhiên, chẳng hạn như Mặt Trăng. Nếu vệ tinh ở vị trí khá cao đủ để thoát ra khỏi sự ma sát của bầu khí quyển, nó sẽ ở lại trong quỹ đạo mãi mãi, theo các định luật của Kepler trong một phương cách khá hoàn hảo. Tuy nhiên, dù cho không có khó khăn gì trong việc duy trì vệ tinh một khi đã nằm trong quỹ đạo, một năng lượng cực lớn cần có để nâng phi thuyền (tàu vũ trụ) lên khỏi Trái Đất và gia tốc cho nó lên bằng tốc độ của quỹ đạo.

Để mô tả một phi thuyền được phóng đi bằng cách nào, hãy hình dung một khẩu súng bắn ra một viên đạn theo chiều nằm ngang từ đỉnh núi cao.



Bắn một đầu đạn vào quỹ đạo. (Hình a). Đối với các đường a và b, vận tốc không đủ để ngăn không cho lực hút kéo đầu đạn trở lại Trái Đất; trong trường hợp c, vận tốc cho phép đầu đạn rơi chung quanh Trái Đất. (Hình b) Sơ đồ A của Newton trong cuốn *De Mundi Systematic* (Hệ Thống Vũ Trụ) của ông, ấn bản năm 1731, mô tả cùng một khái niệm trình bày ở Hình a.

(Hình a – mô phỏng từ một sơ đồ tương tự của Newton mô tả trong Hình b). Hơn nữa, hãy hình dung rằng sự ma sát của không khí có thể bị mất đi và không có vật gì có thể nằm trong đường đi của viên đạn; những ngọn núi khác, các toà nhà cao tầng, và vân vân, đều không có mặt. Sau đó chỉ một lực duy nhất tác động vào viên đạn sau khi nó rời khỏi nòng súng là lực hấp dẫn giữa viên đạn và Trái Đất.

Nếu viên đạn được bắn đi với một vận tốc nào đó mà chúng ta có thể gọi là v_0 , nó tiếp tục có được tốc độ đi tới ấy, nhưng trong lúc lực hấp dẫn tác động lên nó kéo nó xuống về phía Trái Đất, ở đó nó chạm mặt đất tại điểm a . Tuy nhiên, nếu nó được cung cấp một vận tốc ra khỏi nòng súng lớn hơn, v_1 , tốc độ đi tới của nó lớn hơn mang nó đi xa hơn trước khi nó chạm mặt đất. Đó là bởi vì, không kể tốc độ đi tới của nó, lực hút đi xuống là như nhau (không thay đổi). Do vậy, viên đạn di chuyển nhanh hơn này chạm mặt đất tại điểm b .

Nếu viên đạn được cung cấp một vận tốc ra khỏi nòng súng khá lớn, v_c , bề mặt cong của Trái Đất khiến cho mặt đất nghiêng đi phía dưới nó sao cho nó giữ nguyên cùng một khoảng cách bên trên mặt đất và rơi chung quanh Trái Đất theo trọn một đường tròn. Tốc độ cần thiết để làm được điều này – gọi là vận tốc quỹ đạo của vệ tinh (hay tốc độ quay theo quỹ đạo của vệ tinh) (circular satellite velocity) – là khoảng 8 km/s (km/giây) hay khoảng 17.500 mph (dặm/giờ) theo các đơn vị quen thuộc hơn.

Mỗi năm, hơn 50 vệ tinh mới được phóng đi vào quỹ đạo bởi các nước như Nga, Hoa Kỳ, Trung Quốc, Nhật, Ấn Độ và Israel, cũng như bởi Cơ Quan Không

Gian châu Âu (ESA). Hầu hết các vệ tinh được phóng vào quỹ đạo thấp của Trái Đất, bởi vì điều này đòi hỏi một năng lượng phóng tối thiểu. Với tốc độ trên quỹ đạo 8 km/s, chúng quay quanh hành tinh trong khoảng 90 phút.

Các quỹ đạo thấp của Trái Đất không ổn định mãi được, do sức lôi kéo sinh ra bởi sự ma sát với thượng tầng khí quyển mỏng manh cuối cùng dẫn đến sự mất năng lượng và “sự phá hoại” quỹ đạo. (Bằng những thuật ngữ trong tác phẩm của Newton, chúng ta có thể nói rằng sự ma sát là một lực khác nữa ở bên ngoài tác động vào vệ tinh). Về việc đi trở vào những phần đậm đặc hơn của bầu khí quyển, hầu hết các vệ tinh đều bị bốc cháy bởi sự ma sát của khí quyển, tuy nhiên một số bộ phận cứng rắn có thể đi tới mặt đất. Dĩ nhiên, những hỏa tiễn được điều khiển chẳng hạn như tàu không gian con thoi (Space Shuttle) và các thiết bị khác mang theo tàu vũ trụ có thể hồi phục được thiết kế để còn lại nguyên vẹn khi trở về.

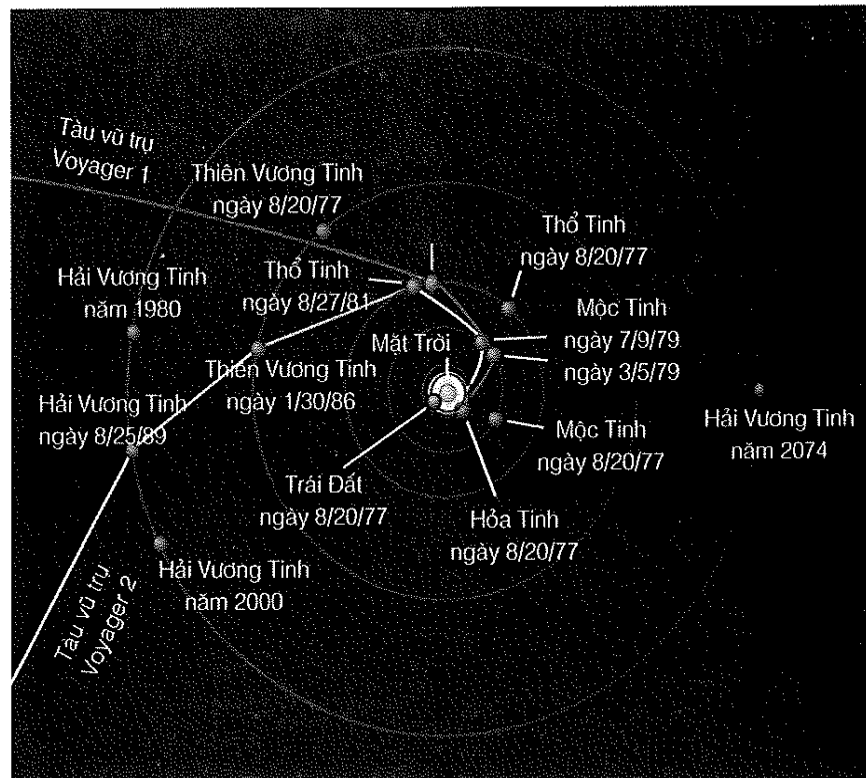


Các vệ tinh trong quỹ đạo trái đất: Một biểu đồ vẽ tất cả các vệ tinh không phân loại đã được biết và các mảnh vỡ của vệ tinh trong quỹ đạo Trái Đất lớn hơn kích thước của quả bóng mềm vào năm 1995.

✧ TÀU VŨ TRỤ LIÊN HÀNH TINH

Cuộc thám hiểm hệ mặt trời đã được tiến hành rộng lớn bằng các tàu vũ trụ robot đưa lên tới các hành tinh khác. Để thoát khỏi Trái Đất, những phi thuyền này phải đạt được vận tốc bứt phá (hay vận tốc thoát đi) (escape velocity), vận tốc cần thiết để di chuyển ra khỏi Trái Đất mãi mãi, vào khoảng 11 km/s (khoảng 25.000 dặm/giờ). Sau khi đó, chúng lao tới các đích đến, chỉ chịu một sự điều chỉnh nhỏ về đường bay được cung cấp bởi các hỏa tiễn đẩy nhỏ gắn trên tàu. Trong chuyến bay liên hành tinh, các tàu vũ trụ này đi theo các quỹ đạo theo định luật Kepler chung quanh Mặt Trời, chỉ được chuyển đổi khi chúng đi qua gần một hành tinh nào đó.

Trong lúc đi gần tới mục tiêu, do lực hút của hành tinh, tàu vũ trụ bị làm lệch hướng đi vào một *quỹ đạo biến cách* (modified orbit), hoặc thu được hay mất đi năng lượng trong quá trình ấy. Bằng cách chọn lựa cẩn thận đích đến trong cuộc chạm trán với hành tinh, những chuyên viên điều khiển đã thực sự có thể sử dụng lực hút của hành tinh để điều khiển lại cho tàu vũ trụ đang bay đi tới mục tiêu thứ hai. Tàu vũ trụ *Voyager 2* sử dụng một loạt cuộc chạm trán được lực hút hỗ trợ để tạo ra những chuyến bay thành công ngang qua Mộc Tinh (1979), Thổ Tinh (1981), Thiên Vương Tinh (1986) và Hải Vương Tinh (1989). Tàu vũ trụ *Galileo*, phóng đi vào năm 1989, bay ngang qua Kim Tinh và Trái Đất hai lần để thu năng lượng cần thiết



Sử dụng lực hấp dẫn giúp đi tới các hành tinh xa: Đường bay của Voyager 1 và Voyager 2 xuyên qua hệ mặt trời xa xôi, lợi dụng sức hút của mỗi hành tinh để điều chỉnh đường bay tới mục tiêu kế tiếp.

để đi tới mục tiêu cuối cùng của nó là Mộc Tinh.

Nếu chúng ta muốn đi vòng quanh một hành tinh, chúng ta phải làm cho tàu vũ trụ đi chậm lại bằng một hỏa tiễn khi tàu vũ trụ tới gần điểm đến, giúp cho nó bị hút vào một quỹ đạo hình ê-líp. Lực đẩy của hỏa tiễn phụ cần thiết để đưa con tàu tách khỏi quỹ đạo để đáp xuống bề mặt hành tinh. Cuối cùng, nếu một chuyến bay trở về Trái Đất đã được hoạch định, các thiết bị đáp phải có đủ lực đẩy để lập lại toàn bộ quá trình nhưng ngược lại.

2.6 LỰC HẤP DẪN CỦA NHIỀU HƠN HAI THIÊN THỂ

Đến bây giờ, chúng ta đã coi Mặt Trời và một hành tinh (hay một hành tinh và một trong các vệ tinh của nó) chỉ là một cặp thiên thể quay quanh nhau. Thực vậy, tất cả các hành tinh cũng sử dụng các lực hấp dẫn với nhau. Những lực hút liên hành tinh này gây ra những biến đổi nhỏ đối với các quỹ đạo mà người ta nghĩ rằng sẽ xảy ra nếu các lực hút giữa các hành tinh bị ngăn trở. Tiếc thay, vấn đề xử lý sự chuyển động của một thiên thể dưới ảnh hưởng hấp dẫn của hai hay nhiều thiên thể khác rất phức tạp và chỉ có thể được xử lý với những máy tính lớn.

♦ SỰ TƯƠNG TÁC CỦA NHIỀU THIÊN THỂ

Đây là một thí dụ về những gì chúng tôi muốn nói: Giả sử bạn có một chùm gồm một ngàn sao đều quay quanh một tâm điểm chung (chùm sao là khá phổ biến, như chúng ta sẽ thấy). Nếu chúng ta biết vị trí chính xác của mỗi sao tại một thời điểm nhất định nào đó, chúng ta có thể tính được lực hút tổng hợp của cả nhóm

đối với bất kỳ một thành viên sao nào trong chùm. Biết được lực đối với sao vừa nêu, từ đó chúng ta có thể hiểu nó sẽ gia tốc như thế nào. Nếu chúng ta biết được nó đang di chuyển như thế nào, để bắt đầu, chúng ta có thể tính được nó sẽ di chuyển ra sao trong thời điểm kế tiếp, nhờ đó theo dõi được chuyển động của nó.

Tuy nhiên, vấn đề trở nên phức tạp bởi sự kiện là những sao khác cũng đang di chuyển và do đó làm thay đổi ảnh hưởng mà chúng sẽ tác động lên ngôi sao của chúng ta. Vì thế cho nên, cùng một lúc chúng ta phải tính sự gia tốc của mỗi thiên thể được tạo ra do sự kết hợp các lực hút của tất cả thiên thể khác để theo dõi sự chuyển động của tất cả các sao, và từ đó của bất kỳ một sao nào. Những bài toán phức tạp như thế đã được thực hiện với các máy tính hiện đại để theo dõi sự tiến hoá của các chùm sao giả thuyết với mức một triệu thành viên.

Trong phạm vi hệ mặt trời, vấn đề tính toán quỹ đạo của các hành tinh và



Những siêu máy tính ở Trung tâm Nghiên cứu Ames của NASA có khả năng theo dõi những chuyển động của hơn một triệu vật thể dưới lực hút tương tác lẫn nhau của chúng.

phi thuyền đơn giản hơn một chút. Chúng ta đã thấy rằng các định luật Kepler, không chú ý tới các ảnh hưởng hấp dẫn của các hành tinh khác đối với một quỹ đạo, thực sự mang lại kết quả khá tốt. Đó là bởi vì những ảnh hưởng phụ này là rất nhỏ so với lực hấp dẫn áp đảo của Mặt Trời. Trong những tình huống như thế, có thể coi những ảnh hưởng của các thiên thể khác như những *xáo trộn* (hay những *nhiễu loạn*) nhỏ bé đối với lực do Mặt Trời tạo ra. Trong các thế kỷ XVII và XVIII, các nhà toán học phát triển nhiều kỹ thuật để tính toán các nhiễu loạn, cho phép họ dự đoán rất chính xác vị trí của các hành tinh. Các tính toán như thế cuối cùng dẫn đến sự khám phá một hành tinh mới vào năm 1846.

✧ SỰ KHÁM PHÁ HẢI VƯƠNG TINH

Sự khám phá ra hành tinh thứ tám, Hải Vương Tinh (Neptune), là một trong những đỉnh cao trong sự phát triển của thuyết hấp dẫn. Vào năm 1781, William Herschel, nhạc sĩ và nhà thiên văn học, bất ngờ khám phá ra hành tinh thứ bảy, Thiên Vương Tinh. Trùng hợp là Thiên Vương Tinh đã được quan sát vào thế kỷ trước, nhưng không hề được nhận biết như là một hành tinh; đúng hơn, nó chỉ

được ghi nhận là một ngôi sao.

Khoảng 1790, một quỹ đạo đã được tính toán dành cho Thiên Vương Tinh, bằng cách sử dụng các quan sát về sự chuyển động của nó trong thập niên sau khi nó được phát hiện. Tuy nhiên, ngay cả sau khi tính toán dung sai (allowance) đối với những ảnh hưởng gây xáo trộn của Mộc Tinh và Thổ Tinh, người ta nhận ra rằng Thiên Vương Tinh không di chuyển trên một quỹ đạo phù hợp chính xác với những quan sát về nó được thực hiện kể từ 1690. Vào khoảng 1840, sự sai lệch giữa các vị trí được quan sát đối với Thiên Vương Tinh và các vị trí được dự đoán từ quỹ đạo được tính toán của nó lên tới khoảng $0,03^\circ$ – một góc độ khó phân biệt được bằng mắt thường song vẫn còn lớn hơn những sai số có thể có trong những bài toán về quỹ đạo. Nói khác đi, Thiên Vương Tinh đúng là dường như không di chuyển trên quỹ đạo được tiên đoán từ lý thuyết của Newton.

Năm 1843, John Couch Adams, một người Anh trẻ tuổi, vừa tốt nghiệp Đại học Cambridge, bắt đầu phân tích chi tiết bằng toán học về những điều bất thường trong chuyển động của Thiên Vương Tinh để tìm hiểu xem liệu chúng có thể do lực hút của một hành tinh chưa biết. Những bài toán của J.C.Adams chỉ ra sự tồn tại của một hành tinh còn nằm xa hơn Thiên Vương Tinh đối với Mặt Trời. Tháng 10/1845, Adams giao những kết quả của mình cho George Airy, nhà thiên văn Anh, thông báo với ông nơi nào trong bầu trời để tìm thấy hành tinh mới. Ngày nay chúng ta biết rằng vị trí dự đoán của Adams đối với thiên thể mới này là chính xác trong vòng 2° , nhưng vì rất nhiều lý do, Airy đã không theo đuổi tới cùng ngay lúc đó.



Những nhà toán học đã khám phá ra hành tinh: John Couch Adams (1819–1892) và Urbain J.J. Leverrier (1811–1877) chia sẻ việc khám phá ra hành tinh Hải Vương.

Nhà toán học Pháp Urbain Jean Joseph Leverrier, không hề biết về Adams hay công trình của ông, khảo sát cùng một vấn đề và công bố kết quả vào tháng 6/1846. Airy, nhận thấy rằng vị trí dự đoán của Leverrier đối với hành tinh chưa biết phù hợp trong vòng 1° so với vị trí của Adams, đề nghị với James Challis, giám đốc Đài thiên văn Cambridge, bắt đầu nghiên cứu một vật thể mới. Nhà thiên văn ở Cambridge, không có những đồ thị sao cập nhật của vùng Cung Bảo Bình (Aquarius) của bầu trời nơi mà hành tinh mới được dự đoán là có mặt, tiến hành bằng cách ghi nhận các vị trí của tất cả các sao mờ ông có thể quan sát với kính viễn vọng vào vị trí ấy. Đó là kế hoạch của Challis để lặp lại những sơ đồ như vậy với những khoảng thời gian vài ngày, hy vọng rằng hành tinh mới sẽ tự nổi bật lên bằng sự chuyển động của nó. Rủi thay, ông ta không cẩn thận trong việc xem xét kỹ lưỡng những quan sát: tuy ông đã thực sự nhìn thấy hành tinh, ông đã không nhận ra nó.

Khoảng một tháng sau, Leverrier đề nghị với John Galle, nhà thiên văn tại Đài thiên văn Berlin, tìm kiếm hành tinh mới. Galle nhận được lá thư của Leverrier vào ngày 23/9/1845, và có sẵn những đồ thị mới của vùng Cung Bảo Bình (Aquarius), phát hiện và xác định hành tinh ngay đêm đó. Nó ít hơn một độ so với vị trí mà Leverrier tiên đoán. Sự khám phá ra hành tinh thứ tám, ngày nay có tên là Hải Vương Tinh (Neptune) (Tên theo tiếng Latin của vị thần biển), là một thành tựu vĩ đại dành cho thuyết hấp dẫn, vì nó xác nhận mạnh mẽ tính phổ quát của các định luật Newton. Vinh dự dành cho sự khám phá được chia sẻ hợp lý cho hai nhà toán học, Adams và Leverrier.

Chúng ta cũng nên lưu ý rằng sự phát hiện ra Hải Vương Tinh không phải là bất ngờ hoàn toàn đối với các nhà thiên văn học, từ lâu đã nghi ngờ sự tồn tại của nó dựa vào sự chuyển động “bất thường” của Thiên Vương Tinh. Vào ngày 10/9/1864, hai tuần trước khi Hải Vương Tinh thực sự được phát hiện, John Herschel, con trai của người khám phá ra Thiên Vương Tinh, nhấn mạnh trong một bài phát biểu trước Hiệp hội Anh vì sự tiến bộ của khoa học (British Association for the Advancement of Science), “Chúng ta nhìn thấy [hành tinh mới] giống như Columbus đã nhìn thấy châu Mỹ từ các bờ biển Tây Ban Nha. Các chuyển động của nó đã được cảm nhận làm rung chuyển phương pháp phân tích có ảnh hưởng sâu rộng của chúng ta với sự xác thực hầu như không kém sự chứng minh bằng thị giác”.

TÓM LƯỢC

2.1 Tycho Brahe là người tài ba nhất trong số các nhà quan sát thiên văn trước khi có viễn vọng kính. Những sự quan sát chính xác của ông về vị trí của các hành tinh đã cung cấp dữ liệu được Johannes Kepler sử dụng để rút ra được ba định luật cơ bản về sự chuyển động của hành tinh mang tên ông: (1) các quỹ đạo hành tinh là các **đường ê-líp** (ellipses) [một hình được mô tả bằng **nửa trục chính** (semi-major axis) và **độ lệch tâm** (eccen-tricity)] với Mặt Trời nằm ở một tiêu điểm; (2) trong những khoảng cách bằng nhau, quỹ đạo của hành tinh quét qua những diện tích bằng nhau; và (3) nếu thời gian bị nén lại thành các năm, và các khoảng cách bằng các đơn vị thiên văn (astrono-mical units), thì

mối quan hệ giữa chu kỳ (P) và nửa trục chính (D) của một quỹ đạo được cho bởi công thức $P^2 = D^3$.

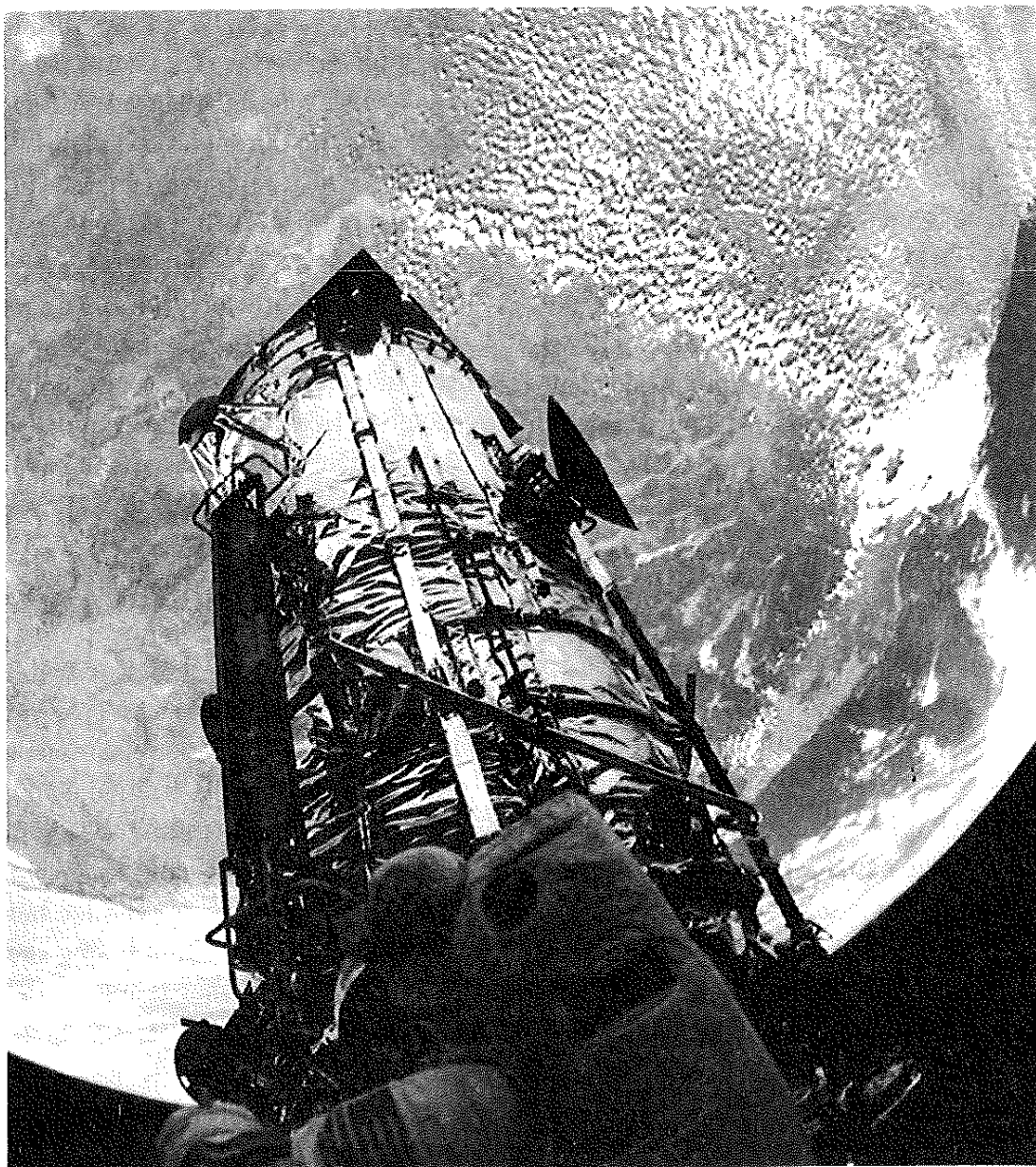
2.2 Trong cuốn *Principia*, Isaac Newton thiết lập ba định luật chi phối sự chuyển động của vật thể: (1) Các vật thể tiếp tục đứng yên hay chuyển động đều trừ phi bị tác động bởi một lực bên ngoài; (2) một lực bên ngoài tạo ra sự gia tốc (và làm thay đổi **động lượng** (momentum) của một vật thể; (3) đối với mỗi lực tác động có một phản lực ngang bằng với nó và ngược chiều. Động lượng là số đo của sự chuyển động của vật thể và tùy thuộc vào khối lượng và vận tốc của nó. **Động lượng góc** (angular momentum) là số đo của sự chuyển động của một vật thể đang xoay tròn. **Tỉ trọng** (density) của một vật thể bằng khối lượng của nó chia cho thể tích của nó.

2.3 Lực hấp dẫn, lực hút của toàn bộ khối lượng đối với toàn bộ khối lượng khác, là một lực giữ cho các hành tinh nằm trong quỹ đạo. Định luật về lực hấp dẫn của Newton liên kết lực hút với khối lượng và khoảng cách ($F = GM_1M_2/R^2$). Newton có thể chứng minh sự cân bằng của lực hấp dẫn (trọng lực) trên Trái Đất với lực hấp dẫn giữa các vật thể trong không gian. Khi các định luật của Kepler được nghiên cứu kỹ càng dưới ánh sáng của thuyết hấp dẫn, nó trở nên rõ ràng rằng khối lượng của Mặt Trời và hành tinh rất quan trọng cho định luật thứ ba, trở thành $(M_1 + M_2) \times P^2 = D^3$. Các tác động hấp dẫn lẫn nhau cho phép chúng ta tính được khối lượng của các thiên thể, từ sao chổi cho tới thiên hà.

2.4 Vị trí thấp nhất trong quỹ đạo vệ tinh là **cận điểm** (perigee) của nó, và vị trí cao nhất là **viễn điểm** (apogee) (tương ứng với **điểm cận nhật** (perihelion) và **điểm viễn nhật** (aphelion) đối với quỹ đạo quanh Mặt Trời). Các hành tinh đều đi theo các quỹ đạo chung quanh Mặt Trời gần như vòng tròn và nằm trong cùng một mặt phẳng. Hầu hết các tiểu hành tinh được phát hiện giữa Sao Hỏa và Sao Mộc trong vành đai tiểu hành tinh (asteroid belt), trái lại các sao chổi thường đi theo các quỹ đạo có độ lệch tâm lớn.

2.5 Quỹ đạo của vệ tinh nhân tạo tùy thuộc vào các tình huống phóng. Vận tốc quỹ đạo của vệ tinh (circular satellite velocity) tại bề mặt Trái Đất là 8 km/s, và vận tốc bức phá (escape velocity) là 11 km/s. Có nhiều đường bay liên hành tinh khả thi, bao gồm những đường bay sử dụng cách bay ngang qua với sự hỗ trợ của lực hút của một vật thể để chỉnh hướng con tàu vũ trụ về phía mục tiêu kế tiếp.

2.6 Các vấn đề của lực hấp dẫn liên quan tới nhiều hơn hai thiên thể tương tác nhau thì khó giải quyết hơn so với các vấn đề của hai thiên thể. Chúng đòi hỏi các máy vi tính lớn để cho các giải pháp chính xác. Nếu một vật thể chi phối về phương diện hấp dẫn, thì việc tính được các tác động của vật thể thứ hai trong phạm vi của những xáo trộn nhỏ là khả thi. Phương pháp này được Adams và Leverrier sử dụng để dự đoán vị trí của Hải Vương Tinh từ những rối loạn về quỹ đạo của Thiên Vương Tinh và vì thế khám phá ra một hành tinh mới bằng toán học.



Vi được chụp bằng các thấu kính mắt cá trên phi thuyền con thoi vào ngày 9/9/1993, Trái Đất treo lơ lửng bên trên kính viễn vọng không gian Hubble khi nó được sửa chữa. Lục địa Australia với kích thước và hình dạng bị biến đổi bởi các thấu kính đặc biệt.

CHƯƠNG 3

TRÁI ĐẤT, MẶT TRĂNG VÀ BẦU TRỜI

“Chúng kiến sự che khuất toàn phần của Mặt Trời (hay nhật thực toàn phần) là đặc ân diễn ra chỉ với một vài người. Tuy nhiên, một khi đã nhìn thấy, đó là một hiện tượng không bao giờ quên được... Có một điều gì đó gây ảnh hưởng sâu đậm với những người có thần kinh mạnh mẽ nhất ...”

Isabel Lewis in A Handbook of Solar Eclipses (1924)

Câu chuyện kể rằng Galileo, lúc rời khỏi Tòa Án Dị Giáo, sau khi ông rút lại chủ thuyết cho rằng Trái Đất xoay tròn và quay chung quanh Mặt Trời, nói thảm rằng, “Nhưng dù sao đi nữa nó vẫn quay”. Câu chuyện có lẽ chưa đích xác còn đáng ngờ, song chắc chắn Galileo biết rõ rằng Trái Đất đang chuyển động, bất luận các chức quyền nhà thờ nói gì đi nữa.

Chính các chuyển động của Trái Đất tạo ra các mùa và mang đến cho chúng ta những phương pháp đo lường thời gian và ngày tháng. Sự chuyển động của Mặt Trăng chung quanh chúng ta cung cấp cho chúng ta khái niệm về tháng và chu kỳ các tuần trăng. Trong chương này chúng ta sẽ khảo sát kỹ một số hiện tượng cơ bản của thế giới thường nhật của chúng ta trong bối cảnh thiên văn học.

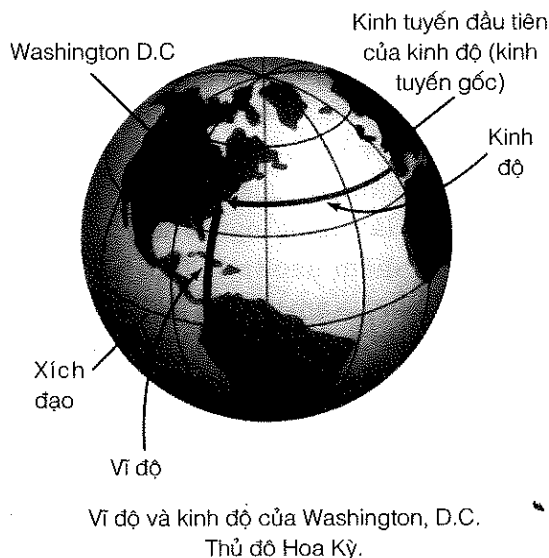
3.1 TRÁI ĐẤT VÀ BẦU TRỜI

✧ XÁC ĐỊNH TỌA ĐỘ CÁC NƠI TRÊN TRÁI ĐẤT

Chúng ta hãy bắt đầu bằng cách xác định vị trí của chúng ta trên bề mặt của Trái Đất. Như đã thấy trong Chương 1, trục quay của Trái Đất xác định các vị trí của các Cực Bắc và Cực Nam, và vị trí của xích đạo, nằm giữa hai cực. Hai hướng khác cũng được xác định bởi sự chuyển động của Trái Đất: hướng Đông là hướng Trái Đất quay về phía đó, và hướng Tây là hướng ngược lại. Tại hầu hết bất kỳ điểm nào trên Trái Đất, bốn hướng – Bắc, Nam, Đông và Tây cũng đều được xác định, dù cho thật ra hành tinh chúng ta tròn hơn là phẳng. Những ngoại lệ duy nhất chính xác là ở tại Cực Bắc và Cực Nam, nơi mà các hướng đông và tây khó phân biệt (bởi vì các cực đứng yên không quay).

Chúng ta có thể áp dụng những ý tưởng này để xác định một hệ thống tọa độ gắn liền với hành tinh chúng ta. Một hệ thống như vậy, tương tự một bản đồ của các con đường và đại lộ, giúp chúng ta tìm ra nơi chúng ta đang đứng hay muốn đi đến. Tuy nhiên, tọa độ trên một hình cầu thì hơi phức tạp hơn một chút so với tọa độ trên một mặt phẳng. Chúng ta phải phân định rõ những đường tròn trên một hình cầu tương đương với một mạng lưới các đường vuông góc để xác định vị trí trên một mặt phẳng.

Đường tròn bao quanh hình cầu là bất kỳ một đường tròn nào trên bề mặt hình cầu mà tâm của nó nằm ngay tâm của hình cầu. Thí dụ, đường xích đạo của Trái Đất là một đường tròn bao quanh hình cầu trên bề mặt Trái Đất, nằm chính giữa các Cực Nam và Cực Bắc. Chúng ta cũng có thể tưởng tượng một loạt các đường tròn bao quanh hình cầu chạy ngang qua các Cực Bắc và Cực Nam. Những đường tròn này được gọi là các *kinh tuyến* (meridians); mỗi đường trong chúng đều giao với đường xích đạo tại những góc vuông.



Đài thiên văn hoàng gia Greenwich ở Anh quốc. Tại vị trí kinh độ zero (0°) từ lâu được thế giới công nhận, du khách có thể đứng và giang chân ra hai bên đường thẳng chính xác nơi mà kinh độ "bắt đầu".

Bất kỳ điểm nào trên bề mặt của Trái Đất cũng đều sẽ có một kinh tuyến đi ngang qua nó. Kinh tuyến này phân định vị trí đông-tây, hay kinh độ, của nơi ấy.

Theo một hiệp định quốc tế (và trải qua nhiều cuộc hội nghị để các quốc gia trên thế giới chấp thuận), kinh độ của bạn được xác định như trị số độ của cung dọc theo xích đạo giữa kinh tuyến của bạn và kinh tuyến đi ngang qua Greenwich, nước Anh.

Tại sao lại là Greenwich, bạn có thể thắc mắc như vậy? Greenwich, địa điểm của Đài thiên văn Hoàng gia cổ xưa, đã được chọn bởi vì nó nằm giữa lục địa châu Âu và Hoa Kỳ, và bởi vì nó là địa điểm thuận lợi cho sự phát triển một phương pháp để đo kinh độ ngoài đại dương. Các kinh độ được đo hoặc là về hướng đông hay về hướng tây của kinh tuyến Greenwich từ 0° tới 180° .

Vĩ độ (latitude) của bạn (hay vị trí nam-bắc) là trị số độ của cung mà bạn cách xa ra khỏi xích đạo dọc theo kinh

tuyến. Vĩ độ được đo hoặc là về hướng bắc hay nam của xích đạo từ 0° tới 90° .

✧ XÁC ĐỊNH TỌA ĐỘ CÁC NƠI TRONG BẦU TRỜI

Các vị trí trong bầu trời được đo đặc bằng một phương pháp rất giống với phương pháp mà chúng ta sử dụng trên bề mặt Trái Đất. Thay vì là vĩ độ và kinh độ, các nhà thiên văn học sử dụng các hệ thống tọa độ gọi là *độ từ thiên* hay *độ lệch* (declination) và *độ xích kinh* (hay tọa độ bầu trời) (right ascension). Trong khi mô tả các vị trí của vật thể trong bầu trời, thì việc lợi dụng thiên cầu giả định thường rất thuận tiện.

Chúng ta đã xem trong Chương 1 rằng bầu trời có vẻ quay quanh những điểm bên trên các Cực Bắc và Cực Nam của Trái Đất – thiên cực bắc và thiên cực nam. Nằm ngay chính giữa các thiên cực, và do vậy cách mỗi thiên cực là 90° , là thiên xích, một vòng tròn vĩ đại trên thiên cầu mà nó có cùng vị trí như xích đạo của Trái Đất. Chúng ta có thể sử dụng những dấu ghi này trong bầu trời để thiết lập một hệ thống tọa độ bầu trời.

Độ lệch hay độ từ thiên trên thiên cầu được đo đặc cùng một phương cách mà vĩ độ được đo trên hình cầu của Trái Đất: từ thiên xích về phía Bắc (dương) hay Nam (âm). Vì thế Sao Bắc Cực (Polaris), vì sao gần thiên cực bắc, có một độ từ thiên gần như là $+90^{\circ}$.

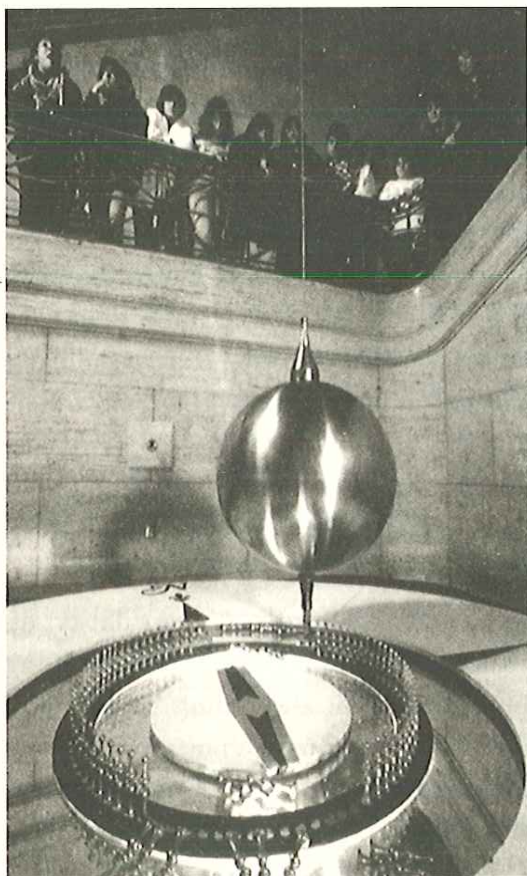
Độ xích kinh tương tự như kinh độ, ngoại trừ thay vì là Greenwich, vị trí gốc của nó được chọn một cách tùy ý là *điểm xuân phân* (vernal equinox), vị trí trên bầu trời nơi mà đường hoàng đạo (đường đi của Mặt Trời) giao với thiên xích. Độ xích kinh có thể được diễn tả bằng các đơn vị của góc (độ) hay bằng các

đơn vị của thời gian. Đó là bởi vì thiên cầu dường như quay xung quanh Trái Đất một ngày một lần, và do vậy tọa độ bầu trời 360° mà nó cần phải đi một lần xung quanh thiên cầu có thể được bố trí đúng y như 24 giờ. Kể đến cung 15° thì bằng với thời gian 1 giờ. Các múi giờ có thể được phân chia ra thêm nữa thành phút. Thí dụ, các tọa độ bầu trời của vì sao sáng Vega (Phụ lục 11) là RA 18 giờ 36,2 phút ($= 279,05^{\circ}$) và độ lệch là $+38,77^{\circ}$.

Một phương cách để hình dung ra những đường tròn này trong bầu trời là tưởng tượng Trái Đất như một quả cầu trong suốt với các tọa độ mặt đất (vĩ độ và kinh độ) được tô lên bên ngoài bằng phấn màu đen. Hãy tưởng tượng thiên cầu bao quanh chúng ta như một quả bóng khổng lồ, được tô màu trắng bên trong. Rồi bạn hãy tưởng tượng ở tại tâm Trái Đất, với một bóng đèn tròn sáng chói ở giữa, nhìn xuyên ra ngoài bề mặt trong suốt của nó trong bầu trời. Các cực trái đất, đường xích đạo, và các kinh tuyến sẽ bị phản chiếu thành những bóng đen trên thiên cầu, mang đến cho chúng ta hệ thống tọa độ trong bầu trời.

✧ TRÁI ĐẤT ĐANG XOAY

Chúng ta đã thấy rằng sự quay biểu kiến của thiên cầu có thể được tính toán do bởi sự quay hàng ngày của bầu trời quanh Trái Đất đứng yên, hoặc bởi sự quay của chính Trái Đất. Kể từ thế kỷ XVII, nói chung một điều mà mọi người chấp nhận là Trái Đất quay, nhưng mãi cho tới thế kỷ XIX nhà vật lý người Pháp Jean Foucault đưa ra một chứng minh trực tiếp và cụ thể về sự quay này. Vào năm 1851, ông treo một quả lắc đường kính 0,6m cân nặng khoảng 25 kg từ mái vòm của điện Pantheon ở Paris và sau đó bắt đầu cho



Quả lắc Foucault. Bạn có thể nghĩ ra những phương cách khác để chứng minh rằng chính là Trái Đất chứ không phải bầu trời đang quay?

quả lắc đung đưa đều đặn. Nếu Trái Đất không đang quay, thì sẽ không có một lực nào làm thay đổi mặt phẳng dao động của quả lắc và do đó nó sẽ tiếp tục vạch trên cùng một đường. Song sau một vài phút rõ ràng rằng mặt phẳng chuyển động của quả lắc thay đổi. Foucault giải thích rằng không phải quả lắc đang đổi hướng, mà chính là Trái Đất đang xoay bên dưới nó. Giờ đây bạn có thể nhận ra những quả lắc như vậy trong nhiều trung tâm khoa học và các cung thiên văn trên khắp thế giới.

3.2 CÁC MÙA

Một trong những sự kiện cơ bản của sự sống ở các vĩ độ trung gian, nơi mà

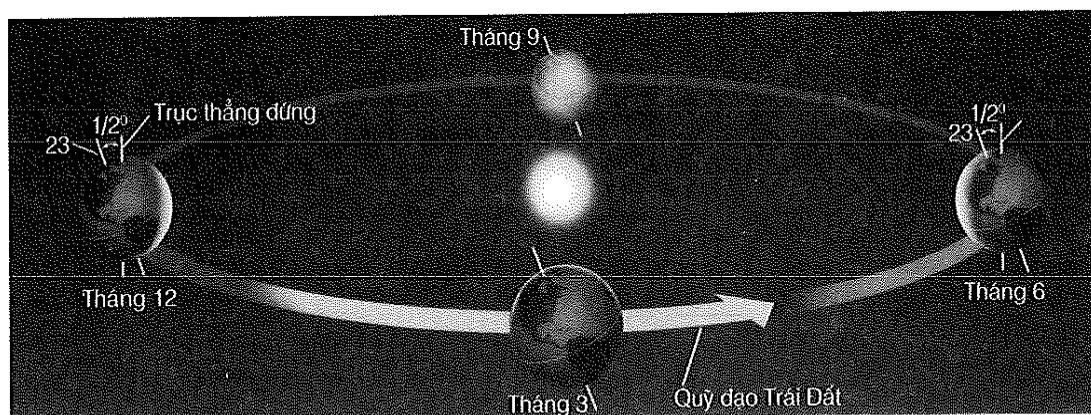
hầu hết những độc giả của cuốn sách này sinh sống, là có những biến đổi đáng kể về nhiệt độ mà chúng ta nhận được từ Mặt Trời qua suốt một năm. Thế nên, chúng ta phân chia năm thành các mùa, mỗi mùa với một lượng ánh sáng mặt trời khác nhau. Sự khác biệt giữa các mùa được cảm nhận rõ rệt hơn khi càng xa về hướng bắc hay về hướng nam so với đường xích đạo mà chúng ta đi qua, và các mùa trong Nam Bán Cầu trái ngược với các mùa chúng ta nhận biết ở Bắc Bán Cầu. Với những sự kiện được quan sát này trong trí, chúng ta hãy đặt câu hỏi điều gì tạo ra các mùa.

Dựa theo các nghiên cứu mới đây, hầu hết mọi người đều tin rằng các mùa là kết quả của sự thay đổi khoảng cách giữa Trái Đất và Mặt Trời. Điều này ban đầu nghe ra có vẻ hợp lý: Trời sẽ lạnh hơn khi Trái Đất xa Mặt Trời hơn. Tuy nhiên các sự kiện không xác nhận giả thuyết này. Cho dù quỹ đạo của Trái Đất chung quanh Mặt Trời là một hình ê-líp, khoảng cách của nó từ Mặt Trời chỉ thay đổi trong khoảng ba phần trăm. Điều đó không đủ tạo ra những biến đổi rõ rệt về sức nóng của Mặt Trời.

Làm cho tình hình càng tồi tệ hơn đối với những người ở vùng Bắc Mỹ, bênh vực giả thuyết này, Trái Đất thực tế gần Mặt Trời nhất vào tháng Giêng (January), khi đó Nam Bán Cầu ở vào giữa mùa đông. Và nếu khoảng cách là yếu tố chủ đạo, thì tại sao hai bán cầu lại có những mùa đối nghịch với nhau? Thực ra các mùa được tạo ra do độ nghiêng 23° của trục Trái Đất so với mặt phẳng trong đó chúng ta đi vòng quanh Mặt trời.

♦ CÁC MÙA VÀ ÁNH SÁNG MẶT TRỜI

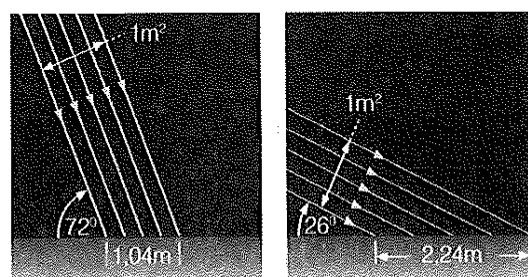
Hình mô tả niên đạo (đường đi hàng năm) của Trái đất quanh Mặt trời, với



Chúng ta thấy Trái Đất ở vào những mùa khác nhau khi nó quay quanh Mặt Trời. Vào mùa đông ở phương bắc, Nam Bán Cầu “ngiên về phía” Mặt Trời và được chiếu sáng trực tiếp hơn. Vào mùa hạ, Bắc Bán Cầu đang nghiêng về phía Mặt Trời và có ngày dài hơn. Vào mùa xuân và mùa thu, hai bán cầu tiếp nhận lượng ánh sáng mặt trời đồng đều hơn.

trục Trái đất nghiêng khoảng 23° . Lưu ý rằng trục này liên tục chỉ về cùng một hướng trong bầu trời suốt cả năm. Khi Trái đất di chuyển quanh Mặt trời, vào tháng 6 (June) Bắc Bán Cầu “ngiên về phía” Mặt Trời và được chiếu sáng trực tiếp hơn. Vào tháng 12 (December), tình huống ngược lại: Nam Bán Cầu nghiêng về phía Mặt trời, và Bắc Bán Cầu nghiêng ra xa. Vào tháng 9 (September) và tháng 3 (March), Trái đất nghiêng “qua một bên” – không nghiêng về phía Mặt Trời cũng không nghiêng ra xa nó – và do vậy hai bán cầu nhận được lượng ánh sáng mặt trời bằng nhau.

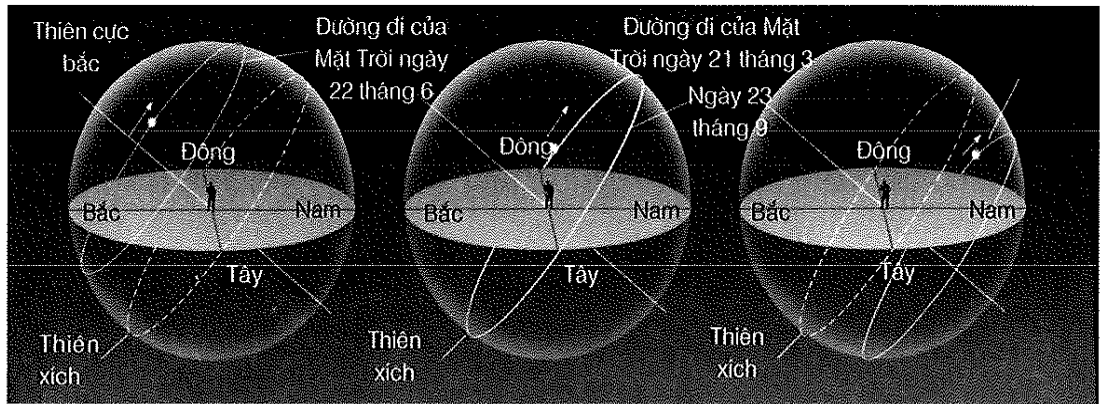
Sự chiếu sáng của Mặt Trời vào một bán cầu biến chuyển ra sao khiến cho chúng ta cảm thấy ấm hơn khi nó chiếu xuống bề mặt của Trái Đất? Có hai hiệu ứng mà chúng ta cần xem xét. Khi chúng ta nghiêng về phía Mặt trời, tia sáng mặt trời chạm vào chúng ta ở một góc thẳng hơn (vuông góc hơn) và có tác động mạnh hơn về việc nung nóng mặt đất. Bạn có thể có được hiệu quả tương tự bằng cách chiếu một cây đèn pin vào một bức tường. Nếu bạn chiếu đèn pin



Tia mặt trời vào mùa hạ và mùa đông: Vào mùa hạ, Mặt Trời xuất hiện ra cao trên bầu trời và tia sáng của nó chạm thẳng vào Trái Đất hơn, lan truyền ít hơn. Vào mùa đông Mặt Trời nằm thấp trên bầu trời và tia sáng của nó lan truyền trên một diện tích rộng hơn nhiều, do đó trở nên kém hiệu quả hơn trong việc làm nóng mặt đất.

thẳng vào (nếu bức tường “ngiên về phía” đèn pin, đại loại như vậy), bạn có một vệt sáng mạnh trên tường. Nhưng nếu bạn giữ đèn pin ở một góc độ (nếu bức tường “ngiên ra” xa chùm tia sáng), thì vệt sáng sẽ bị lan tỏa ra. Cùng một cách ấy, ánh sáng mặt trời vào tháng 6 chiếu thẳng đứng hơn và mạnh hơn vào Bắc Bán Cầu, và do đó có hiệu quả hơn trong việc đốt nóng mặt đất.

Hiệu ứng thứ hai phải thực hiện với độ dài thời gian mà Mặt Trời trải qua bên trên chân trời. Ngay cả nếu như bạn



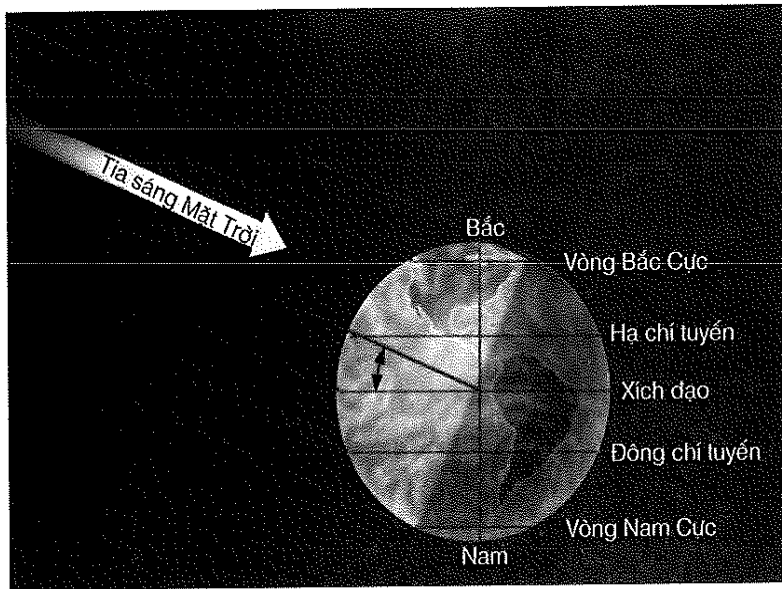
Đường đi của mặt trời trong bầu trời qua các mùa khác nhau: Vào ngày 22 tháng 6, Mặt Trời mọc ở phía đông bắc và lặn ở phía tây bắc; đối với những quan sát viên ở Bắc Bán Cầu của Trái Đất, nó diễn ra khoảng 15 giờ bên trên đường chân trời. Vào ngày 22 tháng 12, Mặt trời mọc về phía đông nam và lặn về phía tây nam, nó diễn ra chỉ trong 9 giờ đồng hồ bên trên đường chân trời, có nghĩa là ngày ngắn còn đêm dài ở các vùng đất phía bắc. Vào ngày 21 tháng 3 và 23 tháng 9, Mặt Trời trải qua một lượng thời gian bằng nhau bên trên và bên dưới đường chân trời.

chưa bao giờ nghĩ về thiên văn học trước đây, chúng tôi chắc chắn bạn đã từng quan sát thấy rằng ngày dài hơn vào mùa hạ và ngắn hơn vào mùa đông. Chúng ta hãy xem tại sao điều này xảy ra.

Như chúng ta thấy trong Chương 1, một phương pháp tương đương để nhìn xem đường đi của chúng ta quanh Mặt Trời mỗi năm là giả định rằng Mặt Trời quay chung quanh Trái Đất (trên một vòng tròn gọi là đường hoàng đạo). Bởi vì trục Trái Đất bị nghiêng, đường hoàng đạo bị nghiêng khoảng 23° so với thiên xích, và ở đó chúng ta thấy Mặt Trời trong bầu thay đổi khi cả năm dài trôi qua. Vào tháng 6, Mặt Trời ở phía bắc của thiên xích và trải qua nhiều thời gian hơn với những người sống ở Bắc Bán Cầu. Nó mọc cao trong bầu trời và nằm bên trên đường chân trời ở Hoa Kỳ trong khoảng 15 giờ đồng hồ. Do vậy, Mặt Trời không những chỉ đun nóng chúng ta với những tia sáng thẳng hơn, mà nó còn có nhiều thời gian hơn để thực hiện việc ấy mỗi ngày. Vào tháng 12, khi Mặt trời nằm ở phía nam của thiên xích, tình hình đối ngược lại.

Chúng ta hãy xem sự chiếu sáng của Mặt Trời vào Trái Đất trông như thế nào vào những ngày đặc biệt trong năm, khi những hiệu ứng ấy ở mức tối đa. Vào khoảng 22 tháng 6 (ngày mà những người sống ở Bắc Bán Cầu gọi là ngày hạ chí (*summer solstice*) hay đôi khi gọi là ngày đầu mùa hạ), Mặt Trời chiếu xuống thẳng hơn vào Bắc Bán Cầu. Nó hiện ra ở 23° bắc của xích đạo và do đó vào ngày ấy đi qua thiên đỉnh ở những nơi trên Trái Đất có vĩ độ là 23° Bắc. Tình huống được mô tả chi tiết trong Hình 3.7. Đối với một người tại vĩ độ 23° Bắc, lúc 12 giờ trưa Mặt Trời thẳng đứng ngay đỉnh đầu. Vĩ độ này, ở đó Mặt Trời có thể hiện ra ngay thiên đỉnh lúc giữa trưa vào ngày đầu mùa hạ, được gọi là Hạ Chí Tuyến (Tropic of Cancer).

Chúng ta cũng thấy trong hình, các tia Mặt Trời chiếu xuống toàn bộ quanh vùng Bắc Cực. Vì Trái Đất quay quanh trục của nó, Bắc Cực sẽ luôn luôn được Mặt Trời soi sáng; tất cả các nơi trong vòng 23° của vùng cực có ánh sáng mặt trời trong 24 giờ vào ngày đầu mùa hạ.



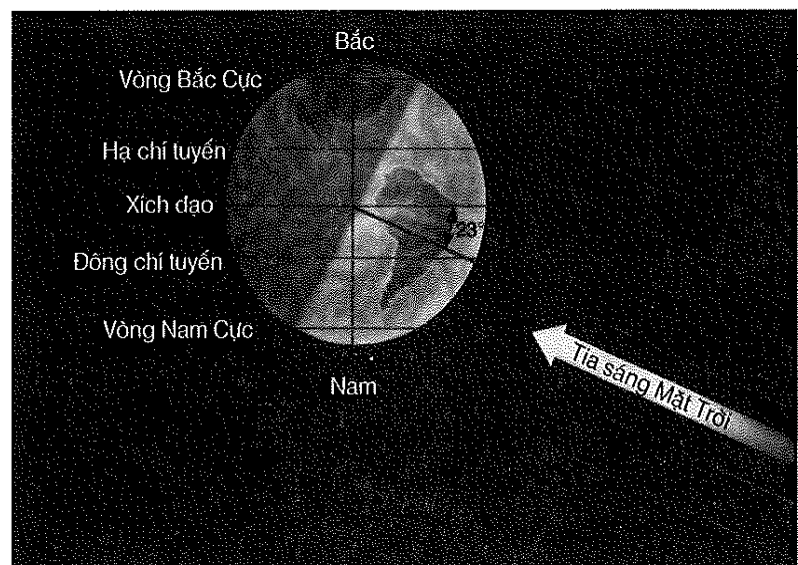
Trái đất vào ngày 22 tháng 6: Đây là ngày hạ chí ở Bắc Bán Cầu. Hãy chú ý rằng vì Trái Đất quay quanh trục của nó (đường thẳng nối liền Bắc Cực và Nam Cực), Bắc Cực nhận được ánh sáng liên tục trong khi Nam Cực bị che khuất trong bóng tối 24 giờ. Mặt Trời nằm ngay thiên đỉnh đối với những người quan sát ở Hạ Chí Tuyến.

Mặt Trời càng xa về phía bắc vào ngày này đến mức nó có thể; do vậy, $90^\circ - 23^\circ$ (hay 67° Bắc) là vĩ độ xa nhất về phía nam nơi mà Mặt Trời có thể được nhìn thấy trong suốt thời gian 24 giờ ("vùng đất của Mặt Trời giữa đêm"). Vòng tròn của vĩ độ ấy được gọi là Vòng Bắc Cực (Arctic Circle).

Nhiều nền văn minh cổ đại đã lập lịch trình những diễn biến đặc biệt chung quanh ngày hạ chí để làm lễ ca tụng những ngày dài nhất và tạ ơn các

vị thần của họ vì đã làm cho thời tiết ấm áp. Điều này buộc họ theo dõi độ dài của các ngày và sự thiên di về phía bắc của Mặt Trời để biết chính xác ngày dành cho "yến tiệc". (Bạn có thể thực hiện một việc giống như vậy bằng cách theo dõi trong nhiều tuần, từ cùng một vị trí quan sát, nơi mà Mặt Trời mọc hay lặn so với một điểm mốc cố định. Vào mùa hạ, Mặt Trời sẽ mọc ngày càng xa hơn về phía đông bắc, và lặn ngày càng xa hơn về phía tây bắc, đạt tới tối đa vào ngày hạ chí).

Trái đất vào ngày 22 tháng 12: Đó là ngày đông chí ở Bắc Bán Cầu. Lúc đó, Bắc Cực ở trong bóng tối 24 giờ và Nam Cực được chiếu sáng. Mặt Trời nằm ngay thiên đỉnh đối với những quan sát viên ở Đông chí tuyến và do đó nằm thấp trong bầu trời đối với những cư dân ở Bắc Bán Cầu.



Bây giờ hãy nhìn vào Nam Cực trong hình. Vào ngày 22 tháng 6, tất cả những vùng nằm trong 23° của Nam Cực – nghĩa là, phía nam của những gì chúng ta gọi là Vòng Nam Cực (Antarctic Circle) – không hề thấy Mặt Trời trong 24 giờ. Ngày và đêm đều hoàn toàn tối đen.

Sáu tháng sau, vào ngày 22 tháng 12 (ngày đông chí hay ngày đầu tiên của mùa đông ở Bắc Bán Cầu), tình trạng trái ngược lại, như trình bày trong hình. Lúc đó chính Vòng Bắc Cực có đêm 24 giờ và Vòng Nam Cực có Mặt Trời vào giữa đêm. Tại vĩ độ 23° Nam, gọi là Đông Chí Tuyến (Tropic of Capricorn), Mặt Trời đi qua thiên đỉnh vào giữa trưa. Ngày dài hơn ở Nam Bán Cầu và ngắn hơn ở phương Bắc. Đó là vào mùa đông ở Bắc Bán Cầu và mùa hạ ở Nam Bán Cầu.

Mỗi nền văn minh trình bày một khoảng cách nào đó về phía bắc đường xích đạo đều có một lễ hội vào ngày 22 tháng 12, để giúp cho dân chúng đối phó với sự thiếu ánh sáng mặt trời gây buồn chán và thời tiết lạnh lẽo. Ban đầu, đây thường là thời gian để tụ họp với gia đình và bạn bè, để chia sẻ lượng thức ăn và thức uống dự trữ, để dành cho các nghi lễ cầu xin các vị thần đem trả lại ánh sáng và sức nóng và xoay chuyển chu kỳ các mùa. Nhiều nền văn minh xây dựng những công cụ tinh vi, công phu để đoán trước khi nào ngày ngắn nhất trong năm đang đi đến.

Vòng cự thạch (Stonehenge) ở Anh, được xây dựng rất lâu trước khi phát minh ra chữ viết, có lẽ là một công cụ như thế. Vào thời đại của chúng ta, chúng ta tiếp tục truyền thống ngày đông chí với các lễ hội như lễ Giáng Sinh và Chanukah hay Hanuka.

Giữa các điểm chí, vào khoảng 21 Tháng 3 và 23 Tháng 9, Mặt Trời nằm

trên thiên xích. Từ Trái đất, mặt trời hiện ra bên trên xích đạo của hành tinh chúng ta, và không ưu đãi cho bán cầu nào cả. Mỗi nơi trên Trái Đất đều tiếp nhận đúng 12 giờ ánh sáng và 12 giờ bóng tối. Những vị trí nơi mà Mặt Trời giao với thiên xích được gọi là các *điểm xuân phân* và *điểm thu phân*.

✧ CÁC MÙA Ở CÁC VĨ ĐỘ KHÁC NHAU

Các ảnh hưởng mùa màng thì khác nhau tại các vĩ độ khác nhau trên Trái Đất. Thí dụ, tại xích đạo, tất cả các mùa đều giống như nhau. Từng ngày trong năm, Mặt Trời ở trên cao phân nửa thời gian, do vậy lúc nào cũng có 12 giờ chiếu sáng và 12 giờ tối đen. Các cư dân địa phương phân định các mùa bằng lượng mưa hơn là bằng lượng ánh sáng mặt trời. Khi chúng ta di chuyển về phía bắc hay nam, các mùa trở nên rõ rệt hơn, cho tới khi chúng ta đạt tới các trường hợp đặc biệt ở Bắc Cực hay Nam Cực.

Tại Bắc Cực, tất cả các thiên thể nằm ở phía bắc của thiên xích lúc nào cũng nằm bên trên đường chân trời và, vì Trái Đất quay tròn, xoay chung quanh song song với nó. Mặt Trời nằm ở phía bắc của thiên xích từ khoảng 21 tháng 3 tới 23 tháng 9, do đó tại Bắc Cực, Mặt Trời mọc khi nó đạt tới điểm xuân phân và lặn khi đạt tới điểm thu phân. Mỗi năm có 6 tháng được chiếu sáng tại mỗi cực, tiếp theo bởi 6 tháng tối đen.

✧ LÀM SÁNG TỎ VỀ THẾ GIỚI THỰC

Trong các cuộc thảo luận trước đây, chúng ta đã mô tả sự mọc và lặn của Mặt Trời và các vì sao như chúng sẽ xuất hiện nếu Trái Đất có ít hay không có bầu khí quyển. Tuy nhiên, thực tế là

bầu khí quyển có một ảnh hưởng lạ kỳ trong việc giúp chúng ta nhìn thấy một lối đi nhỏ “bên trên chân trời”. Tác động này là kết quả của sự khúc xạ (refraction), sự uốn cong của tia sáng trong một môi trường chẳng hạn như không khí hay nước, một điều mà chúng ta sẽ xem xét trong Chương 5. Do sự khúc xạ của bầu khí quyển này, Mặt Trời có vẻ mọc sớm hơn và lặn muộn hơn nếu không có sự hiện diện của bầu khí quyển.

Ngoài ra, bầu khí quyển phân tán ánh sáng và cung cấp sự chiếu sáng mờ ngay cả khi Mặt Trời nằm bên dưới đường chân trời. Các nhà thiên văn phân định lúc mờ sáng (bình minh) như sự bắt đầu, khi Mặt Trời ở 18° dưới đường chân trời, và lúc chạng vạng tối (hoàng hôn) lan ra cho tới khi Mặt Trời chìm sâu xuống hơn 18° dưới đường chân trời.

Những ảnh hưởng của bầu khí quyển này đòi hỏi những điều chỉnh nhỏ trong những nhận định của chúng ta về các mùa. Tại các điểm phân, thí dụ, Mặt Trời có vẻ ở bên trên đường chân trời trong thời gian dài hơn 12 giờ vài phút, và bên dưới đường chân trời trong thời gian ít hơn 12 giờ vài phút. Những tác động này đặc biệt nhất ở tại các cực của Trái Đất, nơi mà Mặt Trời thực ra mọc lâu hơn một tuần trước khi nó đạt tới thiên xích. Như một hậu quả của ánh sáng mờ, thời kỳ tối đen thật sự tại mỗi cực kéo dài chỉ trong khoảng ba tháng mỗi năm, chứ không phải là sáu tháng.

Cũng vậy, bạn có thể biết rằng ngày hạ chí (22 tháng 6) không phải là ngày ấm nhất trong năm, ngay cho dù nó là ngày dài nhất. Những tháng nóng nhất ở Bắc Bán Cầu là tháng 7 và tháng 8. Đó là do thời tiết khí hậu của chúng ta liên quan tới không khí và nước bao phủ bề mặt Trái

Đất, và những bồn dự trữ rộng lớn này không nóng lên ngay lập tức được. Cũng như, một hồ bơi đầu có ấm lên ngay khi Mặt Trời mọc nhưng nó trở nên ấm nhất một cách muộn màng sau giữa trưa, sau khi nó có thời gian hấp thụ sức nóng Mặt Trời. Cùng một cách như vậy, Trái Đất trở nên ấm hơn sau khi nó có cơ hội để hấp thụ lượng ánh sáng phụ là quà tặng của Mặt Trời mùa hạ dành cho nó. Và những giai đoạn lạnh nhất của mùa đông là một tháng hay hơn nữa sau ngày đông chí.

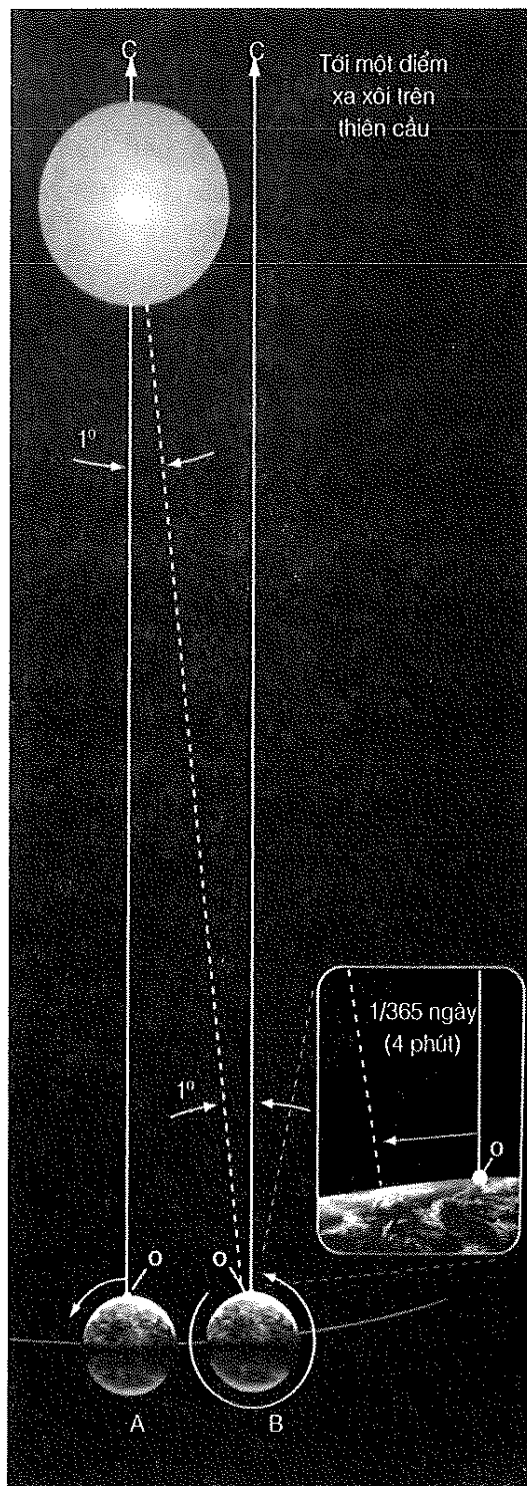
3.3 THEO DÕI THỜI GIAN

Việc đo lường thời gian dựa vào sự quay của Trái Đất. Qua suốt lịch sử nhân loại, thời gian đã được tính toán bằng các vị trí của Mặt Trời và các ngôi sao trong bầu trời. Chỉ gần đây, các đồng hồ cơ học và điện tử mới nhận lấy chức năng này trong việc điều hoà cuộc sống của chúng ta.

♦ ĐỘ DÀI CỦA NGÀY

Đơn vị thiên văn cơ bản nhất của thời gian là ngày, được đo lường trong giới hạn của sự quay tròn của Trái Đất. Tuy nhiên, có nhiều cách để phân định ngày. Thông thường, đó là chu kỳ quay của Trái Đất so với Mặt Trời, gọi là *ngày mặt trời* (hay dương nhật) (solar day). Nói cho cùng, đối với hầu hết mọi người bình minh thì quan trọng hơn thời gian mọc của sao Arcturus hay một số vì sao khác. Tuy nhiên, các nhà thiên văn cũng sử dụng *ngày thiên văn* (sidereal day), được phân định trong giới hạn của chu kỳ quay của Trái Đất so với các vì sao.

Ngày mặt trời dài hơn ngày thiên văn một chút, bởi vì Trái Đất di chuyển một



Sự khác biệt giữa ngày thiên văn và ngày mặt trời: Đây là quang cảnh bên trên đỉnh, nhìn xuống khi Trái Đất quay quanh Mặt Trời. Do bởi Trái Đất di chuyển quanh Mặt Trời (xấp xỉ 1° một ngày), sau một vòng quay tròn vẹn của Trái Đất so với các vì sao, chúng ta không thấy Mặt Trời ở cùng một vị trí.

khoảng cách đáng kể dọc theo đường đi của nó chung quanh Mặt Trời trong một ngày. Hãy giả sử rằng chúng ta bắt đầu một ngày khi vị trí trên quỹ đạo của Trái Đất là ở điểm A, với cả Mặt Trời và một ngôi sao xa xôi nào đó (tọa lạc ở hướng C) đang ở bên trên một quan sát viên tại vị trí O trên mặt đất. Khi Trái Đất đã hoàn tất một vòng quay so với vì sao xa xôi kia, điểm C lại nằm trên điểm O. Tuy nhiên, hãy chú ý rằng do sự chuyển động của Trái Đất dọc theo quỹ đạo của nó từ A tới B, Mặt Trời vẫn chưa đi tới vị trí bên trên điểm O. Để hoàn tất một ngày thiên văn, Trái Đất phải quay thêm một chút nữa (một trị số phụ), bằng với $1/365$ của một vòng tròn trọn vẹn. Thời gian cần thiết cho sự quay thêm này là $1/365$ của một ngày, hay khoảng chừng 4 phút, vì thế ngày mặt trời dài hơn ngày thiên văn khoảng 4 phút.

Bởi vì các đồng hồ thông thường của chúng ta được lấy theo thời gian mặt trời, cho nên mỗi ngày các vì sao mọc sớm hơn 4 phút. Các nhà thiên văn thích sử dụng thời gian thiên văn hơn để hoạch định các cuộc quan sát của họ bởi vì trong hệ thống ấy, một vì sao mọc cùng thời điểm mỗi ngày.

✧ THỜI GIAN MẶT TRỜI BIỂU KIẾN

Thời gian mặt trời biểu kiến được tính theo vị trí thực tế của Mặt Trời trong bầu trời (hay, trong ban đêm, vị trí của nó nằm dưới đường chân trời). Đây là loại thời gian được biểu thị bằng đồng hồ mặt trời, và nó có thể đại diện hệ thống đo lường xưa nhất về thời gian được các nền văn minh cổ đại sử dụng. Ngày nay chúng ta chấp nhận nửa đêm như là điểm khởi đầu của một ngày và đo thời gian bằng các giờ trôi qua kể từ nửa đêm.

Trong nửa đầu của một ngày, Mặt Trời vẫn chưa lên tới thiên đỉnh (meridian) (vòng tròn lớn trong bầu trời đi qua thiên đỉnh của chúng ta). Chúng ta chỉ định rõ những giờ ấy như trước giữa trưa (ante meridiem, hay A.M).. Thông thường chúng ta bắt đầu đếm giờ sau giữa trưa lại một lần nữa, và chỉ định rõ chúng bằng P.M. (post meridiem) để phân biệt chúng với các giờ buổi sáng.

Dù cho thời gian mặt trời biểu kiến có vẻ đơn giản, thực sự nó không hoàn toàn thuận tiện khi sử dụng. Độ dài chính xác của ngày mặt trời biểu kiến thay đổi một chút trong suốt năm. Sự tiến về phía đông của Mặt Trời trong hành trình hàng năm của nó quanh bầu trời là không đồng đều bởi vì tốc độ của Trái Đất biến đổi một chút trong quỹ đạo hình ê-líp của nó. Một nguyên do khác nữa là trục quay của Trái Đất không thẳng góc với mặt phẳng quay của nó. Do đó, thời gian mặt trời biểu kiến không đi tới với một tốc độ đồng đều. Sau khi đồng hồ, chạy với một tốc độ đồng đều, được phát minh, việc hủy bỏ ngày mặt trời biểu kiến với tư cách là đơn vị cơ bản của thời gian là điều cần thiết.

♦ THỜI GIAN MẶT TRỜI TRUNG BÌNH VÀ THỜI GIAN TIÊU CHUẨN

Thời gian Mặt Trời trung bình dựa vào giá trị trung bình của ngày mặt trời trải qua suốt một năm. Ngày mặt trời trung bình bao gồm chính xác 24 giờ, và đó là những gì chúng ta sử dụng trong việc giữ gìn thời gian hàng ngày của chúng ta. Tuy thời gian mặt trời trung bình có ưu thế trong việc tiến tới với tốc độ đồng nhất, nó vẫn còn bất tiện đối với việc áp dụng thực tiễn bởi vì nó được xác định bởi vị trí của Mặt Trời. Thí dụ, giữa trưa diễn ra khi Mặt Trời

nằm trên đỉnh đầu. Nhưng do chúng ta sống trên một quả đất tròn, thời điểm chính xác của giữa trưa thì khác nhau khi bạn thay đổi kinh tuyến của mình bằng cách di chuyển sang phía đông hay sang phía tây.

Nếu thời gian mặt trời trung bình được quan sát chặt chẽ, người ta di chuyển về phía đông hay tây sẽ phải liên tục lấy lại đồng hồ của họ khi kinh tuyến thay đổi, đúng như đọc thời gian trung bình địa phương một cách chính xác.

Trong mỗi vùng, tất cả các nơi đều tuân theo cùng một thời gian tiêu chuẩn hay giờ tiêu chuẩn (standard time), với thời gian mặt trời trung bình địa phương của đường kinh tuyến tiêu chuẩn chạy đủ nhiều hay ít qua chính giữa của mỗi vùng. Hiện nay các du khách chỉ lấy lại đồng hồ của họ khi sự thay đổi thời gian đã lên tới tròn một giờ.

Kể từ 1884, thời gian tiêu chuẩn đã được sử dụng khắp thế giới bằng một hiệp định quốc tế (với 24 bốn múi giờ bao quanh địa cầu). Hầu hết tất cả các quốc gia đã chấp thuận một hay nhiều múi giờ tiêu chuẩn hơn, dù cho là một trong các nước lớn nhất, Ấn Độ, đã thiết lập trên nửa múi giờ, là 5,5 từ tiêu chuẩn Greenwich.

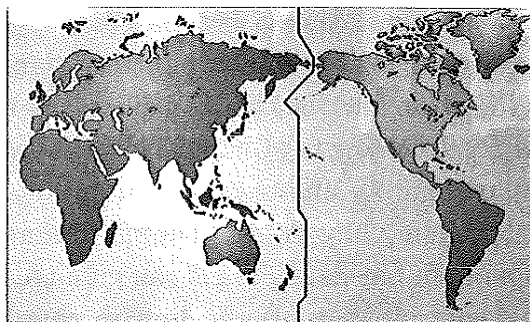
Thời gian tiết kiệm ban ngày đơn thuần chỉ là thời gian tiêu chuẩn địa phương của một nơi cộng thêm một giờ. Nó được chấp nhận cho sử dụng vào mùa xuân và mùa hạ ở hầu hết các nước, để kéo dài ánh sáng mặt trời vào những giờ buổi tối, theo lý thuyết biểu kiến việc thay đổi giờ bằng hành động của chính phủ thì dễ dàng hơn đối với các cá nhân hay các doanh nhân điều chỉnh thời gian biểu của riêng họ để tạo ra cùng một hiệu quả. Dĩ nhiên, điều đó không “tiết kiệm”

được bất kỳ ánh sáng ban ngày nào – bởi vì lượng ánh sáng mặt trời được xác định do các ảnh hưởng của mùa màng và không phải do những gì chúng ta thực hiện với đồng hồ của chúng ta.

♦ ĐƯỜNG ĐỔI NGÀY QUỐC TẾ

Sự kiện rằng thời gian luôn luôn đi tới về phía đông làm nảy sinh ra một vấn đề. Giả sử bạn du hành về phía đông vòng quanh thế giới. Bạn đi vào một múi giờ mới, trung bình khoảng mỗi 15° của kinh độ bạn đi qua, và mỗi giờ bạn phải lấy lại đồng hồ đeo tay tới trước một giờ. Vào thời điểm bạn đã hoàn tất chuyến đi, bạn đã lấy đồng hồ của mình tới trước trọn 24 giờ và do đó có được một ngày hơn những người còn lại ở quê nhà.

Giải pháp cho vấn đề nan giải này là *đường đổi ngày quốc tế* (international date line), được đặt ra bởi một hiệp định quốc tế để gần như chạy dọc theo kinh tuyến có kinh độ 180° . Đường đổi ngày chạy xuống khoảng giữa Thái Bình Dương, tuy nhiên nó hơi gấp khúc một chút ở một vài nơi để tránh không cắt ngang qua các nhóm đảo và vùng Alaska. Theo hiệp định, tại đường đổi ngày hay tuyến đổi ngày, ngày tháng của dương lịch được đổi sang một ngày mới. Vượt qua đường đổi ngày từ tây sang đông, do vậy làm tăng giờ của bạn lên, bạn bù lại bằng cách giảm ngày; vượt qua từ đông sang tây, bạn tăng lên một ngày. Để duy trì cho hành tinh chúng ta đối với một hệ thống bảo quản thời gian hợp lý, chúng ta đơn thuần phải chấp nhận rằng ngày tháng sẽ khác biệt nhau ở những thành phố khác nhau ngay cùng một thời điểm. Một thí dụ nổi tiếng là ngày mà Hải quân Hoàng gia Nhật bắn phá Trân Châu Cảng (Pearl Harbor) ở Hawaii, được xem là



Đường đổi ngày quốc tế là một đường được vạch ra nhất định trên Trái Đất nơi đó ngày thay đổi. Để cho các người láng giềng không phải có những ngày khác biệt nhau, đường này được phân định nơi mà bề mặt Trái Đất toàn là nước.

ngày Chủ nhật, 7 tháng Chín, 1941 ở Hoa Kỳ, nhưng ở Nhật Bản các học sinh được dạy là ngày Thứ hai, 8 tháng Chín.

3.4 LỊCH

♦ SỰ THÁCH THỨC CỦA LỊCH

“Hôm nay là ngày thứ mấy?” là một trong những câu hỏi thường xuyên nhất bạn có thể hỏi. Rất lâu trước khi kỷ nguyên của đồng hồ kỹ thuật số báo cho biết ngày tháng, con người đã sử dụng các loại lịch để giúp đo lường thời gian trôi qua.

Có hai chức năng truyền thống của bất kỳ thứ lịch nào. Trước tiên, nó phải theo dõi thời gian qua quá trình của những quãng thời gian dài hơn, cho phép người ta dự đoán chu kỳ của các mùa và để tổ chức những ngày lễ đặc biệt của tôn giáo hay ngày lễ kỷ niệm của cá nhân. Kế đến, để được đa số mọi người sử dụng, một loại lịch nào đó phải sử dụng những khoảng thời gian tự nhiên mà mọi người có thể nhất trí với nhau – những khoảng thời gian được xác định bởi sự chuyển động của Trái Đất, Mặt Trăng, và đôi

khi ngay cả các hành tinh. Các đơn vị tự nhiên của lịch chúng ta là *ngày*, dựa trên chu kỳ quay của Trái Đất; *tháng*, dựa trên chu kỳ quay của Mặt Trăng quanh Trái Đất; và *năm*, dựa trên chu kỳ quay của Trái Đất quanh Mặt Trời. Những sự khó khăn trở ngại là kết quả từ sự kiện là ba chu kỳ này không thể so sánh với nhau được – nghĩa là, chu kỳ này không chia chẵn cho bất kỳ chu kỳ nào còn lại. Chu kỳ tự xoay tròn của Trái Đất là một ngày, theo định nghĩa. Chu kỳ quay cần thiết để cho Mặt Trăng hoàn tất chu kỳ các tuần trăng, gọi là tháng trăng hay tháng âm lịch, là 29,5306 ngày. Chu kỳ quay cơ bản của Trái Đất, gọi là năm dương lịch, là 365,2422 ngày. Tỉ số của các con số này không thuận tiện lắm cho việc tính toán. Nói khác hơn, hoá ra là các đồng hồ theo mặt trời không tương thích với nhau lắm. Đây là sự thách thức lịch sử của lịch, được xử lý bằng nhiều phương cách khác nhau bởi những nền văn minh khác nhau.

♦ NHỮNG LOẠI LỊCH CỔ

Ngay cả những nền văn minh đầu tiên cũng đều có liên quan đến việc tính toán thời gian và lịch. Đặc biệt thú vị là những công trình kiến trúc do con người thời đại đồ đồng (Bronze Age) còn để lại ở tây bắc châu Âu, nhất là ở trên các vùng đảo nước Anh. Công trình được bảo tồn tốt nhất là Cự Thạch (Stonehenge), cách Salisbury khoảng 13 km ở tây nam nước Anh. Đó là một phức hợp gồm những tảng đá, các hào rãnh và những lối xếp theo những vòng tròn đồng tâm. Phương pháp xác định niên đại bằng carbon và các nghiên cứu khác chứng tỏ rằng Stonehenge được xây dựng trong ba thời kỳ từ khoảng 2800 cho tới 1500 trước Công nguyên (B.C). Một số tảng đá được sắp hướng thẳng về phía của Mặt Trời và Mặt Trăng trong những lần mọc và lặn vào những thời điểm quan trọng trong năm (chẳng hạn như các ngày hạ chí và đông chí), và nói chung được mọi

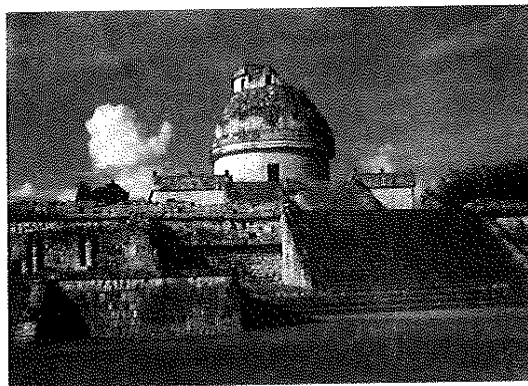
Một phần của Cự Thạch: Công trình cổ được xây dựng giữa năm 2800 và năm 1500 trước Công Nguyên, và được sử dụng để theo dõi các chuyển động của Mặt Trời và Mặt Trăng. Ngày nay, những kẻ phá hoại và các du khách bất cẩn đã làm hư hại những tảng đá đến mức hiện nay khu vực này bị rào lại và cấm đi vào.



người tin rằng một chức năng tối thiểu của công trình này là có liên quan tới việc tính toán lịch.

Dân tộc Maya ở Trung Mỹ (Central America), phát triển mạnh giữa thế kỷ thứ II và thứ X sau Công nguyên (A.D)., cũng liên hệ tới việc tính toán thời gian. Lịch của họ cũng tinh vi rắc rối như, và có lẽ còn phức tạp hơn, các loại lịch đương thời ở châu Âu. Người Maya không cố gắng so sánh lịch của họ cho chính xác với độ dài của năm hay tháng âm lịch. Đúng hơn, lịch của họ là một hệ thống để theo dõi sự trôi qua của các ngày và để đếm thời gian xa xăm trong quá khứ hay trong tương lai. Đối với một số mục đích khác, nó được dùng để tiên đoán các hiện tượng thiên văn – thí dụ, các vị trí của Sao Kim (Venus) trên bầu trời.

Người Trung Hoa cổ đại phát triển một thứ lịch đặc biệt phức tạp, phần lớn chỉ giới hạn trong một vài nhà thiên văn triều đình hưởng đặc quyền cha truyền con nối – các nhà chiêm tinh. Ngoài các chuyển động của Trái Đất và Mặt Trăng, họ còn có thể xác định chu kỳ xấp xỉ 12 năm của sao Mộc (Jupiter), là trung tâm điểm đối với hệ thống chiêm tinh học của họ. Người Trung Hoa vẫn còn giữ



Di tích Caracol: Đài thiên văn của người Maya tại Chichén Itzá ở Yucatan, Mexico, có niên đại khoảng 1.000 năm sau Công nguyên.

gìn một số khía cạnh của hệ thống này trong chu kỳ 12 “năm” của họ – năm Con Rồng hay năm Thìn, năm Con Heo hay năm Hợi – được xác định bởi vị trí của Mộc Tinh trên hoàng đạo.

Lịch phương Tây xuất xứ từ các loại lịch của Hy Lạp bắt đầu từ ít ra là thế kỷ thứ VIII trước Công nguyên. Cuối cùng, chúng dẫn đến *Lịch Julian*, do Julius Caesar giới thiệu, một năm gần bằng với 365,25 ngày, rất gần với trị số thực tế là 365,2422. Người La Mã đã đạt được sự gần đúng này bằng cách tuyên bố rằng năm có 365 ngày, với sự ngoại lệ của mỗi năm thứ tư. *Năm nhuận* (leap year) thì phải có thêm một ngày (one extra day), khiến cho năm thành 366 ngày và do đó làm cho độ dài trung bình của năm là 365,25 ngày trong lịch Julian.

Người La Mã đã bỏ đi nhiệm vụ hầu như không thể hoàn thành về việc cố gắng căn cứ lịch của họ vào Mặt Trăng cũng như vào Mặt Trời, dù cho dấu vết của các hệ thống xưa hơn theo Mặt Trăng có thể được nhìn thấy trong sự kiện là các tháng của chúng ta có một độ dài trung bình khoảng 30 ngày. Tuy nhiên, các loại âm lịch hay lịch theo trăng vẫn còn được sử dụng trong các nền văn minh khác, và các loại lịch Hồi giáo (Islamic calendars) ban đầu vẫn là lịch theo Mặt Trăng (âm lịch) chứ không phải lịch theo Mặt Trời (dương lịch).

✧ LỊCH GREGORIAN

Mặc dù lịch Julian (được chấp nhận bởi Giáo hội Thiên Chúa giáo đầu tiên) thể hiện một sự tiến bộ lớn lao, năm trung bình của nó vẫn khác biệt với năm thực tế khoảng 11 phút, một trị số tích tụ dần dần qua nhiều thế kỷ trở thành một sai số đáng kể. Khoảng năm 1582,

11 phút của mỗi năm ấy đã cộng vào thời điểm khi mà ngày đầu của mùa xuân đang diễn ra vào ngày 11 tháng Ba, thay vì 21 tháng Ba. Nếu xu hướng được cho phép tiếp tục, dĩ nhiên ngày lễ Phục Sinh (Easter) của Thiên Chúa giáo sẽ diễn ra vào đầu mùa đông. Giáo hoàng Gregory XIII, một người cùng thời với Galileo, cảm thấy cần thiết phải tiến hành việc cải cách lịch thêm nữa.

Công việc cải cách lịch Gregorian bao gồm hai giai đoạn. Thứ nhất, mười ngày phải được bỏ ra khỏi lịch để đem điểm xuân phân trở lại ngày 21 tháng Ba; bằng sự công bố, ngày tiếp theo ngày 4 tháng Mười, 1582, trở thành ngày 15 tháng Mười. Đặc điểm thứ hai của lịch Gregorian mới là sự thay đổi về qui định cho năm nhuận, khiến cho độ dài trung bình của năm càng gần đúng hơn với năm dương lịch. Gregorian ban sắc lệnh rằng ba của mỗi bốn năm trong thế kỷ, tất cả các năm nhuận theo lịch Julian, sẽ là những năm thông thường kể từ nay trở đi. Quy định rằng chỉ có những năm của thế kỷ chia được cho 400 sẽ là những năm nhuận. Do vậy, năm 1700, 1800 và 1900 – tất cả đều chia được cho 4 nhưng không chia được 400 – không phải là những năm nhuận trong lịch Gregorian. Mặt khác, những năm 1600 và 2000, đều chia được cho 400, là những năm nhuận. Độ dài trung bình của năm theo lịch này, 365,2425 ngày mặt trời trung bình, thì đúng với khoảng một ngày trong 3.300 năm.

Các quốc gia Thiên Chúa giáo lập tức đưa cải cách của Gregorian vào thực tiễn, song các nước dưới sự kiểm soát của Giáo hội Chính Thống giáo (Eastern Church) và hầu hết các nước theo đạo Tin Lành (Protestant) không chấp thuận nó cho

tới mãi sau đó rất lâu. Khi Anh và các thuộc địa Hoa Kỳ sau cùng thực hiện sự thay đổi là vào năm 1752. Theo một nghị định của Quốc hội, ngày 2 tháng Chín, 1752, được nối tiếp bằng ngày 14 tháng Chín. Mặc dù các bộ luật đặc biệt đã được thông qua để ngăn chặn những sự lạm dụng chẳng hạn như các chủ đất thu tô thuế của trọn tháng đối với tháng Chín, vẫn có những cuộc nổi loạn, và người dân đòi phải trả lại 12 ngày của họ. Nước Nga không hủy bỏ lịch Julian cho tới thời điểm của cuộc cách mạng Tháng Mười 1917. Người Nga sau đó phải bỏ đi 13 ngày để phù hợp với phần còn lại của thế giới.

3.5 CÁC TUẦN TRĂNG VÀ CHUYỂN ĐỘNG CỦA MẶT TRĂNG

Sau Mặt Trời, Mặt Trăng là vật thể sáng nhất và rõ ràng nhất trên bầu trời. Không giống như Mặt Trời, nó không chiếu sáng bằng năng lượng riêng của nó, nhưng thật ra tỏa sáng do phản chiếu ánh sáng Mặt Trời. Nếu bạn nhất định theo dõi tiến trình của nó trên bầu trời trong một tháng, bạn sẽ quan sát một chu kỳ của các tuần trăng (hay các pha), với Mặt Trăng bắt đầu tối đen và ngày càng được chiếu sáng bởi ánh sáng Mặt Trời qua quá trình khoảng hai tuần. Sau khi cái đĩa của Mặt Trăng trở nên thấy rõ hoàn toàn, rồi nó bắt đầu mờ nhạt dần, trở lại tối đen khoảng hai tuần sau. Những sự thay đổi này làm cho nhiều nền văn minh cổ đại hoang mang khó hiểu, làm nảy sinh những câu chuyện kỳ diệu và những truyền thuyết để giải thích chu kỳ của Mặt Trăng. Thậm chí ngay trong thế giới hiện đại, nhiều dân tộc không hiểu điều gì đã gây ra các tuần

trắng, khi họ nghĩ rằng chúng có một chút nào đó liên hệ với cái bóng của Trái Đất. Chúng ta hãy xem các tuần trăng được giải thích ra sao bởi sự chuyển động của Mặt Trăng đối với nguồn ánh sáng rực rỡ trong thái dương hệ, Mặt Trời.

♦ CÁC TUẦN TRĂNG

Tuy chúng ta biết rằng Mặt Trời di chuyển 1/12 đường đi của nó chung quanh bầu trời trong mỗi tháng, đối với các mục đích giải thích các tuần trăng, chúng ta có thể giả sử rằng tia sáng Mặt Trời gần như xuất phát từ cùng một hướng trong suốt quá trình của chu kỳ bốn tuần lễ của trăng. Mặt Trăng, mặt khác, hoàn tất việc di chuyển chung quanh Trái Đất trong thời gian đó. Khi chúng ta ngắm nhìn Mặt Trăng từ một vị trí thuận lợi trên Mặt Đất, chúng ta thấy bề mặt của nó được ánh sáng mặt trời chiếu sáng đến mức nào là tùy thuộc vào góc độ mà Mặt Trời tạo ra đối với Mặt Trăng.

Đây là thí nghiệm đơn giản để chứng tỏ cho bạn thấy những gì vừa nói: Hãy đứng cách khoảng 6 feet (6 x 0,3048 mét~1,8mét) ngay trước một bóng đèn điện sáng chói trong một căn phòng hoàn toàn tối đen (hay ngoài trời ban đêm) và cầm trên tay bạn một vật tròn nhỏ chẳng hạn như một quả banh tennis hay trái cam. Sau đó đầu bạn có thể thay cho Trái Đất, bóng đèn thay Mặt Trời, và quả banh thay Mặt Trăng. Hãy di chuyển quả banh chung quanh đầu bạn (phải bảo đảm bạn không tạo ra một sự che khuất do sự ngăn chặn ánh sáng bằng đầu bạn).

Bạn sẽ thấy các pha giống như các pha của Mặt Trăng (các tuần trăng) trên quả banh. (Một cách thức thú vị khác nữa để làm quen với các pha và các chuyển động của Mặt Trăng là theo dõi vệ tinh của chúng ta trong bầu trời trong một hay hai tháng, ghi nhận hình dạng của nó, phương hướng của nó đối với Mặt Trời, và nó mọc và lặn khi nào).

Thiên Văn Học và Các Ngày Trong Tuần

Tuần lễ dường như độc lập với các chuyển động thiên thể, mặc dù độ dài của nó có thể được căn cứ trên thời gian giữa một phần tư các tuần trăng. Với nền văn minh Tây Phương, bảy ngày của tuần lễ được đặt tên theo bảy "kẻ lang thang" mà những người cổ đại nhìn thấy trong bầu trời: Mặt Trời (Sun), Mặt Trăng (Moon), và năm hành tinh thấy rõ bằng mắt thường (Thủy Tinh: Mercury, Kim Tinh: Venus, Hỏa Tinh: Mars, Mộc Tinh: Jupiter, và Thổ Tinh: Saturn).

Đối với người Anh, chúng ta có thể dễ dàng nhận ra ngày Chủ Nhật (Sun-day), Thứ Hai (Moon-day), và Thứ Bảy (Saturn-day), nhưng những ngày còn lại được đặt tên theo những từ tương đương trong tiếng Na Uy về các vị thần La Mã cung cấp tên của họ cho các hành tinh. Trong

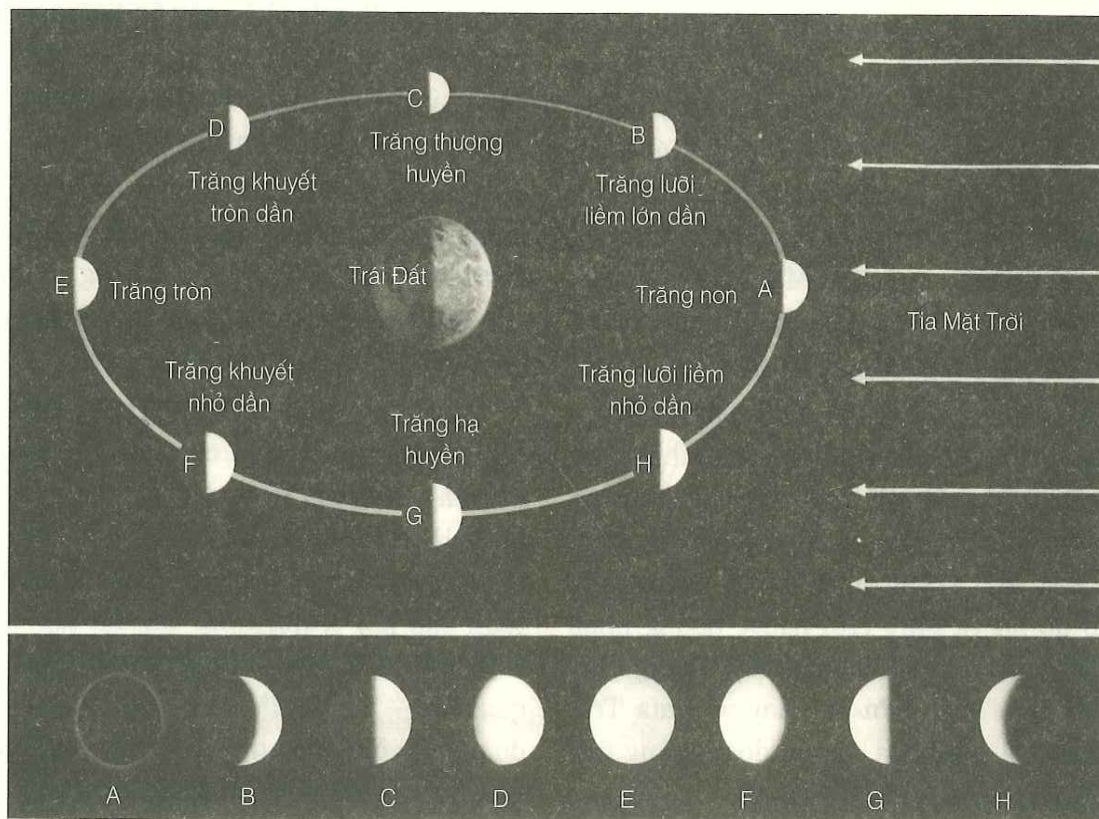
các ngôn ngữ có liên hệ trực tiếp hơn với tiếng Latin, sự liên hệ càng rõ ràng hơn. Thí dụ, Thứ Tư (Wednesday), ngày của Thủy Thần (Mercury's day), là Mercoledì trong tiếng Ý, Mercredi tiếng Pháp, và Miercoles tiếng Tây Ban Nha. Thần Chiến Tranh (Mars) cung cấp tên cho ngày Thứ Ba (Tuesday) (Martes trong tiếng Tây Ban Nha), Thần Sấm (Jupiter hay Jove) cho Thứ Năm (Thursday) (Giovedì trong tiếng Ý), và Thần Vệ Nữ cho Thứ Sáu (Vendredi trong tiếng Pháp).

Chẳng có lý do gì để cho rằng một tuần lễ phải có bảy ngày đúng hơn là năm hay tám ngày. Điều đáng quan tâm để suy nghiệm là nếu như chúng ta đã từng sống trong một hệ hành tinh mà các hành tinh được nhìn thấy ít hơn, có lẽ chúng ta cũng đã có một tuần lễ ngắn hơn.

Chúng ta hãy xem xét chu kỳ của các Tuần Trăng bằng cách sử dụng hình mô tả động thái của Mặt Trăng trong tròn một tháng (month). Bí quyết của bức hình này là bạn phải hình dung chính bạn đứng trên Trái Đất, *đối diện* với Mặt Trăng trong mỗi pha của nó. Do vậy đối với vị trí đặt tên là A, bạn đứng bên phải của Trái Đất vào giữa trưa; đối với vị trí E, bạn đứng ở bên trái của Trái Đất vào giữa đêm. Lưu ý rằng ở mỗi vị trí trong hình, Mặt Trăng nửa sáng và nửa tối (như một quả banh trong ánh sáng mặt trời). Sự khác biệt ở mỗi vị trí phải phù hợp với phần nào của Mặt Trăng đối diện Trái Đất.

Mặt Trăng được cho là “non” (new) khi nó nằm cùng hướng thông thường như Mặt Trời (vị trí A) trên bầu trời. Ở đây phía được chiếu sáng của nó quay ra xa chúng ta và phía tối quay về phía chúng ta. Trong pha này, nó không nhìn thấy được; bề mặt tối đen lờm chờm đã không chiếu ra bất kỳ tia sáng nào của nó. Bởi vì trăng non cũng như Mặt Trời đều ở cùng một vùng của bầu trời, nó mọc lúc bình minh và lặn lúc hoàng hôn.

Nhưng Mặt Trăng không giữ nguyên trong pha này được lâu, vì nó di chuyển về phía đông 12° mỗi ngày trong đường đi hàng tháng chung quanh chúng ta. Một hay hai ngày sau khi trăng non, trước



Các tuần trăng: Sự xuất hiện của Mặt Trăng trong quá trình chu kỳ tròn tháng. Phần trên mô tả một quang cảnh từ không gian, với Mặt Trời nằm xa về bên phải ở một vị trí cố định. Hãy hình dung chính bạn đứng trên Trái Đất, quay mặt về phía Mặt Trăng trong từng phần quỹ đạo quanh Trái Đất của nó. Thí dụ, ở vị trí A, bạn sẽ đối diện với Mặt Trăng từ bên phải của Trái Đất, vào giữa ngày. Dãy bên dưới mô tả sự xuất hiện của Mặt Trăng từ Trái Đất như bạn sẽ thấy nó từ mỗi vị trí được ghi bằng chữ. (Xin chú ý rằng khoảng cách giữa Mặt Trăng và Trái Đất không đúng theo tỉ lệ trong sơ đồ này: Mặt Trăng cách xa chúng ta gần gấp 30 lần đường kính Trái Đất, tuy nhiên chúng sẽ phải cần một trang lớn hơn để trình bày sơ đồ này theo đúng tỉ lệ!)

tiền trăng lưỡi liềm mỏng xuất hiện, vì chúng ta bắt đầu thấy một phần nhỏ của bán cầu được chiếu sáng của Mặt Trăng. Nó đã di chuyển vào một vị trí mà lúc ấy nó phản chiếu một chút ánh sáng mặt trời về phía chúng ta ở một mặt. Trăng lưỡi liềm sáng chói gia tăng kích thước vào những ngày kế tiếp khi Mặt Trăng di chuyển ngày càng xa hơn nữa quanh bầu trời ra khỏi hướng của Mặt Trời (vị trí B). Do Mặt Trăng đang di chuyển về hướng đông tránh xa Mặt Trời, mỗi ngày nó mọc càng muộn hơn, giống như một cậu học sinh trong kỳ nghỉ hè.

Sau khoảng một tuần, Mặt Trăng ở vào một phần tư đường đi quanh quỹ đạo của nó (vị trí C) và vì thế chúng ta nói rằng nó ở vào giai đoạn tuần trăng đầu tiên (first quarter). Giờ đây phân nửa bề mặt được chiếu sáng của Mặt Trăng được các quan sát viên ở Trái Đất nhìn thấy rõ. Do chuyển động của nó về phía đông, Mặt Trăng giờ đây muộn khoảng một phần tư ngày sau Mặt Trời, mọc gần như giữa trưa và lặn gần như nửa đêm.

Trong tuần lễ sau giai đoạn tuần trăng đầu tiên, chúng ta thấy bán cầu được chiếu sáng của Mặt Trăng ngày càng nhiều hơn (vị trí D), một giai đoạn được gọi là trăng khuyết tròn dần (waxing gibbous). Cuối cùng, Mặt Trăng đi tới vị trí E trong hình, ở đó nó và Mặt Trời ngược hướng nhau trên bầu trời. Bề mặt của Mặt Trăng quay về phía Mặt Trời đã quay về phía Trái Đất, và chúng ta có giai đoạn trăng đầy hay trăng tròn (full phase).

Khi Mặt Trăng tròn, nó đi chậm nửa quỹ đạo và nửa ngày sau Mặt Trời (và chúng cũng ngược hướng nhau trên bầu trời). Điều này có nghĩa là Mặt Trăng làm ngược lại những gì Mặt Trời làm, mọc lúc hoàng hôn và lặn lúc rạng đông.

Hãy lưu ý những điều có ý nghĩa trong thực tế. Trăng được chiếu sáng hoàn toàn (và do đó rất dễ nhận thấy) mọc ngay khi trời bắt đầu tối, giữ nguyên trên bầu trời suốt đêm dài và lặn khi những tia sáng đầu tiên của Mặt Trời vừa ló dạng. Và khi nào nó ở cao nhất trong bầu trời và dễ nhận thấy nhất? Vào nửa đêm, một thời điểm tạo ra sự nổi tiếng trong nhiều thể hệ tiểu thuyết và phim kinh dị. (Hãy chú ý động thái của con quỷ hút máu như Dracula đi đôi với động thái của trăng tròn: Dracula thức dậy lúc hoàng hôn, tiến hành việc quỷ quái xấu xa lúc nửa đêm, và phải chui vào quan tài lúc mặt trời mọc. Truyền thuyết xa xưa là một phương cách nhân cách hoá động thái của trăng tròn, là một phần gây ấn tượng sâu sắc mạnh mẽ trong đời sống con người vào những thời kỳ trước kia khi chưa có ánh sáng đô thị và truyền hình).

Trí thông minh dân gian cho rằng tâm trạng điên dại được thấy nhiều hơn trong thời điểm trăng tròn (Mặt Trăng thậm chí đem một cái tên đến cho tâm trạng điên dại trong tiếng Anh [lunacy]).

Trong hai tuần sau khi trăng tròn, Mặt Trăng lại đi qua cũng những giai đoạn ấy theo thứ tự ngược lại (các vị trí F, G và H trong hình), trở lại giai đoạn trăng non sau 29,5 ngày. Khoảng một tuần sau khi trăng tròn, thí dụ, lúc đó Mặt Trăng ở tuần trăng thứ ba (third quarter) – nghĩa là đó là ba phần tư đường đi vòng quanh, chứ không phải là ba phần tư được chiếu sáng. Thực vậy, nửa bên nhìn thấy được của Mặt Trăng lại bị tối. Tại giai đoạn này, ngay lúc đó Mặt Trăng đang mọc vào giữa khuya và lặn vào giữa trưa.

Lưu ý rằng có một điều hoàn toàn dễ bị hiểu lầm. Nếu bạn nhìn Mặt Trăng

ở vị trí E, mặc dù nó tròn đầy trên lý thuyết, nó có vẻ như thể sự chiếu sáng của nó thực sự bị che khuất bởi một Trái Đất phẳng dẹt và lớn, và do đó chúng ta sẽ không nhìn thấy bất cứ thứ gì trên Mặt Trăng ngoại trừ cái bóng của Trái Đất. Trong thực tế, chẳng có nơi nào Mặt Trăng gần bên cạnh với Trái Đất (cũng như đường đi của nó không trùng với đường đi của Mặt Trời trên bầu trời) như sơ đồ này (và các sơ đồ trong mọi cuốn sách khác) có thể sẽ khiến cho bạn tin là như vậy. Thực ra, Mặt Trăng cách xa chúng ta khoảng 30 lần đường kính Trái Đất; trong Phần Mở Đầu bạn sẽ thấy một sơ đồ mô tả hai thiên thể này theo tỉ lệ. Trong thực tế, bóng của Trái Đất không che khuất Mặt Trăng hầu như cả tháng, và chúng ta thường coi như trăng tròn. Những thời điểm khi bóng của Trái Đất rũ xuống Mặt Trăng được gọi là nguyệt thực và sẽ được nói đến trong Mục 3.7.

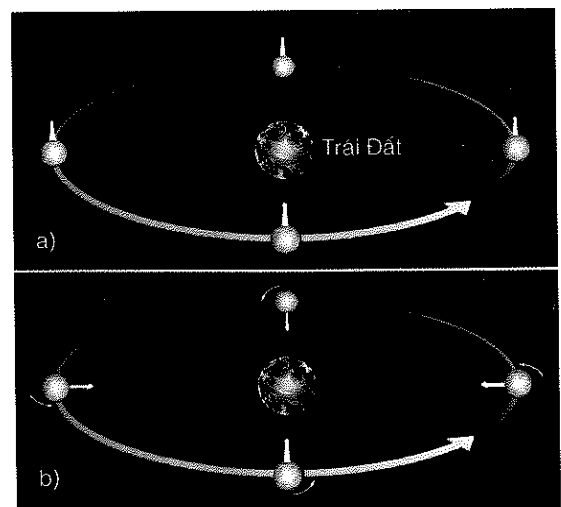
Trong giai đoạn tròn đầy thì Mặt Trăng chỉ ở trên cao vào ban đêm. Vào những giai đoạn khác trong tháng, nó có thể được nhìn thấy suốt buổi sáng (hạ huyền) hay suốt buổi chiều (thượng huyền) trong bầu trời ban ngày.

♦ SỰ QUAY VÒNG VÀ SỰ TỰ XOAY CỦA MẶT TRĂNG

Chu kỳ thiên văn hay chu kỳ sao (sidereal period) của Mặt Trăng – nghĩa là, chu kỳ của sự quay vòng quanh Trái Đất của nó được đo đạc so với các sao – nhiều hơn 27 ngày một chút: chính xác là 27,3217 ngày. Quãng thời gian trong đó các giai đoạn hay các pha (phases) lặp lại – thí dụ từ trăng tròn tới trăng tròn – là 29,5306 ngày. Sự chênh lệch lại là lỗi của sự chuyển động của Trái Đất chung quanh Mặt Trời. Mặt Trăng phải thực

hiện nhiều hơn trọn một vòng tròn chung quanh Trái Đất đang di chuyển để quay trở lại cùng một pha đối với Mặt Trời. Như chúng ta đã thấy, Mặt Trăng thay đổi vị trí của nó trên thiên cầu nhanh chóng hơn: ngay cả trong chỉ một buổi tối, Mặt Trăng bò về phía đông rõ ràng so với các sao, di chuyển độ rộng của nó trong chưa đầy một giờ. Sự chậm trễ lúc trăng lên từ ngày này sang ngày khác, gây ra do sự chuyển dịch về phía đông này, trung bình độ 50 phút.

Mặt Trăng tự xoay quanh trục của nó đúng bằng thời gian nó cần để quay quanh Trái Đất. Như một hệ quả (như mô tả trong hình), Mặt Trăng luôn luôn giữa nguyên một bên quay về phía Trái Đất. Bạn có thể tự thử làm điều này bằng cách “quay chung quanh” một người bạn. Bắt đầu bằng cách đối diện với người



Mặt Trăng không tự xoay và tự xoay. Trong hình này chúng ta cắm một mũi tên trắng vào một điểm cố định trên Mặt Trăng để theo dõi các bên của nó. (a) Nếu Mặt Trăng không tự xoay khi nó quay chung quanh Trái Đất, nó sẽ để lộ ra tất cả các bên của nó với cái nhìn của chúng ta; do đó mũi tên trắng sẽ chỉ hướng thẳng về phía Trái Đất ở vị trí dưới trên sơ đồ. (b) Thực ra, Mặt Trăng tự xoay trong cùng một chu kỳ mà nó quay tròn, vì thế chúng ta lúc nào cũng thấy cùng một bên (mũi tên trắng vẫn cứ hướng về Trái Đất).

bạn. Nếu bạn thực hiện sự xoay tròn với đôi vai của bạn đồng thời bạn vừa quay chung quanh anh ta hay cô ta, bạn sẽ liên tục đối diện với người bạn trong suốt cả một “quỹ đạo”. Sự khác biệt về hình dạng của Mặt Trăng từ đêm này tới đêm khác là do sự chiếu sáng bị biến đổi bởi Mặt Trời, chứ không phải do sự tự xoay tròn của nó. Đôi khi bạn nghe nói đến mặt sau của Mặt Trăng (phía mà chúng ta không bao giờ thấy) gọi là “mặt tối”. Đây là một sự hiểu lầm về tình trạng thực tế: Mặt nào sáng và mặt nào tối thay đổi liên tục khi Mặt Trăng chuyển động quanh Trái Đất. Mặt sau bị tối không thường xuyên hơn mặt trước. Bởi vì Mặt Trăng tự xoay tròn, Mặt Trời mọc và lặn ở tất cả các bên của Mặt Trăng.

3.6 THỦY TRIỀU VÀ MẶT TRĂNG

Bất cứ ai sống gần biển cả đều quen thuộc với sự lên và xuống hai lần một ngày của thủy triều. Trong lịch sử cổ xưa, rõ ràng thủy triều phải có liên hệ tới Mặt Trăng, bởi vì sự chậm trễ hàng ngày về thủy triều lên (hay nước ròng) thì cũng giống như sự chậm trễ hàng ngày về trăng lên. Tuy nhiên, sự giải thích thỏa đáng về thủy triều phải chờ sự ra đời của thuyết hấp dẫn, do Newton mang đến.

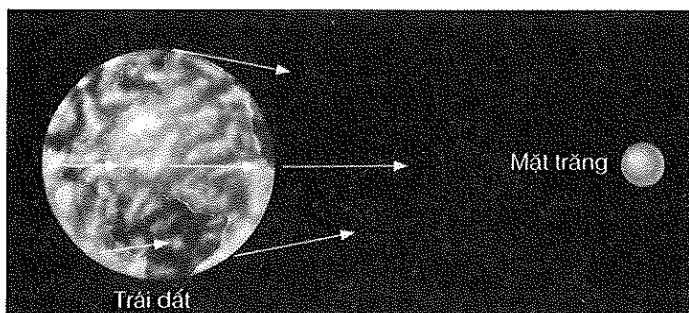
✧ SỨC HÚT CỦA MẶT TRĂNG ĐỐI VỚI TRÁI ĐẤT

Các lực hấp dẫn được tác động bởi Mặt Trăng tại nhiều vị trí trên Trái Đất được thể hiện trong hình.

Những lực này hơi khác với nhau một chút bởi vì Trái Đất không phải là một điểm, nhưng có một kích thước nhất định nào đó: Tất cả các phần không cách xa đồng đều đối với Mặt Trăng, chúng cũng không hoàn toàn chính xác cùng một hướng với Mặt Trăng.

Hơn nữa, Trái Đất không hoàn toàn rắn. Tóm lại, sự khác biệt giữa các lực hút của Mặt Trăng trên các phần khác nhau của Trái Đất (gọi là các lực chênh lệch) khiến cho Trái Đất hơi bị biến dạng. Phía bên của Trái Đất gần Mặt Trăng nhất bị hút về phía Mặt Trăng mạnh hơn về phía tâm Trái Đất, đến lượt tâm Trái Đất bị hút mạnh hơn là về phía đối nghịch với Mặt Trăng. Do đó, các lực chênh lệch có khuynh hướng kéo giãn Trái Đất ra một chút thành hình *phồng cầu dài* (prolate spheroid) (dạng bóng bầu dục), với đường kính dài của nó hướng về Mặt Trăng.

Nếu Trái Đất được cấu tạo bằng nước, nó sẽ biến dạng cho tới khi nào các lực chênh lệch của Mặt Trăng trên các phần bề mặt khác nhau của nó đạt tới mức cân bằng với các lực hút riêng (hay trọng lực)



Sức hút của mặt trăng. Sức hút chênh lệch của Mặt Trăng đối với các phần khác nhau của Trái Đất. (Lưu ý rằng sự chênh lệch biệt đã được phóng đại).

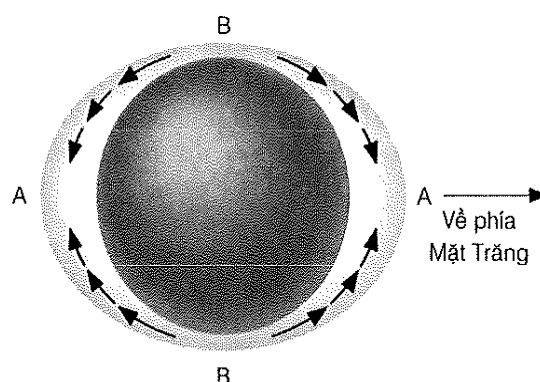
của Trái Đất kéo nó trở lại. Các tính toán chứng tỏ rằng trong trường hợp này Trái Đất sẽ biến dạng khác hình cầu bằng những trị số có phạm vi lên tới gần 1 mét. Những số đo về sự biến dạng thực tế của Trái Đất chứng tỏ rằng Trái Đất rắn có biến dạng, nhưng chỉ khoảng chừng một phần ba coi như là nước sẽ biến dạng.

Bởi vì sự biến dạng của Trái Đất rắn do thủy triều lên tới đỉnh cao của nó khoảng chỉ 20 cm, Trái Đất không bị méo đủ làm cân bằng các lực chênh lệch của Mặt Trăng với trọng lực của nó. Do đó, các vật thể trên bề mặt Trái Đất chịu những lực hút nhỏ theo chiều ngang, có khuynh hướng làm cho chúng bị trượt đi. Những lực triều dâng hay triều cường này không đáng kể đến mức tác động được những vật thể rắn như các tảng đá của vỏ Trái Đất, song chúng tác động được đến lượng nước trong các đại dương.

♦ SỰ HÌNH THÀNH THỦY TRIỀU

Những lực triều cường hay triều dâng, hoạt động trong nhiều giờ, tạo ra những sự chuyển động của nước mang đến hậu quả là những chỗ dâng cao do thủy triều có thể đo đạc được trong các đại dương. Nước ở bên phía Trái Đất đối diện với Mặt Trăng bị kéo về phía nó, chồng lên thành những độ sâu lớn hơn, với những độ sâu lớn nhất nằm ngay vị trí phía dưới Mặt Trăng. Ở mặt bên kia của Trái Đất đối nghịch với Mặt Trăng, nước lưu chuyển cũng tạo ra ở đó một chỗ dâng cao do thủy triều.

Hãy chú ý là những chỗ dâng cao do thủy triều trong đại dương không phải là hậu quả do sự dồn nén hay sự kéo giãn nước của Mặt Trăng, cũng không phải do sự nâng nước “ra khỏi Mặt Đất” của Mặt Trăng. Mà đúng ra, chúng là kết quả từ sự lưu chuyển thực tế của nước trên bề



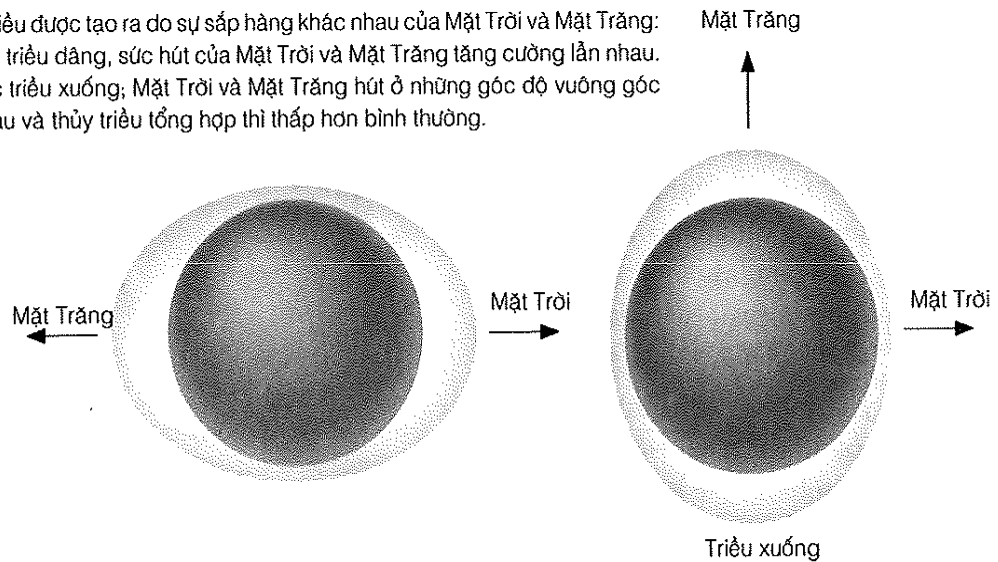
Những chỗ phồng do thủy triều trong một đại dương lý tưởng.

mặt Trái Đất về phía những vùng thấp và đối nghịch với Mặt Trăng, khiến cho nước tạo thành những độ sâu lớn hơn tại những nơi này.

Trong mô hình lý tưởng (và, như chúng ta sẽ thấy, hết sức đơn giản) như được mô tả, chiều cao của thủy triều sẽ chỉ là một vài foot (1 foot = 0,3048 m). Sự tự xoay tròn của Trái Đất sẽ mang một quan sát viên tại bất cứ địa điểm nhất định nào lần lượt đi vào những vùng nước sâu hơn và cạn hơn. Một quan sát viên đi về phía những khu vực phía dưới hay đối nghịch với Mặt Trăng, ở đó nước sâu nhất, sẽ nói rằng, “Thủy triều đang dâng lên”; khi ra khỏi những khu vực này, quan sát viên sẽ nói, “Thủy triều đang rút xuống”. Trong một ngày, quan sát viên ấy sẽ đi qua hai chỗ dâng cao do thủy triều (ở mỗi bên của Trái Đất) và vì thế sẽ trải qua hai triều cao và hai triều thấp.

Mặt Trời cũng tạo ra các cơn thủy triều trên Trái Đất, mặc dù nó có ảnh hưởng chưa bằng phân nửa so với Mặt Trăng lúc triều cường. Các cơn thủy triều thực tế mà chúng ta trải qua là sự kết hợp giữa sự tác động mạnh hơn của Mặt Trăng và yếu hơn của Mặt Trời. Khi mà Mặt Trời và Mặt Trăng nằm thẳng hàng

Thủy triều được tạo ra do sự sắp hàng khác nhau của Mặt Trời và Mặt Trăng:
 (a) Lúc triều dâng, sức hút của Mặt Trời và Mặt Trăng tăng cường lẫn nhau.
 (b) Lúc triều xuống, Mặt Trời và Mặt Trăng hút ở những góc độ vuông góc với nhau và thủy triều tổng hợp thì thấp hơn bình thường.



(lúc trăng non hay trăng tròn), thủy triều được sinh ra tăng cường cho nhau và do đó lớn hơn bình thường.

Đây được gọi là các cơn thủy triều dâng (spring tides) (cái tên “spring” trong tiếng Anh không có liên hệ tới mùa “Xuân”, nhưng tới ý tưởng rằng các cơn thủy triều cao “spring up: dâng lên”). Các cơn triều dâng gần giống như nhau, dù cho Mặt Trời và Mặt Trăng nằm cùng một bên hay hai bên ngược nhau của Trái Đất, bởi vì các chỗ dâng cao do thủy triều xảy ra ở các hai bên. Khi Mặt Trăng ở thượng huyền hay hạ huyền (nằm vuông góc với hướng của Mặt Trời), các cơn thủy triều tạo ra do Mặt Trời hủy bỏ một phần các cơn thủy triều của Mặt Trăng, khiến cho chúng thấp hơn bình thường. Đây được gọi là các cơn thủy triều xuống (neap tides).

Lý thuyết “đơn giản” về thủy triều, được mô tả trong các đoạn trước, sẽ là đầy đủ nếu Trái Đất tự xoay tròn rất chậm và được bao bọc toàn bộ bởi các đại dương sâu thẳm. Tuy nhiên, sự hiện diện của các khối lục địa chặn đứng dòng chảy của nước, sự ma sát trong đại dương và giữa đại dương và đáy biển, sự tự xoay

của Trái Đất, gió, độ sâu biến đổi của đại dương, và còn nữa, tất cả làm cho bức tranh ấy phức tạp thêm. Đó là lý do tại sao trong thế giới thực tế, một số nơi có thủy triều rất nhỏ trong khi ở những nơi khác lại có các cơn thủy triều khổng lồ.

3.7 NHẬT THỰC VÀ NGUYỆT THỰC

Một trong những sự trùng hợp may mắn về sự sống trên Trái Đất vào thời nay là hai thiên thể nổi bật nhất, Mặt Trời và Mặt Trăng, gần như có cùng một kích thước biểu kiến trên bầu trời. Mặc dù Mặt Trời có đường kính lớn gấp khoảng 400 lần đường kính của Mặt Trăng, song nó cũng nằm cách xa hơn 400 lần, vì vậy mà cả Mặt Trời và Mặt Trăng đều có kích thước góc như nhau – khoảng $1/2^\circ$. Tóm lại, Mặt Trăng, như được nhìn thấy từ Trái Đất, có thể hiện ra để che khuất Mặt Trời, tạo ra một trong những hiện tượng kỳ thú và gây ấn tượng nhất trong vũ trụ.

Bất cứ vật thể rắn nào trong hệ mặt trời cũng cho ra một cái bóng bằng cách che khuất ánh sáng của Mặt Trời từ một

vùng phía sau nó. Cái bóng này trở nên rõ ràng bất cứ khi nào một vật thể khác di chuyển vào trong nó. Nói chung, *sự che khuất* hay *sự thiên thực* xảy ra bất cứ lúc nào mà bất kỳ phần nào hoặc của Trái Đất hoặc của Mặt Trăng đi vào cái bóng của thiên thể kia.

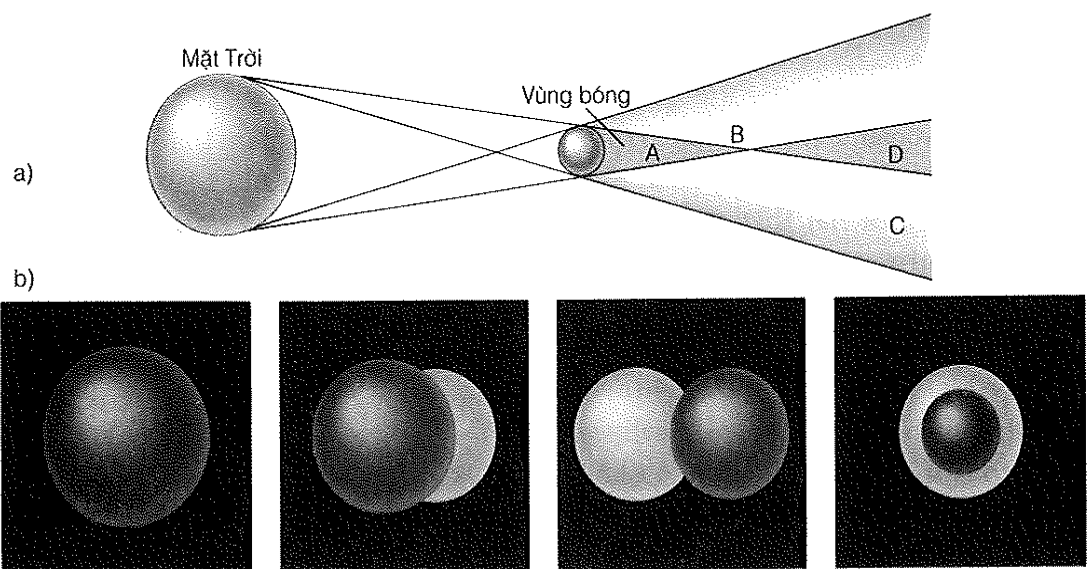
Khi bóng của Mặt Trăng rơi vào Trái Đất, những người ở trong phạm vi cái bóng ấy nhìn thấy Mặt Trời ít nhất cũng bị che phủ một phần bởi Mặt Trăng; đó là họ chứng kiến hiện tượng nhật thực (solar eclipse). Khi Mặt Trăng đi vào cái bóng của Trái Đất, những người ở phía tối của Trái Đất nhìn thấy Mặt Trăng bị tối dần, hiện tượng ấy gọi là nguyệt thực (lunar eclipse).

Bóng của Trái Đất và Mặt Trăng gồm có hai phần: một hình nón tối đen nơi mà cái bóng tối nhất, gọi là *bóng*, và một vùng sáng hơn, khuếch tán nhiều hơn của bóng tối gọi là *vùng nửa tối*. Như bạn có thể hình dung, những lần thiên thực ngoạn mục nhất xảy ra khi một thiên thể đi vào vùng bóng.

Nếu đường đi của Mặt Trăng trong bầu trời giống hệt với đường đi của Mặt Trời (hoàng đạo), chúng ta sẽ hy vọng nhìn thấy một sự che khuất Mặt Trời và Mặt Trăng vào mỗi tháng, bất cứ khi nào Mặt Trăng ở đằng trước Mặt Trời hay nằm trong cái bóng của Trái Đất. Tuy nhiên, quỹ đạo của Mặt Trăng bị nghiêng so với mặt phẳng quỹ đạo của Mặt Trời khoảng 5° . Tóm lại, hầu hết các tháng, Mặt Trăng nằm trên hay nằm dưới Mặt Trời đủ để tránh đi một sự thiên thực (hay sự che khuất). Nhưng khi hai đường đi ấy gặp nhau hay giao nhau (hai lần một năm), thế thì đó là “mùa thiên thực” và các hiện tượng thiên thực có thể xảy ra.

♦ NHẬT THỰC

Kích thước biểu kiến hay kích thước góc của cả Mặt Trời và Mặt Trăng thay đổi một ít từ lúc này đến lúc khác, vì khoảng cách của chúng với Trái Đất thay đổi. (Hình trình bày khoảng cách của quan sát viên thay đổi từ A cho tới D, nhưng ý nghĩ thì giống nhau). Nhiều khi,



Giải thích hiện tượng nhật thực: (a) Cái bóng được tạo ra bởi một thiên thể hình cầu (thí dụ, Mặt Trăng). Hãy chú ý vùng bóng tối đen và vùng nửa tối sáng hơn. Bốn vị trí trong cái bóng được đặt tên bằng chữ. (b) Mặt Trời và Mặt Trăng sẽ được thấy như thế nào trong bầu trời tại bốn vị trí đặt tên.

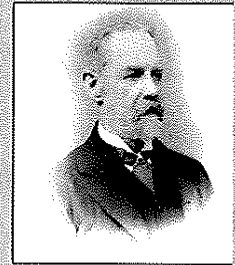
CÁC NHÀ DU HÀNH TRONG THIÊN VĂN HỌC
George Darwin và Sự Chậm Lại của Trái Đất

Sự cọ xát của nước lên bề mặt Trái Đất liên quan tới một năng lượng khổng lồ. Qua những quãng thời gian dài, ma sát của thủy triều thực sự làm chậm lại sự tự xoay của Trái Đất. Ngày của chúng ta bị dài ra hơn khoảng 0,002 giây mỗi thế kỷ. Điều đó có vẻ rất nhỏ bé, song những biến đổi nhỏ bé như thế có thể tăng lên qua hàng triệu và hàng tỉ năm.

Mặc dù sự xoay tròn của Trái Đất đang chậm dần, moment góc hay động lượng góc (xem Chương 2) trong một hệ thống chẳng hạn như hệ Trái Đất – Mặt Trăng không thể thay đổi. Do vậy một số chuyển động xoay tròn khác phải tăng tốc để thực hiện moment góc phụ. Các chi tiết về những gì xảy ra đã được nghiên cứu tính toán cách đây hơn một thế kỷ do George Darwin (1845–1912), con trai của nhà tự nhiên học Charles Darwin. George Darwin quan tâm mạnh mẽ đến khoa học nhưng lại đi học luật trong sáu năm và được chấp nhận vào luật sư đoàn. Tuy nhiên, ông không bao giờ hành nghề luật, mà lại quay về với khoa học và cuối cùng trở thành một giáo sư tại Viện đại học Cambridge. Ông là người được bảo trợ của Huân tước Kelvin, một trong những vật lý gia nổi tiếng của thế kỷ XIX, và chú tâm vào sự tiến hoá dài hạn của hệ mặt trời. Ông thực hiện các phép tính tỉ mỉ (và khó)

về việc các quỹ đạo và các sự chuyển động sẽ thay đổi ra sao qua các thời kỳ địa chất.

Những gì mà Darwin tính toán được đối với hệ Trái Đất – Mặt Trăng là Mặt Trăng sẽ từ từ xoay ra ngoài theo hình tròn



G. Darwin

ốc, cách xa khỏi Trái Đất. Khi nó di chuyển xa ra thêm nữa, nó sẽ quay chậm lại (giống như các hành tinh xa Mặt Trời hơn di chuyển chậm hơn trên quỹ đạo của chúng). Vì thế, tháng sẽ bị dài hơn. Cũng vậy, vì Mặt Trăng càng xa hơn, Nhật Thực toàn phần (xem Mục 3.7) sẽ không còn được nhìn thấy từ Trái Đất nữa.

Cả ngày và tháng đều sẽ liên tục bị dài hơn, mặc dù các ảnh hưởng tác động rất chậm. Tính toán chứng tỏ rằng cuối cùng – trong tương lai hàng tỉ năm – ngày và tháng sẽ dài bằng nhau (khoảng 47 ngày hiện tại của chúng ta), và Mặt Trăng sẽ đứng yên trong bầu trời trên cùng một chỗ đối với Trái Đất.

“Darwin tính toán rằng Mặt Trăng sẽ từ từ xoay ra phía ngoài theo hình tròn ốc, ra xa khỏi Trái Đất”.

Mặt Trăng trông hơi nhỏ hơn Mặt Trời và không thể che phủ Mặt Trời hoàn toàn, ngay như nếu cả hai thật thẳng hàng. Tuy nhiên, nếu một sự nhật thực xảy ra khi Mặt Trăng hơi gần hơn khoảng cách trung bình của nó, Mặt Trăng có thể hoàn toàn che khuất Mặt Trời, tạo ra hiện tượng nhật thực toàn phần (total solar eclipse). Nhật thực toàn phần xảy ra vào những thời điểm khi mà vùng bóng của cái bóng Mặt Trăng chạm đến bề mặt Trái Đất.

Sơ đồ hình học về nhật thực toàn phần được thể hiện trong hình. Nếu Mặt

Trời và Mặt Trăng nằm thật thẳng hàng, do đó cái bóng tối nhất của Mặt Trăng giao tiếp với mặt đất tại một điểm nhỏ trên bề mặt Trái Đất.

Bất kỳ ai trên Trái Đất nằm trong khu vực nhỏ bé ấy bị che khuất bởi cái đỉnh của cái bóng Mặt Trăng sẽ, trong một vài phút, không thể nhìn thấy Mặt Trời và sẽ chứng kiến nhật thực toàn phần. Cùng thời điểm ấy, các quan sát viên ở khu vực rộng hơn của bề mặt Trái Đất, những người ở trong phạm vi vùng nửa tối sẽ nhìn thấy chỉ một phần của Mặt

Trời bị che khuất bởi Mặt Trăng: Chúng ta gọi đây là nhật thực từng phần.

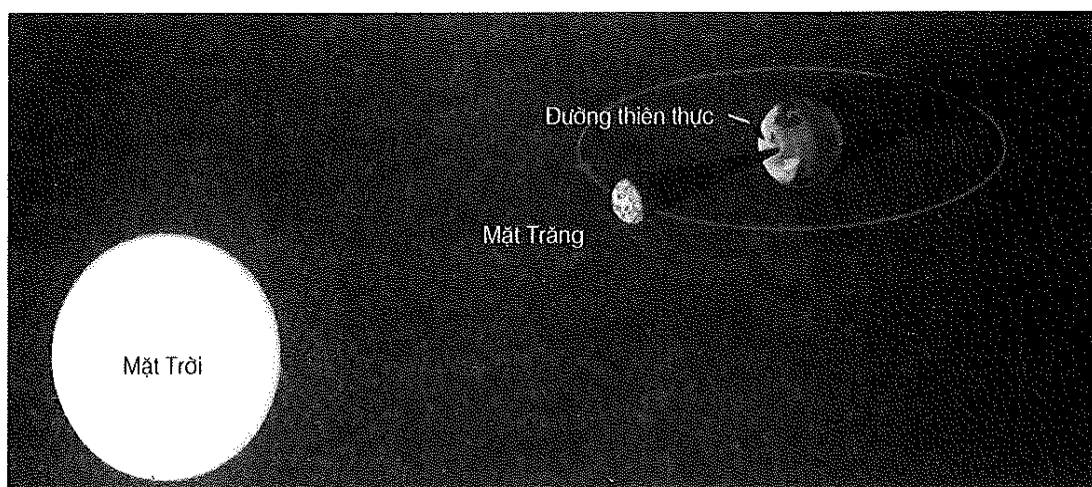
Khi Mặt Trăng di chuyển sang phía đông trên quỹ đạo của nó, cái chóp của cái bóng quét về hướng đông khoảng 1500 km/giờ dọc theo một dải mỏng băng ngang qua bề mặt Trái Đất; nhật thực toàn phần tiến triển theo dải này. Khu vực mỏng ngang qua Trái Đất mà trong đó nhật thực toàn phần được nhìn thấy (khi thời tiết cho phép) được gọi là đường đi thiên thực hay đường che khuất (eclipse path). Trong một vùng khoảng 3000 km ở hai bên cạnh của đường đi thiên thực, nhật thực từng phần được nhìn thấy. Không phải mất nhiều thời gian để cho cái bóng của Mặt Trăng quét qua một vị trí nhất định trên Trái Đất. Khoảng thời gian của sự toàn thực có thể chỉ là một thoáng ngắn ngủi; nó có thể không bao giờ vượt quá 7 phút.

Bởi vì hiện tượng nhật thực toàn phần thật ngoạn mục, bỏ công nhìn một lần nếu bạn có thể thực hiện. Có những người mà sở thích của họ là “săn đuổi thiên thực” và thường khoe rằng họ đã từng thấy bao nhiêu lần trong đời. Do

đa phần bề mặt Trái Đất là nước, việc săn đuổi thiên thực có thể liên quan tới những chuyến đi dài bằng tàu thuyền (và thường cũng đòi hỏi những chuyến du hành trên không). Tóm lại, việc săn đuổi thiên thực hiếm khi nằm trong ngân sách và kế hoạch của hầu hết mọi người. Tuy vậy, một bảng kê các lần thiên thực trong tương lai được cung cấp để bạn tham khảo trong Phụ Lục 9.

♦ HÌNH DẠNG CỦA SỰ TOÀN THỰC

Những gì bạn có thể nhìn thấy nếu bạn có đủ may mắn để bắt gặp toàn thực? Nhật thực toàn phần khởi sự khi Mặt Trăng vừa mới bắt đầu in bóng của nó xuống mép đĩa Mặt Trời. Một giai đoạn từng phần tiếp theo sau, trong đó càng lúc Mặt Trời càng bị che phủ bởi Mặt Trăng. Sau khi sự che khuất bắt đầu khoảng một giờ, Mặt Trời trở thành bị che khuất hoàn toàn phía sau Mặt Trăng. Trong vài phút ngay trước khi thời kỳ toàn thực này bắt đầu, bầu trời tối sầm rờ rệt, một số loài hoa khép cánh lại, và gà có thể gáy. Như một buổi chiều hôm kỳ quái bất thần buông xuống trong ngày;

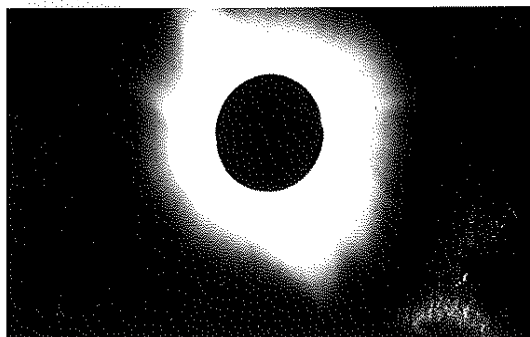


Sơ đồ hình học của nhật thực toàn phần: Lưu ý rằng sơ đồ này không đúng theo tỉ lệ. Mặt Trăng che khuất Mặt Trời như được thấy từ một số vùng của Trái Đất và chiếu một cái bóng lên hành tinh chúng ta.

những loài động vật khác (và con người) có thể mất định hướng.

Vào giây phút cuối cùng trước khi toàn thực xảy ra, những phần duy nhất của Mặt Trời có thể nhìn thấy được là những phần chiếu sáng xuyên qua những thung lũng thấp hơn trên bề mặt nghiêng không đều của Mặt Trăng và sắp thành hàng dọc theo vùng ngoại vi của mép trước của Mặt Trăng – một hiện tượng gọi là “Baily’s beads” (những điểm sáng của Mặt Trời), Baily là tên của nhà thiên văn học người Anh đã mô tả hiện tượng này đầu tiên. Một tia sáng mặt trời lóe lên cuối cùng xuyên qua một thung lũng mặt trăng tạo ra một tia sáng chói lòa trên cái lưới liềm đang biến mất của Mặt Trời: Những người theo dõi thiên thực gọi đó là “vòng kim cương” (diamond ring). Trong lúc toàn thực, bầu trời tối đen đến mức đủ để những hành tinh trở nên nhìn thấy được trong bầu trời, và thông thường các ngôi sao sáng hơn cũng được nhìn thấy.

Khi “những điểm sáng của Mặt Trời” biến mất và đĩa sáng của Mặt Trời bị che khuất hoàn toàn sau Mặt Trăng, nhật hoa (corona) rõ rệt của Mặt Trời lóe sáng trong quang cảnh. Nhật hoa là bầu khí quyển bên ngoài của Mặt Trời, bao



Quầng mặt trời hay nhật hoa: Nhật hoa (Corona) (bầu khí quyển mỏng bên ngoài của Mặt Trời), nhìn thấy trong ngày 11 /07/1991, nhật thực toàn phần, chụp từ gần La Paz, Mexico, do một người săn thiên thực chuyên nghiệp.

gồm các loại khí rải rác thưa thớt vươn rộng ra tới hàng triệu dặm (miles) về mọi hướng từ bề mặt biểu kiến của Mặt Trời. Bình thường nó không nhìn thấy được vì ánh sáng của nhật hoa yếu ớt so với ánh sáng từ các lớp bên dưới của Mặt Trời. Chỉ khi nào ánh sáng chói lòa từ đĩa thấy được của Mặt Trời bị mờ đi bởi Mặt Trăng trong lúc toàn thực thì vùng này mới được nhìn thấy.

Giai đoạn toàn thực chấm dứt, cũng bất ngờ như lúc nó bắt đầu, khi Mặt Trăng bắt đầu để Mặt Trời lộ ra. Các pha che khuất từng phần dần dần tự lập lại, theo thứ tự đảo ngược, cho tới khi Mặt Trăng để Mặt Trời lộ ra hoàn toàn.

✧ NGUYỆT THỰC

Nguyệt thực xảy ra khi Mặt Trăng đi vào cái bóng của Trái Đất. Bóng đen của Trái Đất dài khoảng 1,4 triệu km, do đó với khoảng cách của Mặt Trăng (trung bình là 384.000km), nó có thể che phủ khoảng gấp bốn lần Mặt Trăng. Khác với nhật thực, nhìn thấy được chỉ trong một số vùng địa phương nào đó trên Trái Đất, nguyệt thực được nhìn thấy với mọi người có thể thấy Mặt Trăng. Bởi vì nguyệt thực có thể được nhìn thấy (khi thời tiết cho phép) từ phía tối hoàn toàn của Trái Đất, nguyệt thực được quan sát thường xuyên hơn từ một nơi nhất định trên Trái Đất so với nhật thực.

Hiện tượng nguyệt thực toàn phần chỉ xảy ra khi đường đi của Mặt Trăng mang nó đi ngang qua vùng bóng của Trái Đất. Nếu Mặt Trăng không đi vào vùng bóng trọn vẹn, chúng ta có nguyệt thực từng phần. Đôi khi Mặt Trăng có thể trệch khỏi vùng bóng và chỉ đi vào vùng nửa tối lớn hơn của Trái Đất: Trong trường hợp ấy, chúng ta có nguyệt thực nửa tối. Ánh sáng

Nhìn thẳng vào Mặt Trời là một điều cực kỳ nguy hiểm: Ngay cả một sự phơi sáng (tiếp xúc với ánh sáng) ngắn ngủi cũng có thể làm tổn hại đôi mắt bạn. Thông thường, ít có người sáng suốt lành mạnh nào lại bị lôi cuốn làm điều này, bởi vì nó gây đau đớn. Nhưng trong quá trình của thiên thực, sự quyến rũ, thúc giục được nhìn thật mạnh mẽ. Sự thật là Mặt Trăng đang che khuất một phần của Mặt Trời không làm cho phần còn lại bớt đi nguy hiểm chút nào khi nhìn vào. Tuy nhiên, có những phương cách an toàn để theo dõi diễn tiến của nhật thực, nếu bạn đủ may mắn đứng ở trong đường đi của cái bóng.

Kỹ thuật dễ dàng nhất là chế tạo máy chiếu lỗ kim. Lấy một miếng giấy bìa cứng có đục một lỗ nhỏ (1 mm) và cầm giữ nó cách vài foot (1 foot = 0,3048 m) bên trên bề mặt được chiếu sáng, chẳng hạn như một lễ đường bê-tông hay một tờ giấy trắng, sao cho cái lỗ được "nhắm" ngay Mặt Trời. Cái lỗ tạo ra hình ảnh, mờ nhạt nhưng đầy đủ, của Mặt Trời bị che khuất.

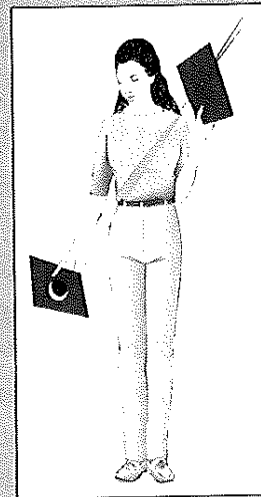
Bạn cũng có thể che tất cả nhưng chỉ chừa khoảng một đồng xu của tấm gương và dùng bề mặt tấm gương nhỏ còn lại để phản chiếu hình ảnh của Mặt Trời bị che vào một bức tường. Điều này cần một chút khéo léo.

Mặc dù có những tấm kính lọc an toàn để nhìn thẳng vào Mặt Trời, nhiều người từng bị tổn thương mắt do nhìn qua các kính lọc không đúng (hay chẳng có kính lọc nào cả). Thí dụ, kính lọc chụp ảnh có mật độ trung bình không an toàn, bởi vì chúng truyền tia tử ngoại có thể gây tổn thương nghiêm trọng võng mạc. Kính đeo mắt đục, phim màu đã phơi sáng, và nhiều loại kính lọc tự làm tại nhà cũng không an toàn.

Nhìn thẳng vào Mặt Trời chỉ an toàn khi nó bị che khuất hoàn toàn (hay bị toàn thực), dù qua ống nhòm hay viễn vọng kính. Không may là pha toàn thực hết sức ngắn ngủi. Nhưng nếu

bạn biết rằng khi nó sắp xảy ra (và đang đi tới), chắc chắn bạn muốn nhìn, vì nó là một cảnh tượng đẹp để không thể nào quên. Và, bất luận văn học dân gian xa xưa trình bày chúng như là những thời điểm nguy hiểm khi ở ngoài trời, các pha nhật thực từng phần – miễn là bạn đừng nhìn trực tiếp vào Mặt Trời – chắc chắn cũng không nguy hiểm gì hơn khi không còn ánh sáng mặt trời.

Trong các lần nhật thực đã qua, sự sợ hãi không cần thiết đã được tạo ra bởi những người không am hiểu, không có thông tin đầy đủ hành động với các ý định tốt nhất. Có hai lần nhật thực tuyệt diệu ở Úc vào thế kỷ XX, trong lúc đó các cư dân thị trấn cầm các tờ báo trên đầu để che chắn và học sinh ngồi co rúm trong nhà núp đầu dưới bàn. Quá đáng tiếc cho tất cả những ai đã bỏ lỡ những gì lẽ ra là một trong những kinh nghiệm đáng nhớ nhất đời họ!

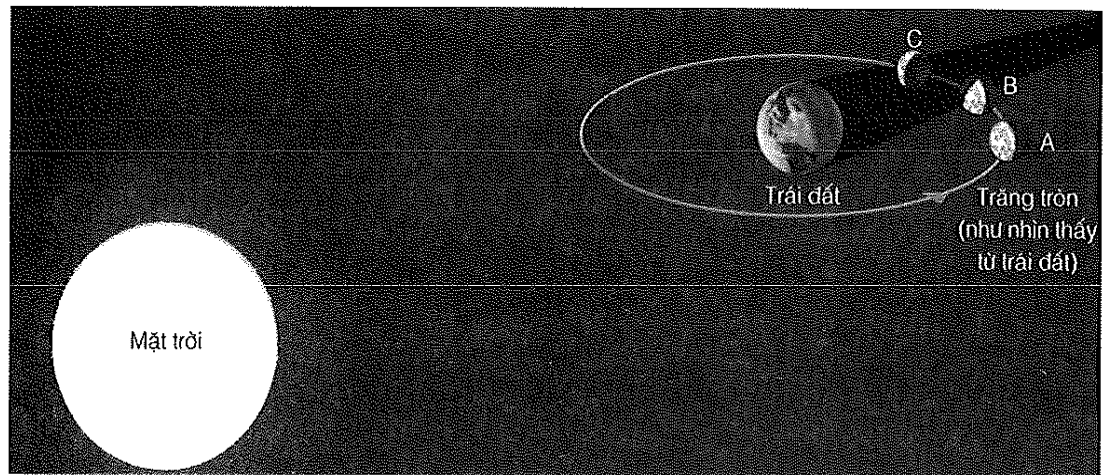


Làm sao để nhìn nhật thực một cách an toàn trong các pha từng phần khi sử dụng một máy chiếu lỗ kim.

"Ngắm nhìn trực tiếp vào Mặt Trời khi nó bị che khuất hoàn toàn khá an toàn, dù qua ống nhòm hay viễn vọng kính".

Mặt Trăng không giảm đi nhiều lắm trong vùng nửa tối, vì vậy những hiện tượng nguyệt thực này thường khó nhận ra.

Nguyệt thực có thể xảy ra chỉ khi Mặt Trời, Trái Đất, và Mặt Trăng nằm thẳng hàng, có nghĩa là Mặt Trăng sẽ ở vào



Sơ đồ hình học của nguyệt thực: Mặt Trăng tròn như nhìn thấy từ Trái Đất tại điểm A; ở vị trí B, Mặt Trăng đã bắt đầu di chuyển vào cái bóng của Trái Đất; tại vị trí C, sự che khuất đã qua và Mặt Trăng đang di chuyển ra khỏi cái bóng của Trái Đất. (Chú ý rằng sơ đồ này cũng không theo tỉ lệ và rằng khoảng cách mà Mặt Trăng di chuyển trên quỹ đạo của nó trong khi bị che khuất đã được phóng đại ở đây).

giai đoạn tròn đầy trước khi bị che khuất, khiến cho sự tối tăm càng ấn tượng hơn. Khoảng 20 phút hay như thế trước khi Mặt Trăng chạm vào cái bóng đen, nó hơi mờ dần vì Trái Đất che bớt một phần ánh sáng mặt trời. Khi Mặt Trăng bắt đầu chìm sâu vào cái bóng, hình dạng cong của bóng Trái Đất bên trên nó chẳng bao lâu trở nên rõ rệt hơn.

Ngay cả khi bị che khuất toàn bộ, Mặt Trăng vẫn nhìn thấy mờ mờ, thông thường hiện ra màu đỏ đồng đục. Sự chiếu sáng trên Mặt Trăng bị che khuất là ánh sáng mặt trời đã bị bẻ cong vào cái bóng của Trái Đất bằng cách đi xuyên qua bầu khí quyển của Trái Đất.

Sau khi toàn thực, Mặt Trăng di chuyển ra khỏi cái bóng và chuỗi hiện tượng diễn ra ngược lại. Khoảng thời gian toàn thực phụ thuộc vào đường đi của Mặt Trăng đến gần trục của cái bóng đến mức nào. Đối với sự che khuất khi Mặt Trăng đi qua tâm của cái bóng của Trái Đất, mỗi pha từng phần mất tối thiểu một giờ, và pha toàn thực có thể kéo dài tới 1 giờ 40

phút. Nguyệt thực toàn phần xảy ra trung bình khoảng hai hay ba năm một lần.

TÓM LƯỢC

3.1 Hệ thống về vĩ độ và kinh độ của Trái Đất vận dụng những vòng tròn lớn (great circles) gọi là các kinh tuyến (meridians). Một hệ thống tọa độ bầu trời tương tự được gọi là tọa độ bầu trời (hay độ xích kinh) (RA: right ascension) và độ từ thiên (hay độ lệch) (declination), với điểm xuân phân được sử dụng như một điểm quy chiếu hay điểm mốc (reference point) (giống như kinh tuyến đầu tiên tại Greenwich trên Trái Đất). Những hệ thống tọa độ này giúp chúng ta định vị bất kỳ thiên thể nào trên thiên cầu. Quả lắc Foucault là một cách thức để chứng minh rằng Trái Đất, chứ không phải là mặt trời, đang quay.

3.2 Chu kỳ quen thuộc của các mùa là kết quả từ sự nghiêng 23° của trục xoay của Trái Đất. Vào ngày hạ chí

(sum-mer solstice), Mặt Trời nằm cao hơn trong bầu trời và tia sáng của nó chiếu thẳng vào Trái Đất hơn. Mặt Trời ở trong bầu trời hơn nửa ngày và có thể đốt nóng Trái Đất lâu hơn. Vào ngày đông chí (winter solstice), Mặt Trời nằm thấp trong bầu trời và lên cao ít hơn 12 giờ đồng hồ. Vào lúc xuân phân và thu phân (vernal and autumnal equinoxes), Mặt Trời nằm trên thiên xích hay xích đạo trời, và chúng ta có được 12 giờ ban ngày và 12 giờ ban đêm. Tại các vĩ độ khác nhau thì các mùa khác nhau.

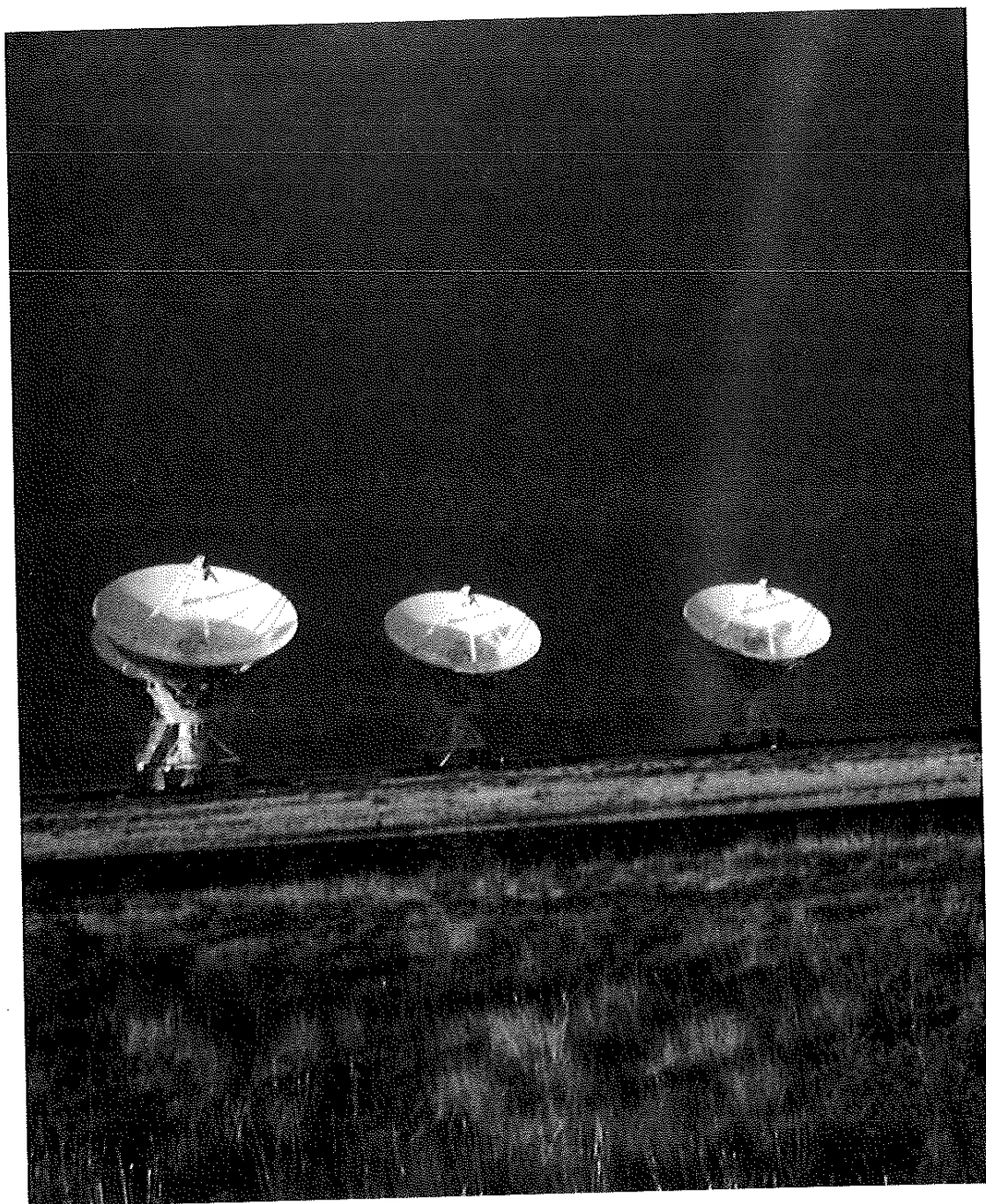
3.3 Đơn vị cơ bản về thời gian thiên văn là ngày [hoặc ngày mặt trời (solar day) hay ngày thiên văn (sidereal day)]. Giờ Mặt Trời biểu kiến (apparent solar time) căn cứ vào vị trí của Mặt Trời trong bầu trời, và giờ mặt trời trung bình (mean solar time) căn cứ vào giá trị trung bình của ngày mặt trời trong năm. Theo hiệp định quốc tế, chúng ta phân định 24 múi giờ hay đới giờ (time zones) trên toàn thế giới, mỗi múi giờ với giờ tiêu chuẩn của nó. Quy ước về đường đổi ngày quốc tế (international date line) là cần thiết để điều chỉnh thời gian ở những khu vực khác nhau trên Trái Đất.

3.4 Vấn đề nền tảng của lịch là điều chỉnh độ dài không thể so sánh được của ngày, tháng, và năm. Các loại lịch hiện đại nhất, bắt đầu với Lịch La Mã (Julian) của thế kỷ thứ I trước Công nguyên, bỏ qua vấn đề về tháng và tập trung vào việc đạt được con số chính xác về ngày trong một năm bằng cách sử dụng những qui ước chẳng hạn như năm nhuận. Ngày nay, hầu hết cả thế giới đã chấp nhận lịch Gregorian được tạo lập vào năm 1582.

3.5 Chu kỳ hàng tháng của các pha (phases) hay tuần trăng là kết quả từ sự thay đổi góc chiếu sáng bởi Mặt Trời. Trăng tròn chỉ có thể được nhìn thấy trên bầu trời vào ban đêm, các pha khác có thể được nhìn thấy vào ban ngày. Bởi vì chu kỳ quay của nó giống với chu kỳ tự xoay của nó, Mặt Trăng lúc nào cũng giữ cùng một mặt về phía Trái Đất.

3.6 Các đợt thủy triều đại dương hai lần một ngày trước tiên là kết quả của lực hấp dẫn chênh lệch của Mặt Trăng trên vật chất của vỏ Trái Đất và đại dương. Các lực thủy triều này làm cho nước biển chảy vào hai chỗ phồng do thủy triều ở hai phía đối nghịch của Trái Đất; mỗi ngày Trái Đất xoay qua các chỗ phồng này. Thủy triều đại dương thực tế thì rất phức tạp do các tác động phụ của Mặt Trời, và bởi hình dạng của các bờ biển và đáy biển.

3.7 Mặt Trời và Mặt Trăng hầu như có cùng kích thước góc hay độ lớn góc (khoảng $0,5^\circ$). Nhật thực (solar eclipse) xảy ra khi Mặt Trăng di chuyển vào giữa Mặt Trời và Trái Đất, in bóng của nó lên một phần bề mặt của Trái Đất. Nếu là nhật thực toàn phần, thì quan sát viên đang đứng trong vùng bóng (umbra) của Mặt Trăng, ánh sáng từ đĩa sáng của Mặt Trời hoàn toàn bị che khuất, và bầu khí quyển của mặt trời (nhật hoa hay corona) đi vào tầm nhìn. Nhật thực hiếm khi xảy ra ở bất kỳ một vị trí nào, nhưng chúng thuộc trong số những cảnh tượng ngoạn mục nhất. Nguyệt thực (lunar eclipse) xảy ra khi Mặt Trăng di chuyển vào cái bóng của Trái Đất; nó được nhìn thấy (khi thời tiết cho phép) từ toàn bộ bán cầu vào ban đêm của Trái Đất.



Dây kính viễn vọng cực rộng ở New Mexico được thấy với một cầu vồng. Giống như khi những giọt nước trong bầu khí quyển có thể tán sắc ánh sáng mặt trời thành một cầu vồng đầy màu sắc, cũng vậy các thiết bị gọi là quang phổ kế cho phép các nhà thiên văn học tách ánh sáng của các hành tinh, sao, hay thiên hà thành các thành phần màu. Các chi tiết của các màu này có thể giúp chúng ta giải đoán được những điều kiện nào giống như ở những vật thể từ đó chúng xuất phát.

CHƯƠNG 4

BỨC XẠ VÀ QUANG PHỔ

“Trong một trăm năm vừa qua, năng lực giải thích những tín hiệu do ánh sáng mang tới đã gia tăng đáng kể. Chúng ta đang liên lạc với các vì sao”.

Sir William Bragg in *The Universe of Light*
(1933, G. Bell and Sons).

Ngôi sao gần nhất nằm cách xa đến nỗi chiếc phi thuyền nhanh nhất mà con người đã chế tạo sẽ mất gần 100.000 năm để đi tới đó. Tuy nhiên chúng ta hết sức muốn biết ngôi sao lân cận này của chúng ta được cấu tạo bằng những loại vật chất gì và nó khác biệt với Mặt Trời của chúng ta như thế nào. Làm sao chúng ta có thể am hiểu về thành phần hoá học của các vì sao mà chúng ta không thể hy vọng được thăm viếng hay lấy mẫu để thử?

Trong thiên văn học, hầu hết các vật thể mà chúng ta nghiên cứu hoàn toàn nằm ngoài tầm với của chúng ta. Nhiệt độ của Mặt Trời cao đến nỗi một phi thuyền sẽ bị khô cháy rất lâu trước khi chạm tới bề mặt mặt trời, và các vì sao nằm cách xa đến nỗi không thể đến thăm trong cuộc đời chúng ta với kỹ thuật hiện nay. Ngay cả ánh sáng, di chuyển với tốc độ 300.000 km/giây, cũng phải mất hơn bốn năm mới tới được chúng ta từ vì sao gần nhất. Nếu chúng ta muốn biết rõ về

Mặt Trời và các vì sao, hay thậm chí cả về hầu hết các thành viên trong Hệ Mặt Trời, chúng ta phải dựa vào các kỹ thuật cho phép chúng ta phân tích được chúng từ một khoảng cách xa xôi.

Được mã hoá vào ánh sáng và các loại bức xạ khác chạm tới chúng ta từ các vật thể trong vũ trụ, là cả một nguồn thông tin to lớn về việc các vật thể ấy giống với cái gì và chúng hoạt động ra sao. Nếu chúng ta có thể giải đoán “mật mã vũ trụ” này và đọc được các tín hiệu mà nó chứa đựng, chúng ta có thể hiểu được một số lượng khổng lồ các vấn đề về vũ trụ mà không cần phải từng rời khỏi Trái Đất hay môi trường sát bên cạnh nó.

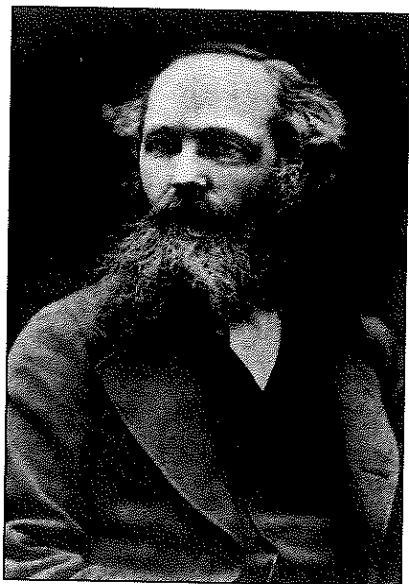
Ánh sáng và các bức xạ khác mà chúng ta tiếp nhận được từ các vì sao và hành tinh được phát sinh bởi các tiến trình ở mức độ nguyên tử – do những sự thay đổi theo cách thức các phần tử của nguyên tử tương tác với nhau và chuyển động. Do đó, để nhận thức đúng ánh sáng được phát sinh như thế nào chúng

ta trước tiên phải nghiên cứu kỹ xem các nguyên tử hoạt động ra sao. Có một chút các cơ rỗng, để hiểu rõ một số cấu trúc lớn nhất của vũ trụ, chúng ta phải làm quen với một số cấu trúc nhỏ nhất.

Chúng ta đã hai lần sử dụng thuật ngữ **ánh sáng và bức xạ khác**. Một trong những ý tưởng mấu chốt được nghiên cứu kỹ trong chương này là ánh sáng được nhìn thấy không phải là duy nhất – nó đơn thuần chỉ là thí dụ quen thuộc nhất của một gia đình bức xạ rộng lớn hơn nhiều có thể chuyển tải thông tin tới chúng ta.

4.1 BẢN CHẤT CỦA ÁNH SÁNG

Như chúng ta đã thấy trong các chương trước đây, thuyết hấp dẫn của Newton dựa vào sự chuyển động của các hành tinh cũng như những vật thể trên Trái Đất. Việc áp dụng lý thuyết này đối với nhiều vấn đề chi phối hoạt động của



James Clerk Maxwell: Maxwell (1831–1879) hợp nhất các quy luật chi phối điện và từ thành một lý thuyết chặt chẽ.

các nhà khoa học trong gần hai thế kỷ. Trong thế kỷ XIX, nhiều nhà vật lý quay sang việc nghiên cứu điện và từ, có liên quan mật thiết với sự tạo ra ánh sáng.

Nhà khoa học đóng vai trò chủ yếu trong lãnh vực này tương tự với vai trò của Newton trong việc nghiên cứu về sự hấp dẫn là nhà vật lý James Clerk Maxwell (1831–1879), sinh ra và được giáo dục ở Scotland. Từ một số thí nghiệm khéo léo chứng tỏ có một mối quan hệ mật thiết giữa điện và từ, Maxwell phát triển một lý thuyết duy nhất diễn tả cả hai với chỉ một số ít các phương trình đơn giản. Chính lý thuyết này cho phép chúng ta hiểu được bản chất và động thái của ánh sáng.

♦ THUYẾT ĐIỆN TỪ CỦA MAXWELL

Chúng ta sẽ xem xét cấu trúc của nguyên tử một cách chi tiết hơn ở Mục 4.4, nhưng chúng ta bắt đầu bằng cách nhận thấy rằng nguyên tử tiêu biểu bao gồm **nhiều loại hạt** (particles), một số hạt này không chỉ có khối lượng, mà còn có một đặc tính phụ gọi là **điện tích** (electric charge). Trong **nhân** (nucleus) (phần trung tâm) của mỗi nguyên tử có **proton**, mang điện tích dương; bên ngoài nhân có **electron** hay **điện tử**, mang điện tích âm.

Thuyết của Maxwell bàn về những điện tích này và các tác động của chúng, đặc biệt khi chúng đang chuyển động. Trong vùng phụ cận của một điện tích, một điện tích khác cảm thấy một lực hút hay một lực đẩy. Các điện tích ngược nhau thì hút; các điện tích giống nhau thì đẩy. Khi các điện tích không ở trong trạng thái chuyển động, chúng ta quan sát đơn thuần lực hút hay lực đẩy điện này. Tuy nhiên, nếu các điện tích trong

trạng thái chuyển động, (khi chúng nằm bên trong mỗi nguyên tử và trong một sợi dây điện mang một dòng điện), lúc đó chúng ta đo lường một đại lượng khác nữa, gọi là **từ tính** (magnetism).

Từ tính đã được biết rõ đối với phần lớn lịch sử thành văn của nhân loại, song nguyên nhân của nó không được thấu hiểu cho tới thế kỷ XIX. Các cuộc thí nghiệm với các điện tích chứng minh rằng từ tính là kết quả của sự chuyển động của các hạt mang điện. Đôi khi sự chuyển động này rõ ràng, như trong những cuộn dây dẫn nặng nề tạo ra một nam châm điện công nghiệp. Những thời điểm khác, thì tinh vi hơn, như trong một loại nam châm bạn mua trong một cửa hàng kim khí, trong đó nhiều điện tử (hay electron) bên trong các nguyên tử đang quay tròn gần như theo cùng một hướng – chính sự định hướng (sự xếp thẳng hàng) của chuyển động của chúng khiến cho vật chất trở thành có từ tính.

Chúng ta sử dụng từ ngữ “trường” (field) trong vật lý học để diễn tả sự tác động của các lực mà một vật thể ảnh hưởng đến các vật thể khác ở cách xa. Thí dụ, chúng ta nói Mặt Trời tạo ra một **trường hấp dẫn** (gravitational field) điều khiển quỹ đạo của Trái Đất, cho dù Mặt Trời và Trái Đất không liên hệ trực tiếp với nhau. Sử dụng thuật ngữ này, chúng ta có thể nói rằng các điện tích đứng yên tạo ra các **điện trường** (electric fields), và các điện tích di chuyển tạo ra các **từ trường** (magnetic fields).

Thực ra, mối quan hệ giữa các hiện tượng điện và từ thậm chí còn sâu xa hơn. Các cuộc thí nghiệm chứng tỏ rằng các từ trường thay đổi có thể sinh ra các dòng điện (và do đó các điện trường thay

đổi), và các dòng điện thay đổi có thể (lần lượt) sinh ra các từ trường thay đổi. Vì thế một khi đã bắt đầu, hình như các sự thay đổi điện trường và từ trường có thể liên tục khởi động lẫn nhau.

Maxwell phân tích những gì sẽ xảy ra nếu các điện tích **đang dao động** (oscillating) (chuyển động tới lui không ngừng) và nhận thấy rằng mô hình của điện từ trường sinh ra sẽ lan truyền ra và di chuyển nhanh chóng qua không gian. Sự nhiễu loạn di chuyển ra bên ngoài và tạo ra một mô hình mà chúng ta gọi là một **làn sóng** (wave) trên mặt nước. Ban đầu bạn sẽ nghĩ rằng chắc phải có rất ít tình huống trong tự nhiên ở đó các điện tích sẽ dao động, nhưng điều này hoàn toàn không phải như thế. Bởi vì chúng bị hâm nóng, tất cả các nguyên tử và phân tử (bao gồm các hạt mang điện) dao động tới lui. Sự nhiễu loạn điện từ phát sinh từ đó nằm trong số những hiện tượng phổ biến nhất trong vũ trụ.

Maxwell có thể tính toán được tốc độ mà một sự nhiễu loạn điện từ di chuyển qua không gian; ông nhận thấy rằng nó bằng với tốc độ của ánh sáng, đã được đo lường bằng thực nghiệm. Trên cơ sở đó, ông suy luận rằng ánh sáng là một dạng của nhiễu loạn điện và từ có thể xảy ra gọi là **sự bức xạ điện từ** (electromagnetic radiation), một kết luận mà một lần nữa được xác định trong các cuộc thử nghiệm. Khi ánh sáng (phản chiếu từ các trang giấy của cuốn sách này, thí dụ) đi vào đôi mắt, các trường điện và từ thay đổi của nó kích thích các đầu dây thần kinh, sau đó truyền các thông tin chứa trong các trường thay đổi này tới não.

Từ ngữ “**sự bức xạ**” (radiation) sẽ được sử dụng thường xuyên, vì vậy điều quan trọng là hiểu rõ nó có ý nghĩa gì. Trong



Hình thành các làn sóng: Dao động trong một hồ nước tạo ra một sự nhiễu loạn lan rộng ra gọi là một làn sóng.

ngôn ngữ hàng ngày, sự bức xạ thường được dùng để diễn tả một số loại hạt hạ nguyên tử mang năng lượng được phóng thích bởi các chất phóng xạ trong môi trường chúng ta. (Một thí dụ là loại bức xạ dùng để chữa bệnh ung thư). Nhưng đây không phải là những gì chúng ta muốn nói về sự bức xạ trong thiên văn học. Sự bức xạ, như được dùng trong sách, là một thuật ngữ tổng quát đối với ánh sáng, các tia X, và các dạng khác của sóng điện từ. Sự bức xạ này cung cấp hầu hết sự nối kết duy nhất của chúng ta với vũ trụ bên ngoài hệ mặt trời.

♦ CÁC ĐẶC TÍNH GIỐNG NHƯ SÓNG CỦA ÁNH SÁNG

Các trường điện và từ thay đổi thành bức xạ tương tự với các làn sóng được hình thành trên một hồ nước yên lặng. Trong cả hai trường hợp, sự nhiễu loạn di chuyển nhanh chóng ra ngoài từ điểm xuất phát và có thể sử dụng năng lượng

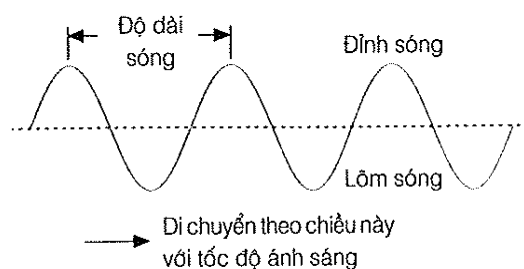
của nó để làm nhiễu loạn các vật thể khác ở xa hơn nữa. (Thí dụ, trong trường hợp của nước, những gợn sóng lan rộng di chuyển xa ra khỏi cú nhảy của con ếch có thể làm náo động sự bình yên của con dế mèn đang ngủ trên chiếc lá trong hồ). Trong trường hợp của các sóng điện từ, sự bức xạ được sinh ra bởi một ăng-ten truyền dây áp những hạt mang điện tại đài phát thanh (radio station) địa phương của bạn có thể, đôi khi chậm hơn, làm nhiễu một nhóm điện tử trong ăng-ten của máy thu thanh (radio) nhà bạn và mang đến cho bạn các tin tức và dự báo thời tiết.

Nhưng các làn sóng phát sinh ra bởi các hạt mang điện khác biệt với các làn sóng nước. Các sóng nước đòi hỏi có nước như một môi trường (medium) để di chuyển. Các sóng âm thanh, để nêu lên một thí dụ khác, là các sự nhiễu loạn về áp suất đòi hỏi không khí để đi qua. Nhưng các sóng điện từ không cần bất

cứ môi trường nào cả: Các trường phát sinh lẫn nhau và do đó có thể di chuyển xuyên qua chân không (chẳng hạn như ngoài không gian). Đây là một ý tưởng mới mẻ đối với các nhà khoa học thế kỷ XIX đến nỗi họ đã phải tạo ra một môi trường để lấp đầy toàn bộ không gian – một ý tưởng không có một chút chứng cứ nào – giống như sóng ánh sáng có thể có cái gì đó để di chuyển qua. Họ gọi nó là **ê-te** (aether). Ngày nay, chúng ta biết rằng không có chất ê-te và rằng các sóng điện từ không gặp trở ngại chút nào khi đi qua không gian trống rỗng (vì tất cả ánh sáng sao thấy được trong một đêm trời trong phải chắc chắn đang di chuyển).

Sự khác biệt nữa đó là tất cả các sóng điện từ di chuyển cùng một tốc độ (tốc độ của ánh sáng, hoá ra là tốc độ nhanh nhất có thể có trong vũ trụ. Bất luận các sóng điện từ được phát sinh ở đâu và bất luận chúng có những đặc tính gì khác nữa, khi chúng đang di chuyển (và không tương tác với vật chất), chúng di chuyển với tốc độ ánh sáng. Tuy nhiên bạn biết từ kinh nghiệm hàng ngày rằng các sóng giống như ánh sáng không phải tất cả đều giống nhau. Thí dụ, chúng ta nhận biết rằng các sóng ánh sáng khác biệt với nhau về một đặc tính mà chúng ta gọi là màu sắc. Chúng ta hãy xem bằng cách nào chúng ta có thể chứng tỏ sự khác biệt trong cả hệ thống rộng lớn các sóng điện từ.

Điều thú vị về sóng, đó là một hiện tượng lặp đi lặp lại. Cho dù đó là chuyển động lên xuống của sóng nước hay các trường biến đổi điện và từ trong sóng ánh sáng, mô hình của sự nhiễu loạn lặp đi lặp lại theo cách thức tuần hoàn. Do đó, bất kỳ chuyển động sóng nào cũng có thể



Phân định đặc điểm các sóng: Bức xạ điện từ có các đặc điểm giống như sóng. Độ dài sóng (λ) là khoảng cách giữa các đỉnh, tần số (f) là số chu kỳ trong một giây, và tốc độ (c) là khoảng cách mà sóng trải qua qua thời gian.

được định rõ đặc điểm bằng cách vẽ ra một loạt các vùng đỉnh và vùng lõm. Sự di chuyển lên đỉnh cao tối đa và xuống vùng lõm thấp tối đa hoàn tất một chu kỳ. Độ dài nằm ngang được trải qua bởi một chu kỳ – thí dụ, khoảng cách giữa một đỉnh và đỉnh kế tiếp – được gọi là **độ dài sóng** (wavelength). Các làn sóng biến cung cấp một sự tương tự: Độ dài sóng là khoảng cách tách rời các đỉnh sóng kế tiếp nhau.

Rất nhiều dạng của sự bức xạ điện từ khác biệt với nhau về độ dài sóng của chúng. Những dạng với các sóng dài nhất, có phạm vi lên tới vài kilômét chiều dài, được gọi là các sóng radio hay sóng vô tuyến. Các dạng năng lượng điện từ của các độ dài sóng lần lượt ngắn hơn được gọi là *tia hồng ngoại* (infrared ray), *ánh sáng* (light ray), *tia cực tím* (ultra-violet ray), *tia X* (X ray), và *tia gamma* (gamma ray). Tất cả các dạng này (được trình bày chi tiết hơn trong Mục 4.2) đều là loại năng lượng cơ bản giống nhau và có thể được xem như là những loại ánh sáng khác nhau.

Đối với ánh sáng nhìn thấy được, đôi mắt chúng ta (và trí não) tiếp nhận các độ dài sóng khác nhau với những màu

khác nhau: Đỏ, thí dụ, là độ dài sóng dài nhất thấy được, và tím là độ dài sóng ngắn nhất. Những màu chính của ánh sáng thấy được từ độ dài sóng dài nhất tới độ dài sóng ngắn nhất là đỏ, cam, vàng, lục, lam, chàm và tím.

Chúng ta cũng có thể định rõ đặc điểm các sóng khác nhau bằng tần số (frequency) của chúng, số chu kỳ sóng đi qua trong một giây. Thí dụ, nếu bạn đếm được 10 đỉnh di chuyển qua mỗi giây, thì tần số là 10 cps (cycle per second: chu kỳ/giây). Để tôn vinh Heinrich Hertz, nhà vật lý – khởi hứng bởi khám phá của Maxwell – đã tìm thấy các sóng vô tuyến, một cps cũng được gọi là một Hertz (Hz). Hãy nhìn vào mặt số của máy thu thanh của bạn, thí dụ, và bạn sẽ thấy các kênh được phân bố cho mỗi đài phát thanh được định rõ đặc điểm là tần số của nó, thông thường bằng các đơn vị KHz (kiloHertz, hay một ngàn Hertz) hay MHz (megaHertz hay một triệu Hertz).

Độ dài sóng và tần số có liên quan với nhau bởi vì tất cả các sóng điện từ di chuyển với cùng một tốc độ. Để thấy điều này hoạt động ra sao, hãy hình dung một cuộc diễu hành trong đó mọi người bị buộc phải di chuyển chính xác với cùng một tốc độ. Bạn đứng ở một góc đường và theo dõi các làn sóng của những người diễu hành đi qua. Đầu tiên bạn thấy hết hàng này sang hàng khác của những người mẫu thời trang rất gầy. Bởi vì các hàng ấy không quá rộng, một số khá nhiều các người mẫu có thể đi qua bạn mỗi phút; chúng ta có thể nói chúng có một tần số cao. Tuy nhiên, tiếp theo lại là nhiều hàng voi đi tới. Những con voi thật lớn, và bước đi với cùng một tốc độ như các người mẫu, vì thế rất ít voi

hơn có thể đi qua bạn trong một phút: Chúng phải bằng lòng với một tần số thấp hơn. Về mặt toán học, chúng ta có thể diễn tả mối quan hệ này bằng công thức $c = lf$ mà chữ Hy Lạp “ l ” – lamda hay λ – được dùng để biểu thị độ dài sóng và c là ký hiệu khoa học dành cho tốc độ ánh sáng. Tóm lại, công thức có thể được diễn tả như sau: Đối với bất kỳ chuyển động sóng nào, tốc độ ở đó một sóng di chuyển bằng tần số nhân với độ dài sóng. Các sóng với độ dài sóng dài hơn có các tần số thấp hơn.

♦ ÁNH SÁNG NHƯ LÀ MỘT PHOTON (HAY LƯỢNG TỬ ÁNH SÁNG)

Mô hình sóng điện từ của ánh sáng (như được James Clerk Maxwell lập công thức) là một trong những kỳ công của khoa học thế kỷ XIX. Khi Heinrich Hertz thực sự tạo ra các sóng điện từ không nhìn thấy được ở một bên của một căn phòng và theo dõi chúng ở bên kia vào năm 1887, một kỷ nguyên mới đã ra đời dẫn tới thời đại thông tin tối tân. Tuy nhiên, vào khoảng cuối thế kỷ, những thí nghiệm tinh vi hơn đã tiết lộ rằng ánh sáng hoạt động theo một cách thức không thể giải thích đơn giản bởi mô hình sóng. Các nhà vật lý phải chấp nhận rằng đôi khi ánh sáng (và tất cả các bức xạ điện từ khác) “cư xử” giống như một “hạt” – hay ít ra là một gói năng lượng – hơn là một làn sóng. Chúng ta gọi những gói năng lượng điện từ như vậy là photon.

Sự kiện ánh sáng hoạt động giống như một cơn sóng trong một số thí nghiệm và giống như một hạt trong các thí nghiệm khác là một ý tưởng rất bất ngờ; trước hết, nó gây bối rối cho các nhà vật lý. Nhận thức của chúng ta cho rằng

sóng và hạt là hai khái niệm đối nghịch. Sóng là một sự nhiễu loạn lặp đi lặp lại mà bởi tính chất riêng của nó là không ở ngay một chỗ, mà lan truyền. Hạt, là cái gì đó có thể chỉ ở một chỗ vào bất kỳ thời điểm nhất định nào. Mặc dù điều đó nghe lạ lùng, vô số cuộc thí nghiệm hiện nay xác nhận rằng bức xạ điện từ có thể đôi khi hoạt động giống như sóng và những lúc khác lại giống như hạt.

Rồi một lần nữa, có lẽ chúng ta sẽ không phải ngạc nhiên rằng một thứ gì đó luôn di chuyển với “tốc độ giới hạn” của vũ trụ và không cần một môi trường để đi qua sẽ không tuân theo “nhận thức thông thường” nữa. Sự mơ hồ mà tính chất hai mặt sóng – hạt này của ánh sáng gây ra trong vật lý cuối cùng được giải quyết bằng một lý thuyết phức tạp hơn về các sóng và hạt, hiện nay gọi là cơ học lượng tử (quantum mechanics). Đây là một trong những lãnh vực thú vị nhất của khoa học hiện đại, song hầu như nằm bên ngoài phạm vi của cuốn sách này.

Giờ đây, bạn sẽ được chuẩn bị khi thấy các nhà khoa học đôi khi bàn luận về bức xạ điện từ như thể nó bao gồm các sóng và vào lúc khác nói đến nó như là một luồng (hay một dòng) photon. Photon mang một trị số hay mức năng lượng riêng biệt (nói cho cùng nó là một gói năng lượng). Năng lượng ấy tương ứng (hay tỉ lệ) với tần số của cùng bức xạ ấy khi được coi như các sóng. Các sóng tần số cao thì giống như các photon có năng lượng cao; các sóng tần số thấp thì giống như các photon có tần số thấp. Trong số các màu sắc của ánh sáng thường, các photon của ánh sáng tím có năng lượng cao nhất, còn photon của ánh sáng đỏ có năng lượng thấp nhất.

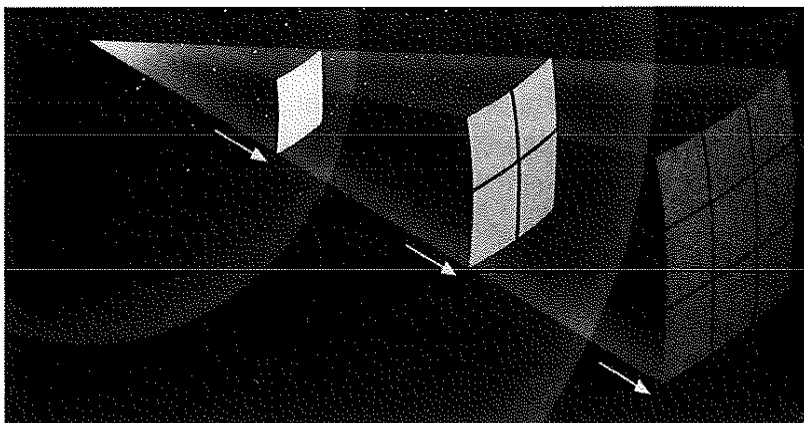
✧ SỰ TRUYỀN ÁNH SÁNG

Chúng ta hãy suy nghĩ một chút về việc ánh sáng từ một bóng đèn di chuyển qua không gian bằng cách nào. Sự mở rộng của sóng ánh sáng là cực kỳ tự do: Chúng di chuyển ra khỏi bóng đèn không chỉ về phía đôi mắt chúng ta, mà còn về tất cả mọi phía. Do đó chúng phải trải qua hay bao trùm một không gian thật rộng lớn. Tuy nhiên, toàn bộ lượng ánh sáng có sẵn không thể thay đổi một khi ánh sáng đã rời khỏi bóng đèn. Điều này có nghĩa là, khi cùng một lớp ánh sáng nở rộng ra bao trùm một diện tích càng lúc càng lớn hơn, thì phải càng lúc càng ít ánh sáng đi ở bất kỳ vị trí nào đó. Ánh sáng (và tất cả các bức xạ điện từ khác) trở nên yếu hơn khi nó càng lúc càng xa nguồn hơn.

Sự gia tăng về diện tích mà cùng một lượng bức xạ phải trải ra tỉ lệ với bình phương khoảng cách mà bức xạ đã đi qua. Nếu chúng ta đứng cách xa gấp đôi từ nguồn, đôi mắt chúng ta sẽ tiếp nhận ánh sáng ít hơn hai lần bình phương hay bốn lần. Nếu chúng ta đứng cách xa nguồn gấp mười lần, chúng ta nhận ánh sáng ít hơn mười lần bình phương, hay 100 lần. Bạn có thể thấy sự yếu đi này mang lại trở ngại cho nguồn ánh sáng với các khoảng cách thiên văn như thế nào! Một ngôi sao tiêu biểu truyền cùng toàn bộ năng lượng như Mặt Trời truyền, nhưng ngay đến ngôi sao gần nhất cũng cách xa hơn khoảng 270.000 lần, và vì thế nó hiện ra yếu hơn khoảng 73 triệu lần. Không có gì ngạc nhiên là những ngôi sao, ở gần sẽ trông như Mặt Trời không ít thì nhiều, ở xa thì trông chỉ như những chấm sáng.

Ý tưởng này, mà *độ sáng biểu kiến* của một nguồn (nó trông sáng đến mức

Định luật bình phương nghịch đảo đối với ánh sáng: Khi năng lượng ánh sáng bức xạ ra khỏi nguồn của nó, nó lan truyền ra theo một cách thức là năng lượng đi qua một đơn vị diện tích giảm đi như là bình phương khoảng cách so với nguồn.



nào đối với chúng ta) càng yếu hơn với khoảng cách theo cách thức chúng ta đã mô tả, được biết như là *định luật bình phương nghịch đảo* của sự truyền ánh sáng. Về phương diện này, sự truyền ánh sáng tương tự như các tác động của sự hấp dẫn. Hãy nhớ rằng lực hấp dẫn giữa hai khối lượng hút nhau thì cũng tỉ lệ nghịch với bình phương khoảng cách của chúng.

4.2 PHỔ SÓNG ĐIỆN TỪ

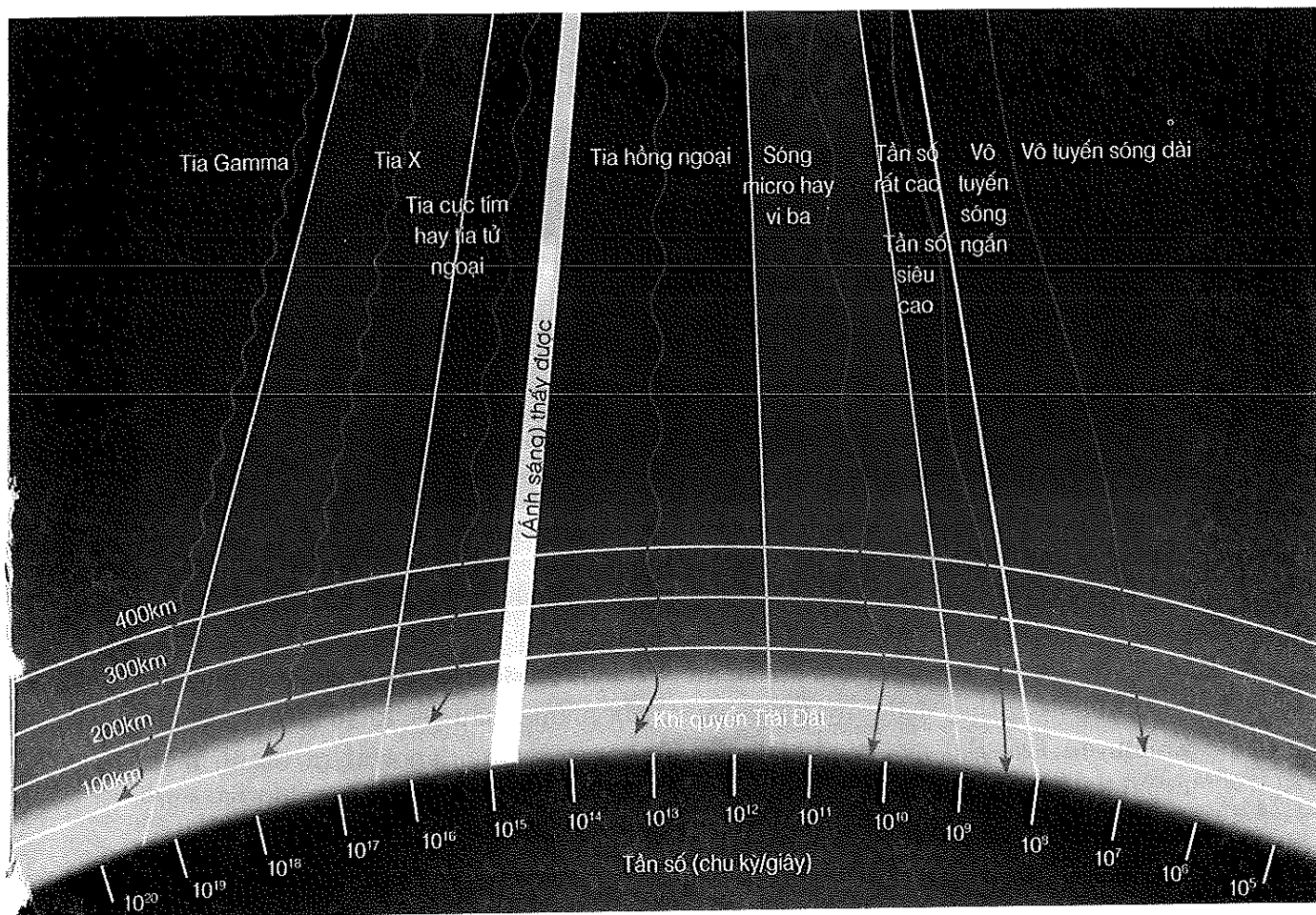
Các vật thể trong vũ trụ truyền tới chúng ta một dãy khổng lồ các sóng điện từ. Để làm cho việc xem xét chúng dễ dàng hơn, các nhà khoa học đã phân chia toàn bộ phổ điện từ (hay dãy) của các sóng như vậy thành một số loại nhất định. Những loại này được trình bày, với một số thông tin về các sóng trong từng phần hay dãy của quang phổ.

✧ CÁC LOẠI BỨC XẠ ĐIỆN TỪ

Bức xạ điện từ với các độ dài sóng ngắn nhất, không dài hơn 0,01 nanômét (nm), được gọi là các tia gamma. (1 nm = 10^{-9} m; xem Phụ Lục 9). Cái tên xuất phát từ chữ cái thứ ba của bảng chữ cái

Hy Lạp; các tia gamma là loại bức xạ thứ ba được khám phá bắt nguồn từ các nguyên tử phóng xạ khi các nhà vật lý đang nghiên cứu động thái của nó. Do bởi các tia gamma mang rất nhiều năng lượng, chúng có thể nguy hại đối với các mô sống. Chúng ta sẽ thấy rằng bức xạ tia gamma được sinh ra từ sâu bên trong các ngôi sao bởi các phản ứng trong các nhân nguyên tử. Chúng cũng được sinh ra bởi một số hiện tượng dữ dội nhất trong vũ trụ, chẳng hạn như những ngôi sao đang chết và sự hợp nhất của các xác sao. Các tia gamma xuất phát từ không gian tương tác với các nguyên tử nằm trên cao trong bầu khí quyển Trái Đất và bị hấp thụ trước khi chúng chạm tới mặt đất; do vậy, chúng chỉ có thể được nghiên cứu bằng cách sử dụng các thiết bị bị trong không gian.

Bức xạ điện từ với các độ dài sóng giữa 0,01nm và 20nm được nói tới như là các tia X (X rays). Hiện nay, những tia này trở nên quen thuộc đối với tất cả chúng ta từ những lần đi đến phòng khám bệnh; có nhiều năng lượng hơn ánh sáng, các tia X có khả năng xuyên qua các mô mềm và do đó giúp tạo ra những hình ảnh về cái bóng của xương bên trong mô.



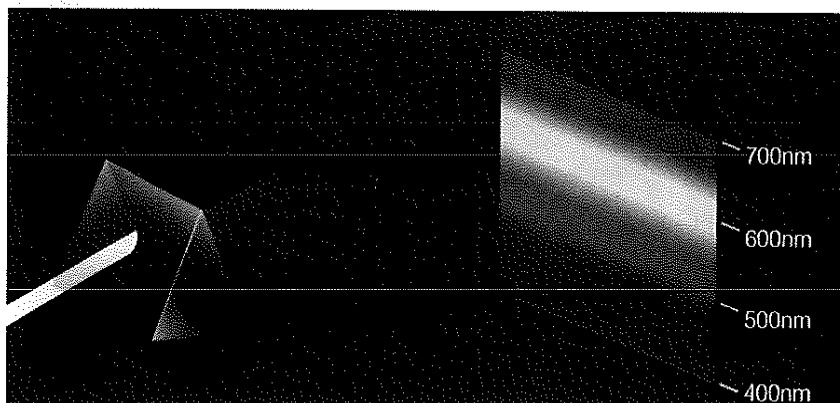
Bức xạ và khí quyển Trái Đất: Các dây phổ sóng điện từ và khí quyển của Trái Đất truyền chúng đi dễ dàng ra sao. Lưu ý rằng các sóng tần số cao từ không gian không đi tới mặt đất được và do đó phải được quan sát từ không gian. Một số tia hồng ngoại và vi ba được hấp thụ bởi nước và vì thế được quan sát tốt nhất từ các độ cao. Các sóng vô tuyến tần số thấp bị ngăn cản bởi tầng điện ly của Trái Đất.

Trong khi các tia X có thể xuyên qua một độ dày không lớn của cơ thể, chúng bị chặn lại bởi một số lớn các nguyên tử trong khí quyển Trái Đất mà chúng tương tác. Vì thế, thiên văn học về tia X (cũng như thiên văn học về tia Gamma) không thể phát triển cho tới khi nhân loại có được những phương cách đưa các thiết bị lên bên trên bầu khí quyển.

Bức xạ trung gian nằm giữa các tia X và ánh sáng thấy được là tia cực tím hay tia tử ngoại (ultra-violet) (có nghĩa là năng lượng cao hơn ánh sáng tím). Bên ngoài thế giới khoa học, ánh sáng cực tím đôi khi được gọi là "ánh sáng đen" (black light) bởi vì đôi mắt chúng ta không thể thấy nó được. Bức xạ cực tím hầu hết bị ngăn chặn bởi một bộ phận của bầu khí

quyển Trái Đất gọi là tầng ozone (*ozone layer*), nhưng một phần nhỏ bé của các tia cực tím từ Mặt Trời vẫn xuyên qua được gây rám nắng da hay, trong các trường hợp cực độ, bệnh ung thư da. Thiên văn học tử ngoại cũng được tiến hành tốt nhất từ không gian.

Bức xạ điện từ với các độ dài sóng nằm giữa khoảng 400 và 700 nm được gọi là ánh sáng thấy được (*visible light*), bởi vì đây là những sóng mà thị giác của con người cảm nhận được. Đây cũng là dãy phổ sóng điện từ mà Mặt Trời phát ra lượng bức xạ lớn nhất. Đây là hai sự quan sát không phải là trùng hợp ngẫu nhiên: Mắt người tiến hoá để thấy những loại sóng mà Mặt Trời tạo ra hiệu quả nhất. Càng có nhiều ánh sáng hơn để nhìn



Tác dụng của lăng kính: Khi cho một chùm tia sáng trắng của Mặt Trời đi qua một lăng kính, chúng ta thấy một dãy cầu vồng có màu của ánh sáng mà chúng ta gọi là một quang phổ liên tục.

thấy, chúng ta có thể tránh được các loài dã thú và để ra con cái càng hiệu quả hơn trước khi chúng ta bị đâm đạp hay bị ăn thịt. Ánh sáng thấy được xuyên qua bầu khí quyển Trái Đất một cách hiệu quả, ngoại trừ khi nó tạm thời bị ngăn chặn bởi các đám mây bay ngang qua.

Năm 1672, trong tài liệu đầu tiên trình lên Hiệp hội Hoàng gia, Newton mô tả một thí nghiệm trong đó ông để cho ánh sáng mặt trời đi qua một lỗ nhỏ và sau đó qua một lăng kính. Newton nhận thấy rằng ánh sáng mặt trời, tạo ra cảm giác là màu trắng, thực sự được hình thành từ một hỗn hợp của tất cả các màu sắc của cầu vồng.

Dù cho tất cả các màu sắc của ánh sáng có thể chạm tới những vật thể trên thế giới chúng ta, nhưng không phải tất cả đều được phản chiếu. Khi ánh sáng trắng từ Mặt Trời hay từ một hỗn hợp ánh sáng chạm vào cái quần jean, thuốc nhuộm trong quần jean hấp thụ tất cả các màu sắc ngoại trừ màu xanh lam. Một số màu xanh lam bị phản chiếu trở lại vào mắt chúng ta, và bộ não diễn giải rằng một tập hợp các độ dài sóng riêng biệt như là màu xanh lam.

Giữa ánh sáng thấy được và các sóng vô tuyến là các độ dài sóng của tia hồng ngoại (infrared) hay bức xạ nhiệt. Nhà

thiên văn học William Herschel đầu tiên khám phá ra tia hồng ngoại vào năm 1800, trong lúc cố gắng đo đặc nhiệt độ của những màu sắc khác nhau của ánh sáng mặt trời lan trải ra thành một quang phổ. Ông chú ý rằng khi bắt ngờ đẩy nhiệt kế của mình ra ngoài màu đỏ nhất, nó vẫn ghi nhận nhiệt do một số năng lượng không nhìn thấy được từ Mặt Trời. Đây là gợi ý đầu tiên của chúng ta về sự tồn tại của những dãy phổ sóng điện từ (không nhìn thấy) khác nữa, dù cho sẽ mất nhiều thập niên dành cho việc am hiểu tường tận.

Một "bóng đèn nhiệt" phát ra hầu hết bức xạ hồng ngoại, và các đầu dây thần kinh trong da chúng ta nhạy cảm với dãy phổ sóng điện từ này. Các sóng hồng ngoại được hấp thụ bởi nước và các phân tử dioxide carbon trong khí quyển Trái Đất, và vì nguyên nhân này, thiên văn học hồng ngoại được thực hiện tốt nhất từ các đỉnh núi cao, các phi cơ bay trên cao, và các phi thuyền.

Tất cả các sóng điện từ dài hơn tia hồng ngoại gọi là các sóng vô tuyến, song đây là một loại cũng rất rộng mà thông thường chúng ta chia nó thành nhiều phần nhỏ. Trong số đó quen thuộc nhất là các vi ba, được sử dụng trong liên lạc thông tin bằng sóng ngắn và các lò vi

ba; các sóng radar, được sử dụng ở các phi trường và cho quân đội; các sóng FM (sóng biến điệu tần số) và sóng truyền hình, chuyển tải các tin tức và chương trình giải trí mà không có chúng giờ đây không thể nào hình dung ra được nền văn minh hiện đại; và các sóng radio AM (sóng biến điệu biên độ), là sóng đầu tiên được phát triển cho việc truyền thanh.

Những loại khác nhau này có độ dài sóng có phạm vi từ vài milimét (mm) tới hàng trăm mét (m). Bức xạ vô tuyến khác nữa có thể có độ dài sóng dài tới vài cây số (km).

Với một phạm vi rộng như thế của các độ dài sóng, không phải tất cả các sóng vô tuyến đều tương tác với khí quyển trái đất theo cùng một cách. Các sóng vi ba bị hấp thụ bởi hơi nước (đó là điều làm cho chúng có hiệu quả trong việc đun nóng thực phẩm với hàm lượng nước cao trong lò vi ba). Các sóng FM và TV không bị hấp thụ và có thể di chuyển dễ dàng qua bầu khí quyển. Các sóng vô tuyến AM bị hấp thụ hay phản xạ bởi một lớp trong

bầu khí quyển trái đất gọi là tầng điện ly (ionosphere). Căn cứ vào một số điều thật sự ngớ ngẩn mà con người đang nói về sóng vô tuyến AM ngày nay, có thể đúng là loại bức xạ này không thể đi vào hay đi ra khỏi tầng khí quyển bảo vệ của hành tinh chúng ta.

Mặc dù ánh sáng thấy được là những gì hầu hết mọi người liên kết với thiên văn học, ánh sáng mà đôi mắt chúng ta có thể nhìn thấy chỉ là một phần nhỏ bé của một dải rộng lớn các loại sóng mà vũ trụ truyền tới chúng ta. Ngày nay chúng ta hiểu rằng việc nhận xét một số hiện tượng thiên văn bằng cách chỉ sử dụng ánh sáng thấy được thì giống như đang núp dưới bàn tại một đại tiệc vào chiều tối và đánh giá tất cả các khách mời mà chỉ dựa vào đôi giày của họ.

Bảng bên dưới tổng kết những dải phổ sóng điện từ và biểu thị các nhiệt độ và các loại thiên thể tiêu biểu truyền đi mỗi loại bức xạ điện từ. Nhiều vật thể được đề cập trong bảng này sẽ không quen thuộc với bạn, song bạn có thể quay

CÁC LOẠI BỨC XẠ ĐIỆN TỪ			
LOẠI BỨC XẠ	DÃY ĐỘ DÀI SÓNG (NM)	BỨC XẠ DO CÁC VẬT THỂ Ở NHIỆT ĐỘ NÀY	CÁC NGUỒN TIÊU BIỂU
Tia gamma	Ít hơn 0,01	Nhiều hơn 10^8 K	Tạo ra trong phản ứng hạt nhân. Đòi hỏi các quá trình năng lượng rất cao.
Tia X	0,01 – 20	10^6 – 10^8 K	Chất khí trong các chùm thiên hà; xác các siêu tân tinh; nhật hoa.
Tia tử ngoại	20 – 400	10^4 – 10^6 K	Xác các siêu tân tinh; các sao rất nóng.
Ánh sáng thường	400 – 700	10^3 – 10^4 K	Các loại sao.
Tia hồng ngoại	10^3 – 10^6	10 – 10^3 K	Các đám mây bụi và khí lạnh; các hành tinh; các vệ tinh.
Sóng vô tuyến	Nhiều hơn 10^6	Ít hơn 10 K	Không có thiên thể nào lạnh như vậy; sự phát xạ vô tuyến được tạo ra bởi các electron di chuyển trong các từ trường (bức xạ synchrotron).

lại bằng này khi bạn am hiểu nhiều hơn về các loại vật thể mà các nhà thiên văn học nghiên cứu.

♦ BỨC XẠ VÀ NHIỆT ĐỘ

Một số thiên thể chủ yếu truyền bức xạ hồng ngoại, những thiên thể khác chủ yếu truyền ánh sáng thấy được, và còn những thiên thể khác nữa chủ yếu truyền bức xạ tử ngoại. Điều gì quyết định loại bức xạ điện từ do Mặt Trời, các sao và các thiên thể khác truyền đi? Câu trả lời là **nhiệt độ** (temperature) của chúng.

Ở mức độ vi mô, mọi vật trong vũ trụ đều chuyển động. Chất rắn (solid) được cấu tạo bởi các phân tử và nguyên tử trong trạng thái dao động liên tục: Chúng di chuyển tới lui tại chỗ, nhưng sự chuyển động của chúng thì quá nhỏ đến mức mắt chúng ta không nhận ra. Chất khí (gas) bao gồm các phân tử bay lượn tự do với tốc độ cao, liên tục va chạm vào nhau và bắn phá các chất xung quanh. Năng lượng của các sự chuyển động bất kỳ của phân tử và nguyên tử này được gọi là **nhiệt** (heat). Chất rắn và chất khí càng nóng, thì sự chuyển động của các phân tử hay nguyên tử càng nhanh; cho nên nhiệt độ của một vật nào đó chỉ là trị số năng lượng trung bình của các hạt tạo ra nó.

Sự chuyển động này ở mức độ vi mô có liên quan tới nhiều loại bức xạ điện từ trên Trái Đất và trong vũ trụ. Khi các nguyên tử và phân tử di chuyển và va chạm, hay dao động tại chỗ, các hạt tích điện của chúng phát sinh ra bức xạ điện từ (như chúng ta đã thấy trong Mục 4.1). Các đặc tính của bức xạ này được xác định bởi nhiệt độ của các nguyên tử và phân tử gây ra chúng. Trong một chất rắn hay chất khí nóng, thí dụ, từng hạt riêng rẽ dao động tại chỗ hay di động

nhANH chóng từ sự va chạm này tới sự va chạm khác, do vậy các sóng được truyền đi, trung bình, có nhiều năng lượng hơn. Trong vật chất rất lạnh, các hạt có các chuyển động của nguyên tử và phân tử năng lượng thấp, và do đó sinh ra các sóng năng lượng thấp hơn.

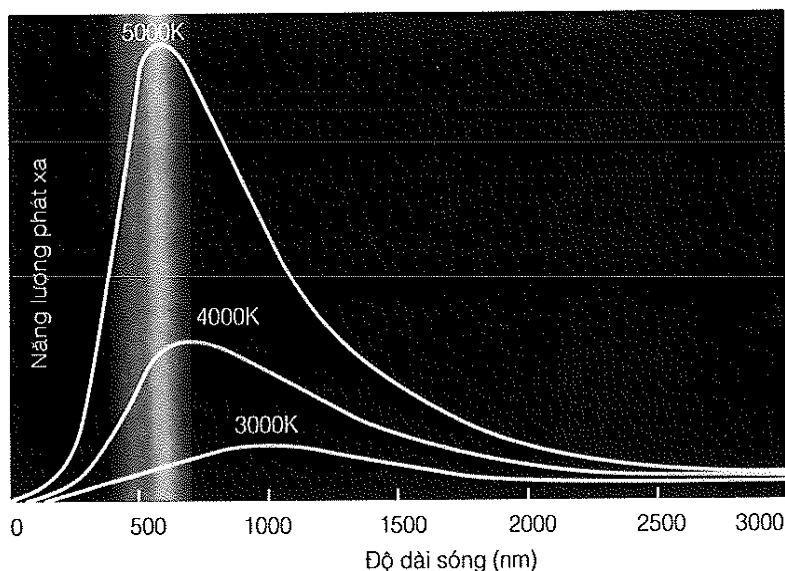
♦ CÁC ĐỊNH LUẬT BỨC XẠ

Để hiểu rõ mối quan hệ giữa nhiệt độ và bức xạ điện từ, cần xem xét một vật thể lý tưởng mà không phản xạ hay phân tán bất kỳ bức xạ nào, nhưng hấp thụ tất cả các năng lượng điện từ rơi vào nó. Một vật thể như vậy được gọi là **vật đen** (blackbody), làm cho các nguyên tử và phân tử bên trong nó bắt đầu dao động hay di chuyển chung quanh với các tốc độ gia tăng.

Do đó, vật đen sẽ bức xạ các sóng điện từ. Bằng cách hấp thụ bức xạ, vật đen nóng lên cho tới khi nó truyền năng lượng với cùng một tốc độ mà năng lượng đang bị hấp thụ. Chúng ta xem xét một vật thể lý tưởng như thế, bởi vì, như bạn sẽ thấy, các vì sao không phải là những trạng thái tương đương kém cỏi so với các vật đen.

Bức xạ từ vật đen có nhiều đặc tính. Hình trang bên trình bày số lượng sóng (hay toàn bộ năng lượng) được tỏa ra với mỗi độ dài sóng bởi các vật đen của các nhiệt độ khác nhau.

Đầu tiên, hãy chú ý rằng các đường cong màu trắng mô tả rằng một vật đen truyền một số năng lượng với tất cả các độ dài sóng nằm trong một phạm vi nhất định. Chúng ta nói rằng nó phát ra một **phổ liên tục** (continuous spectrum) của các sóng. Đó là bởi vì trong bất kỳ chất rắn hay chất khí nào, một số phân tử hay nguyên tử dao động hay chuyển



Các đường cong vật đen: Những đồ thị này tính số pho- ton (hay toàn bộ số năng lượng) phát ra với các độ dài sóng khác nhau đối với các vật đen với ba nhiệt độ khác nhau (ba đường cong màu trắng). Lưu ý rằng với các nhiệt độ nóng hơn, năng lượng được phát xạ với tất cả các độ dài sóng nhiều hơn. Nhiệt độ càng cao hơn, độ dài sóng qua đó mức đỉnh (tối đa) của năng lượng được bức xạ càng ngắn hơn (Điều này được gọi là định luật Wien).

động giữa các sự va chạm chậm hơn mức trung bình, và một số chuyển động nhanh hơn mức trung bình. Vì vậy khi chúng ta nhìn vào các sóng điện từ được truyền đi, chúng ta nhận thấy một dải rộng hay phổ của các năng lượng và các độ dài sóng. Nhiều sóng được truyền đi với tốc độ dao động hay chuyển động trung bình (phần cao của mỗi đường cong), song nếu chúng ta có một số lớn các nguyên tử hay phân tử, một số sóng sẽ được theo dõi với từng độ dài sóng.

Thứ hai, một vật đen với nhiệt độ cao hơn phát truyền năng lượng với tất cả các độ dài sóng nhiều hơn so với một vật đen mát hơn. Trong một chất khí nóng (các đường cong cao hơn trong hình), thí dụ, các nguyên tử có nhiều sự va chạm hơn và phát ra nhiều sóng hơn với mỗi năng lượng hay độ dài sóng có thể có. Trong thế giới thực của các vì sao, điều này có nghĩa là các sao nóng hơn phát ra năng lượng với từng độ dài sóng nhiều hơn so với các sao nguội hơn.

Thứ ba, sơ đồ mô tả cho chúng ta rằng nhiệt độ càng cao hơn, độ dài sóng qua đó năng lượng tối đa được truyền đi càng

ngắn hơn. Như bạn có thể hy vọng, các vật thể nóng phát ra các sóng trung bình của chúng với các độ dài sóng ngắn hơn (năng lượng cao hơn) so với các vật thể nguội hơn. Bạn có thể đã quan sát các thí dụ của quy luật này trong sinh hoạt hàng ngày. Một cái bếp điện ở nhiệt độ thấp sẽ phát ra hồng ngoại nhưng chưa có ánh sáng thấy được. Ở nhiệt độ cao hơn, nó bắt đầu rực sáng một màu đỏ mờ. Với một sự cài đặt cao hơn nữa, nó rực lên một màu đỏ cam sáng hơn (độ dài sóng ngắn). Ở những nhiệt độ thậm chí cao hơn nữa, kim loại có thể hiện ra màu vàng chói và cả màu trắng xanh.

Chúng ta có thể sử dụng những ý tưởng này để nghĩ ra một loại “nhiệt kế” thô sơ để đo nhiệt độ của các sao. Mặt Trời và các sao truyền năng lượng xấp xỉ với năng lượng từ một vật đen, do vậy có thể ước tính nhiệt độ bằng cách xem xét phổ của các sóng mà chúng phát ra. Bởi vì nhiều ngôi sao phát ra hầu hết các sóng của chúng bằng ánh sáng thấy được, màu sắc ánh sáng của ngôi sao là một chỉ báo thô sơ về nhiệt độ của nó. Nếu một ngôi sao trông thấy màu đỏ và

sao khác thì xanh, sao nào có nhiệt độ cao hơn? Bởi vì màu xanh là màu của độ dài sóng ngắn hơn, đó là dấu hiệu của một ngôi sao nóng hơn. (Hãy lưu ý rằng các nhiệt độ mà chúng ta liên kết với các màu sắc khác nhau trong khoa học không phải giống như những màu sắc các họa sĩ sử dụng. Trong hội họa, màu đỏ thường được gọi là màu “nóng” và màu xanh lam là màu “lạnh”, nhưng trong tự nhiên, lại là một cách thức khác).

Chúng ta có thể phát triển một nhiệt kế sao chính xác hơn bằng cách đo đặc bao nhiêu năng lượng mà một ngôi sao phát xạ với mỗi độ dài sóng và bằng cách xây dựng các sơ đồ. Đồ thị của năng lượng được phát xạ bởi một vật đen với mỗi độ dài sóng được gọi là **đường cong vật đen** (blackbody curve). Vị trí của đỉnh (hay tối đa) trong đường cong vật đen của mỗi ngôi sao có thể báo cho chúng ta biết nhiệt độ của nó. Nhiệt độ tại bề mặt của Mặt Trời, là nơi sự bức xạ mà chúng ta thấy được phát truyền là 5800 K. (Trong cuốn sách này sử dụng thang Kelvin hay thang nhiệt độ tuyệt đối. Theo thang này, nước đông đặc ở 273 K và sôi ở 373 K. Tất cả các chuyển động phân tử ngừng lại ở 0 K. Nhiều thang nhiệt độ khác được trình bày trong Phụ Lục 5). Có những ngôi sao nguội hơn Mặt Trời và các ngôi sao nóng hơn Mặt Trời; thậm chí có một số sao nóng đến nỗi hầu hết năng lượng của chúng được phát xạ với các độ dài sóng của tia tử ngoại.

Độ dài sóng qua đó một vật đen truyền đi năng lượng tối đa của nó có thể được tính toán theo phương trình: $\lambda_{max} = 3 \times 10^6 / T$, độ dài sóng tính bằng nanômét (nm) và nhiệt độ tính bằng Kelvin (K). Mối quan hệ này được gọi là **định luật Wien**. Đối với Mặt Trời, độ dài sóng qua

đó năng lượng tối đa được truyền đi là 520 nm, gần như ở chính giữa bộ phận đỏ của phổ sóng điện từ gọi là ánh sáng thấy được. Các nhiệt độ đặc trưng của các thiên thể khác, và các độ dài sóng qua đó chúng truyền hầu hết năng lượng của chúng, được liệt kê trong bảng Các loại bức xạ điện từ.

Chúng ta cũng có thể trình bày sự quan sát rằng những vật thể nóng hơn bức xạ nhiều năng lượng hơn đối với tất cả các độ dài sóng dưới dạng toán học. Nếu chúng ta tổng kết những phần góp thuộc tất cả các bộ phận của phổ sóng điện từ, thì chúng ta có được toàn bộ năng lượng do vật đen truyền đi. Toàn bộ năng lượng ấy, do vật đen phát truyền trong một giây trên một mét vuông ở nhiệt độ T, tỉ lệ với lũy thừa bốn nhiệt độ tuyệt đối của nó. Mối tương quan này được phát biểu bằng **định luật Stefan-Boltzmann**, có thể viết dưới dạng của một phương trình như sau:

$E = \sigma T^4$, trong đó E tượng trưng cho năng lượng và σ (chữ sigma của Hy Lạp) là một hằng số.

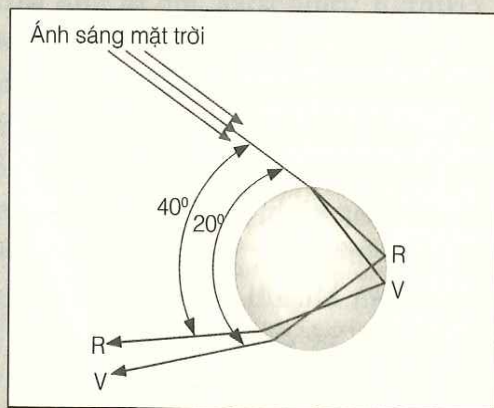
Hãy chú ý kết quả này gây ấn tượng ra sao. Sự gia tăng nhiệt độ của một ngôi sao sẽ có một ảnh hưởng thật to lớn về khả năng tạo ra năng lượng điện từ của nó. Nếu Mặt Trời, thí dụ, nóng gấp hai lần so với nó như hiện nay – nghĩa là, nếu nó đã có một nhiệt độ 11.600K – thì nó sẽ bức xạ 2^4 hay 16 lần năng lượng nhiều hơn so với nó bức xạ hiện nay. Tăng gấp ba lần nhiệt độ sẽ sinh ra hiệu suất năng lượng 81 lần!

4.3 QUANG PHỔ HỌC TRONG THIÊN VĂN HỌC

Bức xạ điện từ chuyển tải một lượng thông tin khổng lồ về bản chất của các

Cầu vồng

Cầu vồng là minh họa tuyệt vời về sự khúc xạ của ánh sáng. Bạn có một cơ hội lý thú để nhìn thấy một cầu vồng bất kể lúc nào bạn đứng giữa Mặt Trời và một cơn mưa rào, và tình huống này được mô tả trong Hình A. Những giọt mưa có thể tác dụng như những lăng kính nhỏ và tách ánh sáng trắng thành một phổ màu. Giả sử một dây ánh sáng gặp phải một giọt mưa và đi xuyên qua nó. Ánh sáng thay đổi hướng đi bị khúc xạ (Hình B) – khi nó đi từ không khí tới nước; ánh sáng xanh dương bị khúc xạ nhiều hơn đỏ. Một số tia sáng sau đó phản xạ ngay phía sau lưng



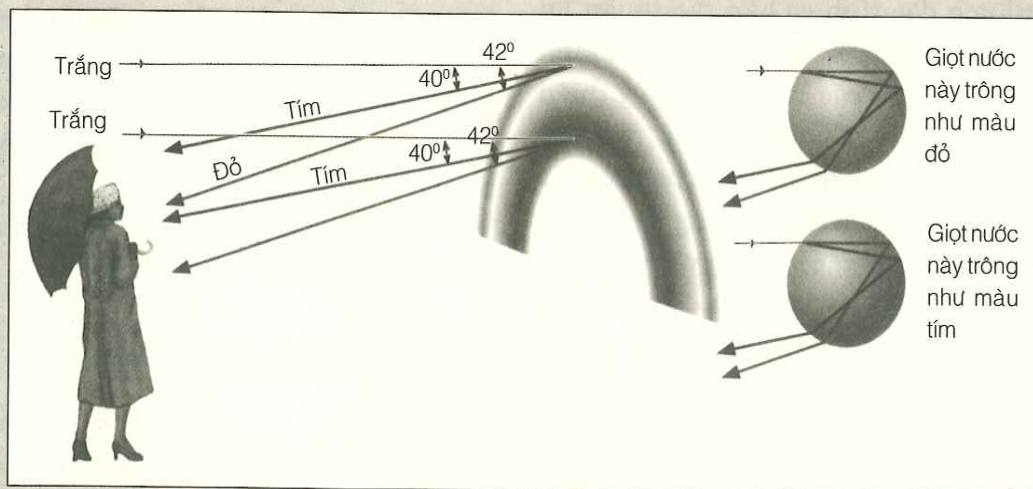
Hình A

Sơ đồ này mô tả ánh sáng từ Mặt Trời, được phân bố phía sau người quan sát, có thể bị khúc xạ bởi các giọt nước ra sao để tạo ra một cầu vồng.

giọt mưa và ló ra trở lại từ phía trước, ở đó nó khúc xạ một lần nữa. Rốt cuộc, ánh sáng trắng trải ra thành một cầu vồng nhiều màu sắc.

Lưu ý rằng trong Hình B, ánh sáng tím nằm bên trên ánh sáng đỏ sau khi ló ra từ giọt mưa. Khi bạn nhìn ngắm cầu vồng, chính ánh sáng đỏ nằm cao hơn trong bầu trời. Tại sao? Hãy nhìn Hình A một lần nữa. Nếu quan sát viên nhìn vào một cầu vồng nằm cao trong bầu trời, ánh sáng tím đi qua bên trên đầu và ánh sáng đỏ đi vào đôi mắt. Tương tự, nếu người quan sát nhìn vào một giọt mưa nằm thấp trong bầu trời, ánh sáng tím tới mắt và giọt mưa hiện ra màu tím, ngược lại ánh sáng đỏ từ cùng giọt mưa ấy chạm mặt đất và không nhìn thấy được. Các màu sắc của các độ dài sóng trung bình bị khúc xạ bởi các giọt nước đi tới mắt có cao độ trung bình nằm giữa các giọt nước hiện ra màu tím và các giọt nước hiện ra màu đỏ. Do vậy, một cầu vồng đơn thuần luôn có màu đỏ ở phía ngoài và màu tím ở phía trong.

Đối với một thí dụ đơn giản hơn về sự khúc xạ, bỏ cây bút chì với một góc nghiêng vào trong ly nước. Bạn thấy gì?



Hình B

Đường đi của ánh sáng xuyên qua một giọt mưa. Sự khúc xạ tách ánh sáng trắng ra thành các màu sắc thành phần.

sao và các thiên thể khác. Tuy nhiên, để xử lý thông tin này, các nhà thiên văn học phải có khả năng nghiên cứu những trị số năng lượng mà chúng ta tiếp nhận với các độ dài sóng khác nhau của ánh sáng thấy được (và các bức xạ khác) bằng chi tiết tỉ mỉ. Chúng ta hãy xem xét kỹ bằng cách nào chúng ta có thể thực hiện điều này và những gì chúng ta có thể am hiểu.

♦ CÁC ĐẶC TÍNH QUANG HỌC CỦA ÁNH SÁNG

Ánh sáng thấy được (bằng mắt thường) và các dạng khác của năng lượng điện từ phô bày một số động thái rất quan trọng đối với cách thiết kế của các kính viễn vọng và các thiết bị khác. Thí dụ, ánh sáng bị phản xạ từ một bề mặt. Nếu bề mặt ấy trơn bóng như một cái gương, chiều của chùm ánh sáng phản xạ có thể tính được một cách chính xác từ sự hiểu biết về hình dạng của bề mặt phản chiếu. Ánh sáng cũng bị bẻ cong, hay khúc xạ, khi đi từ một loại môi trường trong suốt vào môi trường khác, thí dụ từ không khí vào một thấu kính thủy tinh.

Sự phản xạ và khúc xạ của ánh sáng là những đặc tính cơ bản tạo thuận lợi cho tất cả các thiết bị quang học từ kính đeo mắt cho tới các kính viễn vọng thiên văn khổng lồ. Những thiết bị như thế thông thường là những sự kết hợp của các thấu kính thủy tinh, bẻ cong ánh sáng theo các nguyên tắc khúc xạ và các gương cong, dựa vào các đặc tính của sự phản xạ. Các thiết bị quang học nhỏ bé, chẳng hạn như kính đeo mắt hay ống nhòm, thông thường sử dụng các thấu kính, trong khi các kính viễn vọng lớn hầu như hoàn toàn dựa vào những tấm gương dành cho các yếu tố quang học chính của chúng. Trong Chương 5 chúng ta sẽ nói

về một số dụng cụ thiên văn và cách sử dụng chúng. Còn giờ đây, chúng ta quay lại động thái khác của ánh sáng, là cốt lõi đối với việc giải mã của ánh sáng.

Khi ánh sáng đi từ một môi trường trong suốt tới một môi trường khác, một hiệu ứng thú vị xảy ra ngoài sự khúc xạ đơn thuần. Bởi vì sự cong của chùm ánh sáng tùy thuộc vào độ dài sóng của ánh sáng cũng như các đặc tính của môi trường, các độ dài sóng hay các màu sắc khác nhau của ánh sáng bị cong đi bởi số lượng khác nhau và bị tách rời ra. Hiện tượng này được gọi là **sự tán sắc** (dispersion).

Hình ở trang trước mô tả ánh sáng có thể bị tách rời ra thành các màu khác nhau bằng một **lăng kính** (prism) như thế nào – một miếng thủy tinh trong hình dạng của một tam giác. Khi đi vào một mặt của lăng kính, ánh sáng bị khúc xạ một lần, ánh sáng tím nhiều hơn ánh sáng đỏ, và khi rời khỏi mặt đối diện, ánh sáng bị bẻ cong một lần nữa và bị phân tán thêm. Nếu ánh sáng rời khỏi lăng kính được tập trung trên một màn chắn, các độ dài sóng khác nhau hay các màu sắc khác nhau cấu thành ánh sáng trắng xếp hàng kế bên nhau như trong một cầu vồng – được hình thành do sự tán sắc của ánh sáng qua những giọt mưa (xem khung “Cầu Vồng”). Bởi vì đây các màu sắc này là một phổ của ánh sáng, thiết bị dùng để tán sắc ánh sáng và hình thành quang phổ được gọi là **quang phổ kế** hay **phổ kế** (spectrometer).

♦ GIÁ TRỊ CỦA QUANG PHỔ SAO

Nếu quang phổ của ánh sáng trắng từ Mặt Trời và các vì sao đơn thuần là một cầu vồng nhiều màu sắc liên tục, thì các nhà thiên văn học sẽ ít chú tâm vào sự nghiên cứu tỉ mỉ về quang phổ của

một ngôi sao một khi biết rõ nhiệt độ gần đúng của nó, như mô tả trước đây. Khi Newton, đầu tiên trình bày các định luật về khúc xạ và tán sắc trong quang học, quan sát quang phổ mặt trời, tất cả những gì ông thấy là dãy liên tục các màu sắc.

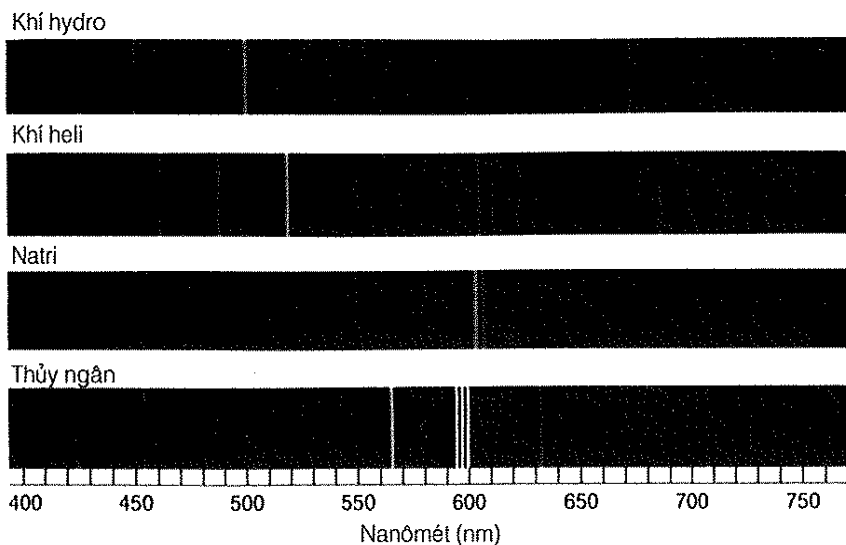
Tuy nhiên, năm 1802, William Wollaston chế tạo một phổ kế cải tiến bao gồm một thấu kính để hội tụ quang phổ mặt trời trên một màn chắn sáng. Với dụng cụ này, Wollaston nói rằng các màu sắc không được trải ra đồng đều, nhưng thay vì một số dãy màu đang bị mất, thì hiện ra như những dãy đen trong phổ mặt trời. Ông đã nhầm lẫn khi cho rằng những vạch này là những ranh giới tự nhiên nằm giữa các màu. Năm 1815 nhà vật lý học Đức Joseph Fraunhofer, nghiên cứu cẩn thận hơn về phổ của mặt trời, tìm thấy khoảng 600 vạch đen như thế, bác bỏ giả thuyết ranh giới (hay đường biên) một cách khá nhanh chóng.

Các nhà vật lý vừa nêu gọi những màu bị thiếu là những vạch đen hay vạch tối (dark lines) bởi vì phổ (liên tục) có màu sắc của cầu vồng như họ quan sát,

bị đứt đoạn với nhiều loại độ dài sóng, và trong phổ kế của họ những đứt đoạn như vậy trông như những vạch đen. Sau đó, các nhà nghiên cứu nhận thấy rằng các vạch đen tương tự có thể được tạo ra trong các quang phổ của các nguồn sáng nhân tạo bằng cách cho ánh sáng của chúng đi qua nhiều chất thật trong suốt (thông thường các bình chứa với một chút khí loãng trong đó).

Các chất khí này hoá ra không phải là trong suốt hoàn toàn với tất cả các màu sắc: Chúng khá đục (hay mờ) đối với một số độ dài sóng được xác định rõ. Cái gì đó trong mỗi chất khí đang hấp thụ chỉ một số màu sắc của ánh sáng và không phải các màu khác. Mọi chất khí đều làm điều này, song mỗi nguyên tố khác nhau hấp thụ một tập hợp màu sắc khác nhau. Nếu chất khí trong một bình chứa bao gồm hai nguyên tố, ánh sáng đi qua nó bị thiếu màu (thể hiện những vạch đen) phù hợp với cả hai nguyên tố. Do đó, hình như một số vạch đen nào đó trong quang phổ "phù hợp" với các nguyên tố nào đó.

Điều gì sẽ xảy ra nếu không có những phổ liên tục đối với các chất khí của



Phổ vạch của các nguyên tố khác nhau: Mỗi loại khí nóng rực sáng (mỗi nguyên tố) tạo ra mô hình các vạch độc nhất, do đó thành phần cấu tạo của một chất khí có thể được xác định qua quang phổ của nó.

chúng ta để rút ánh sáng ra từ đó? Trái lại, điều gì sẽ xảy ra nếu chúng ta đun nóng cùng những chất khí ấy cho đến khi chúng đủ nóng để rục lên với ánh sáng của riêng chúng? (Hãy nhớ rằng các bình chứa khí dùng trong các thí nghiệm này chứa các chất khí ở mật độ khá thấp, do đó các sự va chạm trong số các phân tử hay nguyên tử là hiếm hoi). Khi các chất khí được đun nóng, một phổ kế biểu thị một quang phổ không liên tục, nhưng có nhiều vạch sáng tách biệt. Nghĩa là, các chất khí này chỉ phát xạ ánh sáng với một số độ dài sóng hay màu sắc đặc biệt. Các màu sắc chúng phát xạ khi chúng bị đun nóng cũng chính là các màu chúng đã hấp thụ khi một nguồn sáng liên tục nằm phía sau chúng.

Khi chất khí là hydro nguyên chất, nó sẽ hấp thụ hay phát xạ một mô hình các màu sắc; khi nó là chất natri (sodium), nó sẽ hấp thụ hay phát xạ một mô hình khác. Hỗn hợp khí hydro và natri phát xạ cả hai tập hợp các vạch phổ. Do đó, các nhà khoa học bắt đầu thấy rằng các chất khác nhau thể hiện các phổ ký (spectral signatures) riêng biệt qua đó sự hiện diện của chúng có thể được theo dõi. Giống như chữ ký của bạn cho phép ngân hàng xác nhận cho bạn, mô hình duy nhất của các màu sắc đối với mỗi loại nguyên tử có thể giúp chúng ta xác định các nguyên tố nào nằm trong chất khí.

✧ CÁC LOẠI QUANG PHỔ

Trong các thí nghiệm vừa nêu, do đó, chúng ta có thể phân biệt trong số ba loại quang phổ khác nhau. **Quang phổ liên tục** (continuous spectrum) (hình thành khi một tập hợp đậm đặc của chất khí hay chất rắn tỏa ra bức xạ) là một dãy của tất cả các độ dài sóng hay màu sắc của

cầu vồng. Phổ liên tục có thể sử dụng như một màn chắn sáng từ đó các nguyên tử của chất ít đậm đặc hơn nhiều có thể hấp thụ ánh sáng. Vạch đen, hay **phổ vạch hấp thụ** (absorption line spectrum), bao gồm một dãy hay mô hình của các vạch đen – các màu bị thiếu – chồng lên phổ liên tục của nguồn sáng. Vạch sáng, hay **phổ vạch phát xạ** (emission line spectrum), hiện ra như một mô hình hay dãy các vạch sáng; nó bao gồm ánh sáng trong đó chỉ một số độ dài sóng riêng rẽ nào đó có mặt.

Trong dạng khí, mỗi nguyên tố hay hợp chất hoá học đặc biệt tạo ra mô hình vạch phổ đặc trưng của nó – phổ ký của nó. Không hề có hai mô hình giống nhau. Nói khác đi, mỗi chất khí riêng biệt có thể chỉ hấp thụ hay phát xạ một số độ dài sóng nào đó của ánh sáng phù hợp với chất khí đó. Nhiệt độ và các điều kiện khác xác định các vạch là sáng hay tối, nhưng các độ dài sóng thì giống nhau trong cả hai trường hợp, và chính mô hình chính xác của các độ dài sóng tạo ra ký hiệu của mỗi nguyên tố độc nhất. Các chất lỏng và chất rắn cũng có thể sinh ra những vạch hay dãy quang phổ, nhưng rộng lớn hơn và ít chính xác hơn, và do đó khó giải thích hơn.

Vì thế các vạch tối trong quang phổ mặt trời cung cấp chứng cứ của một số nguyên tố hoá học nào đó nằm giữa chúng ta và Mặt Trời, hấp thụ những độ dài sóng ấy của ánh sáng mặt trời. Do khoảng không gian giữa chúng ta và Mặt Trời khá trống rỗng, các nhà thiên văn học nhanh chóng nhận ra rằng các nguyên tử làm công việc hấp thụ phải ở trong một bầu khí quyển loãng của chất khí lạnh hơn xung quanh Mặt Trời. Bầu khí quyển bên ngoài này không phải

hoàn toàn khác với phần còn lại của Mặt Trời, mà chỉ là loãng hơn và lạnh hơn. Do vậy, chúng ta có thể sử dụng những gì chúng ta biết được về thành phần cấu tạo của nó như là một chỉ báo khá chính xác về việc toàn bộ Mặt Trời được cấu tạo bằng chất liệu gì. Tương tự, chúng ta có thể sử dụng sự tồn tại của sự hấp thụ và phát xạ các vạch để phân tích thành phần cấu tạo của các sao khác và các đám mây khí trong không gian.

Sự phân tích về các quang phổ là chìa khóa đối với vật lý học thiên văn hiện đại. Chỉ bằng phương pháp này chúng ta có thể “lấy mẫu” các vì sao, nằm cách xa đến nỗi chúng ta không có nhiều hy vọng đến thăm viếng. Thậm chí nếu có thể đến thăm chúng, chúng cũng nóng đến nỗi sẽ khó có ai dám tình nguyện đi lấy mẫu. Nhưng không cần phải yêu cầu những tình nguyện viên ấy: Việc giải mã trong bức xạ điện từ từ các thiên thể là những thông tin rõ ràng về thành phần hoá học của các thiên thể này. Chỉ bằng cách hiểu rõ các ngôi sao được cấu tạo bằng những chất liệu gì thì chúng ta có thể bắt đầu hình thành các lý thuyết về những gì làm cho chúng chiếu sáng và chúng tiến hoá ra sao.

Năm 1860, nhà vật lý học Đức Gustav Kirchhoff trở thành người đầu tiên sử dụng quang phổ học (spectroscopy) để xác định một nguyên tố trong Mặt Trời khi ông nhận thấy phổ ký của khí natri. Trong những năm tiếp theo, các nhà thiên văn học tìm ra nhiều nguyên tố hoá học khác trong Mặt Trời và các ngôi sao. Thực vậy, nguyên tố helium được tìm thấy đầu tiên trong Mặt Trời từ quang phổ của nó, và chỉ sau đó mới được xác định trên Trái Đất. (Chữ *Helium* xuất phát từ *helios*, tên dành cho Mặt

Trời theo tiếng Hy Lạp). Chỉ trong thế kỷ XX, với sự phát triển một mô hình dành cho nguyên tử, các nhà khoa học đã hiểu được tại sao những vạch phổ tối và sáng như vậy tồn tại. Vì thế cho nên, tiếp theo, chúng ta quay sang kiểm định kỹ càng hơn về các nguyên tử cấu thành mọi vật chất.

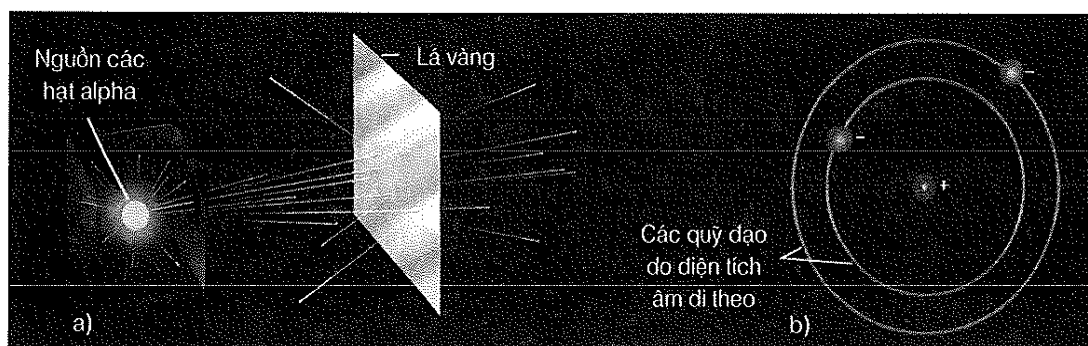
4.4 CẤU TRÚC CỦA NGUYÊN TỬ

Ý tưởng cho rằng vật chất được cấu tạo từ những hạt nhỏ li ti gọi là các nguyên tử ít nhất cũng cách đây 25 thế kỷ. Tuy nhiên, mãi cho tới thế kỷ XX, các nhà khoa học mới phát minh ra những thiết bị cho phép họ thăm dò bên trong một nguyên tử và nhận thấy rằng nó không phải là, như đã được nghĩ, cứng và không nhìn thấy được. Trái lại, nguyên tử là một cấu trúc phức tạp được cấu tạo từ những hạt còn nhỏ hơn nữa.

♦ THĂM DÒ NGUYÊN TỬ

Hạt đầu tiên của những hạt nhỏ hơn này do nhà vật lý học Anh J.J. Thomson khám phá năm 1897. Được đặt tên là electron (âm điện tử), hạt này tích điện âm. (Chính sự lưu chuyển của các hạt này đã tạo ra dòng điện, dù là trong các tia chớp hay trong các dây điện). Bởi vì một nguyên tử trong trạng thái bình thường thì trung hoà về điện, mỗi electron trong một nguyên tử phải được cân bằng bởi cùng trị số của điện tích dương.

Vấn đề kế tiếp là để xác định trong nguyên tử các điện tích dương và âm được phân bố ở đâu. Năm 1911, nhà vật lý học Anh Ernest Rutherford nghĩ ra một thí nghiệm. Ông bắn phá một miếng lá vàng cực mỏng, chỉ dày khoảng 400 nguyên



Thí nghiệm của Rutherford: (a) Khi Rutherford để cho các hạt alpha từ một nguồn phóng xạ đập vào mục tiêu trên lá vàng, ông nhận thấy rằng, dù cho hầu hết chúng đi xuyên qua, một số trong chúng vẫn dội lại theo hướng từ đó chúng tới. (b) Từ thí nghiệm này, ông kết luận rằng nguyên tử phải được cấu tạo giống như một hệ mặt trời thu nhỏ, với điện tích dương tập trung trong nhân và điện tích âm quay vòng quanh nhân trong một thể tích lớn.

tử, với một chùm tia các hạt alpha được phát xạ từ một chất phóng xạ.

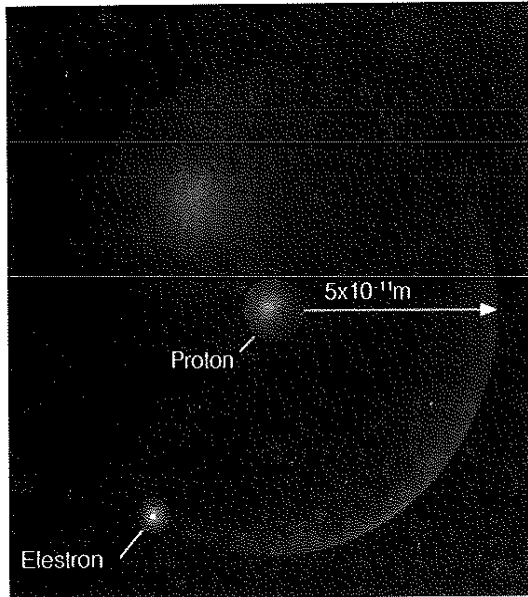
Chúng ta biết rằng các hạt alpha là các nguyên tử helium đã mất đi tất cả các electron và do đó có điện tích dương. Hầu hết các hạt alpha đi xuyên qua tấm lá vàng giống như thể nó và các nguyên tử cấu tạo ra nó gần như là một không gian trống rỗng. Tuy nhiên, khoảng chừng 1/8000 hạt alpha, hoàn toàn đảo ngược hướng và dội trở lại từ lá vàng. Rutherford viết: “Đó là một hiện tượng không thể tin được đã xảy ra với tôi trong cuộc đời. Như thể bạn bắn một quả đạn 15 inch vào một miếng giấy lụa và nó quay trở lại bạn”.

Cách thức duy nhất để tính ra các hạt alpha đảo hướng khi chúng đâm vào lá vàng là thừa nhận rằng gần như toàn bộ khối lượng cũng như toàn bộ các điện tích dương trong mỗi nguyên tử vàng riêng lẻ được tập trung trong nhân (nucleus) nguyên tử bé nhỏ. Khi một hạt alpha đụng vào nhân, nó đảo ngược hướng, rất giống một trái banh billiard đảo ngược hướng khi nó đụng vào một trái banh billiard khác. Mô hình của Rutherford đặt ra một loại điện tích khác – các electron (các âm điện tử) – trong quỹ đạo chung quanh nhân này.

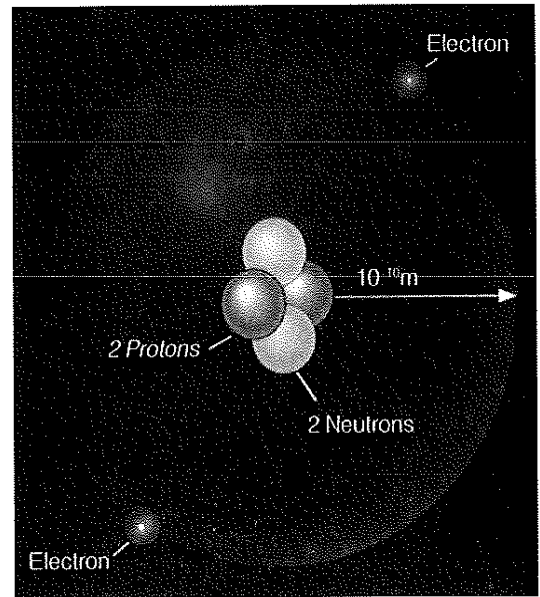
Mô hình của Rutherford đòi hỏi rằng các electron phải đang chuyển động. Các điện tích dương và âm hút lẫn nhau, vì vậy các electron đứng yên sẽ rơi vào nhân. Cũng vậy, do cả các electron và nhân đều cực nhỏ, toàn bộ nguyên tử là trống rỗng, đó là lý do tại sao gần như tất cả các hạt alpha của Rutherford đều có thể đi xuyên qua lá vàng mà không bị va chạm. Mô hình của Rutherford giải thích hết sức thành công thí nghiệm mà ông tiến hành, dù cho cuối cùng các nhà khoa học khám phá ra rằng nhân cũng có cấu trúc như vậy.

✧ NHÂN NGUYÊN TỬ

Nguyên tử đơn giản nhất có thể có (và phổ biến nhất trong Mặt Trời và các sao) là hydro: Nhân nguyên tử của hydro thông thường chứa một hạt duy nhất mang điện tích dương gọi là proton. Di chuyển xung quanh proton này là một electron độc nhất. Khối lượng của một electron ít hơn gần 2000 lần khối lượng của proton, nhưng electron mang một lượng điện tích bằng đúng với lượng điện tích của proton nhưng ngược dấu. Các điện tích ngược nhau thu hút lẫn nhau, do đó chính lực điện từ giữ proton và



Nguyên tử Hydro: Đây là sơ đồ giản lược của một nguyên tử hydro ở trạng thái năng lượng thấp nhất, còn gọi là trạng thái tĩnh. Proton và electron có điện tích bằng nhau nhưng ngược dấu, sinh ra một lực điện từ nối kết các nguyên tử hydro với nhau.



Nguyên tử Helium: Đây là sơ đồ giản lược của nguyên tử helium trong trạng thái năng lượng thấp nhất của nó. Hai proton có mặt trong nhân của tất cả nguyên tử helium. Trong dạng phổ biến nhất của helium, nhân cũng chứa hai neutron, hầu như có cùng khối lượng bằng với proton nhưng không mang điện tích. Hai electron có thể được nhìn thấy quay quanh nhân.

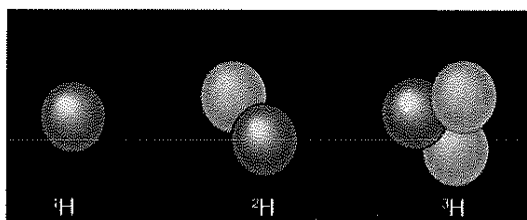
electron lại với nhau, giống như lực hấp dẫn là lực giữ các hành tinh trong quỹ đạo quanh Mặt Trời.

Dĩ nhiên, có những loại nguyên tử khác nữa. Thí dụ, helium là nguyên tử đứng hàng thứ hai có nhiều nhất trong mặt trời. Helium có hai proton trong nhân, thay vì một proton duy nhất là đặc điểm của hydro. Ngoài ra, nhân helium chứa hai neutron, các hạt với khối lượng tương đương với khối lượng của proton nhưng không mang điện tích. Chuyển động quanh nhân này là hai electron, do vậy toàn bộ điện tích thực của helium cũng là zero (bằng không).

Từ sự mô tả này về hydro và helium, có lẽ bạn đã đoán được mô hình để hình thành mọi nguyên tố (các loại nguyên tử khác nhau) mà chúng ta tìm thấy được trong vũ trụ. Loại nguyên tố được xác định bởi số lượng proton trong nhân

nguyên tử. Bất kỳ nguyên tử nào với 6 proton trong nhân là nguyên tố carbon, với 8 proton là oxy, với 26 proton là sắt, và với 92 proton là uranium. Trên Trái Đất, nguyên tử tiêu biểu có số lượng electron bằng với số lượng proton, và các electron này đi theo các mô hình quỹ đạo phức tạp xung quanh nhân. (Tuy nhiên, sâu bên trong các vì sao, nó nóng đến nỗi các electron thoát ra khỏi nhân).

Dù cho số lượng neutron trong nhân thông thường gần như bằng với số lượng proton, số lượng neutron không nhất thiết phải như nhau đối với mọi nguyên tử của một nguyên tố nào đó. Thí dụ, hầu hết các nguyên tử hydro không chứa neutron nào cả. Tuy nhiên, có các nguyên tử hydro chứa một proton và một neutron, và các nguyên tử hydro khác lại chứa một proton và hai neutron. Nhiều loại nhân nguyên tử hydro với số proton



Các chất đồng vị của Hydro: Một proton duy nhất trong nhân xác định nguyên tử là hydro, nhưng cũng có thể là zero, một hay hai neutron. Chất đồng vị phổ biến nhất là chất chỉ có một proton duy nhất. Nhân hydro với một neutron được gọi là deuterium, với hai neutron được gọi là tritium. Ký hiệu của hydro là H; chữ viết lên trên bên trái theo dõi tổng số hạt (proton cộng neutron) trong nhân.

khác nhau được gọi là các chất đồng vị (isotopes) của hydro, và các nguyên tố khác cũng có các chất đồng vị. Bạn có thể nghĩ về các chất đồng vị như những anh chị em ruột, có liên hệ mật thiết nhưng khác nhau về tính tình và cách cư xử.

♦ NGUYÊN TỬ BOHR

Có một vấn đề nghiêm trọng với mô hình về nguyên tử của Rutherford. Thuyết bức xạ điện từ của Maxwell nói rằng khi các electron thay đổi hoặc tốc độ hay hướng chuyển động, chúng phải phát xạ năng lượng. Các electron quay chung quanh liên tục thay đổi hướng chuyển động của chúng, do đó chúng sẽ phát truyền một dòng năng lượng liên tục. Theo thuyết của Maxwell, mọi electron sẽ xoay theo hình xoắn ốc vào nhân của nguyên tử khi chúng mất đi năng lượng, và sự sụp đổ này sẽ xảy ra rất nhanh – khoảng 10^{-16} giây.

Chính nhà vật lý học Đan Mạch Niels Bohr (1885–1962) là người giải đáp sự bí mật của việc bằng cách nào các electron giữ nguyên được trên quỹ đạo. Ông đang thử khai triển một mô hình nguyên tử cũng sẽ giải thích những tính đều đặn

nào đó quan sát được trong quang phổ của hydro (xem Mục 4.5). Ông gợi ý rằng quang phổ của hydro có thể am hiểu được nếu chúng ta giả sử rằng chỉ những quỹ đạo của một số kích thước nào đó là có thể dành cho electron. Bohr giả sử thêm rằng miễn là electron chỉ di chuyển trên một trong các quỹ đạo cho phép, nó không phát xạ năng lượng. Năng lượng của nó sẽ chỉ thay đổi nếu nó di chuyển từ quỹ đạo này sang quỹ đạo khác.

Sự gợi ý này, trong câu nói của sử gia khoa học Abraham Pais, là “một trong các giả thuyết táo bạo nhất từng được giới thiệu trong vật lý học”. Nếu một cái gì đó tương đương đang hoạt động trong thế giới sinh hoạt hàng ngày, bạn sẽ nhận thấy rằng, khi bạn đi bách bộ sau buổi học về thiên văn học, vũ trụ cho phép bạn bước 2 bước trong một phút, 5 bước trong một phút, và 12 bước trong một phút, nhưng không có những tốc độ ở giữa. Bất luận bạn cố gắng di chuyển đôi chân bạn thế nào đi nữa, chỉ một vài tốc độ bước đi nào đó sẽ được cho phép. Điều khiến cho mọi việc càng lạ lùng hơn, đó là người ta sẽ không cần một nỗ lực nào cả để bước đi với một trong những tốc độ cho phép, nhưng sẽ khó khăn để thay đổi từ tốc độ này sang tốc độ khác.

May thay, không có quy luật nào như thế áp dụng ở mức độ về động thái của con người, mà chỉ ở mức độ vi mô của nguyên tử, hết thí nghiệm này tới thí nghiệm khác đã xác nhận giá trị cho ý tưởng kỳ lạ của Bohr. Các đề nghị của Bohr trở thành một trong những nền tảng cơ bản của mô hình mới (và phức tạp hơn nhiều) của thế giới hạ nguyên tử gọi là *cơ học lượng tử* (quantum mechanics).

Trong mô hình của Bohr, nếu electron di chuyển từ quỹ đạo này sang quỹ đạo

khác gần với nhân nguyên tử hơn, nó phải tỏa ra một số năng lượng trong dạng bức xạ điện từ. Mặt khác, nếu electron đi từ một quỹ đạo gần hơn tới quỹ đạo xa hơn so với nhân, nó cần có một số năng lượng bổ sung. Một phương cách để đạt được năng lượng cần thiết là hấp thụ bức xạ điện từ có thể đang đi qua nguyên tử từ một nguồn bên ngoài.

Một đặc tính chủ yếu của mô hình của Bohr là mỗi quỹ đạo trong các quỹ đạo được thừa nhận của electron xung quanh một nguyên tử nhất định có một giá trị năng lượng nhất định. Để di chuyển từ quỹ đạo này sang quỹ đạo kia (sẽ có trị số năng lượng riêng biệt của nó) đòi hỏi sự thay đổi về năng lượng của electron – một sự thay đổi được xác định bởi sự chênh lệch giữa hai trị số năng lượng. Nếu electron đi tới mức thấp hơn, sự chênh lệch năng lượng sẽ được tỏa ra; nếu electron đi tới mức cao hơn, sự chênh lệch năng lượng phải được nhận từ một nơi nào khác. Mỗi cú nhảy (hay sự dịch chuyển) tới một mức khác có một sự thay đổi năng lượng cố định và chính xác liên quan với nó.

Phép loại suy thô thiển dành cho tình huống này sẽ là cuộc sống trong một tháp các căn hộ sang trọng ở đó tiền thuê được xác định theo chất lượng của tầm nhìn. Một tòa nhà như thế có những tầng được đánh số nhất định rõ ràng trên đó các căn hộ được phân bố. Không một ai có thể sống trên tầng 5,37 hay 22,5. Thứ nhì, tiền thuê càng cao hơn khi bạn lên cao. Nếu bạn muốn chuyển đổi một căn hộ ở tầng 20 để lấy một căn hộ ở tầng 2, bạn sẽ không mắc nợ vì tiền thuê nhiều, và bạn sẽ nhận được tiền bồi hoàn từ chủ nhà. Nhưng nếu bạn muốn chuyển từ tầng 3 tới tầng 25, tiền thuê của bạn sẽ gia tăng. Trong nguyên tử cũng vậy,

chỗ “rẻ nhất” cho một electron để sống là mức thấp nhất có thể, và năng lượng là nhu cầu cần thiết để di chuyển tới một mức cao hơn.

Ở đây chúng ta có một trong những tình huống mà ở đó việc suy nghĩ về bức xạ điện từ như là các photon còn dễ dàng hơn là các sóng. Khi các electron di chuyển từ một mức này tới mức khác, chúng tỏa ra hay hấp thụ các gói năng lượng nhỏ bé. Khi một electron di chuyển tới mức cao hơn, nó hấp thụ một photon của năng lượng cần phải có (năng lượng cung cấp có sẵn). Khi nó di chuyển tới một mức thấp hơn, nó phát ra một photon với số năng lượng chính xác mà nó không còn cần trong “điều kiện sinh hoạt với chi phí thấp hơn”.

Các quan niệm về photon và sóng phải là tương đương: Ánh sáng là ánh sáng, cho dù chúng ta nhìn thấy nó như thế nào. Do đó mỗi photon mang một số năng lượng nhất định tỉ lệ với tần số của sóng mà nó thể hiện. Hằng số tỉ lệ, h , gọi là hằng số Plank, được đặt tên theo Max Planck, nhà vật lý học Anh, một trong những người tiên phong của thuyết lượng tử. Nếu các đơn vị mét được sử dụng (nghĩa là, nếu năng lượng được đo bằng Joule (nhiệt lượng) và tần số bằng Cycles (chu kỳ) hay sóng trong một giây), thì hằng số Planck có trị số $h = 6,626 \times 10^{-34}$ joule-s. Các photon có năng lượng cao hơn tương ứng với các sóng có tần số cao hơn (có độ dài sóng ngắn hơn); các photon năng lượng thấp hơn sẽ là các sóng tần số thấp hơn.

Lấy một thí dụ tiêu biểu, hãy xét một nguyên tử calcium bên trong khí quyển của Mặt Trời, trong đó một electron nhảy từ mức thấp hơn sang mức cao hơn. Để thực hiện điều này, nó cần số năng lượng

khoảng 5×10^{-19} joule, mà nó có thể có được dễ dàng bằng cách hấp thụ một photon đi ngang qua của năng lượng ấy xuất phát từ phần sâu hơn bên trong Mặt Trời. Photon này tương đương với một sóng ánh sáng mà tần số khoảng chừng $7,5 \times 10^{14}$ Hz và độ dài sóng của nó là khoảng $3,9 \times 10^{-7}$ m (393 nm), trong phần tím đậm của phổ ánh sáng thấy được. Dù cho ban đầu có thể dường như lạ lùng khi chuyển đổi phương thức từ việc mô tả ánh sáng như là một photon (hay gói năng lượng) tới việc mô tả nó như là sóng, song sự chuyển đổi như thế đã trở thành quen thuộc với các nhà thiên văn học và có thể là một công cụ thuận tiện để thực hiện các phép tính về quang phổ.

4.5 SỰ HÌNH THÀNH CÁC VẠCH PHỔ

✧ QUANG PHỔ HYDRO

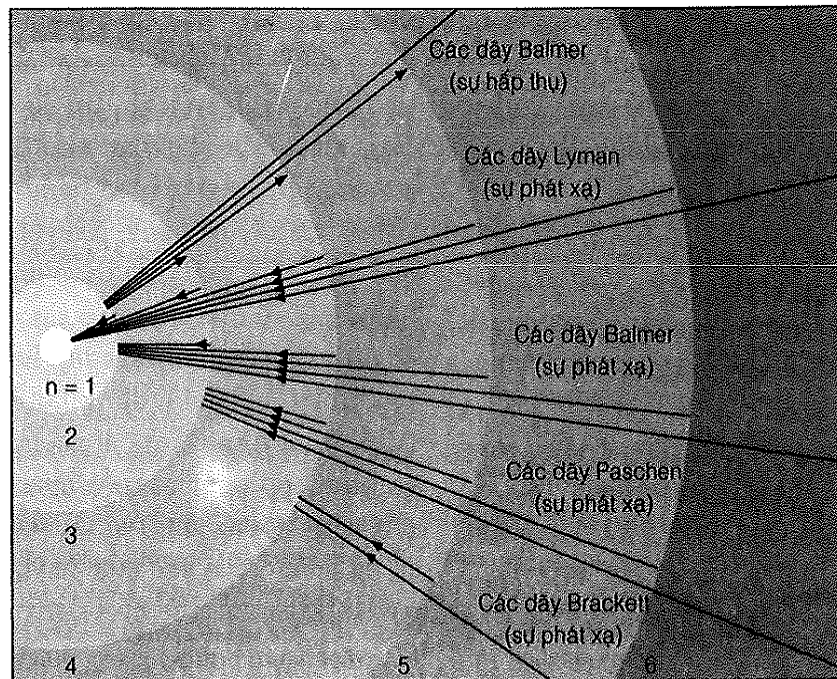
Bây giờ chúng ta có thể sử dụng mô hình nguyên tử của Bohr để tìm hiểu các vạch phổ được hình thành ra sao. Giả sử một chùm ánh sáng trắng (bao gồm các photon của mọi độ dài sóng) chiếu qua một chất khí của nguyên tử hydro. Hóa ra một photon của độ dài sóng 656 nm có đúng năng lượng cần thiết để nâng một electron (âm điện tử) trong nguyên tử hydro từ quỹ đạo thứ hai sang quỹ đạo thứ ba. Do đó, khi tất cả các photon của các năng lượng khác nhau (các sóng của các độ dài sóng hay màu sắc khác nhau) lưu chuyển qua các nguyên tử hydro, các photon với độ dài sóng riêng biệt này có thể được hấp thụ bởi các nguyên tử mà các electron của chúng đang đi vòng quanh trên mức thứ hai. Khi chúng bị hấp thụ, các electron ở mức thứ hai lúc bấy giờ sẽ nằm ở mức thứ ba, và một số photon của độ dài sóng và năng lượng

này sẽ bị thiếu đi đối với toàn bộ dòng ánh sáng trắng.

Các photon khác sẽ có các năng lượng thích hợp để nâng các electron từ quỹ đạo thứ nhì lên quỹ đạo thứ tư, hay từ quỹ đạo thứ nhất tới quỹ đạo thứ năm, và cứ thế. Chỉ những photon với các năng lượng chính xác này mới có thể được hấp thụ. Tất cả các photon khác (các năng lượng và màu sắc khác) sẽ lưu chuyển qua các nguyên tử không chạm tới. Do đó, các nguyên tử hydro chỉ hấp thụ ánh sáng với một số độ dài sóng nào đó và tạo ra các vạch tối với các độ dài sóng ấy trong quang phổ mà chúng ta thấy.

Bây giờ giả sử chúng ta có một bình chứa khí hydro qua đó toàn bộ các dãy photon đi qua cho phép nhiều electron di chuyển lên các mức năng lượng cao hơn. Kế đó, chúng ta tắt nguồn ánh sáng. Các electron này sau đó “rơi” xuống trở lại từ các quỹ đạo lớn hơn tới các quỹ đạo nhỏ hơn và phát ra các photon ánh sáng – nhưng, một lần nữa, chỉ có ánh sáng của các năng lượng hay độ dài sóng này đáp ứng được sự chênh lệch năng lượng giữa các quỹ đạo được chấp nhận. Các sự thay đổi quỹ đạo của các electron hydro sinh ra các vạch phổ được mô tả ở hình trang bên. (Hãy lưu ý rằng trong một nguyên tử hydro thực sự, các quỹ đạo electron không cách khoảng đều nhau như các quỹ đạo được trình bày trong sơ đồ này).

Các hình tương tự có thể được vẽ dành cho các nguyên tử khác hydro. Tuy nhiên, bởi vì mỗi nguyên tử khác thông thường có nhiều hơn một electron, quỹ đạo của các electron này phức tạp hơn nhiều, và các quang phổ cũng phức tạp hơn. Sự khác biệt chủ yếu là: *Mỗi loại nguyên tử có một mô hình duy nhất về quỹ đạo electron của riêng nó, và không*



Mô hình Hydro của Bohr: Ở đây chúng ta theo dõi sự phát xạ hoặc sự hấp thụ các photon bởi một nguyên tử hydro theo mô hình của Bohr. Nhiều dãy vạch phổ khác nhau được trình bày, tương ứng với các sự dịch chuyển của các electron từ hoặc tới các quỹ đạo cho phép nào đó. Mỗi dãy vạch kết thúc trên một quỹ đạo riêng biệt bên trong được đặt tên theo nhà vật lý nghiên cứu nó. Thí dụ, ở trên cùng, bạn thấy các dãy Balmer; các mũi tên mô tả các electron nhảy từ quỹ đạo thứ hai ($n = 2$) tới quỹ đạo thứ ba, thứ tư, thứ năm, và thứ sáu. Mỗi lần một electron "nghèo" từ mức thấp hơn muốn lên vị trí cao hơn trong cuộc sống, nó phải hấp thụ năng lượng để thực hiện điều đó. Nó có thể hấp thụ năng lượng nó cần từ các sóng (hay các photon) của ánh sáng đi ngang qua. Tập hợp mũi tên kế tiếp (các dãy Lyman) trình bày các electron rơi xuống quỹ đạo thứ nhất từ các mức (cao hơn) khác nhau. Mỗi lần một electron đi xuống về phía nhân, nó có thể phát xạ một số năng lượng nó không còn cần nữa.

có hai tập hợp quỹ đạo nào tuyệt đối giống nhau. Điều này có nghĩa là mỗi loại nguyên tử sẽ thể hiện tập hợp các vạch phổ duy nhất của riêng nó, được tạo ra bởi các electron di chuyển giữa tập hợp các quỹ đạo duy nhất của nó.

Nếu chúng ta có thể am hiểu các vạch phù hợp với mỗi nguyên tố bằng cách nghiên cứu cách thức mà nguyên tử hấp thụ và phát truyền ánh sáng trong các phòng thí nghiệm trên Trái Đất, chúng ta có thể xác định các nguyên tố trong các thiên thể. Bằng phương pháp này, ngày nay các nhà thiên văn học biết được thành phần hoá học của không chỉ bất kỳ ngôi sao nào, mà còn ngay cả các thiên hà sao ở xa đến mức ánh sáng của chúng

bắt đầu lên đường đi tới chúng ta đã từ lâu trước khi Trái Đất hình thành.

✧ CÁC MỨC NĂNG LƯỢNG VÀ SỰ KÍCH THÍCH

Mô hình nguyên tử hydro của Bohr là một bước tiến vĩ đại trong sự hiểu biết của chúng ta về nguyên tử. Tuy nhiên, ngày nay chúng ta biết các nguyên tử không thể được trình bày bằng một bức tranh khá đơn giản như vậy. Ngay cả khái niệm về các quỹ đạo electron được xác định rõ ràng cũng không thật sự chính xác. Một trong những kết quả thú vị nhất (và gây hoang mang nhất) của cơ học lượng tử là các hạt hạ nguyên tử (nhỏ hơn nguyên tử) chẳng hạn như các

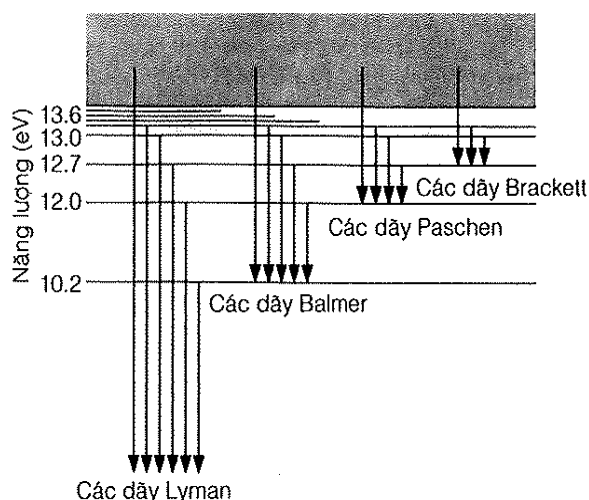
electron đôi khi hoạt động như các sóng (giống như các sóng của bức xạ điện từ đôi khi lại “cư xử” như các hạt). Bởi vì electron có các đặc tính giống như sóng, vị trí của nó khó xác định hơn nhiều so với việc bạn sẽ mong đợi từ mô hình của Bohr. Chúng ta chỉ có thể ước tính xác suất (probability) mà nó sẽ đi theo một quỹ đạo riêng biệt. (Nếu các ý tưởng này đang bắt đầu nghe có vẻ hơi kỳ lạ, chúng tôi cam đoan với bạn rằng chúng cũng nghe lạ lùng đối với các nhà vật lý khi đầu tiên được đề nghị. Hãy nhớ rằng tính chất ấy, đặc biệt với mức độ hạ nguyên tử, không bắt buộc phù hợp với nhận thức thông thường trong thế giới của các hiện tượng có qui mô lớn hơn nhiều).

May mắn thay, các quỹ đạo thích hợp nhất dành cho các electron nằm trong phạm vi tương đối hẹp khi so sánh với kích thước của nguyên tử. Điều này có nghĩa là chúng ta vẫn có thể giữ nguyên khái niệm rằng chỉ một số năng lượng riêng biệt nào đó có thể được chấp nhận đối với một nguyên tử. Những năng lượng này, gọi là các mức năng lượng (energy levels), có thể được coi như đại diện các khoảng cách trung bình nào đó của các quỹ đạo có thể của electron tính từ nhân nguyên tử.

Thông thường, nguyên tử ở trong trạng thái năng lượng thấp nhất có thể, trạng thái cơ bản của nó. Trong mô hình của Bohr, trạng thái cơ bản (ground state) tương ứng với sự có mặt của electron trên quỹ đạo trong cùng. Nguyên tử có thể hấp thụ năng lượng, nâng nó lên một mức năng lượng cao hơn (trong mô hình của Bohr, tương ứng với sự chuyển động của electron tới một quỹ đạo lớn hơn). Sau đó, nguyên tử ấy được coi là ở trong trạng thái kích thích (excited state). Nói

chung, một nguyên tử bị kích thích chỉ trong một thời gian rất ngắn. Sau một thời khoảng ngắn ngủi, thí dụ một phần trăm triệu của giây hay như thế, nó rơi trở xuống trạng thái cơ bản, đồng thời với sự bức xạ ánh sáng. Nguyên tử có thể quay trở lại trạng thái thấp nhất của nó bằng một cú nhảy, hay có thể thực hiện sự dịch chuyển bằng các tập hợp của hai hay nhiều cú nhảy, dừng lại ở các mức trung gian trên đường đi xuống. Với mỗi cú nhảy, nó phát ra một photon của độ dài sóng tương ứng với sự chênh lệch năng lượng giữa các mức lúc bắt đầu và kết thúc của cú nhảy.

Một sơ đồ mức năng lượng đối với nguyên tử hydro và một số sự dịch chuyển có thể của nguyên tử được mô tả trong hình; nó trình bày cùng những dãy của các vạch bức xạ như sơ đồ của mô hình Bohr trong hình trước. Khi chúng ta đo đạc các năng lượng liên quan trong khi nhảy giữa các mức, chúng ta nhận



Sơ đồ mức năng lượng của Hydro: Khi đạt tới các mức năng lượng càng lúc càng cao hơn, chúng sẽ càng lúc càng chen chúc với nhau hơn, đi tới một giới hạn. Vùng đậm thể hiện các năng lượng ở đó nguyên tử bị ion hóa (electron không còn kết dính với nguyên tử nữa). Mỗi dãy mũi tên thể hiện các electron rơi từ các mức cao hơn xuống các mức thấp hơn, phóng thích các photon hay sóng của năng lượng trong tiến trình.

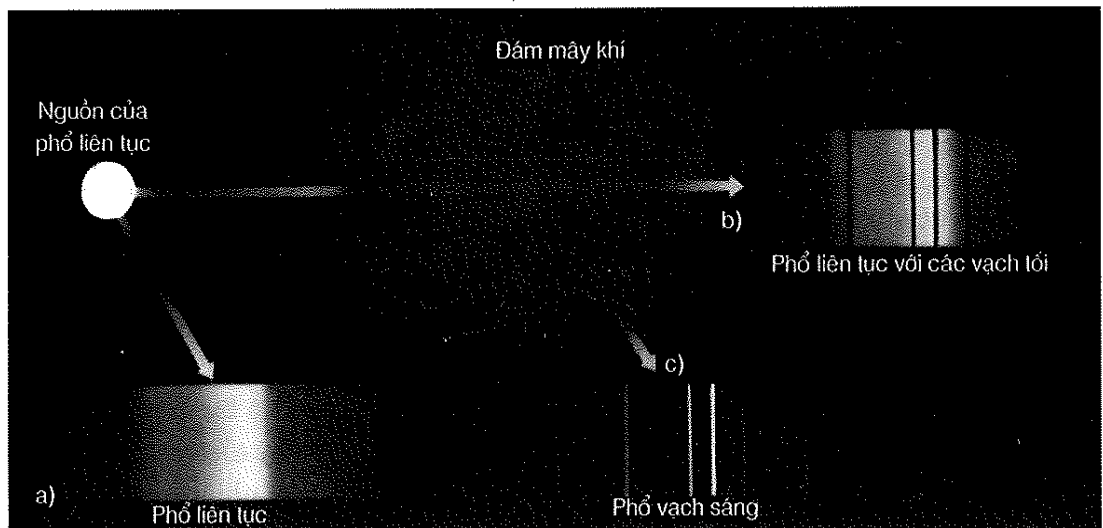
thấy rằng sự dịch chuyển tới hay từ trạng thái cơ bản, gọi là các dãy vạch Lyman, là kết quả trong sự bức xạ hay hấp thụ các photon của tia cực tím.

Nhưng sự dịch chuyển tới hay từ trạng thái kích thích đầu tiên (được đặt tên $n = 2$ trong hình trước), gọi là dãy Balmer, tạo ra sự phát xạ và hấp thụ trong ánh sáng thấy được. Thực tế, chính là để giải thích các dãy Balmer này mà Bohr đầu tiên đề nghị mô hình nguyên tử của ông.

Chúng tôi xin nhắc bạn rằng, các nguyên tử, đã hấp thụ các photon đặc biệt từ một chùm ánh sáng trắng đi qua và do đó đã trở nên bị kích thích, nói chung tự chúng khử kích thích và bức xạ ánh sáng ấy trở lại trong một thời gian rất ngắn. Cho nên bạn có thể sẽ tự hỏi tại sao các vạch phổ tối luôn được tạo ra. Nói khác đi, tại sao ánh sáng tái phát xạ này không nhanh chóng “lấp đầy” vào các vạch hấp thụ tối hơn?

Hãy tưởng tượng một chùm ánh sáng trắng đi về phía bạn qua một chất khí mát hơn. Một số ánh sáng tái phát xạ thực tế quay về chùm ánh sáng bạn nhìn thấy, nhưng ánh sáng này chỉ lấp vào các vạch hấp thụ với một phạm vi không đáng kể. Nguyên do là các nguyên tử trong chất khí phát xạ ánh sáng trở lại ở mọi hướng và chỉ có một phần nhỏ bé của ánh sáng phát xạ lại nằm trong hướng (về phía bạn) của chùm ánh sáng nguồn. Trong một ngôi sao, đa số các ánh sáng tái phát xạ thực tế đi theo các hướng ngược vào trong ngôi sao, nên nó không giúp ích gì cho người quan sát bên ngoài ngôi sao cả.

Hình bên dưới tóm lược các loại quang phổ khác nhau mà chúng ta đã thảo luận. Bóng đèn tròn hay phần bên trong (đậm đặc hơn) của ngôi sao tạo ra một quang phổ liên tục (a). Khi phổ liên tục này được quan sát qua một đám mây khí loãng, một phổ vạch hấp thụ có thể được



Ba loại quang phổ: Khi chúng ta thấy một bóng đèn hay nguồn khác của bức xạ liên tục (a), tất cả các màu sắc đều hiện diện. Khi phổ liên tục được nhìn thấy qua một đám mây khí loãng, các nguyên tử của đám mây tạo ra các vạch hấp thụ trong phổ liên tục (b). Khi đám mây bị kích thích được nhìn thấy mà không có nguồn sáng phía sau nó, các nguyên tử của nó tạo ra các vạch phát xạ (c). Chúng ta có thể hiểu rõ loại nguyên tử nào hiện diện trong đám mây từ mô hình các vạch hấp thụ hay phát xạ.

nhìn thấy chồng lên trên phổ liên tục (b). Nếu chúng ta nhìn chỉ với một đám mây nguyên tử bị kích thích của chất khí (mà không có nguồn sáng phía sau nó), chúng ta thấy rằng các nguyên tử bị kích thích tỏa ra một phổ vạch bức xạ (c). Trong cả hai trường hợp (b) và (c) các nguyên tử của chất khí loãng chỉ hấp thụ hay tỏa ra một số màu sắc, có thể được "biểu lộ" để nó cho chúng ta biết những nguyên tố nào đang hiện diện trong chất khí.

Các nguyên tử trong chất khí nóng đang di chuyển với tốc độ cao và liên tục va chạm với nhau và với bất kỳ một electron rời rạc nào. Chúng có thể bị kích thích và khử kích thích bởi các cú va chạm này, cũng như bởi sự hấp thụ và phát xạ ánh sáng. Tốc độ của các nguyên tử trong một chất khí tùy thuộc vào nhiệt độ. Khi nhiệt độ cao hơn, thì tốc độ và năng lượng của các va chạm cũng lớn hơn. Chất khí càng nóng, do đó, càng chắc chắn rằng các electron sẽ chiếm các quỹ đạo ngoài cùng, tương ứng với các mức năng lượng cao nhất. Điều này có nghĩa là mức ở đó các electron bắt đầu các cú nhảy lên trên của chúng trong chất khí có thể sử dụng như một chỉ báo về việc chất khí ấy nóng đến mức nào. Theo phương pháp này, các vạch hấp thụ trong một quang phổ cũng có thể cung cấp cho các nhà thiên văn những thông tin về nhiệt độ của các vùng, nơi đó các vạch phát sinh.

♦ SỰ ION HÓA

Chúng ta đã mô tả bằng cách nào mà một số năng lượng riêng biệt nào đó có thể bị một nguyên tử hấp thụ, nâng nó tới một trạng thái kích thích và di chuyển một trong số các electron ra xa nhân hơn. Nếu được hấp thụ đủ

năng lượng, electron có thể hoàn toàn bị tách ra khỏi nguyên tử. Sau đó nguyên tử được cho là bị ion hoá (ionized). Số năng lượng tối thiểu (minimum amount of energy) cần thiết để tách một electron ra khỏi nguyên tử trong trạng thái cơ bản của nó được gọi là năng lượng ion hoá (ionization energy), hay *thế ion hoá* (ionization potential).

Số năng lượng lớn hơn nữa cần được hấp thụ bởi nguyên tử hiện tại đang bị ion hoá (gọi là một ion) để tách thêm một electron ở sâu hơn trong cấu trúc của nguyên tử. Các năng lượng lớn hơn kế tiếp cần thiết để tách các electron thứ ba, thứ tư, thứ năm, và cứ thế ra khỏi nguyên tử. Nếu năng lượng đầy đủ đã có sẵn (trong dạng của các photon bước sóng cực ngắn hay từ một sự va chạm với một electron di chuyển cực nhanh hoặc nguyên tử khác), một nguyên tử có thể trở thành ion hoá hoàn toàn, mất đi toàn bộ electron của nó. Nguyên tử hydro, chỉ có một electron để mất, có thể chỉ bị ion hoá một lần; nguyên tử helium có thể bị ion hoá hai lần, và nguyên tử oxy bị tới tám lần. Khi chúng ta nghiên cứu các khu vực của vũ trụ ở đó có vô số sự bức xạ, chẳng hạn như các vùng lân cận nơi mà các sao trẻ vừa mới hình thành, chúng ta thấy rất nhiều sự ion hoá diễn ra.

Một nguyên tử đã bị ion hoá đã mất một điện tích âm – được mang đi bởi một electron – và do đó để lại đúng một điện tích dương. Vì thế nó tạo ra một lực hút mạnh đối với bất kỳ electron tự do nào. Cuối cùng, một hay nhiều electron sẽ bị thu hút và nguyên tử sẽ trở thành trung hoà (hay bị ion hoá ở mức độ thấp hơn) trở lại. Trong quá trình thu hút electron, nguyên tử phát xạ một hay nhiều photon, tùy thuộc vào việc electron bị hút ngay

lập tức tới mức năng lượng thấp nhất của nguyên tử hay dừng lại ở một hay nhiều mức trung gian trên đường đi của nó tới mức thấp nhất có sẵn.

Giống như sự kích thích của một nguyên tử có thể là hậu quả từ một sự va chạm với nguyên tử khác, với ion, hay với electron (các sự va chạm với các electron thông thường là quan trọng nhất), sự ion hoá có thể cũng như vậy. Tốc độ qua đó các sự ion hoá do va chạm như thế xảy ra tùy thuộc vào vận tốc của các nguyên tử và do đó vào nhiệt độ của chất khí.

Tốc độ qua đó các ion và electron tái kết hợp cũng tùy thuộc vào vận tốc tương đối của chúng – nghĩa là, vào nhiệt độ. Hơn nữa, nó còn tùy thuộc vào mật độ của chất khí: mật độ càng cao, cơ hội thu hút trở lại càng lớn, bởi vì các loại hạt khác nhau được tụ tập càng gần nhau hơn. Từ sự hiểu biết về nhiệt độ và mật độ của chất khí, có thể tính được tỉ lệ (fraction) của nguyên tử đã bị ion hoá một lần, hai lần, và tiếp tục. Thí dụ, trong Mặt Trời, chúng ta nhận thấy rằng hầu hết các nguyên tử hydro và helium trong khí quyển của nó bị trung hòa, ngược lại hầu hết các nguyên tử calcium, cũng như nhiều nguyên tử nặng khác, bị ion hoá một lần.

Các mức năng lượng của một nguyên tử ion hoá khác hẳn với các mức năng lượng của cùng nguyên tử ấy khi nó được trung hòa. Mỗi một lần một electron tách ra khỏi nguyên tử, các mức năng lượng của ion, và do đó các bước sóng của các vạch phổ nó có thể tạo ra, thay đổi. Điều này giúp cho các nhà thiên văn học phân biệt được các ion khác nhau của một nguyên tố nhất định. Hydro bị ion hóa, không có electron, có thể không tạo ra các vạch hấp thụ.

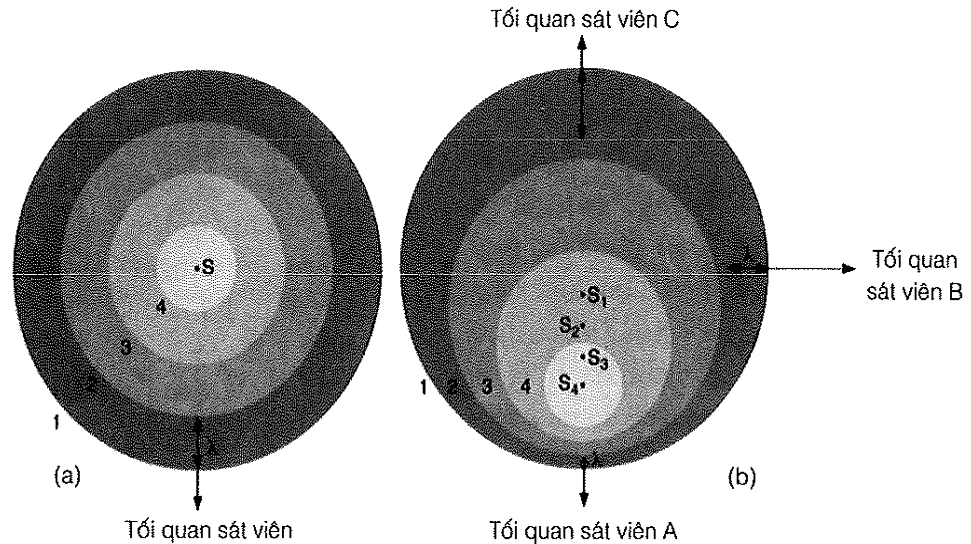
4.6 HIỆU ỨNG DOPPLER

Dù hai mục sau cùng chứa nhiều khái niệm mới mẻ, hy vọng rằng bạn đã thấy một ý tưởng quan trọng nổi bật lên. Các nhà thiên văn học có thể tìm hiểu về các nguyên tố trong các ngôi sao và thiên hà bằng cách giải mã các thông tin trong các vạch phổ. Tuy nhiên, có một yếu tố phức tạp trong việc tìm hiểu bằng cách nào để giải mã các tín hiệu của ánh sáng sao. Nếu một ngôi sao đang di chuyển về phía chúng ta hay cách xa chúng ta, các vạch của nó sẽ nằm ở một vị trí hơi khác hơn trong quang phổ so với nơi mà chúng sẽ thuộc về một ngôi sao đứng yên. Và đa số các vật thể trong vũ trụ có một sự chuyển động nào đó so với Mặt Trời.

♦ SỰ CHUYỂN ĐỘNG ẢNH HƯỞNG ĐẾN CÁC SÓNG

Năm 1842, Christian Doppler chỉ ra rằng nếu một nguồn sáng đang đến gần hay lùi ra xa đối với người quan sát, các sóng ánh sáng sẽ lần lượt tập trung gần nhau hơn hay tản ra. (Điều này thật sự là đúng với tất cả các loại sóng, kể cả âm thanh: Ban đầu Doppler đo hiệu ứng của chuyển động đối với các sóng bằng cách thuê một nhóm nhạc công trình diễn trên một xe lửa không có mui khi nó đang di chuyển dọc theo đường rầy). Nguyên lý tổng quát, có tên là **hiệu ứng Doppler** (Doppler effect), được mô tả trong hình trang bên.

Trong phần (a) của hình, nguồn sáng (S) đứng yên so với người quan sát. Nguồn sáng tỏa ra một dãy sóng, các đỉnh của chúng được mang tên 1, 2, 3 và 4. Các sóng ánh sáng lan truyền ra đều đặn về mọi hướng, giống như những gợn sóng lăn tăn trong hồ nước. Các đỉnh bị



Hiệu Ứng Doppler: (a) Một nguồn sáng S tạo ra các sóng mà các đỉnh của nó được đánh số (1, 2, 3, 4) đập vào một người quan sát đứng yên. (b) Nguồn S giờ đây di chuyển về phía quan sát viên A và cách xa ra quan sát viên C. Đỉnh sóng 1 bị bỏ sót khi nguồn ở vị trí S_1 , đỉnh 2 ở vị trí S_2 , và cứ thế tiếp tục. Quan sát viên A thấy các sóng bị ép lại do sự chuyển động này và thấy sự dịch chuyển về phía xanh lam (nếu các sóng là ánh sáng). Quan sát viên C thấy các sóng trải dài ra do sự chuyển động và thấy sự dịch chuyển về phía đỏ. Quan sát viên B, mà đường ngắm thẳng góc với sự chuyển động của nguồn, không thấy sự thay đổi nào trong các sóng (và cảm thấy bị bỏ rơi).

tách ra bởi một khoảng cách λ , ở đây λ là bước sóng. Người quan sát, tình cờ bị bố trí ở hướng của cuối trang giấy, thấy các sóng ánh sáng đi đến rất đều đặn, cách nhau một bước sóng. Các quan sát viên được bố trí ở bất kỳ nơi nào khác cũng sẽ thấy một điều như vậy.

Mặt khác, nếu nguồn sáng đang di chuyển so với quan sát viên, như trong phần (b), tình huống trở thành phức tạp hơn. Giữa thời điểm một đỉnh sóng được phát xạ và đỉnh kế tiếp sẵn sàng phóng ra, nguồn sáng đã xê dịch một chút – trong trường hợp của chúng ta là về phía cuối trang giấy và về phía người quan sát đầu tiên. Bằng cách di chuyển, nguồn sáng đã giảm bớt khoảng cách giữa các đỉnh sóng – ép các đỉnh sóng lại với nhau một chút, có thể nói như thế.

Trong phần (b), chúng ta trình bày nguồn sáng ở bốn vị trí S_1 , S_2 , S_3 và S_4 ,

mỗi vị trí tương ứng với sự phát xạ của một đỉnh sóng. Đối với quan sát viên đầu tiên, giờ đây là quan sát viên A, các sóng dường như tiếp nối theo gần nhau hơn, với một bước sóng giảm đi và do đó tần số tăng lên. (Nên nhớ, bởi vì tất cả sóng ánh sáng đi với vận tốc của ánh sáng, sự chuyển động không thể ảnh hưởng tới vận tốc. Điều này có nghĩa là khi bước sóng giảm, tần số phải tăng. Nếu các sóng ánh sáng ngắn hơn, thì nhiều sóng sẽ có thể lấp vào trong mỗi giây).

Tình huống không giống như vậy đối với các quan sát viên khác. Hãy nhìn vào tình huống từ hướng nhìn của quan sát viên C, được bố trí đối diện với quan sát viên A trong hình, nguồn sáng đang di chuyển cách xa khỏi vị trí của người đó. Tóm lại, các sóng không dồn ép lại với nhau, nhưng trái lại lan truyền ra bởi sự chuyển động của nguồn. Các đỉnh

sóng đi tới với một bước sóng tăng lên và tần số giảm xuống. Đối với quan sát viên B, trong một hướng thẳng góc với sự chuyển động của nguồn sáng, không quan sát được hiệu ứng nào. Bước sóng và tần số giữ nguyên như chúng ở trong phần (a) của hình.

Chúng ta có thể thấy từ sự mô tả này rằng hiệu ứng Doppler được tạo ra chỉ bởi do sự chuyển động về phía người quan sát hay rời xa khỏi người quan sát, một chuyển động gọi là vận tốc xuyên tâm (radial velocity). Các quan sát viên giữa A và B và giữa B và C sẽ quan sát, lần lượt, sự thu ngắn lại hay sự kéo dài ra nào đó của các sóng ánh sáng đối với phần chuyển động ấy của nguồn đi dọc theo đường ngắm của họ.

Bạn có lẽ đã từng nghe nói về hiệu ứng Doppler với các sóng âm thanh trong sinh hoạt hàng ngày. Khi tiếng còi xe lửa đến gần bạn và rồi rời xa ra, bạn sẽ nhận ra một sự giảm bớt về cao độ (hay tần số) của các sóng âm thanh. Chúng đã thay đổi từ hơi nhanh hơn lúc đứng yên một chút khi đi về phía bạn, chậm hơn lúc đứng yên một chút khi di chuyển ra xa bạn.

♦ CÁC SỰ DỊCH CHUYỂN MÀU

Khi nguồn của các sóng di chuyển về phía bạn, bước sóng giảm bớt một ít. Nếu các sóng có liên quan là ánh sáng thấy được, thì các màu sắc của ánh sáng thay đổi một ít. Khi các bước sóng giảm đi, chúng dịch chuyển một ít về phía giới hạn màu xanh của quang phổ; các nhà thiên văn học gọi điều này là sự dịch chuyển xanh (dịch chuyển về phía xanh lam) (blueshift). (Bởi vì giới hạn của quang phổ thực sự là màu tím, thuật ngữ sẽ có lẽ là sự dịch chuyển tím (violetshift), nhưng màu xanh là màu

phổ biến hơn). Khi nguồn di chuyển ra xa bạn, và các bước sóng dài hơn, chúng ta gọi sự thay đổi về màu sắc là sự dịch chuyển đỏ (sự dịch chuyển về phía đỏ) (redshift). Bởi vì hiệu ứng Doppler đầu tiên được sử dụng với ánh sáng thấy được trong thiên văn học, thuật ngữ sự dịch chuyển xanh (blueshift) và sự dịch chuyển đỏ (redshift) trở thành được xác lập vững chắc. Ngày nay các nhà thiên văn học sử dụng các từ này để mô tả các sự thay đổi trong các bước sóng vô tuyến hay các bước sóng tia X cũng thuận tiện như khi họ sử dụng chúng để mô tả sự thay đổi trong ánh sáng thường.

Sự chuyển động về phía chúng ta hay ra xa chúng ta càng nhiều, thì sự dịch chuyển Doppler càng lớn. Nếu sự chuyển động tương đối hoàn toàn dọc theo đường ngắm, công thức dành cho sự dịch chuyển Doppler của ánh sáng là: $\Delta\lambda/\lambda = v/c$ ở đó λ là bước sóng được phát xạ bởi nguồn sáng, $\Delta\lambda$ là hiệu số giữa λ và bước sóng đo được bởi quan sát viên, c là tốc độ của ánh sáng, và v là vận tốc tương đối của quan sát viên và nguồn sáng trong đường ngắm. V biến thiên được tính là dương nếu là vận tốc của chuyển động lùi, và âm nếu nó là vận tốc của chuyển động tiến tới. Giải phương trình này đối với vận tốc, chúng ta thấy: $v = c\Delta\lambda/\lambda$

Nếu một ngôi sao tiến tới gần hay lùi xa chúng ta, các bước sóng ánh sáng trong phổ liên tục của nó hiện ra ngắn đi hay dài ra, một cách tuần tự, như các bước sóng ánh sáng của các vạch tối. Tuy nhiên, trừ phi vận tốc của nó là mười ngàn kilômét trong một giây (10.000 km/giây), ngôi sao không hiện ra xanh hơn hay đỏ hơn bình thường một cách đáng kể. Sự dịch chuyển Doppler do đó không dễ dàng theo dõi trong một phổ liên tục

và không thể đo được một cách chính xác trong một quang phổ như thế. Mặt khác, các bước sóng của các vạch hấp thụ có thể đo đạc được một cách chính xác, và sự dịch chuyển Doppler của chúng tương đối dễ dàng theo dõi.

Điều này nghe có vẻ như một lưu ý để kết thúc chương sách. Nếu tất cả mọi ngôi sao đang di chuyển và sự chuyển động làm thay đổi bước sóng của mỗi vạch phổ, đối với các nhà thiên văn học đang cố hình dung những nguyên tố nào hiện diện trong các ngôi sao thì điều này sẽ không phải là một tai hoạ hay sao? Sau cùng, chính là bước sóng (hay màu sắc) chính xác tiết lộ với các nhà thiên văn học các vạch nào thuộc về nguyên tố nào. Và trước tiên, chúng ta đo đạc các bước sóng trong các bình chứa chất khí trong phòng thí nghiệm, đang đứng yên, không di chuyển. Nếu mỗi vạch trong quang phổ của một ngôi sao giờ đây bị dịch chuyển bởi sự chuyển động của nó tới một bước sóng (màu sắc) khác, bằng cách nào chúng ta có thể biết chắc rằng các vạch nào và các nguyên tố nào chúng ta đang tìm kiếm trong một ngôi sao mà tốc độ của nó chúng ta lại không biết?

Tình huống này có vẻ tệ hại hơn thực trạng của nó. Các nhà thiên văn học hiếm khi phán đoán sự hiện diện của một nguyên tố trong một thiên thể bằng một vạch duy nhất. Chính là mô hình của các vạch đặc nhất đối với hydro hay calcium giúp chúng ta xác định được rằng những nguyên tố nào là thành phần của ngôi sao hay thiên hà chúng ta đang quan sát. Hiệu ứng Doppler không làm thay đổi các mô hình (hay khuôn mẫu) (pattern) của các vạch thuộc một nguyên tố nhất định nào đó – nó chỉ dịch chuyển toàn bộ khuôn mẫu (hay mô hình) một chút về

phía các bước sóng đỏ hơn hay xanh hơn. Mô hình đã dịch chuyển vẫn còn dễ dàng nhận ra được. Tốt hơn hết, khi chúng ta nhận ra mô hình của một nguyên tố quen thuộc, chúng ta có được một phần thưởng: Mức độ mà mô hình bị dịch chuyển giờ đây cho biết vận tốc của vật thể trong đường ngắm của chúng ta.

TÓM LƯỢC

4.1 James Clerk Maxwell chứng minh rằng bất cứ lúc nào các hạt mang điện làm thay đổi sự chuyển động của chúng, như chúng thực hiện trong mỗi nguyên tử và phân tử, sẽ phát ra các sóng năng lượng. Ánh sáng là một dạng của bức xạ điện từ (electromagnetic radiation) này. Bước sóng hay độ dài sóng (wavelength) của ánh sáng xác định màu sắc của bức xạ thấy được. Bước sóng (λ) liên quan với tần số (frequency) (f) và vận tốc ánh sáng (c) bằng phương trình $c = \lambda f$. Đôi khi bức xạ điện từ hoạt động giống như các sóng, nhưng những lúc khác nó lại hoạt động như thể nó là một gói năng lượng nhỏ, gọi là **photon**. **Độ sáng biểu kiến** (apparent brightness) của một nguồn năng lượng điện từ giảm đi với việc gia tăng khoảng cách đối với nguồn ấy tỉ lệ với bình phương khoảng cách, một mối tương quan được mang tên là **định luật bình phương nghịch đảo** (inverse-square law).

4.2 Phổ điện từ (electromagnetic spectrum) bao gồm các bức xạ tia gamma, tia X, và cực tím (tất cả các dạng của bức xạ điện từ với các bước sóng ngắn hơn bước sóng của ánh sáng thấy được), ánh sáng thường, và bức xạ tia hồng ngoại, sóng viba, và vô tuyến sóng dài (ba bức

xạ cuối cùng với các bước sóng dài hơn bước sóng của ánh sáng thường). Nhiều loại sóng không thể xuyên qua các tầng khí quyển của Trái Đất và phải được quan sát từ không gian. Sự phát xạ của bức xạ điện từ có liên hệ mật thiết với nhiệt độ của nguồn sáng. Nhiệt độ của vật đen (blackbody) (một nguồn phát xạ lý tưởng của bức xạ điện từ) càng cao, bước sóng qua đó lượng bức xạ tối đa được phát ra càng ngắn. Phương trình toán học mô tả mối tương quan này: ($\lambda_{\max} = 3 \times 10^6/T$) có tên là định luật Wien (Wien's law). Toàn bộ năng lượng được phát xạ trên một mét vuông tăng lên cùng với sự gia tăng nhiệt độ. Mối tương quan giữa năng lượng phát xạ và nhiệt độ ($E = \sigma.T^4$) được đặt tên là định luật Stefan–Boltzmann (Stefan–Boltzmann law).

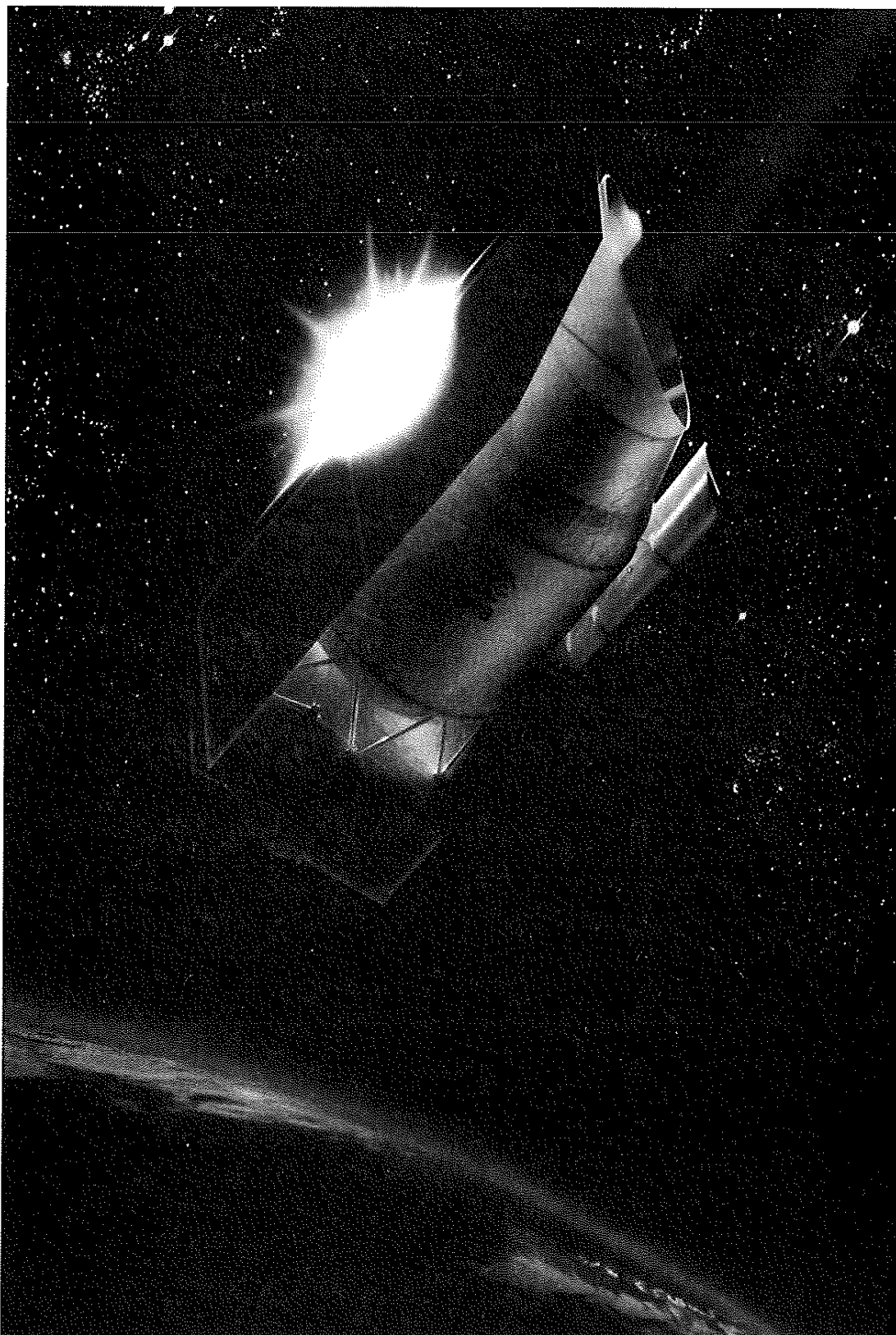
4.3 Phổ kế (spectrometer) là một dụng cụ hình thành một quang phổ, thường lợi dụng hiện tượng quang học của sự tán sắc (dispersion). Ánh sáng từ một nguồn thiên thể có thể bao gồm một phổ liên tục (continuous spectrum), vạch sáng hay phổ vạch phát xạ (emission line spectrum), hay vạch tối hay phổ vạch hấp thụ (absorption line spectrum). Bởi vì mỗi nguyên tố để lại phổ ký (spectral signature) của nó trong mô hình các vạch mà chúng ta quan sát, sự phân tích phổ tiết lộ thành phần cấu tạo của Mặt Trời và các sao.

4.4 Nguyên tử bao gồm một nhân (nucleus) chứa một hay nhiều hạt proton mang điện dương. Tất cả mọi nguyên tử ngoại trừ hydro cũng chứa một hay nhiều hạt neutron (hạt trung hoà) trong nhân. Các electron (âm điện tử) mang điện âm quay chung quanh

nhân nguyên tử. Số lượng proton xác định nguyên tố (hydro, helium,...) của nguyên tử. Các nhân nguyên tử có cùng số lượng proton nhưng số lượng neutron khác nhau là các chất đồng vị (isotopes) khác nhau của cùng một nguyên tố. Theo mô hình nguyên tử của Bohr, khi một electron di chuyển từ quỹ đạo này sang quỹ đạo khác gần với nhân nguyên tử hơn, một photon được phát xạ và một vạch phổ phát xạ được hình thành. Các vạch hấp thụ được hình thành khi một electron di chuyển tới một quỹ đạo xa hơn đối với nhân. Vì mỗi nguyên tử có một tập hợp quỹ đạo riêng biệt của nó, cho nên mỗi nguyên tử liên quan với một mô hình duy nhất về các vạch phổ.

4.5 Nguyên tử ở mức năng lượng thấp nhất của nó được coi là ở trạng thái cơ bản (ground state). Nếu một electron đang ở trên một quỹ đạo khác hơn quỹ đạo có mức năng lượng tối thiểu có thể, nguyên tử được coi là bị kích thích (excited). Nếu một nguyên tử đã mất đi một hay nhiều electron, nó được gọi là một ion và được coi là bị ion hoá (ionized).

4.6 Nếu một nguyên tử đang di chuyển về phía chúng ta khi một electron thay đổi quỹ đạo và tạo ra một vạch phổ, chúng ta thấy rằng vạch ấy hơi dịch chuyển về phía màu xanh của bước sóng thông thường trong một quang phổ. Nếu nguyên tử đang di chuyển xa ra, chúng ta thấy vạch ấy dịch chuyển về phía màu đỏ. Sự dịch chuyển này có tên là hiệu ứng Doppler (Doppler effect) và có thể được sử dụng để đo vận tốc xuyên tâm (radial velocities) của các vật thể xa bằng công thức $v = c (\Delta\lambda/\lambda)$.



Bức hình hơi kỳ cục này mô tả Đài thiên văn không gian hồng ngoại châu Âu, hoạt động trên quỹ đạo Trái Đất từ năm 1995 – 1998, thăm dò bầu trời ở những bước sóng giữa $2,4 \times 10^{-6}$ m và $2,4 \times 10^{-4}$ m. Viễn vọng kính có khẩu độ 0,6 m trên tàu được làm lạnh để nhiệt độ gần bằng zero tuyệt đối với khí helium lỏng và có khả năng thực hiện khoảng 26.000 cuộc quan sát riêng biệt trước khi chất làm lạnh bị cạn kiệt.

CHƯƠNG 5

CÁC THIẾT BỊ THIÊN VĂN

“Ngoài những ngôi sao mờ nhạt nhất mắt thường có thể thấy, bạn sẽ ngắm nhìn qua kính viễn vọng hàng loạt các ngôi sao khác, thoát khỏi tầm nhìn, đồng đến mức khó tin...”

Galileo Galilei in Siderius Nuncius, 1610, tường thuật về các cuộc quan sát bầu trời đêm đầu tiên của ông bằng kính viễn vọng.

Khi bạn ngắm nhìn bầu trời đêm xa khỏi ánh đèn đô thị trong một chuyến cắm trại, dường như có vô số ngôi sao ở đó. Thực tế, chỉ khoảng 6000 sao thấy được bằng mắt trần. Ánh sáng từ hầu hết các ngôi sao yếu đến mức vào thời điểm nó chạm Trái Đất nó không thể ghi vào thị lực của con người. Làm cách nào bạn có thể hiểu biết về đa số các vật thể trong vũ trụ bao la mà đôi mắt thường của chúng ta đơn thuần không thể nhìn thấy được?

Như đã thấy trong chương vừa qua, hầu như chúng ta hoàn toàn dựa vào bức xạ điện từ để tìm hiểu về vũ trụ. Các vật thể trong vũ trụ truyền đến chúng ta bức xạ với mọi loại bước sóng, từ các tia gamma tới các sóng vô tuyến. Tuy nhiên, bầu khí quyển che chắn phần lớn phổ điện từ không cho chạm tới bề mặt Trái Đất.

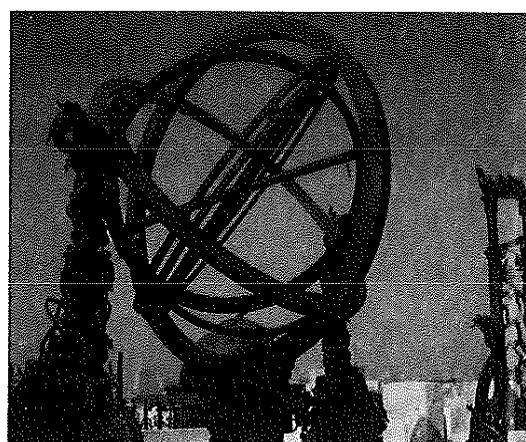
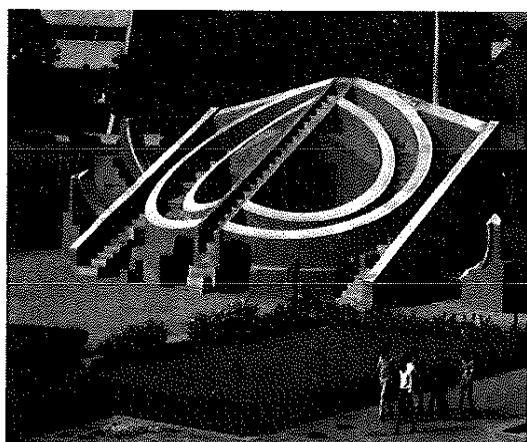
Có hai vùng trong quang phổ nơi mà bầu khí quyển của Trái Đất trong suốt và xuyên qua đó chúng ta có thể quan sát. Một vùng được gọi là cửa sổ

quang học (optical window) (hay ánh sáng thấy được), và nó bao gồm các bước sóng từ khoảng 300 μm (hay 0,3 μm) cho tới khoảng 30 μm . Vùng khác là cửa sổ vô tuyến (radio window), bao gồm các bước sóng có phạm vi từ khoảng 1 μm tới khoảng 20 μm .

Cho tới gần đây, các nhà thiên văn học có thể làm việc chỉ với bức xạ trong các cửa sổ ấy, và tất cả các kính viễn vọng được thiết kế để tiếp nhận cửa sổ này hay cửa sổ kia của các dãy phổ. Tuy nhiên, ngày nay, chúng ta cũng có thể nghiên cứu bức xạ trong các bộ phận của quang phổ, nơi mà khí quyển bị mờ đục; để quan sát trong những vùng này, các nhà thiên văn học phải đặt kính viễn vọng trên quỹ đạo.

5.1 VIỄN VỌNG KÍNH

Nhiều nền văn minh cổ đại xây dựng những khu vực đặc biệt để quan sát bầu



Hai đài thiên văn tiền viễn vọng kính: (a) Đài thiên văn Jantar Mantar, xây dựng vào năm 1724, do Maharaja Jai Singh ở Delhi, Ấn Độ. (b) Những dụng cụ bằng đồng thếp thuộc đài thiên văn hoàng gia Trung Quốc xưa vào thế kỷ XVII, Bắc Kinh.

trời. Tại những đài thiên văn cổ xưa này, họ có thể đo đạc được vị trí của các thiên thể, phần lớn để theo dõi thời gian và ngày tháng. Nhiều đài thiên văn cổ xưa cũng có những hoạt động tôn giáo và nghi lễ. Viễn vọng kính, mà chúng ta kết hợp với các đài thiên văn ngày nay, là một sự bổ sung tương đối muộn màng, trở nên quan trọng trong 300 năm vừa qua. Nhưng việc đưa nó vào sử dụng đã cách mạng hoá hiểu biết của chúng ta về vũ trụ.

♦ KÍNH VIỄN VỌNG THIÊN VĂN

Galileo đầu tiên sử dụng kính viễn vọng để quan sát bầu trời vào năm 1610. Như chúng ta đã thấy trong Chương 1, các kính viễn vọng của ông là những ống đơn giản có thể cầm tay, nhưng chính vì thế chúng làm cho Galileo gặp rắc rối với các cấp có thẩm quyền của Nhà Thờ. Các kính viễn vọng thiên văn đã đi một con đường dài kể từ thời đại của Galileo. Hiện nay, chúng có khuynh hướng trở thành những thiết bị khổng lồ được xây dựng với chi phí rất lớn.

Điều mấu chốt đối với kính viễn vọng là để nhận thức rằng các thiên

thể, chẳng hạn như các hành tinh, các vì sao và thiên hà, truyền ánh sáng tới Trái Đất nhiều hơn bất kỳ đôi mắt người nào có thể bắt được. Có thật nhiều ánh sáng sao, nếu bạn đã từng chăm chú nhìn những ngôi sao với một nhóm bạn, bạn sẽ thấy mỗi người bắt được một ít ánh sáng của mỗi ngôi sao. Trong mức độ mà bạn có liên quan, ánh sáng không chiếu vào mắt bạn là uổng phí. Sẽ là điều tuyệt vời nếu một số ánh sáng “bị lãng phí” này cũng có thể bị thu hút và mang đến mắt chúng ta. Điều này chính xác là những gì kính viễn vọng thực hiện.

Các chức năng quan trọng nhất của kính viễn vọng là tập hợp ánh sáng yếu từ một nguồn thiên thể và hội tụ toàn bộ ánh sáng này thành một hình ảnh. Hầu hết vật thể mà các nhà thiên văn học quan tâm là cực kỳ mờ nhạt; chúng ta có thể tập hợp càng nhiều ánh sáng chừng nào, chúng ta có thể nghiên cứu các vật thể ấy càng tốt hơn. Bạn có thể nghĩ về kính viễn vọng như một chiếc “gàu” thu gom ánh sáng: Giống như một cái gàu lớn hơn cho phép bạn thu gom nhiều nước mưa hơn khi trời bắt đầu mưa, do đó kính viễn vọng lớn hơn có thể tập

hợp nhiều ánh sáng “mưa xuống” từ bầu trời đêm hơn. Dù chúng ta sử dụng từ ngữ “*ánh sáng*” trong đoạn này, có những loại kính viễn vọng có thể tập hợp không chỉ ánh sáng thường, mà còn rất nhiều dạng bức xạ điện từ.

Trong các kính viễn vọng tập hợp bức xạ trong cửa sổ quang học, ánh sáng được thu thập bởi một thấu kính hay một tấm gương. Trong các loại kính viễn vọng khác, các thiết bị tập hợp có thể trông không giống các thấu kính hay gương, nhưng chúng có cùng một chức năng. Trong tất cả các loại kính viễn vọng, khả năng thu gom ánh sáng được xác định bởi đường kính, hay khẩu độ (aperture), của thiết bị.

Để nghiên cứu các thiên thể, cần phải hình thành được một hình ảnh, sau đó có thể được theo dõi, ghi chép, đo đạc, tái tạo, và phân tích theo nhiều phương pháp. Trước thế kỷ XX, các nhà thiên văn học đơn thuần xem xét các hình ảnh bằng mắt thường, nhưng điều này rất kém hiệu quả và không cung cấp một hồ sơ dữ liệu thật tốt trong dài hạn.

Ngày nay, các nhà thiên văn học hiếm khi nhìn qua các kính viễn vọng thiên văn lớn. Hình ảnh được ghi chép bằng điện tử và lưu trữ trong các máy tính, và hồ sơ dữ liệu thường xuyên này trở thành đối tượng của sự nghiên cứu sau này.

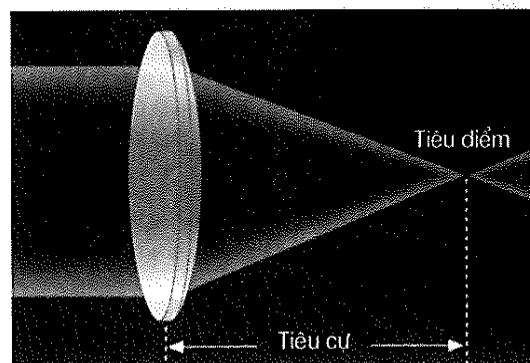
♦ SỰ HÌNH THÀNH MỘT HÌNH ẢNH BỞI THẤU KÍNH HAY GƯƠNG

Dù có đeo kính hay không bạn cũng nhìn thấy thế giới qua các thấu kính; chúng là những yếu tố chủ yếu của đôi mắt bạn. Thấu kính là một miếng vật chất trong suốt làm cong các tia sáng song song đi xuyên qua nó, đem chúng

tới cùng một tiêu điểm (focus). Hình bên dưới mô tả một thấu kính đơn giản hình thành một hình ảnh ra sao. Nếu các độ cong của bề mặt của nó đều chính xác, hai tia sáng song song (thí dụ từ một ngôi sao) bị bẻ cong, hay khúc xạ, theo cách thức như vậy sẽ hội tụ về một điểm, gọi là tiêu điểm của thấu kính. Tại tiêu điểm, một hình ảnh của nguồn sáng hiện ra. Khoảng cách của tiêu điểm, hay hình ảnh, phía sau thấu kính được gọi là tiêu cự (focal length) của thấu kính.

Nhìn vào hình, bạn có thể thắc mắc tại sao hai tia sáng từ cùng một ngôi sao sẽ song song với nhau. Sau cùng, nếu bạn vẽ một bức tranh về một ngôi sao, chiếu sáng ra mọi hướng, các tia sáng xuất phát từ ngôi sao không thấy song song chút nào cả. Hãy nhớ rằng các sao (và các thiên thể khác) là đều cách rất xa. Vào thời điểm các tia sáng tiến về hướng chúng ta thực sự đi tới Trái Đất, chúng – đối với mọi mục đích thực tiễn – song song với nhau. Hãy đặt ra một phương pháp khác, bất kỳ tia sáng nào cũng chẳng hề song song với các tia sáng hướng về Trái Đất hiện tại đang tiến đến một số hướng khác nhau trong vũ trụ.

Để xem xét hình ảnh được hình thành bởi thấu kính sơ cấp trong kính viễn

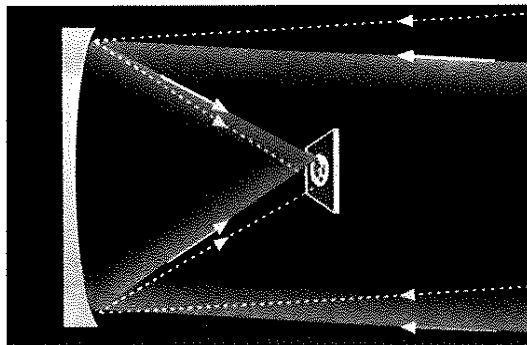


Sự hình thành một ảnh qua thấu kính đơn: Các tia sáng song song từ một ngôi sao bị bẻ cong bởi thấu kính rồi tới một tiêu điểm duy nhất.

vọng, chúng ta có thể lắp đặt thêm một thấu kính khác gọi là thị kính (eyepiece). Thấu kính này có thể phóng đại hình ảnh. Các ngôi sao là những điểm sáng, và việc phóng đại chúng tạo ra sự khác biệt nhỏ, nhưng hình ảnh của một hành tinh hay thiên hà, có cấu trúc, thông thường có thể được thuận lợi từ sự phóng đại, giống như một ảnh nhỏ bé đôi khi có thể trông rõ hơn qua kính lúp. Sử dụng các thị kính khác nhau, chúng ta có thể thay đổi độ phóng đại của hình ảnh. Ngày nay, thị kính của kính viễn vọng thường được thay thế bởi một máy ảnh hay máy dò ánh sáng điện tử.

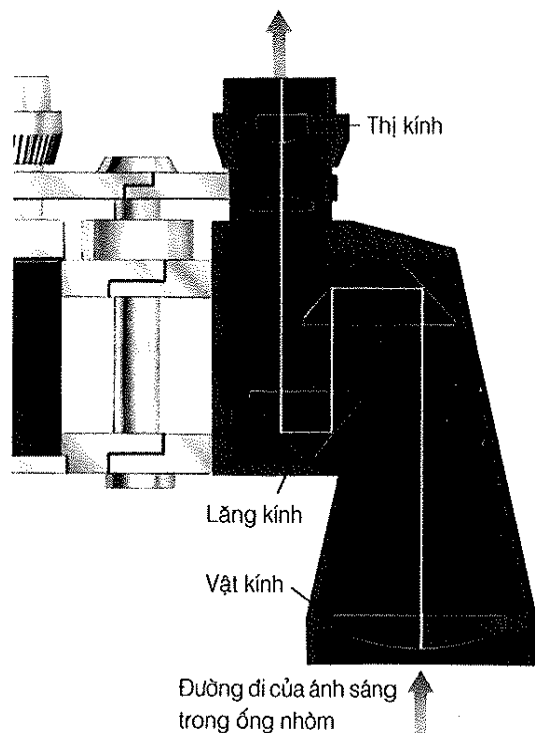
Các tia sáng cũng có thể được hội tụ để hình thành một ảnh với một gương lõm – gương cong như mặt trong của một quả cầu và phủ một lớp kim loại để làm cho nó phản chiếu mạnh hơn. Nếu gương có dạng lõm chính xác, tất cả các tia song song bị phản chiếu trở lại qua cùng một điểm, tiêu điểm của gương. Do đó, các ảnh được tạo ra bởi một gương chính xác như được tạo ra bởi một thấu kính.

Nhiều người, khi nghĩ về viễn vọng kính, hình dung một ống tròn dài với một thấu kính thủy tinh lớn ở một đầu.



Sự hình thành một ảnh qua gương: Ở đây chúng ta thấy các tia từ hai bên của một vật thể (các vạch liền và các vạch gạch ngang). Mỗi tập hợp của các tia song song được phản chiếu bởi bề mặt cong của một gương lõm, mang chúng tới một tiêu điểm tại những vị trí phía trước gương.

Kiểu thiết kế này được gọi là kính viễn vọng khúc xạ (refracting telescope). Các kính viễn vọng của Galileo là kính viễn vọng khúc xạ, giống như các ống nhòm ngày nay, nhưng kính viễn vọng khúc xạ (và các thấu kính của chúng) không thích hợp đối với hầu hết các ứng dụng thiên văn. Với các kích thước lớn, các thấu kính của chúng khó được nâng đỡ (bởi vì ánh sáng phải đi xuyên qua chúng, chúng chỉ có thể được chống đỡ ở rìa cạnh, chứ không được từ phía sau). Cũng vậy, việc chế tạo một miếng kính lớn mà không có vết (chẳng hạn như các bọt bong bóng) rất tốn kém và khó khăn. Đa số các kính viễn vọng thiên văn (cả tài tử



Ống nhòm là thí dụ phổ biến về kính viễn vọng khúc xạ. Thành phần chủ yếu tập hợp ánh sáng trong mỗi bên là thấu kính (vật kính) đầu tiên; sau khi theo đường đi xuyên qua nhiều lăng kính (dùng để làm ngắn đi chiều dài của dụng cụ), ánh sáng được quan sát qua một thị kính phóng đại. Điều này làm cho hình ảnh vừa sáng hơn vừa lớn hơn, giúp cho bạn nhìn thấy những gì đang diễn ra trên sân khấu hay trên sân bóng chẳng hạn – khi bạn không mua được những tấm vé thật tốt.

lần chuyên nghiệp) sử dụng một gương hơn là một thấu kính với vai trò là bộ phận quang học sơ cấp: gọi là các kính viễn vọng phản xạ (reflecting telescope). Bởi vì kính viễn vọng phản xạ là tiêu chuẩn trong thiên văn học hiện đại, chúng ta sẽ nói về các gương trong hầu hết phần tiếp theo.

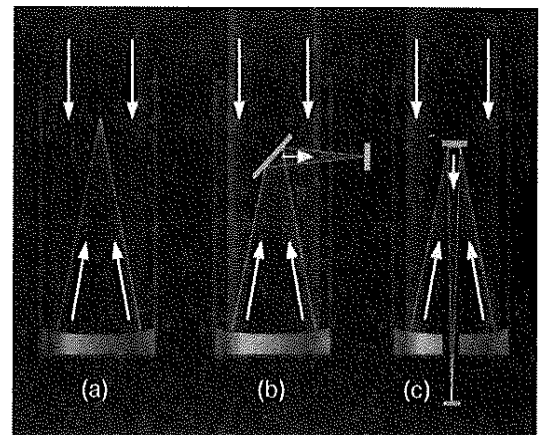
Kính viễn vọng phản xạ được nghĩ ra bởi một người Anh tên là James Gregory vào năm 1663, và mô hình thành công đầu tiên được chế tạo bởi Newton năm 1668. Gương lõm được đặt dưới đáy của một ống trụ tròn hay một khung hở. Tấm gương phản chiếu ánh sáng trở lại ống trụ tròn để hình thành một ảnh gần kề đáy trước tại một vị trí gọi là *tiêu điểm chính* (prime focus). Ảnh có thể được quan sát tại tiêu điểm chính hay nhiều hệ thống gương phụ có thể tiếp nhận ánh sáng và mang nó tới một tiêu điểm tại các vị trí thuận tiện hơn. Trong phương pháp của Newton, một gương thứ cấp nhỏ được đặt nghiêng góc để phản chiếu ánh sáng tới bên hông của ống kính viễn vọng. Theo phương pháp của Cassegrain, gương thứ cấp phản chiếu ánh sáng trở xuống ống trụ tròn, xuyên qua một lỗ nhỏ trong gương sơ cấp (điều này không làm tổn hại khả năng phản chiếu của gương theo bất cứ hướng quan trọng nào), và tới một tiêu điểm nằm bên dưới ống kính viễn vọng.

✧ CÁC ĐẶC TRƯNG CỦA HÌNH ẢNH

Độ sáng của một hình ảnh là một số đo về mức năng lượng được tập trung vào một đơn vị diện tích – thí dụ, một milimét vuông (mm^2) – của hình ảnh. Độ sáng của hình ảnh tùy thuộc vào lượng ánh sáng hội tụ vào nó qua gương sơ cấp. Tăng gấp đôi khẩu độ (độ lớn) của

gương làm tăng diện tích của nó lên bởi một thừa số của 2×2 hay 4, đem lại kết quả trong hình ảnh là sáng hơn gấp bốn lần. Thí dụ, hai viễn vọng kính Keck (bố trí trên đỉnh núi lửa có tên Mauna Kea ở Hawaii), mỗi cái có khẩu độ 10 mét (10 m), bằng gấp đôi khẩu độ của kính viễn vọng Hale khẩu độ 5 mét tại dãy núi Palomar (ở Nam California) và do đó có thể thu gom ánh sáng nhiều hơn gấp bốn lần từ bất kỳ vật thể nào. Các nhà thiên văn học cần nhìn thấy những vật thể ở cực xa (và do vậy rất mờ), chẳng hạn như các thiên hà xa tít trong vũ trụ, sẽ cố gắng có được thời gian quan sát trên những kính viễn vọng lớn nhất mà họ đã tiếp cận.

Độ phân giải (Resolution) nói đến độ mịn của chi tiết hiện diện trong ảnh. Như bạn có thể tưởng tượng, các nhà thiên văn học lúc nào cũng muốn tạo ra nhiều chi tiết hơn trong những hình ảnh họ nghiên cứu, dù họ đang theo dõi khí hậu



Sự sắp xếp tiêu điểm đối với kính viễn vọng phản xạ (Focus Arrangements for reflecting telescopes): (a) Tiêu điểm đầu tiên: Ánh sáng bị phát hiện (bị dò ra) ở nơi nó đi tới một tiêu điểm sau khi phản chiếu từ gương sơ cấp. (b) Tiêu điểm của Newton: Ánh sáng bị phản chiếu bởi một gương thứ cấp nhỏ tới một bên hông, nơi đó nó có thể được theo dõi. (c) Tiêu điểm của Cassegrain: Ánh sáng bị phản chiếu bởi một gương thứ cấp nhỏ trở xuống xuyên qua một lỗ trên gương sơ cấp và được nhận ra tại một điểm bên dưới.

trên Sao Mộc hay cố gắng chăm chú nhìn vào trung tâm của một thiên hà. Khẩu độ của kính viễn vọng càng lớn, hình ảnh càng rõ. Tuy nhiên, những hạn chế phụ về độ phân giải bị tác động bởi sự dao động trong khí quyển Trái Đất, lúc nào cũng tạo ra một mức độ mập mờ nhất định trong các kính viễn vọng đặt trên mặt đất. Điều quan trọng là thiết lập các đài thiên văn tại các địa điểm mà sự lệch lạc của khí quyển ở mức tối thiểu. (Bạn có thể nhận thấy các dao động như là “sự nhấp nháy” của các vì sao nhìn thấy từ Trái Đất. Trong không gian, ánh sáng của các vì sao ổn định, không thay đổi).

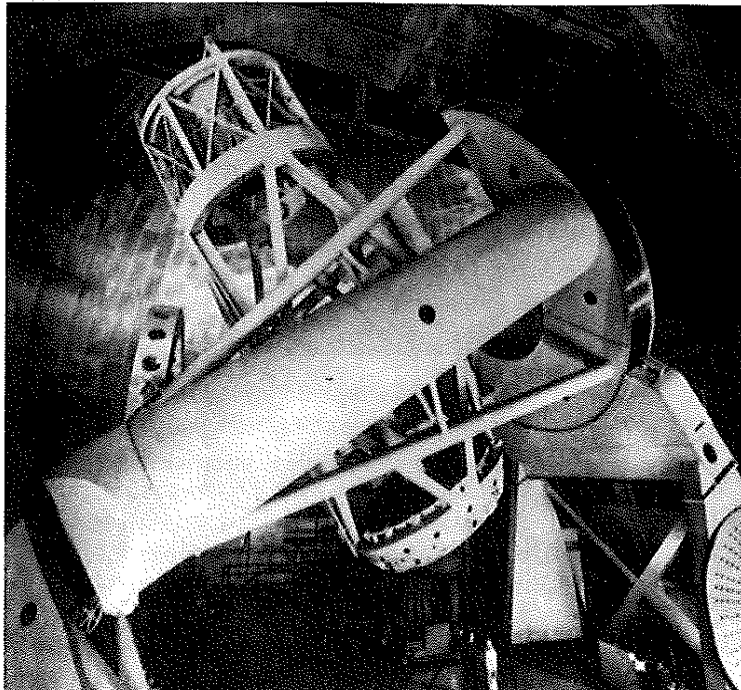
Độ phân giải của một ảnh thiên văn được đo bởi kích thước góc của một nguồn điểm, chẳng hạn như một ngôi sao. Kích thước này được diễn tả bằng những giây của cung, hay arcsec, ở đó 1 arcsec là $1/3600$ độ. Để giúp bạn nhận thức về đơn vị này nhỏ đến mức nào, một arcsec bằng một đồng 25 xu khi được nhìn từ khoảng cách 5 cây số. Suốt gần hết thế kỷ XX, độ phân giải khoảng 1 arcsec được xem là

tiêu chuẩn trong thiên văn học, đạt được tại các đài thiên văn quan trọng chỉ khi nào bầu khí quyển ổn định bất ngờ.

Tuy nhiên, hơn một thập niên qua, các nhà thiên văn học đã nâng tiêu chuẩn của họ. Tại những địa điểm quan sát tốt nhất, chẳng hạn như Mauna Kea ở Hawaii, không khí rất ổn định, thường mang lại độ phân giải 0,3 arcsec. Những kỹ thuật mới hiện nay cho phép các nhà thiên văn học giảm bớt thêm nữa sự mập mờ của hình ảnh, bằng cách tạo những thay đổi nhỏ bé nhưng nhanh chóng về cấu hình của một gương linh động của kính viễn vọng để bù lại cho các thay đổi trong khí quyển Trái Đất. Những kính viễn vọng *quang học thích ứng* (adaptive optics), đặt trên mặt đất này, đôi khi có thể sánh ngang với độ phân giải của kính không gian Hubble là 0,1 arcsec.

✧ VIỄN VỌNG KÍNH HOÀN CHỈNH

Giờ đây thì chúng ta đã nhìn thấy một hình ảnh được tạo ra như thế nào,



Kính viễn vọng phản xạ 5 mét: Kính viễn vọng Hale trên núi Palomar có một cấu trúc giá đỡ phức tạp giúp cho kính viễn vọng (trong “ống trụ tròn” hỗ chia lên trên trong hình này) xoay trở dễ dàng vào bất cứ vị trí nào. Những người đứng trên nền sàn bên dưới có thể cho bạn một cảm nhận về tỉ lệ.

Theo quan điểm phổ biến, một nhà thiên văn học trải qua hầu hết các đêm trong đài thiên văn để nhìn chăm chăm qua kính viễn vọng, nhưng hình ảnh này, có thể đã có giá trị nào đó trong các thế kỷ trước, ngày nay không còn thật chính xác nữa. Đa số các nhà thiên văn học không sống tại các đài thiên văn, mà ở gần các trường đại học hay các phòng thí nghiệm nơi họ làm việc. Một nhà thiên văn học tiêu biểu sẽ trải qua một tuần mỗi năm để quan sát tại kính viễn vọng và thời gian còn lại để đo đạc hay phân tích các dữ liệu thu thập được trong suốt tuần ấy. Nhiều nhà thiên văn học sử dụng các kính viễn vọng vô tuyến hay các cuộc thử nghiệm không gian, chúng hoạt động cũng chính xác ban ngày. Tuy nhiên, những người khác làm việc với các vấn đề lý thuyết thuần túy (thường sử dụng các máy tính tốc độ cao) và không bao giờ quan sát với bất kỳ một loại kính viễn vọng nào.

Ngay cả khi các nhà thiên văn học đang quan sát bằng một kính viễn vọng lớn, họ ít khi chăm chú nhìn qua nó. Các máy dò điện tử ghi nhận các dữ liệu một cách thường xuyên dành cho việc phân tích tỉ mỉ sau khi các cuộc quan sát hoàn tất. Tại một số đài thiên văn, hiện nay để tiến hành các cuộc quan sát nơi xa thẳm, với các nhà thiên văn học ngồi tại một trạm máy tính, có thể cách xa kính viễn vọng hàng ngàn dặm, là điều có thể thực hiện.

Thời gian ngồi với các kính viễn vọng quan

trọng hiếm khi có được, và giám đốc đài thiên văn rõ ràng sẽ nhận nhiều yêu cầu đối với thời gian ngồi với kính viễn vọng. Do đó, các nhà thiên văn học phải viết một đề xuất có sức thuyết phục giải trình sẽ muốn sử dụng kính viễn vọng ra sao và tại sao các cuộc quan sát của họ sẽ là quan trọng đối với sự tiến bộ của thiên văn học. Một ủy ban gồm các nhà thiên văn học sau đó được yêu cầu đánh giá và xếp hạng các đề xuất, và thời gian được phân bổ cho những đề xuất nào có giá trị nhất hay xứng đáng nhất. Ngay cả khi đề nghị của bạn nằm trong số những đề xuất được đánh giá cao, bạn có thể phải chờ đợi nhiều tháng trời để tới phiên mình. Nếu bầu trời nhiều mây vào những đêm bạn đã được bố trí, có thể sẽ là hơn một năm trước khi bạn có một cơ hội khác.

Một số nhà thiên văn học kỳ cựu vẫn còn nhớ đã trải qua những đêm dài lạnh lẽo, một mình trong mái vòm của đài thiên văn. Cảnh tượng các vì sao chiếu lấp lánh giờ này sang giờ kia qua khe hở trên vòm đài thiên văn là không thể nào quên. Sự thư giãn khuây khỏa sẽ xuất hiện khi tia sáng yếu ớt đầu tiên của bình minh báo hiệu thời điểm kết thúc buổi quan sát 12 tiếng đồng hồ. Ngày nay thiên văn học dễ dàng hơn nhiều, với những nhóm các quan sát viên làm việc cùng nhau, có lẽ không bao giờ phải rời khỏi trạm làm việc bằng máy tính trong một căn phòng ấm áp. Song một chút mơ mộng lãng mạn cũng đã mất đi trong lãnh vực này.

chúng ta có thể hiểu được sự hoạt động của một kính viễn vọng. Bởi vì mục đích chính của nó là thu gom ánh sáng từ các nguồn mờ yếu, thông thường các nhà thiên văn học cần kính viễn vọng có khẩu độ càng lớn càng tốt. Do đó, họ phải có một đĩa thủy tinh lớn, được mài và đánh bóng thật kỹ (và phủ một lớp phản quang) để chế tạo ra một gương lõm với chất lượng quang học cao. Cấu hình của gương phải thật chính xác để cho tất

cả các tia sáng song song, bất luận chúng chạm vào bề mặt gương chỗ nào đi nữa, cũng đi tới một tiêu điểm duy nhất.

Một khi bạn có một gương sơ cấp chính xác, nó phải được chống đỡ sao cho toàn bộ kính viễn vọng có thể được hướng thẳng tới bất kỳ vật thể nào trong vũ trụ. Khi gương rộng 5 mét, nó có một trọng lượng khổng lồ: chỉ một mình tấm gương trong kính viễn vọng trên núi Palomar cân nặng 14,5 tấn. Do đó, bạn

cần một cấu trúc khung đỡ phức tạp để di chuyển nó nhanh chóng và nhẹ nhàng từ hướng này sang hướng khác. Ngoài ra, bởi vì Trái Đất đang tự xoay tròn, kính viễn vọng phải có một hệ thống truyền động cơ giới hoá dịch chuyển nó lùi lại một cách chính xác với cùng tốc độ mà Trái Đất đang di chuyển tới phía trước, vì vậy nó có thể liên tục hướng về vật thể đang được quan sát. Các thiết bị tinh vi phải được chế tạo để phân tích và ghi nhận ánh sáng thu được tại tiêu điểm của kính viễn vọng, và tất cả cỗ máy này phải được lắp đặt trong một mái vòm để tránh được các yếu tố thời tiết.

5.2 MÁY DÒ QUANG HỌC VÀ CÁC THIẾT BỊ QUANG HỌC

Như chúng ta đã thấy, vai trò chủ yếu của kính viễn vọng là thu gom bức xạ từ một vật thể nhất định nhiều chừng nào tốt chừng nấy. Nhưng một khi bức xạ đã được thu hút, nó phải được phát hiện hay dò ra và đo đạc.

Máy dò đầu tiên dùng cho các cuộc quan sát thiên văn là đôi mắt con người, nhưng nó phải kết nối với một thiết bị ghi nhận và truy xuất không hoàn hảo là bộ não. Thuật nhiếp ảnh và các máy dò điện tử hiện đại đã loại trừ được các nhược điểm và khuyết tật của bộ nhớ sinh học bằng cách tạo ra một sự ghi chép thường xuyên các thông tin từ vũ trụ.

Mắt người cũng buộc phải có một thời gian tích hợp (integration time) rất ngắn – điều này chỉ mất một phần nhỏ của giây để gộp ánh sáng lại với nhau trước khi truyền hình ảnh tới bộ não. Một ưu thế quan trọng của các máy dò hiện đại là ánh sáng từ các thiên thể có thể được tập hợp bởi máy dò qua các

khoảng thời gian dài hơn; kỹ thuật này gọi là “thực hiện sự phơi sáng lâu”. Sự phơi sáng trong nhiều giờ đồng hồ là rất cần thiết để dò ra những vật thể rất mờ yếu trong vũ trụ.

Các nhà thiên văn học sử dụng các kính viễn vọng lớn theo ba phương thức cơ bản. Thứ nhất là *vẽ hình* (imaging) – chụp hình hay ghi chép hình dạng của một phần nhỏ của bầu trời. Thứ hai là thực hiện một phương pháp đo đạc chính xác về *độ sáng* (brightness) và *màu sắc* (colors) của vật thể. Cuối cùng là *quang phổ học* (spectroscopy) – phương pháp đo đạc về quang phổ của các nguồn thiên thể. Cả ba phương pháp này đòi hỏi những máy dò tương tự để ghi chép, lưu trữ dữ liệu và đo đạc các đặc tính của ánh sáng.

✧ MÁY DÒ NHIẾP ẢNH VÀ MÁY DÒ ĐIỆN TỬ

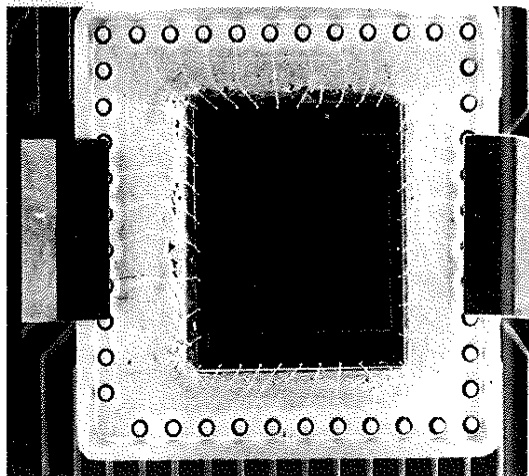
Trải qua hầu hết thế kỷ XX, phim ảnh hay kính ảnh được sử dụng như máy dò thiên văn chính, dù cho đối với việc ghi hình trực tiếp hay chụp hình các quang phổ. Về kính ảnh, một lớp phủ ngoài bằng hoá chất nhạy sáng được ghép áp



Nhà thiên văn học Eleanor Helin kiểm tra một kính ảnh 14 x 14 inches được chụp bằng kính viễn vọng Schmidt, đường kính 48 inches, tại Đài thiên văn Palomar. Bà đang truy tìm các vết do các tiểu hành tinh để lại.

vào một miếng kính, mà khi tráng rửa, giúp lưu giữ sự lâu bền của hình ảnh. Tại các đài thiên văn trên khắp thế giới, các bộ sưu tập vô số hình ảnh tồn trữ những gì bầu trời đã được trông ra sao trong 100 năm qua. Thuật chụp ảnh thể hiện một sự tiến bộ lớn lao so với đôi mắt người, nhưng vẫn có những hạn chế đáng kể. Phim chụp ảnh không hiệu quả: Chỉ khoảng một phần trăm của ánh sáng thực sự rơi vào phim góp phần tạo ra hình ảnh; phần còn lại bị bỏ phí.

Các nhà thiên văn học hiện nay sử dụng các máy dò điện tử hiệu quả hơn nhiều để ghi nhận các hình ảnh thiên văn, thông thường hầu hết là các thiết bị liên kết điện tích (hay thiết bị cảm biến hình ảnh điện tử) (CCDs: charge-coupled devices), tương tự như các máy dò dùng trong các máy quay video xách tay có kèm theo bộ phận ghi hình (video camcorders). Trong một CCD, các photon của bức xạ tạo ra một dòng hạt mang điện (các electron) được lưu trữ trong máy dò và được đếm lúc kết thúc thời gian



Con chip CCD: Bức cận ảnh này mô tả một dãy các phần tử ảnh nhạy sáng (gọi là pixels) có thể được đọc bởi một máy tính và dùng để tạo dựng một ảnh kỹ thuật số. Những máy dò ánh sáng này, được bảo quản ở một nhiệt độ rất thấp, nhạy cảm thật nhiều với ánh sáng hơn là các hóa chất dùng trong phép chụp ảnh.

phơi sáng. Bởi vì các CCD ghi nhận từ 60 tới 70% toàn bộ các photon đập vào chúng, chúng ta có thể phát hiện ra các vật thể mờ hơn nhiều. Chúng cũng cung cấp các số đo chính xác hơn về độ sáng của các thiên thể so với việc chụp ảnh, và kết quả của chúng có thể trực tiếp đi vào một máy tính để phân tích.

♦ QUAN SÁT TIA HỒNG NGOẠI

Quan sát vũ trụ trong dãy tia hồng ngoại của quang phổ thể hiện một số thử thách phụ. Tia hồng ngoại có phạm vi từ các bước sóng gần 1 micro-mét, nằm trong khoảng giới hạn nhạy cảm của sóng dài của cả các CCD lẫn sự chụp ảnh, ra tới 100 mm hay dài hơn. Bạn đã biết từ Chương 4, bức xạ hồng ngoại là bức xạ nhiệt. Thách thức chính đối với các nhà thiên văn học hồng ngoại là phân biệt được lượng nhiệt nhỏ bé chạm vào Trái Đất từ các sao và thiên hà so với nhiệt độ lớn hơn nhiều được bức xạ do bởi chính bản thân kính viễn vọng và khí quyển của Trái Đất.

Nhiệt độ tiêu biểu trên bề mặt Trái Đất gần bằng 300 K, và khí quyển qua đó các cuộc quan sát được thực hiện chỉ mát hơn một chút. Theo định luật Wien (xem Mục 4.2), kính viễn vọng, đài thiên văn, và thậm chí bầu trời đang phát xạ năng lượng hồng ngoại với bước sóng cực đại khoảng 10 micro-mét. Đối với mắt hồng ngoại, mọi thứ trên Trái Đất đều đỏ rực. Thách thức là nhận ra các nguồn vũ trụ mờ yếu so với biển ánh sáng này. Nhà thiên văn học hồng ngoại phải luôn chống chọi với tình huống mà nhà quan sát ánh sáng thường sẽ đối mặt nếu làm việc vào giữa ban ngày với kính viễn vọng và các dụng cụ quang học phù hợp với ánh sáng huỳnh quang sáng chói.

Để giải quyết vấn đề này, các nhà thiên văn học phải bảo vệ máy dò hồng ngoại tránh các bức xạ kề cận, giống như bạn che chắn phim chụp ảnh tránh khỏi ánh sáng ban ngày chói chang. Bởi vì bất kỳ vật gì ấm nóng đều bức xạ năng lượng hồng ngoại, máy dò phải được cách ly trong môi trường xung quanh rất lạnh; thường nó được giữ gần bằng zero độ (0°) tuyệt đối (1 tới 3 K) bằng cách ngâm trong khí helium lỏng. Giai đoạn thứ hai là làm giảm bức xạ được phát xạ bởi cấu trúc của kính viễn vọng và các dụng cụ quang học, và ngăn chặn không cho nhiệt độ này chạm tới máy dò hồng ngoại.

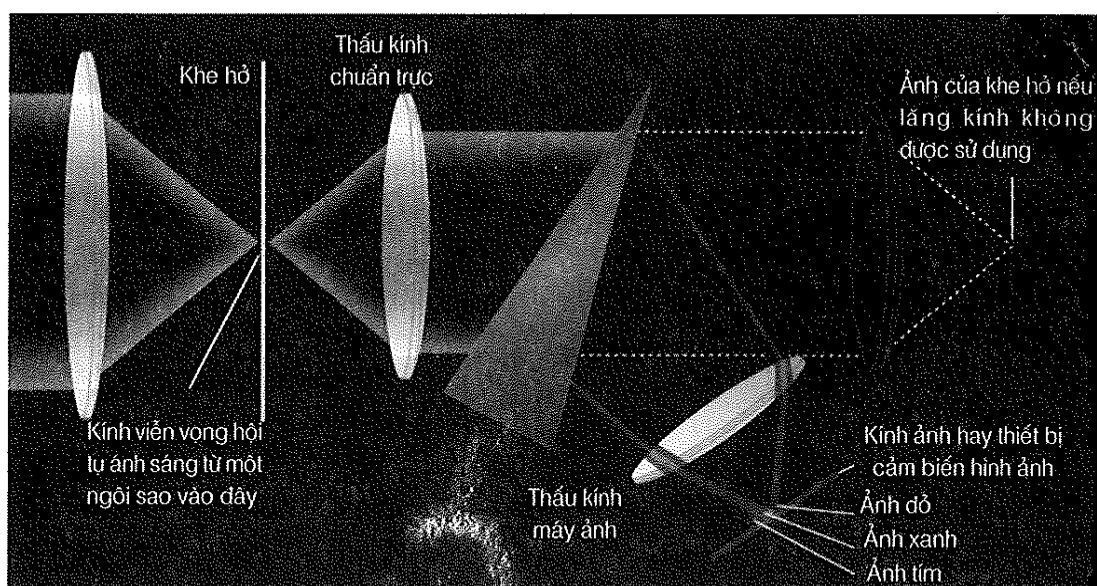
Giống như tia hồng ngoại, mỗi dãy của phổ điện từ đưa ra thách thức của riêng nó đối với nhà thiên văn học. Thí dụ, loại gương nào bạn có thể sử dụng để phản xạ các bức xạ xuyên thấu chẳng hạn như các tia X và tia gamma? Và, như chúng ta đã thấy, nhiều loại sóng từ không gian có thể được phát hiện chỉ từ

các trạm quan sát trên quỹ đạo, chi phí phóng lên rất tốn kém và đôi khi còn không thể sửa chữa được.

♦ QUANG PHỔ HỌC HAY PHỔ HỌC

Chúng ta đã thảo luận về các máy dò như thế chúng lúc nào cũng được dùng để ghi chép một hình ảnh của một bộ phận của bầu trời, nhưng chúng cũng có thể được dùng để ghi chép một quang phổ. Phổ học là một trong những công cụ mạnh mẽ nhất của nhà thiên văn học, và hơn phân nửa thời gian bỏ ra trên các kính viễn vọng lớn nhất được sử dụng cho phổ học.

Nhiều bước sóng khác nhau hiện diện trong ánh sáng có thể được tách rời ra bằng cách cho nó đi qua một lăng kính để hình thành một quang phổ. Phổ kế là một thiết bị nhằm để ghi nhận một quang phổ như vậy. Kiểu dáng của một phổ kế đơn giản được mô tả trong hình dưới. Ánh sáng từ nguồn (thực tế, ảnh



Một phổ kế lăng kính: Ánh sáng từ kính viễn vọng được hội tụ trên một khe hở, do đó ánh sáng của một vật thể lần lượt đi vào phổ kế. Một lăng kính (hay cách tử) tán sắc ánh sáng thành một quang phổ, rồi kế đó được chụp hình hay ghi chép lưu trữ bằng điện tử.

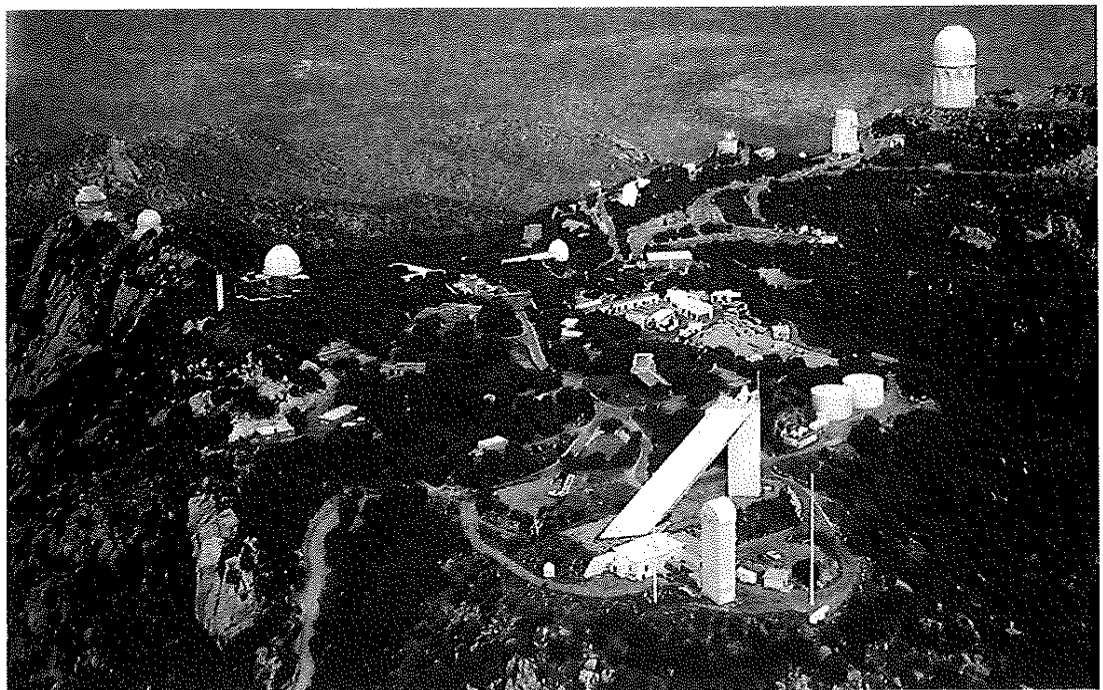
của nguồn được tạo ra bởi kính viễn vọng) đi vào thiết bị qua một lỗ nhỏ hay một khe hẹp và được chuẩn trực (tạo thành một chùm tia song song) bởi một thấu kính. Sau đó ánh sáng đi qua một lăng kính, tạo ra một quang phổ: Các bước sóng khác nhau rời khỏi lăng kính ở các hướng khác nhau do sự tán sắc. Một thấu kính thứ hai đặt phía sau lăng kính hội tụ nhiều ảnh khác nhau của khe hở hay lỗ vào trên CCD (thiết bị liên kết điện tích) hay thiết bị dò khác. Sự tụ hợp của các ảnh này (trải ra bởi màu sắc) là quang phổ mà các nhà thiên văn học sau đó có thể phân tích khi rảnh rỗi.

Trong thực tiễn, ngày nay các nhà thiên văn học có nhiều khả năng sử dụng một dụng cụ khác, gọi là con cách hay cách tử (grating), để tán xạ quang phổ. Con cách hay cách tử là một miếng vật liệu trong suốt với hàng ngàn rãnh trên

bề mặt của nó. Các rãnh này sẽ làm cho các sóng ánh sáng giao thoa lẫn nhau (hơi khác hơn đối với mỗi bước sóng) với kết quả là ánh sáng cũng trải ra thành quang phổ.

5.3 CÁC ĐÀI THIÊN VĂN QUANG HỌC VÀ HỒNG NGOẠI

Đài thiên văn hiện đại thông thường là một tập hợp các kính viễn vọng thiên văn. Kể từ cuối thế kỷ XIX, các nhà thiên văn học đã nhận thức được rằng các khu vực tốt nhất cho đài thiên văn nằm trên các dãy núi cách xa các ánh đèn và sự ô nhiễm của thành phố. Tuy một số các đài thiên văn trong khu vực thành phố vẫn còn, đặc biệt ở các thành phố lớn của châu Âu, chúng đã trở thành các trung tâm hành chánh hay viện bảo



Đỉnh núi Kitt: Đài thiên văn quốc gia Kitt Peak gần Tucson, Arizona, là một bộ phận của các Đài thiên văn quang học quốc gia. Đỉnh núi đặt một loạt kính viễn vọng và các thiết bị do Hiệp hội Khoa học Quốc gia tài trợ và tạo điều kiện thuận lợi cho các nhà thiên văn học từ khắp nơi thực hiện những đề xuất nghiên cứu tích cực.

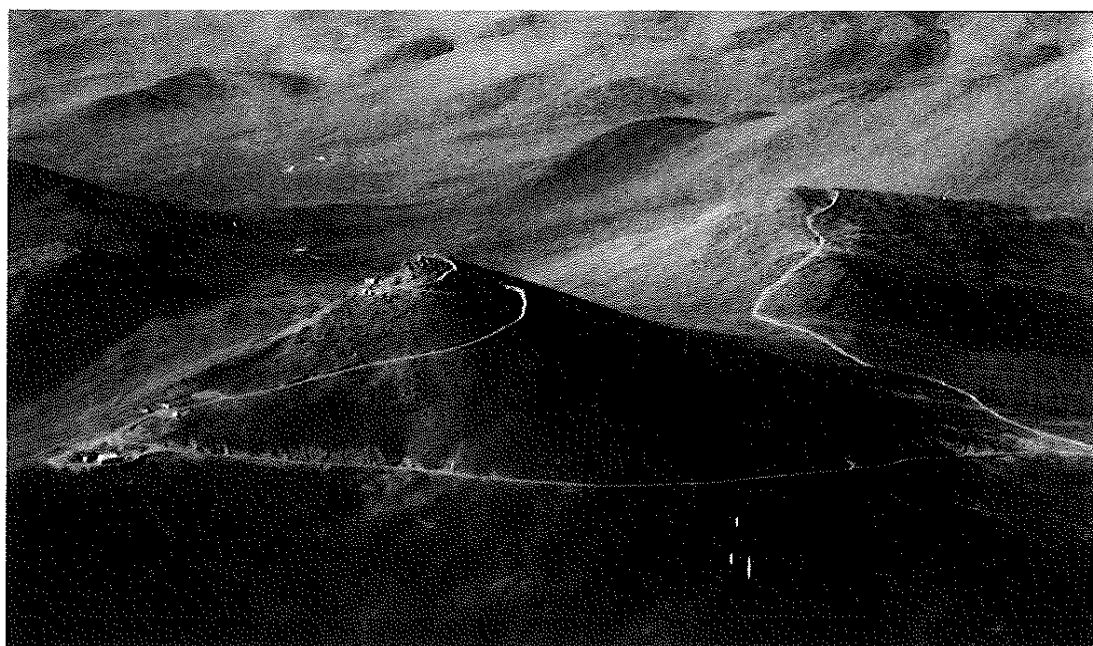
tàng. Hoạt động thực sự diễn ra ở cách xa, thường là trên các dãy núi hoang vắng hay các đỉnh núi bị cô lập ở Đại Tây Dương và Thái Bình Dương, nơi đó chúng ta tìm thấy các khu sinh hoạt, các máy tính, các cửa hàng điện tử và máy móc, và dĩ nhiên bản thân các kính viễn vọng. Ngày nay một đài thiên văn đòi hỏi một đội ngũ nhân viên trợ giúp từ 20 tới 100 người, chưa kể đến các nhà thiên văn học.

♦ CHỌN LỰA CÁC KHU VỰC QUAN SÁT TỐT NHẤT

Khả năng hoạt động của một kính viễn vọng quang học được xác định không chỉ bởi kích thước của gương mà còn bởi địa điểm của nó. Khí quyển Trái Đất, cũng rất quan trọng đối với sự sống, là nỗi đau đầu bậc nhất đối với các nhà thiên văn học quan sát. Tối thiểu có bốn

cách thức mà không khí đặt ra những hạn chế đối với sự hữu dụng của kính viễn vọng:

1. Sự hạn chế rõ rệt nhất là thời tiết – mây, gió, mưa, và tương tự như vậy. Tại những khu vực tốt nhất, thời tiết trong trẻo đến 75% thời gian.
2. Ngay cả vào đêm trời trong, bầu khí quyển lọc ra hay ngăn cản một số ánh sáng sao, đặc biệt về tia hồng ngoại, nơi mà sự hấp thụ đầu tiên là do hơi nước. Do đó các nhà thiên văn học thích các khu vực khô ráo hơn, thường tìm thấy tại những vùng cao nhất.
3. Bầu trời cũng phải là tối đen. Gần các thành phố, không khí phân tán và tỏa rắc ánh sáng của các loại đèn, tạo ra một sự chiếu sáng làm che giấu đi các ngôi sao mờ nhất và làm hạn chế các khoảng cách có thể được thăm dò bởi các kính viễn vọng. (Các nhà



Một khu vực cao và khô ráo: Cerro Paranal, một đỉnh núi cao 2,7 km so với mặt biển ở sa mạc Atacama của Chile, là địa điểm của kính viễn vọng cực lớn của Đài thiên văn Nam Âu. Bức hình này, chụp vào cuối năm 1990, trình bày các việc khởi công xây dựng và minh họa một cách sống động các nhà thiên văn học thích các khu vực cao và khô ráo hơn dành cho các thiết bị của họ.

thiên văn học gọi hiệu ứng này là ô nhiễm ánh sáng [light pollution]) Các đài thiên văn được bố trí tốt nhất tối thiểu phải cách xa thành phố lớn gần nhất một trăm dặm.

4. Cuối cùng, không khí thường không ổn định; ánh sáng đi qua không khí xáo trộn này bị nhiễu, kết quả là các hình ảnh của sao bị lu mờ. Các nhà thiên văn học gọi các hiệu ứng này là “quan sát tồi” (bad seeing). Khi sự quan sát là tồi tệ, hình ảnh của các thiên thể bị biến dạng do sự xoắn liên tục và sự uốn cong các tia sáng bởi không khí xao động.

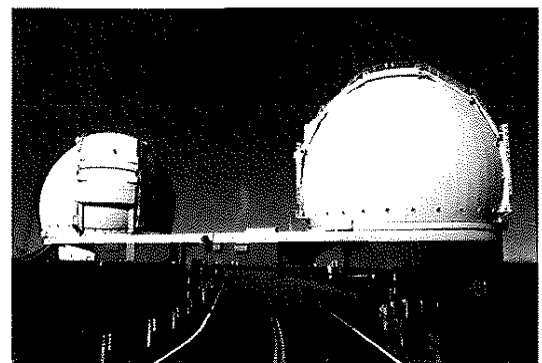
Các địa điểm tốt nhất của đài thiên văn do đó là nơi cao, tối đen và khô ráo. Các kính viễn vọng lớn nhất được tìm thấy trong những khu vực núi non hẻo lánh chẳng hạn như dãy núi Andes của Chile, các đỉnh núi hoang vắng của bang Arizona, quần đảo Canary ở Đại Tây Dương, và Mauna Kea ở Hawaii, một ngọn núi lửa đang ngủ yên cao 13.700 feet (4200 m).

♦ CÁC KÍNH VIỄN VỌNG TÂN TIẾN VÀ QUAN TRỌNG

Hầu hết các kính viễn vọng vĩ đại được xây dựng trong nửa đầu thế kỷ XX, bao gồm các kính viễn vọng 100 inches (2,5 m) và 200 inches (5 m), được chế tạo bằng ngân quỹ riêng và chỉ dành sẵn cho một nhóm nhỏ các nhà thiên văn học. Tiếp theo sự thành công của kính viễn vọng 200 inches, các nhà thiên văn học từ các viện đại học ở phía Đông và Trung Tây bắt đầu một cuộc vận động dành cho đài thiên văn quốc gia để cung cấp các phương tiện thích hợp dành cho phần còn lại của cộng đồng thiên văn

học. Hiệp hội Khoa học Quốc gia cuối cùng đồng ý, và Đài thiên văn Quốc gia Kitt Peak được xây dựng ở Arizona, với một chi nhánh được thiết lập ở dãy núi Andes của Chile để cung cấp sự tiếp cận với bầu trời phương nam. Một tập đoàn của các quốc gia châu Âu thành lập Đài thiên văn Nam Âu, cũng ở Chile. Các kính viễn vọng lớn nhất tại các đài thiên văn mới này có khẩu độ khoảng 4 mét. Tuy nhiên một kính viễn vọng còn lớn hơn (6 mét) được xây dựng bởi Liên Xô nhưng kém hiệu quả hơn nhiều vì địa điểm xấu và cả các vấn đề kỹ thuật.

Những loại nghiên cứu mà các nhà thiên văn học đang tiến hành ngày nay đòi hỏi thậm chí những “cái gàu” mức ánh sáng lớn hơn, và công việc xây dựng các kính viễn vọng đặt trên mặt đất đang diễn tiến với một nhịp độ chưa từng có tiền lệ trong suốt những năm 1990. Những kỹ thuật mới mẻ đang được áp dụng để xây dựng các thiết bị với xấp xỉ gấp hai lần khẩu độ của kính viễn vọng 200 inches, và trong một số trường hợp để tăng gấp bội công suất của chúng



Các kính viễn vọng của Keck: Đài thiên văn Keck được bố trí trên ngọn núi lửa cao và (chúng ta hy vọng rằng) đã tắt, Mauna Kea, ở Hawaii. Các mái vòm chứa các kính viễn vọng đôi 10 mét, (trong những năm 1990) là những kính viễn vọng phản xạ lớn nhất thế giới – cho tới khi những bộ phận của kính viễn vọng cực lớn ở Chile được lắp ghép. Hãy chú ý bầu trời trong bức hình này hết sức trong trẻo.

Các kính viễn vọng quang học lớn đang hoạt động

KHẨU ĐỘ (M)	TÊN KÍNH VIỄN VỌNG	ĐỊA ĐIỂM	TÌNH TRẠNG	ĐỊA CHỈ MẠNG
16,4	Very Large Telescope (bốn kính viễn vọng 8,2 mét)	Cerro Paranal, Chi Lê*	Kính viễn vọng đầu tiên, hoàn tất năm 1998	www.eso.org/vlt/
11,8	Large Binocular Telescope (hai kính viễn vọng 8,4 mét)	Núi Graham, Arizona	Ảnh sáng đầu tiên 2002–2003	medusa.as.arizona.edu/btwwww/tech/lbtbook.html
10,0	Keck 1	Mauna Kea, Hawaii	Hoàn tất 1993	astro.caltech.edu/mirror/keck/index.html
10,0	Keck 2	Mauna Kea, Hawaii	Hoàn tất 1996	astro.caltech.edu/mirror/keck/index.html
9,9	Hobby–Eberly (HET)	Núi Locke, Texas	Hoàn tất 1997	www.astro.psu.edu/het/overview.html
8,3	Subaru (Pleiades)	Mauna Kea, Hawaii	Ảnh sáng đầu tiên 1998	www.naoj.org/
8,0	Gemini (North)	Mauna Kea, Hawaii*	Ảnh sáng đầu tiên 1999	www.gemini.edu
8,0	Gemini (South)	Cerro Pachon, Chi Lê*	Ảnh sáng đầu tiên 2000	www.gemini.edu
6,5	Multi-mirror (MMT)	Núi Hopkins, Arizona	Ảnh sáng đầu tiên 1998	sculptor.as.arizona.edu.edu/foltz/www/
6,5	Magellan	Las Campanas Chi Lê	Ảnh sáng đầu tiên 1997	www.ociw.edu/~johns/magellan.html
6,0	Large Alt–Azimuth	Núi Pastukhov Nga	Hoàn tất 1976	astro.caltech.edu/observatories/
5,0	Hale	Núi Palomar, California	Hoàn tất 1948	palomar/public/index.html
4,2	William Herschel	Canary Islands Tây Ban Nha	Hoàn tất 1987	www.ast.cam.ac.uk/ING/PR/pr.html
4,2	SOAR	Cerro Pachon, Chi Lê	Ảnh sáng đầu tiên 2002	www.noao.edu/
4,0	Blanco Telescope (NOAO)	Cerro Telolo, Chi Lê*	Hoàn tất 1974	www.ctio.noao.edu/ctio.html
3,9	Anglo–Australian (AAT)	Siding Spring, Australia	Hoàn tất 1975	www.aao.gov.au/index.html
3,8	NOAO Mayall	Kitt Peak, Arizona*	Hoàn tất 1973	www.noao.edu/noao.html
3,8	United Kingdom Infrared (UKIRT)	Mauna Kea, Hawaii	Hoàn tất 1979	www.jach.hawaii.edu/UKIRT/home.html
3,6	Canada–France–Hawaii (CFHT)	Mauna Kea, Hawaii	Hoàn tất 1979	www.cfht.hawaii.edu/
3,6	ESO	Cerro La Silla, Chi Lê*	Hoàn tất 1976	www.ls.eso.org/
3,6	ESO New Technology	Cerro La Silla, Chi Lê*	Hoàn tất 1989	www.ls.eso.org/
3,5	Max Planck Institut (Viện Max Planck)	Calar Alto, Tây Ban Nha	Hoàn tất 1983	www.mpa-hd.mpg.de/CAHA/
3,5	WIYN	Kitt Peak, Arizona*	Hoàn tất 1993	www.noao.edu/wiyn/wiyn.html/
3,5	Astronomical Research Corp. (Liên Đoàn Nghiên Cứu Thiên Văn)	Đỉnh Apache, New Mexico	Hoàn tất 1993	www.apo.nmsu.edu/
3,0	Shane (Lick Observatory)	Núi Hamilton, California	Hoàn tất 1959	www.ucolick.org/
3,0	NASA Infrared (IRTF)	Mauna Kea, Hawaii	Hoàn tất 1979	irtf.ifa.hawaii.edu

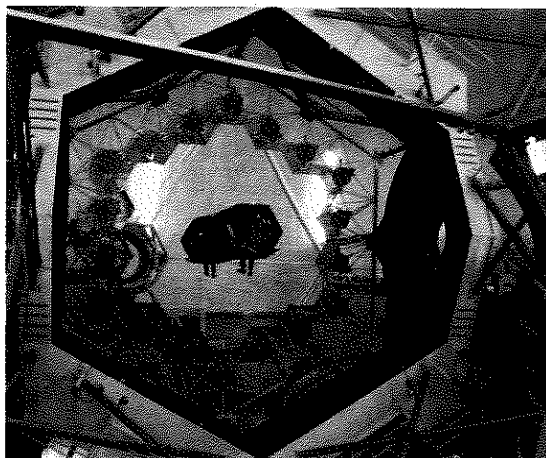
* Bộ phận của Đài thiên văn Nam Âu (ESO: European Southern Observatory)

+ Bộ phận của Đài thiên văn quang học Quốc gia Hoa Kỳ (NOAO: U.S.National Optical Astronomy Observatories)

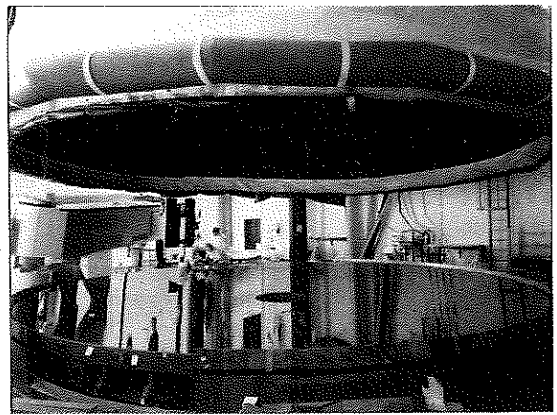
hơn nữa bằng cách tổng hợp ánh sáng từ nhiều kính viễn vọng. Những thiết bị này có các gương mỏng hơn và nhẹ hơn và kiểu dáng gọn gàng hơn.

Các kính viễn vọng ghép 10 mét trên đỉnh Mauna Kea là những kính đầu tiên trong các thiết bị kỹ thuật tân tiến. Thay vì một gương sơ cấp duy nhất đường kính 10 m, mỗi kính viễn vọng của Keck đạt được khẩu độ lớn của nó bằng cách tổng hợp ánh sáng từ 36 gương hình lục giác riêng rẽ, mỗi gương rộng 1,8 mét. Các bộ phận truyền động được điều khiển bằng máy tính liên tục điều chỉnh 36 gương sao cho toàn bộ bề mặt phản chiếu vẫn giữ đúng cấu hình hợp lý để thu gom và hội tụ ánh sáng với độ chính xác cao.

Thậm chí kính viễn vọng cực lớn (VLT) của châu Âu còn lớn hơn, bao gồm bốn kính viễn vọng 8 mét hoạt động phối hợp với nhau (và gia tăng công suất thu gom ánh sáng của gương 16,4 mét). VLT (Very Large Telescope), được bố trí trên



Ba mươi sáu còn mất tốt hơn là một: Một bức cận ảnh của gương của kính viễn vọng Keck 10 mét khi nó đang được lắp ráp. Gương hoàn tất được cấu thành từ 36 mảnh lục giác. Trong quang cảnh, 18 mảnh đã được lắp đặt. Để có một sự nhận thức về độ lớn của gương, hãy chú ý hình người đang làm việc ngay tại trung tâm của bộ phận lắp ráp gương.



Tám gương của kính viễn vọng cực lớn: Một tập đoàn các quốc gia châu Âu đang xây dựng kính viễn vọng lớn nhất của thế giới trên các dãy núi của Chile. Bốn kính viễn vọng riêng rẽ với các tám gương có đường kính 8,2 mét sẽ cùng hoạt động, tạo ra một tổng diện tích thu gom ánh sáng tương đương với diện tích của một kính viễn vọng 16 mét (đường kính). Ở đây chúng ta thấy tám gương dành cho kính viễn vọng đầu tiên vào năm 1955 trong khi thử nghiệm ở Pháp; các cuộc thử nghiệm chứng tỏ nếu tám gương được tăng lên bằng với diện tích thành phố Paris (đường kính là 165 km), độ lệch do cấu hình cần thiết của nó sẽ chỉ là khoảng 1 milimét.

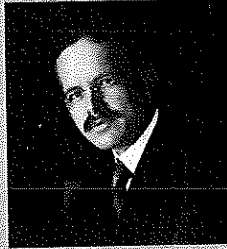
đỉnh núi cô lập ở sa mạc Atacama của Chile gọi là Cerro Paranal. Nhiều kính viễn vọng bổ sung có khẩu độ 8,2 mét được tiến hành xây dựng bởi nhiều chính phủ hay tổ hợp các viện đại học khắp trên thế giới, kể cả hai kính viễn vọng do Đài thiên văn Quốc gia Hoa Kỳ xây dựng, một cái trên đỉnh Mauna Kea, và một cái ở Chile. Mỗi thiết bị tân tiến này được thiết kế nhằm để hoạt động trong phần tia hồng ngoại cũng như phần ánh sáng thấy được của quang phổ. Các kính viễn vọng cũng sẽ được trang bị với các dụng cụ quang học thích ứng để cải thiện độ phân giải của chúng.

5.4 KÍNH VIỄN VỌNG VÔ TUYẾN

Năm 1931, khi kỹ sư Karl G. Jansky của Phòng thí nghiệm điện thoại Bell

George Ellery Hale: Nhà chế tạo kính viễn vọng bậc thầy

Tất cả các kính viễn vọng nghiên cứu quan trọng trên thế giới ngày nay được chế tạo trong vòng thế kỷ XX. Trong số các nhà chế tạo kính viễn vọng khổng lồ đầu tiên có George Ellery Hale (1868 – 1938). Không phải một lần mà là bốn lần ông đã khởi xướng các dự án dẫn đến việc xây dựng những gì vào thời gian đó là kính viễn vọng lớn nhất thế giới. Và ông là một bậc thầy về việc tìm kiếm và thuyết phục các “Mạnh Thường Quân” giàu có cam kết tài trợ công cuộc xây dựng các thiết bị tân tiến.



George Ellery Hale

Sự đào tạo và nghiên cứu ban đầu của Hale là trong ngành vật lý mặt trời. Năm 1892, vào tuổi 24, ông được bổ nhiệm là Phó giáo sư khoa Vật lý Thiên thể (Associate Professor of Astral Physics) và giám đốc đài quan sát thiên văn tại trường Đại học Chicago. Vào thời gian ấy, kính viễn vọng lớn nhất trên thế giới là kính viễn vọng khúc xạ 36 inches tại Đài thiên văn Lick gần San Jose, bang California. Lợi dụng sự trống vắng tấm gương hiện tại dành cho kính viễn vọng 40 inches, Hale tiến hành gây quỹ cho một kính viễn vọng lớn hơn kính viễn vọng tại Lick. Một nhà tài trợ tương lai, Charles T. Yerkes, là người điều hành hệ thống xe điện ở Chicago, trong số các công việc kinh doanh khác.

Hale viết thư cho Yerkes, vận động ông ta ủng hộ công cuộc xây dựng kính viễn vọng khổng lồ bằng cách nói rằng “Ông không thể có công trình kiến trúc nào bất hủ hơn nữa. Điều chắc chắn rằng, tên của Lick gần như sẽ không được biết đến rộng khắp như ngày nay, nếu nó không dành cho đài thiên văn nổi tiếng được thiết lập, như là kết quả của sự hào phóng cao cả của ông ta”. Yerkes đồng ý, và kính viễn vọng mới được hoàn tất vào tháng 5/1897; nó vẫn là kính viễn vọng khúc xạ lớn nhất trên thế giới.

Ngay trước khi hoàn thành kính viễn vọng khúc xạ Yerkes; Hale không chỉ mơ tưởng đến việc chế tạo một kính viễn vọng còn lớn hơn nữa, mà còn đang tiến hành các bước đi cụ thể để đạt được mục đích ấy. Trong những năm 1890, có một cuộc tranh luận lớn về chất lượng tương đối của kính viễn vọng khúc xạ và kính viễn vọng phản xạ.

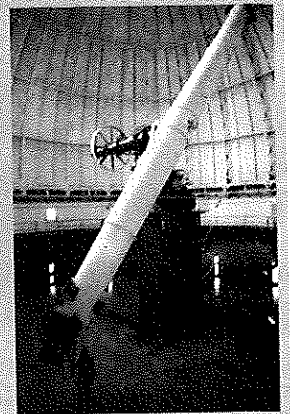
Ông đã bốn lần đề xướng các dự án dẫn đến việc xây dựng kính viễn vọng lớn nhất thế giới.

Hale nhận thức rằng 40 inches là gần sát với khẩu độ khả thi tối đa đối với kính viễn vọng khúc xạ. Nếu kính viễn vọng với các khẩu độ lớn hơn một cách đáng kể được chế tạo, thì chúng sẽ phải là các kính viễn vọng phản xạ.

Dùng ngân quỹ vay mượn được từ gia đình, Hale khởi sự xây dựng một kính viễn vọng phản xạ 60 inches. Về phần địa điểm, ông rời vùng Trung Tây để đến với các điều kiện tốt hơn nhiều trên núi Wilson, một đỉnh núi hoang sơ bên trên thành phố Los Angeles vào thời điểm đó. Năm 1904, vào tuổi 36, Hale nhận được sự tài trợ từ Hiệp hội Carnegie (Carnegie Foundation) để thiết lập Đài thiên văn Núi Wilson (Mount Wilson Observatory). Tấm gương 60 inches được đặt trên khung đỡ của nó vào tháng 12, 1908.

Hai năm trước đó, 1906, Hale đã tiếp cận được với John D. Hooker, người đã tạo lập gia sản bằng đồ ngũ kim và ống thép, với một đề nghị chế tạo một kính viễn vọng 100 inches. Những rủi ro về mặt kỹ thuật là rõ ràng. Kính viễn vọng 60 inches vẫn chưa hoàn tất, và sự thiết thực của các kính phản xạ lớn hơn dành cho thiên văn học vẫn chưa được chứng tỏ. Anh trai của George Ellery Hale gọi ông là “kẻ liều lĩnh vĩ đại nhất trên thế giới”. Một lần nữa, Hale đã thành công trong việc gây quỹ tài trợ, và kính viễn vọng 100 inches đã hoàn tất vào tháng 11, 1917. (Chính là với kính viễn vọng này Edwin Hubble đã có thể chứng minh rằng tinh vân xoắn ốc (spiral nebulae) là những hòn đảo sao riêng rẽ – hay các thiên hà – hoàn toàn tách ra khỏi Dải Ngân Hà của chúng ta).

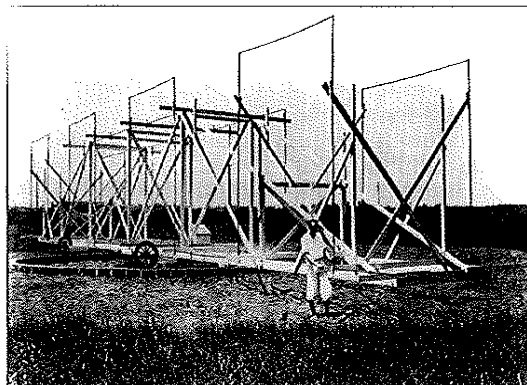
Hale vẫn chưa hết mơ ước. Năm 1926, ông viết một bài báo trên tạp chí *Harper's Magazine* nói về giá trị khoa học của một kính viễn vọng còn lớn hơn nữa. Bài báo này gây sự chú ý của Hiệp Hội Rockefeller, đã chu cấp 6 triệu USD (một số tiền rất lớn vào thời đó) để xây dựng một kính viễn vọng 200 inches. Hale chết vào năm 1938, song kính viễn vọng 200 inches (5 m) trên Núi Palomar đã được khánh thành mười năm sau đó và hiện nay được đặt tên Hale để tôn vinh ông.



Kính viễn vọng khúc xạ Yerkes, đường kính 40 inches (1 m)

đang thí nghiệm với các ăng-ten dành cho sự liên lạc vô tuyến tầm xa thì ông gặp phải một số hiện tượng nhiễu kỳ lạ – bức xạ vô tuyến xuất phát từ một nguồn chưa biết. Ông khám phá ra rằng bức xạ này trở nên mạnh nhất khoảng 4 phút sớm hơn vào mỗi ngày kế tiếp và kết luận chính xác rằng bởi vì chu kỳ quay thiên văn (hay chu kỳ xoay quanh trục) của Trái Đất ngắn hơn ngày mặt trời 4 phút, bức xạ phải đang được xuất phát từ một khu vực nào đó cố định trong thiên cầu. Nghiên cứu tiếp theo chứng tỏ rằng nguồn của bức xạ là một bộ phận của Dải Ngân Hà; Jansky đã khám phá nguồn sóng vô tuyến vũ trụ đầu tiên.

Năm 1936, Grote Reber, một nhà thiên văn học tài tử và tay chơi radio nghiệp dư, chế tạo ăng-ten đầu tiên, bằng sắt mạ kẽm và gỗ, đặc biệt nhằm thu nhận các sóng vô tuyến vũ trụ. Qua nhiều năm, Reber chế tạo nhiều loại ăng-ten như thế và sử dụng chúng để thực hiện những cuộc thăm dò bầu trời đầu tiên đối với các nguồn vô tuyến vũ trụ; ông vẫn tích cực trong thiên văn học vô tuyến trong hơn 30 năm. Trong suốt



Kính viễn vọng vô tuyến đầu tiên: Các ăng-ten vô tuyến xoay tròn được Jansky sử dụng trong cuộc khám phá cầu may về bức xạ vô tuyến từ Dải Ngân Hà (Milky Way). Vào ngày 8 tháng 6, 1998, một bức tượng tưởng niệm được đặt tại địa điểm của kính viễn vọng năm 1932 này ở Holmdel, bang New Jersey.

thập niên đầu tiên, ông thực sự làm việc một mình, bởi vì các nhà thiên văn học chuyên nghiệp chưa nhận thức được tiềm năng bao la của thiên văn học vô tuyến.

♦ SỰ THEO DÕI NĂNG LƯỢNG VÔ TUYẾN TỪ KHÔNG GIAN

Điều quan trọng là phải hiểu rằng sóng vô tuyến không thể “nghe” được: Chúng không phải là các sóng âm thanh bạn nghe phát ra từ máy thu thanh. Giống như ánh sáng, các sóng vô tuyến là một dạng của bức xạ điện từ, tuy nhiên khác với ánh sáng ở chỗ, chúng ta không thể phát hiện ra chúng bằng các giác quan – chúng ta phải dựa vào thiết bị điện tử để “bắt” hay dò được chúng. Trong việc phát thanh thương mại, chúng ta mã hoá thông tin âm thanh thành các sóng vô tuyến, chúng phải được giải mã ở đầu kia và chuyển đổi trở lại thành âm thanh qua loa hay ống nghe. Có hai phương cách quen thuộc là để biến điệu (mã hoá thông tin) sóng vô tuyến: bằng cách thay đổi biên độ của các sóng, gọi là sự biến điệu biên độ (amplitude modulation) hay sóng vô tuyến AM, và bằng cách thay đổi tần số của sóng, gọi là biến điệu tần số (frequency modulation) hay sóng FM.

Các sóng vô tuyến chúng ta tiếp nhận từ không gian, dĩ nhiên, không có âm nhạc hay chương trình thông tin khác được mã hoá trong chúng (tuy nhiên các nhà thiên văn học sẽ thích dò được một chương trình phát thanh radio từ một nền văn minh xa xôi nào đó). Nếu các tín hiệu vô tuyến vũ trụ được chuyển thành âm thanh, chúng sẽ như sự nhiễu âm mà bạn nghe khi vặn đĩa số giữa các đài. Tuy nhiên, có thông tin trong các sóng vô tuyến chúng ta thu nhận – các thông tin đó có thể cho chúng ta biết về

điều kiện hoá học và vật lý trong các nguồn của sóng.

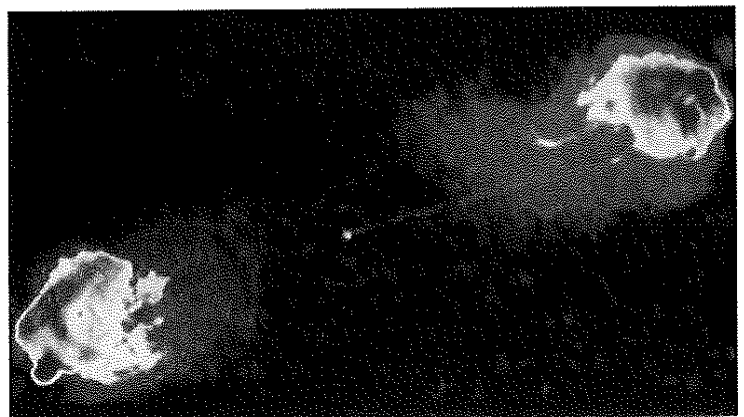
Giống như sự rung động các hạt mang điện có thể tạo ra các sóng điện từ, các sóng điện từ có thể làm cho các hạt mang điện di chuyển lên xuống. Sóng vô tuyến có thể tạo ra một dòng điện trong các chất dẫn điện chẳng hạn như kim loại. Một ăng-ten là một chất dẫn điện như thế: Nó thu nhận các sóng vô tuyến, các sóng này tạo ra một dòng điện yếu trong nó. Dòng điện sau đó được khuếch đại trong một máy thu vô tuyến cho tới khi nó đủ mạnh để đo đạc hay ghi chép. Giống như máy thu hình và thu thanh của bạn, các máy tiếp nhận có thể được điều chỉnh để chọn một tần số duy nhất (kênh). Tuy nhiên, ngày nay, trong thiên văn học, việc sử dụng các kỹ thuật xử lý dữ liệu tinh vi phức tạp cho phép phát hiện hàng ngàn dãy tần số riêng biệt cùng một lúc là phổ biến hơn. Do đó, thiết bị thu vô tuyến vũ trụ hoạt động rất giống một phổ kế trên kính viễn vọng quang học, cung cấp thông tin về việc bao nhiêu bức xạ chúng ta nhận được với mỗi bước sóng hay mỗi tần số. Sau khi xử lý bằng máy tính, các tín hiệu vô tuyến được lưu trữ trên các đĩa từ để phân tích kỹ hơn nữa về sau.

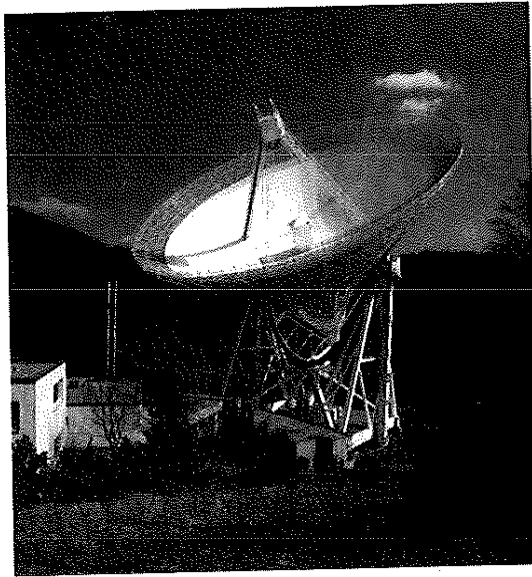
◇ KÍNH VIỄN VỌNG VÔ TUYẾN

Các sóng vô tuyến bị phản xạ bởi bề mặt dẫn điện giống như ánh sáng bị phản chiếu từ bề mặt kim loại bóng loáng, và tuân theo cùng các định luật quang học. Kính viễn vọng phản xạ vô tuyến bao gồm một kính phản xạ lõm bằng kim loại (gọi là đĩa), tương tự như tấm gương của kính viễn vọng. Sóng vô tuyến được thu gom bởi đĩa được phản xạ tới một tiêu điểm, ở đó kế tiếp chúng có thể được hướng tới một máy thu và được phân tích. Bởi vì con người là những sinh vật nhìn thấy bằng mắt, các nhà thiên văn học vô tuyến thường tạo dựng một biểu tượng hình ảnh (hình tượng) về các nguồn vô tuyến mà họ quan sát. Hình dưới mô tả một hình ảnh vô tuyến như thế của một thiên hà xoắn ốc, nơi các kính viễn vọng vô tuyến làm lộ ra các tia khổng lồ và các vùng của bức xạ vô tuyến hoàn toàn không thể nhìn thấy được trong các bức ảnh chụp bằng ánh sáng.

Thiên văn học vô tuyến là một lãnh vực còn non trẻ so với thiên văn học quang học, song nó đã có sự phát triển lớn mạnh trong các thập niên gần đây. Vài quốc gia thiếu các địa điểm chất lượng cao dành cho các kính viễn vọng

Một ảnh vô tuyến: Bức ảnh này đã được tạo ra bởi các cuộc quan sát vô tuyến của một thiên hà gọi là Cygnus A. Các màu sắc đã được thêm vào để giúp mắt phân biệt các vùng của cường độ vô tuyến khác nhau. Thiên hà thấy được sẽ là một chấm ở giữa bức hình. Ảnh vô tuyến để lộ các tia vật chất bắn ra (dài hơn 160.000 năm ánh sáng) ở cả hai bên của thiên hà.





Đĩa vô tuyến lớn: Kính viễn vọng vô tuyến 100 mét gần Bonn, Đức.

quang học, thay vào đó họ đã quyết định tập trung các nỗ lực thiên văn học của họ vào bộ phận vô tuyến của quang phổ; các quốc gia này gồm có Hà Lan, Anh, Đức, và Nhật. Các kính viễn vọng phản xạ vô tuyến lớn nhất thế giới có thể được hướng tới bất kỳ hướng nào có khẩu độ 100 mét. Một trong các kính viễn vọng này đặt tại Viện thiên văn học vô tuyến Max Plank, tọa lạc gần Bonn, Đức; một cái khác đặt tại Đài thiên văn vô tuyến Quốc gia Hoa Kỳ ở Tây Virginia.

♦ PHÉP ĐO GIAO THOA VÔ TUYẾN

Như chúng ta đã bàn luận trước đây, khả năng của một kính viễn vọng cho chúng ta thấy những chi tiết tinh tế (độ phân giải) tùy thuộc vào khẩu độ, tuy nhiên nó cũng phụ thuộc bước sóng của bức xạ mà kính viễn vọng thu thập được. Sóng càng dài, càng khó phân giải các chi tiết nhỏ trong các ảnh hay sơ đồ chúng ta tạo ra. Bởi vì các sóng vô tuyến có bước sóng dài như vậy, chúng đề ra các thách thức to lớn đối với các nhà thiên văn học,

họ cần có độ phân giải chính xác và thích hợp. Thực vậy, ngay cả những đĩa vô tuyến lớn nhất trên Trái Đất – hoạt động độc lập – không thể tạo ra nhiều chi tiết như kính viễn vọng quang học nhỏ tiêu biểu được dùng trong một phòng thí nghiệm thiên văn học của trường đại học. Để vượt qua trở ngại này, các nhà thiên văn học vô tuyến đã biết làm rõ hình ảnh của họ bằng cách kết nối hai hay nhiều kính viễn vọng vô tuyến về mặt điện tử.

Các kính viễn vọng được nối kết với nhau theo phương cách này được gọi là một giao thoa kế (interferometer). Đây có thể dường như là một thuật ngữ xa lạ, bởi vì các kính viễn vọng trong một giao thoa kế hoạt động phối hợp với nhau; chúng không gây nhiễu lẫn nhau. Tuy nhiên, sự giao thoa là một thuật ngữ kỹ thuật dành cho cách thức mà các sóng đi vào các thiết bị của chúng ta với các thời gian hơi khác nhau tương tác với nhau, và sự tương tác này giúp cho chúng ta thu được nhiều chi tiết hơn từ các cuộc quan sát. Độ phân giải của một giao thoa kế phụ thuộc vào khoảng cách của các kính viễn vọng, chứ không phải dựa vào khẩu độ riêng biệt của chúng. Hai kính viễn vọng cách nhau 1km cung cấp cùng một độ phân giải như một đĩa duy nhất có đường kính 1km (dù cho chúng không thể, dĩ nhiên, thu nhận được nhiều bức xạ như một cái “gàu múc” sóng vô tuyến đường kính 1km).

Thậm chí để có được độ phân giải tốt hơn, các nhà thiên văn học kết hợp nhiều đĩa vô tuyến lại thành một dãy giao thoa kế (interferometer array). Một dãy như thế hoạt động như nhiều giao thoa kế hai đĩa, tất cả đều quan sát cùng một bộ phận bầu trời. Việc xử lý các kết quả bằng máy tính cho phép tái hiện lại hình ảnh vô

Các đài thiên văn vô tuyến quan trọng của thế giới

DÀI THIÊN VĂN	VỊ TRÍ	MÔ TẢ	ĐỊA CHỈ TRANG WEB
Các đĩa vô tuyến riêng biệt			
Kính Viễn Vọng Arecibo (Trung tâm thiên văn học và tầng điện ly quốc gia)	Arecibo, Puerto Rico	Đĩa cố định 305 m	www.naic.edu
Kính Viễn Vọng Green-bank (NRAO)*	Green Bank, Tây Virginia	Đĩa xoay chuyển 100 x 100 m	www.gb.nrao.edu/GBT/GBT.html
Kính Viễn Vọng Effelsberg (Viện thiên văn học vô tuyến Max Plank)	Bonn, Đức	Đĩa xoay chuyển 100 m	www.mpifr.bonn.mpg.de/effberg.html
Kính Viễn Vọng Lovell (Đài thiên văn vô tuyến Jodrell Bank)	Manchester, Anh	Đĩa xoay chuyển 76 m	www.jb.man.ac.uk/
Trạm Theo Dõi Goldstone (NASA/JPL)*	Barstow, California	Đĩa xoay chuyển 70 m	gts.gdsc.nasa.gov/
Trạm Theo Dõi Australia (NASA/JPL)*	Tidbinbilla, Australia	Đĩa xoay chuyển 70 m	lid.cdscc.nasa.gov/
Đài Thiên Văn Vô Tuyến Parkes	Parkes, Australia	Đĩa xoay chuyển 64 m	www.parkes.antf.csiro.au/
Các dây đĩa vô tuyến			
Kính Viễn Vọng Australia	Vài địa điểm ở Australia	Dây 8 phần tử (7 đĩa 22m cộng với đĩa Parkes 64 m)	www.atnf.csiro.au/
MERLIN* (Mạng giao thoa vô tuyến đa phần tử)	Cambridge, Anh và các địa điểm khác ở Anh quốc	Mạng lưới của 7 đĩa (đĩa lớn nhất là 32 m)	www.jb.man.ac.uk/merlin/
Đài Thiên Văn Vô Tuyến Westerbork	Westerbork, Hòa Lan	Dây 12 phần tử đĩa 25 m (đường biên 1,6 km)	www.nfra.nl/wsr/
Dây Cực Lớn (NRAO)*	Socorro, New Mexico	Dây 27 phần tử đĩa 25 m (đường biên 36 km)	www.nrao.edu/docvla/html/VLAhome.shtml
Dây Đường Biên Cực Dài (NRAO)*	Mười địa điểm ở Hoa Kỳ, từ Hawaii tới Virgin Islands	Dây 10 phần tử đĩa 25 mét (đường biên 9000 km)	www.nrao.edu/doc/vlba/html/VLBA.html
Chương Trình Quan Sát Không Gian Bằng Giao Thoa Kế Cực Dài (VSOP)*	Kết nối một vệ tinh với mạng lưới trên Trái Đất	Đĩa 8 m của HALCA* của Nhật trên quỹ đạo và gần 40 đĩa trên Trái Đất	sgra.jpl.nasa.gov/
Các kính viễn vọng sóng milimét			
IRAM*	Granada, Tây Ban Nha	Đĩa sóng-milimét xoay chuyển 30 m	iram.fr/
Kính Viễn Vọng James Clerk Maxwell	Mauna Kea, Hawaii	Đĩa sóng-milimét xoay chuyển 15 m	www.jach.hawaii.edu/JCMT/pages/intro.html
Đài Thiên Văn Vô Tuyến Vũ Trụ Nobeyama	Minamimaki-Mura, Nhật	Dây 6 phần tử đĩa sóng-milimét 10 mét	www.nro.nao.ac.jp/~nma/index-e.html
Đài Thiên Văn Vô Tuyến Hat Creek (Đại học California)	Cassel, California	Dây 6 phần tử đĩa sóng-milimét 5 mét	bima.astro.umd.edu/bima

Chú thích:

NAIC: National Astronomy & Ionospheric Center (Trung tâm Thiên văn học và Tầng điện ly Quốc gia)

NRAO: National Radio Astronomy Observatory (Đài thiên văn vô tuyến Quốc gia)

VSOP: Very-Long-Baseline-Interferometry Space Observatory Program (Chương trình Đài quan sát không gian bằng phép giao thoa đường biên cực lớn)

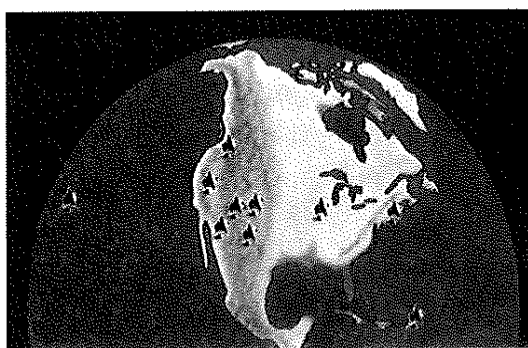
NASA: National Aeronautics and Space Agency (Cơ quan Hàng không và Vũ trụ Quốc gia)

JPL: Jet Propulsion Laboratory (Phòng thí nghiệm Xung phản lực)

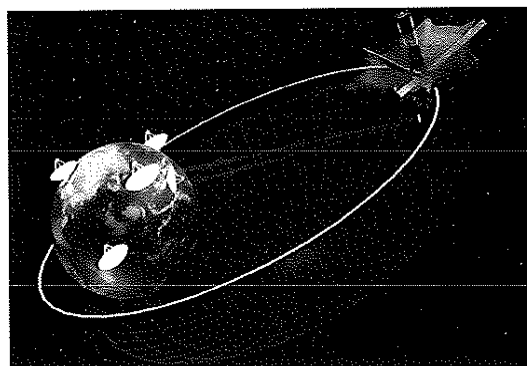
MERLIN: Multi Element Radio-linked Interferometer Network (Mạng giao thoa vô tuyến đa phần tử)

tuyến có độ phân giải cao. Thiết bị như thế mạnh nhất là là Dây Cực Lớn (VLA) của Đài thiên văn vô tuyến Quốc gia gần Socorro, New Mexico. Nó bao gồm 27 kính viễn vọng vô tuyến di chuyển được, mỗi cái có khẩu độ 25 mét, trải rộng ra một chiều dài tổng cộng khoảng 36 km. Do sự tổng hợp các tín hiệu từ tất cả kính viễn vọng riêng rẽ của nó bằng kỹ thuật điện tử, dây này cho phép nhà thiên văn học vô tuyến hình thành các hình ảnh của bầu trời với các bước sóng vô tuyến có thể sánh ngang với những hình ảnh đạt được bằng một kính viễn vọng quang học, với độ phân giải khoảng 1 arcsec.

Ban đầu, các dây giao thoa kế bị giới hạn về kích thước do yêu cầu đòi hỏi rằng tất cả các đĩa phải được nối kết với nhau chính xác. Kích thước tối đa do đó chỉ chừng một vài chục cây số. Tuy nhiên, các khoảng cách lớn hơn của giao thoa kế có thể đạt được nếu các kính viễn vọng không bắt buộc có một sự nối kết vật lý. Các nhà thiên văn học đã biết ghi nhận bức xạ xuất phát từ không gian rất chính xác với mỗi kính viễn vọng và tổng hợp các dữ liệu sau đó. Nếu các kính viễn vọng cách xa nhau như California và Australia, hay như Tây Virginia và Crimea ở Ukraine, độ phân giải từ đó



Dây đường biên cực dài: Một bản đồ mô tả sự phân bố của mười ăng-ten tạo thành một dây hay các kính viễn vọng vô tuyến trải dài ngang qua Hoa Kỳ.



Đài quan sát không gian bằng phép đo giao thoa đường biên cực dài: Bức vẽ này mô tả Phòng thí nghiệm tiên tiến dành cho viễn thông và thiên văn học (HALCA) của Nhật Bản, vệ tinh quay quanh Trái Đất mỗi 6,3 giờ đồng hồ và có một kính viễn vọng phản xạ vô tuyến trên vệ tinh. Được nối kết với một dây các đĩa vô tuyến trên Trái Đất, nó cung cấp cho các nhà thiên văn học vô tuyến với độ phân giải tương đương với việc có một kính viễn vọng lớn hơn toàn bộ hành tinh chúng ta. Với độ phân giải của các kính viễn vọng liên kết, bạn sẽ có thể nhận ra một hạt gạo ở Tokyo từ Los Angeles.

vượt qua xa độ phân giải của kính viễn vọng quang học.

Hoa Kỳ vận hành Dây Đường Biên Cực Dài (VLBA: Very Long Baseline Array), cấu thành từ mười kính viễn vọng riêng rẽ trải dài từ Virgin Islands đến Hawaii. VLBA, hoàn thành năm 1993, có thể hình thành các ảnh thiên văn với độ phân giải 0,0001 arcsec, cho phép những đặc điểm nhỏ như 10AU (10 đơn vị thiên văn) để được phân biệt tại trung tâm của Dải Ngân Hà. Khi VLBA được sử dụng trong sự liên kết với một kính viễn vọng vô tuyến của Nhật Bản trong không gian, kích thước của dây vượt rộng ra ngoài kích thước của chính bản thân hành tinh.

❖ THIÊN VĂN HỌC RADAR

Radar là kỹ thuật phát truyền các sóng vô tuyến tới một vật thể trong hệ mặt trời và sau đó theo dõi bức xạ vô tuyến mà mục tiêu phản xạ trở lại. Thời

gian cần thiết cho chuyến đi khứ hồi có thể được đo đạc bằng kỹ thuật điện tử với độ chính xác cao. Bởi vì chúng ta biết được tốc độ các sóng vô tuyến di chuyển (tốc độ của ánh sáng), chúng ta có thể xác định khoảng cách tới vật thể hay một đặc điểm riêng trên bề mặt của nó (chẳng hạn như một ngọn núi).

Các cuộc quan sát về Mặt Trăng và các hành tinh bằng radar đã mang về sự hiểu biết tốt nhất của chúng ta về khoảng cách tới các thế giới và đóng vai trò quan trọng trong việc định hướng phi thuyền xuyên qua hệ mặt trời. Hơn nữa, như sẽ được bàn luận trong các chương sau, các cuộc quan sát bằng radar đã xác định các chu kỳ tự xoay tròn của Kim Tinh và Thủy Tinh, thăm dò các tiểu hành tinh gần Trái Đất, và cho phép chúng ta nghiên cứu bề mặt của Thủy Tinh, Kim Tinh, Hỏa Tinh, và các vệ tinh lớn của Mộc Tinh.

Bất cứ đĩa vô tuyến nào cũng có thể được sử dụng như một kính viễn vọng radar nếu nó được trang bị với một máy phát mạnh cũng như một máy thu. Thiết bị độc đáo nhất trên thế giới đối với thiên văn học radar là kính viễn vọng 1000 feet (305 m) tại Arecibo ở Puerto Rico.



Đĩa vô tuyến và radar lớn nhất: Đài thiên văn Arecibo, với đĩa vô tuyến 1000 feet (305 m) của nó lắp đầy thung lũng ở Puerto Rico, là một bộ phận của Trung tâm Thiên văn học và Tầng điện ly Quốc gia, được điều hành bởi Viện đại học Cornell theo một thỏa thuận hợp tác với Hiệp hội Khoa học Quốc gia.

Kính viễn vọng Arecibo quá lớn cho nên khó có thể hướng thẳng về phía các phần khác nhau của bầu trời. Thay vào đó, nó được xây dựng trong một cái “chén” hay lòng chảo thiên nhiên khổng lồ được hình thành bởi vài ngọn đồi, và được lót bằng những tấm kim loại phản xạ. Một khả năng theo dõi các nguồn vũ trụ bị hạn chế đã gặt hái thành công bằng cách di chuyển hệ thống máy thu, được treo lơ lửng trên các dây cáp cao 100 m bên trên bề mặt của lòng chảo.

5.5 CÁC CUỘC QUAN SÁT BÊN NGOÀI KHÍ QUYỂN TRÁI ĐẤT

Khí quyển của Trái Đất ngăn chặn hầu hết các bức xạ có bước sóng ngắn hơn ánh sáng thấy được, do vậy chúng ta có thể chỉ thực hiện các cuộc quan sát tia cực tím, tia X, và tia gamma từ không gian. Vượt lên khỏi những hiệu ứng làm biến dạng của khí quyển cũng là một lợi thế đối với các bước sóng thấy được và hồng ngoại. Các vì sao không nhấp nháy trong không gian, do đó số lượng chi tiết bạn có thể quan sát chỉ bị giới hạn bởi kích thước của thiết bị. Mặt khác, sự tổn hao rất nhiều chi phí để đặt các kính viễn vọng vào không gian và để sửa chữa có thể đặt ra một thách thức quan trọng. Đây là lý do tại sao các nhà thiên văn học tiếp tục xây dựng các kính viễn vọng cho việc sử dụng trên mặt đất cũng như để phóng vào không gian.

♦ KÍNH VIỄN VỌNG HỒNG NGOẠI TRÊN MÁY BAY VÀ TRONG KHÔNG GIAN

Hơi nước, nguồn gây nhiễu chính của khí quyển đối với việc thực hiện các cuộc quan sát tia hồng ngoại, được tập trung ở

phần thấp hơn của khí quyển Trái Đất. Vì nguyên do này, sự tăng thêm thậm chí một vài trăm mét về độ cao có thể tạo ra một sự khác biệt lớn lao về chất lượng của một địa điểm của đài quan sát.

Căn cứ vào những sự hạn chế của các ngọn núi cao, phần lớn chúng đều thu hút những đám mây và các cơn bão dữ dội, sự nghiên cứu khả năng của việc quan sát các sóng hồng ngoại từ các phi cơ và sau cùng từ không gian đối với các nhà thiên văn học là lẽ đương nhiên.

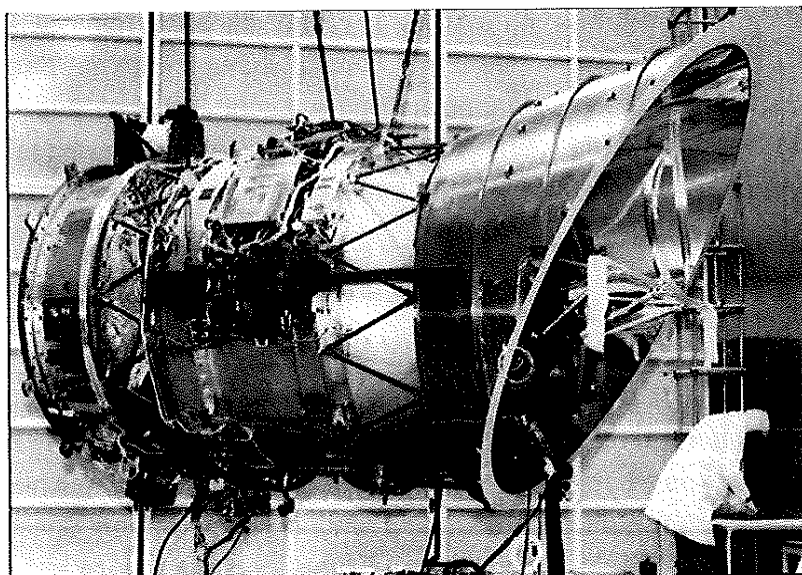
Các cuộc quan sát tia hồng ngoại từ máy bay đã được thực hiện kể từ những năm 1960, khởi đầu với một kính viễn vọng 15 cm trên máy bay Learjet. Từ 1974 tới 1995, NASA (Cơ quan Hàng không và Vũ trụ Quốc gia) vận hành một kính viễn vọng 0,9 m gắn trên phi cơ bay thường xuyên cách xa Trung tâm Nghiên cứu Ames phía nam San Francisco.

Quan sát từ một độ cao 12 km, kính viễn vọng đã nằm bên trên 99% hơi nước của khí quyển. NASA hiện nay đang xây dựng (trong sự cộng tác với Đức) một kính viễn vọng lớn hơn nhiều có đường kính 2,5 m, gọi là Đài quan

sát tầng bình lưu dành cho thiên văn học hồng ngoại (SOFIA: Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy), được chở trên một máy bay Boeing 747 cải tiến.

Ngay việc lên cao hơn và việc thực hiện các cuộc quan sát từ không gian tự nó có những ưu thế quan trọng cho thiên văn học hồng ngoại. Thứ nhất là sự hạn chế được mọi sự nhiễu loạn từ khí quyển. Điều quan trọng tương đương là cơ hội để làm mát toàn bộ hệ thống quang học của kính viễn vọng để gần như hạn chế bức xạ hồng ngoại cũng từ nguồn này. Nếu chúng ta thử làm mát kính viễn vọng trong bầu khí quyển, nó sẽ nhanh chóng bị phủ một lớp hơi nước và các chất khí khác ngưng tụ lại, khiến cho nó không có hiệu quả. Chỉ có trong khoảng chân không của không gian, các bộ phận quang học mới có thể được làm lạnh tới hàng trăm độ dưới điểm đông và vẫn còn hoạt động hiệu quả.

Đài quan sát hồng ngoại trên quỹ đạo đầu tiên, được phóng vào năm 1983, là Vệ tinh thiên văn hồng ngoại (IRAS: Infrared Astronomical Satellite), được



IRAS: Vệ tinh thiên văn hồng ngoại, một dự án liên hợp của NASA, Hà Lan, và Anh. Ở đây phi thuyền đang được thử nghiệm trước khi phóng đi vào năm 1983.

Một số đài quan sát trong không gian

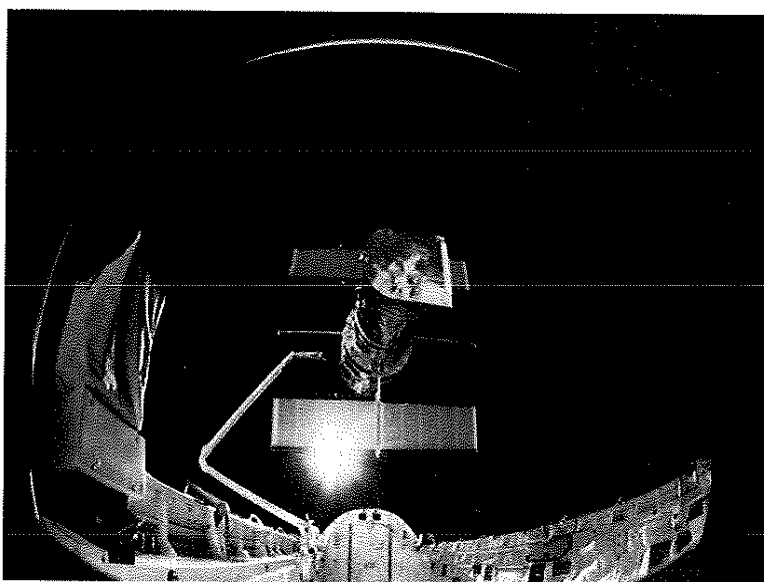
ĐÀI QUAN SÁT	NGÀY HOẠT ĐỘNG	DÂY QUANGPHỔ	GHI CHÚ	TRANG WEB
Einstein (HEAO-2)	1978–1981	Tia X	Đầu tiên để chụp ảnh tia X	heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/heasarc/missions/heao2.html
International UV Explorer (IUE)	1978–1996	Tia cực tím	Phổ học tia cực tím	www.vilspa.esa.es/iue/iue.html
Infrared Astron. Satellite (IRAS)	1983–1984	Tia hồng ngoại	Vẽ bản đồ 250.000 nguồn	www.ipac.caltech.edu/ipac/iras/iras.html
Hipparcos	1989–1993	Quang học	Đo đạc hơn 100.000 vị trí chính xác	astro.estec.esa.nl/SA-general/Projects/Hipparcos/hipparcos.html
COBE	1989–	Tia hồng ngoại, Mm	Quan sát bức xạ nền 3 bậc	
Compton Gamma-Ray Observatory	1990–	Tia Gamma	Các nguồn và phổ tia gamma	www.gsfc.nasa.gov/astro/cobe/
Hubble Space Observ. (HST)	1990–	Quang học tia cực tím, hồng ngoại	Gương 2,4 mét; hình ảnh và quang phổ	ed_resources.html
Rosat	1990–1998	Tia X	Các hình ảnh và phổ tia X	cossc.gsfc.nasa.gov/cossc/cgro.html
Infrared Space Observ. (ISO)	1995–1998	Tia hồng ngoại	Các ảnh và phổ hồng ngoại	oposite.stsci.edu/wave.xray.mpe.mpg.de/rosat
Rossi X-Ray Timing Explorer	1995–	Tia X	Sự biến thiên của các nguồn tia X	isowww.estec.esa.nl/
BeppoSAX	1996–	Tia X	Quan sát vùng phổ rộng	heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/xte/XTE.html
HALCA	1997	Sóng Vô tuyến	Đĩa vô tuyến 8 mét, hình thành một dãy với các đĩa trên mặt đất	www.sdc.asi.it
FUSE	1998–	Tia cực tím	Quang phổ học cực tím xa	fuse.pha.jhu.edu/
Chandra X-Ray Astronomy Facility	2000–	Tia X	Các ảnh và phổ tia X	xrtpub.harvard.edu/
Stratospheric Obs. For IR Astron. (SOFIA)	2002–	Tia hồng ngoại	Kính viễn vọng hồng ngoại 2,5 mét trên máy bay	sofia.arc.nasa.gov/

chế tạo như một dự án liên hợp giữa Hoa Kỳ, Hà Lan, và Anh. IRAS được trang bị với một kính viễn vọng 0,6 m làm lạnh tới nhiệt độ thấp hơn 10 K. Trong lần đầu tiên, bầu trời hồng ngoại có thể được nhìn thấy như thể nó là ban đêm, đúng hơn là qua một cận cảnh sáng chói của sự phát xạ khí quyển và của kính viễn vọng. IRAS thực hiện một cuộc thăm dò nhanh chóng nhưng toàn diện về toàn bộ bầu trời hồng ngoại trải qua một chu kỳ mười tháng, phân loại thành mục lục hơn 250.000 nguồn bức xạ hồng ngoại. Từ đó về sau, hai kính viễn vọng hồng ngoại khác đã hoạt động trên quỹ đạo Trái Đất, có khẩu độ tương đương với hệ

thống IRAS đầu tiên, nhưng với độ nhạy và độ phân giải lớn hơn nhiều do các cải tiến trong các máy dò hồng ngoại. Cả NASA và Cơ quan Không gian Nhật Bản (Japanese Space Agency) lên kế hoạch cho những kính viễn vọng hồng ngoại tiên tiến vào đầu thế kỷ sau.

✧ KÍNH VIỄN VỌNG KHÔNG GIAN HUBBLE

Vào tháng 4/1990, một sự nhảy vọt vĩ đại về phía trước (hay chúng ta có thể nói là nhảy vọt lên trên) trong thiên văn học được thực hiện với cuộc phóng Kính không gian Hubble (HST: Hubble Space Telescope). Kính viễn vọng này có khẩu



Phóng kính Hubble: Kính viễn vọng không gian Hubble đang được phóng vào tháng 4/1990 từ phi thuyền con thoi Discovery. Cánh tay robot, hay Hệ thống tự hành từ xa (Remote Manipulator System), được nhà thiên văn học Steven Hawley điều khiển trong sự kiện lịch sử này. Bức ảnh được chụp bằng hệ thống máy ảnh đặc biệt 70 ly IMAX. Bạn có thể thấy ánh sáng của Trái Đất phản xạ từ cái nắp đã đóng của kính viễn vọng. Những tấm panen màu cam là các dây pin mặt trời, thu hút ánh sáng của Mặt Trời để cung cấp năng lượng cho các thiết bị.

độ 2,4 m, là kính lớn nhất đưa vào không gian từ trước đến nay. (Khẩu độ của nó bị giới hạn bởi kích thước của khoang chứa dụng cụ trong phi thuyền con thoi, là tàu phóng của nó). Nó được đặt tên theo Edwin Hubble, nhà thiên văn học khám phá sự giãn nở của vũ trụ trong những năm 1920.

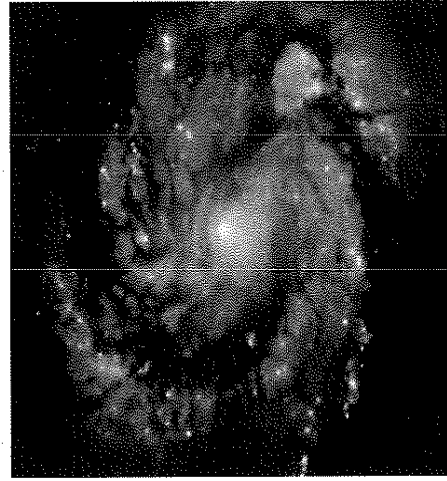
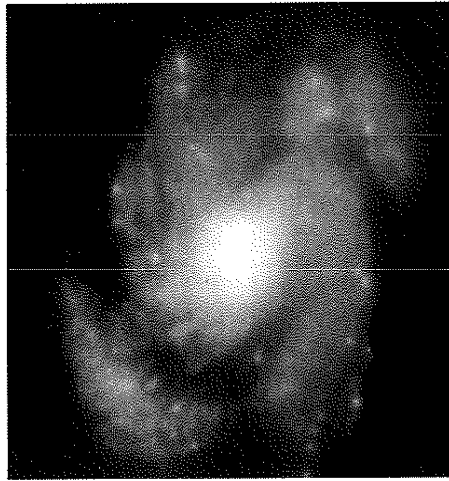
HST (Kính không gian Hubble) được hợp tác điều khiển bởi Trung tâm bay vào không gian Goddard (Goddard Space Flight Center) của NASA và Viện khoa học Kính viễn vọng không gian (Space Telescope Science Institute) ở Baltimore. Nó là đài quan sát trên quỹ đạo đầu tiên thiết kế nhằm được các phi hành gia của phi thuyền con thoi sửa chữa bảo quản, và những cuộc viếng thăm của họ vào năm 1993, 1997, và 1999 đã mang đến những sự cải tiến và thay thế những thiết bị ban đầu của nó.

Tấm gương của HST được mài và đánh bóng tới một mức độ hết sức chính xác. Nếu chúng ta có thể tăng tấm gương của nó lớn bằng kích thước của toàn bộ lục địa Hoa Kỳ, sẽ không có ngọn đồi hay thung lũng nào rộng hơn khoảng 6

cm trên bề mặt bóng láng của nó. Rủi thay, sau khi nó được phóng đi, các nhà khoa học khám phá ra rằng tấm gương sơ cấp có một lỗi nhỏ trong cấu hình tương đương khoảng 1/50 bề ngang của sợi tóc người, nhưng đủ để bảo đảm rằng rất nhiều ánh sáng đi vào kính viễn vọng không tới được một tiêu điểm chính xác và tất cả các hình ảnh đều bị nhòe. Một cuộc kiểm nghiệm toàn diện về hệ thống quang học đã không được tiến hành trước khi phóng, do vậy sai sót ấy đã không được phát hiện cho tới khi HST đã nằm trên quỹ đạo.

Giải pháp cho vấn đề là làm một điều gì đó rất giống với những gì chúng ta làm cho các sinh viên thiên văn học với thị lực bị mờ: đặt các dụng cụ quang học hiệu chỉnh ở trước đôi mắt họ. Vào tháng 12/1993, bằng một trong những sứ mạng hấp dẫn nhất và khó khăn nhất đã từng bay, các phi hành gia tóm được kính viễn vọng trên quỹ đạo và mang nó trở vào khoang chứa dụng cụ của phi thuyền con thoi.

Ở đó, họ lắp đặt một cấu kiện bao gồm các dụng cụ quang học điều chỉnh



Làm rõ thị lực của Hubble: Sự tiến bộ trong các hình ảnh của kính Hubble sau khi sứ mạng tu sửa hoàn tất. Cả hai tấm ảnh mô tả các vùng trung tâm của thiên hà M100.

cũng như một máy ảnh mới cải tiến trước khi đưa kính không gian Hubble trở lại quỹ đạo. Hình trên mô tả sự cải thiện về độ rõ nét của hình ảnh được gửi về Trái Đất.

Giờ đây nó đã được tân trang, HST là thiết bị thiên văn hàng đầu trên thế giới, được hàng trăm nhà thiên văn học khắp hoàn cầu sử dụng. Nó cũng đắt tiền nhất, với chi phí vận hành hàng năm vào khoảng 250 triệu USD, nhiều gấp mười lần bất kỳ kính viễn vọng nào đặt trên trái đất. Thành công vĩ đại của nó đã thúc đẩy NASA vạch kế hoạch cho một kính kế tiếp lớn hơn, gọi là Kính Không Gian Thế Hệ Mới (NGST: *Next Generation Space Telescope*).

♦ CÁC ĐÀI QUAN SÁT NĂNG LƯỢNG CAO

Những cuộc quan sát tia cực tím, tia X, và tia gamma chỉ có thể được thực hiện từ không gian. Trước tiên, những cuộc quan sát như thế trở thành khả thi vào năm 1946, với các hỏa tiễn V₂ tịch thu được từ người Đức. Viện Thí nghiệm Nghiên cứu Hải quân Hoa Kỳ (U.S. Naval

Research Laboratory) đặt những thiết bị trên các hỏa tiễn này dành cho một loạt các chuyến bay tiên phong, ban đầu được sử dụng để dò ra bức xạ tia cực tím từ mặt trời. Kể từ đó, nhiều hỏa tiễn khác đã được phóng để thực hiện các cuộc quan sát tia X và tia cực tím của Mặt Trời, và cũng như sau đó của các thiên thể khác.

Bắt đầu vào thập niên 1960, một loạt các đài quan sát năng lượng cao đã được phóng vào quỹ đạo để khám phá vũ trụ với các bước sóng ngắn. Thành công nhất và hiệu quả nhất trong số này là kính viễn vọng tia X Einstein (do NASA phóng vào năm 1978), Roentgen Satellite hay ROSAT (được người Đức phóng năm 1990), và Đài quan sát tia gamma Compton (được NASA phóng năm 1991).

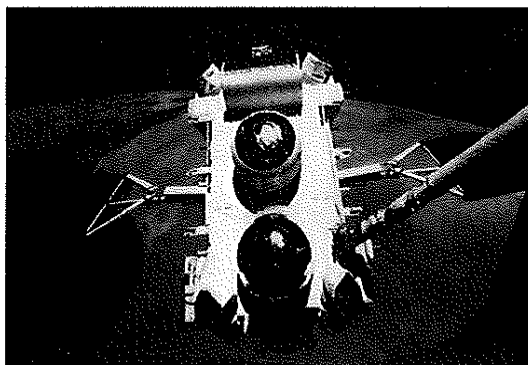
Trong dãy tia X, thí dụ, Rosat có khả năng thăm dò và lập mục lục hơn 100.000 nguồn tia X của vũ trụ và tiết lộ với chúng ta những chi tiết trong cấu trúc của chúng mà những thiết bị trước đây không có khả năng thể hiện. Đài quan sát năng lượng cao tiên tiến nhất là Thiết bị Thiên văn Vật lý tia X Chandra của NASA

(NASA Chandra X-Ray Astrophysics Facility), được phóng vào đầu năm 1999. Nó được thiết kế để tạo ra các hình ảnh tia X với độ phân giải và độ nhạy chưa từng có trước đây.

Các tia gamma còn có nhiều năng lượng hơn các tia X, và các nguồn thiên văn của bức xạ gamma do đó chắc chắn là các thành viên rất kỳ lạ của vườn bách thú thiên văn. Trong số này là những vật thể lạ lùng phát ra những sự bùng cháy ngắn ngủi nhưng mạnh mẽ của các tia gamma vũ trụ, được các vệ tinh Vela khám phá đầu tiên năm 1967. (Những vệ tinh này do Hoa Kỳ phóng đi để theo dõi khắp thế giới các vụ nổ có thể có của bom hạt nhân, có phát xạ tia gamma).

Đài quan sát tia gamma Compton hiện nay đã lập danh mục hàng ngàn vụ nổ hay lóe sáng năng lượng cao từ khắp nơi trong bầu trời.

Sự đánh giá lại trên toàn cầu về các điều ưu tiên trong những năm 1990 đã có một ảnh hưởng đối với thiên văn học.



Đài quan sát tia gamma Compton: Sự khai triển của đài quan sát vào tháng Tư 1991 từ tàu con thoi Atlantis. Với một khối lượng hơn 16 tấn, nó là một trong các dụng cụ máy móc khoa học lớn nhất từng được phóng vào không gian. Khi nào ăng-ten của vệ tinh không mở ra, hai trong các nhà phi hành sẽ tiến hành một cuộc đi bộ ngoài không gian không định trước để cho nó hoạt động tự do. Ở đây đài quan sát được trình bày nằm trong không trung trên châu Phi ngay trước khi nó được phóng vào quỹ đạo.

Cả NASA và đối tác châu Âu của nó, Cơ quan Không gian châu Âu (ESA), đã giảm bớt những chương trình ưu tiên đối với khoa học vũ trụ. Tuy nhiên, thành công ngoạn mục của HST và các đài quan sát vũ trụ khác sẽ đảm bảo rằng thiên văn học sẽ tiếp tục có một chỗ đứng trong không gian. Những vệ tinh nhỏ hơn và rẻ hơn đặc biệt được mong đợi, nhưng một số các ý tưởng có giá trị đối với các sứ mạng không gian của thiên văn học vẫn liên tục phát triển.

TÓM LƯỢC

5.1 Kính viễn vọng thiên văn thu thập ánh sáng và hình thành hình ảnh, sử dụng một thấu kính lồi trong kính khúc xạ (refractor) hay một gương lõm trong kính phản xạ (reflector) để đem ánh sáng tới một tiêu điểm (focus). Khoảng cách từ thấu kính hay gương tới tiêu điểm được gọi là tiêu cự (focal length). Đường kính, hay khẩu độ (aperture), của kính viễn vọng xác định độ sáng và độ phân giải (resolution) của hình ảnh. Độ phân giải thường được diễn tả bằng các đơn vị của arcsecond (hay arcsec).

5.2 Các máy dò quang học (ánh sáng thấy được) bao gồm mắt, phim chụp ảnh, và máy dò bằng thiết bị điện tích ghép hay thiết bị cảm biến hình ảnh điện tử (CCD: charge-coupled device). Các máy dò nhạy cảm với bức xạ hồng ngoại phải được làm lạnh tới nhiệt độ rất thấp. Một phổ kế phân tán ánh sáng thành một quang phổ được ghi chép dành cho sự phân tích chi tiết hơn.

5.3 Kính viễn vọng được che chở trong các mái vòm và được kiểm soát bằng

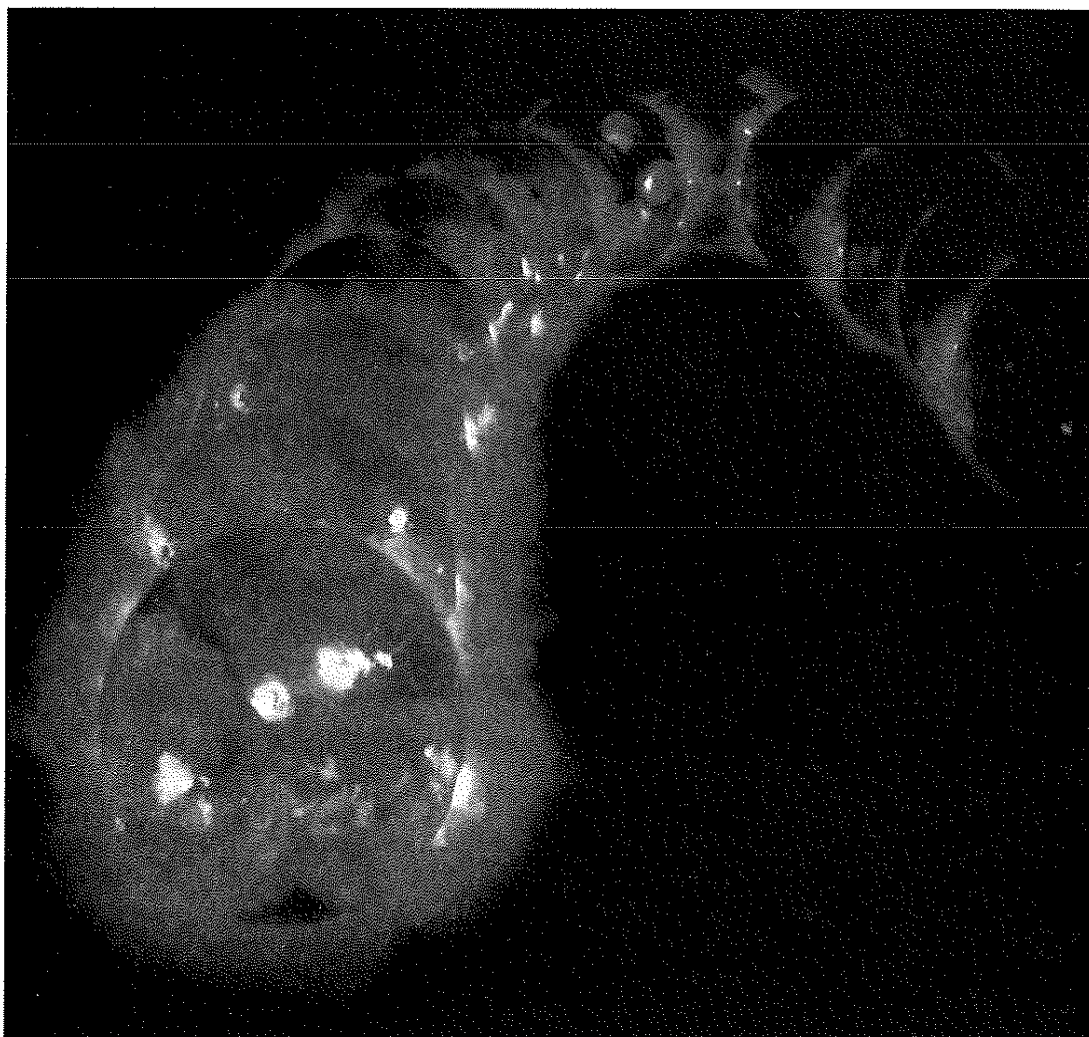
máy tính. Các địa điểm của đài thiên văn phải được lựa chọn cẩn thận với những khu vực có thời tiết trong trẻo, bầu trời tối đen, hơi nước thấp, và tầm nhìn (seeing) khí quyển tuyệt vời (sự xáo trộn khí quyển thấp). Một thế hệ mới của các thiết bị to lớn đã được chế tạo trong những năm 1990, kể cả kính viễn vọng Keck 10 mét ở Mauna Kea và bốn thiết bị 8 mét tạo ra Kính Viễn Vọng Cực Lớn (Very Large Telescope) của châu Âu ở Chile.

5.4 Trong những năm 1930, thiên văn học vô tuyến do Jansky và Reber đi tiên phong. Kính viễn vọng vô tuyến về cơ bản là một ăng-ten vô tuyến (thông thường một đĩa cong lớn) nối với một bộ phận thu sóng. Độ phân giải gia tăng đáng kể có thể đạt được với các giao thoa kế (interferometer), bao gồm các dãy giao thoa kế (interferometer array) như dãy giao thoa kế “VLA 27 phần tử” (VLA: Very Large Array). Vươn ra tới các giao thoa kế vạch ranh giới rất dài, các nhà thiên văn học vô tuyến có thể

đạt được các độ phân giải chính xác tới 0,0001 arcsec. Thiên văn học radar (Radar astronomy) liên quan tới việc phát truyền cũng như tiếp thu. Kính viễn vọng radar lớn nhất là lòng chảo 305 mét ở Arecibo.

5.5 Các cuộc quan sát hồng ngoại được thực hiện với kính viễn vọng gắn trên phi cơ và trong không gian, cũng như từ các thiết bị đặt trên mặt đất ở các đỉnh núi khô ráo. Các cuộc quan sát tia cực tím, tia X, và tia gamma phải được tiến hành từ bên trên bầu khí quyển. Nhiều đài quan sát trên quỹ đạo đã được liên tục ra đời để quan sát những dãy này của quang phổ trong vài thập niên vừa qua. Thiết bị có khẩu độ lớn nhất trong không gian là kính viễn vọng không gian Hubble (HST). Đài quan sát tia gamma Compton (GRO) là thiết bị tinh vi nhất dành cho việc quan sát các tia gamma năng lượng cao, đã từng được chế tạo. Nhiều vệ tinh thiên văn bổ sung được hoạch định, tuy nhiên hầu hết là nhỏ hơn (và rẻ tiền hơn) HST.





Chu kỳ của mặt trời trong tia X: Mức độ hoạt động của Mặt Trời thay đổi với một chu kỳ tương đương 11 năm. 12 tấm ảnh tia X của khí quyển Mặt Trời được vệ tinh Yohkoh của Nhật chụp trong 120 ngày giữa năm 1991 và 1995. Đây là phần suy tàn của chu kỳ mặt trời, và do vậy hình đầu tiên (phía trước bên trái) mô tả Mặt Trời gần với sự hoạt động tối đa, trong khi hình cuối cùng (bên phải) trình bày Mặt Trời gần với sự hoạt động tối thiểu. Mặt Trời tia X hiện ra hoàn toàn khác biệt với Mặt Trời chúng ta nhìn thấy bằng ánh sáng thông thường. Chỉ những khí rất nóng mới có thể phát xạ tia X. Khí quyển mỏng manh bên ngoài của Mặt Trời hay nhật hoa, với một nhiệt độ lên đến hàng triệu độ, đủ nóng để phát xạ các tia X, trong lúc đó bề mặt mát hơn nhiều của Mặt Trời, với khoảng 6000 độ K, thì không đủ. Tóm lại, một bức ảnh tia X tiết lộ một sự rực rỡ sáng chói đối với quang mặt trời (và đối với những vùng hoạt động nóng tại những độ sâu khác nhau) và một đĩa đen đối với bề mặt của Mặt Trời.

CHƯƠNG 6

MẶT TRỜI: MỘT NGÔI SAO BÌNH THƯỜNG

“Cuộc phiêu lưu của Mặt Trời là một vở kịch thiên nhiên vĩ đại qua đó chúng ta sinh tồn, và không phải để có niềm vui và nỗi kinh sợ về nó, không phải để dự phần trong đó, mà là khép lại một cánh cửa tối tăm đối với tinh thần nâng đỡ và đầy thi vị của thiên nhiên”.

Henry Beston, from “Midwinter” in *The Outermost House* (1928)

Mỗi ngày Mặt Trời đã mọc ở hướng đông và lặn ở hướng tây trong hàng tỉ năm qua. Nhưng Mặt Trời đã không tỏa ra chính xác cùng một lượng nhiệt như nhau trong suốt toàn bộ thời gian ấy – nó đã từng nóng hơn và lạnh hơn so với ngày nay. Bởi vì sự sống trên Trái Đất cuối cùng phụ thuộc vào sức nóng và ánh sáng của Mặt Trời, cách thức mà sự sản sinh năng lượng của Mặt Trời biến đổi, và vào những phạm vi thời gian nào, là những câu hỏi có tầm quan trọng đặc biệt đối với những sinh vật chia sẻ vùng lân cận của Mặt Trời trong vũ trụ.

Bằng nhiều phương thức đo lường, Mặt Trời đúng hơn là một ngôi sao bình thường trong vũ trụ vô số các ngôi sao – không nóng hay lạnh, già hay trẻ,

lớn hay nhỏ một cách bất thường. Bằng cách nghiên cứu nó, chúng ta biết nhiều điều để giúp chúng ta hiểu được những ngôi sao nói chung. Giống như những cuộc nghiên cứu về Trái Đất giúp chúng ta hiểu được những hành tinh xa hơn, cũng vậy, Mặt Trời phục vụ các nhà thiên văn học như một sự hướng dẫn để giải thích những tín hiệu chứa trong ánh sáng chúng ta nhận được từ các vì sao xa xôi.

Trong chương này, chúng ta mô tả Mặt Trời biến đổi theo thời gian ra sao, và những thay đổi ấy ảnh hưởng đến Trái Đất như thế nào. Một số các đặc tính cơ bản của Mặt Trời được liệt kê trong bảng dữ liệu, tuy nhiên nhiều thuật ngữ trong bảng ấy có thể chưa quen thuộc với bạn.

<i>Dữ liệu về mặt trời</i>		
<i>Các dữ liệu</i>	<i>Dựa vào phương pháp nào</i>	<i>Trị số</i>
Khoảng cách trung bình	Sự phản xạ radar từ các hành tinh	1 AU (149.597.892 km)
Khoảng cách tối đa từ Trái Đất		$1,521 \times 10^8$ km
Khoảng cách tối thiểu từ Trái Đất		$1,521 \times 10^8$ km
Khối lượng	Quỹ đạo của Trái Đất	333.400 lần khối lượng của Trái Đất ($1,99 \times 10^{30}$ kg)
Đường kính góc trung bình	Số đo trực tiếp	$31'59''{,}3$
Đường kính của quang quyển	Kích thước góc và khoảng cách góc	$109,3 \times$ đường kính trái đất ($1,39 \times 10^6$ km)
Tỷ trọng trung bình	Khối lượng/thể tích	$1,41 \text{ g/cm}^3$
Giá tốc trọng lực tại quang quyển (lực hút bề mặt)	GM/R^2	27,9 lần lực hút bề mặt Trái Đất = 273 m/s^2
Hằng số mặt trời	Cách đo với thiết bị nhạy cảm với bức xạ của tất cả các bước sóng	1370 W/m^2
Độ trung	Hằng số mặt trời nhân cho diện tích của mặt cầu bán kính 1 AU	$3,8 \times 10^{26} \text{ W}$
Cấp quang phổ	Quang phổ	G2V
Nhiệt độ hiệu dụng	Xuất phát từ độ sáng và bán kính của Mặt Trời	5800 K
Chu kỳ quay ở xích đạo	Các vết đen mặt trời và sự dịch chuyển Doppler trong quang phổ nhận được ở rìa của Mặt Trời	24 ngày 16 giờ
Độ nghiêng của xích đạo đối với đường hoàng đạo	Sự chuyển động của các vết đen mặt trời	$7^\circ 10' 5$

6.1 CÁC LỚP BÊN NGOÀI MẶT TRỜI

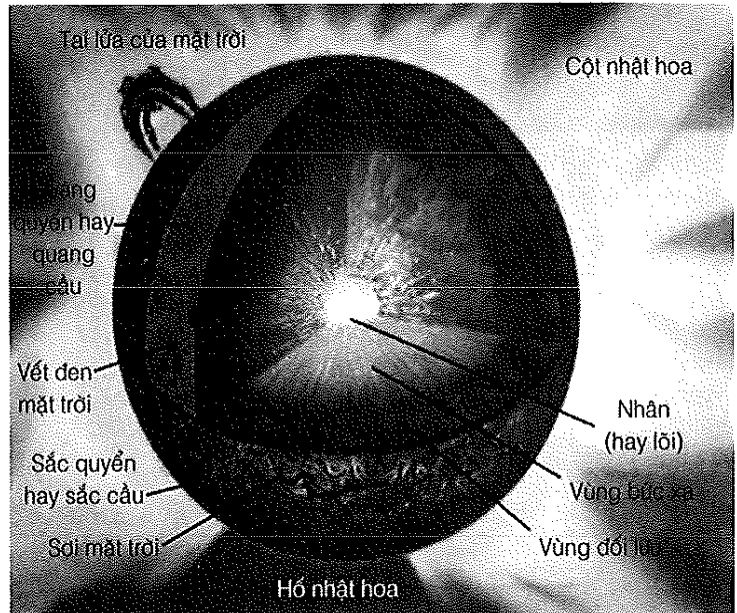
Mặt Trời, giống như mọi ngôi sao, là một quả cầu khí khổng lồ cực nóng, chiếu sáng bằng năng lượng của riêng nó. Mặt Trời có thể tích (chiếm lấy một khoảng không) đủ để chứa khoảng 1,3 triệu Trái Đất. Hầu hết các vùng của Mặt Trời được các lớp bên ngoài của nó che chắn tránh khỏi tầm nhìn của chúng ta, giống như Trái Đất chỉ phô bày bề mặt và bầu khí quyển của nó với sự quan sát trực tiếp của chúng ta. Mặt Trời không có bề mặt rắn đặc, song nó có một bầu khí quyển rộng lớn – chúng ta thực sự chỉ nhìn thấy chỉ có một phần của Mặt Trời. Các nhà

thiên văn học phân chia bầu khí quyển Mặt Trời thành những vùng khác nhau – quang quyển (photosphere), sắc quyển (chromosphere), và nhật hoa (corona).

✧ CẤU TẠO CỦA MẶT TRỜI

Tuy nhiên, trước hết, chúng ta bắt đầu bằng câu hỏi Mặt Trời được cấu tạo ra sao. Như đã giải thích trong Chương 4, chúng ta có thể sử dụng phổ vạch hấp thụ (absorption line spectrum) để xác định nguyên tố nào đang hiện diện. Mặt Trời chứa những nguyên tố giống như Trái Đất, nhưng không cùng một tỉ lệ. Khoảng 73% khối lượng của Mặt Trời là

Bức hình này mô tả những phần khác nhau của Mặt Trời, từ nhân (hay lõi) nóng mà từ đó năng lượng được phát sinh, cho tới những vùng năng lượng được truyền ra ngoài, ban đầu bằng bức xạ và sau đó bằng đối lưu, và rồi ra ngoài qua khí quyển mặt trời. Những phần của khí quyển được đặt tên – quang quyển, sắc quyển và nhật hoa. Hình ảnh cũng trình bày một số đặc tính tiêu biểu trong khí quyển, chẳng hạn như các hố nhật hoa và tai lửa.



khí hydro, và 25% khác là khí helium. Tất cả các nguyên tố hoá học khác (kể cả những nguyên tố chúng ta biết và thích trong chính cơ thể chúng ta, chẳng hạn như carbon, oxygen, và nitrogen) cấu thành chỉ có 2% khối lượng ngôi sao của chúng ta. Mười chất khí có nhiều nhất trong quang quyển mặt trời được liệt kê trong bảng. Hãy chú ý thành phần cấu tạo của lớp bên ngoài Mặt Trời khác biệt ra sao so với vỏ Trái đất, nơi chúng ta sống. (Trong vỏ của hành tinh chúng ta, ba nguyên tố dồi dào nhất là oxygen, silicon, và aluminum). Mặt Trời hoàn toàn tiêu biểu cho các sao về các nguyên tố chi phối cấu trúc của nó.

Sự kiện Mặt Trời và các sao đều có các thành phần cấu tạo tương tự và được cấu tạo hầu hết bằng hydrogen và helium, trước hết được chứng minh trong một luận án nổi tiếng năm 1925 của Cecilia Payne-Gaposchkin, người phụ nữ đầu tiên có học vị tiến sĩ về thiên văn học ở Hoa Kỳ. Tuy nhiên, ý tưởng cho rằng hydrogen và helium là các nguyên

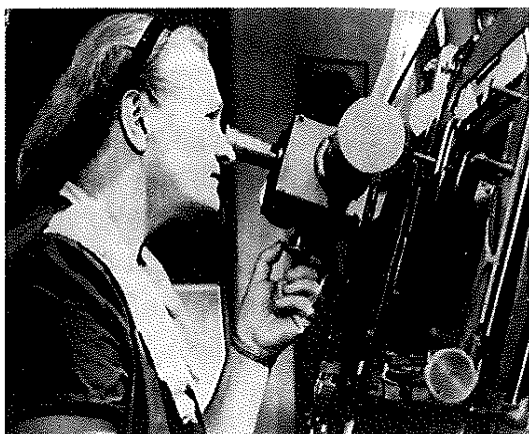
tố dồi dào nhất trong các sao gây sửng sốt đến nỗi bà cho rằng dữ liệu của mình có chỗ sai lầm. Bà viết, "Sự dồi dào dành cho các nguyên tố này trong khí quyển của sao hầu như chắc chắn là không thực".

Trước công trình của Payne, mọi người cho rằng thành phần của Mặt Trời và các sao sẽ giống thành phần của Trái Đất. Ba năm sau luận án của bà, các công trình nghiên cứu khác chứng tỏ một cách chắc chắn rằng sự dồi dào của hydrogen và helium trong Mặt Trời rất cuộc là sự thực. (Và, như chúng ta sẽ thấy, thành phần của các sao càng tiêu biểu hơn về cấu trúc của vũ trụ so với sự tập trung lạ kỳ các nguyên tố nặng hơn thể hiện đặc tính của hành tinh chúng ta).

Đa số các nguyên tố tìm thấy trong Mặt Trời ở trong dạng nguyên tử, nhưng hơn 18 loại phân tử, kể cả hơi nước và monoxide carbon, đã được xác định trong ánh sáng từ các vùng mát hơn của Mặt Trời, chẳng hạn như các vết đen. Các nguyên tử và phân tử chứa trong Mặt

Sự dồi dào các nguyên tố trong Mặt Trời		
NGUYÊN TỐ	PHẦN TRĂM (%) SỐ LƯỢNG NGUYÊN TỬ	PHẦN TRĂM (%) KHỐI LƯỢNG
Hydrogen	92,0	73,4
Helium	7,8	25,0
Carbon	0,02	0,20
Nitrogen	0,008	0,09
Oxygen	0,06	0,8
Neon	0,01	0,16
Magnesium	0,003	0,06
Silicon	0,004	0,09
Lưu Huỳnh	0,002	0,05
Sắt	0,003	0,14

Trời đều ở dạng các chất khí. Mặt Trời nóng đến nỗi không có thứ vật chất nào có thể tồn tại như là chất lỏng hay chất rắn. Tuy thế, lực hút của Mặt Trời có thể nén ép các chất khí sâu vào bên trong tới một mật độ cao hơn nhiều so với các chất khí trên Trái Đất. Mật độ cao nhất trong trung tâm của Mặt Trời và giảm xuống ở phía ngoài.

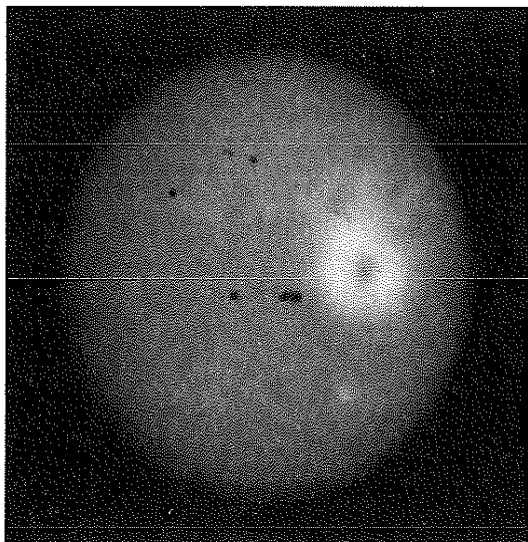


Cecilia Payne-Gaposchkin: Luận án tiến sĩ năm 1925 của bà đặt nền tảng cho sự hiểu biết về thành phần cấu tạo của Mặt Trời. Tuy nhiên, bà không nhận được sự bổ nhiệm chính thức ở Harvard, nơi bà làm việc, cho tới năm 1938 và không được bổ nhiệm làm giáo sư cho tới năm 1956.

♦ QUANG QUYỂN CỦA MẶT TRỜI

Không khí của Trái Đất thông thường trong suốt. Nhưng vào một ngày sương mù nó có thể trở thành mờ đục, ngăn không cho chúng ta nhìn thấy xuyên qua nó. Một điều tương tự xảy ra trên Mặt Trời. Bầu khí quyển bên ngoài nó trong suốt, cho phép chúng ta nhìn xuyên qua nó một khoảng cách ngắn. Nhưng khi thị tuyến (hay đường ngắm) của chúng ta chạm tới những lớp mờ đục hơn, chúng ta có thể không còn nhìn thấy qua chúng. Quang quyển là nơi Mặt Trời trở nên mờ đục và định ranh giới chúng ta không thể nhìn thấy.

Dưới lớp quang quyển, chất khí – giống như tất cả các lớp của Mặt Trời – hấp thụ và tái phát xạ các photon năng lượng được tạo ra ở bên trong mặt trời. Những photon này sau đó nhanh chóng bị các nguyên tử khác “chụp lấy” và do đó vẫn mắc kẹt bên trong, nơi chúng ta không thể nhìn thấy chúng. Chỉ có những photon được hấp thụ và sau đó được tái phát xạ trong quang quyển mới



Vết đen của Mặt Trời (sunspots): Bức hình này mô tả một số vết đen trên quang quyển – bề mặt nhìn thấy được của Mặt Trời.

có thể thoát ra khỏi Mặt Trời và đi tới Trái Đất.

Các nhà thiên văn học đã nhận thấy rằng khí quyển mặt trời biến đổi từ hầu như hoàn toàn trong suốt cho tới gần như hoàn toàn mờ đục trong một khoảng cách chỉ hơn 400 km; chính cái vùng mỏng manh này chúng ta gọi là quang quyển (photosphere), xuất xứ từ tiếng Hy Lạp dành cho “quả cầu sáng” (light sphere). Khi các nhà thiên văn học nói về “đường kính” (diameter) của mặt trời, họ muốn nói đến kích thước của vùng được bao bọc bởi quang quyển.

Quang quyển chỉ trông rõ từ một khoảng cách. Nếu bạn đang rơi vào Mặt Trời, bạn sẽ không cảm thấy bất kỳ một bề mặt nào nhưng sẽ chỉ cảm nhận một sự tăng dần lên về mật độ của chất khí bao quanh bạn.

Điều đó rất giống như đang rơi qua một đám mây trong khi nhào lộn trên không. Đám mây trông như thể nó có một bề mặt rõ rệt, nhưng bạn không cảm thấy một bề mặt nào khi bạn rơi vào nó.

(Tuy nhiên, một sự khác biệt lớn giữa hai viễn cảnh này là nhiệt độ. Mặt Trời rất nóng đến nỗi bạn sẽ bị bốc hơi rất lâu trước khi tới được quang quyển).

Từ phân tích về ánh sáng nhận được từ Mặt Trời, các nhà thiên văn học có thể tính toán được nhiệt độ, mật độ, và áp suất của các chất khí biến đổi ra sao qua quang quyển. Mọi thứ có thể thay đổi mạnh mẽ trong lớp mỏng manh này. Thí dụ, khi chúng ta đi xuống qua một khoảng cách hơn 300 km một chút, áp suất và mật độ (hay tỉ trọng) gia tăng bằng hệ số 10, trong lúc đó nhiệt độ tăng lên từ 4500 tới 6000 K.

Tại độ sâu 400 km, chỉ có 4% các photon thoát ra khỏi Mặt Trời. 96% kia được hấp thụ và được tái phát xạ trở lại, và qua quá trình này, chúng dần dần thực hiện việc đi ra bên ngoài, cuối cùng tới một vùng có mật độ thấp hơn với vài nguyên tử để hấp thụ các photon một lần nữa. Khi tới đỉnh của quang quyển, 99,5% photon đang thoát ra khỏi Mặt Trời, và các photon này hình thành hầu hết ánh sáng chúng ta nhận ra trên Trái Đất.

Chúng ta có thể nhận thấy rằng bầu khí quyển của Mặt Trời không phải là một lớp dày đặc so với không khí trong phòng nơi chúng ta đang đọc cuốn sách này. Tại một điểm tiêu biểu trong quang quyển, áp suất thấp hơn 10% so với áp suất của Trái Đất tại mực nước biển, còn mật độ vào khoảng một phần mười ngàn so với mật độ của khí quyển Trái Đất tại mực nước biển.

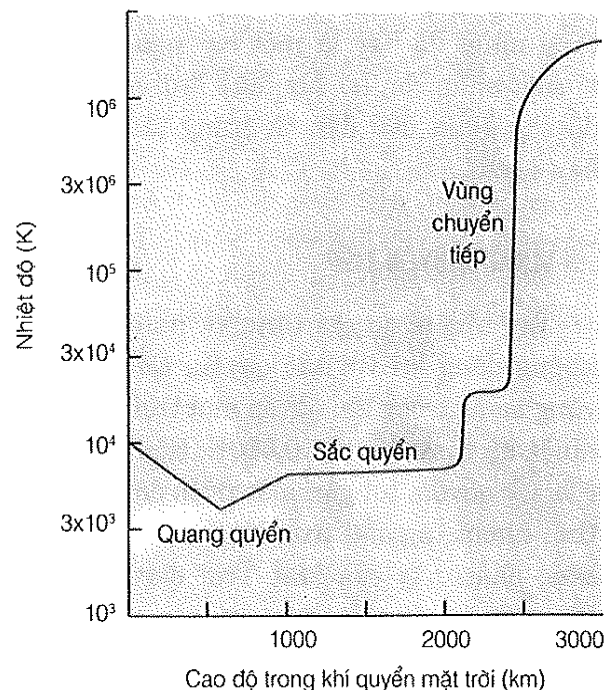
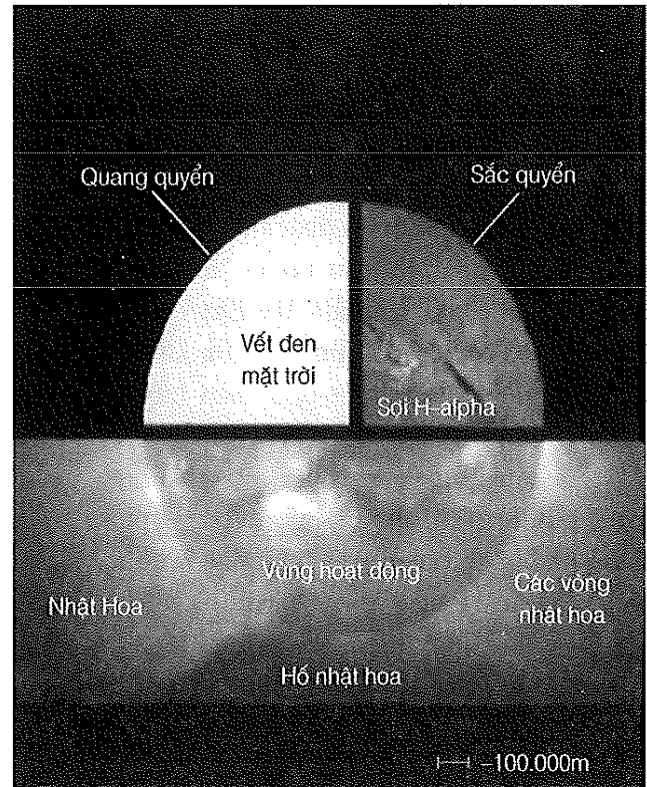
♦ SẮC QUYỂN

Các chất khí bên ngoài Mặt Trời vươn xa ra qua khỏi quang quyển. Bởi vì chúng trong suốt đối với hầu hết các bức

Khí quyển của mặt trời: Những ảnh ghép trình bày ba thành phần của khí quyển mặt trời: quang quyển hay bề mặt của Mặt Trời chụp được bằng ánh sáng thường; sắc quyển, được chụp trong ánh sáng của vạch đặc biệt đỏ và mạnh của hydro (H-alpha), và nhật hoa được nhìn thấy bằng các tia X.

xạ thấy được và phát xạ chỉ một lượng nhỏ ánh sáng, các lớp bên ngoài này rất khó quan sát. Vùng khí quyển của Mặt Trời nằm ngay bên trên quang quyển được gọi là sắc quyển (chromosphere). Cho tới thế kỷ này, sắc quyển chỉ được nhìn thấy khi quang quyển bị Mặt Trăng che khuất trong nhật thực toàn phần. Trong thế kỷ 17, một số quan sát viên mô tả những gì hiện ra với họ như một cái “vết” hay “rìa” đỏ hẹp chung quanh mép của Mặt Trăng trong một thời khắc ngắn ngủi sau khi quang quyển của Mặt Trời đã bị che phủ. Cái tên “chromosphere” (sắc quyển), từ tiếng Hy Lạp dành cho “colored sphere” (khối cầu có màu), được đặt cho rìa đỏ này.

Các cuộc quan sát thực hiện trong các lần thiên thực chứng tỏ rằng quang phổ của sắc quyển bao gồm các vạch bức xạ sáng chói, chỉ ra rằng tầng lớp này được cấu tạo bằng những chất khí nóng, trong suốt, phát xạ ánh sáng với các bước sóng cụ thể. Màu đỏ của sắc quyển xuất phát từ một trong những vạch bức xạ mạnh nhất trong phần thấy được của quang phổ – vạch đỏ sáng chói được tạo ra bởi khí hydro, nguyên tố chi phối thành phần cấu tạo của Mặt Trời.



Trên đồ thị này nhiệt độ được mô tả tăng lên và độ cao bên trên quang quyển được mô tả tăng về bên phải. Hãy chú ý sự gia tăng rất nhanh về nhiệt độ qua một cự ly rất ngắn; trong vùng chuyển tiếp giữa sắc quyển và nhật hoa.

Năm 1868, các cuộc quan sát về quang phổ của sắc quyển làm lộ ra một vạch bức xạ màu vàng không phù hợp với bất kỳ nguyên tố nào được biết trước đây trên Trái Đất. Các nhà khoa học lập tức hiểu ra rằng họ đã phát hiện được một nguyên tố mới, và đặt tên cho nó là “helium” (theo “helios”, từ ngữ của Hy Lạp dành cho “Mặt Trời”). Mãi cho tới năm 1895, helium mới được khám phá trên hành tinh chúng ta. Ngày nay, các sinh viên có thể hầu như quen thuộc với nó như chất khí nhẹ (khinh khí) được sử dụng để bơm phồng các khinh khí cầu, tuy nhiên thật ra nó là nguyên tố có nhiều nhất đứng hàng thứ hai trong vũ trụ.

Sắc quyển dày khoảng 2000 tới 3000 km. Mật độ của các chất khí trong sắc quyển giảm đi khi chúng ta đi lên, nhưng nhiệt độ gia tăng từ 4500 K tại quang quyển tới 10.000 K hay như thế trong các tầng thấp hơn của sắc quyển. Sự gia tăng nhiệt độ này là một bất ngờ, bởi vì suốt phần còn lại của Mặt Trời nhiệt độ suy giảm đều đặn từ trung tâm ra bên ngoài.

♦ VÙNG CHUYỂN TIẾP

Tuy nhiên, sự gia tăng về nhiệt độ không dừng lại với sắc quyển. Có một vùng mỏng trong khí quyển mặt trời ở đó nhiệt độ thay đổi từ 10.000K, tiêu biểu của sắc quyển, tới gần một triệu độ, đặc tính của quang quyển. Một cách thích hợp, phần này của Mặt Trời được gọi là vùng chuyển tiếp (transition region). Nó có lẽ chỉ dày vài chục kilômét. Hình trang trước tóm lược nhiệt độ của khí quyển mặt trời thay đổi ra sao từ quang quyển tới nhật hoa.

Sự mô tả này khiến cho Mặt Trời giống như một củ hành, với những vỏ

hình cầu tròn nhẵn. Trong một thời gian dài, các nhà thiên văn học đã nghĩ về Mặt Trời theo cách này. Tuy nhiên, hiện nay chúng ta biết rằng trong khi ý tưởng về các lớp – quang quyển, sắc quyển, vùng chuyển tiếp, nhật hoa – mô tả một bức tranh lớn tương đối chính xác, thì khí quyển của Mặt Trời phức tạp hơn, với những vùng nóng và lạnh xen kẽ với nhau.

Thí dụ, hình dưới cho thấy sắc quyển chứa nhiều que nhọn giống như tia của chất khí, gọi là những gai, vọt thẳng lên. Khi được quan sát gần mép (hay cạnh) của Mặt Trời, nhiều gai được nhìn thấy ở chỗ nhô ra tạo ấn tượng của một khu rừng. Những gai riêng biệt kéo dài chỉ 10 phút hay gần như thế và bao gồm các tia khí di chuyển lên trên với vận tốc khoảng 30 km/giây và vọt lên độ cao từ 5000 tới 20.000 km.

Chất khí trong những gai có nhiệt độ tiêu biểu của quang quyển (khoảng 10.000K) nhưng những sự phun trào giống như tia chạm tới đúng vào nhật hoa nóng hơn. Tương tự, các đám mây monoxide carbon với nhiệt độ khoảng 4000 K hiện đã được phát hiện trong sắc quyển nóng hơn nhiều.



Những gai mặt trời, được chụp bằng ánh sáng của vạch Balmer đỏ của hydro (gọi là H-alpha).

Sự phức tạp dường như không quá bất ngờ. Chúng ta đã biết rằng nhiệt độ trong khí quyển của Trái Đất thay đổi khi các khu vực áp suất cao và thấp luân chuyển và khi gió xoáy di chuyển. Theo cùng một cách như vậy, khí quyển mặt trời liên tục thay đổi, với vật chất lưu chuyển lên xuống và thay đổi nhiệt độ khi nó hoạt động.

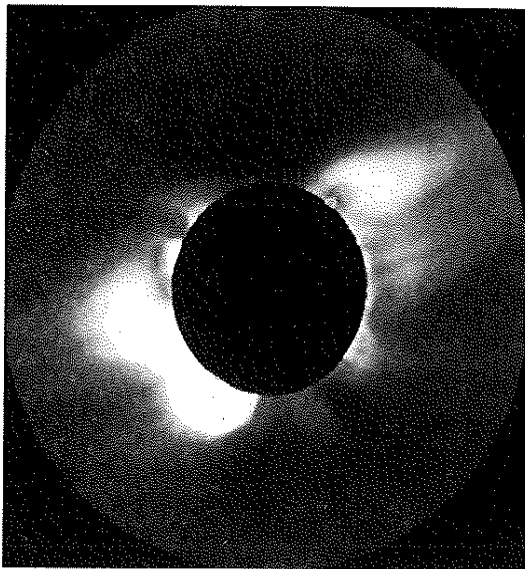
✧ NHẬT HOA

Phần ngoài cùng của khí quyển Mặt Trời được gọi là nhật hoa (Corona). Giống như sắc quyển, nhật hoa ban đầu được quan sát trong các lần nhật thực toàn phần. Không giống như sắc quyển, nhật hoa đã được biết qua nhiều thế kỷ: nó được sử gia La Mã Plutarch đề cập và được Kepler bàn luận. Nhật hoa vươn rộng ra hàng triệu kilômét bên trên quang quyển và phát xạ bằng phân nửa ánh sáng của trăng tròn. Nguyên do chúng ta không thấy ánh sáng này cho

tới khi nhật thực xảy ra là sự chói lọi của quang quyển. Giống như các ánh đèn thành phố sáng rực khiến cho khó thấy ánh sao mờ nhạt, ánh sáng mạnh mẽ từ quang quyển cũng che giấu ánh sáng mờ nhạt từ nhật hoa. Trong khi thời gian tốt nhất để nhìn thấy nhật hoa là giai đoạn nhật thực toàn phần, các phần sáng hơn của nó hiện nay có thể được chụp với các thiết bị đặc biệt thậm chí tại những thời điểm khác, và nó có thể được quan sát dễ dàng từ các phi thuyền trên quỹ đạo.

Các nghiên cứu về quang phổ chứng tỏ nhật hoa có mật độ rất thấp. Ở phần đáy của nhật hoa chỉ có khoảng 10^9 nguyên tử trên một centimét khối (cm^3), so với khoảng 10^{16} phân tử trên một centimét khối trong thượng tầng quang quyển và 10^{19} phân tử trên một centimét khối ở mực nước biển trong khí quyển của Trái Đất. Nhật hoa mỏng đi rất nhanh ở những độ cao lớn hơn, nơi đó nó tương ứng với độ chân không cao theo các tiêu chuẩn phòng thí nghiệm.

Nhật hoa rất nóng. Chúng ta biết được điều này bởi vì các vạch phổ được tạo ra xuất phát từ các nguyên tử bị ion hoá cao của sắt, nickel, argon, calcium và các nguyên tố khác. Thí dụ, các nhà thiên văn học quan sát các vạch của sắt mà các nguyên tử đã mất đi 16 electron trong nhật hoa. Một mức độ ion hoá cao như vậy đòi hỏi nhiệt độ lên tới hàng triệu độ Kelvin. Tóm lại, do chúng ta không thường xuyên xử lý với những chất khí nóng như thế trên Trái Đất, trong một thời gian dài, các nhà thiên văn học đã không chắc chắn điều gì tạo ra các vạch trong quang phổ của nhật hoa. Họ nghĩ rằng các vạch phổ có thể xuất phát từ một nguyên tử mới, mà họ đặt tên là coronium. Nhưng vào những



Nhật hoa trong nhật thực: Bức ảnh Mặt Trời được chụp trong lúc xảy ra nhật thực vào ngày 18 tháng Ba, 1988. Do ánh sáng từ bề mặt chói sáng (quang quyển) của Mặt Trời bị Mặt Trăng che khuất, chúng ta có thể nhìn thấy khí quyển rất loãng bên ngoài của Mặt Trời, gọi là nhật hoa.

năm 1930, nguyên tố giả định này trở nên không cần thiết, bởi vì các nhà thiên văn học khám phá ra rằng các nguyên tố đã biết, được đun nóng cho tới khi nhiều electron bị thiếu, có thể coi như quang phổ của nhật hoa. Do nhiệt độ cao của nó, nhật hoa cũng rất sáng với các bước sóng của tia X.

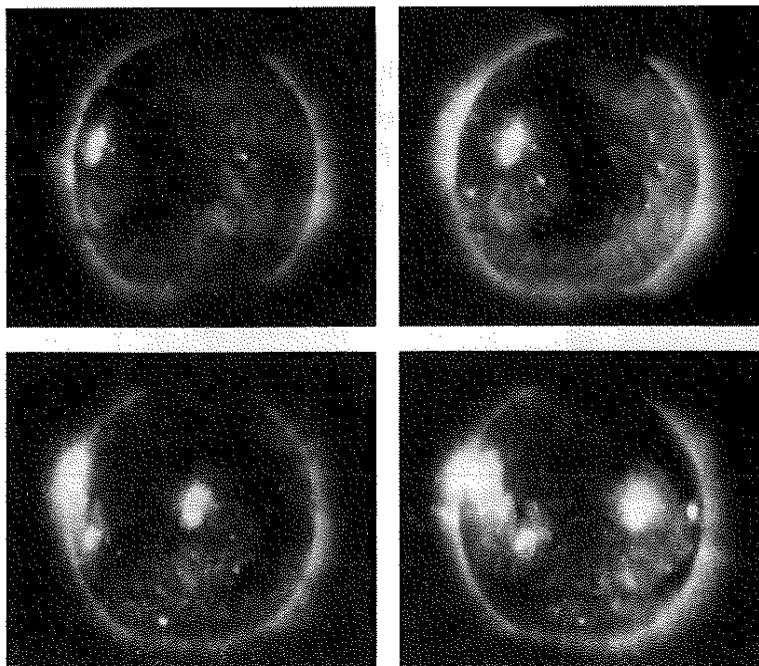
Tại sao nhật hoa nóng như thế? Sự quan sát và lý thuyết đã cùng nhau xác định năng lượng từ trường là “thủ phạm”. Mặt Trời, như một số hành tinh, là một nam châm khổng lồ, với một từ trường phức tạp có thể có ảnh hưởng mạnh mẽ đối với chất khí mỏng manh, tích điện ở những vùng bên ngoài. Bề mặt của Mặt Trời bị che phủ với các vòng từ trường. Nếu một vòng trong đó từ trường có một chiều phân cực bị xô đẩy, bởi sự nhiễu loạn trong vùng sát bên, tới một vòng của chiều phân cực đối nghịch, hai vòng có thể “nối kết”, giống như hai thanh nam châm được đặt kề nhau với các cực bắc ngược chiều, sẽ hút nhau. Sự kết nối của các vòng mặt trời phóng thích năng

lượng, có thể gia tốc và đun nóng vật chất nổi lên vào trong nhật hoa.

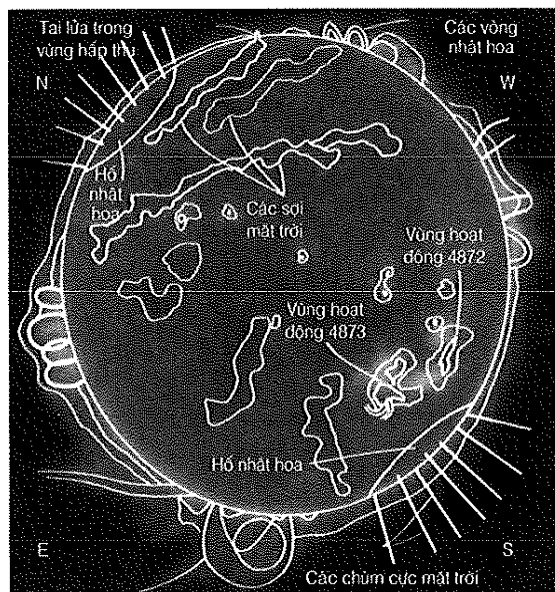
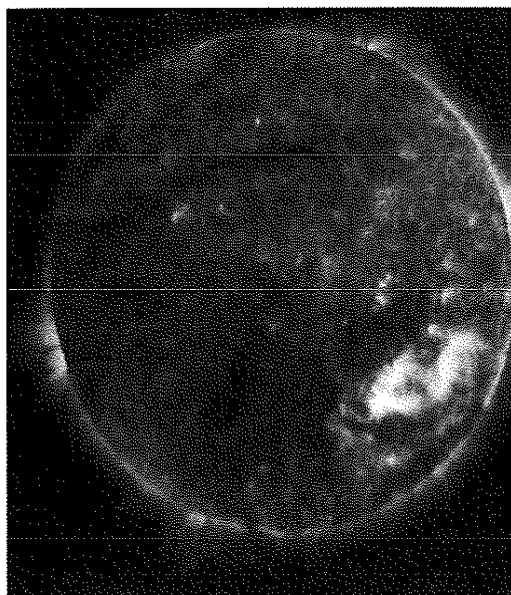
✧ GIÓ MẶT TRỜI

Một trong những khám phá nổi bật nhất về khí quyển của Mặt Trời là nó tạo ra một dòng các hạt tích điện (chủ yếu là các proton và electron) mà chúng ta gọi là gió mặt trời (solar wind). Những hạt này trào ra khỏi Mặt Trời với vận tốc khoảng 400 km/giây (khoảng 900.000 dặm/giờ)! Gió mặt trời tồn tại do các chất khí trong nhật hoa rất nóng và di chuyển rất nhanh đến nỗi chúng không thể bị giữ lại bởi sức hút của mặt trời. (Thực ra, gió này được khám phá bởi các tác động của nó đối với các đuôi mang điện của sao chổi; theo một nghĩa nào đó, chúng ta có thể thấy các đuôi sao chổi bị quét vào luồng gió mặt trời theo cách mà các luồng gió vô cánh trên Trái Đất).

Bằng phương tiện gió mặt trời, vật chất rời khỏi Mặt Trời và đi ra ngoài. Dù vật chất của gió mặt trời rất loãng,



Nhật hoa nhìn thấy bằng tia X: Các tám ảnh của Mặt Trời được chụp bằng tia X từ vệ tinh Skylab mô tả chất khí nóng của nhật hoa. Nhật hoa loang lổ lốm đốm, với các vệt sáng biểu thị những vùng ở đó tập trung khí nóng. Những khu vực dài và tối không có sự phát xạ tia X được gọi là hố nhật hoa. Trong các vùng này, khí nóng tuôn ra từ bề mặt mặt trời và xuyên qua hệ mặt trời. Dòng hạt này được gọi là gió mặt trời. Bốn ảnh liên tiếp của Mặt Trời mô tả rõ ràng các vị trí của bề mặt mặt trời thay đổi ra sao khi Mặt Trời xoay.



Mặt trời tia X: Bức ảnh tia X và tia cực tím của Mặt Trời được chụp năm 1987 từ một hỏa tiễn thăm dò cách 100 dặm (miles) bên trên dãy White Sand Missile Range. Những đặc điểm mô tả trong hình này được xác định bằng bản vẽ bên cạnh.

nhưng Mặt Trời có một diện tích bề mặt khổng lồ, các nhà thiên văn học ước tính rằng Mặt Trời đang mất khoảng 10 triệu tấn vật chất mỗi năm. Trong khi số lượng khối vật chất mất mát này dường như lớn bằng Trái Đất, thì nó lại hoàn toàn chẳng có ý nghĩa gì đối với Mặt Trời.

Trong các bức hình chụp bằng ánh sáng thông thường, nhật hoa hiện ra tương đối đồng đều và trơn nhẵn. Tuy

nhiên, các bức ảnh bằng tia X chứng tỏ rằng nhật hoa có những vòng, những chùm như lông chim, và cả những vùng sáng và tối. Đôi khi những vùng lớn của nhật hoa tương đối mát và yên tĩnh. Những hố nhật hoa (coronal holes) này là những nơi có mật độ cực thấp và thông thường nhưng không phải lúc nào cũng được tìm thấy trong các vùng cực của Mặt Trời. Chúng tạo ra những khoảng không trống rỗng được thấy trên một số ảnh chụp nhật hoa khi nhật thực.

Các số đo chứng tỏ rằng khí nóng của nhật hoa chủ yếu hiện diện nơi các từ trường đã chặn lại



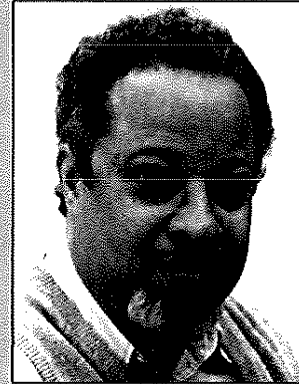
Cảnh tượng cực quang ngoạn mục là kết quả của các hạt tích điện từ trong từ quyển (magnetosphere) chạm vào khí quyển gần các cực từ của Trái Đất.

Bởi nhật hoa là một nguồn rất giàu các photon năng lượng cao, các cuộc quan sát với các bước sóng tia X là phương cách hợp lý để hiểu biết nhiều thêm về ngôi sao của chúng ta. Rủi thay, các tia X không xuyên thủng được bầu khí quyển của Trái Đất, do đó nhiều cuộc quan sát phải được thực hiện từ các vệ tinh. Art Walker từng là một trong những nhà tiên phong trong việc thiết kế và điều khiển các thiết bị trong không gian để hiểu biết thêm về Mặt Trời.

Sử dụng quang phổ kế được thiết kế đặc biệt trên một vệ tinh, ông có thể thu được một trong những quang phổ tia X đầu tiên của Mặt Trời và xác định một số vạch bức xạ mới trong các quang phổ này. Những phép đo đặc cho phép ông và các cộng sự thăm dò nhiệt độ, thành phần cấu tạo, và cấu trúc của nhật hoa, và có được nhiều hiểu biết tốt hơn về khí quyển của Mặt Trời.

Gần đây hơn, ông đã làm việc với một thiết kế mới dành cho các kính viễn vọng tia X, tương tự như một số kính viễn vọng mà các nhà thiên văn học sử dụng trên mặt đất. Các thiết bị này cho phép chụp được những hình ảnh tia X có độ phân giải rất cao của Mặt Trời hoạt động; chúng có thể được đưa theo trên các tên lửa thăm dò mà đường đi là những vòng cung độc đáo di chuyển 100 dặm hay nhiều hơn bên trên bề mặt Trái Đất.

Trong một cuộc phỏng vấn, Walker nhấn mạnh một trong những thách thức chủ yếu trong việc nghiên cứu thiên văn học từ không gian: "Trong



Chân dung của Walker

phòng thí nghiệm, nếu bạn tạo dựng một thử nghiệm và nó không hoàn toàn tiến triển chính xác, lúc nào bạn cũng có thể sửa đổi nó. Trong trường hợp của các cuộc quan sát ngoài không gian, bạn phải chế tạo thiết bị phòng ngừa mọi sai lầm và hạn chế khả năng thất bại. Một khi thiết bị được phóng đi, nó nằm ngoài tầm kiểm soát của bạn, và bạn chỉ còn hy vọng rằng bạn đã tiên liệu được mọi thứ".

Sau khi làm việc cho tập đoàn nghiên cứu không gian "Aerospace Corporation", Walker trở thành giáo sư tại Viện đại học Stanford. Có lẽ người học trò nổi tiếng nhất của ông là Sally Ride, bà đã nhận học vị tiến sĩ vật lý thiên thể và trở thành người phụ nữ đầu tiên trong vũ trụ của Hoa Kỳ. Walker được cử làm chủ tịch Ủy ban Cố vấn Thiên văn học cho Hiệp hội Khoa học Quốc gia và tham gia điều tra về tai nạn đã hủy diệt tàu con thoi Challenger.

và tập trung nó. Các hố nhật hoa nằm giữa những vùng tập trung chất khí. Gió mặt trời phần lớn xuất phát từ các hố nhật hoa, tuôn chảy qua chúng vào trong không gian không bị các từ trường ngăn trở.

Tại bề mặt của Trái Đất, chúng ta được che chở tránh khỏi gió mặt trời bằng bầu khí quyển và từ trường của

Trái Đất. Tuy nhiên, các đường từ trường (magnetic field lines) đi vào Trái Đất ở Bắc Cực và Nam Cực. Ở đây các hạt mang điện từ gió mặt trời có thể theo từ trường đi xuống tới thượng tầng khí quyển của chúng ta. Khi các hạt của Mặt Trời đập vào các nguyên tử và phân tử của không khí, chúng khiến cho các nguyên tử và phân tử này tỏa sáng, tạo

ra những bức màn ánh sáng đẹp dễ gọi là **cực quang** (aurora). Các hiện tượng cực quang ngoạn mục nhất xảy ra ở cao độ từ 75 tới 150 km. Sự hoạt động mạnh mẽ của Mặt Trời có thể kích thích “những cơn giông” trong gió mặt trời, mà đến lượt nó, có thể dẫn tới những cực quang cực kỳ ấn tượng.

6.2 MẶT TRỜI HOẠT ĐỘNG

Trước khi kính viễn vọng được phát minh, Mặt Trời được cho là quả cầu bất biến và hoàn hảo. Tuy nhiên, ngày nay, chúng ta biết rằng Mặt Trời ở trong một trạng thái biến đổi liên tục – bề mặt của nó là một cái vạc chứa khí nóng sôi sùng sục. Các khu vực tối hơn và mát hơn phần còn lại của bề mặt di chuyển tới lui. Các chùm khí lớn phun vào sắc quyển và nhật hoa. Thỉnh thoảng, có những vụ nổ vĩ đại trên Mặt Trời truyền những dòng hạt tích điện và năng lượng khổng lồ về phía Trái Đất. Khi chúng đến, những dòng hạt và năng lượng này có thể gây mất điện và các ảnh hưởng nghiêm trọng khác trên hành tinh của chúng ta.

Sự chuyển động của các hạt có thể được nghiên cứu bằng cách xem xét dịch

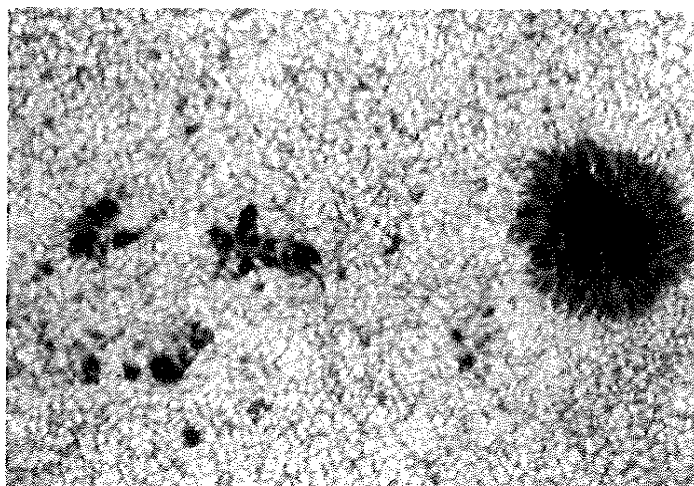
chuyển Doppler trong các quang phổ của các chất khí ngay bên trên chúng. Các hạt sáng là những cột khí nóng hơn vọt lên với tốc độ từ 2 tới 3 km/giây từ bên dưới quang quyển. Khi chất khí bốc lên chạm tới quang quyển, nó lan ra và lại chìm xuống vào trong các vùng tối hơn giữa các hạt. Trung tâm của các hạt nóng hơn những vùng giữa các hạt từ 50 tới 100K.

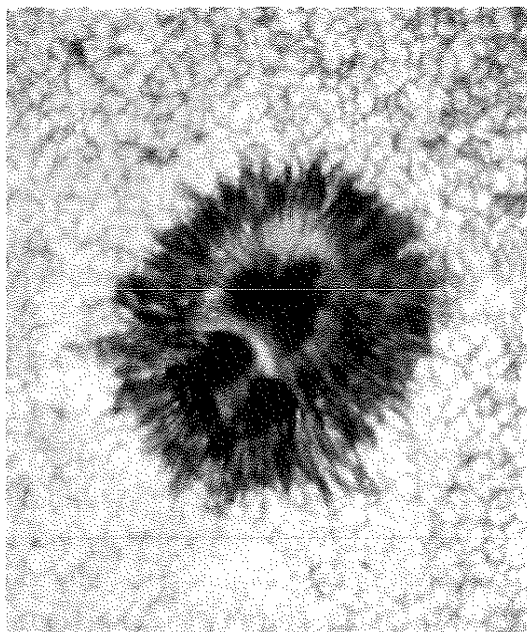
Sau đó, các hạt là các đỉnh của các *dòng đối lưu* (convection currents) của chất khí bốc lên qua quang quyển. Đối lưu là sự bốc lên cao của một chất lỏng hay chất khí nóng, chuyển giao năng lượng từ các lớp nóng hơn bên dưới tới các lớp mát hơn bên trên. Khi chất khí nguội đi, nó rơi xuống trở lại, và bề mặt trông tối hơn từ bên trên. (Bạn có thể thấy cùng một kiểu của những dòng khí nóng bốc lên trong một ấm nước sôi khi bạn pha thêm cà phê). Sự kết hạt là một bằng chứng rằng sức nóng đang lưu chuyển từ bên trong Mặt Trời ra bên ngoài tới quang quyển và xa hơn nữa.

✧ CÁC VẾT ĐEN MẶT TRỜI

Rõ ràng nhất trong các đặc điểm của quang quyển là các vết đen mặt trời

Hiện tượng kết hạt của mặt trời gần các vết đen: Mỗi vùng nhỏ và sáng là một cột khí nóng hơn bốc lên cao khoảng 1000 km đường kính. Chất khí mát hơn đi xuống trong những vùng tối hơn giữa các hạt. Những vùng tối lớn hơn là những vết đen mặt trời.





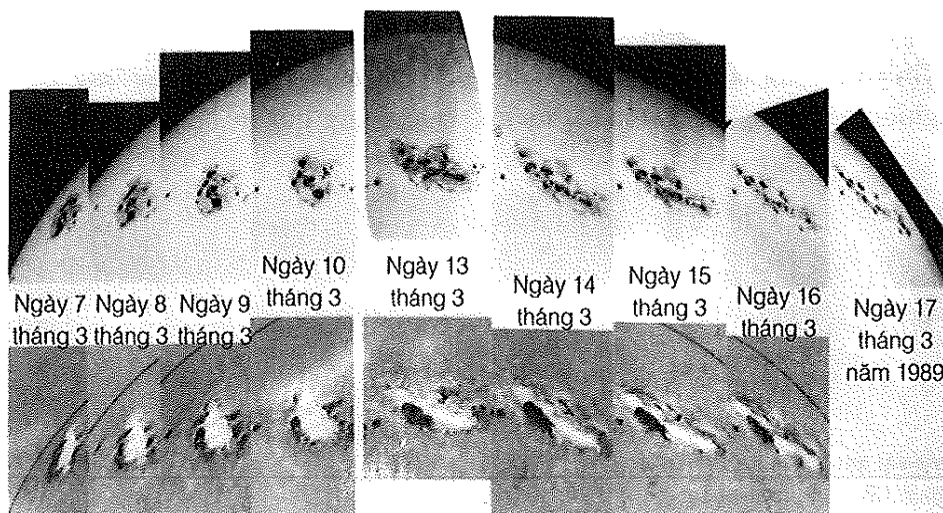
Bức ảnh của vết đen mặt trời này, một vùng mát hơn và do đó tối hơn trên Mặt Trời, được chụp bằng kính viễn vọng McMath–Pierce. Vết đen này có một vùng trung tâm tối (gọi là bóng) được một vùng ít tối hơn (vùng nửa tối) bao bọc chung quanh. Bạn có thể thấy sự kết hạt trên bề mặt của Mặt Trời.

(sunspots). Thỉnh thoảng, những vết này đủ lớn để thấy được bằng mắt thường, và chúng ta có những ghi chép lưu lại cách đây hơn một ngàn năm của các nhà quan

sát, họ đã để ý đến chúng khi sương mù làm giảm bớt cường độ của Mặt Trời.

Ngày nay chúng ta biết rằng các vết đen mặt trời tối hơn quang quyển, trong đó chúng được bao bọc, bởi vì các chất khí trong các vết đen mặt trời mát hơn đến 1500K so với các chất khí chung quanh. Tuy nhiên, các vết đen mặt trời nóng hơn bề mặt của nhiều vì sao. Nếu có thể được lấy đi ra khỏi Mặt Trời, chúng sẽ chiếu sáng rực rỡ. Chúng chỉ có vẻ tối khi so với quang quyển nóng và sáng hơn đang bao bọc chung quanh.

Các vết đen mặt trời riêng lẻ có tuổi thọ (hay thời gian sống) trong phạm vi từ một vài giờ tới một vài tháng. Nếu một vết đen kéo dài và phát triển, thông thường nó gồm có hai phần: một lõi bên trong tối hơn, **vùng bóng** (umbra), và một vùng chung quanh ít tối hơn, **vùng nửa bóng** (penumbra). Nhiều vết đen lớn hơn Trái Đất rất nhiều, và vài vết có đường kính lên tới 50.000 km. Thông thường, các vết đen xuất hiện trong các nhóm từ 2 tới 20 hay nhiều hơn. Các nhóm



Vết đen mặt trời xoay ngang qua bề mặt mặt trời (Sunspots Rotate Across Sun's Surface): Chuỗi hình này của bề mặt Mặt Trời theo dõi một nhóm lớn các vết đen khi Mặt Trời quay. Những loạt phơi sáng theo dõi sự xoay tròn của các vết đen ngang qua bán cầu thấy được của Mặt Trời. Chuỗi hình trên cùng mô tả Mặt Trời trong ánh sáng thường; chuỗi hình dưới mô tả sự phát xạ từ sắc quyển.

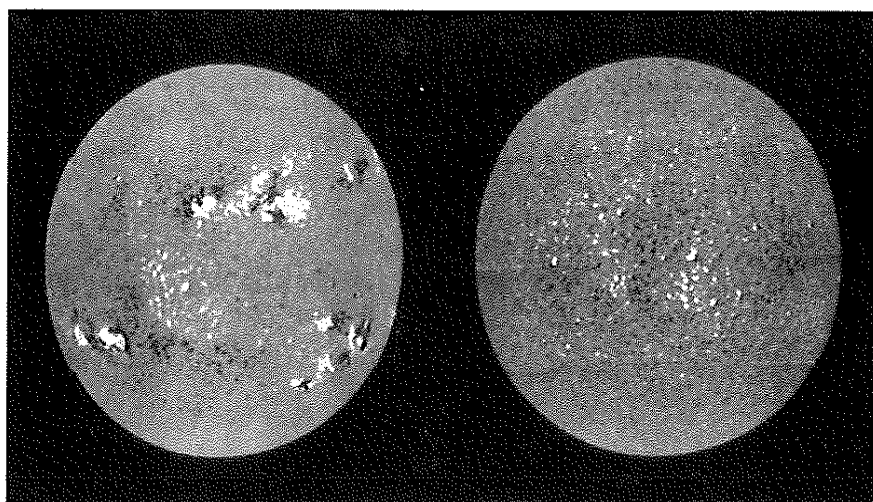
lớn nhất rất phức tạp và có thể có hơn 100 vết đen. Giống như các cơn bão trên Trái Đất, các vết đen mặt trời không cố định vị trí, nhưng chúng trôi dạt chậm chậm so với sự xoay tròn của Mặt Trời, mang chúng ngang qua đĩa thấy được của Mặt Trời.

Bằng cách ghi chép những chuyển động biểu kiến của các vết đen mặt trời khi Mặt Trời quay mang chúng ngang qua đĩa của nó, Galileo, vào năm 1612, đã chứng minh rằng Mặt Trời xoay tròn trên trục của nó với chu kỳ quay tương đương một tháng. Các phương pháp đo đạc hiện đại chứng tỏ rằng chu kỳ quay của Mặt Trời là khoảng 25 ngày tại xích đạo, 28 ngày ở vĩ độ 40, và 36 ngày ở vĩ độ 80, theo chiều từ tây sang đông (giống như sự chuyển động trên quỹ đạo của các hành tinh). Hãy lưu ý rằng Mặt Trời, được cấu tạo bởi chất khí, không phải xoay tròn một cách cứng nhắc, như cách thức một vật thể rắn xoay tròn.

6.3 CHU KỲ CỦA VẾT ĐEN MẶT TRỜI

Giữa những năm từ 1826 đến 1950, Heinrich Schwabe, dược sĩ và là nhà thiên văn học tài tử người Đức, hàng ngày ghi chép số lượng các vết đen mặt trời. Những gì mà ông thực sự đang tìm kiếm là một hành tinh bên trong quỹ đạo của Sao Thủy (Mercury), mà ông hy vọng phát hiện ra bằng cách quan sát bóng đen của nó khi nó đi ngang qua giữa Mặt Trời và Trái Đất. Ông đã thất bại trong việc tìm kiếm hành tinh từ lâu mong đợi, nhưng sự cần cù của ông đã mang lại kết quả với một khám phá thậm chí còn quan trọng hơn – chu kỳ của các vết đen mặt trời (sunspot cycle). Ông nhận thấy rằng số lượng vết đen mặt trời biến đổi một cách có hệ thống trong các chu kỳ khoảng 10 năm.

Những gì Schwabe quan sát được là như thế, tuy nhiên các vết riêng lẻ tồn tại trong một thời gian ngắn, tổng số các vết nhìn thấy được trên Mặt Trời



So sánh Mặt Trời hoạt động và Mặt Trời yên tĩnh: Sự so sánh này thể hiện số lượng vết đen và sự hoạt động từ đối với Mặt Trời hoạt động (trái) và Mặt Trời yên tĩnh (phải). Trong bức ảnh Mặt Trời hoạt động, chú ý những cặp vết đen có phân cực đối nghịch. Cũng lưu ý là cực của vết đen lớn nhất khác biệt trong bán cầu trên và bán cầu dưới. Vào giai đoạn tối thiểu của mặt trời không có những vết đen lớn, và các từ trường cũng yếu đi.

vào bất kỳ một thời điểm nào đó chắc chắn lớn hơn rất nhiều vào những thời điểm này – các giai đoạn tối đa của vết đen – so với những thời điểm khác – các giai đoạn tối thiểu của vết đen.

Ngày nay, chúng ta biết rằng các giai đoạn tối đa của vết đen diễn ra với một khoảng thời gian trung bình 11 năm, nhưng các khoảng thời gian giữa những giai đoạn tối đa kế tiếp có phạm vi từ 8 năm (ngắn) cho tới 16 năm (dài). Trong các giai đoạn tối đa của vết đen, thông thường hơn 100 vết đen có thể được nhìn thấy ngay trong một lần. Sự hoạt động của Mặt Trời được dự đoán là đạt tới mức tối đa kế tiếp của nó vào khoảng năm 2001.

♦ TỪ TÍNH VÀ CHU KỲ CỦA MẶT TRỜI

Chính từ trường biến đổi của Mặt Trời chi phối chu kỳ của vết đen. Từ trường của mặt trời được đo đạc bằng cách sử dụng một đặc tính của nguyên tử gọi là hiệu ứng Zeeman. Hãy nhớ lại từ Chương 4 rằng một nguyên tử có nhiều

mức năng lượng, và các vạch phổ được hình thành khi các electron dịch chuyển từ mức này sang mức khác. Nếu mỗi mức năng lượng được xác định chính xác, sự chênh lệch giữa chúng cũng hoàn toàn chính xác. Khi một electron thay đổi mức năng lượng, kết quả là một vạch phổ hẹp và rõ ràng (hoặc một vạch hấp thụ hay vạch phát xạ, tùy thuộc vào việc năng lượng của electron tăng lên hay giảm xuống trong vùng chuyển tiếp).

Tuy nhiên, trong sự hiện diện của một từ trường mạnh, mỗi mức năng lượng bị tách ra thành nhiều mức rất gần nhau. Khoảng cách của các mức năng lượng tỉ lệ với cường độ của từ trường. Tóm lại, các vạch phổ hình thành trong sự hiện diện của một từ trường không phải là những vạch đơn độc, mà là một loạt các vạch cách khoảng rất gần tương ứng với sự chia nhỏ các mức năng lượng của nguyên tử. Sự tách ra của các vạch trong sự hiện diện của một từ trường được đặt tên là hiệu ứng Zeeman.

Các phép đo của hiệu ứng Zeeman trong các phổ của ánh sáng từ các vùng của



Hiệu ứng Zeeman: Những bức hình này mô tả từ trường trong các vết đen được đo đạc ra sao nhờ vào hiệu ứng Zeeman. Vạch đen thẳng đứng trong bức hình ở bên phải biểu thị vị trí của khe hở của máy quang phổ qua đó ánh sáng đi qua để có được quang phổ trong hình bên trái. Chú ý rằng vạch phổ mạnh nhất trong hình bên trái được tách ra thành ba thành phần, biểu thị rằng một từ trường mạnh đang hiện diện.

vết mặt trời chứng tỏ chúng có những từ trường mạnh. Bất cứ khi nào các vết mặt trời được quan sát thành nhiều cặp, hay nhiều nhóm chứa hai vết đen chính, một trong các vết đen thường có chiều phân cực từ của một cực từ nhắm hướng bắc và vết đen kia có chiều phân cực đối nghịch.

Hơn nữa, trong một chu kỳ nhất định những vết đen lớn nhất trong các cặp (hay những vết đen chính yếu của các nhóm) trong bắc bán cầu đều có khuynh hướng có cùng chiều phân cực, trong khi các vết đen chủ yếu ở nam bán cầu đều có khuynh hướng có chiều phân cực đối nghịch.

Tuy nhiên, trong chu kỳ kế tiếp của vết đen mặt trời, chiều phân cực của các vết đen chủ yếu bị đảo ngược ở mỗi bán cầu. Thí dụ, nếu trong một chu kỳ các vết đen chủ đạo trong bắc bán cầu đều có chiều phân cực của một cực quay về hướng bắc, những vết đen chính trong nam bán cầu sẽ có chiều phân cực quay về hướng nam. Trong chu kỳ kế tiếp, các vết đen chính trong bắc bán cầu sẽ có chiều phân cực quay về hướng nam, trong khi các vết đen chính của nam bán cầu sẽ có chiều phân cực quay về hướng bắc. Vì thế cho nên chu kỳ của vết đen mặt trời tự nó không lặp lại đối với chiều phân cực từ cho tới khi hai giai đoạn cực đại đã đi qua. Chu kỳ hoạt động của mặt trời, về cơ bản là một chu kỳ từ tính, do đó có thời gian trung bình là 22 năm, không phải 11 năm.

Tại sao từ trường của Mặt Trời thay đổi về cường độ và chiều phân cực gần như đều đặn như vậy? Tính toán từ các mô hình chi tiết về cách thức Mặt Trời hoạt động chứng tỏ rằng sự xoay tròn và đối lưu ngay bên dưới bề mặt Mặt Trời có thể làm biến dạng từ trường. Điều này khiến cho chúng phát triển và sau

đó suy tàn, tái phát sinh với chiều phân cực đối nghịch xấp xỉ mỗi 11 năm. Tính toán cũng chứng tỏ rằng khi các trường phát triển mạnh hơn gần giai đoạn cực đại của mặt trời, chúng lưu chuyển từ vùng bên trong Mặt Trời ra tới bề mặt của nó dưới dạng các vòng. Khi một vòng lớn nổi lên từ bề mặt Mặt Trời, giống như vòng được hình thành bởi một con rắn khi trườn dọc, nó tạo ra những vùng hoạt động của vết đen.

Hai “đầu” của vòng, nơi chúng xuyên thủng qua bề mặt Mặt Trời, có các chiều phân cực khác nhau. Ý tưởng về các vòng từ này mang đến sự giải thích tự nhiên về lý do tại sao những vết đen chủ yếu và kéo dài trong một vùng hoạt động có chiều phân cực đối nghịch. Vết đen chủ đạo trùng khớp với một đầu của vòng từ và vết đen kéo dài trùng khớp với đầu còn lại. Các vòng từ nhỏ hơn hình thành tám trăm từ được mô tả trước đây dường như có liên quan đến việc đun nóng nhật hoa.

Các từ trường cũng đóng vai trò chủ yếu trong việc giải thích lý do tại sao các vết đen mặt trời mát hơn và tối hơn các vùng không có các từ trường mạnh. Các lực được sinh ra bởi từ trường chống lại sự chuyển động của những cột khí nóng sôi sùng sục bốc lên. Bởi vì các cột khí này mang hầu hết sức nóng từ bên trong Mặt Trời ra tới bề mặt nhờ đối lưu, sự đun nóng ít hơn xảy ra nơi có các từ trường mạnh. Tóm lại, hậu quả là, các vùng này được nhìn thấy như là các vết đen mặt trời tối hơn và mát hơn.

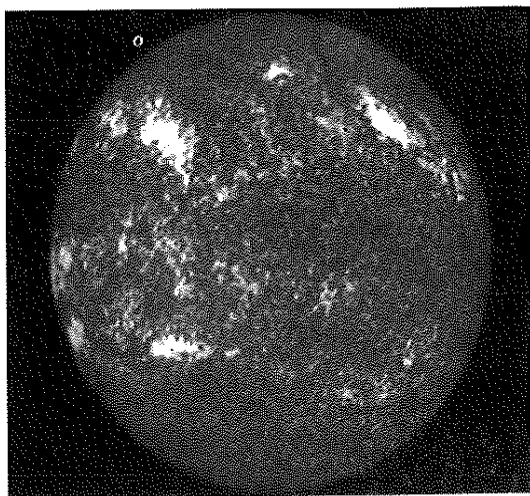
6.4 HOẠT ĐỘNG BÊN TRÊN QUANG QUYỂN

Để nhìn thấy được những phần của Mặt Trời nằm bên trên quang quyển,

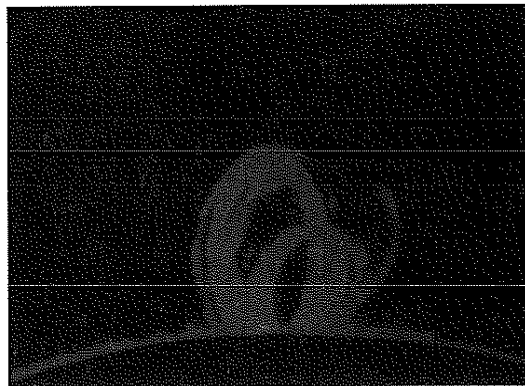
chúng ta phải quan sát những *vạch phát xạ* (emission lines) từ các nguyên tố như hydro và calcium chẳng hạn. Những vạch này được tạo ra trong những vùng nóng hơn và thấp hơn của chất khí trong sắc quyển. Các nhà thiên văn học thường chụp ảnh Mặt Trời qua các kính lọc đơn sắc chỉ để cho ánh sáng với các bước sóng đặc biệt đi qua. Mặt khác, nhật hoa nóng bức có thể được nghiên cứu bởi các cuộc quan sát bằng tia X.

❖ BÃI BIỂN MẶT TRỜI VÀ TAI LỬA MẶT TRỜI

Các bức hình được chụp qua các kính lọc chỉ để ánh sáng của calcium hay hydro đi qua mô tả các “đám mây” sáng trong sắc quyển chung quanh các vết đen mặt trời; những vùng sáng này được đặt tên là các **bãi biển mặt trời** (plages). Thực ra các bãi biển này chứa tất cả các nguyên tố trong Mặt Trời, không phải chỉ có hydro và calcium. Chúng là những vùng có nhiệt độ và mật độ cao hơn nằm trong sắc quyển. Các vạch phổ của hydro và calcium, do các đám mây này tạo ra,



Các bãi biển trên mặt trời (Plages on the Sun): Bức ảnh này được chụp bằng một kính lọc, chỉ cho phép ánh sáng của vạch phổ, do khí calcium bị ion hoá tạo ra, truyền qua. Những vùng sáng như các đám mây là các bãi biển mặt trời.



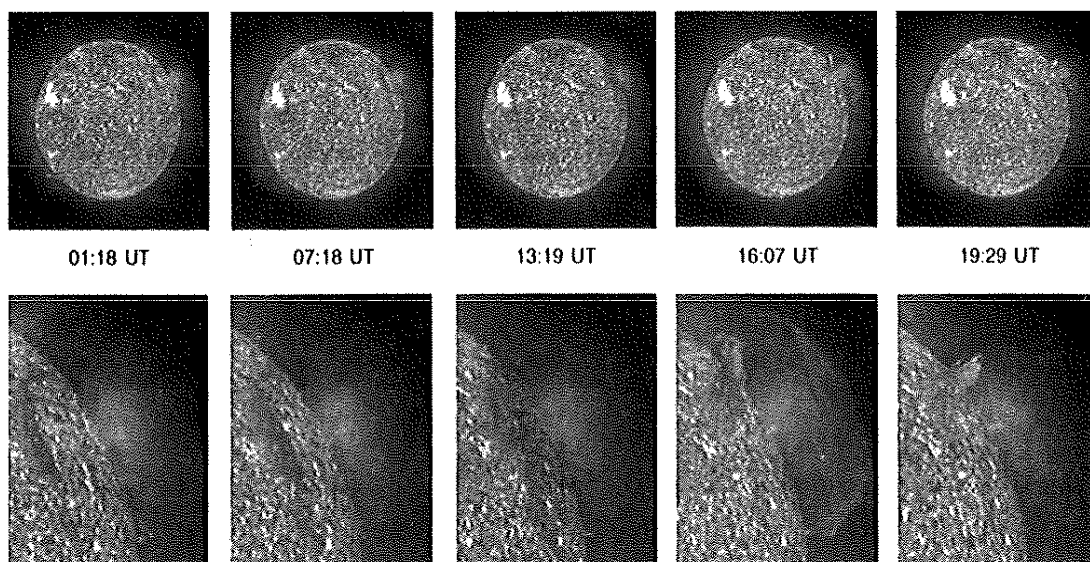
Tai lửa hình vòng: Hình dạng nổi bật của tai lửa là kết quả từ các từ trường mạnh trong vùng làm cong chất khí bị ion hoá và nóng trở thành một cái vòng.

mạnh và dễ quan sát với các nhiệt độ cao hơn, chỉ là ngẫu nhiên.

Di chuyển vào trong khí quyển của Mặt Trời, chúng ta đi tới một hiện tượng độc đáo gọi là các **tai lửa** (prominences) của Mặt Trời, thường phát sinh gần các vết đen. Các nhà quan sát nhật thực thường thấy các tai lửa giống như chỗ phồng lên (hay nhô lên) màu đỏ như tia lửa vọt lên bên trên Mặt Trời bị che khuất và vọt lên cao vào trong nhật hoa. Một số, các **tai lửa tĩnh** (hay tai lửa yên lặng) (quiescent prominences), là những vành đai đẹp dễ có thể duy trì gần như ổn định trong nhiều giờ hay thậm chí nhiều ngày.

Chúng có thể vươn ra tới độ cao hàng chục ngàn kilômét bên trên bề mặt mặt trời. Một số khác có thể di chuyển lên trên hay có những vòng cung trào dâng tới lui một cách chậm chạp.

Những **tai lửa phun trào** (eruptive prominences) tương đối hiếm hoi xuất hiện để đưa vật chất đi vào nhật hoa với tốc độ tới 700 km/giây, và những **tai lửa bùng nổ** (surge prominences) hoạt động mạnh nhất có thể di chuyển nhanh tới 1300 km/giây (gần 3 triệu dặm/giờ). Một



Tai lửa phun trào: Một loạt ảnh từ vệ tinh SOHO mô tả sự phát triển của một tai lửa phun trào khổng lồ. Bức hình được chụp bằng ánh sáng của các vạch phổ mạnh của khí helium ion hoá trong phần cực tím của quang phổ (bước sóng 30,4 nm). Vật chất trong tai lửa phun trào ở nhiệt độ từ 60.000 tới 80.000 K, và tai lửa cuối cùng vươn ra hơn 216.000 dặm đường kính, đủ lớn để kéo dài qua 28 Trái Đất. Chữ viết tắt UT có nghĩa là thời gian vũ trụ (universal time); bạn đang nhìn thấy một sự phun trào trên Mặt Trời qua quá trình dài hơn 18 giờ đồng hồ.

số tai lửa phun trào đã đạt tới độ cao hơn 1 triệu km bên trên quang quyển; Trái Đất có thể sẽ hoàn toàn lạc mất vào trong một trong những cảnh tượng đáng sợ này.

♦ NHỮNG VỤ LOÉ SÁNG

Hiện tượng dữ dội nhất trên bề mặt của Mặt Trời là một sự phun trào nhanh chóng gọi là sự lóe sáng mặt trời (solar flare). Một sự lóe sáng đặc trưng kéo dài từ 5 tới 10 phút và phóng thích một tổng năng lượng tương đương với năng lượng có lẽ của một triệu quả bom khinh khí. Các vụ lóe sáng lớn nhất kéo dài nhiều giờ và truyền đủ năng lượng để cung cấp điện cho toàn thể Hoa Kỳ với mức độ tiêu thụ điện hiện thời trong 100.000 năm. Gần tới giai đoạn cực đại của vết đen mặt trời, những vụ lóe sáng nhỏ diễn ra nhiều giờ trong một ngày, và các vụ lóe sáng quan trọng có thể xảy ra hàng vài tuần.

Các vụ lóe sáng thường được quan sát trong ánh sáng đỏ của hydro, nhưng sự phát xạ thấy được chỉ là một phần nhỏ của năng lượng phóng thích khi một vụ lóe sáng của trời bùng nổ. Vào thời điểm của vụ nổ, vật chất kết hợp với sự lóe sáng được đun nóng tới nhiệt độ cao 10 triệu K. Với nhiệt độ cao như thế, một dòng lũ bức xạ của tia X và tia cực tím được phát xạ.

Các vụ lóe sáng dường như xảy ra khi các từ trường hướng về những chiều đối nghịch phóng thích năng lượng bằng cách tương tác với nhau và hủy diệt lẫn nhau – giống như một dải băng cao su kéo dài phóng thích năng lượng khi nó đứt ra. Chúng ta đã bàn luận ý tưởng này trước đây, khi nói về sự đun nóng nhật hoa. Những gì khác biệt về sự lóe sáng là tương tác từ của chúng bao phủ một thể tích lớn trong nhật hoa của mặt trời và phóng thích một lượng bức xạ điện từ khổng lồ. Trong một số trường

Khi một lượng lớn các hạt bất ngờ phun vọt ra khỏi Mặt Trời, ảnh hưởng rõ rệt nhất đối với Trái Đất là sự xuất hiện của một cực quang sáng chói. Vào tháng 3/1989, một sự lóe sáng khổng lồ đã xảy ra khi Mặt Trời tiến gần đến giai đoạn hoạt động tối đa, kèm theo bởi một sự phun trào lớn của nhật hoa, tạo ra một cực quang nhìn thấy được tận phía Nam Arizona (vĩ độ 32). Hãy nhớ rằng các hiện tượng cực quang xảy ra nhiều nhất gần các cực từ của Trái Đất, bởi vì các hạt tích điện từ Mặt Trời có khuynh hướng lưu chuyển vào khí quyển Trái Đất dọc theo từ trường, đi vào Trái Đất gần các cực. Do đó nhìn thấy một cực quang ở đông nam Hoa Kỳ quả là chuyện đáng nói!

Những biến đổi trong từ trường của Trái Đất, được tạo ra bởi sự tấn công ô ạt và bất ngờ của các hạt tích điện từ Mặt Trời, đến lượt nó, sinh ra những dòng điện biến đổi gần bề mặt của hành tinh. Ảnh hưởng này rõ rệt nhất trong các đường dây điện dài, nhưng những vụ lóe sáng của mặt trời thậm chí có thể khiến các bộ phận của nhà máy điện bốc cháy. Như hậu quả của vụ nổ mặt trời trong tháng 3/1989, các khu vực của tỉnh Montreal và Québec ở Canada đã bị mất điện tới 9 tiếng đồng hồ. Các tác động khác cũng xảy ra. Thí dụ, do sự nhiễu điện, người dân nhận thấy cửa nhà xe tự động của họ đóng lại và mở ra mà không có nguyên nhân rõ ràng. Các hạt tích điện từ Mặt Trời chạm vào Trái Đất cũng có thể gây quá tải cho các mạch điện thoại.

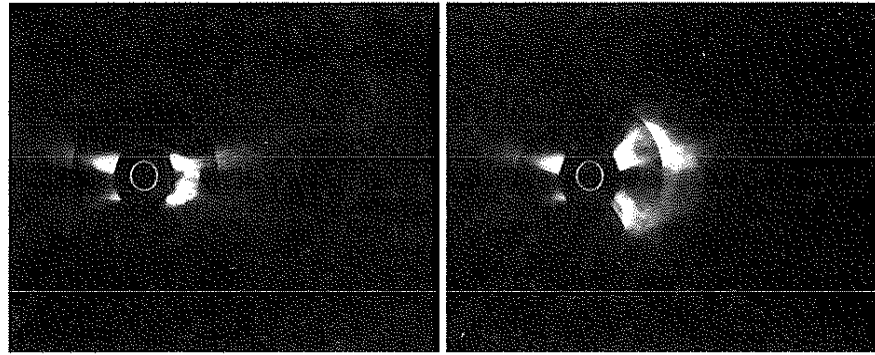
Bức xạ bước sóng ngắn được tạo ra trong các vụ lóe sáng của mặt trời đun nóng ngoại tầng khí quyển của Trái Đất. Năm 1981, một vụ lóe sáng rất lớn diễn ra trong lúc tàu con thoi Columbia đang bay trên quỹ đạo. Các phi hành gia trên tàu nhận thấy rằng sự lóe sáng, kéo dài trong 3 giờ, làm tăng nhiệt độ của khí quyển Trái Đất ở một độ cao 260 km từ trị số trung bình 1200 K lên tới 2200 K. Khi ngoại tầng khí quyển bị đun nóng, nó cũng vươn rộng ra, để đi xa hơn

trong không gian. Hậu quả là, sự ma sát giữa khí quyển và phi thuyền gia tăng, kéo các vệ tinh tới cao độ thấp hơn. Ngay thời điểm của vụ lóe sáng vào tháng Ba năm 1989, hệ thống chịu trách nhiệm về việc theo dõi đường đi của khoảng 19.000 vật thể bay trên quỹ đạo Trái Đất, tạm thời mất dấu vết của 11.000 trong số đó bởi quỹ đạo của chúng đã bị thay đổi do sự trương nở của khí quyển Trái Đất. Trong giai đoạn cực đại của mặt trời, một số vệ tinh bị kéo xuống tới một cao độ thấp đến nỗi chúng bị phá hủy do ma sát với khí quyển.

Mức độ hoạt động của mặt trời là nhân tố quyết định trong việc tính toán thời gian sống (hay tuổi thọ) và quỹ đạo của các vệ tinh trong quỹ đạo gần Trái Đất. Các vụ lóe sáng cũng có thể đang đe dọa sinh mạng đối với các phi hành gia trên chuyến du hành tới Sao Hỏa. Rõ ràng, có được khả năng dự đoán mức độ tổng quát về hoạt động của mặt trời và diễn biến của các vụ lóe sáng riêng biệt sẽ là điều cực kỳ có giá trị. Các nhà thiên văn học đang làm việc để tìm hiểu cách thức tạo ra các dự đoán đáng tin cậy, nhưng các dự báo chính xác về "thời tiết" mặt trời đang chứng tỏ là một mục đích thậm chí còn xa vời hơn các dự báo đáng tin cậy của thời tiết Trái đất.

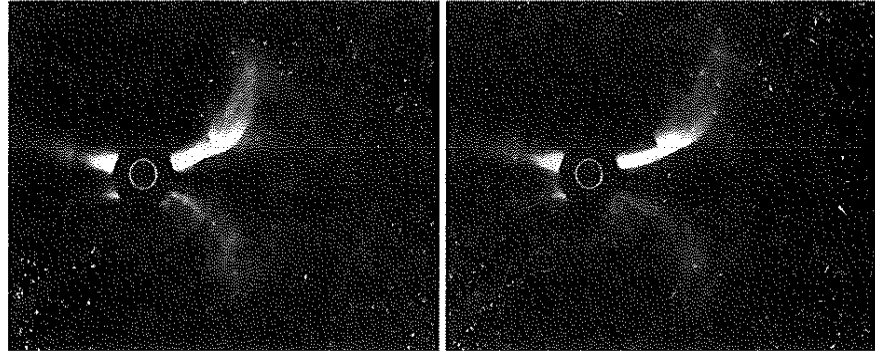


Một vụ lóe sáng của mặt trời có thể là kết quả của sự phóng xạ những lượng rất lớn các hạt với tốc độ hàng ngàn km/giờ.



1997/11/06 12:10 (C2) 11:50 (C3)

12:36 (C2) 12:41 (C3)



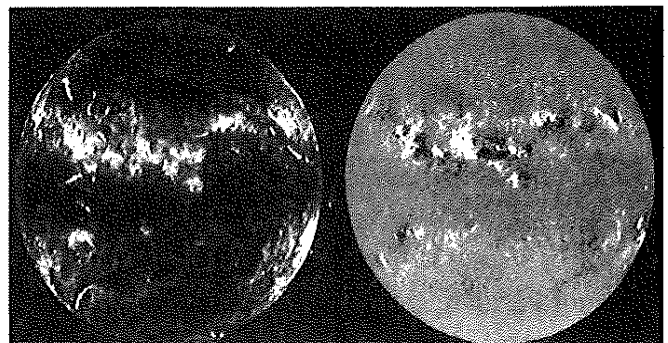
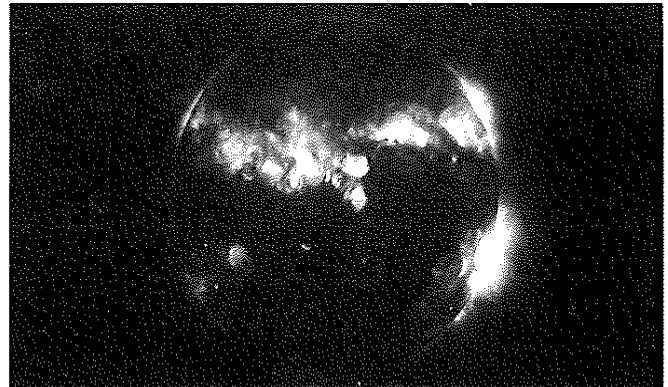
13:30 (C2) 13:46 (C3)

14:26 (C2) 14:12 (C3)

Một sự lóe sáng trên Mặt Trời: Chuỗi hình ghép này được các thiết bị chụp ảnh nhật hoa mô tả một sự lóe sáng lớn của mặt trời và sự phun xuất khối lượng vật chất của nhật hoa. Nhiều tấn hạt mặt trời đang bị nổ tung vào trong không gian với tốc độ hàng triệu dặm/giờ. Những sợi trắng và chấm trắng trong hình thứ ba và thứ tư được tạo ra bởi các hạt năng lượng cao, chạm tới các thiết bị của vệ tinh SOHO, cách xa Mặt Trời 155 triệu km, tại thời điểm, trong khoảng 3 giờ. Vòng tròn màu trắng biểu thị kích thước và vị trí của Mặt Trời. Đĩa màu xanh (hay kính thiên văn để chụp nhật hoa) che chắn Mặt Trời, tạo ra một hiện tượng nhật thực nhân tạo, cho phép quan sát được nhật hoa mờ yếu.

Mặt Trời với các bước sóng khác nhau.

Ba bức ảnh của Mặt Trời được chụp trong cùng một thời gian với các bước sóng khác nhau. Hình trên cùng mô tả sự phát xạ tia X, xuất phát từ trong nhật hoa nóng bỏng. Bức hình nằm thấp hơn, bên trái, được chụp trong ánh sáng của vạch phổ mạnh của khí helium trung hòa, mô tả nơi mà sự phát xạ của sắc quyển mạnh. Trong hình dưới, bên phải, các vết trắng và đen là những vùng của từ trường mạnh; màu trắng và màu đen tương ứng với các chiều phân cực từ ngược nhau. Bạn có thể thấy sự phát xạ tia X của nhật hoa, sự phát xạ của sắc quyển, và các từ trường mạnh có khuynh hướng xảy ra trong cùng các vị trí, gọi là các vùng hoạt động.



hợp, khối lượng vật chất bao la của nhật hoa – chủ yếu là các proton và electron – cũng có thể phun trào ra với tốc độ cao (500 – 1000 km/giây) vào trong không gian giữa các hành tinh. Những *sự phun trào khối lượng lớn của nhật hoa* như thế có thể tác động đến Trái Đất theo nhiều cách.

♦ CÁC VÙNG HOẠT ĐỘNG

Các vết mặt trời, sự lóe sáng, và các vùng chiếu sáng trong sắc quyển và nhật hoa có khuynh hướng xảy ra cùng một lúc trên Mặt Trời. Nghĩa là, chúng đều có khuynh hướng có những kinh độ và vĩ độ tương tự, nhưng chúng được phân bố ở những cao độ khác nhau trong khí quyển. Bởi đều xảy ra cùng một lúc, chúng đều thay đổi với chu kỳ vết đen. Thí dụ, các vụ lóe sáng chắc chắn xảy ra gần giai đoạn cực đại của vết đen, và nhật hoa rõ ràng hơn nhiều tại thời điểm ấy (xem hình ở đầu chương này). Một nơi trên Mặt Trời ở đó các hiện tượng này được nhìn thấy được gọi là vùng hoạt động (active region). Các vùng hoạt động lúc nào cũng kết hợp với các từ trường mạnh.

6.5 MẶT TRỜI CÓ PHẢI LÀ MỘT SAO BIẾN QUANG?

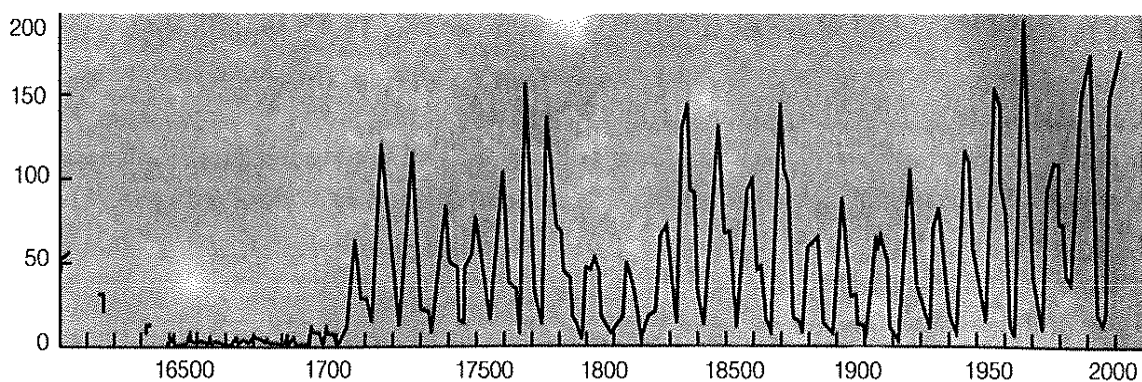
Mặt Trời luôn mọc mỗi ngày vào một thời điểm có thể được tính toán chính xác. Mỗi ngày nó phân bố năng lượng trên Trái Đất, sưởi ấm Trái Đất và duy trì sự sống. Nhưng trải qua thập niên vừa rồi, các nhà khoa học đã tích lũy chứng cứ rằng Mặt Trời thực sự không phải là bất biến nhưng biến đổi qua các thế kỷ bởi một số lượng nhỏ – có thể chưa tới 1%. Tuy nhiên, sự biến thiên này đủ để

có các ảnh hưởng sâu sắc đối với Trái Đất và khí hậu của nó.

♦ SỰ BIẾN THIÊN VỀ SỐ LƯỢNG CỦA VẾT ĐEN MẶT TRỜI

Chúng ta biết rằng số lượng vết đen mặt trời biến đổi, với thời gian giữa các giai đoạn cực đại của vết mặt trời là khoảng 11 năm. Tuy nhiên, số lượng vết mặt trời ở giai đoạn cực đại không phải bao giờ cũng giống nhau. Chứng cứ đáng quan tâm cho thấy rằng giữa những năm 1645 và 1715, số lượng vết đen mặt trời, ngay cả vào giai đoạn cực đại của vết đen, còn thấp hơn nhiều so với ngày nay. Khoảng thời gian của sự hoạt động cực thấp này lần đầu tiên được Gustav Sporer ghi nhận năm 1887, và sau đó được E.W. Maunder chú ý năm 1890; ngày nay nó được gọi là Giai đoạn cực tiểu Maunder (Maunder Minimum). Sự biến thiên về số lượng vết đen mặt trời trải qua bốn thập niên mới đây được trình bày trong hình trang bên. Ngoài Giai đoạn cực tiểu Maunder trong thế kỷ 17, số lượng vết đen trong phần đầu của thế kỷ XIX thấp hơn một chút so với hiện nay; thời kỳ này được gọi là Giai đoạn cực tiểu Maunder nhỏ (Little Maunder Minimum).

Khi số lượng vết đen mặt trời tăng lên, Mặt Trời cũng hoạt động theo nhiều phương cách khác, và hoạt động này tác động trực tiếp đến Trái Đất. Thí dụ, có nhiều cảnh tượng cực quang hơn khi số lượng vết đen tăng cao. Các hiện tượng cực quang được tạo ra bởi sự tác động của các hạt năng lượng tích điện từ Mặt Trời đối với từ quyển của Trái Đất, và Mặt Trời chắc chắn phun trào các hạt khi nó hoạt động tích cực và số lượng vết đen tăng cao. Những ghi nhận lịch sử chứng



Số lượng của vết mặt trời khi chúng biến đổi theo thời gian: Hãy chú ý sự vắng mặt của các vết đen mặt trời từ năm 1645 tới 1715.

tỏ rằng sự hoạt động của cực quang hạ thấp một cách bất thường qua nhiều thập niên của Giai đoạn cực tiểu Maunder.

Chúng cứ tốt nhất về số lượng của sự biến thiên dài hạn (qua nhiều thập niên) về mức độ hoạt động của mặt trời xuất phát từ các nghiên cứu về đồng vị phóng xạ carbon 14. Trái Đất bị bắn dội liên tục bởi các tia vũ trụ (cosmic rays) – các hạt tích điện năng lượng cao bao gồm các proton và nhân của các nguyên tố nặng hơn. Tốc độ các tia vũ trụ từ các nguồn bên ngoài hệ mặt trời chạm tới thượng tầng khí quyển tùy thuộc vào mức độ hoạt động của Mặt Trời. Khi Mặt Trời hoạt động, các hạt tích điện của nó, tuôn chảy vào hệ mặt trời, mang từ trường mạnh của Mặt Trời theo chúng. Từ trường này che chở Trái Đất tránh khỏi các tia vũ trụ đang đi tới. Vào những lúc sự hoạt động thấp, khi từ trường của Mặt Trời yếu đi, các tia vũ trụ đi tới Trái Đất với số lượng lớn hơn.

Khi các hạt năng lượng của tia vũ trụ tác động lên thượng tầng khí quyển, chúng tạo ra nhiều chất đồng vị phóng xạ khác nhau. Một chất đồng vị như thế là carbon 14, được tạo ra khi nitrogen bị các tia vũ trụ năng lượng cao đập vào.

Tốc độ tạo ra carbon 14 tăng lên khi sự hoạt động của Mặt Trời giảm đi và từ trường mặt trời không che chở Trái Đất tránh khỏi sự bắn phá của các tia vũ trụ.

Một số carbon phóng xạ sau đó hình thành các phân tử dioxide carbon, cuối cùng được kết hợp vào cây cối qua quang hợp (photosynthesis). Bằng cách đo lượng carbon phóng xạ trong các vòng gỗ hàng năm của cây, chúng ta có thể ước tính các mức độ lịch sử về hoạt động của Mặt Trời. Những tương quan với các ước lượng bằng thị giác về số lượng vết đen qua 300 năm mới đây chứng tỏ rằng ước lượng về carbon 14 của hoạt động mặt trời rất cuộc là có giá trị. Bởi vì phải mất một thời gian trung bình khoảng 10 năm để cho một phân tử dioxide carbon được hấp thụ từ khí quyển hay đại dương vào trong các loài thực vật, kỹ thuật này không thể cung cấp dữ liệu đối với chu kỳ 11 năm của mặt trời. Tuy nhiên, nó có thể được sử dụng để tìm kiếm những biến đổi dài hạn trong mức độ hoạt động của mặt trời.

Những ước tính về lượng carbon 14 trong các vòng gỗ của cây ngày nay tiếp tục vươn rộng trở lại cách đây khoảng

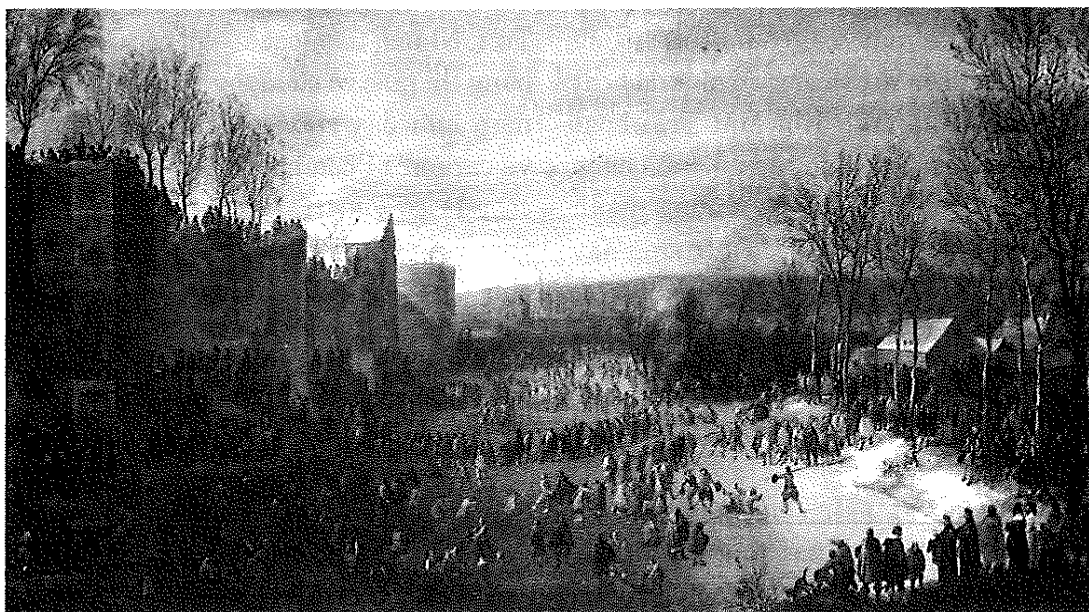
8000 năm. Những biến thiên về mức độ hoạt động của mặt trời đã xảy ra qua suốt thời kỳ này, và vào các thời điểm khác nhau Mặt Trời đã hoạt động nhiều hơn hay ít hơn so với hiện nay. Các số đo xác nhận rằng lượng carbon 14 tăng cao bất thường, cùng với sự hoạt động của mặt trời tương ứng thấp, trong suốt Giai đoạn cực tiểu Maunder (Maunder Minimum) và Giai đoạn cực tiểu Maunder nhỏ (Little Maunder Minimum). Mức độ hoạt động cũng thấp từ năm 1410 tới 1530, và từ năm 1280 tới 1340. Giữa những năm khoảng 1100 và 1250, mức độ hoạt động của mặt trời có thể cao hơn so với hiện nay.

♦ TÍNH BIẾN THIÊN CỦA MẶT TRỜI VÀ KHÍ HẬU TRÁI ĐẤT: BẰNG CHỨNG LỊCH SỬ

Ngày nay có một chứng cứ đúng đắn rằng những biến đổi trong hoạt động của mặt trời ảnh hưởng đến khí hậu Trái Đất. Giai đoạn cực tiểu Maunder

là một thời gian của nhiệt độ thấp khác thường ở châu Âu – quá thấp đến nỗi giai đoạn này được mô tả như một Thời kỳ Tiểu băng hà (Little Ice Age). Con sông Thames ở Luân Đôn đông cứng ít nhất 11 lần trong suốt thế kỷ 17, băng hà xuất hiện trong các đại dương cách xa các bờ biển đông nam nước Anh, và các nhiệt độ mùa hè thấp dẫn đến các vụ mùa trồng trọt ngắn và thu hoạch nghèo nàn. Khí hậu địa cầu cũng có vẻ đã bị lạnh một cách bất thường từ năm 1400 tới 1510; giai đoạn này cũng là một thời kỳ hoạt động thấp của mặt trời.

Những thay đổi khí hậu có thể đã ảnh hưởng sâu sắc đến lịch sử nhân loại. Thí dụ, các nhà thám hiểm Na Uy, ban đầu từ Na Uy thuộc địa hoá Iceland và sau đó tới Greenland vào năm 986 sau Công nguyên. Từ nơi đó, họ đã có thể lập lại các cuộc thám viếng tới các bờ biển đông bắc của Bắc Mỹ, kể cả Newfoundland, giữa các năm khoảng 1000 và 1350 sau Công nguyên. (Các con tàu của thời ấy



Trong "Thời kỳ Tiểu băng hà" ở Âu Châu, các khối nước đông cứng mỗi mùa đông. Bức tranh này do Robert van den Hoecke vẽ từ năm 1649 có tựa đề "Skating in the Town Moat of Brussels" (Trượt băng trên hào chung quanh thành phố Brussels).

không cho phép các nhà thám hiểm Na Uy thực hiện chuyến đi một mạch tới thặng Bắc Mỹ nhưng chỉ từ Greenland, được sử dụng như một trạm dừng cho các cuộc thám hiểm xa hơn).

Hầu hết Greenland bị băng bao phủ, và trạm Greenland không bao giờ tự túc được; đúng hơn nó phụ thuộc vào thực phẩm nhập khẩu và các hàng hoá nhập khẩu khác từ Na Uy. Khi một thời kỳ tiểu băng hà bắt đầu vào thế kỷ 13, các chuyến du hành trở nên rất khó khăn, và sự hỗ trợ cho thuộc địa Greenland không còn thực hiện được nữa. Sự tiếp xúc cuối cùng với nó được biết đến là do một con tàu từ Iceland bị gió thổi chệch hướng vào năm 1410. Khi các tàu châu Âu bắt đầu trở lại thăm viếng Greenland năm 1577, toàn bộ kiều dân đã biến mất.

Hãy chú ý những ngày tháng được ước đoán dành cho những kiểu di dân này theo đúng những gì chúng ta biết về hoạt động của Mặt Trời. Sự hoạt động của mặt trời cao khác thường giữa những năm 1100 và 1250, bao gồm thời gian những cuộc thám viếng đầu tiên của châu Âu tới Bắc Mỹ được thực hiện. Sự hoạt động thấp từ năm 1280 tới 1340 và đã có một thời kỳ tiểu băng hà, là vào khoảng thời gian mà sự tiếp xúc thường xuyên với Bắc Mỹ, giữa Greenland và châu Âu ngưng lại.

♦ TÍNH BIẾN THIÊN CỦA MẶT TRỜI VÀ KHÍ HẬU TRÁI ĐẤT: THUYẾT CƠ GIỚI

Có nhiều chứng cứ là Trái Đất thường lạnh hơn khi hoạt động của Mặt Trời thấp xuống. Nhưng tại sao? Có phải Mặt Trời thực sự tỏa ra ít sức nóng hơn vào những thời gian hoạt động thấp? Chỉ trong vài năm vừa qua, chúng ta đã có

được các số đo chính xác qua toàn bộ một chu kỳ Mặt Trời để có thể trả lời câu hỏi này.

Thật bất ngờ, Mặt Trời là một phần mười của 1% hay sáng hơn trong giai đoạn cực tiểu. Điều này đúng là ngược với những suy đoán bởi vì chúng ta có thể đã hy vọng rằng Mặt Trời sẽ yếu hơn khi được bao phủ với một số lượng lớn các vết đen. Nguồn của bức xạ phụ ở giai đoạn cực đại của vết đen đã không được xác định nhưng có thể xuất phát từ các vùng sáng chói, giống như các bãi biển mặt trời, dồi dào hơn tại giai đoạn cực đại.

Người ta tính toán những mô hình về khí quyển trái đất, cố gắng để am hiểu bằng cách nào các biến đổi nhỏ về độ trung (luminosity) của Mặt Trời có thể gây ra các thay đổi đáng kể về nhiệt độ của Trái Đất. Thí dụ, chúng ta quan sát rằng sự bức xạ tia cực tím từ Mặt Trời là cao hơn khoảng 1% tại thời điểm cực đại. Các mô hình về bầu khí quyển chúng ta chỉ ra rằng sự bức xạ phụ này có thể tạo ra thêm khí ozone trong tầng bình lưu (stratosphere). Khí ozone có thể hấp thụ thêm ánh sáng mặt trời và gia tăng nhiệt độ của tầng bình lưu. Đến lượt mình, điều này có thể ảnh hưởng tới các cơn gió ở trên cao, điều chỉnh đường đi của các cơn bão, và làm thay đổi nhiệt độ ở các tầng thấp hơn của khí quyển Trái Đất bằng cách phân biệt số lượng tại các vĩ độ khác nhau. Tuy nhiên, theo những đánh giá tốt nhất chúng ta có từ trước đến nay, nhiệt độ lạnh khác thường vào thời điểm của Giai đoạn cực tiểu Maunder sẽ đòi hỏi sự sụt giảm khoảng 1% trong hoạt động của Mặt Trời, lớn hơn những sự biến đổi chúng ta thấy ngày nay.

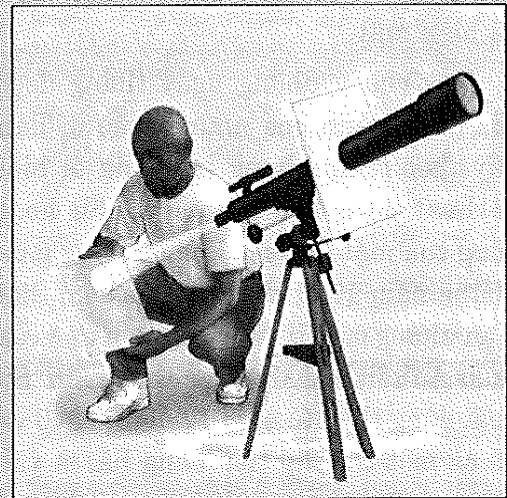
Nhìn trực tiếp vào Mặt Trời rất nguy hiểm! Thậm chí một sự phơi sáng ngắn ngủi cũng có thể làm cháy võng mạc của bạn và gây tổn thương nghiêm trọng cho mắt. Nhìn trực tiếp vào Mặt Trời qua một kính viễn vọng không có kính lọc còn tệ hại hơn, bởi vì các kính viễn vọng tập trung bức xạ của Mặt Trời và do đó làm hại đôi mắt bạn còn nhanh hơn. Nhưng có những phương cách quan sát gián tiếp Mặt Trời, an toàn và cho chúng ta biết rất nhiều điều.

Không lâu sau khi Galileo bắt đầu thử hướng kính viễn vọng đầu tiên của mình lên bầu trời, người phụ tá và là đồ đệ của ông, Beneditto Castelli, nảy ra một phương cách quan sát các vết đen mặt trời, mà bản chất của chúng đã gây tranh cãi kịch liệt trong thời kỳ ấy. Castelli chiếu hình ảnh của Mặt Trời do kính viễn vọng tạo ra lên trên một tờ giấy, ở đó các vết đen mặt trời có thể được phác họa một cách an toàn. Sử dụng kỹ thuật này, Galileo có thể chứng tỏ rằng các vết đen mặt trời không phải là các hành tinh nhỏ và tối đang che khuất ánh sáng mặt trời, như một số người đã nêu lên, mà là những vùng tối di chuyển khi Mặt Trời xoay. Bạn có thể tự mình làm thử thí nghiệm này.

Đặt một kính viễn vọng nhỏ trên một giá đỡ vững chắc để cho nó chĩa vào Mặt Trời. Hãy nhớ là bạn phải thực hiện điều này chỉ bằng phương pháp thử sai mà thôi; không bao giờ nhìn vào Mặt Trời qua kính viễn vọng để xem mình đang làm tốt như thế nào! Trái lại, hãy chăm chú nhìn cái bóng của kính viễn vọng; nó sẽ nhỏ nhất khi kính viễn vọng hướng thẳng vào Mặt Trời. Sau đó bạn có thể thấy một ảnh của Mặt Trời trên một tờ giấy bìa cứng trắng hay bề mặt

sáng khác. Hãy phác họa các vết đen nếu có. Lặp lại sự quan sát qua quá trình một hay hai tuần lễ, và, định hướng bản phác họa của bạn cùng một cách, vạch ra cách thức các vết đen đã di chuyển qua bề mặt của Mặt Trời.

Việc đặt một vòng giấy bìa cứng chung quanh kính viễn vọng làm cho hình ảnh trở nên dễ thấy hơn do việc rơi một cái bóng lên nó và do đó khiến cho hình cầu của Mặt Trời nổi bật. Nếu bạn quan sát Mặt Trời trong một lúc, đừng ngạc nhiên nếu hình ảnh của nó di chuyển ngang qua và ra khỏi tờ giấy theo thời gian. Điều này do sự quay tròn của Trái Đất gây ra, khiến cho Mặt Trời có vẻ mọc và lặn. Cũng đừng bối rối nếu bạn không thấy bất cứ vết đen mặt trời nào, đặc biệt nếu bạn đang quan sát trong giai đoạn cực tiểu của hoạt động mặt trời.



Ngắm nhìn Mặt Trời qua kính viễn vọng rất nguy hại, nhưng bạn lúc nào cũng có thể quan sát Mặt Trời một cách an toàn với một kính viễn vọng nhỏ bằng cách chiếu hình ảnh của nó lên một tờ giấy bìa cứng màu trắng.

Chúng ta có thể thu thập được những manh mối bổ sung về khả tính là độ trung của mặt trời có thể đôi lúc biến thiên tới 1% bằng cách nhìn vào các

chu kỳ hoạt động trong các sao tương tự như Mặt Trời. Hoá ra là những sự biến thiên hiện tại của Mặt Trời (chỉ 0,1% toàn bộ năng lượng được phát xạ)

nhỏ bé một cách khác thường. Độ trung của hầu hết các sao biến thiên khoảng 0,3% và một số sao tới khoảng 1%. Vì thế rất có khả năng là Mặt Trời đôi khi cũng có thể biến đổi với những số lượng lớn hơn so với hiện tại, và hiệu suất năng lượng tại thời điểm của Giai đoạn cực tiểu Maunder tóm lại có thể đã hạ thấp đủ để gây ra nhiệt độ lạnh khác thường trên Trái Đất. Các cuộc quan sát về tính biến thiên cao hơn trong hiệu suất năng lượng của hầu hết các ngôi sao khác giống như Mặt Trời cũng nêu ra rằng tính ổn định của hoạt động mặt trời – và tính ổn định của khí hậu Trái Đất – trải qua ba thế kỷ sau cùng có thể là khác thường.

Tất cả những ý tưởng này là rất mới mẻ và còn phải được xác nhận bằng những cuộc quan sát thêm nữa và thử nghiệm các mô hình. Và những hiện tượng trên Trái Đất, chẳng hạn như núi lửa và sự ấm lên của nhà kính từ việc đốt cháy các nhiên liệu hoá thạch (fossil fuels), có thể cũng ảnh hưởng tới khí hậu toàn cầu theo các cách thức mà hiện nay chúng ta đang tìm hiểu. Cho nên, ngày càng có nhiều chứng cứ rằng những sự biến đổi về số lượng năng lượng được phát xạ bởi Mặt Trời có ảnh hưởng tới khí hậu của Trái Đất và sự sống của các sinh vật trên đó. Đó là một lý do chủ yếu để tiếp tục nghiên cứu hình thái hoạt động ngắn hạn và dài hạn của Mặt Trời.

TÓM LƯỢC

6.1 Mặt Trời, ngôi sao của chúng ta, được bao quanh bởi một số lớp hình thành khí quyển Mặt Trời. Theo thứ tự của khoảng cách gia tăng từ

trung tâm, chúng là **quang quyển**, với nhiệt độ từ 4500 K tới khoảng 6800 K; **sắc quyển**, với nhiệt độ tiêu biểu 10^4 K; **vùng chuyển tiếp**, một khu vực có thể chỉ dày vài kilômét, nơi mà nhiệt độ tăng nhanh từ 10^4 K tới 10^6 K; và **nhật hoa**, với nhiệt độ vài triệu độ Kelvin. Các hạt của gió mặt trời tuôn chảy vào hệ mặt trời qua **hố nhật hoa**. Hydro và helium cùng nhau hình thành 98% khối lượng của Mặt Trời, mà thành phần cấu tạo của nó mang rất nhiều tính chất đặc thù của vũ trụ nói chung hơn là của một hành tinh như Trái Đất.

6.2 Bề mặt của Mặt Trời bị lốm đốm với những dòng đi lên được nhìn thấy như các **hạt** (granules) nóng và sáng. Các **vết đen mặt trời** là những vùng tối, ở đó nhiệt độ lên tới 1500 K, mát hơn quang quyển chung quanh. Chuyển động của chúng ngang qua đĩa Mặt Trời cho phép chúng ta tính được Mặt Trời quay tròn trên trục của nó nhanh đến mức nào. Mặt Trời xoay nhanh ở xích đạo của nó, nơi mà chu kỳ quay khoảng 25 ngày, còn ở gần các cực, chu kỳ lớn hơn 36 ngày một chút.

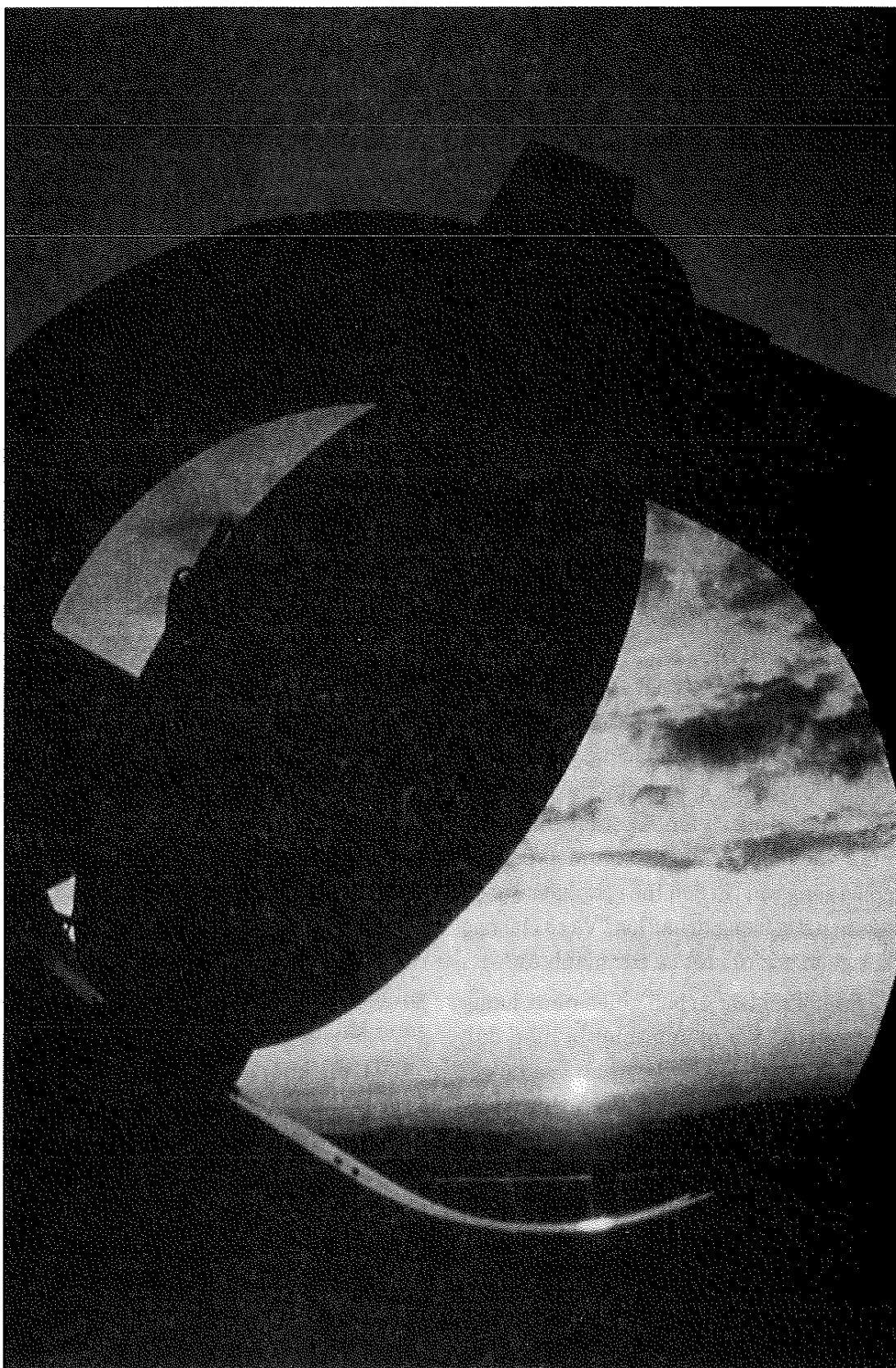
6.3 Số lượng các vết mặt trời thấy được biến đổi theo chu kỳ vết đen có thời gian trung bình là 11 năm. Các vết thường xảy ra thành từng cặp. Trong một chu kỳ 11 năm nhất định, tất cả các vết chủ yếu trong bắc bán cầu có cùng chiều phân cực từ, trong khi tất cả các vết chủ yếu trong nam bán cầu có chiều phân cực đối nghịch. Trong chu kỳ 11 năm kế tiếp, chiều phân cực đảo ngược. Vì nguyên do này, chu kỳ hoạt động từ của Mặt Trời thường là kéo dài trong 22 năm.

6.4 Các vết đen mặt trời, các vụ lóe sáng mặt trời, các tai lửa mặt trời, và các vùng sáng, kể cả các bãi biển mặt trời, có khuynh hướng xảy ra trong các vùng hoạt động – nghĩa là, trong những nơi trên Mặt Trời với cùng một vĩ độ và kinh độ nhưng với những cao độ khác nhau trong khí quyển. Những vùng hoạt động này có liên quan với từ trường mạnh của Mặt Trời.

6.5 Trải qua những quãng thời gian dài

(100 năm hay hơn nữa), có những sự thay đổi về mức độ hoạt động của mặt trời, và số lượng vết đen được nhìn thấy vào giai đoạn cực đại. Thí dụ, số lượng vết đen thấp khác thường từ năm 1645 tới 1715, một giai đoạn hiện nay gọi là Giai đoạn cực tiểu Maunder. Có chứng cứ lịch sử mạnh mẽ rằng Trái Đất lạnh hơn khi số lượng vết đen mặt trời thấp khác thường trong vài thập niên.





Mặt Trời, đang mọc ngay bên trên chân trời, với cái bóng của tấm gương của kính viễn vọng Mặt Trời McMath-Pierce tại Đài thiên văn Quốc Gia Kitt Peak. Tấm gương này theo dõi Mặt Trời đi ngang qua bầu trời và chiếu ánh sáng xuống phần còn lại của các dụng cụ quang học của kính viễn vọng.

CHƯƠNG 7

MẶT TRỜI: NHÀ MÁY ĐIỆN HẠT NHÂN

“Chúng ta không tranh luận với những người chỉ trích cho rằng các vì sao không đủ nóng cho quá trình này [sự tổng hợp hạt nhân]; chúng ta bảo họ đi tìm một chỗ nóng hơn...”

Arthur Eddington in Internal Constitution of the Stars (1926)

Tại sao Mặt Trời chiếu sáng? Ngôi sao của chúng ta tạo ra khối lượng năng lượng khổng lồ và đã luôn làm như thế kể từ khi đôi mắt con người lần đầu tiên chăm chú nhìn vào nó. Và chúng ta tin Mặt Trời đã chiếu sáng còn lâu hơn thế rất nhiều. Nó đã tạo ra năng lượng từ bao lâu? Và cơ chế nào là nguồn gốc của tất cả sức mạnh ấy?

Mặt Trời bức xạ bao nhiêu năng lượng vào vũ trụ? Với những thiết bị hiện đại, chúng ta đã đo được năng suất của nó với độ chính xác rất cao và nhận thấy rằng ngôi sao của chúng ta sản sinh ra khoảng 4×10^{26} watt (W). Đó là một con số rất lớn; nó có ý nghĩa gì trong các điều kiện của con người?

Dân số hiện nay của hành tinh chúng ta là khoảng 6 tỉ (6×10^9) người. Giả sử vào một thời điểm nào đó mà tất cả chúng ta cùng nhau đồng loạt mở một ngàn cái bóng đèn tròn 100 W. Mỗi người trên Trái Đất kể đó sẽ được chiếu sáng

như sân khấu giải Oscar ở Hollywood đêm khai mạc! Nhưng tất cả các bóng đèn tròn bao quanh những con người ấy vẫn chỉ tổng cộng có 6×10^{14} W. Để sử dụng mức năng lượng nhiều như Mặt Trời tạo ra, chúng ta sẽ phải tìm 670 tỉ thế giới giống như Trái Đất, tất cả đều cùng làm một trò. Nói cách khác, theo qui mô của các bóng đèn tròn, Mặt Trời sáng không thể tưởng tượng nổi.

Và nó không đủ để xác định Mặt Trời tạo ra bao nhiêu năng lượng trong một giây. Bạn có thể nghĩ về tất cả các cách thức để sinh ra một lượng năng lượng khổng lồ nếu phải thực hiện điều đó trong một giây, hay thậm chí trong một phút. Nhưng nếu phải duy trì một số năng lượng khổng lồ cho một năm hay một tỉ năm, bạn sẽ cần một máy phát điện ổn định và đáng tin cậy.

Mặt Trời đã chiếu sáng trong bao lâu rồi? Chúng ta có vài dòng chứng cứ chứng

Watt (W) là một đơn vị công suất – nghĩa là, của năng lượng tiêu thụ hay tỏa ra trên đơn vị thời gian. Bạn biết được từ kinh nghiệm hàng ngày rằng đó không chỉ là bạn tiêu dùng bao nhiêu năng lượng, nhưng mà bạn tiêu thụ năng lượng đó trong bao lâu. Việc đốt cháy 10 Calori (Cal) trong 10 phút cần thiết cho một bài tập thể dục rất khác với việc đốt cháy 10 Cal trong một giờ. Watt cho bạn biết tốc độ qua đó năng lượng đang được tiêu thụ; thí dụ, một bóng đèn 100 W tiêu thụ 100 joules (J) năng lượng trong mỗi giây.

tỏ rằng Mặt Trời đại khái đã hình thành cùng thời gian với hệ hành tinh – cách đây khoảng 4,5 tỉ năm. Thế thì, nhiệm vụ của chúng ta không chỉ là giải thích bằng cách nào Mặt Trời sinh ra nhiều năng lượng như hiện nay, mà còn cơ chế nào đã cho phép nó thực hiện điều đó như vậy trong hàng tỉ năm.

Các nhà khoa học cố gắng giải thích rằng ban đầu Mặt Trời giống như những nguồn năng lượng đã quen thuộc trên Trái Đất. Điều này dường như là một chiến lược hợp lý, bởi vì Mặt Trời và Trái Đất chứa cùng những loại nguyên tử, mặc dù khác nhau về tỉ lệ. Song, như chúng ta sẽ thấy, không có một nguồn năng lượng nào được biết đến vào một thời gian nào đó có thể giải thích sự trường tồn của Mặt Trời. Chỉ sau khi các nhà khoa học khám phá ra năng lượng chứa trong nhân nguyên tử mà họ xác định là nguồn cung cấp năng lượng của Mặt Trời.

7.1 NĂNG LƯỢNG NHIỆT VÀ NĂNG LƯỢNG HẤP DẪN

Các nhà khoa học thế kỷ XIX biết về hai nguồn có thể có đối với năng lượng

của Mặt Trời: nhiệt, hay nhiệt năng, và năng lượng hấp dẫn. Nguồn của nhiệt năng hầu hết quen thuộc với chúng ta trên Trái Đất này là sự đốt cháy (thuật ngữ hoá học là sự oxy hóa) của gỗ, than đá, xăng dầu, hay nhiên liệu khác. Chúng ta biết một cách chính xác sự đốt cháy những vật liệu này có thể sản sinh ra bao nhiêu năng lượng. Do đó chúng ta có thể tính toán rằng thậm chí nếu khối lượng bao la của Mặt Trời bao gồm một vật liệu cháy được như than đá hay gỗ, thì nó cũng không thể sinh ra năng lượng với mức độ hiện thời trong hơn vài ngàn năm. Đó không phải là thời gian đủ để cho Trái Đất tiến hoá ngay cả một con virus chứ đừng nói là một dạng sự sống phức tạp như một con người! Vả lại, các nhà địa chất học đã phát hiện ra những hoá thạch trong các lớp đá có tuổi hơn 3,5 triệu năm, vì vậy nhiệt độ của Trái Đất (và sản lượng nhiệt của Mặt Trời) phải thích hợp để duy trì sự sống xa xưa đến như thế. Và chúng ta cũng biết rằng với những nhiệt độ được tìm thấy trong Mặt Trời, thì chẳng có vật liệu gì giống như gỗ và than đá có thể tồn tại.

✧ SỰ BẢO TOÀN NĂNG LƯỢNG

Những cố gắng khác trong thế kỷ XIX để xác định điều gì làm cho Mặt Trời chiếu sáng đã sử dụng định luật bảo toàn năng lượng. Nói một cách đơn giản, định luật này nói rằng năng lượng không thể được tạo ra hay bị hủy diệt, nhưng có thể được biến đổi từ một loại này sang một loại khác – thí dụ từ nhiệt năng sang cơ năng. Động cơ hơi nước, là chiếc chìa khóa đối với cuộc cách mạng công nghiệp, là một thí dụ thuyết phục. Trong đó, hơi nóng từ nồi nước sôi điều

khiến chuyển động của pít-tông, chuyển đổi nhiệt năng thành động năng.

Sự chuyển động cũng có thể được biến đổi thành nhiệt. Nếu bạn vỗ mạnh đôi tay cho tới khi kết thúc bài giảng thiên văn học đặc biệt hấp dẫn, lòng bàn tay bạn trở nên nóng hơn. Nếu bạn chà xát nước đá lên mặt bàn, sức nóng do sự ma sát sinh ra làm tan chảy nước đá.

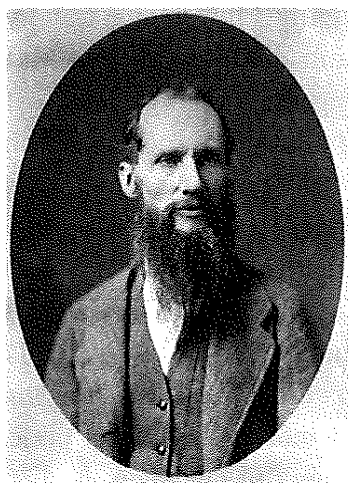
Trong thế kỷ XIX, các nhà khoa học nghĩ rằng nguồn nhiệt của Mặt Trời có thể là sự chuyển động cơ học của các thiên thạch rơi vào nó. Tuy nhiên, các tính toán của họ chứng tỏ rằng để tạo ra toàn bộ số năng lượng do Mặt Trời phát xạ, khối lượng thiên thạch sẽ phải rơi vào nó mỗi 100 năm sẽ bằng khối lượng của Trái Đất. Sự gia tăng sau cùng trong khối lượng của Mặt Trời sẽ, theo định luật thứ ba của Kepler, làm thay đổi chu kỳ của quỹ đạo Trái Đất khoảng 2 giây trong một năm. Một sự thay đổi như thế sẽ dễ dàng được đo đạc và thực tế đã không xảy ra. Nguồn năng lượng này sau đó bị bác bỏ.

❖ SỰ CO RÚT CỦA LỰC HẤP DẪN NHƯ MỘT NGUỒN NĂNG LƯỢNG

Như một sự thay thế, nhà khoa học Đức Hermann von Helmholtz và nhà vật

lý Anh Lord Kelvin, vào khoảng giữa thế kỷ XIX, đề xuất ý kiến rằng Mặt Trời có thể tạo ra năng lượng do sự biến đổi năng lượng hấp dẫn thành nhiệt. Họ nêu ra rằng các lớp bên ngoài của Mặt Trời có thể “rơi” vào bên trong do lực hấp dẫn (hay trọng lực). Nói cách khác, họ đề xuất ý kiến rằng Mặt Trời có thể co rút về kích thước và rồi cuộc vẫn giữ nóng và sáng.

Để hình dung những gì sẽ xảy ra, hãy tưởng tượng lớp ngoài của Mặt Trời bắt đầu rơi vào bên trong. Lớp bên ngoài này là một chất khí được hình thành từ các nguyên tử riêng lẻ, tất cả đều di chuyển chung quanh theo những chiều hướng bất kỳ ngẫu nhiên. Nhiệt độ, so với lượng nhiệt năng được tích chứa, tùy thuộc vào tốc độ của các nguyên tử: Các tốc độ cao hơn tương ứng với các nhiệt độ cao hơn. Nếu lớp này bắt đầu rơi, các nguyên tử có thêm một vận tốc phụ do sự chuyển động rơi. Khi lớp ngoài rơi vào bên trong, nó cũng co rút lại, di chuyển các nguyên tử gần với nhau hơn. Những sự va chạm trở thành nhiều khả năng hơn, và một số trong chúng chuyển vận tốc kết hợp với chuyển động rơi sang các nguyên tử khác. Điều này, đến lượt nó, làm gia tăng vận tốc của các nguyên tử này và



Nhà vật lý Anh William Thomson (Lord Kelvin) và nhà khoa học Đức Hermann von Helmholtz đề xuất ý kiến rằng sự co rút của Mặt Trời dưới lực hút của riêng nó có thể giải thích cho năng lượng của nó.

do đó làm tăng nhiệt độ của lớp này của Mặt Trời. Những sự va chạm khác kích thích các electron trong các nguyên tử tới các quỹ đạo năng lượng cao hơn. Khi những electron này quay trở lại quỹ đạo bình thường của chúng, chúng phát xạ các photon, mà các photon này sau đó có thể thoát ra khỏi Mặt Trời.

Kelvin và Helmholtz tính toán rằng một sự co rút của Mặt Trời với mức độ chỉ khoảng 40 mét một năm sẽ đủ tạo ra số năng lượng mà nó bức xạ hiện nay. Trải qua giai đoạn của lịch sử nhân loại, sự sụt giảm về kích thước của Mặt Trời từ một sự co rút chậm chạp như thế sẽ không thể phát hiện được. Nếu chúng ta thừa nhận rằng Mặt Trời bắt đầu sự sống của nó như một đám mây khí to lớn và hỗn độn, thì chúng ta có thể tính ra bao nhiêu năng lượng đã được Mặt Trời bức xạ trong suốt toàn bộ thời gian sống của nó khi nó co rút từ một đường kính rất lớn xuống tới kích thước hiện thời. Số năng lượng ấy vào khoảng 10^{42} J. Bởi vì độ sáng của Mặt Trời là 4×10^{26} W (J/s) hay khoảng 10^{34} J một năm, sự co rút có thể giữ cho Mặt Trời chiếu sáng với mức độ hiện nay trong gần 100 triệu năm.

Vào thế kỷ XIX, 100 triệu năm ban đầu dường như đủ dài, vì Trái Đất sau đó được mọi người nghĩ là trẻ hơn nhiều so với điều này. Nhưng về cuối thế kỷ XIX và vào thế kỷ XX, các nhà địa chất học và vật lý học chứng tỏ rằng Trái Đất (và do đó Mặt Trời) thực tế là già hơn nhiều. Vì thế cho nên sự co rút không thể là nguồn gốc đầu tiên của năng lượng mặt trời.

Theo cùng một cách, mọi quá trình khác được đề nghị trong thế kỷ XIX để giải thích về năng lượng của Mặt Trời đã thất bại trong việc lý giải những sự kiện

được biết về Mặt Trời, kể cả tuổi của nó. Các nhà khoa học đối đầu với một vấn đề nan giải của các qui mô khổng lồ. Hoặc một loại năng lượng chưa biết có liên quan với nguồn năng lượng quan trọng nhất đối với nhân loại, hay những ước tính về khoảng thời gian mà hệ mặt trời (và sự sống trên Trái Đất) đã trải qua phải được xác định một cách đúng đắn nghiêm túc. Với Charles Darwin, thuyết tiến hoá của ông đòi hỏi một khoảng thời gian dài hơn so với các thuyết về Mặt Trời dường như được chấp nhận, ông đã nản lòng bởi những kết quả này và tiếp tục lo âu về chúng cho tới khi chết vào năm 1882.

Trong thế kỷ XX, nguồn gốc thực sự của năng lượng mặt trời được xác định. Hai mảng thông tin chủ yếu cần thiết để giải đáp vấn đề nan giải là cấu trúc của nhân nguyên tử, và sự kiện là khối lượng có thể được chuyển đổi thành năng lượng.

7.2 KHỐI LƯỢNG, NĂNG LƯỢNG, VÀ THUYẾT TƯƠNG ĐỐI HỢP

Như chúng ta đã nói, năng lượng không thể được tạo ra hay bị hủy diệt, nhưng chỉ biến đổi từ dạng này sang dạng khác. Một trong những kết luận nổi bật do Albert Einstein đề ra khi ông phát minh thuyết tương đối là khối lượng của một vật thể có thể được coi như một hình thức khác nữa của năng lượng và do đó có thể được chuyển đổi thành năng lượng.

Sự tương đương đáng chú ý này được diễn giải bằng một trong những phương trình nổi tiếng nhất trong toàn bộ lãnh vực khoa học: $E = mc^2$, trong đó E là ký

hiệu về năng lượng, m là ký hiệu về khối lượng, và c , hằng số liên hệ với cả hai, là tốc độ ánh sáng. Hãy chú ý rằng phương trình này tương tự về hình thức đối với $\text{feet} = \text{inches} \times 12$, hay $\text{dollars} = \text{cents} \times 100$. Nghĩa là, đó là một công thức hoán chuyển cho phép bạn tính toán sự chuyển đổi của một vật, khối lượng, thành vật khác, năng lượng. Hệ số hoán chuyển trong trường hợp của chúng ta rất cuộc không phải là 12 hay 100, mà là một đại lượng bất biến, tốc độ ánh sáng bình phương. Nhân tiện, khối lượng không phải di chuyển với tốc độ ánh sáng (hay tốc độ ánh sáng bình phương, điều này không thể có được trong tự nhiên) để cho sự chuyển đổi xảy ra. Hệ số c^2 chỉ là một con số cần phải được sử dụng để liên kết khối lượng và năng lượng.

Hãy lưu ý rằng công thức này không chỉ cho bạn biết cách thức làm sao để biến đổi khối lượng thành năng lượng. Các công thức chẳng qua chỉ cho bạn biết những giá trị tương đương là gì nếu bạn thực hiện một chuyển đổi. Khi Einstein ban đầu đề ra công thức nổi tiếng của ông năm 1905, không ai có một chút xú ý tưởng gì về việc làm sao để biến đổi khối lượng thành năng lượng bằng bất kỳ phương cách thực tiễn nào. Chính bản thân Einstein cố gắng can ngăn sự suy đoán rằng chuyển đổi khối lượng nguyên tử thành năng lượng sẽ được thực hiện trong tương lai gần. Ngày nay, như là kết quả của những phát triển trong vật lý hạt nhân, chúng ta thường biến đổi khối lượng thành năng lượng trong các nhà máy điện nguyên tử, các vũ khí hạt nhân, và các cuộc thí nghiệm vật lý năng lượng cao trong máy gia tốc hạt.

Bởi vì c^2 , tốc độ ánh sáng bình phương, là một đại lượng rất lớn, sự chuyển đổi

thậm chí của một lượng nhỏ của khối lượng cũng dẫn đến kết quả là một lượng năng lượng vô cùng lớn. Thí dụ, sự chuyển đổi hoàn toàn một gram vật chất (khoảng $1/14$ oz) sẽ tạo ra năng lượng nhiều như sự đốt cháy 15.000 thùng dầu hỏa.

Các nhà khoa học chẳng bao lâu nhận thức được rằng sự chuyển đổi khối lượng thành năng lượng là nguồn gốc của sức nóng và ánh sáng của Mặt Trời. Với phương trình $E = mc^2$ của Einstein, chúng ta có thể tính ra rằng số năng lượng do Mặt Trời bức xạ có thể được tạo ra bởi sự chuyển đổi hoàn toàn khoảng 4 triệu tấn vật chất thành năng lượng bên trong Mặt Trời mỗi giây đồng hồ. Bốn triệu tấn trên mỗi giây đồng hồ nghe có vẻ quá nhiều khi so sánh với các vật trên Trái Đất, nhưng bạn hãy nhớ rằng Mặt Trời là một bồn chứa vật chất thật lớn. Thực vậy, chúng ta sẽ thấy rằng Mặt Trời chứa đựng khối lượng vật chất nhiều hơn là đủ để liên tục chiếu sáng với mức độ hiện nay trong hàng tỉ năm.

Nhưng điều này vẫn không nói cho chúng ta biết khối lượng có thể được biến đổi thành năng lượng như thế nào. Để hiểu được cách thức sự chuyển đổi thực sự xảy ra trong Mặt Trời ra sao, chúng ta cần khảo sát cấu trúc của nguyên tử thêm một chút nữa.

♦ HẠT SƠ CẤP

Thành phần cơ bản của vật chất được gọi là các hạt sơ cấp (elementary particles). Quen thuộc nhất trong các hạt sơ cấp này là proton, neutron và electron – các hạt cấu tạo các nguyên tử thông thường.

Các hạt proton, neutron và electron tất cả đều chẳng có chút gì là những

Trong phần lớn cuộc đời mình, Albert Einstein là một trong những người danh tiếng được biết đến nhiều nhất ở thời đại ông. Những người không quen biết chặn ông lại trên đường phố, và mọi người trên khắp thế giới viết thư yêu cầu ông tán đồng, tư vấn, và trợ giúp. Thực vậy, khi Einstein và ngôi sao điện ảnh vĩ đại Charlie Chaplin gặp gỡ ở California, họ nhận thấy họ chia sẻ những cảm xúc tương tự về việc mất đi sự riêng tư đi cùng với sự nổi tiếng. Tên của Einstein là từ ngữ thông thường mặc dù sự thực là hầu hết mọi người đều không hiểu được những tư tưởng đã làm cho ông nổi danh.

Einstein sinh ra ở Ulm, Đức, năm 1879. Có truyền thuyết kể rằng ông đã không học giỏi ở nhà trường (ngay cả môn số học), và hàng ngàn học sinh kể từ đó đã biện minh cho chuyện học dốt của mình bằng cách ám chỉ tới câu chuyện này. Giống như nhiều huyền thoại, huyền thoại này không phải là sự thật. Những hồ sơ còn lưu lại chỉ ra rằng dù có khuynh hướng chống đối lối giáo dục độc đoán thịnh hành ở Đức vào thời ấy, Einstein vẫn là một học sinh giỏi.

Sau khi tốt nghiệp từ Viện bách khoa Liên bang (Federal Polytechnic Institute) ở Zurich, Thụy Sĩ, trước tiên Einstein gặp khó khăn khi đi xin việc làm (ngay cả một chân giáo viên ở trường trung học), nhưng cuối cùng ông trở thành một viên chức ở Cơ quan cấp bằng sáng chế Thụy Sĩ (Swiss Patent Office). Làm việc trong thời gian rảnh rỗi, mà không sự trợ giúp của môi trường đại học, nhưng sử dụng trực giác tuyệt vời, ông viết bốn chuyên luận vào năm 1905 sẽ làm biến chuyển cái cách mà các nhà vật lý nhìn nhận thế giới.

Một trong các chuyên luận ấy, giúp ông đoạt giải Nobel năm 1921, xây dựng một phần nền tảng của *môn cơ học lượng tử* (quantum mechanics), lý thuyết phong phú, gây ngạc nhiên, của lãnh vực *hạ nguyên tử* (subatomic). Nhưng tham luận quan trọng nhất trình bày *thuyết tương đối đặc*

biệt (hay hẹp) (special theory of relativity), một sự xem xét lại về không gian, thời gian, và sự chuyển động làm tăng thêm một mức độ phức tạp hoàn toàn mới mẻ vào sự hiểu biết của chúng ta về các khái niệm này. $E = mc^2$ là một phần tương đối nhỏ của lý thuyết này, được bổ sung trong một chuyên luận sau này.

Năm 1916, Einstein công bố *thuyết tương đối tổng quát* (general theory of relativity), là một sự diễn tả mới mẻ, có tính chất cơ bản của sự hấp dẫn (xem chương về các lỗ đen). Khi lý thuyết này được xác nhận bằng các số đo của sự "bẻ cong ánh sáng sao" trong lần nhật thực năm 1919, Einstein trở nên nổi tiếng trên thế giới.

Năm 1933, để thoát khỏi sự khủng bố của bọn quốc xã, Einstein rời bỏ chức giáo sư đại học ở Berlin và định cư ở Hoa Kỳ tại Viện nghiên cứu cao cấp (Institute for Advanced Studies) mới thành lập ở Princeton. Ông ở lại đó cho tới khi mất vào năm 1955, viết sách, thuyết giảng, và ủng hộ rất nhiều sự nghiệp tri thức và chính trị. Thí dụ, ông đồng ý ký tên vào một bức thư do Leo Szilard và các nhà khoa học khác viết năm 1939, cảnh báo Tổng thống Roosevelt về những hiểm họa cho phép Đức Quốc Xã phát triển bom nguyên tử trước tiên. Năm 1952 Einstein được đề nghị giữ chức tổng thống thứ hai của Israel. Khi từ chối địa vị này, ông nói, "Tôi biết một chút về thiên nhiên và hầu như không biết gì về con người".



Albert Einstein năm 1905.

hạt đang tồn tại. Trước hết, đối với mỗi loại hạt, có một *phản hạt* (antiparticle) có khối lượng tương đương nhưng ngược dấu về điện tích và từ. Nếu hạt mang một điện tích, thì phản hạt của nó có điện tích ngược dấu. Phản electron (antielectron) là *positron*, hạt này có cùng khối lượng như electron nhưng có điện tích dương. Cũng như vậy, phản proton (antiproton) có điện tích âm. Điều đáng chú ý về các phản vật chất là khi một hạt tiếp xúc với phản hạt của nó, cả hai triệt tiêu lẫn nhau, trở thành năng lượng thuần túy.

Do thế giới của chúng ta được cấu tạo chỉ riêng bởi các hạt vật chất thông thường, bất cứ phản vật chất (antimatter) nào cũng không thể tồn tại trong thời gian quá lâu. Nhưng các phản hạt riêng lẻ được phát hiện trong các tia vũ trụ (các hạt đi tới đỉnh của khí quyển Trái Đất từ vũ trụ) và có thể được hình thành trong các máy gia tốc hạt (particle accelerators). Thực vậy, khi chúng ta tạo ra vật chất từ năng lượng trong phòng thí nghiệm vật lý năng lượng cao, chúng ta luôn luôn có được nửa vật chất và nửa phản vật chất.

Năm 1933, vật lý gia Wolfgang Pauli gợi ý rằng có thể sẽ có một loại hạt sơ cấp khác. Năng lượng hình như không được bảo toàn trong một số loại phản ứng hạt nhân, trong sự vi phạm định luật bảo toàn năng lượng. Đúng hơn là chấp

nhận một sự sụp đổ của một trong những tư tưởng khoa học cơ bản. Pauli nêu ra rằng một hạt mới và từ lâu không phát hiện được, có tên là *neutrino* (“hạt tiểu trung hòa”), đang mang đi năng lượng “thiếu”. Ông nêu lên rằng neutrino là những hạt với khối lượng bằng không, giống như các photon, di chuyển với tốc độ của ánh sáng.

Khi Pauli đề xuất ý tưởng này, các hạt neutrino vẫn chưa được phát hiện bởi vì chúng tương tác rất yếu với vật chất khác. Hầu hết chúng có thể đi xuyên qua một ngôi sao hay hành tinh mà không bị hấp thụ. Trái Đất trong suốt đối với một hạt neutrino hơn là một tấm kính mỏng nhất và trong suốt nhất đối với một hạt photon. Như chúng ta sẽ thấy, cách cư xử “phản xã hội” này của các hạt neutrino khiến cho chúng trở thành vừa làm nản lòng vừa rất quan trọng đối với các nhà khoa học đang nghiên cứu Mặt Trời và các vì sao.

Hạt neutrino khó nắm bắt sau cùng được phát hiện vào năm 1956, vì vậy chúng ta biết rằng hạt này thực sự tồn tại. Tuy nhiên, các cuộc thí nghiệm gần đây, dường như chứng minh rằng một số hạt neutrino đã không có khối lượng bằng không (zero mass) một cách chính xác. Nếu các neutrino có thậm chí một khối lượng bé tí, sự kiện này có thể có những hệ quả lý thú đối với lực hút toàn

Đặc tính của một số hạt sơ cấp		
HẠT	KHỐI LƯỢNG (KG)	DIỆN TÍCH
Proton	$1,67265 \times 10^{-27}$	+1
Neutron	$1,67495 \times 10^{-27}$ *	0
Electron	$9,11 \times 10^{-31}$	-1
Neutrino	0 (?)	0

phần của vũ trụ và số phận sau cùng của nó, cũng như những mô hình của phần bên trong Mặt Trời.

Một số đặc tính của proton, electron, neutron và neutrino được tóm lược trong bảng. (Các hạt hạ nguyên tử khác đã được tạo ra bằng các cuộc thử nghiệm với máy gia tốc hạt, nhưng chúng không đóng vai trò nào trong việc phát sinh năng lượng của Mặt Trời).

♦ NHÂN NGUYÊN TỬ

Nhân của nguyên tử không chỉ là một tập hợp lỏng lẻo rời rạc của các hạt sơ cấp. Bên trong nhân, các hạt được kết chặt với nhau bằng một lực rất mạnh gọi là lực hạt nhân mạnh. Đây là lực tầm ngắn, chỉ có thể tác động đối với những cự ly vào khoảng kích thước của nhân nguyên tử. Một thí nghiệm được coi là nhanh chóng mô tả lực này quan trọng đến mức nào. Hãy nhìn vào ngón tay nhỏ bé của bạn và nghĩ đến những nguyên tử cấu thành nó. Trong số chúng là carbon, một trong những nguyên tố cơ bản của sự sống. Hãy tập trung trí tưởng tượng của bạn vào nhân nguyên tử của một trong số các nguyên tử carbon của bạn.

Nó chứa sáu proton, có điện tích dương, và sáu neutron, trung hòa về điện. Do đó nhân có một điện tích thuần sáu dương. Nếu chỉ có lực điện đang tác động, các proton trong nhân này và mỗi nguyên tử carbon sẽ đẩy lẫn nhau và bay ra xa.

Lực hạt nhân mạnh là một lực hút, mạnh hơn lực điện từ, và nó giữ các hạt trong nhân kết chặt lại với nhau. Trước đây chúng ta thấy rằng nếu dưới ảnh hưởng của trọng lực, một vì sao “co rút lại” – mang các nguyên tử của nó lại gần nhau hơn – năng lượng hấp dẫn được

phóng thích. Trong cùng một cách như vậy, nếu các hạt đến gần nhau theo lực hạt nhân mạnh và hợp nhất để hình thành một nhân nguyên tử, một số năng lượng hạt nhân được phóng thích. Năng lượng tỏa ra trong một quá trình như thế được gọi là *năng lượng liên kết* (binding energy) của nhân nguyên tử.

Khi năng lượng liên kết như vậy được phóng thích, nhân cuối cùng có khối lượng ít hơn một chút so với tổng số khối lượng của các hạt kết hợp nhau để hình thành nó. Nói khác đi, năng lượng bắt nguồn từ sự mất đi khối lượng. Sự hơi thiếu đi về khối lượng chỉ là một phần nhỏ của khối lượng một proton. Nhưng bởi vì mỗi một chút khối lượng mất đi có thể cung cấp đúng một chút năng lượng (hãy nhớ rằng $E = mc^2$), sự phóng thích năng lượng hạt nhân này có thể là một cơ chế mạnh mẽ.

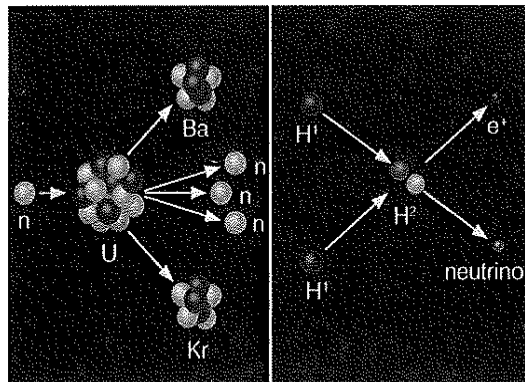
Trong thế kỷ XX, các nhà vật lý đã nghiên cứu những đặc tính của nhân nguyên tử. hoá ra là năng lượng liên kết là lớn nhất đối với những nguyên tử có khối lượng gần với khối lượng của hạt nhân sắt (với số lượng liên kết của các proton và neutron bằng 56), và nhỏ hơn đối với những nguyên tử nhẹ hơn và nặng hơn. Vì thế cho nên, sắt là một nguyên tố ổn định vững bền nhất (vì nó tỏa ra năng lượng nhiều nhất khi hình thành, nó là hạt nhân cứng nhất rất khó “phá hủy”).

Nói chung, những gì mà điều này muốn nói đến là khi các nhân nguyên tử nhẹ kết hợp để hình thành một nguyên tử nặng hơn (lên cho tới sắt), thì khối lượng bị mất đi và năng lượng được phóng thích. Sự kết hợp với nhau của các nhân nguyên tử được gọi là *sự tổng hợp hạt nhân* (nuclear fusion).

Năng lượng cũng có thể được tạo ra bằng cách phá vỡ các nhân nguyên tử nặng thành các nhân nguyên tử nhẹ hơn (xuống cho tới sắt); quá trình này được gọi là sự phân rã hạt nhân hay **sự phân hạch** (nuclear fission). Sự phân hạch là quá trình mà chúng ta biết ứng dụng trước tiên – trong bom nguyên tử và trong lò phản ứng hạt nhân dùng để sinh ra điện năng – và do đó nó có thể quen thuộc hơn đối với bạn. Nhưng sự phân hạch đòi hỏi các nhân nguyên tử lớn và phức tạp, trái lại chúng ta biết rằng những vì sao được cấu tạo phần lớn bởi các nhân nguyên tử nhỏ và đơn giản. Do vậy chúng ta phải chú ý sự tổng hợp hạt nhân để giải thích năng lượng của Mặt Trời và những vì sao.

✧ LỰC HÚT HẠT NHÂN CHỐNG LẠI LỰC ĐẨY ĐIỆN

Cho tới giờ, dường như chúng ta có một sự diễn tả rất hấp dẫn về việc tạo



Sự phân hạch và sự tổng hợp: Trong sự phân hạch, một nhân lớn hơn vỡ ra thành hai thành phần nhỏ hơn. Ở đây, một nhân của uranium, với 92 protons và 143 neutron, được mô tả đang trải qua sự phân hạch thành hai nhân nhỏ hơn của barium (56 proton) và krypton (36 proton). Trong sự tổng hợp hay hợp nhất, các nhân nhỏ hơn liên kết với nhau thành một nhân lớn hơn. Chúng ta cũng thấy hai nhân của hydro (mỗi nhân một proton) hợp nhất thành một nhân hydro nặng hơn (một proton và một neutron), được kèm theo bởi sự phát xạ của một positron và một neutrino.

ra năng lượng: Gom một số nhân nguyên tử lại với nhau và kết hợp chúng lại qua sự tổng hợp hạt nhân. Điều này sẽ khiến chúng mất đi một số khối lượng, mà sau đó chuyển thành năng lượng. Tuy nhiên, mỗi nhân, ngay cả hydro đơn giản, cũng có các proton trong nó – và các proton đều có điện tích dương. Bởi vì những điện tích giống nhau đẩy nhau qua lực điện, chúng ta mang hai nhân đến gần nhau hơn, chúng càng đẩy nhau mạnh hơn. Thực sự là nếu chúng ta có thể đem chúng vào trong “cự ly hấp dẫn” (“striking distance”) của lực hạt nhân, sau đó chúng sẽ kết hợp với nhau bằng một lực hút mạnh hơn nhiều. Nhưng cự ly hấp dẫn này rất bé, vào khoảng kích thước của nhân. Làm sao chúng ta có thể mang các nhân nguyên tử lại gần nhau đủ tham gia vào sự tổng hợp?

Câu trả lời hoá ra là **nhiệt** (hay sức nóng) – sức nóng khủng khiếp này làm tăng tốc các proton đủ để vượt qua lực điện đang cố giữ các proton cách xa ra. Bên trong Mặt Trời, như chúng ta đã thấy, nguyên tố phổ biến nhất là hydro, mà nhân của nó là một proton duy nhất. Hai proton chỉ có thể tổng hợp trong những vùng mà nhiệt độ lớn hơn 10 triệu K, và vận tốc của các proton trung bình khoảng 1000 km/s (km/giây) hay lớn hơn. (Trong các đơn vị cũ, đó là hơn 2 triệu mi/h (dặm/giờ)!)

Trong Mặt Trời của chúng ta, những nhiệt độ cực cao như vậy chỉ đạt được ở những vùng chung quanh trung tâm của nó, những vùng này có nhiệt độ 15 triệu K. Các tính toán chứng tỏ rằng hầu như tất cả năng lượng của Mặt Trời được sinh ra nằm trong khoảng 150.000 km của nhân, hay trong phạm vi ít hơn 10% của thể tích toàn phần của nó.

Thậm chí ngay những nhiệt độ cao này, cũng cực kỳ khó khăn để thúc đẩy hai proton kết hợp với nhau. Trung bình, một proton sẽ nảy bật khỏi các proton khác trong nhân chen chúc của Mặt Trời trong khoảng 14 tỉ năm, với mức độ 100 triệu vụ va chạm trong một giây, trước khi nó hợp nhất với một proton thứ hai. Tuy nhiên, đây chỉ là thời gian chờ đợi trung bình. Một số trong số lượng proton khổng lồ trong vùng bên trong của Mặt Trời lại “may mắn” và chỉ cần có vài vụ va chạm để đạt tới phản ứng tổng hợp: Chúng là những proton “chịu trách nhiệm” đối với việc tạo ra năng lượng do Mặt Trời bức xạ. Bởi vì Mặt Trời có khoảng 4,5 tỉ năm tuổi, hầu hết các proton của nó vẫn chưa tham gia vào các phản ứng tổng hợp.

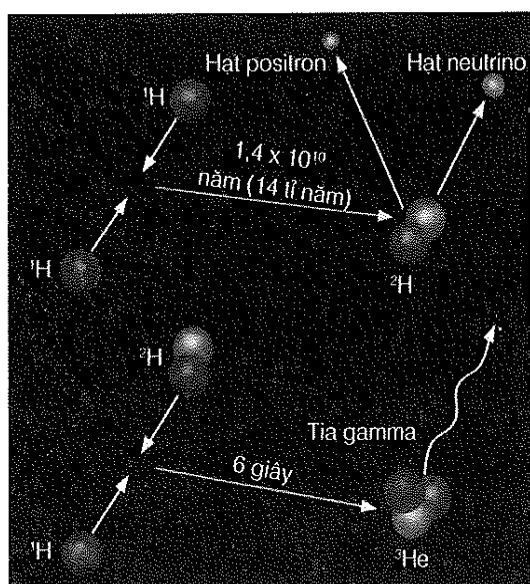
♦ PHẢN ỨNG HẠT NHÂN BÊN TRONG MẶT TRỜI

Kể đến, Mặt Trời rút năng lượng chứa trong các nhân nguyên tử qua sự tổng

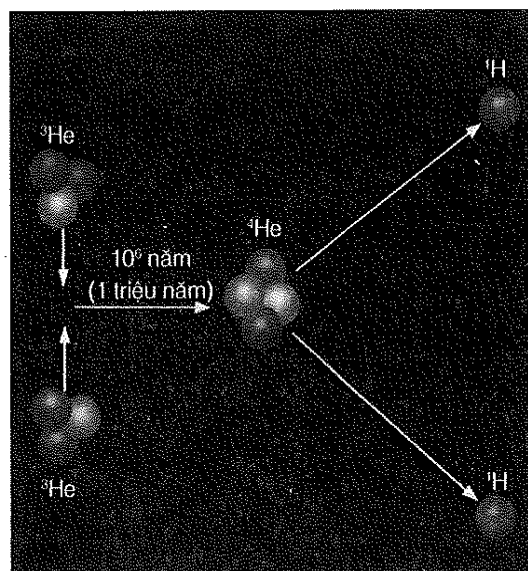
hợp hạt nhân. Chúng ta hãy chú ý những gì xảy ra một cách chi tiết hơn. Nằm sâu bên trong Mặt Trời, bốn nguyên tử hydro hợp nhất để hình thành một nguyên tử helium. Nguyên tử helium có khối lượng hơi ít hơn bốn nguyên tử hydro kết hợp lại để hình thành nó, và khối lượng mất đi ấy được biến đổi thành năng lượng.

Các bước đầu tiên đòi hỏi để hình thành một nhân helium từ bốn nhân hydro. Đầu tiên, hai proton kết hợp lại để tạo ra một nhân deuterium, là một đồng vị (hay phiên bản) của hydro, chứa một proton và một neutron. Thực vậy, một trong số proton ban đầu đã bị biến đổi thành một neutron trong phản ứng tổng hợp. Điện tích phải được bảo toàn trong các phản ứng hạt nhân, và nó được bảo toàn trong phản ứng này. Một hạt positron (electron phản vật chất) mang theo điện tích dương ban đầu liên kết với một trong số các proton.

Bởi vì nó là phản vật chất, hạt positron này sẽ tức thời va chạm với



Chu Kỳ P-P, Các Bước 1 và 2: Đây là hai bước đầu tiên trong quá trình tổng hợp hydro thành helium trong Mặt Trời (chuỗi p-p).



Chu Kỳ P-P, Bước 3: Chúng ta thấy bước 3 trong sự tổng hợp hydro thành helium trong Mặt Trời. Lưu ý rằng hai trong số các sản phẩm của bước 2 phải kết hợp trước khi bước 3 có khả năng xảy ra.

một electron bên cạnh, và cả hai sẽ bị triệt tiêu, sinh ra một năng lượng điện từ thuần nhất dưới dạng các photon của tia gamma. Tia gamma này, được tạo ra trong trung tâm Mặt Trời, tự phát hiện ra mình trong một thế giới chật ních đầy những nhân nguyên tử và electron đang di chuyển nhanh. Nó va chạm với các hạt vật chất và chuyển một số năng lượng của mình cho chúng. Kết quả của quá trình này thông thường là lấy năng lượng ra khỏi photon của tia gamma.

Những tương tác như thế xảy ra với tia gamma không biết bao nhiêu lần, cho tới khi – khi nó thực hiện đường đi của nó từ từ về phía các lớp bên ngoài của Mặt Trời – năng lượng của nó bị giảm đến mức nó không còn là một tia gamma, nhưng là một tia X. Sau đó, khi nó mất đi nhiều năng lượng, nó trở thành một photon của tia cực tím. Mặt Trời đầy tràn những hạt (các mục tiêu để cho photon đập vào) đến độ phải mất khoảng một triệu năm để cho photon bình thường trôi lên khỏi quang quyển của Mặt Trời. Trong khoảng thời gian ấy, hầu hết các photon đã tỏa ra đủ năng lượng để trở thành ánh sáng thường – và chúng là ánh sáng mặt trời mà chúng ta thấy xuất phát từ ngôi sao của chúng ta. (Để chính xác, mỗi photon tia gamma cuối cùng bị biến đổi thành nhiều photon riêng biệt có năng lượng thấp hơn của ánh sáng mặt trời).

Ngoài positron, sự tổng hợp của hai nguyên tử hydro để hình thành deuterium dẫn đến sự phát xạ của một hạt neutrino. Do các hạt neutrino tương tác rất ít với các vật chất thông thường, những neutrino này được tạo ra do các phản ứng tổng hợp gần tâm mặt trời đi thẳng tới bề mặt Mặt Trời và sau đó tiếp

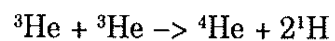
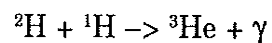
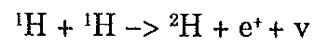
tục đi về phía Trái Đất. Các neutrino di chuyển với vận tốc ánh sáng và chúng ra khỏi Mặt Trời chỉ khoảng 2 giây sau khi chúng được tạo ra.

Bước kế tiếp trong sự hình thành helium từ hydro là thêm một proton khác nữa vào nhân deuterium và tạo ra một nhân helium chứa hai proton và một neutron. Trong quá trình trên, một số khối lượng lại mất đi và thêm nhiều bức xạ gamma được phát xạ. Một nhân như thế là helium do một nguyên tố được xác định bởi số proton; bất kỳ nhân nào có hai proton được gọi là helium. Song dạng helium này, mà chúng ta gọi là helium-3, không phải là chất đồng vị mà chúng ta thấy trong khí quyển của Mặt Trời hay trên Trái Đất. Helium ấy có hai neutron và hai proton và vì thế được gọi là helium-4.

Để tạo ra helium-4 trong Mặt Trời, helium-3 kết hợp với một helium-3 khác giống như nó trong bước 3 của sự tổng hợp (được mô tả trong Hình 7.5). Lưu ý rằng hai proton năng lượng còn thừa lại từ bước này; chúng ra khỏi phản ứng sẵn sàng va chạm với các proton khác, và do đó, để bắt đầu bước 1 một lần nữa.

♦ CHUỖI P – P

Những phản ứng trong Mặt Trời có thể được diễn tả một cách ngắn gọn súc tích qua các công thức hạt nhân sau đây:



trong đó các số viết lên trên biểu thị tổng số neutron và proton trong nhân, e^+ là positron, ν là neutrino, và γ biểu thị các tia gamma được phát xạ. Lưu ý rằng các

bước 1 và 2 phải xảy ra hai lần trước khi bước 3 có thể xảy ra, bởi vì bước 3 cần hai nguyên tử helium-3.

Như chúng ta đã thảo luận, dù bước 1 trong chuỗi phản ứng này rất khó khăn và thường mất một thời gian dài, các bước khác xảy ra nhanh hơn. Sau khi nhân deuterium được hình thành, nó tồn tại trung bình chỉ khoảng 6 giây trước khi được biến đổi thành ^3He . Khoảng một triệu năm sau đó, nhân ^3He sẽ kết hợp với một nhân ^3He khác để hình thành ^4He .

Chúng ta sẽ tính ra số năng lượng mà những phản ứng này sinh ra bằng cách tính hiệu số giữa khối lượng ban đầu và khối lượng sau cùng. Khối lượng nguyên tử của hydro và của helium trong các đơn vị thông thường được các nhà khoa học sử dụng tuần tự là 1,007825 u và 4,00268 u. (Đơn vị khối lượng, u, được định nghĩa là 1/12 khối lượng của nguyên tử carbon, hay tương đương khối lượng của một proton). Ở đây chúng ta tính đến khối lượng của toàn bộ nguyên tử, không chỉ riêng nhân, bởi vì các electron cũng được kể vào. Khi hydro bị biến đổi thành helium, hai positron được tạo ra (hãy nhớ là bước 1 xảy ra hai lần), và chúng bị triệt tiêu với hai electron tự do, làm tăng thêm năng lượng được sinh ra.

$4 \times 1,007825 = 4,03130$ u (khối lượng của các nguyên tử ban đầu)

4,00268 u (khối lượng của nguyên tử sau cùng)

0,02862 u (khối lượng mất đi trong sự biến đổi)

$4,03130 \text{ u} - 4,00268 \text{ u} = 0,02862 \text{ u}$

Khối lượng mất đi 0,02862 u, là 0,71% khối lượng của hydro ban đầu. Do vậy nếu

1kg hydro được biến đổi thành helium, khối lượng của helium chỉ là 0,9929 kg, và 0,0071 kg vật liệu được biến đổi thành năng lượng. Vận tốc ánh sáng là 3×10^8 m/s, do đó năng lượng được phóng thích do sự biến đổi của đúng 1kg hydro thành helium là:

$$E = 0,0071 \times (3 \times 10^8)^2 = 6,4 \times 10^{14} \text{ J.}$$

Số lượng này, năng lượng được phóng thích khi chỉ một kg hydro trải qua sự tổng hợp, nhiều hơn gấp mười lần lượng tiêu thụ điện và nhiên liệu hoá thạch hàng năm của Trái Đất.

Để tạo ra độ sáng 4×10^{26} W của Mặt Trời, chừng 600 triệu tấn hydro phải được biến đổi thành helium *trong mỗi giây*, trong đó khoảng 4 triệu tấn chuyển từ vật chất thành ra năng lượng. Dù những con số này rất lớn, lượng dự trữ hydro (và do đó của năng lượng hạt nhân) trong Mặt Trời còn khổng lồ hơn nhiều và có thể kéo dài một khoảng thời gian – thực sự, hàng tỉ năm.

Với những nhiệt độ bên trong Mặt Trời và trong các vì sao có khối lượng nhỏ hơn, hầu hết năng lượng được sinh ra do các phản ứng mà chúng ta vừa mới mô tả, và tập hợp của các phản ứng này được gọi là **chu kỳ proton-proton** (proton-proton cycle) (hay đôi khi, gọi là chuỗi p-p). Nó được gọi là một chu kỳ bởi vì hai proton được tạo ra trong bước 3 có thể hợp nhất với các proton khác để khởi đầu bước 1 trở lại. Trong chu kỳ proton-proton, các proton va chạm trực tiếp với các proton khác để tạo thành các nhân helium.

Trong các sao nóng hơn, các tập hợp phản ứng khác, gọi là **chu kỳ carbon-nitro-oxy** (chu kỳ CNO), hoàn tất cùng một kết quả cuối cùng. Trong chu kỳ

CNO, các nhân carbon và hydro va chạm nhau để bắt đầu một loạt các phản ứng hình thành nitro, oxy, và sau cùng là helium. Các nhân nitro và oxy không tồn tại nhưng tương tác để hình thành carbon một lần nữa. Cho nên, kết quả giống y như trong chu kỳ proton –proton: bốn nguyên tử hydro biến mất, và trong chỗ của nó một nguyên tử helium duy nhất được tạo ra. Chu kỳ CNO chỉ đóng một vai trò nhỏ bé trong Mặt Trời nhưng là nguồn năng lượng chính với các nhiệt độ trên $15 \times 10^6 \text{K}$.

Do đó chúng ta đã giải đáp câu hỏi nan giải đã làm cho các nhà khoa học băn khoăn nhiều vào cuối thế kỷ XIX. Mặt Trời có thể duy trì nhiệt độ cao và hiệu suất năng lượng của nó trong hàng tỉ năm qua sự tổng hợp nguyên tố đơn giản nhất trong vũ trụ, hydro. Do phần lớn của Mặt Trời (và các sao khác) được cấu tạo bằng hydro, nó là một “nhiên liệu” lý tưởng để cung cấp cho một ngôi sao. Như chúng ta sẽ thảo luận trong các chương sắp tới, chúng ta có thể định nghĩa một ngôi sao như là một quả cầu khí có khả năng làm cho nhân của nó nóng lên đủ để bắt đầu sự tổng hợp hydro. Có những quả cầu khí thiếu khối lượng cần thiết để thực hiện điều này (Sao Mộc là một thí dụ); giống như rất nhiều tài năng triển vọng ở Hollywood, chúng sẽ không bao giờ trở thành các ngôi sao.

7.3 PHẦN BÊN TRONG MẶT TRỜI: LÝ THUYẾT

Sự tổng hợp của các proton có thể xảy ra trong trung tâm Mặt Trời chỉ khi nhiệt độ vượt qua 10 triệu K. Làm sao chúng ta biết rằng Mặt Trời thực sự là nóng như vậy? Để xác định bên trong

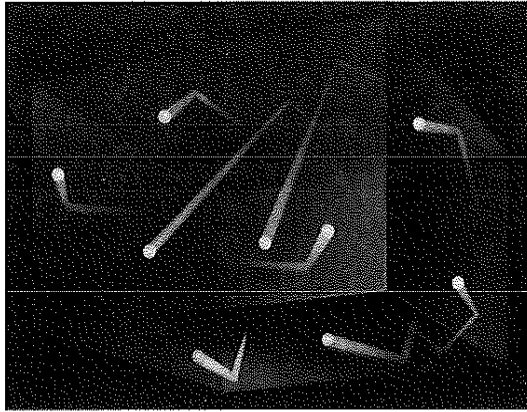
Mặt Trời là như thế nào, phải sử dụng đến các tính toán. Các nhà thiên văn học đưa vào máy điện toán mọi thứ họ biết về các quá trình vật lý đang diễn ra ở phần bên trong của Mặt Trời. Máy điện toán tính toán nhiệt độ và áp suất tại mọi vị trí bên trong Mặt Trời và xác định những phản ứng hạt nhân nào, nếu có, đang xảy ra, và Mặt Trời thay đổi theo thời gian ra sao.

Trong trung tâm, Mặt Trời đang dần tiêu hủy nguồn cung cấp hydro của nó và thay vào đó tạo ra helium. Sự thay đổi thành phần cấu tạo này có những hệ quả có thể đo lường được chăng? Mặt Trời sẽ trở thành nóng hơn? Lạnh hơn? Lớn hơn? Nhỏ hơn? Sáng hơn? Mờ hơn chăng? Sau cùng, những sự thay đổi trong trung tâm có thể là một thảm kịch bởi vì cuối cùng tất cả nhiên liệu hydro nóng đủ để cho sự tổng hợp sẽ bị cạn kiệt.

Hoặc một nguồn năng lượng mới được tìm thấy, hay Mặt Trời sẽ ngưng chiếu sáng? Chúng ta sẽ trình bày số phận cuối cùng của Mặt Trời trong các chương sau.

✧ MẶT TRỜI LÀ MỘT QUẢ CẦU KHÍ

Mặt Trời nóng đến nỗi vật chất trong nó toàn là chất khí. Các hạt tạo thành chất khí đang trong trạng thái chuyển động nhanh, thường xuyên va chạm với nhau. Sự bắn phá liên tục này là áp suất của chất khí. Càng nhiều hạt hơn trong một thể tích nhất định của chất khí càng tạo ra nhiều áp suất hơn, bởi vì ảnh hưởng phối hợp của các hạt di chuyển tăng lên cùng với số lượng của chúng. Áp suất cũng lớn hơn khi các phân tử hay nguyên tử đang di chuyển nhanh hơn. Do các phân tử chuyển động nhanh



Áp suất của chất khí: Các hạt trong một chất khí đang chuyển động nhanh và tạo ra áp suất qua sự va chạm với vật liệu chung quanh. Ở đây các hạt được mô tả đang bắn phá các vách của một bình chứa tưởng tượng.

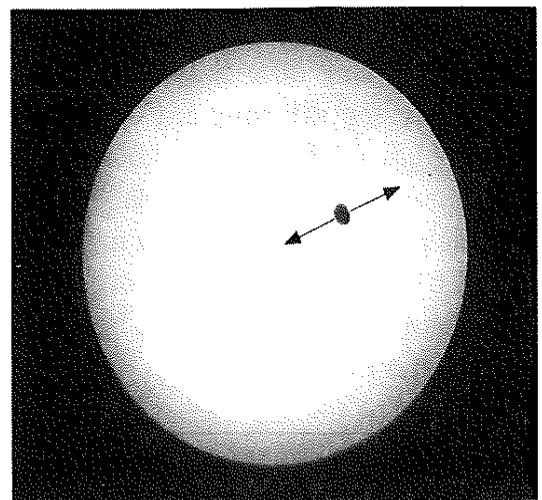
hơn khi nhiệt độ nóng hơn, các nhiệt độ nóng hơn tạo ra áp suất cao hơn.

✧ MẶT TRỜI ỔN ĐỊNH

Mặt Trời, giống như đa số các vì sao khác, không nở ra cũng không co vào. Một sao như thế được coi là ở trong trạng thái *cân bằng* (equilibrium). Tất cả các lực trong nó được cân bằng, để cho tại mỗi điểm, nhiệt độ, áp suất, mật độ,... được giữ nguyên với các trị số bất biến. Ngay cả những vì sao ổn định này, kể cả Mặt Trời, cũng thay đổi khi chúng tiến hóa, nhưng những thay đổi tiến hoá như vậy là từ từ đến mức hầu như vẫn ở trong một trạng thái cân bằng. Lực hấp dẫn lẫn nhau giữa các khối lượng của nhiều vùng trong Mặt Trời tạo ra các lực khổng lồ có khuynh hướng làm sụp đổ về phía trung tâm. Tuy nhiên chúng ta biết từ lịch sử Trái Đất rằng Mặt Trời đã phát xạ gần như cùng một số năng lượng trong hàng tỉ năm và do đó rõ ràng đã chống lại sự sụp đổ trong một thời gian rất dài. Vì vậy các lực hấp dẫn phải được ảnh hưởng ngang bằng bởi một số lực khác. Lực đó là áp suất của các chất khí trong Mặt Trời. Để

tạo ra đủ áp suất tránh khỏi sự sụp đổ do trọng lực, các chất khí ở trung tâm của nó phải được duy trì ở nhiệt độ 15 triệu K. Ngay từ sự kiện rằng Mặt Trời không co rút, chúng ta có thể kết luận rằng nhiệt độ của nó phải đủ cao tại trung tâm để cho các proton trải qua sự tổng hợp.

Nếu áp suất nội tại trong một ngôi sao không đủ lớn để cân bằng với trọng lực của các phần bên ngoài, ngôi sao sẽ sụp đổ một chút, co rút và tạo ra áp suất bên trong. Nếu áp suất lớn hơn trọng lực của các lớp phủ lên trên, nó sẽ nở ra, do đó làm giảm áp suất nội tại. Sự trương nở sẽ ngưng lại, và sự cân bằng sẽ đạt được, khi áp suất ở mọi điểm bên trong ngang bằng trở lại với trọng lực của các lớp sao bên trên điểm này. Một hình ảnh tương tự là quả bóng căng phồng, nó sẽ nở ra hay co vào cho tới khi một sự cân bằng đạt được giữa áp suất của không khí bên trong và áp suất của không khí bên ngoài. Trạng thái này được gọi là sự cân bằng thủy tĩnh (hydrostatic equilibrium). Các ngôi sao ổn định đều ở trong sự cân bằng thủy tĩnh, các đại dương của Trái Đất là như vậy, cũng như khí quyển của



Sự cân bằng thủy tĩnh: Ở bên trong của một ngôi sao, lực hút vào bên trong cân bằng một cách chính xác tại mỗi điểm bởi lực đi ra ngoài của áp suất chất khí.

Trái Đất. Áp suất riêng của không khí giữ cho quả bóng không rơi xuống mặt đất.

✧ MẶT TRỜI KHÔNG NGUỘI ĐI

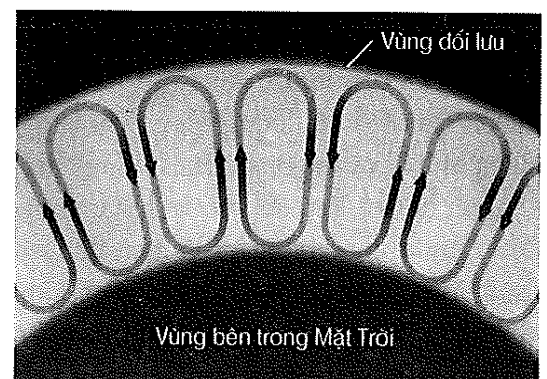
Như mọi người đã từng để cửa sổ mở trong một đêm lạnh mùa đông đều biết, sức nóng lúc nào cũng lưu chuyển từ những vùng nóng hơn tới vùng lạnh hơn. Khi năng lượng lọt ra ngoài về phía bề mặt của một ngôi sao, nó phải đang lưu chuyển từ những vùng bên trong nóng hơn. Thông thường nhiệt độ không thể lạnh hơn khi chúng ta đi vào trong một ngôi sao, hay năng lượng sẽ lưu chuyển vào và đun nóng những vùng này cho tới khi chúng ít nhất cũng nóng như các vùng ngoài. Chúng ta kết luận rằng nhiệt độ là cao nhất ngay trung tâm của sao, hạ xuống tới những trị số thấp hơn nối tiếp nhau về phía bề mặt sao. (Nhiệt độ cao của sắc quyển và nhật hoa của Mặt Trời do đó có thể là một nghịch lý. Nhưng những nhiệt độ cao này được duy trì bởi sự đun nóng bằng từ, diễn ra trong khí quyển Mặt Trời).

Dòng lưu chuyển năng lượng ra ngoài qua một ngôi sao làm cho nó mất đi sức nóng nội tại và sẽ dẫn đến sự nguội đi của các chất khí bên trong nếu năng lượng ấy không được thay thế. Tương tự, một miếng sắt nóng bắt đầu nguội đi ngay khi nó được rút ra khỏi nguồn điện năng. Vì thế, một nguồn năng lượng mới mẽ phải tồn tại trong mỗi ngôi sao. Trong trường hợp của Mặt Trời, nguồn năng lượng này là sự tổng hợp hydro để hình thành helium.

✧ SỰ TRUYỀN NHIỆT TRONG MỘT NGÔI SAO

Do những phản ứng hạt nhân sinh ra năng lượng của Mặt Trời xảy ra sâu bên trong nó, phải có những phương cách để

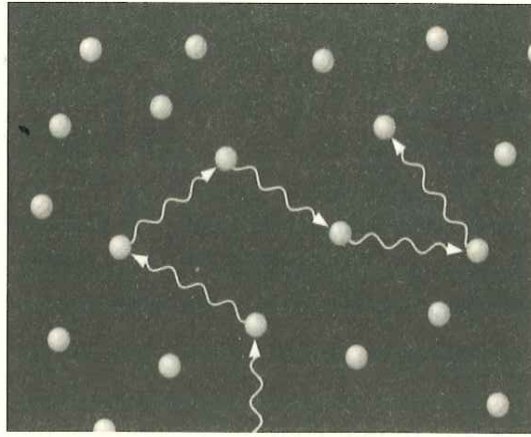
chuyển sức nóng từ tâm Mặt Trời ra tới bề mặt. Có ba phương cách qua đó nhiệt có thể được truyền từ nơi này sang nơi khác. Bằng sự dẫn nhiệt (conduction), các nguyên tử hay phân tử chuyển trao năng lượng của chúng bằng cách va chạm với những nguyên tử và phân tử lân cận. Thí dụ, điều này xảy ra khi một cái cán muỗng (thìa) bằng kim loại nóng lên khi bạn khuấy tách cà phê nóng. Bằng sự đối lưu (convection), những dòng vật chất ấm nổi lên, mang theo năng lượng với chúng tới các lớp mát hơn. Một thí dụ là không khí nóng bốc lên từ lò sưởi. Bằng sự bức xạ (radiation), các photon năng lượng di chuyển ra khỏi vật chất nóng và bị hấp thụ bởi một số chất khác, qua đó chúng truyền một số hay tất cả năng lượng của chúng. Bạn có thể cảm thấy điều này khi đặt bàn tay gần với các cuộn dây nung điện, để cho các photon hồng ngoại làm nóng bàn tay bạn. Sự dẫn nhiệt và sự đối lưu đều quan trọng ở những phần bên trong của các hành tinh. Trong các sao, trong suốt hơn nhiều, sự bức xạ và sự đối lưu rất quan trọng, trong khi sự dẫn nhiệt thông thường có thể không được nhắc đến.



Sự đối lưu: Những dòng đối lưu nổi lên mang theo sức nóng từ bên trong Mặt Trời ra bề mặt của nó, trong khi các chất mát hơn chìm xuống dưới. Dĩ nhiên, không hề có một ngôi sao thật sự đơn giản như các sơ đồ được đề xuất.

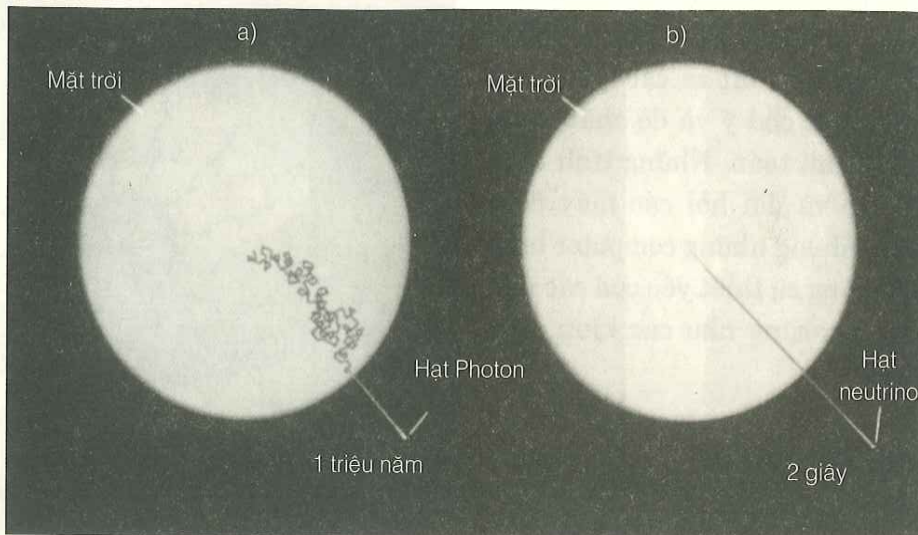
Sự đối lưu của sao xảy ra khi các dòng khí nóng lưu chuyển lên xuống. Những dòng như thế di chuyển với tốc độ vừa phải và không làm đảo lộn điều kiện cân bằng thủy tĩnh. Chúng cũng không đưa đến một sự chuyển khối lượng thuần túy vào bên trong hay ra bên ngoài. Giống hệt như thế, nhiệt từ một lò sưởi có thể khuấy động các dòng không khí trong một căn phòng mà không đưa bất kỳ không khí nào đi vào hay đi ra khỏi phòng. Các dòng đối lưu tải nhiệt ra ngoài ngôi sao rất hiệu quả. Trong Mặt Trời, sự đối lưu có vai trò quan trọng trong các vùng trung tâm và gần bề mặt.

Trừ phi sự đối lưu diễn ra, cách thức chuyển tải năng lượng đáng kể duy nhất qua một ngôi sao là bức xạ điện từ. Sự bức xạ không phải là một phương tiện chuyển tải năng lượng hữu hiệu trong các vì sao, bởi vì các chất khí ở các phần bên trong của sao rất đục – nghĩa là, một photon không đi xa được (trong Mặt Trời, tiêu biểu khoảng 0,01 m) trước khi nó bị hấp



Các Photon nằm sâu trong mặt trời: Một photon di chuyển qua các chất khí đậm đặc bên trong Mặt Trời chỉ đi được một cự ly ngắn trước khi tương tác với một trong những nguyên tử chung quanh. Photon thường có năng lượng thấp hơn sau mỗi lần tương tác và sau đó có thể đi về bất kỳ hướng ngẫu nhiên nào.

thụ. Năng lượng bị hấp thụ luôn luôn được tái phát xạ, nhưng nó có thể được tái phát xạ về bất kỳ hướng nào. Một photon bị hấp thụ khi di chuyển ra ngoài trong một sao hầu như có cơ hội được tái phát xạ trở vào trung tâm ngang bằng với về phía bề mặt của nó.



Đường đi của photon và neutrino trong mặt trời: (a) Do các photon được sinh ra bởi các phản ứng tổng hợp ở phần bên trong Mặt Trời chỉ di chuyển một khoảng ngắn trước khi bị hấp thụ hay bị tán xạ bởi các nguyên tử và tỏa ra theo các hướng ngẫu nhiên, mất khoảng một triệu năm để năng lượng thực hiện đường đi của nó từ trung tâm tới bề mặt Mặt Trời. (b) Ngược lại, các hạt neutrino không tương tác với vật chất mà đi thẳng với tốc độ ánh sáng, tới bề mặt chỉ hơn 2 giây một chút.

Cho nên, một số năng lượng riêng biệt chạy ngoằn ngoèo theo một cách thức hầu như ngẫu nhiên và mất một thời gian khá lâu để thực hiện đường đi của nó từ trung tâm của sao tới bề mặt. Trong Mặt Trời, thời gian cần thiết là khoảng một triệu năm. Nếu các photon không bị hấp thụ và được tái phát xạ dọc theo đường đi, chúng sẽ di chuyển với tốc độ ánh sáng và có thể tới bề mặt trong hơn 2 giây một chút, giống như các hạt neutrino thực hiện.

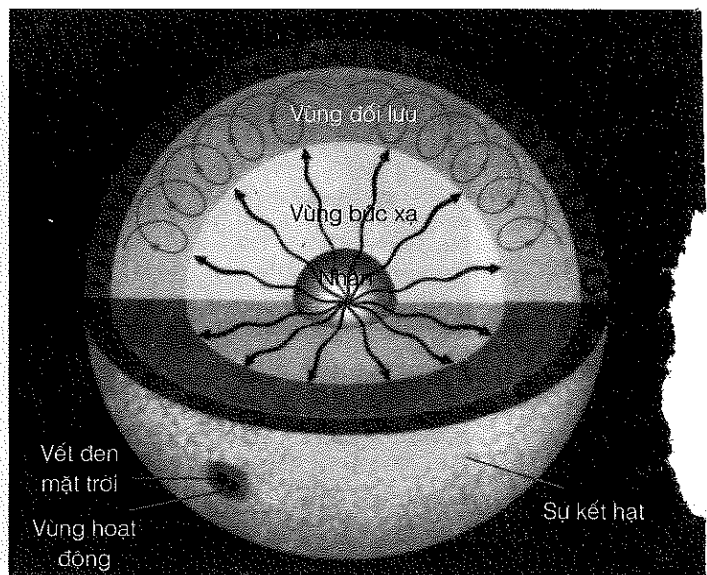
Thước đo về khả năng hấp thụ bức xạ của vật chất được gọi là **độ chắn sáng** (opacity). Có lẽ sẽ không ngạc nhiên rằng các chất khí của Mặt Trời đều đục. Nếu chúng trong suốt hoàn toàn, chúng ta sẽ có thể nhìn thấu suốt qua Mặt Trời, giống như nhìn qua khí quyển của hành tinh chúng ta. Các quá trình qua đó các nguyên tử và ion có thể làm gián đoạn luồng năng lượng – chẳng hạn như bị ion hoá – được nói đến trong Mục 4.5. Các electron riêng lẻ cũng có thể tán xạ bức xạ một cách hỗn loạn. Đối với một nhiệt độ, mật độ, và thành phần cấu tạo nhất định của chất khí, tất cả các quá trình này có thể được chú ý và độ chắn sáng có thể được tính toán. Những tính toán rất phức tạp và đòi hỏi các máy điện toán mạnh, nhưng những computer hiện nay là một công cụ thiết yếu của các nhà thiên văn học cũng như các kính viễn vọng mạnh.

✧ CÁC SAO MÔ HÌNH

Các nhà khoa học sử dụng các nguyên lý mà chúng ta vừa mới mô tả để xem xét phần bên trong của Mặt Trời. Những ý tưởng vật lý này được biểu diễn bằng các phương trình toán học để xác định các trị số về nhiệt độ, áp suất, mật độ và

các đại lượng vật lý khác khắp cả Mặt Trời. Do đó các đáp án có được, dựa trên một tập hợp đặc biệt của các giả thuyết vật lý, được gọi là mô hình lý thuyết về phần bên trong của Mặt Trời.

Hình dưới trình bày một cách hệ thống phần bên trong Mặt Trời theo mô hình lý thuyết tốt nhất. Năng lượng được sinh ra qua sự tổng hợp trong nhân Mặt Trời, chỉ vươn rộng ra khoảng một phần tư đường đi tới bề mặt. Tuy nhiên, nhân này chứa khoảng một phần ba khối lượng Mặt Trời. Tại trung tâm, nhiệt độ đạt tới tối đa xấp xỉ 15 triệu K và mật độ gần bằng 150 lần mật độ của nước. Năng lượng sinh ra trong nhân được chuyển tải về phía bề mặt do sự bức xạ cho tới khi nó tiến đến một điểm khoảng 70 phần trăm cự ly từ trung tâm tới bề mặt. Tại điểm này, sự đối lưu bắt đầu, và năng lượng được chuyển tải qua phần còn lại



Cấu trúc bên trong của mặt trời: Năng lượng được sinh ra trong nhân do sự tổng hợp hydro thành helium. Năng lượng này được truyền ra ngoài do sự bức xạ – nghĩa là, do sự hấp thụ và tái phát xạ các photon. Trong những lớp ngoài cùng, năng lượng được truyền đi chủ yếu do sự đối lưu.

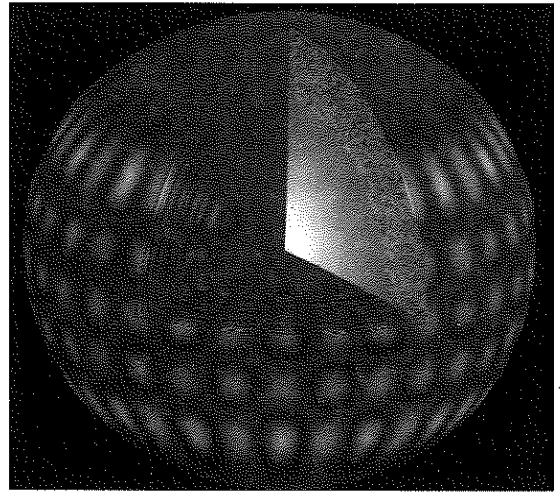
của đường đi trước tiên bằng những cột khí nóng vọt lên cao.

7.4 BÊN TRONG MẶT TRỜI: CÁC CUỘC QUAN SÁT

Khi quan sát quang quyển của Mặt Trời, chúng ta không nhìn thấy thật sâu vào trong – chắc chắn là không vào trong những vùng mà năng lượng được sinh ra. Đó là lý do tại sao tựa đề của mục này – các cuộc quan sát phần bên trong Mặt Trời – có lẽ dường như hết sức bất ngờ. Tuy nhiên, các nhà thiên văn học đã nghĩ ra hai loại phép đo có thể được sử dụng để thu thập thông tin về các phần bên trong Mặt Trời. Một kỹ thuật bao hàm sự phân tích về những thay đổi rất nhỏ trong sự chuyển động của các vùng nhỏ tại bề mặt. Những kỹ thuật khác dựa vào phép đo của các hạt neutrino do Mặt Trời phát xạ.

♦ CÁC XUNG ĐỘNG MẶT TRỜI

Các nhà thiên văn học đã khám phá ra rằng Mặt Trời dao động – nghĩa là, nó tuần tự nở ra và co lại. Sự dao động này rất ít, nhưng nó có thể được phát hiện bằng cách đo đặc *vận tốc xuyên tâm* (radial velocity) của bề mặt Mặt Trời – tốc độ qua đó nó di chuyển về phía chúng ta hay cách xa chúng ta. Vận tốc của các phần khác nhau của Mặt Trời được quan sát thấy thay đổi một cách đều đặn, trước tiên về phía Trái đất, rồi kể đó cách xa Trái Đất, rồi về phía Trái Đất, và cứ tiếp tục như thế. Các phép đo chính xác chứng tỏ rằng rất nhiều vùng trên bề mặt Mặt Trời với đường kính từ 4000 tới 15.000 km dao động tới lui theo cách này. Chu kỳ dao động tiêu biểu mất



Những dao động trong Mặt Trời. Những kỹ thuật quan sát tiên tiến cho phép các nhà thiên văn học đo các chênh lệch nhỏ về vận tốc tại bề mặt Mặt Trời để suy ra phần bên trong như thế nào. Lưu ý rằng sự thay đổi vận tốc xâm nhập sâu vào bên trong Mặt Trời.

khoảng 5 phút, Mặt Trời giống một đám người khổng lồ, tất cả hít vào và thở ra với các tốc độ khác nhau.

Vận tốc tiêu biểu của một trong số những vùng dao động trên Mặt Trời chỉ là vài trăm mét trên một giây. Bởi vì nó chỉ mất khoảng 5 phút để hoàn tất một chu kỳ từ vận tốc tối đa đến vận tốc tối thiểu và lặp lại, sự thay đổi về kích thước của Mặt Trời so sánh tại một điểm nhất định nào đó là không hơn vài kilômét.

Điều đáng chú ý là những sự biến đổi nhỏ này về vận tốc có thể được sử dụng để xác định cấu tạo bên trong Mặt Trời. Sự chuyển động của bề mặt Mặt Trời là do các sóng từ sâu bên trong. Nghiên cứu những thay đổi về biên độ và độ dài chu kỳ của vận tốc cung cấp thông tin về nhiệt độ, mật độ, và thành phần của các lớp mà sóng vượt qua trước khi đi tới bề mặt. Điều kiện này tương tự với việc sử dụng các sóng địa chấn sinh ra do động đất để suy ra các đặc tính bên trong Trái Đất. Vì lẽ đó, các nghiên cứu về các dao

động mặt trời (các chuyển động tới lui) được gọi là môn chấn động học mặt trời (solar seismology).

Chúng ta biết rằng các trận động đất do sự chuyển động của các mảng kiến tạo (mảng vỏ trái đất) hay chất magma bên dưới bề mặt Trái Đất gây ra. Các nhà thiên văn học mới đây đã khám phá một nguyên nhân của những “chấn động mặt trời” (“sunquakes”). Các cuộc quan sát chứng tỏ rằng thỉnh thoảng các đường tối giữa các hạt lạnh một cách bất thường. Chất khí lạnh đậm đặc hơn vùng xung quanh nó và hình thành một chùm hẹp thọc sâu vào Mặt Trời với tốc độ siêu âm, tạo ra sự bùng nổ âm thanh. Sự nhiễu loạn về áp suất này sau đó sinh ra các sóng, di chuyển qua phần bên trong mặt trời và nhô lên trở lại tại bề mặt, nơi chúng ta có thể đo đạc hiệu ứng của chúng.

Mất khoảng một giờ để cho các sóng đi xuyên qua Mặt Trời, do đó, chúng giống như các hạt neutrino, cung cấp thông tin về cấu tạo bên trong Mặt Trời, tại thời điểm hiện tại. Ngược lại, ánh sáng mà hôm nay chúng ta thấy lộ ra từ Mặt Trời thực sự được tạo ra trong nhân của nó cách đây khoảng một triệu năm.

Chấn động học mặt trời đã mang lại một số kết quả quan trọng. Các phép đo về xung động mặt trời chứng tỏ rằng sự đối lưu vươn rộng ra vào bên trong từ bề mặt 30% đường đi về phía trung tâm; chúng ta đã sử dụng thông tin này trong việc vẽ hình. Chúng ta cũng nhận thấy rằng *phép quay vi phân* (differential rotation) thấy tại bề mặt Mặt Trời, với sự xoay nhanh nhất diễn ra tại xích đạo, kéo dài xuống qua vùng đối lưu. Tuy nhiên, dưới vùng đối lưu, Mặt Trời, mặc dù là chất khí khắp mọi nơi, xoay tròn như thể một vật thể rắn.

Các dao động cũng chứng tỏ rằng sự đối lưu khí helium bên trong Mặt Trời, ngoại trừ ở trung tâm nơi mà các phản ứng hạt nhân đã biến đổi hydro thành helium, giống như tại bề mặt. Kết quả ấy rất quan trọng với các nhà thiên văn học, bởi vì nó có nghĩa là chúng ta đã đúng khi lợi dụng sự đối lưu của các nguyên tố đã đo đạc được trong khí quyển Mặt Trời để xây dựng mô hình bên trong.

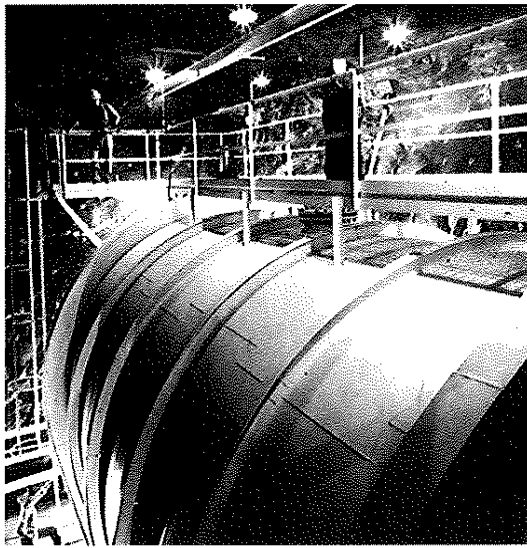
✧ CÁC HẠT NEUTRINO CỦA MẶT TRỜI

Kỹ thuật thứ hai để thu thập thông tin về phần bên trong mặt trời bao gồm sự phát hiện một vài trong số các hạt neutrino khó nắm bắt được tạo ra trong sự tổng hợp hạt nhân. Các hạt neutrino rất hiếm khi tương tác với vật chất khác, và hầu hết các hạt neutrino được tạo ra trong trung tâm đi thẳng ra khỏi Mặt Trời trong khoảng 2 giây và di chuyển tới Trái Đất với tốc độ ánh sáng. Với các hạt neutrino, Mặt Trời là trong suốt.

Khoảng 3% năng lượng toàn phần được sinh ra do sự tổng hợp hạt nhân trong Mặt Trời được các hạt neutrino mang đi. Thật nhiều proton phản ứng bên trong nhân đến nỗi, các nhà khoa học tính ra, 35 triệu tỉ ($3,5 \times 10^{16}$) hạt neutrino Mặt Trời đi xuyên qua mỗi mét vuông bề mặt Trái Đất trong mỗi giây. Nếu chúng ta có thể nghĩ ra một cách thức để phát hiện ngay cả một vài hạt neutrino này, thì có thể thu thập thông tin trực tiếp về những gì đang diễn ra ở trung tâm Mặt Trời. Rủi thay cho những sự cố gắng để “bắt” một số neutrino này, Trái Đất và mọi thứ trên nó gần như trong suốt đối với các hạt neutrino đi qua, giống y như Mặt Trời.

Tuy nhiên, vào những cơ hội rất hiếm hoi, một trong số hàng tỉ hạt neutrino sẽ tương tác với một nguyên tử khác. Sự phát hiện thành công đầu tiên về các neutrino Mặt Trời là sử dụng dung dịch tẩy rửa (C_2Cl_4). Nhân của nguyên tử clor trong dung dịch tẩy rửa có thể chuyển thành nhân argon phóng xạ do sự tương tác với một neutrino. Bởi vì argon là một chất phóng xạ, sự hiện diện của nó có thể được nhận ra với các máy dò nhạy cảm được xây dựng chung quanh bồn chứa. Tuy nhiên do sự tương tác xảy ra rất hiếm, cần phải có một khối lượng clor khổng lồ.

Raymond Davis, Jr. và các đồng sự tại phòng thí nghiệm Brookhaven National Laboratory đặt một bồn chứa, chứa gần 400.000 lít dung dịch tẩy rửa, ở 1,5 km dưới mặt đất trong một mỏ vàng tại Lead, bang South Dakota. Khu mỏ được chọn để các vật liệu xung quanh của Trái Đất sẽ ngăn không cho các tia vũ trụ chạm vào dung dịch tẩy rửa và tạo



Bẫy Neutrino: Thí nghiệm do Raymond Davis và các đồng nghiệp tiến hành, nằm bên dưới mỏ vàng Homestake Gold Mine ở South Dakota. Bể lớn chứa dung dịch tẩy rửa, một nguồn cung cấp nhân clor tương đối rẻ.

ra các tín hiệu giả. Các hạt hình thành tia vũ trụ bị chặn lại bởi các lớp dày đặc của Trái Đất, nhưng hạt neutrino chẳng bao giờ bị chặn lại. Các tính toán chứng tỏ rằng các hạt neutrino Mặt Trời sẽ tạo ra khoảng một nguyên tử argon phóng xạ trong bồn chứa mỗi ngày.

Thí nghiệm của Davis, bắt đầu năm 1970, chỉ phát hiện được khoảng một phần ba số neutrino được dự đoán.

Đây là một kết quả gây sốc, bởi vì các nhà khoa học nghĩ rằng họ có một sự hiểu biết khá chính xác về neutrino lẫn phần bên trong Mặt Trời. Các thí nghiệm khác hiện nay đã xác nhận sự kiện chúng ta thực sự dò ra số neutrino ít hơn được dự đoán bởi các mô hình tốt nhất.

Liệu điều này có nghĩa rằng những mô hình tốt nhất mà chúng ta có về Mặt Trời là không đủ chính xác? Để giải thích số neutrino bị thiếu, các nhà thiên văn học cố gắng sửa đổi các mô hình. Nếu, thí dụ, nhiệt độ trong nhân hơi thấp hơn các mô hình dự đoán hay nếu thành phần cấu tạo của phần bên trong hơi khác hơn so với bề mặt, có thể neutrino sẽ được tạo ra ít hơn. Trước khi có các phép đo về những dao động của Mặt Trời, một số mô hình hình như giải quyết được vấn đề. Tuy nhiên, các mô hình khéo léo bắt nguồn bởi sự thiếu hụt neutrino có thể không đúng. Nếu các mô hình đúng ngay từ đầu, những hạt neutrino “bị thiếu” đã đi đâu? Có phải chúng cư xử theo một cách thức không mong đợi nào đó để rồi bị mất mát trên đường đi? Có vẻ câu trả lời là đúng. Các nhà vật lý đã chứng minh rằng thực tế có ba loại neutrino, và lý thuyết vật lý tiêu chuẩn thừa nhận rằng cả ba loại ấy đều không có khối lượng. Nhưng thực ra không có chứng cứ thực nghiệm nào cho

Phải chăng sẽ là tuyệt vời nếu chúng ta có thể mô phỏng hay sao chép cơ chế năng lượng của Mặt Trời theo một cách kiểm soát được trên Trái Đất? (Chúng ta đã sao chép nó theo một cách thức không kiểm soát được trong bom khinh khí, nhưng chúng ta hy vọng kho bom này sẽ không bao giờ được sử dụng). Năng lượng tổng hợp sẽ có nhiều lợi ích: Nó sẽ sử dụng hydro (hay deuterium, là hydro nặng) như nhiên liệu, và có đầy áp hydro trong các hồ nước và đại dương của Trái Đất. Nước được phân bố đồng đều hơn nhiều trên khắp thế giới so với dầu hỏa và uranium, nghĩa là một vài quốc gia sẽ không còn giữ lợi thế năng lượng đối với các quốc gia khác. Và không giống như sự phân hạch, để lại những phụ phẩm nguy hiểm, các hạt nhân phát sinh từ sự tổng hợp tuyệt đối an toàn.

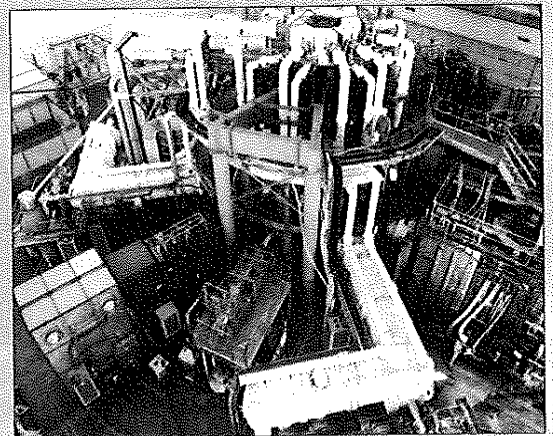
Vấn đề là, như chúng ta đã thấy, phải có nhiệt độ cao thật cao để cho các hạt nhân vượt qua lực đẩy điện của chúng và trải qua sự tổng hợp. Khi những trái bom khinh khí đầu tiên nổ tung trong các cuộc thử nghiệm vào những năm 1950, các "ngòi nổ" để làm cho chúng đủ nóng là các quả bom phân hạch. Các tương tác với nhiệt độ như thế rất khó duy trì và điều khiển. Do đó từ lâu, các thí nghiệm tổng hợp nói chung đã đòi hỏi nhiều năng lượng để khởi động chúng và giữ chúng dưới sự điều khiển hơn là được tạo ra bởi bản thân sự tổng hợp.

Trong số các kỹ thuật hiện nay đang được thử nghiệm tại các phòng thí nghiệm ở Hoa Kỳ và khắp thế giới, đang duy trì chất khí nóng dưới sự điều khiển của các từ trường mạnh trong cái mà các nhà khoa học gọi là "bình từ" (magnetic bottle), và đang sử dụng các chùm tia laser hội tụ cao để nén và đun nóng các viên deuterium rắn. Các cuộc thí nghiệm này thuộc về kỹ thuật hàng đầu, và các nhà khoa học ước tính rằng sẽ mất vài thập niên trước khi các lò phản ứng tổng hợp nhân tạo trở thành hiện thực.

Năm 1989, hai nhóm nhà khoa học (cả hai đều ở bang Utah, nước Mỹ), đã đưa ra một tuyên bố gây sửng sốt. Hai nhóm này tuyên bố đã đạt được sự tổng hợp với nhiệt độ phòng, với các trang thiết bị hết sức đơn giản có thể dễ dàng được mô phỏng trong phòng thí nghiệm khoa học của một trường

đại học. Họ sử dụng một tế bào điện hoá trong đó dòng điện đi từ một bề mặt kim loại tới một bề mặt kim loại khác qua một dung dịch hoá học. Cả hai nhóm cho là họ đã tìm ra chứng cứ của sự tổng hợp deuterium trong thiết bị của họ – và kết quả của họ, được nhanh chóng đặt tên là "sự tổng hợp lạnh" ("cold fusion"), trở thành một tin giật gân. Nhưng sự tổng hợp lạnh không đứng vững dưới sự khảo sát kỹ lưỡng. Các nhóm khác khắp thế giới không thể tái lập các kết quả. Ngay cả các cuộc thí nghiệm ban đầu cũng không chứng tỏ được nhiều đặc điểm khác liên quan với sự tổng hợp, hoá ra là những nhóm ở bang Utah có thể đang nhìn thấy các phản ứng hoá học, chứ không phải là các phản ứng hạt nhân, và các kết quả ban đầu không được xác nhận.

Hình như nếu muốn tái lập sự tổng hợp trên Trái Đất, chúng ta phải thực hiện những gì mà Mặt Trời làm: Tìm ra một phương cách tạo ra các nhiệt độ và áp suất đủ cao để làm cho các nhân hydro có "những quan hệ hết sức thân thiết với nhau" (nghĩa là phải nằm thật gần nhau). Nhiều nhóm các nhà khoa học đã miệt mài làm việc để giải quyết những thách thức to lớn về mặt kỹ thuật có liên quan, mặc dù việc kiếm được nguồn tài trợ lúc nào cũng là khó khăn đối với những dự án mà "kết quả đền bù" xa đến hàng chục năm. Tuy nhiên, có lẽ vào một thời đại xa xăm sau này, sự tổng hợp được điều khiển sẽ là hiện thực thay vì là giấc mơ.



Lò phản ứng thử nghiệm sự tổng hợp Tokamak (TFTR).

rằng khối lượng của neutrino chính xác là zero. Nếu nó có thậm chí một khối lượng bé xíu, thì cũng có khả năng loại neutrino này biến đổi thành loại neutrino khác trong hành trình từ trung tâm Mặt Trời tới Trái Đất.

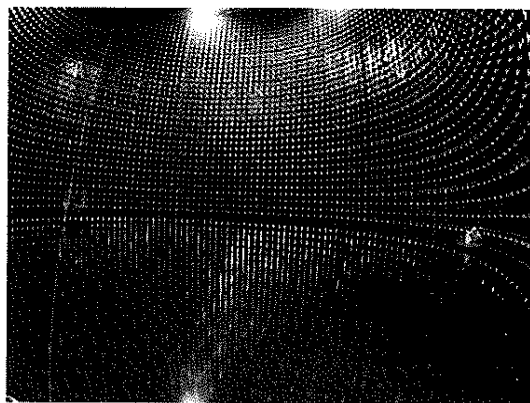
Sự tổng hợp trong Mặt Trời chỉ tạo ra một loại neutrino duy nhất, được gọi là neutrino electron (hay phản neutrino), và tất cả các phép đo về neutrino Mặt Trời cho đến nay chỉ nhạy cảm với một loại này. Nếu một số neutrino electron thay đổi thành một loại khác trên đường đi của chúng từ Mặt Trời tới Trái Đất, thì các cuộc thí nghiệm tiến hành từ trước đến nay đã thiếu những neutrino này và tóm lại đã thất bại.

Để kiểm chứng ý tưởng, chúng ta cần một cuộc thí nghiệm mới có thể đo đạc được tất cả các loại neutrino. Giả sử rằng một máy dò (hay máy tách) chứng tỏ rằng tổng số các hạt neutrino đi tới Trái Đất và xuất phát từ Mặt Trời lớn hơn số lượng neutrino electron. Đây sẽ là chứng cứ rằng một số neutrino electron đã biến thành một trong hai loại neutrino kia. Mặc dù qua trực giác điều này không rõ ràng, thì rất cuộc một sự biến đổi như thế chỉ có thể xảy ra nếu khối lượng của neutrino electron không phải là zero. (Như đã đề cập trước đây, một kết quả như thế cũng sẽ có những ứng dụng quan trọng cho các lãnh vực khác của thiên văn học, đặc biệt đối với những phát minh về khối lượng toàn phần của vũ trụ). Một thí nghiệm đại loại như vậy, bao gồm nước nặng (nước với các nguyên tử hydro được thay thế bởi deuterium), đã được tiến hành ở Canada.

Tuy nhiên, các kết quả thực nghiệm thuyết phục gần đây được công bố chỉ

ra rằng một trong các loại neutrino còn lại, được gọi là “neutrino muon” (đọc là nơtrino muyon), thực sự có khối lượng. Neutrino muon được tạo ra khi các tia vũ trụ năng lượng cao chạm vào thượng tầng khí quyển. Để tìm kiếm các neutrino này, các nhà khoa học lắp đặt 50.000 tấn nước siêu tinh khiết trong một mỏ sắt cũ dưới các dãy núi của Nhật. Khi một neutrino muon đập vào một nhân trong một phân tử nước, các mảnh vỡ từ vụ va chạm phóng nhanh qua nước, tạo ra một ánh sáng xanh. Bồn chứa nước được bao bọc bằng 13.000 ống bội quang (photomultiplier tubes) để phát hiện (dò ra) ánh sáng này.

Những gì cuộc thí nghiệm đã chứng tỏ là số lượng neutrino muon đi xuyên qua Trái Đất tới máy dò nhỏ hơn số lượng chạm tới nó khi Mặt Trời nằm ngay trên đỉnh đầu. Những dữ liệu này gợi lên rằng các neutrino muon thay đổi thành một loại neutrino khác trên đường đi của chúng xuyên qua Trái Đất. Những neutrino ấy chỉ đi qua khí quyển Trái Đất không có thời gian để trải qua sự thay đổi. Bởi vì các neutrino chỉ có thể



Máy dò neutrino Super-Kamiokande: Phòng ngầm vĩ đại này ở Nhật Bản chứa 50.000 tấn nước và có 13.000 máy dò ánh sáng dọc theo các vách. Các neutrino đi qua nước có thể tạo ra một tia sáng xanh, có thể kích thích các máy dò (detector) ánh sáng.

thay đổi loại nếu chúng có khối lượng, thí nghiệm này là chứng cứ thuyết phục đầu tiên rằng ít nhất một số loại neutrino có khối lượng.

Rủi thay, thí nghiệm không nói cho chúng ta biết liệu các neutrino electron do Mặt Trời tạo ra có khối lượng hay không. Máy dò thấy các số lượng neutrino electron bằng nhau ở mọi hướng. Điều này nói cho chúng ta biết là các neutrino electron không thay đổi từ loại này sang loại khác khi chúng đi xuyên qua Trái Đất. Tuy nhiên chúng vẫn có thể thay đổi loại trong hành trình dài của chúng từ bên trong Mặt Trời qua khoảng chân không vũ trụ tới Trái Đất. Để kiểm chứng, các nhà khoa học cố gắng xác định liệu số lượng neutrino Mặt Trời đi tới máy dò có thay đổi theo mùa hay không. Hãy nhớ rằng Trái Đất gần Mặt Trời hơn khoảng 3% trong mùa đông so với mùa hạ, và sự sai biệt có thể là đủ để ảnh hưởng tới tổng số neutrino.

Các ý tưởng khoa học thực ra có thể thay đổi khi chúng ta thực hiện các thí nghiệm ngày càng tốt hơn. Trong nhiều thập niên, các sinh viên được dạy rằng hạt neutrino không có khối lượng. Khi nó được công bố tại một hội nghị khoa học ở Nhật Bản năm 1998 rằng neutrino muon rõ ràng có khối lượng, toàn bộ cử tọa đứng dậy và reo mừng. Các cuộc thí nghiệm mới trải qua thập niên kế tiếp có lẽ sẽ giúp xác định liệu các loại neutrino khác cũng có khối lượng hay không, và nếu có thì bao nhiêu. Và điều đó, đến lượt nó, có thể giúp chúng ta giải đáp được bí mật của các neutrino Mặt Trời bị thiếu và hiểu biết tốt hơn về việc Mặt Trời tạo ra hiệu suất năng lượng vĩ đại bằng cách nào.

TÓM LƯỢC

7.1 Mặt Trời tạo ra một khối năng lượng khổng lồ trong mỗi giây. Trái Đất đã 4,5 tỉ năm tuổi, do vậy Mặt Trời phải chiếu sáng ít nhất trong thời gian dài ấy. Không phải sự đốt cháy hoá học cũng không phải sự co rút của lực hấp dẫn có thể giải thích khối năng lượng do Mặt Trời bức xạ trong suốt thời gian này.

7.2 Năng lượng mặt trời được tạo ra do sự tương tác của các hạt sơ cấp (elementary particles) – nghĩa là, các proton, neutron, electron, và neutrino. Đặc biệt, nguồn cung cấp năng lượng của Mặt Trời là sự tổng hợp (fusion) của hydro để hình thành helium. Hàng loạt các phản ứng để biến đổi hydro thành helium được gọi là chu kỳ proton–proton (proton–proton cycle). Một nguyên tử helium có ít hơn khoảng 0,71% khối lượng của bốn nguyên tử hydro kết hợp lại để hình thành nó, và sự mất mát khối lượng ấy được chuyển đổi thành năng lượng (với khối năng lượng được tính toán bởi công thức $E = mc^2$).

7.3 Mặc dù chúng ta không thể nhìn thấy bên trong Mặt Trời, vẫn có thể tính toán được những gì bên trong nó phải như thế nào. Về dữ kiện cho các sự tính toán này, chúng ta sử dụng những điều đã biết về Mặt Trời. Nó được cấu tạo toàn bộ bằng chất khí nóng. Ngoại trừ một số thay đổi rất nhỏ, Mặt Trời không nở ra hay co vào (nó nằm trong sự cân bằng thủy tĩnh – *hydrostatic equilibrium*), nhưng sản sinh ra năng lượng với một mức độ bất biến. Sự tổng hợp của hydro xảy ra ở trung tâm Mặt

Trời, và năng lượng sinh ra được chuyển tải tới bề mặt do sự bức xạ (radiation) và sự đối lưu (convection). Mô hình mô tả cấu trúc bên trong Mặt Trời, đặc biệt, nó mô tả áp suất, nhiệt độ, khối lượng, và độ sáng tùy thuộc vào khoảng cách từ trung tâm ra sao.

7.4 Các nghiên cứu về sự dao động Mặt Trời (chấn động học mặt trời – solar seismology) và về các hạt neutrino có thể cung cấp các dữ liệu quan sát bên trong Mặt Trời. Kỹ thuật *chấn động học mặt trời* đã chứng tỏ rằng

thành phần cấu tạo bên trong rất giống với thành phần của bề mặt (ngoại trừ ở trong nhân, nơi một số hydro đầu tiên đã bị biến đổi thành helium), và vùng đối lưu vươn rộng ra 30% của đường đi từ bề mặt Mặt Trời tới trung tâm của nó. Các mô hình dự đoán rằng lẽ ra chúng ta có thể phát hiện ra nhiều neutrino hơn là các thí nghiệm đã thực hiện. Kết quả này có thể chỉ ra rằng khối lượng của neutrino chính xác không bằng zero, và các thí nghiệm khác cũng xác nhận ý tưởng này.





Nhìn về phía trung tâm của Dải Ngân Hà (Milky Way Galaxy), kính không gian Hubble làm lộ ra một “hộp nữ trang” lấp lánh lộng lẫy của các ngôi sao – một phần của một vùng gọi là Tinh vân Sagittarius (M24), trong một diện tích có đường kính 13 năm ánh sáng. Bạn có thể thấy các ngôi sao với nhiều màu sắc, kích cỡ, khối lượng, và tuổi khác nhau.

CHƯƠNG 8

PHÂN TÍCH ÁNH SÁNG SAO

*"Lấp lánh, lấp lánh ngôi sao nhỏ,
Ta không thắc mắc người là gì,
Bởi vì qua kính quang phổ,
Ta biết rằng người là hydro."*

Vô danh, do D. Bush trích dẫn trong "Science and English Poetry" (1950).

Ngôi sao gần nhất (khác hơn Mặt Trời) cách xa đến nỗi tàu vũ trụ nhanh nhất mà nhân loại đã chế tạo từ trước tới nay sẽ mất gần 100.000 năm để đi đến đó. Và những ngôi sao khác thậm chí còn xa hơn. Song, con người là những sinh vật tò mò và tham vọng, và chúng ta muốn biết các ngôi sao ấy được sinh ra, sống và chết như thế nào. Bằng cách nào chúng ta có thể hiểu biết về các vật thể cho đến bây giờ vẫn vượt xa tầm hiểu biết về vật lý của chúng ta?

Các nhà khoa học thích các phạm trù. Kiến thức khoa học phát triển khi chúng ta tạo ra những ngăn kéo hợp lý để đặt những vật thể chúng ta đang nghiên cứu vào trong đó, hoặc chúng là những con bướm, các chứng bệnh của con người, hay các hạt hạ nguyên tử. Cùng một cách như vậy, các sao có thể được phân loại theo các đặc tính của nó – chúng lớn cỡ nào, chúng chứa bao nhiêu vật liệu (khối lượng của chúng), và chúng tỏa ra bao

hiệu ánh sáng. Khi am hiểu nhiều hơn về sự phân biệt các sao, chúng ta sẽ sử dụng các phạm trù này để bắt đầu tập hợp các bộ phận của vấn đề chính mà chúng ta quan tâm giải quyết: Lịch sử đời sống của một ngôi sao từ lúc sinh ra đến khi chết đi như thế nào?

Chúng ta bắt đầu cuộc du hành tới các vì sao bằng cách mô tả các nhà thiên văn học sử dụng ánh sáng do các sao phát xạ ra sao để suy ra chúng như thế nào. Thí dụ, chúng ta sẽ khám phá ra rằng các sao hoá ra có đủ kích cỡ và khối lượng. Có những ngôi sao lớn đến mức các quỹ đạo của nhiều hành tinh trong hệ mặt trời sẽ dễ dàng nằm gọn vào bên trong chúng. Chúng ta sẽ thấy các ngôi sao lạ lùng đang chết gọi là các sao lùn trắng đã bị nén lại cho tới khi chúng đậm đặc hơn nước một ngàn lần. Việc hình dung làm cách nào tất cả các loại sao khác nhau nằm gọn vào trong một bức tranh vĩ đại đã là một trong những lãnh vực

hấp dẫn nhất và hữu ích nhất của thiên văn học thế kỷ XX.

Những quan sát rất đơn giản chứng tỏ rằng không phải tất cả các sao đều giống nhau. Bạn có thể tự thực hiện một số cuộc quan sát, đặc biệt nếu bạn đi xa khỏi các ánh đèn thành phố hay sử dụng ống nhòm. Hãy thích thú ngắm nhìn vào bầu trời đêm. Không phải tất cả các sao có cùng độ sáng hay màu sắc như nhau.

Mặc dù hầu hết là quá mờ nên không kích thích được thị lực màu sắc của chúng ta, một vài sao sáng hơn cũng thể hiện được các màu sắc riêng biệt. Một số có vẻ là trắng xanh; số khác rõ ràng là đỏ. Trong bầu trời mùa đông, một chòm sao đẹp dành cho việc xem màu sắc của sao là Orion (chòm sao Lạp Hộ), thợ săn.

Màu sắc là dấu hiệu tốt về nhiệt độ của chất khí nóng rực sáng (xem Chương 4), với màu đỏ là lạnh nhất, và xanh và tím là nóng nhất. Bởi vì các sao là những quả cầu khí rực rỡ, chúng ta có thể suy ra rằng các sao trông thấy trắng xanh

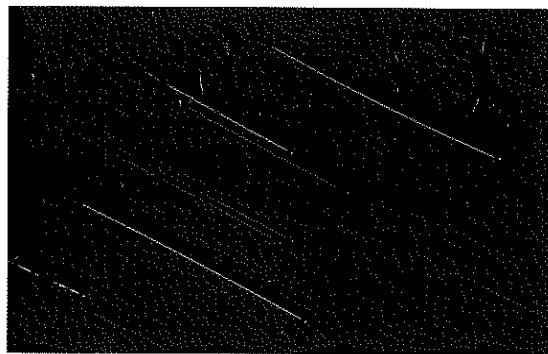
thì nóng hơn các sao có vẻ màu đỏ. Mặt Trời trông thấy vàng, một màu sắc nằm ở chính giữa quang phổ thấy được. Cho nên, chúng ta có thể lập tức kết luận rằng nhiệt độ của Mặt Trời cũng ở khoảng nào đó giữa các sao nóng nhất và các sao lạnh nhất.

Các câu hỏi khác có thể được trả lời dựa vào các cuộc quan sát cẩn thận với các kính viễn vọng lớn. Bởi vì các sao là các mặt trời, điều có lẽ không làm bạn ngạc nhiên rằng các kỹ thuật, kể cả quang phổ học, được sử dụng để nghiên cứu Mặt Trời có thể cũng được dùng để khám phá các sao.

8.1 ĐỘ SÁNG CỦA SAO

Có lẽ đặc trưng quan trọng nhất của sao là **độ trưng** (luminosity) của nó – tổng số năng lượng mà nó phát xạ trong một giây. Trong chương trước, chúng ta thấy rằng Mặt Trời (được mô tả như một bóng đèn tròn lớn) sản sinh ra lượng bức xạ vô cùng lớn mỗi giây. (Và có những ngôi sao sáng hơn Mặt Trời rất nhiều). Sau đó, chúng ta sẽ thấy rằng nếu chúng ta có thể đo được một sao bức xạ bao nhiêu năng lượng và chúng ta cũng biết được khối lượng của nó, thì chúng ta có thể tính được nó có thể tiếp tục chiếu sáng trong bao lâu trước khi cạn kiệt năng lượng hạt nhân và bắt đầu chết đi.

Lưu ý rằng độ trưng là số lượng năng lượng ngôi sao tỏa ra trong mỗi giây, chứ không phải số lượng năng lượng đi tới mắt chúng ta hay tới kính viễn vọng trên Trái Đất. Các ngôi sao rất tự do về chiều hướng phát xạ năng lượng: Cùng một số lượng đi về mọi hướng trong không gian. Do đó chỉ có một phần rất nhỏ của năng lượng do sao tỏa ra thực sự đi tới một quan



Màu sắc của sao: Sự phơi sáng theo thời gian mô tả chòm sao Orion khi nó mọc lên qua Đài Thiên Văn Quốc Gia Kitt Peak. Để làm cho bức ảnh thú vị hơn, nhà nhiếp ảnh bắt đầu một sự phơi sáng ngắn, tạo ra những chấm ở bên phải. Kế đó màng trập của máy ảnh được để mở trong một sự phơi sáng lâu, trong đó chuyển động quay của Trái Đất kéo ánh sáng của mỗi sao ra thành một vạch dài. Màu sắc của đủ loại sao do nhiệt độ khác nhau của chúng tạo ra.

sát viên trên Trái Đất. Chúng ta gọi số lượng năng lượng của sao đi tới chúng ta là **độ sáng biểu kiến** (apparent brightness). Nếu bạn ngắm nhìn vào bầu trời đêm, bạn thấy một dãy rộng của các độ sáng biểu kiến trong số các sao. Hầu hết các sao, thực ra, đều mờ đến mức bạn cần một kính viễn vọng để có thể dò ra chúng.

Nếu tất cả các sao có cùng một độ trung – nếu chúng là những **bóng đèn tiêu chuẩn** (standard bulb) – chúng ta có thể sử dụng sự chênh lệch về độ sáng biểu kiến của chúng để nói cho chúng ta biết một điều mà chúng ta rất muốn biết: Chúng cách xa bao nhiêu. Hãy tưởng tượng bạn ở trong một phòng hòa nhạc hay phòng khiêu vũ lớn tối đen ngoại trừ một vài chục bóng đèn 25 watt được đặt trong các đồ vật chung quanh các bức tường. Bởi vì chúng đều là các bóng 25 W, độ trung của chúng (hiệu suất năng lượng) bằng nhau. Nhưng từ nơi bạn đang đứng ở một góc phòng, chúng không có cùng độ sáng biểu kiến. Những bóng đèn nào gần bạn trông sáng hơn (ánh sáng của chúng đến mắt bạn nhiều hơn), trong khi những cái nào cách xa trông mờ hơn (ánh sáng của chúng lan tỏa ra nhiều hơn trước khi đi tới bạn). Cùng một cách như vậy, nếu tất cả các sao đều có cùng độ trung, chúng ta có thể nói rằng các sao trông chói sáng ở gần hơn và các sao trông mờ thì cách xa.

Để định nghĩa ý tưởng này một cách chính xác hơn, hãy nhớ lại từ Chương 4 rằng, chúng ta đã biết chính xác ánh sáng mờ nhạt đi cùng với sự gia tăng khoảng cách như thế nào.

Năng lượng chúng ta thu nhận tỉ lệ nghịch với bình phương khoảng cách. Nếu, thí dụ, chúng ta có hai sao với cùng độ sáng và sao này xa gấp đôi sao kia,

sao xa sẽ trông mờ hơn gấp bốn lần sao gần hơn. Nếu nó cách xa hơn gấp ba lần, nó sẽ trông mờ hơn gấp chín (ba bình phương) lần, và vân vân.

Bởi các vì sao không có “tác phong lịch sử” để đi tới trong một độ trung tiêu chuẩn. (Thực tế, chính vì nhiều loại sao khác nhau làm cho vũ trụ thành một nơi thú vị hơn nhiều). Nhưng điều này có nghĩa là nếu một vì sao trông mờ trên bầu trời, chúng ta không thể bảo rằng nó có vẻ mờ do nó có độ trung thấp nhưng lại tương đối gần, hay do nó có độ trung cao nhưng lại ở rất xa.

Cũng vì các vì sao không phải là các bóng đèn tiêu chuẩn, chúng ta không thể chỉ biểu thị độ trung của chúng từ độ sáng biểu kiến của chúng được. Trước tiên, chúng ta phải bù cho những hiệu ứng mờ của khoảng cách đối với ánh sáng, và để thực hiện điều đó, chúng ta phải biết chúng cách xa bao nhiêu. Khoảng cách là một trong số những phép đo khó khăn nhất của các phép đo thiên văn. Chúng ta sẽ trở lại việc nó được xác định thế nào sau khi chúng ta đã biết nhiều về các vì sao. Trong chương này, chúng ta quay lại vấn đề đo độ sáng biểu kiến.

✧ THANG ĐỘ LỚN HAY THANG CẤP SAO

Bởi vì độ sáng của sao là một trong những đặc điểm rõ rệt nhất, phép đo đầu tiên được thực hiện từ lâu. Các nhà thiên văn học hiện đại đã cố gắng duy trì hệ thống lịch sử ngay cả khi các kỹ thuật đo đạc đã thay đổi, và tóm lại chúng ta bị khổ sở với một hệ thống phức tạp mô tả độ sáng của sao.

Ngành thiên văn học quan sát liên quan tới phép đo độ sáng của sao được gọi là **trắc quang học** (photometry) (từ

chữ photo của Hy Lạp, là “ánh sáng”, và *metry*, là “đo đạc”). Như chúng ta đã xem ở Chương 1, trắc quang học thiên văn bắt đầu với Hipparchus. Khoảng năm 150 trước Công nguyên, ông đã xây dựng một đài quan sát trên đảo Rhodes ở Địa Trung Hải. Ở đó ông soạn ra một mục lục gần 1000 sao bao gồm không chỉ các vị trí mà còn các ước lượng về độ sáng biểu kiến của chúng.

Hipparchus đã không có những tấm phim chụp hay bất cứ thiết bị nào có thể đo được độ sáng một cách chính xác, do đó ông đơn thuần thực hiện các ước lượng bằng mắt. Ông xếp loại các ngôi sao thành sáu loại độ sáng, mà ông gọi là độ lớn hay cấp sao. Ông bàn về các sao sáng nhất trong mục lục của mình như những sao cấp 1, trong khi đó những sao quá mờ mà ông hiếm khi có thể thấy chúng là các sao cấp 6.

Trong thế kỷ XIX, các nhà thiên văn học thử hình thành một thang chính xác hơn bằng cách xác định độ sáng của sao cấp 6 khác biệt với sao cấp 1 bao nhiêu. Các phép đo chứng tỏ rằng chúng ta tiếp nhận ánh sáng từ một sao cấp 1 nhiều hơn khoảng 100 lần so với ánh sáng từ một sao cấp 6. Dựa trên phép đo này, các nhà thiên văn học sau đó định ra một hệ thống cấp sao chính xác, trong đó một sự chênh lệch của 5 cấp sao tương ứng chính xác với một tỉ số độ sáng 100/1.

Điều này có nghĩa là các vì sao chênh lệch vào khoảng một cấp sao sẽ chênh lệch về độ sáng bằng một hệ số khoảng 2,5 – hay, chính xác hơn là, 2,512, căn năm của 100. Vì thế một sao cấp 5 cho chúng ta 2,512 lần ánh sáng nhiều hơn so với sao cấp 6, một sao cấp 4 cho ánh sáng nhiều hơn 2,512 lần so với sao cấp 5, và...

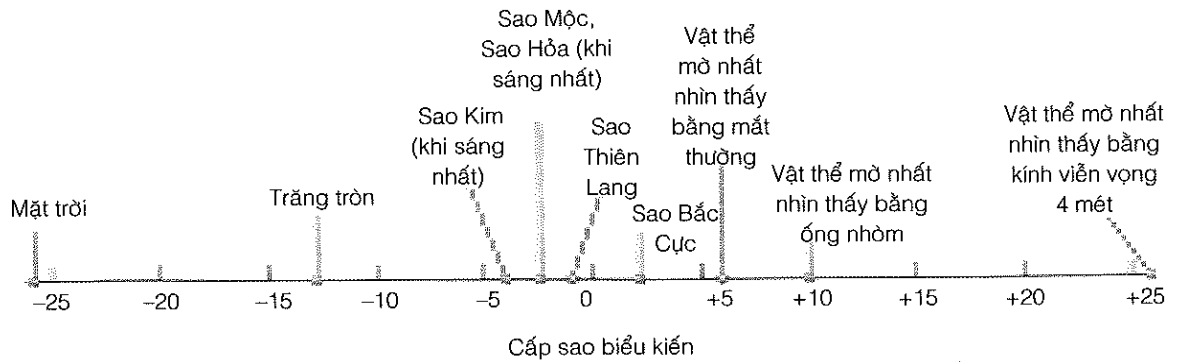
Ngày nay, các nhà thiên văn học đã cùng nhau ngưng việc sử dụng các cấp sao. Tuy nhiên, truyền thống đóng một vai trò mạnh mẽ trong thiên văn học, cũng như trong nhiều lãnh vực khác, do vậy hệ thống cấp sao vẫn tồn tại.

Các sao sáng nhất, các sao theo truyền thống được coi như là các sao cấp 1, thực tế hoá ra (khi được đo một cách chính xác) không đúng về độ sáng. Thí dụ, ngôi sao sáng nhất trên bầu trời, Sirius, truyền tới chúng ta ánh sáng khoảng 10 lần nhiều hơn so với sao cấp 1 trung bình. Đối với thang cấp sao hiện đại, Sirius (sao Thiên Lang) đã được xếp vào cấp sao -1,5. Vài hành tinh có vẻ thậm chí sáng hơn. Venus (sao Kim) với độ sáng nhất của nó thuộc về cấp sao -4,4, trong khi đó Mặt Trời có cấp sao -26,2.

Hình trang bên mô tả một dãy các cấp sao được quan sát từ sáng nhất đến mờ nhất, đi cùng với cấp sao thực tế của vài vật thể nổi tiếng. Yếu tố quan trọng nhất để nhớ khi sử dụng các cấp sao là hệ thống đã đi ngược. Cấp sao càng lớn, vật thể bạn đang quan sát càng mờ hơn!

✧ CÁC ĐƠN VỊ ĐỘ SÁNG KHÁC

Tuy thang độ lớn hay cấp sao vẫn còn được sử dụng cho thiên văn học quan sát, nó không hề được dùng trong các ngành mới hơn của lãnh vực thiên văn. Thí dụ, trong thiên văn học vô tuyến, sự tương đương của hệ thống cấp sao không được qui định. Đúng hơn, các nhà thiên văn học vô tuyến đo đặc số năng lượng do kính viễn vọng vô tuyến thu thập và diễn tả độ sáng của mỗi nguồn trong điều kiện năng lượng đi tới mặt đất, thí dụ, bằng watt trên mét vuông (w/m^2).



Độ sáng biểu kiến của các vật thể nổi tiếng: Các cấp sao mờ nhất mà có thể được phát hiện bằng mắt thường, ống nhòm, và kính viễn vọng lớn.

Tương tự, hầu hết các nhà nghiên cứu trong các lãnh vực thiên văn học hồng ngoại, tia X, và tia gamma sử dụng các đơn vị năng lượng đúng hơn là các cấp sao để diễn tả các kết quả về phép đo của họ. Tuy thế, các nhà thiên văn học trong tất cả các lãnh vực cần thận phân biệt giữa độ trưng toàn phần của nguồn (ngay cả khi độ trưng ấy hoàn toàn bằng tia X) và số lượng năng lượng tình cờ chạm tới Trái Đất chúng ta. Sau cùng, độ trưng là một đặc điểm hết sức quan trọng cho chúng ta biết rất nhiều về vật thể đang xem xét, ngược lại, năng lượng đi tới Trái Đất là một tai nạn của địa lý học vũ trụ (cosmic geography).

Để tiến hành việc so sánh giữa các sao một cách dễ dàng, chúng ta diễn tả độ trưng của các sao khác trong điều kiện độ trưng của Mặt Trời. Thí dụ, độ trưng của Sirius bằng 23 lần độ trưng của Mặt Trời. Chúng ta sử dụng ký hiệu L_{Sun} để diễn tả độ trưng của Mặt Trời; do đó độ trưng của Sirius có thể được viết là $23 L_{\text{Sun}}$.

8.2 MÀU SẮC CỦA SAO

Các ngôi sao không cùng một màu bởi vì chúng không có nhiệt độ giống hệt

nhau. Như chúng ta đã thấy, màu xanh chỉ phối hiệu suất ánh sáng của các sao rất nóng, trong khi các sao lạnh phát xạ hầu hết năng lượng ánh sáng của chúng với các bước sóng đỏ. Để qui định “màu sắc” một cách chính xác, các nhà thiên văn học đã nghĩ ra các phương pháp định lượng để phân định màu sắc của sao và sau đó sử dụng các màu này để xác định nhiệt độ của sao.

♦ CÁC CHỈ SỐ MÀU

Để tìm ra màu chính xác của một ngôi sao, các nhà thiên văn học thường đo đặc độ sáng của sao qua các kính lọc, mỗi kính chỉ truyền ánh sáng từ một dải hẹp riêng biệt của các bước sóng (màu sắc). Một thí dụ thô sơ về một kính lọc trong sinh hoạt hàng ngày là một miếng cellophane (giấy bóng kính) màu đỏ, mà khi cầm giữ ở trước mắt bạn, chỉ để cho màu đỏ của ánh sáng đi qua.

Một bộ kính lọc thông dụng trong thiên văn học đo đặc độ sáng của sao với ba bước sóng tương ứng với ánh sáng cực tím, xanh và vàng. Các kính lọc được đặt tên: U (ultraviolet – cực tím), B (blue – xanh), và V (visual, dành cho yellow – vàng). Các kính lọc này truyền

ánh sáng gần các bước sóng tuần tự là 360 nanomét (nm), 420 nm, và 540 nm. Độ sáng đo được qua mỗi kính lọc thường được diễn tả bằng các độ lớn hay cấp sao. Sự chênh lệch giữa bất kỳ hai cấp sao này – thí dụ, giữa cấp sao xanh và cấp sao vàng (B – V) – được gọi là một chỉ số màu (color index).

Nếu chúng ta có thể bằng cách nào đó bắt lấy một ngôi sao, rồi quan sát nó, và sau đó di chuyển nó ra xa hơn nhiều, độ sáng biểu kiến của nó (cấp sao) sẽ thay đổi. Nhưng bởi vì cấp sao của nó sẽ thay đổi cùng một mức độ cho tất cả các màu, chỉ số màu của nó (là hai cấp sao khấu trừ lẫn nhau) sẽ giữ nguyên. Ý tưởng này sẽ có ý nghĩa đối với bạn. Sau cùng, bạn biết được từ kinh nghiệm hàng ngày rằng màu sắc của một vật thể hiện ra giống nhau cho dù nó cách xa bao nhiêu. Cho nên, chỉ số màu của sao, cung cấp các thước đo về màu sắc thực sự của chúng, và không phụ thuộc vào nơi người quan sát tình cờ đứng.

Định luật Wien (xem Chương 4) liên kết màu sắc của sao với nhiệt độ của nó. Các sao nóng phát xạ nhiều năng lượng hơn trong phần ánh sáng xanh và cực tím của quang phổ. Các sao lạnh thì sáng hơn với các bước sóng đỏ và hồng ngoại. Bằng sự qui ước giữa các nhà thiên văn học, các cấp sao cực tím, xanh và vàng của hệ thống UBV được điều chỉnh để cho ra một chỉ số màu zero đối với một ngôi sao với nhiệt độ bề mặt khoảng 10.000K.

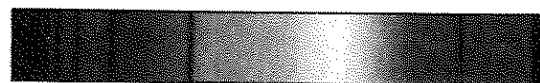
Các chỉ số màu B – V của các sao trong phạm vi từ – 0,4 dành cho xanh nhất tới hơn + 2,0 dành cho đỏ nhất. Phạm vi tương ứng về nhiệt độ bề mặt là từ khoảng 50.000 K tới 2000 K. Nhiệt độ bề mặt của Mặt Trời chúng ta là khoảng

6000 K; màu sắc ưu thế của nó là hơi vàng xanh nhạt; và chỉ số màu của nó là khoảng 0,62. Nó trông vàng nhiều hơn từ bề mặt Trái Đất bởi vì các phân tử không khí của hành tinh chúng ta tán xạ một số ánh sáng xanh ra khỏi các chùm ánh sáng mặt trời đi tới chúng ta, để lại phía sau nhiều ánh sáng vàng hơn.

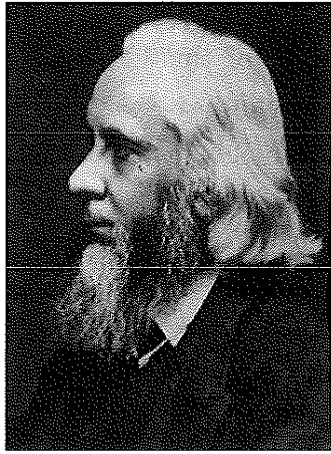
8.3 PHỔ CỦA SAO

Việc đo đặc màu sắc chỉ là một phương cách phân tích ánh sáng sao. Chúng ta có thể sử dụng máy ghi phổ (spectrograph) để trải ánh sáng ra thành một quang phổ (xem Chương 4 và 5). Bằng cách xem xét quang phổ ấy, các nhà thiên văn học có thể xác định các nguyên tố nào cấu tạo thành các sao. Đầu năm 1823, nhà vật lý học Đức Joseph Fraunhofer quan sát thấy rằng các phổ của các ngôi sao có các vạch tối đi ngang qua một dãy liên tục của các màu. Năm 1864, nhà thiên văn học Anh Sir William Huggins, đã thành công trong việc xác định được một số vạch trong các phổ sao giống như các vạch của các nguyên tố được biết trên Trái Đất, chứng tỏ rằng cũng cùng những nguyên tố hoá học được phát hiện trong Mặt Trời và các hành tinh đang tồn tại trong các ngôi sao.

Kể từ đó trở đi, các nhà thiên văn học đã nỗ lực để hoàn thiện những kỹ thuật thu thập và đo đạc các quang phổ, và đã phát triển một lý thuyết về những gì chúng ta có thể hiểu biết được từ các



Một quang phổ: Một sự mô phỏng của máy điện toán của một quang phổ sao (đối với một sao loại A), mô tả các vạch hấp thụ tối.



William Huggins (1824–1910): Huggins là người đầu tiên xác định các vạch trong quang phổ của một ngôi sao không phải là Mặt Trời; ông cũng đầu tiên chụp ảnh phổ, hay ảnh của một quang phổ sao.

quang phổ. Ngày nay, phân tích quang phổ là một trong những nền tảng của việc nghiên cứu thiên văn.

✧ SỰ HÌNH THÀNH CÁC QUANG PHỔ SAO

Khi quang phổ của các sao khác nhau ban đầu được quan sát, các nhà thiên văn học nhận thấy rằng chúng không hoàn toàn giống nhau. Bởi vì các vạch tối được tạo ra do các nguyên tố hoá học hiện diện trong các sao, trước tiên các nhà thiên văn học nghĩ rằng các quang phổ khác nhau do các ngôi sao không được cấu tạo bởi những nguyên tố hoá học giống nhau. Giả thuyết này hoá ra là sai lầm. *Lý do đầu tiên rằng các quang phổ sao trông khác nhau là do các sao có nhiệt độ khác nhau.* Hầu hết các sao gần như có cùng thành phần cấu tạo như Mặt Trời, chỉ với một vài ngoại lệ.

Hydro, thí dụ, từ lâu là nguyên tố dồi dào nhất trong tất cả các sao (ngoại trừ, như chúng ta sẽ thấy trong các chương sau, với các giai đoạn cao cấp của sự tiến hóa). Tuy nhiên, các vạch của hydro không được nhìn thấy trong các phổ của

một số loại sao. Trong khí quyển của các sao nóng nhất, các nguyên tử hydro bị ion hoá hoàn toàn. Bởi vì electron và proton bị tách ra, hydro ion hoá không thể tạo ra các vạch hấp thụ. (Hãy nhớ lại từ Chương 4 rằng các vạch là kết quả của các electron trong quỹ đạo chung quanh nhân thay đổi các mức năng lượng).

Trong khí quyển của các sao lạnh nhất, các nguyên tử hydro làm cho các electron gắn kết và có thể thay đổi các mức năng lượng để tạo ra các vạch. Tuy nhiên, thực tế tất cả các nguyên tử hydro ở trong trạng thái năng lượng thấp nhất (không bị kích thích) trong các sao này và do vậy chỉ có thể hấp thụ các photon nào có thể nâng một electron từ mức năng lượng đầu tiên ấy tới mức năng lượng cao hơn. Các photon được hấp thụ theo cách này tạo ra một loạt các vạch hấp thụ nằm trong phần cực tím của quang phổ và do đó không thể được nghiên cứu từ bề mặt Trái Đất. Điều này muốn nói là nếu bạn quan sát quang phổ của sao rất nóng hay rất lạnh với một kính viễn vọng trên mặt đất, nguyên tố phổ biến nhất trong sao đó sẽ không thể hiện bất cứ vạch nào.

Các vạch hydro trong phần thấy được của quang phổ (các vạch Balmer; xem Chương 4) là mạnh nhất trong các sao với nhiệt độ trung bình – không quá nóng và cũng không quá lạnh. Các tính toán chứng tỏ rằng nhiệt độ tốt nhất để tạo ra các vạch hydro thấy được là khoảng 10.000 K. Với nhiệt độ này, một số nguyên tử hydro đáng kể bị kích thích tới mức năng lượng thứ hai. Sau đó chúng có thể hấp thụ các photon bổ sung, vọt lên tới những mức còn cao hơn của sự kích thích, và tạo ra một vạch hấp thụ tối. Các vạch hydro ít rõ ràng hơn trong

các phổ của các sao nóng hơn và lạnh hơn, cho dù hydro đều dồi dào trong tất cả các sao. Tương tự, mỗi nguyên tố hoá học khác nhau, trong mỗi giai đoạn ion hoá có thể xảy ra của nó, có một nhiệt độ đặc trưng qua đó nó trở thành hiệu quả nhất trong việc tạo ra các vạch hấp thụ trong bất cứ phần riêng biệt nào của quang phổ.

♦ SỰ PHÂN LOẠI CÁC PHỔ SAO

Bởi vì nhiệt độ của một ngôi sao xác định các vạch hấp thụ nào có mặt trong quang phổ của nó, chúng ta có thể sử dụng quang phổ để đo đặc nhiệt độ bề mặt sao. Các nhà thiên văn học đã xác định bảy mẫu vạch chính do nhiệt độ cấu tạo; chúng được gọi là các **cấp phổ** (spectral classes). Từ nóng nhất tới lạnh nhất, bảy cấp phổ chính là O, B, A, F, G, K, và M.

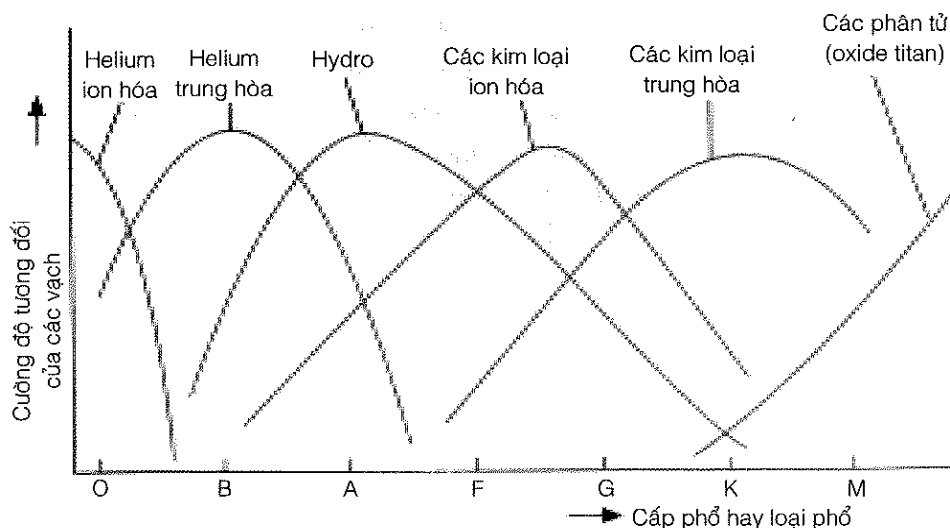
Bạn có thể tự hỏi tại sao các nhà thiên văn học không gọi các loại phổ A, B, C, và vân vân. Đó là một câu chuyện

dài trong đó truyền thống chiến thắng nhận thức thông thường.

Mỗi cấp phổ này được chia nhỏ hơn nữa thành 10 phân cấp được chỉ định bằng các con số.

Một ngôi sao B0 là loại sao B nóng nhất; một sao B9 là loại sao B lạnh nhất và chỉ hơi nóng hơn một sao A0. Bởi những nguyên do lịch sử, các nhà thiên văn học gọi tất cả các nguyên tố nặng hơn helium là “kim loại”, mặc dù hầu hết các nguyên tố này không chứng tỏ các đặc tính kim loại.

Trong các sao O nóng nhất (các sao với nhiệt độ trên 28.000 K), chỉ có những vạch của helium ion hoá và các nguyên tử ion hoá cao của các nguyên tố khác mới rõ rệt. Các vạch hydro là mạnh nhất trong các sao A với nhiệt độ khí quyển khoảng 10.000 K. Các kim loại ion hoá cung cấp các vạch rõ ràng nhất trong các sao với nhiệt độ từ 6000 tới 7500 K (loại phổ F). Trong các sao M lạnh nhất (dưới 3500 K), các dải hấp thụ của oxide titan



Các vạch hấp thụ trong các sao với nhiệt độ khác nhau: Một sơ đồ mô tả cường độ của các vạch hấp thụ của các nguyên tố khác nhau khi chúng ta di chuyển từ các sao nóng (trái) tới các sao lạnh (phải) dọc theo chuỗi của các loại phổ.

Cấp phổ sao				
CẤP PHỔ	MAU	NHIỆT ĐỘ TƯƠNG ĐƯƠNG (K)	ĐẶC ĐIỂM CHỦ YẾU	THÍ DỤ
O	Tím	>28.000	Vài vạch hấp thụ vừa phải. Các vạch của nitro ion hoá gấp đôi, silicon ion hoá gấp ba, và các vạch của các nguyên tử ion hoá cao khác.	10 Lacertae
B	Xanh lam	10.000 – 28.000	Các vạch của helium trung hòa, silicon ion hoá đơn và đôi, oxy và magnesium ion hoá đơn. Các vạch hydro rõ rệt hơn trong các sao loại O.	Rigel Spica
A	Xanh lam	7500 – 10.000	Các vạch mạnh của hydro. Các vạch của magnesium, silicon, sắt, titan, can-xi và các chất ion hoá đơn khác. Các vạch của một số kim loại trung hòa thể hiện yếu ớt.	Sirius Vega
F	Xanh tới trắng	6000 – 7500	Các vạch hydro yếu hơn trong các sao loại A, nhưng vẫn còn rõ. Các vạch của canxi, sắt và crom ion hoá đơn, thêm vào những vạch của sắt và crom trung hòa, có mặt, cũng như các vạch của kim loại trung hòa khác.	Canopus Procyon
G	Trắng tới vàng	5000 – 6000	Các vạch của canxi ion hoá không phải là các đặc điểm phổ rõ nhất. Nhiều vạch của kim loại ion hoá và trung hòa có mặt. Các vạch hydro yếu hơn trong các sao loại F. Các dãy của phân tử CH mạnh.	Mặt trời Capella
K	Cam tới đỏ	3500 – 5000	Các vạch của kim loại trung hòa chiếm ưu thế. Dãy CH vẫn có mặt.	Arcturus Aldebaran
M	Đỏ	< 3500	Các vạch mạnh của kim loại trung hòa và các dãy phân tử của oxide titan chiếm đa số.	Betelgeuse Antares

và các phân tử khác là rất mạnh. Chuỗi các cấp phổ được tóm lược trong bảng. Lớp phổ được quy cho Mặt Trời là G2.

Để xem sự phân loại quang phổ tác dụng ra sao, chúng ta xem hình trên. Giả sử bạn có một quang phổ trong đó các vạch hydro mạnh khoảng bằng phân nửa các vạch được nhìn thấy trong một sao A. Nhìn vào các vạch đỏ trong hình, bạn thấy rằng ngôi sao có thể hoặc là một sao B hay một sao G. Nhưng nếu quang phổ cũng chứa các vạch helium, thế thì nó là một sao B, ngược lại nếu nó chứa các vạch của sắt ion hoá hay các kim loại khác, nó phải là một sao G.

Phần lớn công trình tiên phong trong việc phân loại quang phổ sao được tiến

hành vào các thập niên đầu của thế kỷ XX. Cơ sở của những cuộc nghiên cứu này là một tập hợp đồ sộ của gần một triệu quang phổ sao được chụp ảnh, có được từ các cuộc quan sát qua nhiều năm được thực hiện tại Đài thiên văn Đại học Harvard (Harvard College Observatory), cũng như tại các trạm quan sát xa xôi hẻo lánh ở Nam Mỹ và Nam Phi.

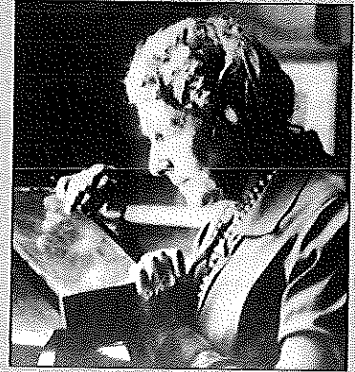
Làm việc với cơ sở dữ liệu này, riêng Annie Cannon đã đo đạc được quang phổ của chừng 400.000 ngôi sao và phân bổ chúng vào các cấp phổ. Vào thời đó, không ai biết rằng nhiệt độ là yếu tố đầu tiên trong việc xác định hình dạng của một quang phổ sao, và do đó các nhân viên của Harvard ban đầu đơn thuần đặt

Annie Jump Cannon sinh ra tại Delaware năm 1863. Năm 1880, bà nhập học trường Wellesley College, một trong các trường đại học Hoa Kỳ mới mở cho nữ giới. Năm 1893, bà quay về Wellesley với tư cách trợ giảng, và cũng tham gia các khóa học ở Radcliffe, trường đại học của phụ nữ liên kết với Đại Học Harvard.

Đây là thời kỳ giám đốc của Đài thiên văn Harvard, Edward C. Pickering, cần nhiều sự trợ giúp với chương trình đầy tham vọng về việc phân loại các quang phổ sao. Pickering nhanh chóng phát hiện ra rằng người phụ nữ trẻ có học thức ấy có thể làm phụ tá với số lương bằng một phần ba hay một phần tư số lương trả cho nam giới, và sẽ chịu đựng các điều kiện làm việc mà nam giới cùng trình độ học vấn sẽ không chấp nhận.

Cannon muốn nghiên cứu thiên văn học, và bà nhanh chóng được Pickering thuê để phụ giúp về việc phân loại quang phổ. Sau một thời gian, bà trở nên rất giỏi về công việc đó và có thể xem xét bằng mắt thường và xác định các loại phổ của vài trăm sao trong một giờ (đọc các kết luận cho một trợ lý). Bà thực hiện nhiều khám phá trong lúc nghiên cứu các tấm phim chụp, kể cả 300 sao biến quang (các sao có độ trưng thay đổi). Nhưng di sản chính của bà là một bảng mục lục tuyệt vời về các loại phổ của hàng trăm ngàn ngôi sao, được sử dụng như một nền tảng quan trọng của thiên văn học thế kỷ XX.

Năm 1911, một ủy ban thanh tra của các nhà thiên văn học báo cáo rằng "Bà là người hiếm



Annie Jump Cannon (1863–1941)

hoi trên thế giới có thể thực hiện công việc này một cách mau chóng và chính xác," và thúc giục Đại học Harvard bổ nhiệm Cannon vào một chức vụ chính thức tương xứng với tài năng và danh tiếng của bà. Tuy nhiên, mãi tới năm 1938, Harvard mới bổ nhiệm bà là nhà thiên văn học tại trường đại học; lúc đó bà đã 75 tuổi.

Cannon nhận được học vị danh dự đầu tiên của đại học Oxford tặng thưởng cho một phụ nữ, và bà là người phụ nữ đầu tiên được bầu làm một viên chức của American Astronomical Society (Hội Thiên văn học Hoa Kỳ). Bà hào phóng hiến tặng tiền từ một trong các giải thưởng quan trọng bà đã đạt được để thành lập một phần thưởng dành cho phụ nữ về thiên văn học, ngày nay được biết dưới cái tên Annie Jump Cannon Prize. Như thường lệ, bà tiếp tục phân loại quang phổ sao cho tới giờ phút cuối của cuộc đời mình năm 1941.

tên cho các cấp phổ bằng các chữ cái theo sự phức tạp của quang phổ, với loại A là đơn giản nhất. Chính Annie Cannon là người trước tiên thoáng thấy một hệ thống phân loại tốt hơn, và bà đã tập trung vào chỉ một vài chữ từ hệ thống đầu tiên. Giờ đây chúng ta hiểu được rằng các cấp phổ tùy thuộc vào nhiệt độ của các ngôi sao, chúng ta liệt kê các

loại sao không theo thứ tự của việc bao nhiêu vạch được nhìn thấy, mà đúng hơn là từ các sao nóng nhất đến các sao lạnh nhất: O, B, A, F, G, K, và M.

✧ CẤP PHỔ L LÀ GÌ?

Gần đây một số nhà thiên văn học thực hiện những cuộc thăm dò tia hồng

ngoại nhảy cảm của bầu trời đã gợi ý rằng chúng ta cần bổ sung cấp phổ mới L dành cho các sao thậm chí lạnh hơn các sao loại M.

Các vật thể L này đã được khám phá chỉ mới đây bởi vì chúng hết sức mờ yếu trong ánh sáng thường (ánh sáng nhìn thấy được). Nhiệt độ của chúng ít hơn 2000 K (đó là lý do tại sao chúng ta chỉ phát hiện ra chúng khi sử dụng các kính viễn vọng hồng ngoại thật nhạy), và khối lượng của chúng thì chưa bằng một trăm Sao Mộc. Thực vậy, các vật thể này có khối lượng nhỏ đến mức nhiều vật thể không phải là ngôi sao gì cả và sẽ không bao giờ trở nên đủ nóng ở bên trong để tổng hợp hydro thành helium. Tên riêng dành cho các “sao lờ mờ” này là *các chú lùn nâu* (brown dwarfs). Liệu một nhóm sao hiếm khi thành công và thường thất bại như thế lại xứng đáng có một cấp phổ riêng? Các nhà thiên văn học đề nghị loại “sao” mới này nói rằng chúng đáng được như thế, bởi vì các sao L có các quang phổ khác biệt đáng kể với các loại sao khác. Tuy nhiên, chỉ có thời gian mới cho biết liệu ý tưởng về cấp phổ L được mọi người chấp nhận hay không.

Dù chúng ta gọi chúng là gì đi nữa, các cuộc khảo sát chứng tỏ rằng các vật thể khối lượng nhỏ, mờ yếu này dường như rất phổ biến trong khu vực vũ trụ sát bên chúng ta. Bởi vì chúng ta không có lý do để nghi ngờ rằng người bạn láng giềng của chúng ta là tiêu biểu, điều này có nghĩa là các loại sao L có thể nằm trong số những sao đông đảo nhất trong Dải Ngân Hà.

♦ CÁC HIỆU ỨNG VỀ KÍCH THƯỚC CỦA SAO

Như chúng ta sẽ xem trong chương kế tiếp, các sao hoá ra có đủ loại kích thước.

Vào một số thời kỳ nào đó trong đời sống của chúng, các sao có thể nở rộng ra tới các kích thước khổng lồ. Các sao với các kích thước quá cỡ như thế được gọi là các *sao khổng lồ* (giants). May mắn thay cho nhà thiên văn học, các phổ sao có thể được dùng để phân biệt các sao khổng lồ với các sao tầm thường (chẳng hạn như Mặt Trời của chúng ta).

Giả sử bạn muốn xác định liệu một sao nào đó có phải là một sao khổng lồ hay không. Qua định nghĩa, một sao khổng lồ có một quang quyển vươn rộng ra. Bởi vì nó lớn như thế, các nguyên tử của nó trải ra một thể tích rộng, mật độ của các nguyên tử thấp, và do đó áp suất cũng thấp. So sánh với những gì xảy ra trong Mặt Trời với một quang quyển tương đối đậm đặc, các nguyên tử và electron ion hoá trong quang quyển của sao khổng lồ sẽ đi qua đủ gần để tương tác và tái kết hợp lẫn nhau sẽ rất ít khả năng xảy ra. Để thấy tại sao như thế, hãy nghĩ đến sự lưu thông xe cộ. Các vụ va đụng có khả năng xảy ra nhiều hơn trong giờ cao điểm, khi mật độ xe cộ tăng lên.

Các chất khí mật độ thấp, do đó, duy trì mức độ ion hoá trung bình cao hơn các chất khí mật độ cao trong cùng một nhiệt độ. Sự chênh lệch là đủ lớn để ảnh hưởng tới cường độ của các vạch phổ, và vì lý do này việc nghiên cứu cẩn thận các quang phổ có thể chỉ cho biết sao nào trong hai sao với cùng một nhiệt độ có áp suất cao hơn (và do đó bị nén nhiều hơn), và sao nào có áp suất thấp hơn (và do đó phải bị nở rộng).

♦ SỰ DỜI DÀO CÁC NGUYÊN TỐ

Các vạch tối của đa số các nguyên tố hoá học phổ biến hiện nay đã được xác

định trong quang phổ Mặt Trời và các vì sao. Thí dụ, nếu chúng ta nhìn thấy một vạch phổ của sắt, thì ngay lập tức chúng ta biết rằng ngôi sao đã tạo ra quang phổ này bắt buộc phải chứa sắt.

Phải mất nhiều năm làm việc cẩn thận trong phòng thí nghiệm trên Trái Đất để xác định các bước sóng chính xác, tại đó các chất khí nóng của mỗi nguyên tố có được các vạch phổ của chúng. Thứ nhì, các phổ sao thường có nhiều vạch từ một số nguyên tố, và chúng ta phải cẩn thận phân loại chúng chính xác. Đôi khi, các vạch của các nguyên tố khác nhau có các bước sóng giống hệt nhau, làm tăng thêm sự nhầm lẫn. Và thứ ba, như chúng ta đã xem trong Chương 4, sự chuyển động của một ngôi sao làm thay đổi vị trí của từng vạch và các bước sóng được quan sát có thể không xứng hợp với các phép đo chính xác trong phòng thí nghiệm. Do vậy, trong thực tiễn, việc phân tích các phổ sao là một việc vất vả, đòi hỏi cả sự rèn luyện và kỹ năng.

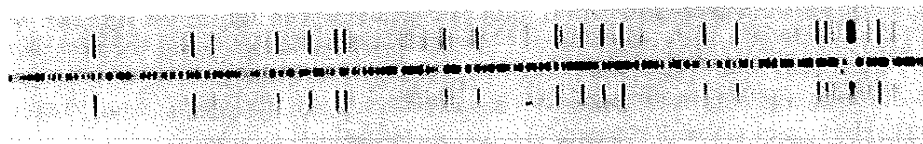
Lưu ý rằng *sự thiếu hay không có* (absence) các vạch phổ của một nguyên tố không nhất thiết có nghĩa là nguyên tố ấy không có mặt. Như chúng ta đã thấy, nhiệt độ và áp suất trong khí quyển của một ngôi sao sẽ xác định loại nguyên tử nào có thể tạo ra các vạch hấp thụ.

Chỉ khi các điều kiện vật lý trong quang quyển của một ngôi sao đến mức

những vạch của một nguyên tố sẽ (theo tính toán) được nhìn thấy, thì chúng ta có thể kết luận rằng sự vắng mặt của các vạch phổ có thể quan sát được hàm ý sự kém dồi dào của nguyên tố ấy.

Giả sử hai ngôi sao có nhiệt độ và áp suất như nhau nhưng, thí dụ, các vạch của sắt mạnh hơn trong sao này so với sao kia. Vạch mạnh hơn có nghĩa là có nhiều nguyên tử hơn trong ánh sáng hấp thụ của quang quyển sao. Vì thế, chúng ta biết rằng ngôi sao với các vạch sắt mạnh hơn chứa nhiều sắt hơn. Các phép tính cần thiết để xác định chính xác nhiều hơn bao nhiêu, có thể được thực hiện đối với bất cứ nguyên tố nào được quan sát trong bất kỳ ngôi sao nào với bất kỳ nhiệt độ và áp suất nào. Sự phân tích tỉ mỉ đã chứng minh rằng sự dồi dào tương đối của các nguyên tố hoá học khác nhau trong Mặt Trời và trong hầu hết các sao là xấp xỉ như nhau.

Nghiên cứu về các phổ sao đã chứng tỏ rằng hydro cấu tạo khoảng ba phần tư khối lượng của hầu hết các sao. Hydro và helium cùng cấu tạo từ 96 tới 99% khối lượng; trong một số sao chúng lên tới hơn 99,9%. Trong số 4% hay ít hơn của các “nguyên tố nặng”, thì neon, oxy, nitro, carbon, magnesium, argon, silicon, sulfur (lưu huỳnh), sắt, và clor nằm trong số dồi dào nhất. Nói chung, nhưng không phải là không biến đổi, các nguyên tố có



Một quang phổ phức tạp: Quang phổ của một sao biến quang, thể hiện một số lớn các vạch hấp thụ. Quang phổ của sao là một dãy tối bị cắt ngang bởi các vạch trắng ở trung tâm; bên trên và bên dưới nó là một số vạch so sánh (trong trường hợp này đối với hồ quang sắt gần bên kính viễn vọng) giúp các nhà thiên văn học đo lường được tại bước sóng nào mỗi vạch của quang phổ của ngôi sao rơi vào.

trọng lượng nguyên tử thấp hơn thì dồi dào hơn các nguyên tố có trọng lượng nguyên tử cao hơn.

Hãy nhìn vào danh sách các nguyên tố này. Hai trong số các nguyên tố dồi dào nhất là hydro và oxy (thành phần của nước); hãy thêm vào carbon và nitro. Chúng ta được tạo ra từ các nguyên tố phổ biến trong vũ trụ – chỉ trộn lẫn với nhau theo một hình thức phức tạp tinh vi hơn nhiều (và trong một môi trường lạnh hơn nhiều) so với một ngôi sao.

Phụ Lục 11 liệt kê mỗi nguyên tố phổ biến tới mức nào trong vũ trụ (so sánh với hydro); những ước tính này trước tiên được dựa vào sự nghiên cứu về Mặt Trời, là một ngôi sao tiêu biểu. Tuy nhiên, một số nguyên tố rất hiếm đã không được phát hiện trong Mặt Trời. Các ước tính về số lượng của các nguyên tố này trong vũ trụ được căn cứ vào các phép đo của phòng thí nghiệm về sự dồi dào của chúng trong các thiên thạch, được coi là đại diện của vật liệu không biến đổi kết tụ từ đám mây khí nguyên thủy.

✧ VẬN TỐC XUYỀN TÂM

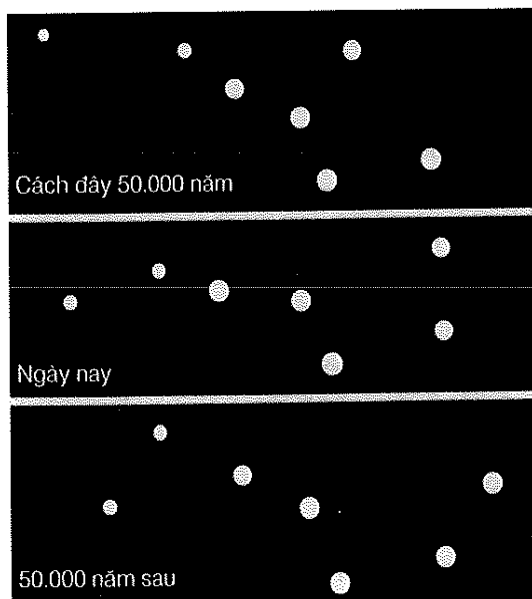
Khi đo đặc quang phổ của sao, chúng ta xác định các bước sóng (wavelength) của mỗi vạch. Nếu sao không đang di chuyển đối với Mặt Trời, thì các bước sóng tương ứng với mỗi nguyên tố sẽ giống với những bước sóng chúng ta đo được trong phòng thí nghiệm trên Trái Đất. Nhưng nếu các sao đang di chuyển về phía chúng ta hay cách xa ra chúng ta, chúng ta phải xem xét *hiệu ứng Doppler* (xem Mục 4.6). Chúng ta sẽ thấy các vạch phổ của các sao đang di chuyển sẽ dịch chuyển về phía đầu đỏ của quang phổ, nếu các sao đang di chuyển xa ra chúng ta, hay về phía đầu xanh (tím) nếu chúng

đang di chuyển về phía chúng ta. Sự chuyển động như thế, dọc theo một đường tưởng tượng nối liền ngôi sao và quan sát viên, được gọi là *vận tốc xuyên tâm* (radial velocity) và thông thường được đo bằng kilômét trong một giây (km/s).

Tuy nhiên, William Huggins lại đi tiên phong một lần nữa, tiến hành việc xác định vận tốc xuyên tâm của một ngôi sao vào năm 1868. Ông quan sát sự dịch chuyển Doppler trong một trong số các vạch hydro trong quang phổ của Sirius và nhận thấy rằng ngôi sao này đang tiến gần tới hệ mặt trời. Ngày nay, vận tốc xuyên tâm có thể đo được đối với bất kỳ sao nào đủ sáng để cho quang phổ của nó quan sát được. Như chúng ta sẽ xem trong chương kế tiếp, phép đo vận tốc xuyên tâm của các sao đôi là bài toán chủ yếu trong việc tìm ra khối lượng các sao.

✧ CHUYỂN ĐỘNG RIÊNG CỦA SAO

Chúng ta sẽ lưu ý rằng có một loại chuyển động khác nữa không thể bị phát hiện với các phổ sao. Các sao có thể di chuyển ngang qua bầu trời (thẳng góc với đường ngắm của chúng ta), cũng như về phía chúng ta hay rời xa chúng ta. Chuyển động ngang qua bầu trời được nói đến như *sự chuyển động riêng* (proper motion). Nếu các sao có một số chuyển động trong hướng thẳng góc này, chúng ta nhìn thấy nó như một sự thay đổi trong các vị trí tương đối của các sao trên “mái vòm” của bầu trời (hay vòm trời). Những sự thay đổi này rất chậm chạp. Ngay cả ngôi sao với chuyển động riêng lớn nhất cũng phải mất 200 năm để thay đổi vị trí của nó trên bầu trời có mức độ tương đương với bề rộng của trăng tròn, và các chuyển động các sao khác còn nhỏ hơn nữa.



Các sự thay đổi trong chòm Gấu Lớn: Sự thay đổi về hình dạng của chòm Gấu Lớn do sự chuyển động riêng của các sao trải qua 100.000 năm.

Vì lý do này, chúng ta không nhận thấy bất kỳ sự thay đổi nào trong các vị trí của các sao sáng trong quá trình sống của một đời người. Tuy nhiên, nếu chúng ta có thể sống đủ lâu, thì sự thay đổi sẽ trở nên rõ ràng. Thí dụ, khoảng 50.000 năm nữa hay gần như thế kể từ bây giờ, các quan sát viên trên Trái Đất (nếu con người không tự hủy diệt mình vào lúc đó) sẽ phát hiện ra cái cán của chòm sao Gấu Lớn hay Đại Hùng Tinh (Big Dipper) cong đi hơn bây giờ một cách hiển nhiên.

Chúng ta đo đạc sự chuyển động riêng trong phạm vi ngôi sao di chuyển bao xa trong bầu trời theo số arcseconds trong một năm. Điều đó có nghĩa là, phép đo về chuyển động riêng chỉ nói cho chúng ta biết ngôi sao đã thay đổi vị trí của nó một góc bao nhiêu trên bầu trời. Để biến đổi sự chuyển động góc này thành một vận tốc, chúng ta cần biết ngôi sao đi xa ra bao nhiêu. Nếu hai sao với các khoảng cách khác nhau đang di chuyển với cùng

một vận tốc thẳng góc với đường ngắm của chúng ta, sao gần hơn sẽ hình như di chuyển xa hơn qua bầu trời trong thời gian một năm. Tương tự, hãy hình dung bạn đang đứng ở bên lề của một xa lộ. Những chiếc xe hơi có vẻ như lướt nhanh qua bạn. Nếu bạn sau đó theo dõi sự lưu thông từ một vị trí thuận lợi cách xa nửa dặm, chúng sẽ di chuyển một cách chậm chạp hơn nhiều.

Để biết vận tốc thực của một ngôi sao – nghĩa là vận tốc toàn phần của nó và chiều hướng nó di chuyển qua không gian – chúng ta phải biết vận tốc góc, chuyển động riêng và khoảng cách của nó.

Sự chuyển động của các sao cũng làm cho khoảng cách của chúng đối với chúng ta thay đổi. Một lần nữa, những thay đổi xảy ra chậm chạp nhưng qua vài trăm ngàn năm có thể đủ lớn để tạo ra những thay đổi đáng kể về độ sáng đối với các sao lân cận. Thí dụ, cách đây 300.000 năm, Aldebaran, ngôi sao sáng trong chòm Kim Ngưu (Taurus), là sao sáng nhất trên bầu trời. Sirius hiện nay là sao sáng nhất, nhưng 300.000 năm tới kể từ nay, nó sẽ di chuyển ra xa và hơi mờ đi, và Vega (Chức Nữ), sao xanh sáng trong chòm Thiên Cầm (Lyra) sẽ kế tục vị trí danh dự là sao sáng nhất trên bầu trời của Trái Đất.

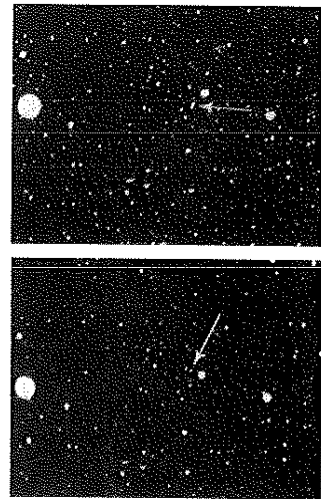
♦ SỰ XOAY TRÒN

Chúng ta cũng có thể sử dụng hiệu ứng Doppler để đo đạc một ngôi sao xoay nhanh đến mức nào. Nếu một vật thể đang xoay tròn, (trừ phi trục xoay của nó bất ngờ hướng về phía chúng ta) một trong các mặt của nó đang tiến gần chúng ta trong lúc mặt còn lại đang lùi xa.

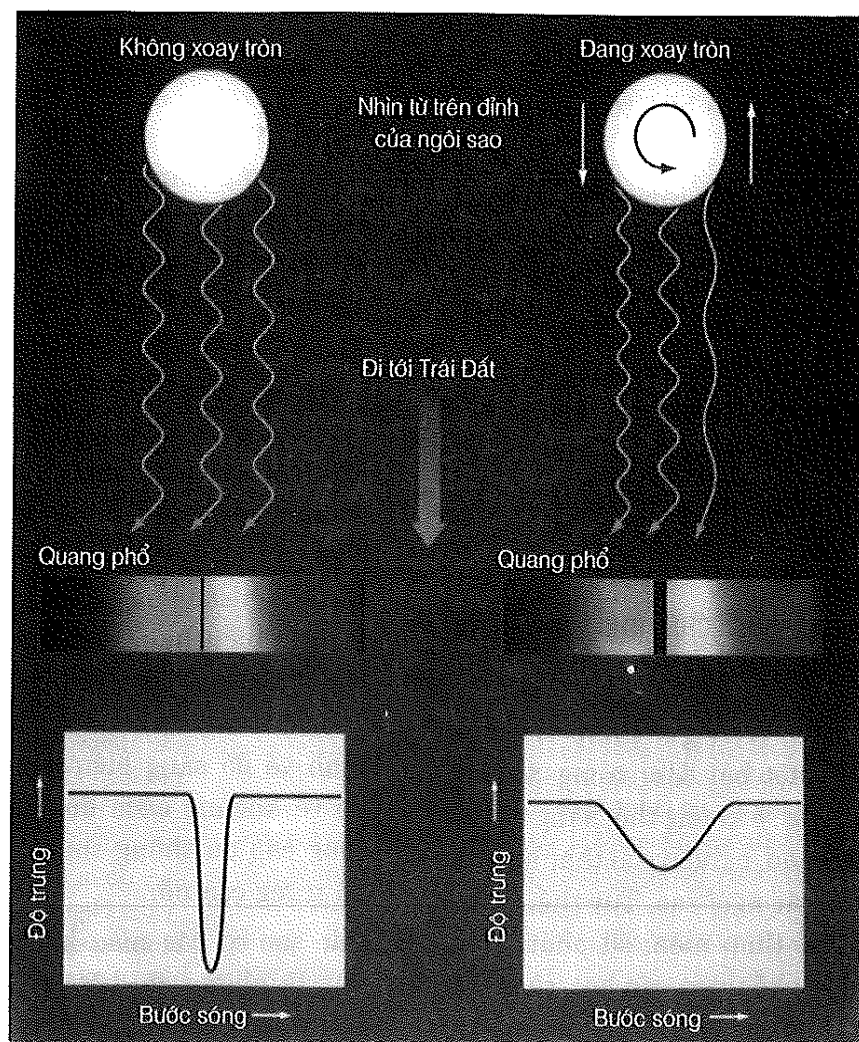
Đây rõ ràng là trường hợp của Mặt Trời hay một hành tinh; chúng ta có thể

quan sát ánh sáng từ rìa hay mép đang tới gần hay đang lùi xa của các vật thể lân cận này, và đo đặc trực tiếp các sự dịch chuyển Doppler phát sinh từ sự xoay tròn.

Tuy nhiên, các sao nằm cách xa đến nỗi chúng có vẻ như những điểm không phân giải được. Điều tốt nhất chúng ta có thể làm là phân tích ánh sáng từ toàn bộ ngôi sao trong một lần. Dấu cho chúng ta không thể phân biệt chúng bằng mắt thường hay các ảnh chụp, các vạch trong ánh sáng xuất phát từ bên phía của ngôi sao xoay về phía chúng ta bị dịch chuyển tới các bước sóng ngắn hơn và các vạch



Sự chuyển động riêng lớn: Hai hình ảnh của ngôi sao Barnard, với sự chuyển động riêng lớn nhất được biết, mô tả sao mờ này đã di chuyển ra sao qua một giai đoạn 22 năm.



Sử dụng một quang phổ để xác định sự xoay tròn của sao: Sự xoay tròn của một ngôi sao làm rộng ra các vạch phổ của nó.

trong ánh sáng từ rìa đối diện của ngôi sao bị dịch chuyển tới các bước sóng dài hơn. Bạn có thể nghĩ về mỗi vạch phổ mà chúng ta quan sát như một tổng số hay một phức hợp của các vạch phổ bắt nguồn từ các phần khác nhau của đĩa sao, tất cả đang chuyển động với các tốc độ khác nhau so với chúng ta. Mỗi điểm có sự dịch chuyển Doppler riêng, do đó vạch hấp thụ mà chúng ta nhìn thấy từ toàn bộ ngôi sao thực sự rộng hơn nhiều trong quang phổ so với hình ảnh nhìn thấy nếu ngôi sao không đang xoay tròn. Nếu một ngôi sao đang xoay nhanh, tất cả các vạch phổ của nó sẽ khá rộng. Thực vậy, các nhà thiên văn học gọi hiệu ứng này là *sự mở rộng vạch* (line broadening), và mức độ mở rộng có thể nói cho chúng ta biết tốc độ qua đó ngôi sao xoay tròn.

Các phép đo về độ rộng của các vạch phổ chứng tỏ rằng nhiều sao nóng hơn Mặt Trời xoay tròn trong các giai đoạn chỉ một hay hai ngày. Mặt Trời với chu kỳ quay khoảng một tháng, xoay tròn chậm hơn. Sự xoay tròn của hầu hết các sao lạnh hơn Mặt Trời còn thấp hơn, và thường không thể đo được bằng các kỹ thuật hiện thời của chúng ta.

✧ QUANG PHỔ HỌC: CHÌA KHÓA MỞ CÁNH CỬA VŨ TRỤ

Năm 1835, triết gia Pháp Auguste Comte viết một bài báo, trong đó ông quả quyết rằng sẽ không thể, bằng bất cứ phương tiện nào, nghiên cứu thành phần hoá học của các ngôi sao. Tuy thế, trong vòng một vài thập niên, sự phát triển ngành quang phổ thiên văn học, cùng với sự trưởng thành nhanh chóng những tri thức về các phương cách mà nguyên tử hấp thụ và phát bức xạ, đã cung cấp các

công cụ để hoàn thành nhiệm vụ “bất khả thi” này.

Phân tích phổ là một kỹ thuật cực kỳ mạnh mẽ cho phép nhà thiên văn học am hiểu về một ngôi sao: thành phần hoá học, cũng như nhiệt độ và áp suất trong khí quyển của nó. Từ áp suất, chúng ta nắm được manh mối về kích thước của nó. Chúng ta cũng có thể đo được vận tốc xuyên tâm và ước tính sự xoay tròn của nó. Phổ học giúp chúng ta hiểu về các thiên hà, là những vật thể xa xôi nhất mà chúng ta có thể quan sát được. Nếu không có phổ học, chúng ta sẽ không biết gì hơn về vũ trụ bên ngoài hệ mặt trời.

TÓM LƯỢC

8.1 Năng lượng toàn phần được một ngôi sao phát xạ trong một giây được gọi là **độ trưng** (luminosity) của nó. Một ngôi sao trông sáng ra sao đối với chúng ta được gọi là **độ sáng biểu kiến** (apparent brightness) của nó. Bởi các nguyên nhân lịch sử, độ sáng biểu kiến của các sao thường được diễn tả dưới dạng các **cấp sao** (magnitudes). Nếu một ngôi sao sáng hơn gấp năm cấp so với sao khác, nó phát xạ năng lượng nhiều hơn 100 lần. Độ sáng biểu kiến của một ngôi sao tùy thuộc vào độ trưng và khoảng cách, sự xác định về độ sáng biểu kiến và phép đo về khoảng cách đối với một sao cung cấp đủ thông tin để tính toán độ trưng của nó.

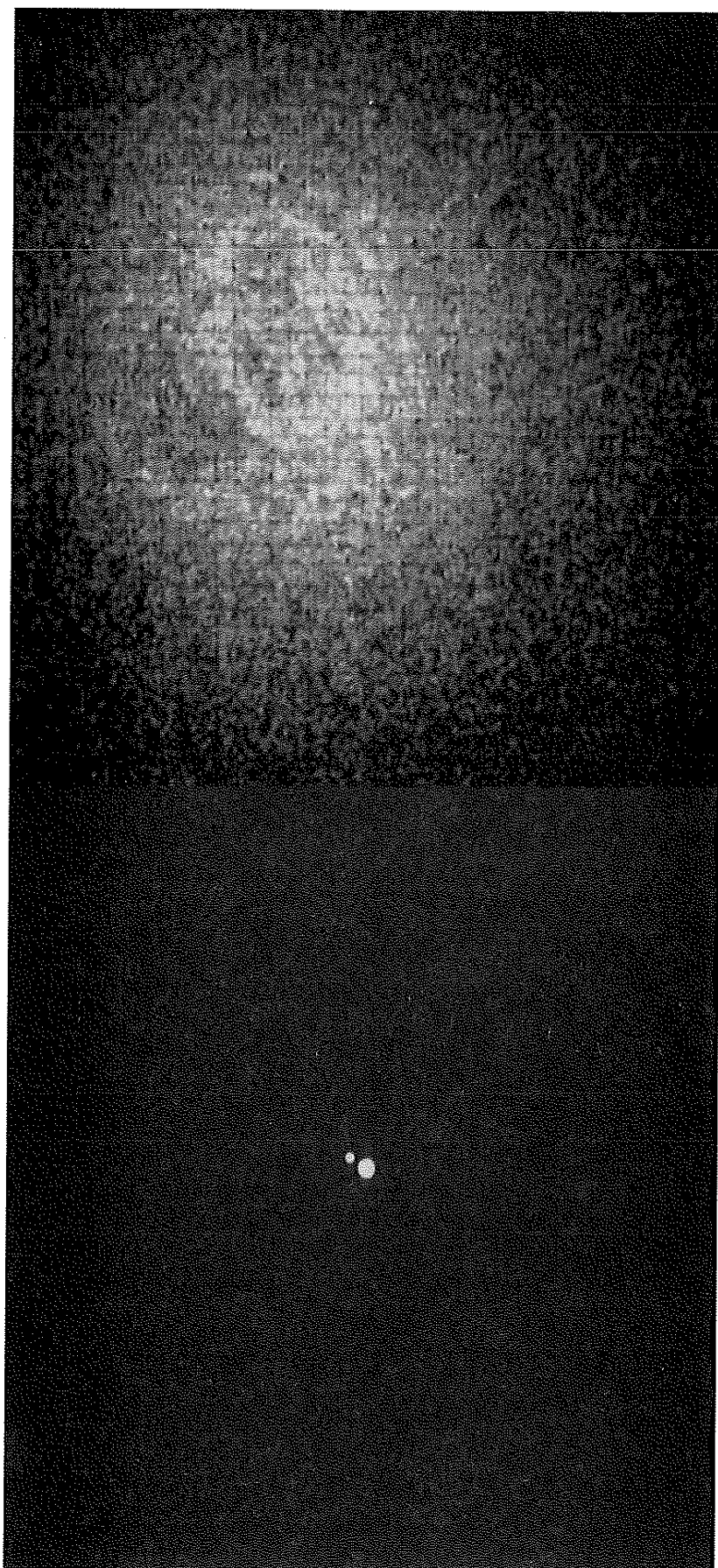
8.2 Các sao có các màu khác nhau, và đây là những chỉ báo của nhiệt độ. Chỉ số màu (color index) của một sao là sự chênh lệch về cấp sao đo được với hai bước sóng khác nhau. Sự sai

biệt giữa các cấp sao xanh và vàng, B – V, là một chỉ số màu thường được sử dụng; các sao đỏ hơn, lạnh hơn có các trị số dương hơn đối với B – V.

8.3 Những sự khác biệt trong các phổ sao chủ yếu là do những khác biệt về nhiệt độ, không phải về thành phần cấu tạo. Các phổ sao được mô tả dưới dạng bảy cấp phổ (spectral classes). Theo thứ tự của nhiệt độ giảm, các cấp phổ này là O, B, A, F, G, K và M. Một số nhà thiên văn học đã đề nghị thêm loại L, dành cho các sao mà quang phổ của chúng chứng tỏ rằng chúng rất lạnh, và rất thấp về khối lượng. Các phổ của các sao có cùng nhiệt độ nhưng áp suất khí quyển

khác nhau có những khác biệt nhỏ, do đó các phổ có thể được sử dụng để xác định liệu có phải là một sao có bán kính lớn và áp suất khí quyển thấp (một sao khổng lồ), hay bán kính lớn và áp suất khí quyển cao. Các phổ sao cũng có thể được dùng để xác định thành phần hoá học của sao; hydro và helium cấu tạo hầu hết khối lượng của tất cả các sao (giống như trong Mặt Trời). Các phép đo về sự dịch chuyển vạch phổ do hiệu ứng Doppler tạo ra biểu thị vận tốc xuyên tâm (radial velocity) của một ngôi sao. Sự mở rộng của các vạch phổ do hiệu ứng Doppler là thước đo tốc độ quay.





Việc xác định khối lượng sao tùy thuộc vào việc đo đạc các ảnh hưởng của lực hấp dẫn của một sao đối với một sao đồng hành. Với các thiết bị hiện đại và việc xử lý bằng computer, chúng ta có thể đo lường các hệ thống sao đôi trong đó các sao rất gần với nhau. Hình bên trên mô tả sự phơi sáng thời gian dài của sao đôi Sigma Herculis. Sự nhiễu loạn khí quyển tạo ra một hình ảnh mờ của cả hai sao có đường kính khoảng một cung 2 giây. Các kỹ thuật tân tiến có thể xóa đi sự lu mờ này và tiết lộ hai sao cách xa nhau khoảng chỉ là một cung 0,07 giây.

CHƯƠNG 9

CÁC NGÔI SAO: CUỘC ĐIỀU TRA DÂN SỐ BẦU TRỜI

“Các xung đột và rối ren, không bao giờ ngừng nghỉ – như lịch sử nhợt nhèo của trái đất nghèo nàn này – Tất cả điều đó có nghĩa gì nếu không phải chỉ là sự bối rối của bảy kiến trong tia sáng yếu ớt của hàng triệu triệu mặt trời?”.

Alfred Lord Tennyson trong bài thơ “Vastness” (1889)

Một cá nhân tiêu biểu có thể sống bảy thập niên hay hơn thế. Một ngôi sao tiêu biểu sống trong nhiều tỉ năm. Không một ai (và không một nền văn minh nào trên Trái Đất) đã từng theo dõi một ngôi sao qua tất cả các giai đoạn trong chu kỳ sự sống của nó. Thế thì chúng ta có thể bắt đầu như thế nào để hiểu được sự tiến hoá của một ngôi sao từ khi sinh ra cho tới khi chết đi?

Hãy tưởng tượng trong thoáng chốc rằng bạn là thuyền trưởng của một tàu không gian trang bị tối tân, được phái đi từ một nền văn minh bay vào quỹ đạo của một sao khác để nghiên cứu các

dạng sự sống ở một nơi nào đó. Bạn đã đi đến Trái Đất, và lịch trình của bạn chỉ cho phép phi hành đoàn của bạn có vồn vẹn một ngày trên Trái Đất để tìm hiểu trong tất cả những gì họ có thể, về chu kỳ sống của dạng sự sống thống trị trên hành tinh mới này⁽¹⁾. Lời khuyên của bạn với toán đồ bộ sẽ là gì?

Nói cho cùng, phi hành đoàn có thể theo đuổi nhiều chiến lược. Một chiến lược có thể sẽ là chăm chú theo dõi một thành viên duy nhất của loài người trong trọn một ngày, để xem liệu bất cứ ai trong họ trải qua các thay đổi quan trọng trong chu kỳ sống hay không. Đối với một mẫu

⁽¹⁾ Một câu hỏi thú vị là không biết một người khách mới tới Trái Đất sẽ lập tức suy luận rằng liệu con người có phải là dạng sự sống thống trị ở đây hay không. Một số nhà bình luận đã đề xuất rằng những chiếc xe hơi cai trị Trái Đất có lẽ là một kết luận hợp lý hơn. Bởi vì, xét cho cùng, chúng dường như nuốt vào và nhả ra con người (và các động vật khác) theo ý muốn, và con người rõ ràng là những đầy tớ của chúng – tắm rửa, cho ăn và đánh bóng chúng với sự chăm chỉ chu đáo.

người bất kỳ nào đó, điều này rõ ràng sẽ hoá ra là một chiến lược không hiệu quả. Một phương cách tốt hơn có thể là thực hiện một cuộc khảo sát mở rộng, lập mục lục nhiều loại người khác nhau và sau đó cố gắng xác định những sự khác biệt trong những con người đem lại các manh mối về việc họ phát triển như thế nào.

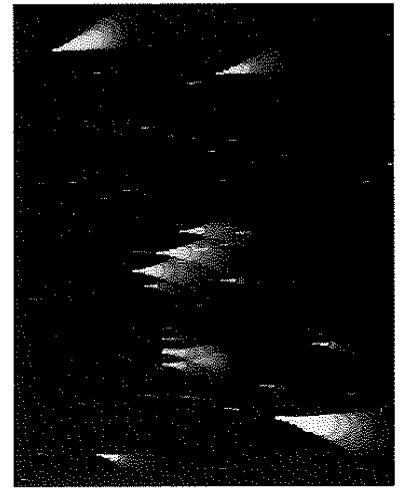
Nếu bạn không biết bất cứ điều gì về sinh vật người để bắt đầu câu chuyện, các đặc tính ấy của con người sẽ không rõ rệt chút nào.

Thí dụ, bạn có thể nhận thấy rằng con người có nhiều màu khác nhau và giả định rằng họ bắt đầu sự sống với một màu nâu thật sậm, trở nên ngày càng nhạt hơn với tuổi tác. Con người với da đen nhất sẽ là người trẻ nhất, theo giả thuyết này. Đó là một ý tưởng thú vị, nhưng rốt cuộc sẽ là sai lầm hoàn toàn.

Mặt khác, có những đặc điểm mà (được hiểu chính xác) có thể giúp bạn xác định được chu kỳ sống của con người. Thí

dụ, đối với phần đầu tiên của đời sống con người, khối lượng cơ thể và chiều cao là những dấu hiệu hợp lý của tuổi tác. Và sự mềm mại mượt mà của da có khuynh hướng suy giảm khi chúng ta lớn tuổi hơn hay già hơn. Để hiểu những dấu hiệu tế nhị như thế sẽ cần có một sự lấy mẫu rộng lớn của các đặc điểm của con người và nhiều năm trời nghiên cứu cẩn thận (dù cho dữ liệu của bạn sẽ được thu thập trong một ngày duy nhất).

Các nhà thiên văn học đối diện với một vấn đề tương tự với các ngôi sao. Các sao sống một thời gian lâu đến nỗi không có gì có thể được thu thập từ việc chăm chú theo dõi một ngôi sao trong thời gian sống của con người. Điều cần thiết là đo đạc các đặc điểm của nhiều sao (để tiến hành cuộc điều tra dân số của bầu trời) và sau đó xác định các đặc điểm nào sẽ giúp chúng ta hiểu được các lịch sử sự sống của sao. Các nhà thiên văn học thử đủ loại giả thuyết về các



Tính đa dạng về con người và các sao: (a) Các ngôi sao, giống như con người, truyền đi đủ loại màu sắc. (b) Bức ảnh này trình bày một kỹ thuật do David Malin của Đài thiên văn Anglo-Australian phát minh để mô tả các màu sắc của sao. Chúng ta đang ngắm nhìn chòm sao Orion (Lạp Hộ). Máy ảnh được giữ cố định, và sự quay của Trái Đất khiến cho các sao trôi dạt ngang bức ảnh trong sự phơi sáng lâu. Khi bức ảnh đang được chụp, nhà nhiếp ảnh thay đổi tiêu cự của thấu kính để làm cho mỗi ngôi sao thành một vệt ngày càng rộng hơn, do đó làm lộ ra những màu sắc tinh tế. Ba ngôi sao tạo ra dây đai của Orion nằm ngay trung tâm, ngôi sao sáng chói gần phía trái bên trên là Betelgeuse, và ngôi sao ở phía phải bên dưới là Rigel.

sao cho tới khi họ tìm một phương pháp đúng đắn để thấu hiểu sự phát triển của chúng. Nhưng điều mấu chốt là tiến hành một cuộc điều tra dân số triệt để về các sao chung quanh chúng ta.

9.1 CUỘC ĐIỀU TRA DÂN SỐ SAO

Trước khi có thể tiến hành cuộc thăm dò khảo sát, chúng ta cần nhất trí về một đơn vị khoảng cách phù hợp với các vật thể đang nghiên cứu. Các sao tất cả đều nằm cách xa đến nỗi kilômét (và ngay cả đơn vị thiên văn) sẽ là rất bất tiện để sử dụng; do vậy các nhà thiên văn học sử dụng một “thước đo” lớn hơn rất nhiều gọi là *năm ánh sáng* (hay *quang niên*) (LY: Light Year). Một năm ánh sáng là khoảng cách mà ánh sáng (tín hiệu nhanh nhất mà chúng ta biết được) đi qua trong một năm.

Bởi vì ánh sáng trải ra 300.000 kilômét trong một giây (300.000 km/s), và bởi vì có nhiều giây trong một năm, một năm ánh sáng là một đại lượng rất lớn: chính xác là 9,5 nghìn tỉ ($9,5 \times 10^{12}$) km. (Hãy nhớ kỹ rằng năm ánh sáng là một đơn vị khoảng cách dù cho thuật ngữ “năm” xuất hiện trong đó). Nếu bạn lái xe với tốc độ tối đa theo luật định mà không ngừng lại ăn uống hay nghỉ ngơi, bạn sẽ không đi tới đoạn cuối cùng của năm ánh sáng trong không gian cho tới khi gần 12 triệu năm đã trôi qua. Và ngôi sao gần nhất thì cách xa hơn 4 LY.

Hãy lưu ý rằng chúng ta chưa nói nhiều về việc làm cách nào để có thể đo được khoảng cách khổng lồ như vậy. Đó là một vấn đề phức tạp, mà chúng ta sẽ trở lại trong các chương sau. Còn bây giờ, chúng ta hãy thừa nhận rằng các khoảng cách đã được đo đối với các sao

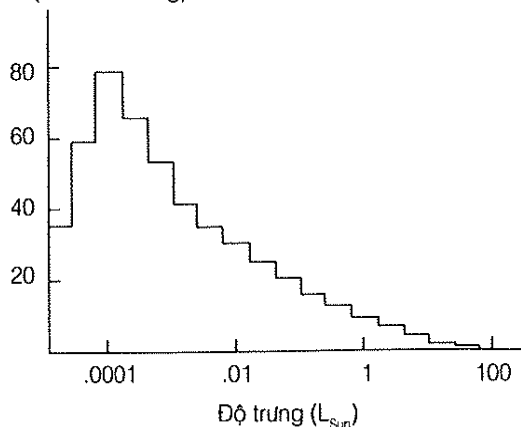
trong vùng vũ trụ lân cận để cho chúng ta có thể tiến hành cuộc điều tra về số lượng các vì sao.

♦ NHỎ THÌ ĐẸP – HAY ÍT RA LÀ PHỔ BIẾN HƠN

Như là bước đầu tiên, chúng ta hãy khảo sát các sao trong vùng lân cận sát bên chúng ta. Thí dụ, Phụ Lục 8 liệt kê các sao được tìm thấy trong vòng 12 LY của Mặt Trời, và cũng cung cấp các độ trung của chúng, một đặc điểm được xác định ở Chương 8. (Hãy nhớ rằng để hiểu được các sao “hoạt động” như thế nào, chúng ta quan tâm về việc tổng cộng chúng sản sinh ra bao nhiêu năng lượng, chứ không phải chúng ngẫu nhiên hiện ra sáng đến mức nào từ Trái Đất). Với những cuộc khảo sát thăm dò như thế ngay trước mắt, chúng ta có thể thắc mắc có bao nhiêu sao trong một thể tích không gian nhất định thật sự rất sáng, và bao nhiêu sao mờ yếu.

Hình dưới trình bày các kết quả của việc đếm sao trong thể tích không gian

Số lượng sao trong khối cầu có đường kính 33 LY (năm ánh sáng)



Các độ trung của các sao ở gần: Một đồ thị dành cho các sao trong vùng phụ cận sát bên chúng ta mô tả bao nhiêu sao được tìm thấy trong mỗi khoảng hẹp về độ trung. Độ trung của Mặt Trời là 1 trên sơ đồ này; lưu ý rằng hầu hết các sao có một độ trung kém hơn nó.

hơi lớn hơn thể tích không gian qua đó các dữ liệu được đưa ra trong Phụ Lục 8. Các sao trong vùng này có phạm vi từ khoảng gấp 100 lần độ trung của Mặt Trời, hay $100 L_{\text{Sun}}$, cho tới ít hơn một phần 10.000 ($1/10.000$) L_{Sun} . Nếu chúng ta phân chia các sao này thành từng nhóm theo độ trung, chúng có thể đếm được bao nhiêu sao rơi vào mỗi dãy hẹp. Mỗi quan hệ được trình bày trong hình. Bạn có thể quen thuộc với các sơ đồ như thế từ các cuộc khảo sát về con người – thí dụ, số cư dân trong một thành phố phù hợp với nhiều loại nhóm thu nhập hay nhóm tuổi. Như có thể thấy, Mặt Trời (độ trung = $1 L_{\text{Sun}}$) thì sáng hơn đa số các sao trong vùng phụ cận của chúng ta.

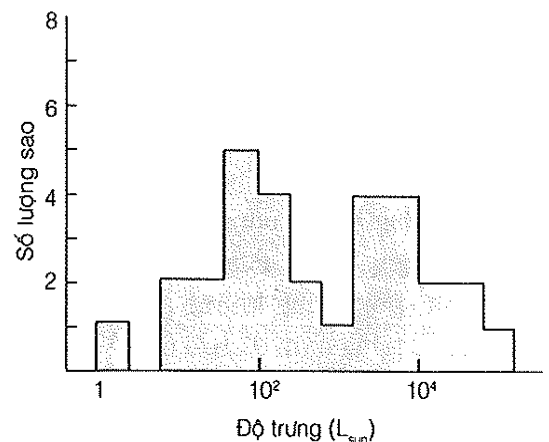
Nhưng có phải vùng phụ cận cục bộ chứa các mẫu sao của tất cả các loại sao chẳng? Chắc chắn vùng phụ cận trong đó bạn sống không chứa tất cả các loại người – được phân biệt theo tuổi tác, học vấn, thu nhập, chủng tộc,... Thí dụ, một vài người đang sống già hơn 100 tuổi, nhưng có thể không có những cá nhân như thế trong vòng vài dặm ở nơi chúng ta đang sống. Để lấy mẫu cho phạm vi đầy đủ về dân số, bạn sẽ phải mở rộng cuộc điều tra dân số tới một khu vực rộng lớn hơn nhiều.

Tương tự, có một số loại sao không được phát hiện trong vùng phụ cận sát bên chúng ta. Điểm mấu chốt là chúng ta đang thiếu một cái gì đó trong cuộc điều tra dân số xuất phát từ sự kiện rằng chỉ có ba sao cấp 1 (thật sự thấy sáng) – Sirius, Alpha Centauri, và Procyon – được phát hiện trong vòng 12 LY đối với Mặt Trời (xem Phụ Lục 8). Tại sao chúng ta đang thiếu vắng hầu hết các sao hiện ra sáng nhất trên bầu trời khi

tiến hành cuộc điều tra dân số của vùng lân cận cục bộ?

Câu trả lời là các sao hiện ra sáng nhất không hẳn là các sao gần chúng ta nhất. Các sao sáng nhất được trông thấy theo cách chúng hiện ra bởi vì chúng phát xạ một số lượng năng lượng rất lớn – nhiều đến nỗi, thật vậy, chúng không phải là ở gần để được trông thấy sáng chói. Bạn có thể xác nhận điều này bằng cách nhìn vào Phụ Lục 9, cung cấp các khoảng cách dành cho 20 sao hiện ra sáng nhất từ Trái Đất. Sao xa nhất trong số sao này là 1400 LY tính từ chúng ta. Thực vậy, rốt cuộc là hầu hết các sao thấy được mà không cần kính viễn vọng ở cách xa hàng trăm năm ánh sáng và chiếu sáng hơn Mặt Trời gấp nhiều lần. Trong số 6000 sao thấy được bằng mắt trần, chỉ có khoảng 50 sao thực sự mờ hơn Mặt Trời.

Hình dưới là một sơ đồ mô tả sự phân bố của các độ trung của 30 sao hiện ra sáng nhất. Lưu ý rằng sao sáng nhất



Độ trung của các sao sáng nhất: Sự phân bố (sơ đồ thanh) về độ trung của 30 sao hiện ra sáng nhất trên bầu trời chúng ta. Như hình trang trước, sơ đồ này mô tả số lượng sao trong mỗi khoảng độ trung. Tuy nhiên, hãy chú ý sự khác biệt trong khoảng độ trung được đánh dấu trong mỗi hình. Như một vị trí tham chiếu tốt, hãy đánh dấu nơi nào Mặt Trời rơi vào mỗi sơ đồ.

trong các sao này phát xạ năng lượng gần gấp 100.000 lần Mặt Trời. Những sao sáng mạnh này không được trông thấy trong vùng phụ cận của Mặt Trời bởi vì chúng rất hiếm. Không có sao nào trong chúng bất ngờ nằm trong thể tích không gian bé nhỏ ngay chung quanh Mặt Trời, và chỉ có thể tích nhỏ bé này được khảo sát để có được dữ liệu trình bày trong hình trên.

Mặt khác, các sao mờ nhạt hơn Mặt Trời không thể nhìn thấy bằng mắt thường trừ phi chúng ở rất gần. Thí dụ, các sao với độ trung trong khoảng 10^{-2} tới $10^{-4} L_{\text{Sun}}$ thì rất phổ biến, nhưng một ngôi sao với độ trung $10^{-2} L_{\text{Sun}}$ sẽ phải nằm trong vòng 5 LY để nhìn thấy bằng mắt thường – và chỉ có ba sao (đều trong một hệ thống) là gần như vậy đối với chúng ta. Sao gần nhất trong ba sao này, Proxima Centauri, thậm chí không thể được nhìn thấy nếu không dùng kính viễn vọng, bởi vì nó có một độ trung rất thấp. Một cách điển hình, các sao ở gần phổ biến không truyền đủ ánh sáng qua các khoảng cách giữa các sao để được nhìn thấy bằng mắt thường, và đúng là không làm cho nó vào được danh sách “top ten” (mười hạng đầu tiên) của các sao hiện ra sáng chói.

Một lần nữa chúng ta hãy xem xét các sao chiếu sáng mạnh – những sao sáng hơn Mặt Trời gấp 100 lần hay nhiều hơn nữa. Tuy những sao như thế rất hiếm, chúng được nhìn thấy bằng mắt thường thậm chí khi cách xa hàng trăm đến hàng ngàn năm ánh sáng. Thí dụ, một sao với độ trung $10^4 L_{\text{Sun}}$ có thể được nhìn thấy mà không cần kính viễn vọng xa tới khoảng cách 5000 LY. Các sao như thế rất hiếm, và chúng ta sẽ không hy vọng tìm ra một sao ở gần. Tuy nhiên,

thể tích không gian được tính đến trong vòng cự ly 5000 LY cực kỳ to lớn; cho nên dù chúng thật sự hiếm hoi, nhiều sao sáng mạnh được nhìn thấy rõ ràng bằng mắt thường.

Sự tương phản giữa hai mẫu sao này – các sao gần với chúng ta và các sao có thể được thấy bằng mắt thường – là một thí dụ về *hiệu ứng chọn lọc* (selection effect). Khi dân số của các vật thể (các sao trong thí dụ này) bao gồm sự đa dạng của các loại khác nhau, chúng ta phải thận trọng với những kết luận rút ra từ việc xem xét kỹ lưỡng của bất kỳ phân nhóm riêng biệt nào. Chắc chắn chúng ta sẽ tự lừa gạt mình nếu thừa nhận rằng các sao nhìn thấy bằng mắt thường là đặc trưng của toàn bộ dân số sao; phân nhóm này có ảnh hưởng lớn tới những sao sáng nhất. Nó đòi hỏi nhiều nỗ lực hơn nữa để thu thập một tập hợp dữ liệu đầy đủ dành cho các sao gần nhất, bởi vì hầu hết yếu đến mức chúng chỉ có thể được quan sát bằng kính viễn vọng. Tuy nhiên, chỉ bằng cách làm như vậy mà các nhà thiên văn học mới có thể nghiên cứu các đặc tính của đại đa số các sao, thực sự nhỏ hơn và yếu hơn nhiều so với Mặt Trời.

✧ MẬT ĐỘ SAO TRONG KHÔNG GIAN

Bây giờ hãy trả lời câu hỏi khác. Khoảng cách tiêu biểu giữa các sao là bao nhiêu? Tối thiểu có (chúng ta có thể đã bỏ sót một vài sao) 59 sao trong vòng 16 LY từ Trái Đất, bằng cách đếm số thành viên sao đôi và nhiều hệ thống sao, và chính bản thân Mặt Trời. Một khối cầu với bán kính 16 LY có thể tích khoảng 17.000 LY^3 . Do thể tích không gian này chứa ít nhất 59 sao, mật độ sao trong không gian trong vùng phụ

cận của Mặt Trời là khoảng một sao cho mỗi 300 LY³.

Kể đến khoảng cách trung bình giữa các sao là khoảng 7 LY (căn bậc ba của 300). Mặt Trời và Alpha Centauri, cách xa nhau khoảng 4,4 LY, hơi gần hơn mức trung bình. Trong bất cứ trường hợp nào, bạn có thể thấy rằng các sao (và các hệ thống sao) sống trong sự cô lập, với những vực thẳm không gian giữa chúng.

Mật độ được diễn tả điển hình hơn nữa bằng g/cm³, không phải là các sao trên LY³ như được sử dụng trong đoạn trước. Để xét xem vùng phụ cận chúng ta dày đặc thế nào bằng các thuật ngữ phổ biến hơn, hãy tạm cho rằng vật chất chứa trong các sao có thể được dàn trải ra đều đặn khắp không gian. Nếu một ngôi sao tiêu biểu có khối lượng bằng 0,4 lần khối lượng Mặt Trời, mật độ trung bình của vật chất trong vùng phụ cận mặt trời là chỉ vào khoảng 3×10^{-24} g/cm³ – hay khoảng một nguyên tử hydro trên một centimét khối. (Lưu ý rằng các hành tinh có khối lượng quá nhỏ so với các sao cho nên chúng ta không tính đến chúng). Làm sao mật độ trở thành quá nhỏ như thế? Trong khi các sao có khối lượng thật lớn, mức độ không gian giữa các sao khổng lồ đến nỗi mật độ vũ trụ trung bình của vùng lân cận quả thực là rất thấp.

9.2 KHỐI LƯỢNG SAO

Chúng ta thấy rằng Mặt Trời chiếu sáng hơn hầu hết các sao. Khối lượng của nó so với các sao khác như thế nào? Chúng ta sẽ thấy rằng khối lượng của một ngôi sao xác định sự sống của nó sẽ kéo dài bao lâu. Tuy thế không hề

dễ dàng để đo lường khối lượng sao một cách trực tiếp: Bằng cách nào đó chúng ta cần đặt một ngôi sao lên một cái cân. May mắn thay, không phải tất cả các sao giống như Mặt Trời, trong sự cô lập với các sao khác. Thông tin giá trị nhất về khối lượng sao xuất phát từ sự nghiên cứu *các sao đôi* (binary stars) – hai sao quay quanh nhau, kết hợp với nhau bằng lực hấp dẫn. Chúng ta có thể sử dụng lực hút lẫn nhau của chúng để đo lường khối lượng của chúng.

Phần nhiều, nhưng không phải là tất cả, các sao là thành viên của các hệ thống sao đôi. Thí dụ, trong số 59 sao gần nhất, 27 (xấp xỉ phân nửa) là thành viên của các hệ thống nhiều hơn một sao. Khối lượng của các sao có thể được tính toán từ các phương pháp đo quỹ đạo của chúng, giống như khối lượng Mặt Trời có thể được suy ra bằng cách đo quỹ đạo của các hành tinh chung quanh nó (xem Chương 2).

♦ SAO ĐÔI

Trước khi bàn luận chi tiết hơn về việc khối lượng có thể được đo bằng cách nào, chúng ta tiến hành một sự quan sát gần hơn các sao kết thành từng cặp. Sao đôi đầu tiên được khám phá vào năm 1650, chưa đầy nửa thế kỷ sau khi Galileo bắt đầu quan sát bầu trời bằng một kính viễn vọng, John Baptiste Riccioli, nhà thiên văn học người Ý, nhận thấy rằng sao Mizar, ở chính giữa cán của Chòm Gấu Lớn (Big Dipper), hiện ra qua kính viễn vọng của ông như thể hai ngôi sao.

Kể từ khám phá này, hàng ngàn sao đôi đã được lập danh mục. (Các nhà thiên văn học gọi bất kỳ cặp sao nào gần bên nhau trong bầu trời là các sao đôi (double stars), nhưng không phải tất cả các sao này là hai sao được liên kết theo luật

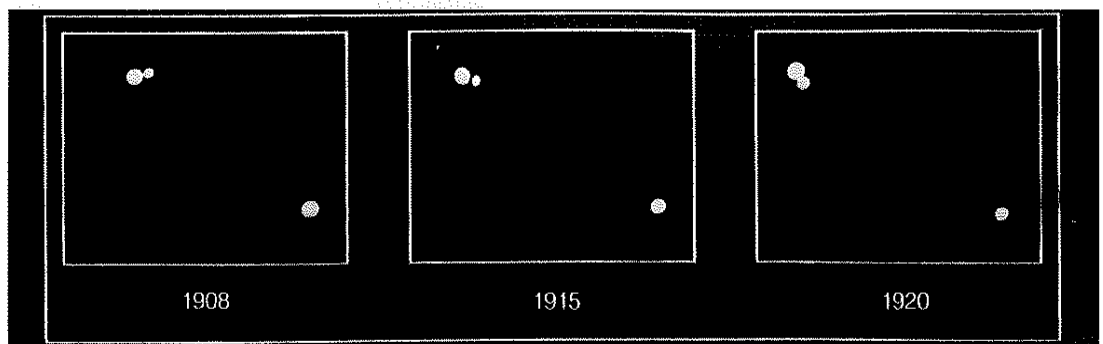
tự nhiên. Một số sao đôi chỉ là sự liên kết tình cờ của các sao thực sự ở những khoảng cách khác nhau tính từ chúng ta). Mặc dù các sao trở thành từng cặp là phổ biến nhất, nhưng cũng có các hệ thống ba sao và bốn sao.

Một sao đôi nổi tiếng là Castor, tọa lạc trong chòm Gemini (Song Tử). Vào năm 1804, nhà thiên văn học William Herschel, cũng là người đã khám phá hành tinh Uranus (Thiên Vương Tinh), đã nhận thấy rằng thành phần mờ hơn của Castor đã thay đổi vị trí của nó một chút so với thành phần sáng hơn. (Chúng tôi sử dụng thuật ngữ “component” (thành phần) có nghĩa là một thành viên của hệ thống sao). Đây là bằng chứng rằng một sao này đang di chuyển chung quanh một sao kia. Đó là chứng cứ đầu tiên rằng các ảnh hưởng của lực hấp dẫn tồn tại bên ngoài hệ mặt trời. Chuyển động trên quỹ đạo của sao đôi Kruger 60 được mô tả trong hình dưới. Các hệ thống sao đôi trong đó cả hai sao có thể được nhìn thấy bằng kính viễn vọng được gọi là các sao đôi nhìn thấy (visual binaries).

Edward C. Pickering (tại Đại học Harvard) đã khám phá một loại thứ hai của sao đôi năm 1889 – một loại trong đó chỉ có một trong hai sao thực sự được nhìn thấy trực tiếp. Ông đang nghiên cứu

quang phổ của Mizar và nhận thấy rằng các vạch hấp thụ tối trong quang phổ của sao sáng hơn thường là gấp đôi. Không chỉ có hai vạch nơi mà các nhà thiên văn học thường chỉ thấy một vạch duy nhất, mà khoảng cách giữa các vạch đang thay đổi liên tục. Thỉnh thoảng các vạch thậm chí trở thành đơn độc. Pickering suy luận một cách chính xác rằng thành phần sáng hơn của Mizar, gọi là Mizar A, thực sự là hai sao quay quanh lẫn nhau trong một chu kỳ 104 ngày. Các sao như Mizar A, hiện ra như các sao đơn độc khi được chụp ảnh hay được quan sát thấy qua kính viễn vọng, nhưng những sao nào quang phổ học trình bày thực sự là sao đôi, được gọi là các sao đôi quang phổ (spectroscopic binaries).

Mizar là một thí dụ tốt về việc các hệ thống sao như thế có thể phức tạp tới mức nào. Mizar đã được biết, trong nhiều thế kỷ, có một bạn đồng hành mờ yếu gọi là Alcor, có thể được nhìn thấy mà không cần kính viễn vọng. Mizar và Alcor hình thành một *sao đôi quang học* (optical double) – một cặp sao hiện ra gần với nhau trong bầu trời nhưng không quay quanh nhau. Qua kính viễn vọng, Mizar có thể được nhìn thấy có một bạn đồng hành khác nữa, gần hơn, quay trên quỹ đạo chung quanh nó; do vậy Mizar là

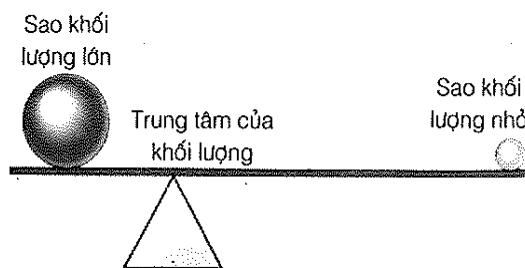


Sự quay của sao đôi: Ba ảnh chụp trái qua một giai đoạn khoảng 12 năm mô tả sự quay lẫn nhau của hai sao hình thành hệ thống sao lân cận Kruger 60.

một sao đôi nhìn thấy. Hai thành phần hình thành sao đôi nhìn thấy này, được biết như Mizar A và Mizar B, cả hai đều là sao đôi quang phổ. Do vậy, Mizar thực sự là một hệ thống bốn sao.

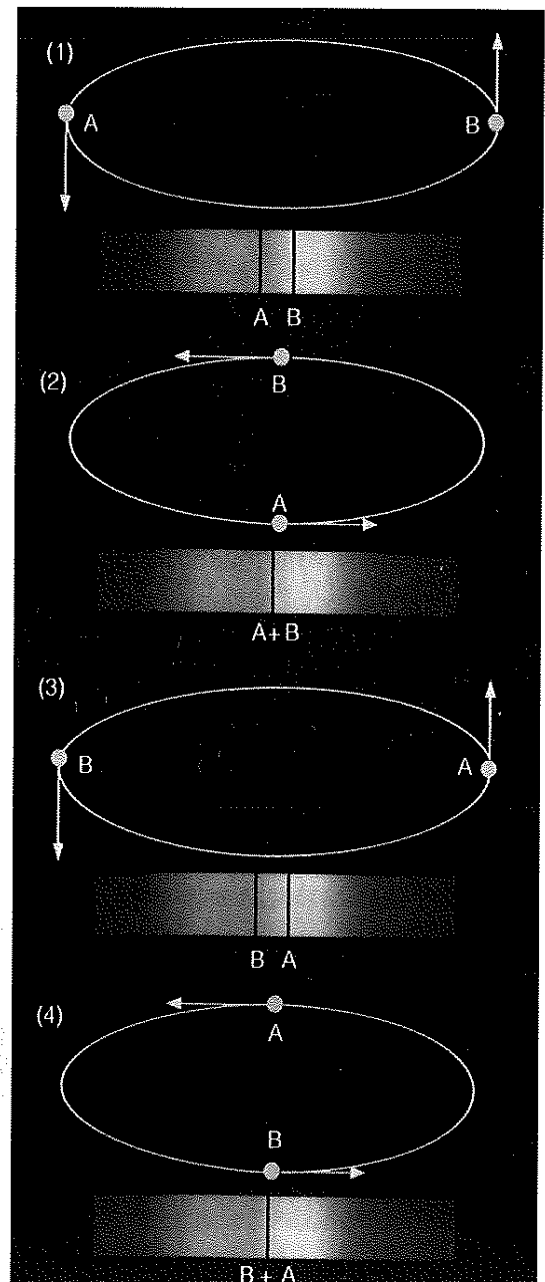
Nói đúng ra, để diễn tả chuyển động của một hệ thống sao đôi bằng cách nói rằng sao này quay quanh sao kia là không chính xác. Lực hấp dẫn là sự hút lẫn nhau. Mỗi sao tác động một lực hấp

dẫn đối với sao còn lại, với kết quả là cả hai quay quanh một điểm giữa chúng gọi là *trung tâm của khối lượng* (center of mass). Hãy hình dung rằng hai sao được đặt, mỗi sao ở một đầu của cái ván bập bênh. Vị trí mà tại đó điểm tựa sẽ cần phải được phân bố để cho cái ván bập bênh giữ thăng bằng là trung tâm của khối lượng, và nó luôn luôn gần hơn với ngôi sao có khối lượng lớn hơn.



Hệ thống sao đôi: Trong một hệ thống sao đôi, cả hai sao đều quay quanh trung tâm khối lượng của chúng. Sao nào với khối lượng lớn hơn sẽ được cân bằng gần hơn với trung tâm khối lượng, trong lúc sao nào với khối lượng nhỏ hơn sẽ được cân bằng xa hơn đối với nó.

Sự chuyển động của hai sao quay quanh nhau: Quỹ đạo thực sự hơi nghiêng một chút so với trang giấy trên đó nó được in (hoặc giả nó là một hệ thống đích thực được nhìn thấy trên bầu trời, quỹ đạo sẽ bị nghiêng đi so với đường ngắm của chúng ta). Nếu quỹ đạo là chính xác trong mặt phẳng của tờ giấy (hay bầu trời) thế thì nó sẽ trông gần như tròn, nhưng chúng ta sẽ không có sự thay đổi trong vận tốc xuyên tâm. Nếu quỹ đạo thẳng góc với mặt phẳng của trang giấy, thì các sao sẽ có vẻ di chuyển tới lui trong một đường thẳng, và chúng ta sẽ thấy các sự biến đổi lớn nhất có thể có của vận tốc xuyên tâm. Chúng ta thấy những sự thay đổi trong vận tốc bởi vì khi sao này đang di chuyển về phía Trái Đất, thì sao kia đang di chuyển ra xa; nửa chu kỳ sau tình huống bị đảo ngược. Các sự dịch chuyển Doppler khiến cho các vạch phổ di chuyển tới lui. Đôi lúc, các vạch từ cả hai sao có thể được nhìn thấy tách biệt rõ ràng với nhau. Khi hai sao đang di chuyển thẳng góc với đường ngắm của chúng ta (nghĩa là chúng không đang di chuyển về phía hay ra xa chúng ta), hai vạch chính xác là chồng lên nhau, và do đó chúng ta chỉ thấy một vạch phổ duy nhất.



Hình trang trước mô tả hai sao di chuyển chung quanh trung tâm khối lượng của nó, cùng với quang phổ chúng ta quan sát được từ hệ thống tại các thời điểm khác nhau. Khi sao này đang tiến gần tới chúng ta so với trung tâm khối lượng, sao kia đang lùi ra xa chúng ta. Trong minh họa trên cùng, sao A đang di chuyển về phía chúng ta, do đó các vạch trong phổ của nó bị dịch chuyển theo hiệu ứng Doppler về phía đầu xanh của quang phổ.

Sao B đang di chuyển ra xa chúng ta, do đó quang phổ của nó thể hiện một sự dịch chuyển về phía đỏ. Khi chúng ta quan sát quang phổ ghép của hai sao, mỗi vạch hiện ra gấp đôi. Tuy nhiên, khi cả hai sao đều đang di chuyển ngang qua đường ngắm của chúng ta (không xa ra cũng không về phía chúng ta), chúng đều có cùng một vận tốc xuyên tâm (vận tốc của trung tâm khối lượng của cặp sao); vì thế cho nên các vạch phổ của hai sao trùng với nhau. Điều này được mô tả trong các minh họa thứ hai và thứ tư trong hình trang bên. Một sơ đồ mô tả các vận tốc của sao thay đổi như thế nào với thời gian được gọi là *đường cong vận tốc xuyên tâm* (radial-velocity curve); đường cong đối với hệ thống sao đôi trong hình trang bên được mô tả trong hình ở trang sau.

♦ KHỐI LƯỢNG TỪ CÁC QUỸ ĐẠO CỦA SAO ĐÔI

Chúng ta có thể ước tính khối lượng của các hệ thống sao đôi bằng cách sử dụng sự lập thành công thức của Newton về định luật thứ ba của Kepler. Kepler nhận thấy rằng thời gian một hành tinh dùng để đi chung quanh Mặt Trời có quan hệ với khoảng cách của nó từ Mặt

Trời bởi một công thức toán học đặc biệt. Trong điều kiện sao đôi của chúng ta, nếu hai vật thể đang quay quanh nhau, thì chu kỳ (P) qua đó chúng di chuyển quanh nhau có quan hệ tới nửa trục lớn (D) của quỹ đạo của sao này với sao kia, theo phương trình:

$$D^3 = (M_1 + M_2) P^2$$

trong đó D là theo các đơn vị thiên văn, P được đo đặc bằng năm, và $M_1 + M_2$ là tổng số các khối lượng của hai sao theo đơn vị của khối lượng Mặt Trời. Do đó nếu chúng ta có thể quan sát kích thước của quỹ đạo và chu kỳ của sự quay quanh lẫn nhau của các sao trong hệ thống sao đôi. Chúng ta có thể tính toán khối lượng tổng cộng (hay tổng khối lượng) của chúng.

Hầu hết các sao đôi quang học có chu kỳ trong phạm vi từ vài ngày đến vài tháng, với các khoảng cách giữa các sao thành viên thông thường ít hơn 1 AU (1 đơn vị thiên văn). Hãy nhớ lại rằng một đơn vị thiên văn (1AU) là khoảng cách từ Trái Đất tới Mặt Trời, do đó đây là một khoảng cách nhỏ và rất khó nhìn thấy với khoảng cách của các ngôi sao. Đây là lý do tại sao nhiều hệ thống này được biết là sao đôi chỉ khi qua sự nghiên cứu cẩn thận các quang phổ của chúng.

Sự phân tích toán học về đường cong vận tốc xuyên tâm (chẳng hạn như đường cong trong hình trang sau) để xác định khối lượng của các sao trong một sao đôi quang học trên thực tế thì phức tạp, nhưng không khó trên nguyên lý. Tốc độ của các sao được đo lường từ hiệu ứng Doppler. Sau đó chúng ta đo đặc chu kỳ – các sao mất bao lâu để đi qua hết một chu kỳ trên quỹ đạo – mà có thể được xác định từ đường cong vận tốc.

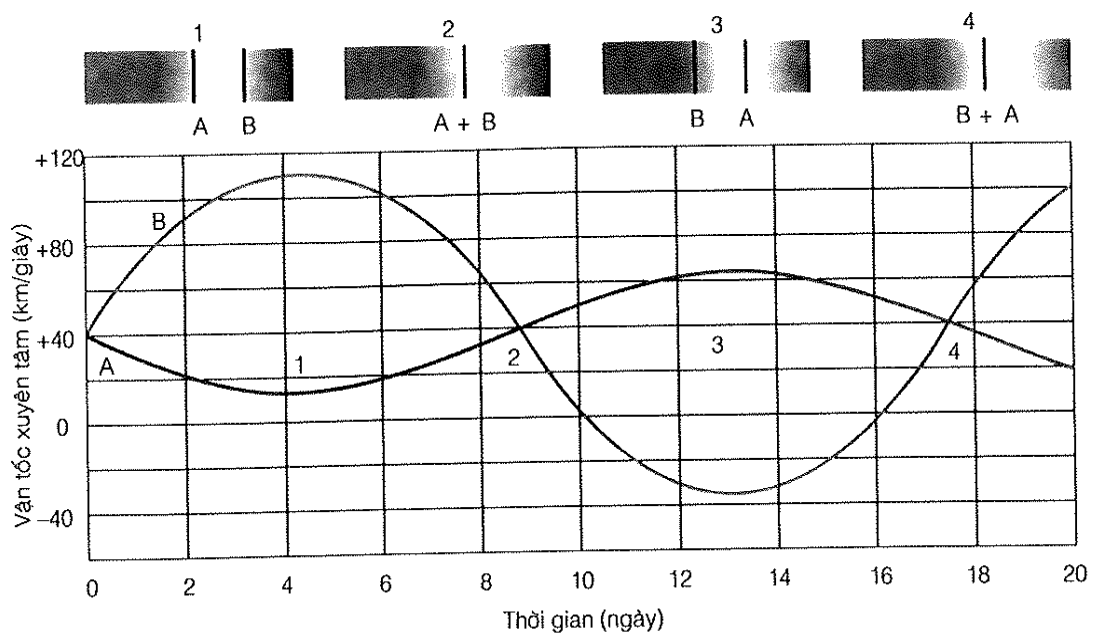
Việc biết được các sao di chuyển nhanh tới mức nào và chúng mất bao lâu để đi vòng quanh nói cho chúng ta biết chu vi của quỹ đạo, và do đó, khoảng cách của các sao bằng kilômét (km) hay bằng đơn vị thiên văn (AU). Khi sử dụng định luật của Kepler, chu kỳ và khoảng cách cho phép chúng ta tính toán khối lượng của các sao. Dĩ nhiên, biết được khối lượng tổng cộng không hữu dụng bằng khi biết được khối lượng của mỗi sao riêng lẻ. Nhưng vận tốc tương đối trên quỹ đạo của cả hai sao có thể nói cho chúng ta biết khối lượng toàn phần của mỗi sao là bao nhiêu. Sao càng lớn thì càng gần với trung tâm của trọng lực (trọng tâm) hơn và do đó có một quỹ đạo nhỏ hơn. Vì thế, nó di chuyển chậm hơn để đi vòng quanh trong cùng một thời gian. Trong thực hành chúng ta cũng cần biết hệ thống sao đôi được định hướng bằng cách nào trong bầu trời đối với đường ngắm của chúng ta; nhưng nếu chúng ta

định hướng và những bước mô tả chính xác được thực hiện cẩn thận, kết quả là một phương pháp đo về khối lượng của mỗi sao trong hệ thống sao đôi.

Tóm lại, một sự hiểu biết đúng đắn về sự chuyển động của hai sao quay quanh một trung tâm chung của khối lượng (khối tâm chung), kết hợp với các định luật hấp dẫn, cho phép chúng ta đo lường khối lượng các sao trong các hệ thống như vậy. Các phương pháp đo này tuyệt đối cần thiết để phát triển một lý thuyết về việc các sao quay như thế nào. Một trong những điều tốt nhất về phương pháp này là nó không lệ thuộc vào vị trí của hệ thống sao đôi. Nó áp dụng cho các sao cách xa 1000 LY cũng như các sao trong vùng lân cận sát bên chúng ta.

♦ PHẠM VI CỦA CÁC KHỐI LƯỢNG SAO

Khối lượng của một ngôi sao có thể lớn đến mức nào? Chúng ta nhận thấy

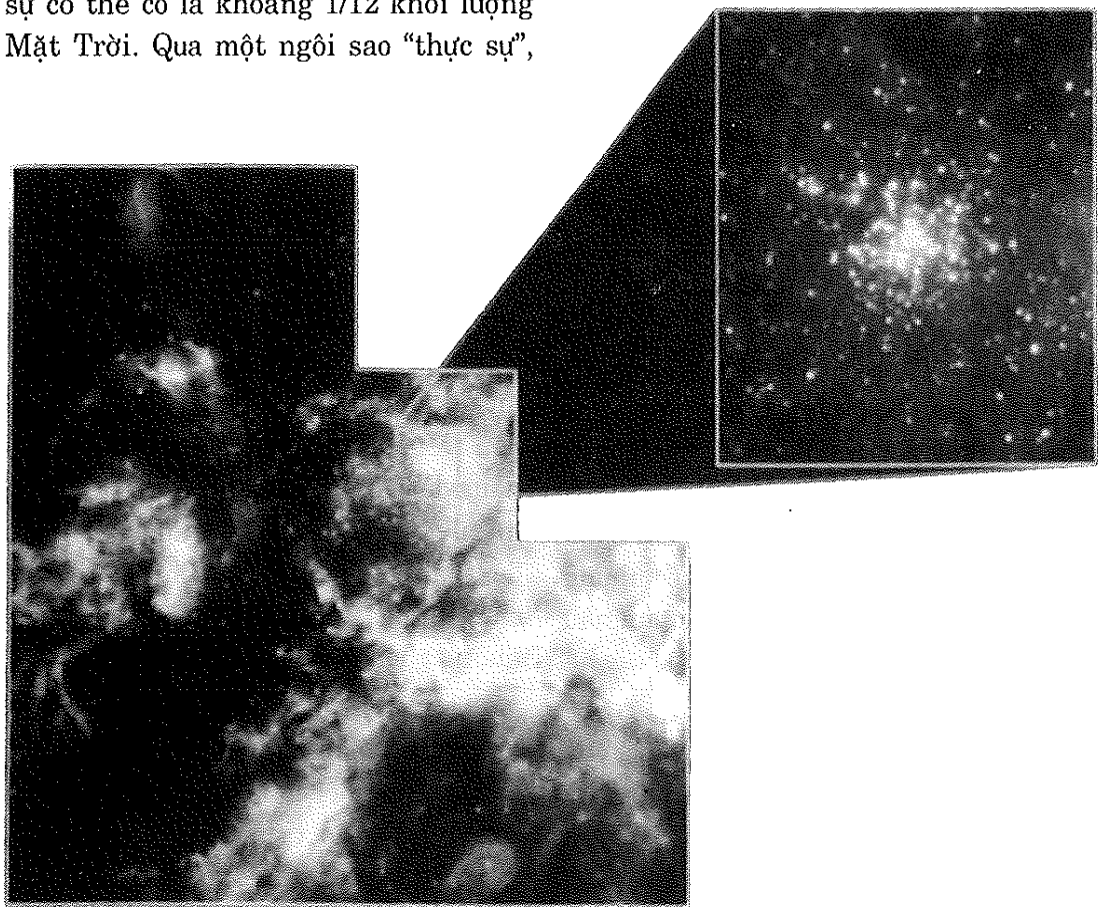


Vận tốc xuyên tâm trong hệ thống sao đôi quang học: Các đường cong này vẽ đồ thị các vận tốc xuyên tâm của hai sao trong một hệ thống sao đôi quang học, mô tả các sao luân phiên đến gần và lùi xa Trái Đất ra sao. Các vị trí trên đường cong tương ứng với những minh họa trong hình trang trước được đánh dấu.

rằng các sao lớn hơn Mặt Trời rất hiếm. Không một ngôi nào trong vòng 30 LY của Mặt Trời có khối lượng lớn hơn gấp bốn lần khối lượng Mặt Trời. Các cuộc nghiên cứu tại các khoảng cách lớn tính từ Mặt Trời đã dẫn tới sự khám phá về một vài sao có khối lượng lên đến khoảng 100 lần khối lượng Mặt Trời, và một số ít sao (một vài trong khoảng vài tỉ ngôi sao) có thể có khối lượng lớn bằng 200 lần khối lượng Mặt Trời. Tuy nhiên, hầu hết các sao đều nhỏ hơn Mặt Trời.

Theo các tính toán lý thuyết, khối lượng nhỏ nhất mà một ngôi sao thực sự có thể có là khoảng 1/12 khối lượng Mặt Trời. Qua một ngôi sao “thực sự”,

các nhà thiên văn học muốn nói đến một ngôi sao trở thành đủ nóng để tổng hợp hydro để hình thành helium (như đã bàn luận trong Chương 7). Các sao với khối lượng nhỏ hơn khối lượng Mặt Trời rất phổ biến, cho dù chúng rất khó phát hiện nếu nằm cách xa bởi vì chúng rất mờ nhạt. Như trong Chương 8, các cuộc khảo sát mới mẽ sử dụng các kính viễn vọng hồng ngoại chứng tỏ rằng có thể có nhiều sao cực kỳ mờ (một số thậm chí rất gần với chúng ta, về phương diện thiên văn học) mà từ trước tới nay chúng ta đã



R136, một chùm sao với nhiều sao lớn: Một phần của một vùng khổng lồ của vũ trụ gọi là tinh vân 30 Doradus (hình lớn), chùm sao nóng non trẻ này (hình nhỏ) chứa một số các sao lớn nhất được biết đến, kể cả một số với khối lượng lớn bằng $100 M_{\text{Sun}}$ (100 lần khối lượng của Mặt Trời). Tinh vân và chùm sao cách xa 160.000 LY trong Đám Mây Magellan Lớn (Large Magellanic Cloud), một thiên hà nhỏ hơn là vệ tinh của Dải Ngân Hà của chúng ta. Chùm sao rất khó nhận ra rõ ràng với kính viễn vọng trên mặt đất; bức ảnh này là một trong số các cuộc thử nghiệm mà các nhà thiên văn học đưa vào kính không gian Hubble đã được sửa chữa. Nếu nó có thể phân biệt các sao trong chùm sao R 136 một cách rõ ràng (và chính bạn thấy rằng nó thực hiện được điều đó) thế thì kính không gian phải đang hoạt động rất tốt.

hoàn toàn không trông thấy bởi vì chúng phát ra quá ít ánh sáng thấy được.

♦ CÁC SAO YẾU

Các vật thể với khối lượng nằm giữa $1/100$ và $1/12$ khối lượng Mặt Trời có thể tạo ra năng lượng trong một thời gian ngắn ngủi nhờ vào các phản ứng hạt nhân liên quan tới deuterium, nhưng chúng không trở thành đủ nóng để thúc đẩy các proton tổng hợp để tạo ra helium. Các vật thể như thế có khối lượng trung gian giữa các sao và hành tinh và đã được đặt tên là các sao lùn nâu (brown dwarfs). Các sao lùn nâu, về bán kính tương tự như Sao Mộc, nhưng có khối lượng lớn hơn gấp 10 tới 80 lần khối lượng Sao Mộc (Jupiter).

Trong hơn một thập niên, các nhà thiên văn học đã cố gắng tìm kiếm các thí dụ về “các sao yếu” như vậy. Điều này không dễ dàng thực hiện, bởi vì chúng cực kỳ mờ và do đó khó quan sát. Và thậm chí nếu bạn phát hiện ra một vật thể mờ, đỏ, làm sao bạn biết nó là một sao lùn nâu và không phải là một sao rất lạnh? Một phương pháp sẽ được dùng để đo lường khối lượng của nó, nhưng hầu hết các ứng cử viên của sao lùn nâu không phải là các thành viên của các hệ thống sao đôi.

Những gì sẽ thực sự giúp ích cho chúng ta có một vài loại nhiệt kế sẽ đo đặc nhiệt độ bên trong của ứng cử viên sao lùn nâu. Nếu nhiệt độ tại trung tâm của ứng cử viên lạnh đến nỗi hydro không thể hợp nhất để hình thành helium, thế thì chúng ta phải có một sao lùn nâu và rõ ràng không phải là một sao lạnh. Rốt cuộc, đặc biệt là, có một đồng hồ nhiệt độ đúng như thế trong tự nhiên; chúng ta sẽ gọi nó là nhiệt kế lithium (lithium

thermometer). Lith-ium là nguyên tố thứ ba trong bảng tuần hoàn nguyên tố, và chất đồng vị phổ biến nhất của nó có ba proton và bốn neutron trong nhân của nó.

Ở nhiệt độ của khoảng chỉ hai triệu độ – lạnh hơn nhiều so với nhiệt độ cần thiết để biến đổi bốn nhân hydro thành helium – một nhân lithium (với ba proton và bốn neutron) có thể va chạm với một proton và hợp nhất để hình thành hai nhân helium, mỗi nhân với hai proton và hai neutron.

Nhiệt kế lithium giúp chúng ta phân biệt các sao lùn nâu với các sao thực sự như thế nào? Về các sao “thực sự” khối lượng thấp nhất, các tính toán lý thuyết chứng tỏ rằng các dòng vật chất (các dòng đối lưu) quét qua toàn bộ ngôi sao và hoàn toàn trộn lẫn tất cả các vật chất từ bề mặt cho tới trung tâm. Vì thế cho nên, bất cứ chất lithium nào ban đầu ở trong ngôi sao, thậm chí nếu nó ở tại bề mặt lạnh hơn nhiều, sẽ bị cuốn trôi vào bên trong. Tại trung tâm của sao, nó đủ nóng để cho sự tổng hợp hydro xảy ra, và tại nhiệt độ đó, tất cả lithium sẽ bị biến đổi thành helium. Do đó, khi vật chất lưu chuyển, ngay lập tức một sao thực sự sẽ không chứa chút lithium nào cả.

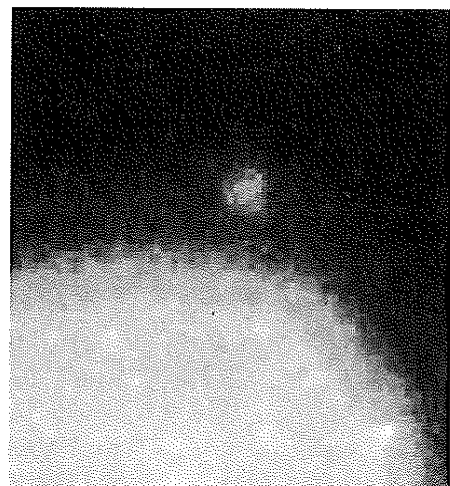
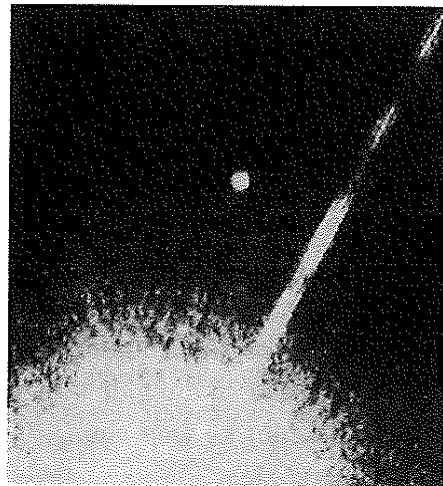
Trong khi một sao lùn nâu có khối lượng thấp hơn các sao lùn M, nó cũng có các dòng đối lưu hoàn toàn trộn lẫn vật chất ở bên trong nó. Nhưng trong trường hợp của một sao lùn nâu, nhiệt độ trung tâm có thể không bao giờ đạt tới trên vài trăm ngàn độ, nó không đủ nóng để biến đổi lithium thành helium. Do đó lithium sẽ không bị phá hủy tại nhân của sao lùn, và sẽ liên tục hiện ra trong quang phổ của nó. Nếu chúng ta thấy lithium tại bề mặt của một vật thể

đỏ lạnh, chúng ta có thể kết luận rằng vật thể phải là một sao lùn nâu với phần bên trong tương đối lạnh, và không phải là một ngôi sao.

Ngay cả với kính viễn vọng Keck, nó cũng mất hơn chín tiếng đồng hồ để có được một quang phổ của các ứng cử viên sao lùn rất yếu. Tuy nhiên, khi thành công trong việc có được một quang phổ như vậy, chúng ta thấy rằng một số ứng cử viên có chứa lithium, và do đó chúng thực sự là những sao lùn nâu. Quang phổ của một trong những sao lùn nâu, gọi là Gliese 229B, thực sự giống với quang phổ của Titan, mặt trăng của Sao Thổ, chứa metan và hơi nước. Nhiệt độ của khí quyển của sao lùn nâu này khoảng 1000 K, nóng hơn nhiều so với Titan, và quá nóng nên không trở thành một hành tinh nhưng quá lạnh nên không trở thành một ngôi sao. Do đó Gliese 229B có lẽ là thí dụ tốt nhất của chúng ta về một sao lùn nâu. Các ứng cử viên

sao lùn nâu khác cũng đã được xác định như những sao yếu bằng cách sử dụng các kỹ thuật như vậy.

Các vật thể còn nhỏ hơn nữa với khối lượng nhỏ hơn 1/1000 khối lượng của Mặt Trời được gọi là các *hành tinh*. Chúng có thể bức xạ năng lượng được tạo ra bởi các nguyên tố phóng xạ mà chúng chứa đựng, và chúng cũng có thể bức xạ nhiệt do sự co thắt chậm chạp của lực hấp dẫn sinh ra. Tuy nhiên, phần bên trong của chúng sẽ không bao giờ đạt tới những nhiệt độ đủ cao để cho bất cứ phản ứng hạt nhân nào có thể xảy ra. Thí dụ, Sao Mộc (Jupiter), khối lượng của nó vào khoảng 1/1000 khối lượng của Mặt Trời, không còn nghi ngờ gì nữa, là một hành tinh. Mãi cho tới những năm 1990, chúng ta chỉ có thể phát hiện ra các hành tinh trong hệ mặt trời của riêng chúng ta, nhưng hiện nay chúng ta cũng đã bắt đầu phát hiện ra chúng ở nơi khác nữa.

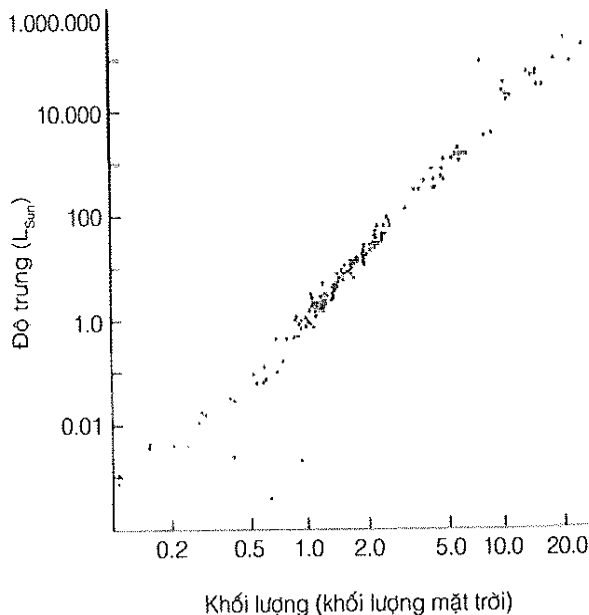


Sao Lùn Nâu Gliese 229B: Hai bức ảnh này mô tả sao lùn nâu đầu tiên được xác định, được nhìn thấy qua một kính viễn vọng đặt trên mặt đất (trái) và kính không gian Hubble (phải). Trong cả hai trường hợp, ngôi sao chính trong hệ thống (229A) chiếu sáng đến mức mặc dù nó không nằm trong thị trường, ánh sáng chói lọi của nó tràn ngập mây mờ. Hình bên trái được chụp vào tháng 10/1994 với kính viễn vọng 60 inches trên núi Palomar và một thiết bị đặc biệt để che chắn ánh sáng của sao A. Hình bên phải được chụp vào tháng 10/1995. Các quang phổ được chụp với những kính viễn vọng lớn hơn tiết lộ sự có mặt của khí metan trong các lớp bên ngoài của sao lùn nâu.

♦ QUAN HỆ KHỐI LƯỢNG – ĐỘ TRUNG

Hiện nay, chúng ta có những phương pháp đo các đặc tính của nhiều loại sao khác nhau, chúng ta có thể tìm hiểu các mối quan hệ trong số các đặc tính. Thí dụ, chúng ta có thể thắc mắc không biết khối lượng và độ trung của một ngôi sao có liên hệ với nhau hay không. Hoá ra đối với hầu hết các sao, chúng có quan hệ: Các sao càng lớn thường cũng là các sao càng chói sáng. Mối quan hệ này, được coi là **quan hệ khối lượng – độ trung** (mass – luminosity relation), được mô tả bằng đồ thị trong hình. Mỗi điểm đại diện cho một sao mà khối lượng và độ trung của nó đều được biết rõ. Các vị trí ngang trên sơ đồ mô tả khối lượng của sao, được cho theo đơn vị của khối lượng Mặt Trời, và các vị trí dọc mô tả độ trung của nó theo đơn vị của độ trung Mặt Trời.

Hãy lưu ý mối quan hệ này: Hầu hết các sao rơi vào một đường chạy từ góc



Quan hệ khối lượng – độ trung: Các vị trí được đánh dấu mô tả khối lượng và độ trung của các sao qua đó cả hai đại lượng này được biết tới độ chính xác từ 15 tới 20%. Ba điểm nằm bên dưới chuỗi điểm đều là các sao lùn trắng.

thấp hơn bên trái (khối lượng thấp, độ trung thấp) của sơ đồ tới góc cao hơn bên phải (khối lượng cao, độ trung cao). Khoảng 90% của tất cả các sao tuân theo mối quan hệ khối lượng – độ trung được minh họa trong hình bên. Sau này, chúng ta sẽ khảo sát kỹ tại sao mối quan hệ như vậy tồn tại, và chúng ta có thể hiểu biết được điều gì từ gần 10 % các sao “không tuân thủ” mối quan hệ đó.

9.3 ĐƯỜNG KÍNH CỦA SAO

Đo đạc đường kính của Mặt Trời là điều dễ dàng. Đường kính góc của nó – nghĩa là, kích thước biểu kiến của nó trên bầu trời – vào khoảng $1/2^\circ$ (nửa độ). Nếu chúng ta biết góc độ Mặt Trời chiếm trên bầu trời và nó cách xa bao nhiêu, chúng ta có thể tính toán đường kính thực của nó, là 1,39 triệu km, hay khoảng 109 lần đường kính của Trái Đất.

Rủi thay, Mặt Trời là ngôi sao duy nhất mà đường kính góc của nó được giải đáp dễ dàng. Tất cả các sao khác cách xa đến nỗi chúng trông giống như những điểm sáng nhỏ xíu thông qua thậm chí những kính viễn vọng lớn nhất. (Chúng thường có vẻ lớn hơn, nhưng điều đó chỉ là sự biến dạng được tạo ra bởi sự nhiễu loạn trong khí quyển của Trái Đất). May thay, có vài kỹ thuật mà các nhà thiên văn học có thể sử dụng để ước tính kích thước của sao; kế tiếp chúng ta nói về hai trong số đó.

♦ CÁC SAO MÀ ÁNH SÁNG CỦA NÓ BỊ MẶT TRẮNG CHE KHUẤT

Một phương pháp đầu tiên, mang đến các đường kính rất chính xác nhưng chỉ có thể được sử dụng cho một vài sao, là

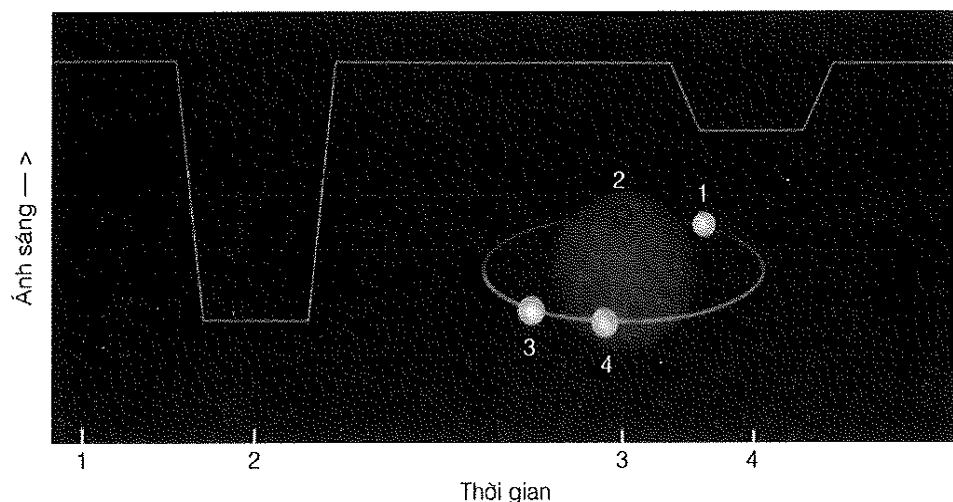
quan sát sự mờ nhạt của ánh sáng xảy ra khi Mặt Trăng đi qua trước một ngôi sao. Những gì các nhà thiên văn học đo đạc được (với độ chính xác cao) là thời gian cần thiết để cho độ sáng của sao hạ xuống tới zero (hay bằng không) khi rìa của Mặt Trăng di chuyển ngang qua nó. Bởi vì chúng ta biết Mặt Trăng di chuyển trên quỹ đạo của nó quanh Trái Đất nhanh đến mức nào, thì có thể tính toán đường kính góc của ngôi sao. Nếu khoảng cách tới ngôi sao cũng được biết, chúng ta có thể tính toán đường kính của nó bằng kilômét. Phương pháp này chỉ có hiệu quả đối với những sao sáng tương đối bất ngờ nằm dọc theo hoàng đạo, nơi mà Mặt Trăng (hay hiếm hoi hơn nhiều, một hành tinh) có thể đi qua phía trước chúng như được nhìn thấy từ Trái Đất.

◇ SAO ĐÔI CHE KHUẤT

Một kỹ thuật thứ hai để đo đạc đường

kính có tác dụng đối với các sao là thành viên của *sao đôi che khuất* (eclipsing binaries), và do đó chúng ta phải đi vòng một chút từ câu chuyện chính để khảo sát loại hệ thống sao này. Một số sao đôi nằm thẳng hàng theo một cách mà khi được nhìn từ Trái Đất, mỗi sao đi ngang qua phía trước sao còn lại trong mỗi vòng quay. Khi sao này ngăn chặn ánh sáng của sao kia, không cho nó đi tới Trái Đất, độ trung của hệ thống suy giảm, và các nhà thiên văn học nói rằng một *sự che khuất* (eclipse) đã xảy ra.

Sự khám phá về sao đôi che khuất đầu tiên giúp giải đáp một vấn đề nan giải dai dẳng từ lâu trong thiên văn học. Sao Algol, trong chòm sao Perseus (Anh Tiên), thay đổi độ sáng của nó một cách kỳ quặc nhưng đều đặn. Thông thường Algol là sao cấp hai, nhưng với những thời khoảng 2 ngày, 20 giờ, 49 phút nó mờ đi tới một phần ba độ sáng thường xuyên của nó. Sau một vài giờ nó sáng



Đường cong ánh sáng của một sao đôi che khuất: Đường cong ánh sáng này mô tả động thái của một sao đôi che khuất giả định với những sự che khuất toàn phần (một ngôi sao đi ngang qua ngay phía trước và phía sau sao còn lại). Các con số biểu thị các phần của đường cong ánh sáng tương ứng với nhiều vị trí của sao nhỏ hơn trong quỹ đạo của nó. Khi sao nhỏ đi ra phía sau sao lớn hơn, ánh sáng của nó bị ngăn chặn hoàn toàn, và do đó có một chỗ trũng sâu trong đường cong ánh sáng. Khi sao nhỏ hơn đi ra phía trước của sao lớn hơn, một số ít ánh sáng từ sao lớn hơn bị chặn lại, do đó có một chỗ trũng nhỏ hơn trong đường cong ánh sáng.

Cái tên Algol bắt nguồn từ tiếng Ả Rập “Ras al Ghul”, có nghĩa là “cái đầu của con quỷ” (the demon’s head). Từ “ghoul” trong tiếng Anh cũng có cùng một nguồn gốc. Như đã thảo luận trong Chương 1, nhiều sao sáng có tên Ả Rập do bởi trong các thời kỳ đen tối lâu dài ở châu Âu Trung Cổ, chính các nhà thiên văn Ả Rập bảo tồn và mở rộng kiến thức về bầu trời của người Hy Lạp và La Mã. Sự ám chỉ tới con quỷ là một phần trong truyền thuyết cổ Hy Lạp về vị anh hùng Perseus, người được tưởng niệm bằng chòm sao trong đó chúng ta tìm thấy Algol, và những cuộc phiêu lưu của chúng liên quan tới nhiều nhân vật có quan hệ với các chòm sao phương bắc.

Perseus là một trong số nhiều vị anh hùng bán thần là con của thần Zeus (Jupiter – trong ngôn ngữ La Mã), vua của các thần trong thần thoại Hy Lạp. Zeus có một đôi mắt đối đi khắp nơi và luôn là cha của người này hay người khác với một trinh nữ lọt vào “mắt xanh” của thần. (Perseus xuất phát từ “Per Zeus”, nghĩa là “fathered by Zeus” (do thần Zeus sinh ra). Lênh đênh phiêu bạt với mẹ, Perseus lớn lên trên một hòn đảo trong biển Égée. Vị vua ở đó, quan tâm đến mẹ của Perseus, cố tống khứ chàng trai trẻ đi bằng cách giao cho chàng một nhiệm vụ cực kỳ khó khăn.

Trong một giây phút kiêu hãnh thái quá, một phụ nữ trẻ đẹp tên là Medusa đã so sánh mái tóc vàng của mình với mái tóc của nữ thần Athena (Minerva với người La Mã), và Athena biến Medusa thành “nữ thần tóc rắn” (Gorgon), một người xấu xí với những con rắn quấn lấy nhau thành mái tóc và một gương mặt biến bất cứ ai nhìn vào nó đều thành đá. Perseus được giao nhiệm vụ trừ khử con quỷ, điều đó có vẻ như một cách khá chắc chắn để làm cho chàng khuất mắt mãi mãi.

Nhưng bởi vì Perseus có cha là một vị thần, một số vị thần khác đã ban cho chàng những lợi khí đối với công việc, kể cả cái khiên phản chiếu của Athena và đôi giày có cánh của Hermes (Mercury trong thần thoại La Mã). Bằng cách bay qua trên đầu Medusa và chỉ nhìn vào hình phản chiếu, Perseus đã có thể chặt đầu Medusa mà không hề nhìn trực tiếp. Mang đầu nàng (vẫn còn có thể biến những ai nhìn vào nó thành đá, ngay cả khi không còn được dính chặt với thân hình) theo Perseus tiếp tục những cuộc phiêu lưu khác.

Sau đó chàng đi tới một bờ biển đầy đá, nơi đó sự tự kiêu đã làm cho một gia đình khác trở thành sự khó chịu đối với các vị thần. Hoàng hậu Cassiopeia đã dám so sánh sắc đẹp của mình với sắc đẹp của các thần Nereid, các nữ thần biển là các con gái của thần Poseidon (Neptune trong thần thoại La Mã). (Ngày nay, một trong những mặt trăng của hành tinh Neptune được đặt tên theo các nữ thần biển) Poseidon giận dữ đến nỗi ông tạo ra một con quỷ biển có tên là Cetus để tàn phá vương quốc. Vua Cepheus, người chồng bị bao vây của Cassiopeia, tham vấn nhà tiên tri, ông ta bảo với nhà vua rằng nhà vua phải hy sinh người con gái xinh đẹp Andromeda của mình cho con quái vật ấy.

Khi Perseus đến nơi và nhìn thấy Andromeda bị xích vào một tảng đá gần bờ biển, đang chờ đợi số phận của mình, chàng cứu nàng bằng cách biến con quái vật thành đá. (Các học giả về thần thoại học thực sự truy nguyên cốt lõi của câu chuyện này ngược về những truyền thuyết xa xưa hơn từ thời Mesopotamia cổ đại, trong đó vị thần anh hùng Marduk chiến thắng một con quái thú tên là Tiamat. Về mặt biểu tượng, một vị anh hùng như Perseus hay Marduk thường có quan hệ với Mặt Trời, con quái vật với sức mạnh của đêm tối, và nàng trinh nữ xinh đẹp với vẻ đẹp mỏng manh của buổi bình minh, mà Mặt Trời trả lại tự do sau một đêm chiến đấu với thế lực của bóng tối).

Tất cả những nhân vật trong các truyền thuyết Hy Lạp này có thể được nhận ra như các chòm sao trên bầu trời, không nhất thiết giống như người trùng tên của chúng, nhưng được sử dụng để gợi nhớ câu chuyện. (Hãy xem bản đồ sao dành cho tháng 10, sau các Phụ Lục). Thí dụ, Cassiopeia (Thiên Hậu) kiêu ngạo bị kết án ở rất gần với thiên cực, vĩnh viễn xoay quanh bầu trời và treo ngược xuống mỗi mùa đông. Người cổ xưa hình dung Andromeda (Tiên Nữ) vẫn còn bị xích vào tảng đá. Perseus ở bên cạnh nàng với cái đầu của Medusa ngay thất lưng. Algol tượng trưng cho cái đầu của nữ thần tóc rắn này, và từ lâu đã bị gắn ghép với tai họa và vận rủi trong những câu chuyện như thế. Một số nhà phê bình đã phát biểu rằng sự thay đổi về độ sáng của sao (chúng có thể được quan sát bằng mắt trần) có thể đã góp phần vào tai tiếng của nó, đối với những người cổ xưa nhìn thấy một sự thay đổi như vậy như là một loại tai họa.

bình thường trở lại. Hiệu ứng này dễ dàng được nhìn thấy thậm chí không cần kính viễn vọng nếu bạn biết những gì để trông chờ – hãy cố gắng quan sát Algol nếu bạn tiếp cận với bầu trời trong trẻo mà không có quá nhiều sự ô nhiễm ánh sáng.

Năm 1783, một nhà thiên văn học trẻ người Anh, John Goodricke, tiến hành cuộc nghiên cứu cẩn thận về sao Algol. Cho dù Goodricke có thể không nghe được hay không nói được, ông đã thực hiện được một số khám phá quan trọng trong 21 năm trong cuộc đời ngắn ngủi của mình. Ông gợi ý rằng những sự biến đổi bất thường về độ sáng của Algol có thể là do một sao đồng hành không thể nhìn thấy được đi qua đều đặn ngay phía trước của sao sáng hơn và ngăn chặn ánh sáng của nó. Goodricke không có cách nào để kiểm chứng ý tưởng này, bởi vì mãi cho tới khoảng một thế kỷ sau mới có thiết bị đủ tốt để đo đặc quang phổ của Algol.

Năm 1889, nhà thiên văn học Đức Hermann Vogel chứng minh rằng, giống như Mizar, Algol là một sao đôi quang phổ. Các vạch phổ của Algol không được quan sát là gấp đôi bởi vì sao mờ hơn trong cặp sao phát ra quá ít ánh sáng so với sao sáng vì các vạch của nó quá rõ rệt trong quang phổ ghép.

Tuy nhiên, sự dịch chuyển tới lui theo chu kỳ của các vạch của sao sáng hơn cung cấp chứng cứ rằng nó đang quay chung quanh một sao đồng hành không nhìn thấy. (Các vạch của cả hai thành phần không cần được nhìn thấy đối với một sao được nhìn nhận như là một sao đôi quang phổ).

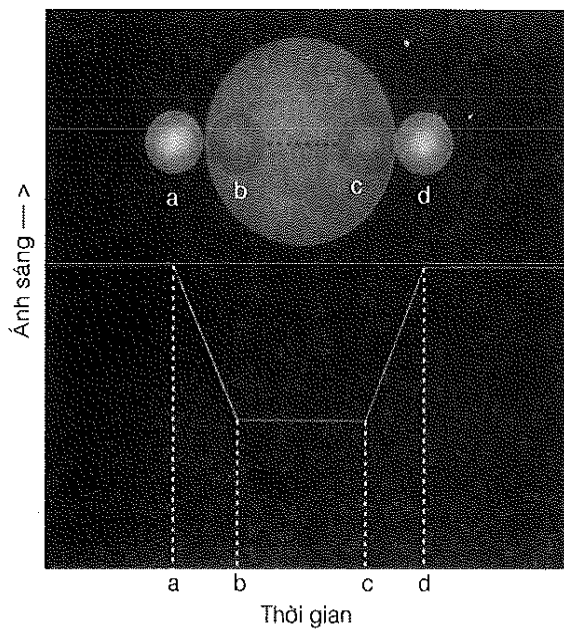
Sự khám phá rằng Algol là một sao đôi quang phổ đã xác nhận giả thuyết

của Goodricke. Mặt phẳng trong đó các sao quay tròn được xoay chuyển gần như tiếp giáp với đường ngắm của chúng ta, và mỗi sao đi qua phía trước sao còn lại trong từng vòng quay. (Sự che khuất của sao mờ hơn trong hệ sao Algol không thể dễ dàng nhận thấy bởi vì một phần của nó bị che phủ chỉ đóng góp một chút xíu vào toàn bộ ánh sáng của hệ thống. Tuy nhiên, sự che khuất thứ hai này có thể được phát hiện bằng các phép đo cẩn thận). Bất cứ sao đôi nào cũng tạo ra các sự che khuất nếu được nhìn từ chiều hướng thích hợp, gần bên mặt phẳng quỹ đạo của nó, để cho sao này đi qua phía trước sao kia.

Nhưng từ vị trí thuận lợi của chúng ta trên Trái Đất, chỉ có một vài hệ thống sao đôi được định hướng theo cách này.

♦ ĐƯỜNG KÍNH CỦA CÁC SAO ĐÔI CHE KHUẤT

Bây giờ chúng trở lại mạch chính trong câu chuyện, để bàn luận xem bằng cách nào tất cả những điều này có thể được sử dụng để đo đặc kích thước của các sao. Kỹ thuật liên quan tới việc hình thành một đường cong ánh sáng của một sao đôi che khuất, một đồ thị đánh dấu độ sáng thay đổi ra sao theo thời gian. Chúng ta hãy xem xét một hệ thống sao đôi giả định trong đó các sao rất khác nhau về kích thước, giống như các sao được minh họa trong hình. Để làm cho vấn đề dễ dàng hơn, chúng ta sẽ thừa nhận rằng quỹ đạo được quan sát một cách chính xác từ vị trí thuận lợi. Dẫu cho chúng ta không thể nhìn thấy hai sao tách biệt trong một hệ thống như thế, đường cong ánh sáng có thể nói cho chúng ta biết những gì đang diễn ra. Khi sao nhỏ mới bắt đầu đi qua phía sau sao lớn (một vị trí mà



Đường cong ánh sáng của sao đôi che khuất ở vị trí thuận lợi: Ở đây chúng ta thấy một đường cong ánh sáng của một sao đôi che khuất giả định, mà quỹ đạo của nó chúng ta quan sát một cách chính xác từ vị trí thuận lợi, trong đó hai sao hoàn toàn che khuất lẫn nhau. Từ những khoảng thời gian giữa các lần tiếp xúc, có thể ước tính đường kính của hai sao.

chúng ta gọi là *lần tiếp xúc đầu tiên* – “first contact”), độ sáng bắt đầu giảm đi. Sự che khuất trở thành toàn phần (sao nhỏ hoàn toàn bị che khuất) tại vị trí gọi là *lần tiếp xúc thứ hai*. Vào giai đoạn cuối của sự che khuất toàn phần (*lần tiếp xúc thứ ba*), sao nhỏ bắt đầu lộ dạng. Khi sao nhỏ đã đạt tới lần tiếp xúc cuối cùng, sự che khuất hoàn toàn chấm dứt.

Để hiểu điều này cho phép chúng ta đo đạc các đường kính như thế nào, hãy cẩn thận nhìn vào hình trên. Trong khoảng thời gian giữa các lần tiếp xúc thứ nhất và thứ hai, sao nhỏ đã di chuyển một khoảng cách ngang bằng với đường kính của chính nó. Trong khoảng thời gian từ sự tiếp xúc lần thứ nhất tới lần thứ ba, sao nhỏ đã di chuyển một khoảng cách bằng với đường kính của

sao lớn. Nếu các vạch phổ của cả hai sao được nhìn thấy trong quang phổ của sao đôi, tốc độ của sao nhỏ so với sao lớn có thể được đo từ sự dịch chuyển Doppler. Nhưng việc biết được tốc độ sao nhỏ đang di chuyển và nó mất bao lâu để trải qua một khoảng cách nào đó có thể nói cho chúng ta biết độ dài của khoảng cách đó – trong trường hợp này là đường kính của các sao. Tốc độ, nhân với khoảng thời gian từ lần tiếp xúc thứ nhất tới lần thứ hai, mang lại đường kính của sao nhỏ. Hãy nhân nó với thời gian giữa lần tiếp xúc thứ nhất và lần thứ ba, rồi bạn có đường kính của sao lớn.

✧ ĐƯỜNG KÍNH SAO

Kết quả của các phép đo kích thước sao xác nhận rằng hầu hết các sao gần xấp xỉ với kích thước của Mặt Trời – với các đường kính tiêu biểu khoảng một triệu kilômét. Các sao mờ, nói chung là nhỏ hơn các sao sáng chói hơn. Tuy nhiên, có một số ngoại lệ đầy ấn tượng.

Một vài sao rất sáng, là các sao cũng có màu đỏ (biểu thị các nhiệt độ bề mặt tương đối thấp), rốt cuộc là các sao thật lớn. Những sao này được gọi là *sao khổng lồ hay sao siêu khổng lồ* (giants or super-giants). Một thí dụ là Betelgeuse, sao sáng nhất thứ nhì trong chòm sao Orion và là một trong số một chục sao sáng nhất trong bầu trời chúng ta. Đường kính của nó lớn hơn 10 AU (đơn vị thiên văn), đủ lớn để lấp đầy toàn bộ phần bên trong hệ mặt trời gần như ra tới Sao Mộc.

Trong Chương 13, chúng ta sẽ xem xét chi tiết về quá trình tiến hoá dẫn tới sự hình thành của các sao khổng lồ và siêu khổng lồ.

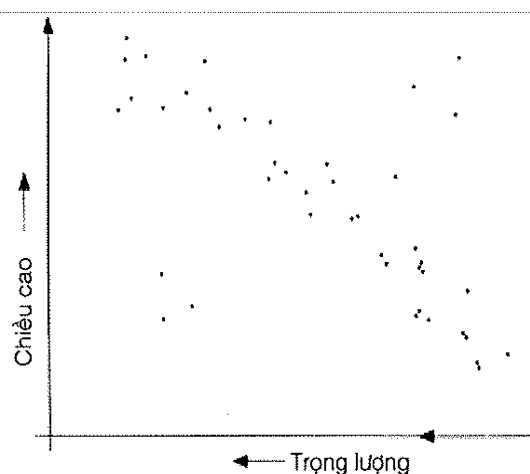
9.4 SƠ ĐỒ H-R

Trong chương này và chương trước chúng ta đã trình bày một số các đặc điểm qua đó có thể phân loại các sao, và các đặc điểm này được đo đạc bằng cách nào. Các ý tưởng được tóm lược trong bảng. Chúng ta cũng đã đưa ra một thí dụ về mối quan hệ giữa hai trong số các đặc điểm trong quan hệ khối lượng – độ trung đã được thảo luận. Khi các đặc điểm của nhiều sao được đo đạc vào đầu thế kỷ XX, các nhà thiên văn học có thể bắt đầu một cuộc nghiên cứu sâu hơn đối với các mô hình và các mối quan hệ trong các dữ liệu.

Để giúp hiểu được loại quan hệ nào có thể được tìm thấy, chúng ta hãy quay lại một chút với những nhà du hành thông minh từ xa xôi đang cố gắng nhận thức dữ liệu về con người. Là các khoa học gia thông minh, họ có thể cố gắng đánh dấu dữ kiện của mình theo nhiều cách khác nhau. Giả sử họ lập một đồ thị về độ cao của mẫu người hợp lý so với trọng lượng. Một đồ thị như vậy có một số đặc điểm thú vị. Cách thức chúng ta đã chọn để trình bày dữ liệu của chúng ta, độ cao

tăng lên phía trên, trong khi trọng lượng gia tăng về bên trái. Hãy lưu ý rằng con người không được phân bố một cách bất kỳ trong đồ thị này: Hầu hết rơi dọc theo một chuỗi đi từ phần cao hơn bên trái tới phần thấp hơn bên phải.

Chúng ta có thể kết luận từ đồ thị này rằng, nói chung, người cao hơn thì nặng hơn, trong lúc người thấp hơn thì nhẹ hơn. Điều này có nghĩa là nếu bạn quen



Đánh dấu độ cao ngược với trọng lượng: Đồ thị về độ cao và trọng lượng của một nhóm đại diện cho con người. Hầu hết nằm dọc theo một "chuỗi sao chính" biểu thị cho con người bình thường, nhưng có một vài ngoại lệ.

Đo Đạc Các Đặc Điểm của Sao

Đặc Điểm	Kỹ Thuật
Nhiệt độ bề mặt	1. Xác định màu sắc (rất sơ lược) 2. Đo đặc quang phổ và nắm bắt loại phổ
Thành phần hoá học	Xác định các vạch nào có mặt trong quang phổ
Độ trưng	Đo độ sáng biểu kiến và bù trừ cho khoảng cách
Vận tốc xuyên tâm	Đo sự dịch chuyển Doppler trong quang phổ
Sự xoay tròn	Đo độ rộng của các vạch phổ
Khối lượng	Đo chu kỳ và đường cong vận tốc xuyên tâm của các sao đôi quang phổ
Đường kính	1. Đo lường cách thức ánh sáng sao bị ngăn chặn bởi Mặt Trăng 2. Đo đường cong ánh sáng và sự dịch chuyển Doppler đối với các sao đôi che khuất

Khi Henry Norris Russell tốt nghiệp Đại học Princeton, công trình của ông đã rực rỡ đến nỗi toàn khoa quyết định tạo ra một cấp mới về học vị danh dự vượt lên trên ngay cả “hạng nhất” (summa cum laude: có nghĩa là học vị hàn lâm trên trung bình vào thời điểm tốt nghiệp từ một trường đại học, hạng cao nhất trong ba hạng: đứng đầu là summa cum laude, kế là magna cum laude, cuối cùng là cum laude) đối với ông. Các sinh viên của ông sau này nhớ về ông như một người suy nghĩ nhanh gấp ba lần bất kỳ ai khác. Trí nhớ của ông thật phi thường, ông có thể viện dẫn chính xác thật nhiều bài thơ, trọn bộ Thánh Kinh, các bảng hàm số toán học, và hầu hết bất cứ điều gì ông đã học về thiên văn học. Ông là một người nóng nảy, tích cực, ganh đua, phê phán, và rất lưu loát – có khuynh hướng chi phối mọi cuộc họp mặt ông tham dự. Về dáng vẻ bên ngoài ông là một sản phẩm lỗi thời của thế kỷ XIX, mang đôi giày đen cao cổ và cổ áo hồ cứng, và mang theo một cây dù mỗi ngày trong cuộc đời mình. 264 bài báo của ông đã có ảnh hưởng hết sức lớn-lao về nhiều lãnh vực của thiên văn học.

Sinh năm 1877, con trai của một mục sư của Giáo hội Trưởng Lão (Presbyterian minister), Russell đã sớm chứng tỏ sự hứa hẹn. Khi ông lên 12 tuổi, gia đình ông gửi ông đến sống với một người cô ở Princeton để có thể nhập học vào trường trung học cơ sở hàng đầu. Ông sống trong cùng một ngôi nhà trong thành phố đó tới khi mất vào năm 1957 (chỉ bị gián đoạn bởi cuộc lưu trú ngắn ngủi ở châu Âu liên quan tới luận văn tốt nghiệp). Ông say sưa kể lại rằng cả mẹ ông và bà ngoại ông đã đoạt các giải thưởng về toán học, và ông có lẽ đã thừa hưởng tài năng trong lãnh vực ấy từ bên ngoại.

Trước Russell, các nhà thiên văn học Hoa Kỳ chủ yếu tận tụy với việc nghiên cứu theo dõi các vì sao và lập các mục lục về đặc tính của

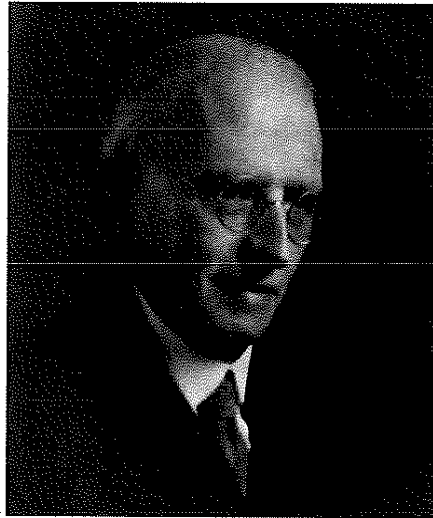
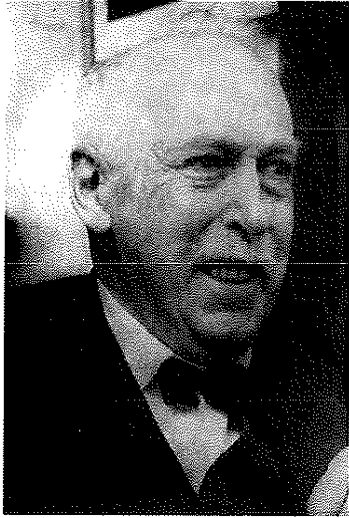
chúng – đặc biệt quang phổ của chúng (như trình bày trong Chương 8). Russell bắt đầu nhận thấy rằng việc giải thích các quang phổ của sao đòi hỏi một sự hiểu biết sâu sắc tinh tế hơn nhiều về vật lý nguyên tử, một đối tượng nghiên cứu đang được triển khai bởi các nhà khoa học châu Âu trong những năm 1910 và 1920. Russell lao vào một cuộc truy tìm để xác định các điều kiện vật lý trong quang phổ của chúng; công trình được kế tục bởi một thế hệ các nhà thiên văn học, mà nhiều người được Russell và các cộng sự của ông huấn luyện.

Russell cũng đã thực hiện những đóng góp quan trọng trong việc nghiên cứu các sao đôi và phép đo khối lượng sao, nguồn gốc của hệ sao, khí quyển của các hành tinh, và phép đo các khoảng cách trong thiên văn học, trong số những lãnh vực khác. Ông là vị giáo sư có ảnh hưởng và là người truyền bá tri thức, khi viết về các chủ đề thiên văn học cho tạp chí *Scientific American* trong hơn 40 năm. Ông và hai đồng nghiệp đã viết một cuốn sách giáo khoa dành cho các lớp học thiên văn của trường đại học. Cuốn sách này đã đặt nền tảng cho loại sách giáo khoa bạn đang đọc, nó không chỉ đưa ra các sự kiện về thiên văn học mà còn giải thích chúng.

Harlow Shapley, giám đốc Đài quan sát Trường đại học Harvard, gọi Russell là “trưởng khoa của các nhà thiên văn học Hoa Kỳ.” Ông thực sự được nhìn nhận như người lãnh đạo về lãnh vực này trong nhiều năm, và được các đồng nghiệp từ khắp nơi trên thế giới tham vấn về nhiều vấn đề thiên văn học. Ngày nay, một trong những sự công nhận cao quý nhất mà một nhà thiên văn học có thể nhận được là một phần thưởng thuộc Hội Thiên văn học Hoa Kỳ (American Astronomical Society) gọi là Giải thưởng Henry Norris Russell, được thành lập để tưởng nhớ ông.

thuộc với cấu trúc của con người: Tiêu biểu là, nếu chúng ta có xương lớn hơn, chúng ta càng có nhiều thịt hơn để lấp

đầy khung sườn lớn hơn. Điều đó không chính xác về mặt toán học – nhưng nó không phải là một quy luật tồi. Và, dĩ



Ejnar Hertzsprung (1873–1976) và Henry Norris Russell (1877–1957) đã khám phá một cách riêng rẽ mối quan hệ giữa độ trung và nhiệt độ bề mặt của các sao, được tóm lược trong những gì mà ngày nay gọi là sơ đồ H – R.

nhiên, có một số ngoại lệ đầy ấn tượng. Thỉnh thoảng bạn thấy một người thấp mà lại quá béo và do đó sẽ càng nằm về phía dưới đáy bên trái của sơ đồ hơn là nằm trong chuỗi trung bình. Hay bạn có thể có một kiểu dáng thời trang rất cao, rất gầy với chiều cao lớn nhưng cân lượng tương đối nhỏ, người đó sẽ được tìm thấy gần phần trên bên phải. Một sơ đồ tương tự đã được tìm thấy cực kỳ hữu dụng cho việc am hiểu đời sống của các sao.

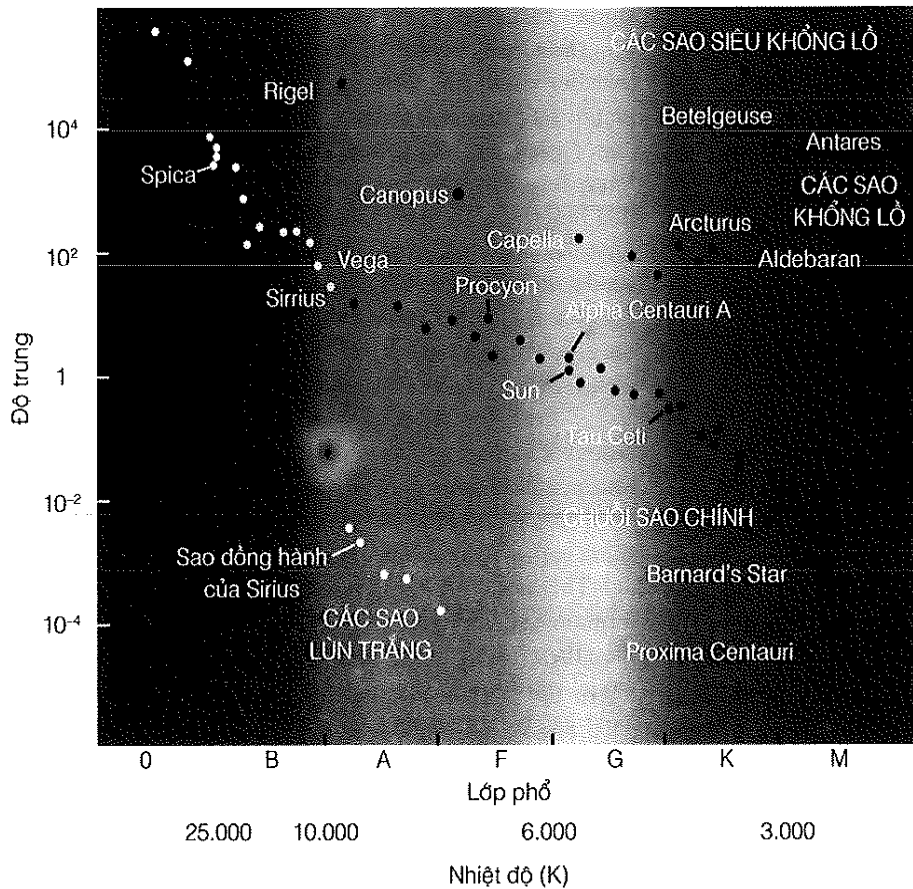
Năm 1913, nhà thiên văn học Hoa Kỳ Henry Norris Russell vẽ đồ thị các độ trung của các sao so với các lớp phổ của chúng (một phương thức mô tả nhiệt độ bề mặt của chúng). Cuộc nghiên cứu này, và một cuộc nghiên cứu độc lập tương tự năm 1911 do nhà thiên văn học Đan Mạch Ejnar Hertzsprung tiến hành, đã dẫn đến một khám phá vô cùng quan trọng rằng nhiệt độ và độ trung của sao có quan hệ với nhau.

♦ CÁC ĐẶC TRƯNG CỦA SƠ ĐỒ H – R

Theo Hertzsprung và Russell, chúng ta hãy vẽ đồ thị nhiệt độ (hay lớp phổ) của một nhóm sao gần được lựa chọn so với độ trung của chúng và nhìn xem

những gì chúng ta tìm thấy. Một sơ đồ như thế thường được gọi là sơ đồ Hertzsprung–Russell, viết tắt là sơ đồ H – R (H–R diagram). Nó là một trong những sơ đồ quan trọng nhất và được sử dụng rộng rãi trong thiên văn học, với những ứng dụng mở rộng vươn ra xa hơn những mục đích qua đó nó được phát triển đầu tiên cách đây gần một thế kỷ.

Thông thường để vẽ sơ đồ H – R theo cách thức như vậy thì nhiệt độ gia tăng về phía bên trái và độ trung về phía trên đỉnh. Hãy lưu ý đến sự tương tự với sơ đồ của chúng ta về chiều cao và trọng lượng của con người. Các ngôi sao, giống như con người, không được phân bố qua sơ đồ một cách ngẫu nhiên, như chúng sẽ là thế, nếu chúng phô bày tất cả sự phối hợp về độ trung và nhiệt độ. Trái lại, chúng ta thấy rằng các chùm sao tụ hợp vào những phần nào đó của sơ đồ H – R. Đại đa số được sắp hàng dọc theo một chuỗi hẹp chạy từ bên trên phía trái (nóng, chói sáng mạnh) tới bên dưới phía phải (lạnh, chói sáng yếu hơn). Dây điểm này được gọi là chuỗi sao chính (main sequence). Nó thể hiện một mối quan hệ giữa nhiệt độ và độ trung được



Sơ đồ H – R đối với một mẫu sao được chọn: Trong những sơ đồ như thế, độ trung được đánh dấu dọc theo trục đứng. Dọc theo trục ngang chúng ta có thể đánh dấu nhiệt độ hay loại phổ. Vài sao sáng nhất được xác định bằng tên. Hầu hết các sao rơi vào chuỗi sao chính.

hầu hết các sao tuân theo. Chúng ta có thể tóm lược mối quan hệ này bằng cách nói rằng các sao nóng hơn chiếu sáng mạnh hơn các sao lạnh hơn.

Tuy nhiên, một số sao nằm bên trên chuỗi sao chính thức trên sơ đồ H – R, ở vùng trên cao phía phải (lạnh, độ trung cao).

Một ngôi sao ngay lập tức có thể trở thành lạnh bằng cách nào, nghĩa là mỗi vị trí trên sao không sản sinh ra toàn bộ năng lượng nhiều đến thế, và tuy vậy rất sáng? Cách thức duy nhất đối với ngôi sao là phải to lớn đồ sộ – để có nhiều vị trí trên bề mặt của nó đến nỗi hiệu suất năng lượng toàn phần có thể

vẫn còn lớn. Các sao này phải là các sao khổng lồ hay siêu khổng lồ, các sao có đường kính rất lớn mà chúng ta đã bàn luận ở trên.

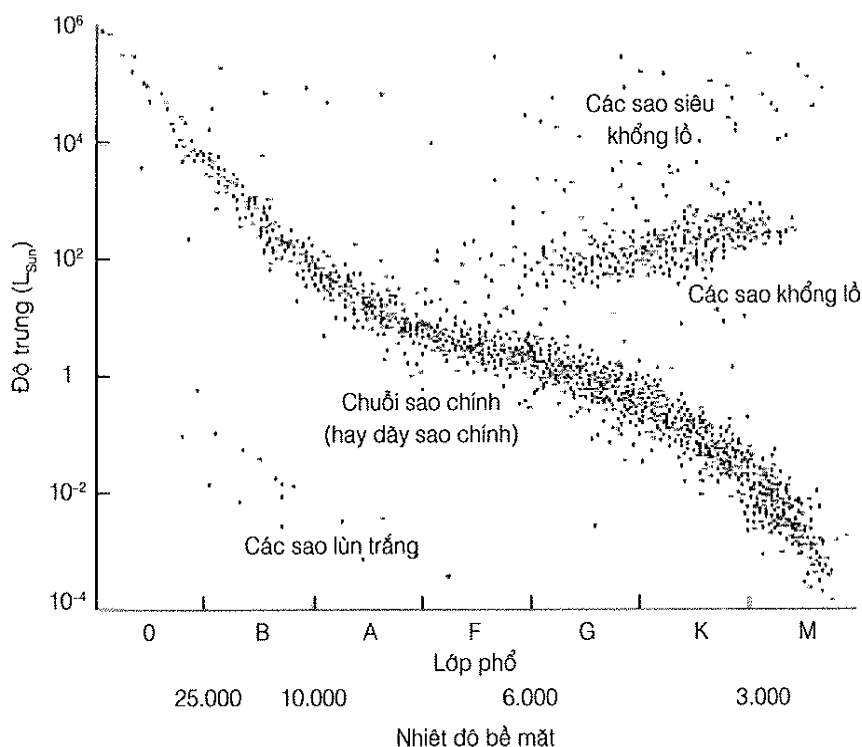
Các sao ở góc thấp hơn bên trái (nóng, độ trung thấp) của sơ đồ, mặt khác, có nhiệt độ bề mặt cao, để cho mỗi điểm trên ngôi sao nhất định tỏa ra nhiều năng lượng. Thế thì toàn bộ ngôi sao có thể bị mờ bằng cách nào? Điều chắc chắn là nó có diện tích bề mặt rất nhỏ; các sao như thế có tên là các sao lùn trắng (white dwarfs) (trắng bởi vì các màu sắc pha trộn lẫn nhau để làm cho chúng trông hơi xanh trắng). Chúng ta sẽ nói thêm về các vật thể làm bối rối

này. Hình dưới là một sơ đồ H – R giản lược dành cho kiểu mẫu chung của các sao, được phác họa để làm cho các loại rõ ràng hơn.

Bây giờ hãy suy nghĩ trở lại về các cuộc khảo sát sao. Vẽ một sơ đồ H – R, thật sự là đại diện của tất cả các sao, là một điều khó khăn, bởi vì hầu hết các sao mờ nhạt đến nỗi chúng ta không thể nhìn thấy những sao nào nằm ngoài vùng lân cận sát bên chúng ta. Các sao đánh dấu trong hình trang trước được lựa chọn bởi vì khoảng cách của chúng đã được biết. Kiểu mẫu này bỏ sót nhiều sao mờ nhạt thực sự nằm ở gần bên nhưng các khoảng cách của chúng chưa được đo đạc, do đó nó thể hiện ít các sao mờ trên chuỗi sao chính hơn so với một sơ đồ “công bằng hợp lý”. Để trở thành đại

diện cho dân số sao, một sơ đồ H – R sẽ được đánh dấu đối với tất cả các sao trong phạm vi một khoảng cách nhất định nào đó. Rủi thay, kiến thức của chúng ta chỉ hoàn toàn hợp lý đối với các sao trong phạm vi từ 10 tới 20 LY của Mặt Trời, trong số chúng không có các sao khổng lồ và siêu khổng lồ. Tuy nhiên, từ nhiều cuộc nghiên cứu (và hơn nữa hiện nay có thể được thực hiện với các kính viễn vọng mới và mạnh hơn) chúng ta ước tính rằng toàn bộ khoảng 90% các sao nằm trong phần không gian của chúng ta là các sao trong chuỗi sao chính, khoảng 10% là sao lùn trắng, và ít hơn 1% là các sao khổng lồ và siêu khổng lồ.

Những ước tính này có thể được sử dụng trực tiếp để hiểu được sự sống của các sao. Giả sử các nhà du hành đến từ



Lược đồ H – R đối với đa số sao: 90% toàn thể các sao trên một sơ đồ như thế này rơi dọc theo một dãy hẹp gọi là chuỗi sao chính. Một thiểu số các sao được phát hiện ở phần trên bên phải; chúng đều lạnh và sáng và phải là các sao khổng lồ. Một số sao rơi vào phần dưới bên trái của sơ đồ; chúng đều nóng và mờ, và phải là các sao lùn.

xa xôi quay trở lại thị trấn của bạn và lần này tập trung sự chú ý vào khu vực những người trẻ trung, từ 6 tới 18 tuổi. Các toán khảo sát tản ra và thu thập dữ liệu về nơi những người trẻ tuổi như vậy được tìm thấy vào toàn bộ thời gian trong một ngày 24 giờ. Một số người được tìm thấy ở tiệm bánh pizza, một số khác ở nhà, một số khác tại rạp chiếu bóng, nhiều người ở trường học. Sau khi khảo sát một số lượng rất lớn những người trẻ tuổi, các toán phi hành gia xác định rằng, trung bình qua quá trình 24 giờ, một phần ba những người trẻ tuổi được tìm thấy trong nhà trường.

Họ có thể giải thích kết quả này ra sao? Phải chăng điều đó có nghĩa rằng hai phần ba học sinh là những kẻ lười biếng trốn học và một phần ba còn lại trải qua toàn bộ thời gian ở nhà trường? Không, chúng ta phải nhớ kỹ rằng các toán nghiên cứu đếm các thanh thiếu niên qua suốt 24 giờ. Một số toán nghiên cứu làm việc vào ban đêm, khi hầu hết những người trẻ tuổi đang ngủ say ở nhà, và một số toán khác hoạt động vào xế trưa, khi họ đang trên đường từ trường về nhà (và hầu như chắc chắn ăn bánh pizza).

Nếu cuộc khảo sát thực sự là tiêu biểu, tuy nhiên, chúng ta có thể kết luận rằng nếu một tiêu chuẩn trung bình một phần ba của toàn thể những người trẻ tuổi được tìm thấy trong nhà trường, thế thì những người tuổi từ 6 tới 18 phải trải qua khoảng một phần ba thời gian của họ ở nhà trường.

Chúng ta có thể thực hiện một điều gì đó tương tự đối với các sao. Chúng ta nhận thấy rằng trung bình 90% toàn bộ các sao được phân bố trên chuỗi sao chính của sơ đồ H – R. Nếu chúng ta có

thể xác định một hoạt động hay một giai đoạn sống nào đó với chuỗi sao chính, điều tiếp theo là các sao ấy phải trải qua 90% sự sống của chúng trong hoạt động hay giai đoạn sống ấy.

♦ TÌM HIỂU CHUỖI SAO CHÍNH

Trong Chương 7 chúng ta đã nói về Mặt Trời như một ngôi sao tiêu biểu. Chúng ta đã thấy các sao chẳng hạn như Mặt Trời “kiếm sống” bằng cách biến đổi hydro thành helium nằm sâu bên trong chúng qua quá trình tổng hợp hạt nhân, do đó tạo ra năng lượng. Chúng ta nhận thấy sự tổng hợp ấy là phương tiện qua đó một ngôi sao có thể tự duy trì trong sự cân bằng và tiếp tục chiếu sáng. Sự tổng hợp hydro thành helium là một nguồn cung cấp năng lượng tuyệt vời dành cho một ngôi sao, bởi vì phần lớn hơn của mỗi sao bao gồm các nguyên tử hydro.

Các mô hình lý thuyết của chúng ta (được xây dựng trên máy điện toán như được mô tả trong Chương 7) về việc các sao tiến hoá ra sao qua thời gian cho chúng ta biết rằng một sao tiêu biểu sẽ trải qua khoảng 90% cuộc đời của nó để tổng hợp khí hydro dồi dào trong nhân của nó thành helium. Điều này là một sự giải thích hợp lý về lý do tại sao 90% toàn thể các sao được phát hiện trong chuỗi sao chính trong sơ đồ H – R. Nhưng nếu tất cả các sao trên chuỗi sao chính đang thực hiện cùng một sự việc (tổng hợp hydro), tại sao chúng được phân bố dọc theo một chuỗi điểm? Nghĩa là, tại sao chúng khác biệt về độ trung và nhiệt độ bề mặt (đó là những gì chúng ta đang đánh dấu trên sơ đồ H – R)?

Để giúp hiểu rõ các sao trên dãy sao chính khác biệt nhau như thế nào, chúng ta có thể sử dụng một trong số

các kết quả quan trọng nhất từ những cuộc nghiên cứu của chúng ta về các sao mẫu. Các nhà thiên văn vật lý đã có thể chứng minh rằng cấu trúc của sao nằm trong trạng thái cân bằng và thu nhận toàn bộ năng lượng của chúng từ sự tổng hợp hạt nhân được xác định hoàn toàn và duy nhất bởi chỉ hai đại lượng – khối lượng toàn phần và thành phần cấu tạo. Sự kiện này cung cấp một sự diễn giải về nhiều đặc trưng của sơ đồ H – R.

Hãy hình dung một chùm sao hình thành từ một đám mây “vật liệu thô sơ” giữa các sao mà thành phần hoá học thì tương tự như Mặt Trời. Trong một đám mây như vậy, tất cả sự ngưng tụ để trở thành các sao sẽ bắt đầu với cùng các thành phần hoá học và sẽ chỉ khác biệt nhau về khối lượng. Bây giờ giả sử rằng chúng ta tính toán một mô hình của mỗi sao trong thời gian, qua đó nó trở thành ổn định và thu nhận năng lượng của nó từ các phản ứng hạt nhân, nhưng trước khi nó có thời gian để thay đổi thành phần cấu tạo của nó có thể được coi như là kết quả của các phản ứng này.

Các mô hình được tính toán dành cho các sao cho phép chúng ta xác định độ trung của chúng, nhiệt độ, và kích thước.

Nếu chúng ta đánh dấu các kết quả từ các mô hình – một điểm cho mỗi kiểu sao – trên sơ đồ H – R, chúng ta có được một cái gì đó trông giống như chuỗi sao chính chúng ta đã thấy đối với các sao thực sự.

Và đây là những gì chúng ta nhận được khi thực hiện điều này. Kiểu sao với khối lượng lớn nhất thì nóng nhất và chói sáng nhất, và chúng được phân bố ở phần trên bên trái của sơ đồ.

Các kiểu sao khác (các sao mô hình) đều nằm dọc theo một đường chạy dài chéo ngang qua sơ đồ. *Dãy chính thức hoá ra là một chuỗi của các khối lượng sao.*

Điều này có một ý nghĩa nào đó. Hầu hết các sao đồ sộ có lực hút mạnh nhất, và do đó có thể nén vùng trung tâm của chúng tới mức độ lớn nhất. Điều này có nghĩa là chúng nóng nhất ở bên trong và tốt nhất với sự phát sinh năng lượng từ các phản ứng hạt nhân nằm sâu bên trong. Điều này có nghĩa rằng chúng chiếu sáng với độ trung lớn nhất và có nhiệt độ bề mặt nóng nhất. Đến lượt các sao với khối lượng nhỏ nhất, thì lạnh nhất ở bên trong và hiệu quả kém nhất trong việc sản sinh năng lượng. Do vậy chúng chói sáng thấp nhất và lạnh

Các Đặc Điểm của Các Sao Trên Chuỗi Sao Chính				
Loại phổ	Khối lượng (Mặt Trời = 1)	Độ trung (Mặt Trời = 1)	Nhiệt độ	Bán kính (Mặt Trời = 1)
O5	40	7×10^5	40.000 K	18
B0	16	$2,7 \times 10^5$	28.000 K	7
A0	3,3	55	10.000 K	2,5
F0	1,7	5	7.500 K	1,4
G0	1,1	1,4	6.000 K	1,1
K0	0,8	0,35	5.000 K	0,8
M0	0,4	0,05	3.500 K	0,6

nhất ở bề mặt. Mặt Trời nằm đâu đó ở giữa các cực trị này (như bạn có thể thấy trong hình). Các đặc điểm của các sao đại diện trên dãy sao chính được liệt kê trong bảng.

Lưu ý rằng điều này chính xác là những gì chúng ta nhận thấy trước đây, khi xem xét quan hệ khối lượng – độ trung đối với các sao mà khối lượng và độ trung đã biết rõ. Chúng ta đã quan sát thấy rằng 90% tất cả các sao hình như tuân theo mối quan hệ này; đây là 90% toàn bộ các sao nằm trên chuỗi sao chính trong sơ đồ H – R của chúng ta. Các mô hình và các sự quan sát của chúng ta phù hợp với nhau.

Còn về các sao khác trên sơ đồ H–R thực sự thì thế nào – các sao khổng lồ và siêu khổng lồ và các sao lùn trắng? Như chúng ta sẽ thấy trong vài chương kế tiếp, đây là những gì các sao trên chuỗi sao chính hoá thành khi chúng già; chúng là những giai đoạn sau trong sự sống của sao. Khi một sao tiêu thụ nhiên liệu hạt nhân của nó, nguồn năng lượng của nó thay đổi, thành phần hoá học và cấu trúc bên trong của nó cũng thay đổi. Những thay đổi này làm cho sao biến đổi độ trung và nhiệt độ bề mặt của nó đến mức nó không còn nằm trên chuỗi sao chính của sơ đồ.

♦ CÁC CỰC TRỊ VỀ ĐỘ TRUNG, ĐƯỜNG KÍNH, VÀ MẬT ĐỘ CỦA SAO

Chúng ta có thể sử dụng sơ đồ H – R để khảo sát các cực trị về kích thước, độ trung, và mật độ được tìm thấy trong số các sao. Những sao cực độ như thế có thể dạy cho chúng ta rất nhiều về cách thức các sao hoạt động. Thí dụ, chúng ta đã thấy rằng các sao đỏ sộ nhất trên dãy sao chính là những sao sáng nhất.

Chúng ta biết về một vài sao tốt cùng chói sáng hơn Mặt Trời một triệu lần, với khối lượng hơn 100 lần so với Mặt Trời. Những sao sáng cùng cực này, nằm phần trên bên trái của sơ đồ H–R, là những sao rất xanh cực nóng của loại phổ O. Đây là các sao sẽ rõ rệt nhất ở các khoảng cách bao la trong vũ trụ.

Các sao siêu khổng lồ lạnh trong góc trên bên phải của sơ đồ H–R thì sáng gấp 10.000 lần so với Mặt Trời. Hơn nữa, các sao này có đường kính lớn hơn rất nhiều so với Mặt Trời. Như đã bàn luận bên trên, một số sao siêu khổng lồ lớn đến mức nếu hệ mặt trời có thể được đặt vào giữa một sao, bề mặt của sao sẽ nằm xa hơn quỹ đạo của Sao Hỏa. Chúng ta sẽ phải thắc mắc, trong các chương tới, quá trình nào có thể làm cho một sao phình ra tới một kích thước khổng lồ như thế, và các sao “phình to” này có thể kéo dài trong trạng thái phồng to của chúng bao lâu.

Ngược lại, các sao đỏ, lạnh, độ trung thấp rất phổ biến, ở đoạn thấp hơn của chuỗi sao chính thì nhỏ hơn và đặc hơn Mặt Trời. Thí dụ về một sao lùn đỏ như thế là Ross 614B, với nhiệt độ bề mặt 2700 K và chỉ bằng 1/2000 độ trung của Mặt Trời. Chúng ta gọi một sao như thế là sao lùn bởi vì đường kính của nó chỉ bằng 1/10 đường kính của Mặt Trời. Một sao với độ trung như thế cũng có một khối lượng thấp (khoảng 1/12 khối lượng Mặt Trời). Sự kết hợp của khối lượng và đường kính có nghĩa là ngôi sao có một mật độ trung bình khoảng 80 lần mật độ của Mặt Trời. Mật độ của nó phải cao hơn, thực vậy, so với mật độ của bất cứ chất rắn nào được biết được tìm thấy trên bề mặt Trái Đất. (Dù vậy, sao được cấu tạo hoàn toàn bằng

chất khí, bởi vì phần trung tâm của nó rất nóng).

Tuy nhiên, các sao mờ đỏ trên dãy chính không phải là các sao với mật độ tột cùng nhất. Các sao lùn trắng, ở góc trên bên trái của sơ đồ H-R, có mật độ còn lớn hơn nhiều lần.

♦ SAO LÙN TRẮNG

Sao lùn trắng đầu tiên được phát hiện năm 1862. Được gọi là Sirius B, nó hình thành một hệ thống sao đôi với Sirius A, vì sao hiện ra sáng nhất trên bầu trời. Nó đã tránh né sự khám phá và phân tích trong một thời gian dài bởi vì ánh sáng mờ nhạt của nó có khuynh hướng bị mất đi trong sự chói sáng rực rỡ của sao Sirius (sao Thiên Lang) bên cạnh. (Bởi vì Sirius thường được gọi là Khuyển Tinh (Dog Star) – được phân bố trong chòm sao Canis Major, Đại Khuyển (Big Dog) – Sirius B đôi khi có biệt danh là Tiểu Khuyển [Pup]).

Hiện nay chúng ta đã tìm thấy hàng trăm sao lùn trắng. Một thí dụ thú vị về một sao lùn trắng tiêu biểu là sao gần bên 40 Eridani B. Bề mặt của nó tương đối nóng 12.000 K, nhưng độ trung của nó chỉ là $1/275 L_{\text{Sun}}$. Các tính toán chứng tỏ rằng bán kính của nó chỉ bằng 1,4% bán kính của Mặt Trời, hay khoảng tương đương với bán kính của Trái Đất, và thể tích của nó là $2,5 \times 10^{-6}$ thể tích của Mặt Trời. Tuy nhiên, khối lượng của nó bằng 0,43 lần khối lượng Mặt Trời, chỉ nhỏ hơn phân nửa một chút thôi. Để nhét một khối lượng to lớn như vậy vào một thể tích nhỏ bé đến thế, mật độ của sao phải vào khoảng gấp 170.000 lần mật độ của Mặt Trời, hay hơn 200.000 g/cm³. Một muỗng cà phê đầy chất liệu này sẽ có một khối lượng chừng 50

tấn! Với mật độ đó, vật chất không thể tồn tại trong trạng thái thông thường; chúng ta sẽ khảo sát động thái đặc biệt của loại vật chất này trong Chương 14. Còn bây giờ, chúng ta sẽ chỉ lưu ý rằng các sao lùn trắng là các sao đang chết, đang đi đến đoạn cuối của cuộc sống của chúng.

Nhà thiên văn vật lý người Anh, Arthur Eddington mô tả sao lùn trắng đầu tiên theo cách sau đây: “Thông điệp của bạn đồng hành của Sirius, khi được giải mã, nói: “Tôi được cấu tạo từ chất liệu đậm đặc hơn 3000 lần so với bất kỳ thứ gì bạn từng bắt gặp. Một tấn vật liệu của tôi sẽ là một cục bé nhỏ bạn có thể bỏ vào trong một cái hộp diêm”. Câu trả lời hầu hết của chúng ta vào năm 1914 là, “Đừng nói những điều vô nghĩa”. Tuy nhiên, ngày nay, các nhà thiên văn học không chỉ chấp nhận rằng các sao đậm đặc như sao lùn trắng tồn tại, mà còn phát hiện các vật thể thậm chí còn đậm đặc hơn trong cuộc nghiên cứu về sự tiến hoá của các loại sao khác nhau.

TÓM LƯỢC

9.1 Để hiểu rõ các đặc tính của sao, chúng ta phải thực hiện các cuộc nghiên cứu trên diện rộng. Chúng ta nhận thấy các sao hiện ra sáng nhất, trước tiên là bởi vì chúng thật sự sáng, không phải bởi vì chúng gần nhất với chúng ta. Hầu hết những sao gần nhất thực sự mờ yếu đến độ chúng có thể được nhìn thấy chỉ bằng sự trợ giúp của kính viễn vọng. Độ trung của sao nằm trong phạm vi từ $10^{-4} L_{\text{Sun}}$ tới hơn $10^6 L_{\text{Sun}}$. Các sao với độ trung thấp thì phổ biến hơn rất nhiều so với các sao có độ trung cao.

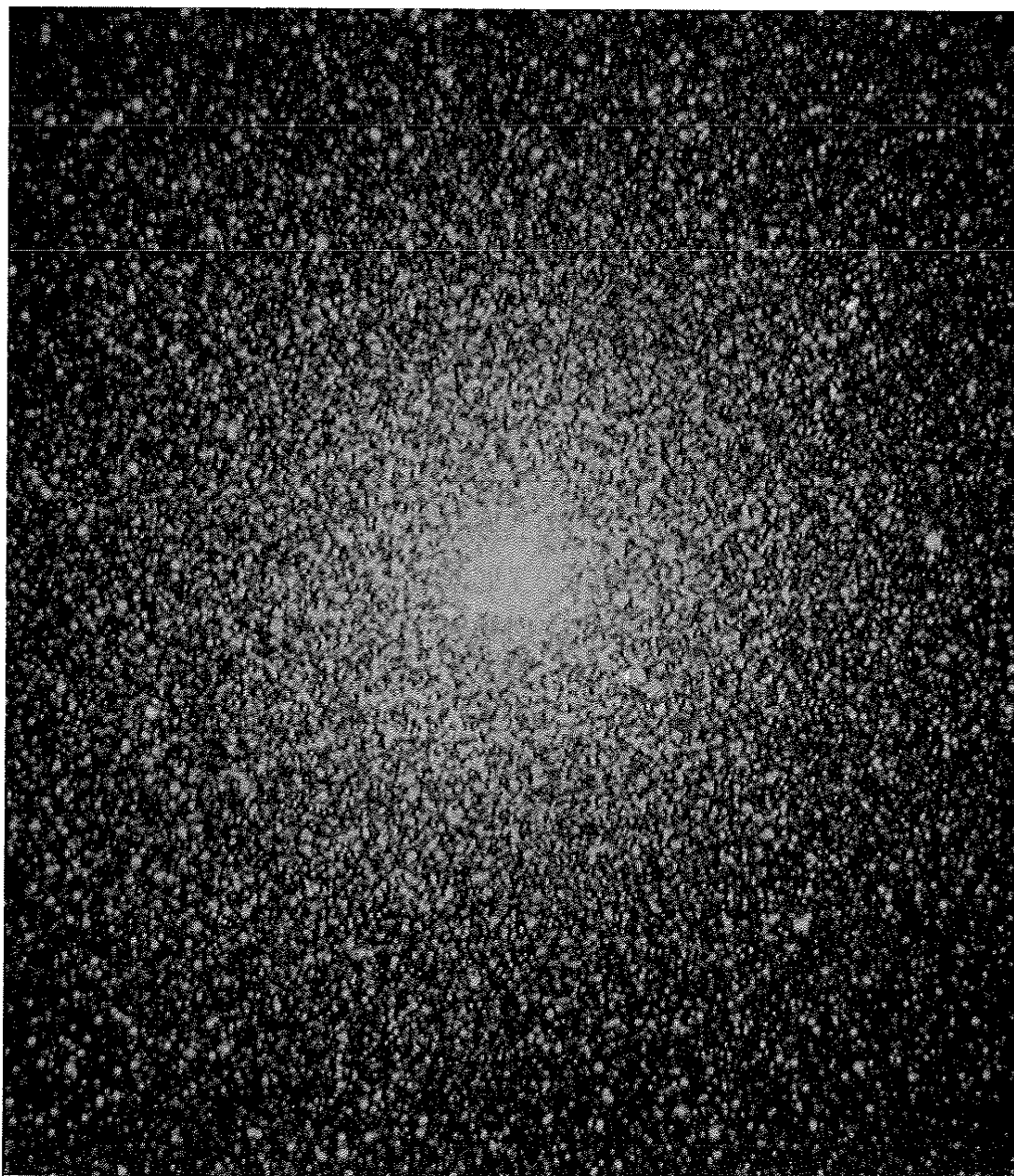
9.2 Khối lượng của các sao có thể được xác định bằng sự phân tích các quỹ đạo của các sao đôi (binary stars). Trong các sao đôi nhìn thấy (visual binaries), hai sao có thể được nhìn thấy riêng biệt trong kính viễn vọng, trong khi trong một sao đôi quang phổ (spectroscopic binary) chỉ có quang phổ tiết lộ sự có mặt của hai sao. Khối lượng sao nằm trong khoảng từ 1/12 tới nhiều hơn 100 lần khối lượng Mặt Trời. Các vật thể có khối lượng nhỏ hơn các sao được gọi là các sao lùn nâu (brown dwarfs) và các hành tinh (planets). Các thiết bị và kỹ thuật tân tiến đã cho phép chúng ta khám phá một số các sao lùn nâu gần bên. Các sao lớn nhất, trong hầu hết trường hợp, cũng là sao sáng nhất, và mối tương quan này được biết như quan hệ khối lượng – độ trưng (mass – luminosity relation).

9.3 Đường kính của sao có thể được xác định bằng cách đo đạc thời gian một vật thể (Mặt Trăng, hành tinh, hay sao đồng hành) cần có để đi qua phía trước nó và che chắn ánh sáng của nó. Đường kính của các thành viên

trong các hệ thống sao đôi che khuất (eclipsing binary) (nơi các sao đi qua phía trước lẫn nhau) có thể được xác định qua sự phân tích về các chuyển động trên quỹ đạo của chúng.

9.4 Sơ đồ Hertzsprung – Russell, hay sơ đồ H – R, là một sơ đồ về độ trưng của sao như là một chức năng của nhiệt độ bề mặt. Hầu hết các sao nằm trên chuỗi sao chính (main sequence), vươn ra theo đường chéo ngang qua sơ đồ H–R từ nhiệt độ cao và độ trưng cao tới nhiệt độ thấp và độ trưng thấp. Vị trí của một sao dọc theo chuỗi sao chính được xác định bởi khối lượng của nó: Các sao khối lượng cao phát xạ nhiều năng lượng hơn và nóng hơn các sao khối lượng thấp trên chuỗi sao chính. Các sao trên chuỗi sao chính thu nhận năng lượng của chúng từ sự tổng hợp hydro thành helium. Khoảng 90% của các sao trong vùng lân cận của mặt trời nằm trên chuỗi sao chính. Chỉ có 10% của các sao là sao lùn trắng (white dwarfs), và ít hơn một phần trăm là sao khổng lồ và sao siêu khổng lồ (giants or supergiants).





Hình ảnh mô tả một chùm sao khổng lồ gọi là 47 Tucanae, được nhìn thấy từ Bắc Bán Cầu của Trái Đất. Những nhóm sao đông đúc chen chúc như thế, các nhà thiên văn học gọi là các chùm sao hình cầu (globular clusters), chứa hàng trăm nghìn sao, kể cả một số sao biến quang RR Lyrae được bàn luận trong chương này.

CHƯƠNG 10

CÁC KHOẢNG CÁCH VŨ TRỤ

“Khi bầu trời là một vòm cung xanh bé nhỏ, dính những ngôi sao, tôi nghĩ vũ trụ là quá hẹp và quá kín, gây cảm giác bầu như ngột ngạt. Nhưng giờ đây nó trải rộng mênh mông, tôi nghĩ rằng vũ trụ là tuyệt diệu không gì sánh nổi”.

Bernard de Fontenelle in *Conversations on the Plurality of Worlds* (1686).

Trừ phi chúng ta biết một vật gì đó trong vũ trụ ở khoảng cách bao xa, việc giải thích ánh sáng của nó là cả một thách thức.

Vũ trụ rộng lớn như thế nào? Vật thể xa nhất chúng ta có thể nhìn thấy là gì? Đây là trong số các câu hỏi lớn lao nhất mà các nhà thiên văn học có thể thắc mắc và chắc chắn chúng ta muốn trả lời khi tiếp tục cuộc du hành. Song chúng ta cũng sẽ phải bắt đầu với một câu hỏi tầm thường nhất: Những vì sao ở cách xa chúng ta bao nhiêu?

Sự xác định các khoảng cách thiên văn là mấu chốt để thấu hiểu bản chất của các vì sao, nhưng việc đo lường các khoảng cách như thế quả thật là rất khó. Các nhà thiên văn học đã phát minh ra đủ loại kỹ thuật thông minh để ước tính các khoảng cách bao la ngăn cách chúng ta với các vì sao. Đối với các sao gần bên, chúng ta có thể sử dụng các phương pháp tương tự như các

phương pháp các nhà khảo sát sử dụng trên Trái Đất. Đối với các khoảng cách xa xôi hơn, chúng ta phải áp dụng một số thông tin về các sao được trình bày trong hai chương trước. Chúng ta sẽ thấy rằng thiên nhiên cũng cung cấp đại loại một cột chỉ đường của vũ trụ bằng hình dạng của một loại sao đặc biệt biến đổi về độ sáng.

Hiện nay chúng ta có một loạt các phương pháp để đo đạc các khoảng cách vũ trụ, trải dài từ Trái Đất tới các vì sao ở những tầm mức xa nhất của vũ trụ.

Một trong những đặc tính của chuỗi phương pháp này là các mắt xích của nó tùy thuộc lẫn nhau: Phép đo các khoảng cách tới các thiên hà xa xôi tùy thuộc vào phép đo các khoảng cách tới các vì sao nằm trong Thiên Hà của chúng ta, đến lượt nó tùy thuộc vào sự chính xác của các phép đo trong phạm vi hệ mặt trời. Toàn bộ chuỗi của các khoảng cách vũ trụ cũng như mắt xích yếu nhất của nó, và

do vậy điều quan trọng là mỗi mắt xích phải chính xác đến mức có thể.

Trong chương này chúng ta bắt đầu với các định nghĩa cơ bản về khoảng cách trên Trái Đất, và sau đó mở rộng tầm với của chúng ta tới các ngôi sao xa xăm.

10.1 CÁC ĐƠN VỊ CƠ BẢN VỀ KHOẢNG CÁCH

Các thước đo đầu tiên về khoảng cách dựa trên các kích thước của con người – *inch* là khoảng cách giữa các đốt trên ngón tay, hay *yard* (bộ) là khoảng cách từ ngón tay trở được vươn ra tới chóp mũi. Về sau, nhu cầu về thương mại dẫn đến việc tiêu chuẩn hoá các đơn vị như thế, song mỗi quốc gia có khuynh hướng thiết lập các định nghĩa riêng. Mãi cho tới giữa thế kỷ 18, nhưng nỗ lực thực sự mới được tiến hành để xây dựng một bộ tiêu chuẩn quốc tế và đồng nhất.

♦ HỆ MÉT

Một trong những di sản lâu dài của thời đại Napoleon là việc thiết lập hệ thống đơn vị mét, chính thức được ban hành ở Pháp vào năm 1799 và hiện nay được sử dụng ở hầu hết các nước trên thế giới. Đơn vị độ dài cơ bản của hệ này là mét, ban đầu được định nghĩa là một phần mười triệu của khoảng cách dọc theo bề mặt trái đất từ xích đạo tới cực. Các nhà thiên văn học Pháp của thế kỷ 17 và 18 là những người tiên phong trong việc xác định kích thước của Trái Đất, do đó sử dụng các thông tin của họ như là nền tảng của hệ thống mới là một điều hợp lý.

Các vấn đề thực tiễn tồn tại với một định nghĩa được diễn tả trong điều kiện

về kích thước của Trái Đất, bởi vì bất cứ ai muốn xác định khoảng cách từ nơi này tới nơi khác khó có thể đi ra ngoài vũ trụ và đo đạc lại hành tinh. Vì thế cho nên một mét tiêu chuẩn trung gian bao gồm một thanh kim loại platinum – iridium, đã được lưu giữ ở Paris. Năm 1899, qua sự thỏa thuận quốc tế, thanh kim loại này được định nghĩa là 1 mét chính xác về chiều dài, và các bản sao chính xác của thanh mét đầu tiên được chế tạo làm tiêu chuẩn.

Các đơn vị chiều dài khác có xuất xứ từ mét. 1 kilômét (1 km) bằng 1000 mét (1000 m), 1 centimét (1 cm) bằng 1/100 m,... Ngay cả các đơn vị đo đạc của Anh và Mỹ, chẳng hạn như inch và mile (dặm), ngày nay cũng được định nghĩa trong điều kiện của hệ thống mét.

♦ CÁC TÁI ĐỊNH NGHĨA HIỆN ĐẠI CỦA MÉT

Vào năm 1960, định nghĩa chính thức của mét được thay đổi một lần nữa. Như là kết quả của kỹ thuật tiến bộ để tạo ra các vạch phổ của các bước sóng được biết một cách chính xác, mét được định nghĩa lại bằng 1.650.763,73 bước sóng của một sự chuyển hoá nguyên tử riêng biệt trong nguyên tố krypton-86. Sự thuận lợi của việc tái định nghĩa này là bất kỳ người nào với phòng thí nghiệm được trang bị thích hợp có thể tái tạo một mét tiêu chuẩn, mà không cần đối chiếu với thanh mét ở Paris.

Năm 1983, mét được tái định nghĩa một lần nữa, lần này trong điều kiện của tốc độ ánh sáng. Về phương diện này, độ dài của đơn vị thời gian tiêu chuẩn, là giây (second), đã được ấn định bởi một hiệp định quốc tế là 9.192.631.770 lần tần số của đồng hồ nguyên tử cesium-133. Mét được đo là khoảng cách

ánh sáng đi qua trong một môi trường chân không trong một quãng thời gian $1/299.792.458,6$ giây. Điều này xác định tốc độ của ánh sáng trong chân không là $299.792.458,6$ m/s. Ngày nay, do đó, thời gian di chuyển của ánh sáng cung cấp đơn vị chiều dài cơ bản của chúng ta. Đặt nó vào một phương cách khác, khoảng cách của *một giây ánh sáng* (LS: Light second) (mức độ không gian ánh sáng bao phủ trong một giây) được xác định là $299.792.458,6$ m. Chúng ta cũng có thể sử dụng giây ánh sáng như đơn vị chiều dài cơ bản, nhưng vì những lý do thực tiễn (và tôn trọng truyền thống), chúng ta đã định nghĩa mét như là một phần nhỏ của giây ánh sáng.

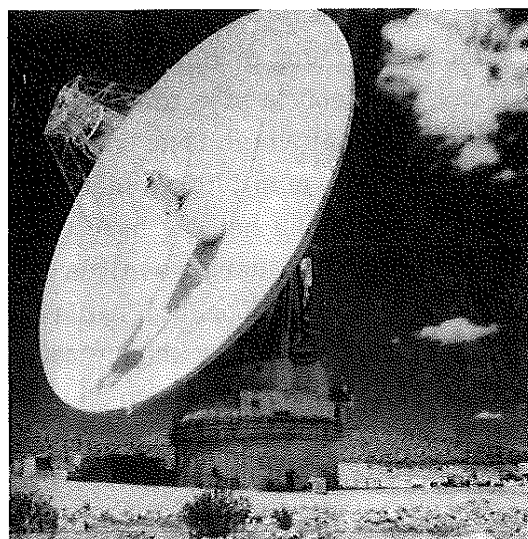
✧ CÁC KHOẢNG CÁCH TRONG VÒNG HỆ MẶT TRỜI

Công trình của Copernicus và Kepler đã xây dựng các *khoảng cách tương đối* (relative distances) của các hành tinh – nghĩa là, hành tinh này so với hành tinh kia là bao xa tính từ Mặt Trời. Nhưng công trình của họ không thể thiết lập các *khoảng cách tuyệt đối* (absolute distances) (bằng giây ánh sáng hay mét hay các đơn vị chiều dài tiêu chuẩn khác). Điều này cũng như việc biết được chiều cao của tất cả học sinh trong lớp chỉ khi đem so sánh với chiều cao của giảng viên, nhưng không phải bằng inch hay centimét. Chiều cao của một người nào đó phải được đo trực tiếp.

Tương tự, để thiết lập các khoảng cách tuyệt đối, các nhà thiên văn học phải đo một khoảng cách nào đó trong hệ mặt trời một cách trực tiếp. Các ước tính về khoảng cách tới Kim Tinh (Venus) được thực hiện khi Kim Tinh đi ngang qua bề mặt của Mặt Trời vào năm 1761

và 1769, và một cuộc vận động quốc tế được tổ chức để ước tính khoảng cách tới tiểu hành tinh Eros đang đến gần Trái Đất vào đầu những năm 1930.

Điểm mấu chốt đối với việc xác định hiện đại của chúng ta về kích thước của hệ mặt trời là *radar*, một loại sóng vô tuyến có thể dội lại (hay phản hồi) từ các vật rắn (solid objects). Các nhà thiên văn học đã phát hiện ra điều đó bằng cách tính thời gian một chùm radar (di chuyển với tốc độ ánh sáng) mất bao lâu để đi tới một thế giới khác và quay trở lại, họ có thể đo khoảng cách liên quan rất chính xác. Năm 1961, lần đầu tiên các tín hiệu radar được dội lại từ Kim Tinh, cung cấp một phép đo trực tiếp về khoảng cách từ Trái Đất tới Kim Tinh trong điều kiện của giây ánh sáng (từ thời gian di chuyển khứ hồi của tín hiệu radar). Rồi sau đó, radar cũng đã được sử dụng để xác định khoảng cách của Thủy Tinh, Hoả Tinh, các vệ tinh của Mộc Tinh, các quầng



Kính viễn vọng radar (A radar telescope): Ảnh-ten hình đĩa này, bộ phận của Mạng không gian sâu thẳm của NASA (NASA Deep Space Network) ở sa mạc Mojave của bang California, có thể truyền và nhận các sóng radar, và do đó đo được khoảng cách tới các hành tinh, vệ tinh, và tiểu hành tinh.

sáng (hay vành sáng) của Thổ Tinh, và vài tiểu hành tinh. Nhân tiện, hãy lưu ý rằng không thể sử dụng radar để đo đặc khoảng cách tới Mặt Trời một cách trực tiếp bởi vì Mặt Trời không phản xạ hiệu quả sóng radar. Tuy nhiên, chúng ta có thể đo khoảng cách của nhiều vật thể khác trong hệ mặt trời, và sử dụng các định luật Kepler để đem lại cho chúng ta khoảng cách tới Mặt Trời.

Ngoài nhiều khoảng cách khác nhau có liên quan trong hệ mặt trời, các nhà thiên văn học đã chọn khoảng cách trung bình từ Trái Đất tới Mặt Trời như là “que đo” (“measuring stick”) tiêu chuẩn trong phạm vi hệ mặt trời; khoảng cách trung bình này được gọi là *đơn vị thiên văn* (astronomical unit). Nhiều năm trời phân tích nhẩn nại về các phép đo radar đã dẫn tới sự xác định độ dài của đơn vị thiên văn tới một độ chính xác khoảng một phần tỉ. Độ dài của 1 AU (1 đơn vị thiên văn) có thể được diễn tả bằng thời gian di chuyển của ánh sáng là 499,004854 LS (Light Second), hay khoảng 8,3 phút ánh sáng (LM: Light Minute). Nếu chúng ta sử dụng định nghĩa của mét được đưa ra trước đây, điều này thì tương đương với 1 AU = 149.597.892.000 m.

Dĩ nhiên, các khoảng cách này được đưa ra với một mức độ chính xác cao hơn nhiều so với nhu cầu bình thường. Thông thường, chúng ta diễn tả các con số thành một cặp của các vị trí hợp lý. Đối với mục đích của chúng ta, làm tròn các con số này sẽ là vừa đủ:

Tốc độ ánh sáng:

$$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m/s} = 3,00 \times 10^5 \text{ km/s}$$

Độ dài của giây ánh sáng:

$$LS = 3,00 \times 10^8 \text{ m} = 3,00 \times 10^5 \text{ km}$$

Đơn vị thiên văn:

$$AU = 1,50 \times 10^{11} \text{ m} = 1,50 \times 10^8 \text{ km} \\ = 500 \text{ LS}$$

Hiện nay, chúng ta biết thang khoảng cách tuyệt đối nằm trong hệ mặt trời của chúng ta với độ chính xác rất cao. Đây là mắt xích đầu tiên trong chuỗi xích của các khoảng cách vũ trụ.

10.2 THĂM DÒ CÁC VÌ SAO

Để đi từ các hành tinh tới các vì sao, đó là một bước khổng lồ. Ngôi sao gần nhất ở cách xa Trái Đất hàng trăm ngàn đơn vị thiên văn. Tuy nhiên, theo nguyên lý, chúng ta có thể thăm dò các khoảng cách tới các sao bằng cách cũng sử dụng cùng một kỹ thuật mà một công trình sư dùng để thăm dò khoảng cách tới một quả núi hay một cái cây không thể tiếp cận được – đó là phương pháp *tam giác đặc* (triangulation).

✧ PHÉP TAM GIÁC ĐẶC

Một thí dụ thực tiễn về phép tam giác đặc là khả năng nhận thức của riêng bạn về chiều sâu. Cũng như bạn hải lòng khám phá vào mỗi sáng khi bạn soi gương, đôi mắt bạn được bố trí cách nhau một khoảng và do đó bạn ngắm nhìn thế giới từ hai vị trí khác nhau. Viễn cảnh kép (hay đôi) này cho phép bạn có được một nhận thức tổng quát về việc các vật thể cách xa bao nhiêu.

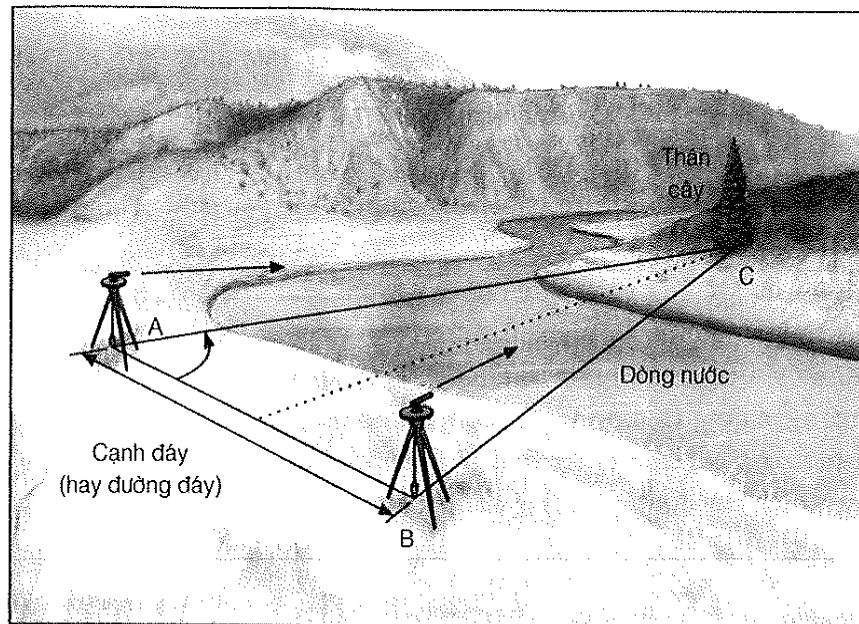
Để thấy những gì chúng tôi muốn nói, hãy lấy một cây viết mực và cầm giữ nó cách một vài inch ngay trước mặt bạn. Trước tiên hãy nhìn vào nó bằng một mắt (nhắm mắt kia lại), và sau đó đổi mắt. Hãy lưu ý cây viết dường như

dịch chuyển so với các vật thể ngang qua căn phòng như thế nào. Bây giờ giữ cây viết với cánh tay duỗi thẳng ra: sự dịch chuyển giảm đi. Nếu bạn làm như vậy với cây viết trong một lúc, bạn sẽ nhận thấy rằng bạn cầm giữ nó càng cách xa hơn, nó hình như dịch chuyển càng ít hơn. Bộ não của bạn tự động thực hiện những so sánh như thế và cho bạn một nhận thức khá tốt về việc các sự vật trong vùng lân cận sát bên bạn cách xa bao nhiêu.

Nếu đôi tay bạn được làm bằng cao su, bạn có thể vươn cây viết ra cách xa đôi mắt bạn đủ để cho sự dịch chuyển sẽ trở nên không thể nhận thấy được. Đó là bởi vì sự nhận thức về chiều sâu của chúng ta yếu dần (không còn đúng) đối với các vật thể xa hơn một vài chục mét. Sẽ cần có một khoảng cách xa hơn giữa việc nhìn các viễn cảnh hơn là khoảng cách giữa đôi mắt để nhìn thấy sự dịch chuyển của một vật thể cách bạn một khối nhà hay nhiều hơn nữa.

Chúng ta hãy nhìn xem các nhà thăm dò lợi dụng cũng cùng ý tưởng ấy như thế nào. Giả sử bạn đang cố gắng đo khoảng cách tới một cái cây bên kia một con sông sâu. Bạn lắp đặt hai trạm quan sát cách xa nhau một khoảng nào đó. Khoảng cách ấy (đường AB trong hình) được gọi là *đường đáy* hay *cạnh đáy* (baseline). Bây giờ phương hướng tới thân cây (C trong hình) liên quan tới đường đáy được quan sát từ mỗi trạm. Lưu ý rằng C hiện ra trong những hướng khác nhau từ hai trạm quan sát. Sự thay đổi biểu kiến về phương hướng này của vật thể ở xa do sự thay đổi về vị trí lợi thế của người quan sát được gọi là *thị sai* (parallax).

Thị sai cũng là góc mà đường AC và BC tạo ra – theo thuật ngữ toán học, góc đối diện với cạnh đáy (hay đường đáy). Sự hiểu biết về các góc tại A và B, và chiều dài của cạnh đáy, AB, cho phép tam giác ABC được giải đối với bất kỳ chiều hướng nào của nó – thí dụ, khoảng cách



Phép tam giác đặc: Phép tam giác đặc cho phép chúng ta đo đạc khoảng cách tới các vật thể không thể tiếp cận được. Bằng cách có được góc tới một thân cây từ hai điểm khác nhau, chúng ta có thể tính được các đặc điểm của hình tam giác chúng hình thành, và do đó tính được khoảng cách tới thân cây.

AC hay BC. Đáp án có thể được hoàn thành bằng cách xây dựng một thuật vẽ tỉ lệ, hay bằng cách sử dụng kỹ thuật của lượng giác học để làm bài toán số học. Nếu thân cây ở xa hơn nữa, hình tam giác sẽ thành dài hơn và thuôn hơn, và góc thị sai sẽ nhỏ hơn. Do vậy, chúng ta có quy luật tổng quát là thị sai càng nhỏ, vật thể chúng ta đang đo phải càng xa.

Trong thực tế, những loại cạnh đáy (hay đường đáy) mà các nhà thăm dò sử dụng để đo các khoảng cách trên Trái Đất hoàn toàn vô dụng khi chúng ta cố thử đo các khoảng cách trong không gian. Một thiên thể nằm càng xa hơn, cạnh đáy phải càng dài hơn để mang đến cho chúng ta một cơ hội thuận tiện trong việc tiến hành một phép đo. Rủi thay, hầu như tất cả các thiên thể đều ở rất xa. Để đo được các khoảng cách của chúng đòi hỏi phải có một cạnh đáy rất lớn hay các phép đo góc hết sức chính xác, hay cả hai. Mặt Trăng là vật thể duy nhất khá gần đến mức khoảng cách của nó có thể được tìm ra tương đối chính xác với các phép đo được thực hiện mà không cần kính viễn vọng. Ptolemy đã xác định khoảng cách tới Mặt Trăng chính xác tới khoảng một vài phần trăm. Ông đã sử dụng chính Trái Đất như là một cạnh đáy, khi đo đạc vị trí của Mặt Trăng so với các sao tại hai thời điểm khác nhau trong đêm.

Với sự trợ giúp của kính viễn vọng, các nhà thiên văn học có thể đo được các khoảng cách tới các hành tinh hay các tiểu hành tinh gần hơn bằng cách sử dụng đường kính của Trái Đất như một cạnh đáy. Đây là cách thức mà ban đầu đơn vị thiên văn được thành lập. Tuy nhiên, để với tới các vì sao cần có một cạnh đáy dài hơn nhiều đối với phép tam

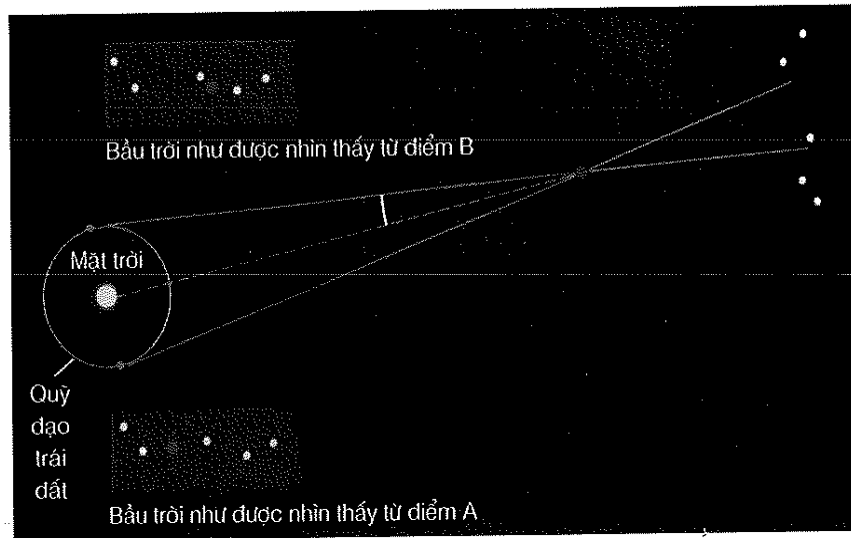
giác đạc, và các phép đo cực kỳ nhạy cảm. Một cạnh đáy như thế được cung cấp bởi chuyển đi hàng năm của Trái Đất chung quanh Mặt Trời.

✧ KHOẢNG CÁCH TỚI CÁC VÌ SAO

Khi Trái Đất di chuyển từ bên này quỹ đạo của nó tới bên kia, nó ưu ái cung cấp cho chúng ta một cạnh đáy dài 2 AU, hay khoảng 300 triệu km. Dù cho đây là một cạnh đáy lớn hơn nhiều so với đường kính của Trái Đất, các vì sao ở rất xa đến nỗi sự dịch chuyển thị sai từ đó mà ra vẫn không nhìn thấy được bằng mắt trần ngay cả với những sao gần nhất.

Trong Chương 1, chúng ta đã thấy điều này làm cho người cổ Hy Lạp bối rối như thế nào, một số trong họ đã gợi ý rằng Mặt Trời có thể là trung tâm của thái dương hệ, với Trái Đất chuyển động chung quanh nó. Tuy nhiên, Aristotle và những người khác lập luận rằng Trái Đất không thể quay chung quanh Mặt Trời. Nếu như thế, họ nói, chúng ta sẽ quan sát được thị sai của các sao gần nhất so với phông nền (hậu cảnh) của các vật thể xa xôi hơn khi chúng ta ngắm nhìn bầu trời từ các phần khác nhau của quỹ đạo Trái Đất. Tycho Brahe đưa ra cùng một lập luận gần 2000 năm sau, khi các phép đo cẩn thận của ông về các vị trí sao bằng mắt trần không tiết lộ sự dịch chuyển nào như thế.

Những nhà quan sát đầu tiên này không biết được các sao thực sự ở cách bao xa, và do đó sự thay đổi về vị trí của chúng nhỏ đến mức nào, ngay cả với toàn bộ quỹ đạo của Trái Đất như là một cạnh đáy. Vấn đề là họ không có những dụng cụ để đo được những sự dịch chuyển thị sai quá nhỏ đến nỗi không thấy được bằng mắt.

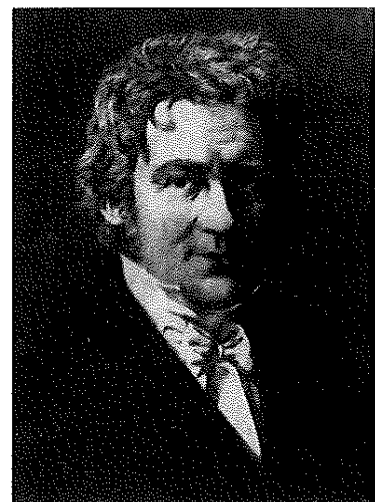


Thị sai: Vì Trái Đất quay chung quanh Mặt Trời, phương hướng trong đó chúng ta nhìn thấy một sao gần thay đổi so với các sao xa. Chúng ta xác định thị sai của sao gần là phân nửa của sự thay đổi toàn phần về phương hướng, và thông thường đo nó bằng giây của cung (arcseconds).

Vào thế kỷ 18, khi không còn sự nghi ngờ trầm trọng về sự quay tròn của Trái Đất, thì một điều trở nên rõ ràng là các vì sao phải ở cực xa. Các nhà thiên văn học được trang bị với kính viễn vọng bắt đầu sáng chế các thiết bị có thể đo được các dịch chuyển nhỏ xíu của các sao gần so với phông nền của các thiên thể xa hơn (và do đó không dịch chuyển). Bởi vì đây là một thách thức kỹ thuật quan trọng, thậm chí với các sao gần nhất, các góc thị sai thông thường chỉ là một phần nhỏ của một giây của cung. Hãy nhớ rằng cung một giây là một góc chỉ bằng $1/3600$ độ (xem Chương 1). Một đồng xu hình như sẽ có đường kính 1 arcsec (cung một giây) nếu bạn đang nhìn nó từ một khoảng cách chừng 3 miles (dặm), hay 5 km! Nên chẳng phải chuyện lạ nếu các nhà thiên văn học phải mất một thời gian trước khi có thể đo được những sự dịch chuyển nhỏ như thế.

Những sự phát hiện thành công đầu tiên về thị sai của sao là vào năm 1838, khi Friedrich Bessel (ở Đức), Thomas

Henderson (nhà thiên văn học Ireland làm việc tại Mũi Hảo Vọng – Cape of Good Hope), và Friedrich Struve (ở Nga) đã đo đạc riêng rẽ các thị sai của các sao 61 Cygni, Alpha Centauri, và Vega, một cách tuần tự. Ngay cả sao gần nhất, Alpha Centauri, thể hiện một sự dịch chuyển



Bessel, Người đo thị sai đầu tiên: Friedrich Wilhelm Bessel (1784–1846) thực hiện phép đo có giá trị đầu tiên về khoảng cách tới một ngôi sao (61 Cygni) vào năm 1838, một kỳ công đã lãng tránh nhiều nhà thiên văn học làm việc tận tụy trong gần một thế kỷ.

toàn phần chỉ khoảng 1,5 arcsec (cung 1,5 giây) trong suốt quá trình một năm.

Hình ở trang trước mô tả các phép đo như thế mang lại hiệu quả như thế nào. Được nhìn thấy từ các bên đối nghịch của quỹ đạo Trái Đất, một sao gần dịch chuyển các vị trí khi so với một mô hình các sao xa hơn. Các nhà thiên văn học thực sự định nghĩa thị sai là phân nửa góc mà một sao dịch chuyển khi được nhìn thấy từ các bên đối nghịch của quỹ đạo Trái Đất (góc được đặt tên là P trong hình). Lý do cho điều này chỉ là họ thích xử lý với một cạnh đáy 1 AU hơn, thay vì 2 AU.

♦ CÁC ĐƠN VỊ KHOẢNG CÁCH CỦA SAO

Với cạnh đáy 1 AU, một ngôi sao sẽ phải là bao xa để có một thị sai 1 arcsec (cung 1 giây)? Câu trả lời là 206.265 AU, hay $3,1 \times 10^{13}$ km (bằng chữ, 31 triệu triệu kilômét). Chúng ta cho đơn vị này một cái tên, parsec (viết tắt là pc) – xuất phát từ “the distance at which we have a parallax of one second” (“khoảng cách tại đó chúng ta có một thị sai một giây”). Khoảng cách của một ngôi sao bằng parsec (r) chỉ là số nghịch đảo của thị sai (p) bằng arcseconds (cung 1 giây) của nó. Nghĩa là,

$$R = 1/p.$$

Do đó một ngôi sao với thị sai 0,1 arcsec sẽ được phát hiện tại khoảng cách 10 pc, và một sao với thị sai 0,05 arcsec sẽ cách xa 20 pc.

Ngược về các thời kỳ khi mà hầu hết các khoảng cách của chúng ta xuất phát từ các phép đo thị sai, parsecs là đơn vị khoảng cách hữu ích, nhưng nó không phải mang tính trực giác như năm ánh sáng (LY), mà chúng ta đã định nghĩa

trong Mục 9.1. Một lợi thế của năm ánh sáng với tư cách như một đơn vị đó là nó nhấn mạnh sự kiện khi nhìn không gian, chúng ta cũng đang nhìn ngược về thời gian. Ánh sáng mà chúng ta thấy từ một ngôi sao cách xa 100 LY (năm ánh sáng) rời sao ấy cách đây 100 năm. Những gì chúng ta nghiên cứu không phải là ngôi sao như nó là hiện giờ, nhưng đúng hơn như nó là trong quá khứ. Ánh sáng đi tới kính viễn vọng của chúng ta ngày nay từ các thiên hà xa xôi rời khỏi chúng ngay cả trước khi Trái Đất hiện hữu.

Trong sách này, chúng ta sẽ sử dụng năm ánh sáng như đơn vị khoảng cách, nhưng nhiều nhà thiên văn học vẫn còn sử dụng parsecs khi viết các tham luận kỹ thuật. Sự chuyển đổi giữa hai đơn vị khoảng cách rất đơn giản: 1 pc = 3,26 LY, và 1 LY = 0,31 pc (parsec)

♦ CÁC SAO GẦN NHẤT

Không có sao nổi tiếng nào (khác hơn Mặt Trời) nằm trong vòng 1 LY hay thậm chí 1 pc đối với Trái Đất. Các sao láng giềng gần nhất đối với Mặt Trời là ba ngôi sao hình thành một hệ thống phức tạp trong chòm sao Centaurus (Kim Ngưu).

Với mắt thường, hệ thống này có vẻ như một sao sáng đơn lẻ, gọi là Alpha Centauri, chỉ ở 30° từ thiên cực nam và do đó không được nhìn thấy từ lục địa Hoa Kỳ. Bản thân Alpha Centauri là một sao đôi – hai sao quay quanh nhau, thật sát với nhau cho nên không phân biệt được nếu không có kính viễn vọng. Hai sao này cách xa chúng ta 4,4 LY. Một sao mờ nhạt có tên là Proxima Centauri, gần như là thành viên thứ ba của hệ thống. Proxima, với khoảng cách 4,3 LY, gần chúng ta hơn một chút so với hai sao kia. (Một vài nhà thiên văn học đã bắt đầu đặt vấn đề liệu

Nếu đã đọc điều này, bạn có thể đã nhận thấy rằng các sao có sự rắc rối, khó hiểu về tên gọi. Chỉ nhìn vào ba sao đầu tiên có các thị sai của chúng được đo: 61 Cygni, Alpha Centauri, và Vega. Mỗi tên bắt nguồn từ một truyền thống khác nhau về việc đặt tên các sao.

Các sao sáng nhất có tên xuất xứ từ tiếng Hy Lạp, chẳng hạn như Sirius (sao Thiên Lang), có nghĩa là "một sao nóng" (the scorched one) – ám chỉ tới sự chói sáng của nó. Một vài tên từ tiếng Latin, nhưng nhiều tên từ tiếng Ả Rập bởi vì, phần lớn của thiên văn học Hy Lạp và La Mã được "tái khám phá" ở châu Âu sau các thời kỳ đen tối nhờ vào các bản dịch bằng tiếng Ả Rập. Vega, thí dụ, có nghĩa là "swooping Eagle" ("con ó bổ nhào xuống"), và Betelgeuse (được phát âm "Beetle – juice") có nghĩa là "right hand of the central one." (bên tay phải của người trung tâm).

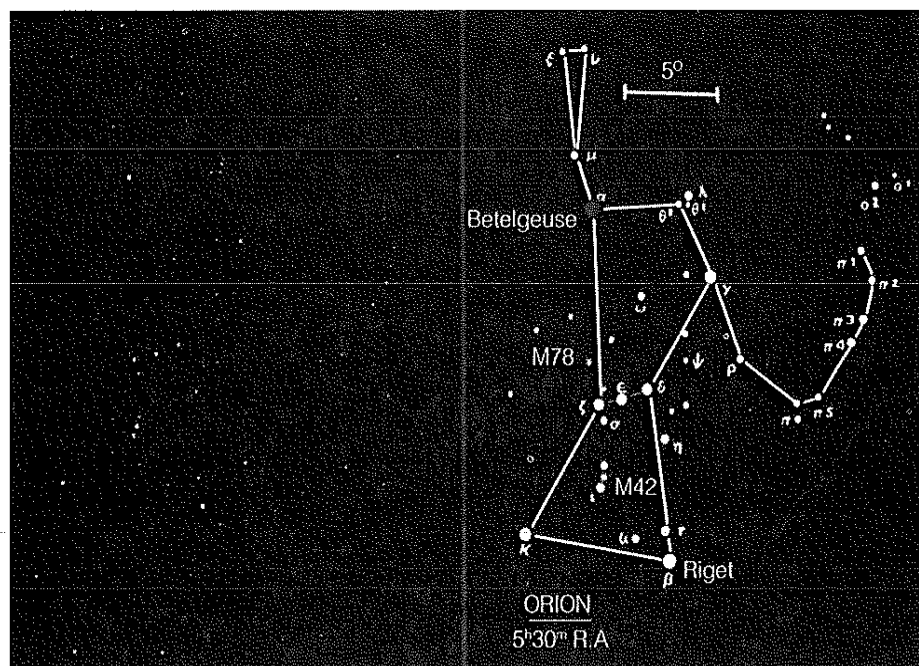
Năm 1603, nhà thiên văn học Đức Johann Bayer giới thiệu một phương pháp có hệ thống hơn để đặt tên sao. Đối với mỗi chòm sao, ông phân bổ một chữ cái Ả Rập cho các sao sáng nhất, đại thể theo thứ tự của độ sáng. Thí dụ, trong chòm sao Orion, Betelgeuse là sao sáng nhất, vì thế nó mang chữ đầu tiên trong bảng mẫu tự Hy Lạp – Alpha – và có tên là Alpha Orionis. (Orionis là dạng sở hữu cách của Orion, do đó Alpha Orionis có nghĩa là "sao thứ nhất của Orion.") Một ngôi sao gọi là Rigel, là sao sáng thứ nhì trong chòm sao ấy, được gọi là Beta Orionis. Bởi vì có 24 chữ cái trong mẫu tự Hy Lạp, hệ thống này cho phép đặt tên 24 sao trong mỗi chòm sao, chưa phải là một mẫu đầy đủ.

Tuy nhiên, năm 1725, nhà thiên văn học Anh Royal John Flamsteed giới thiệu một hệ thống khác, trong đó các sao sáng hơn cuối cùng có một con số trong mỗi chòm sao theo thứ tự vị trí của chúng hay, chính xác hơn, độ xích kinh (right ascension) của chúng. Hệ thống của tọa độ bầu trời bao gồm độ xích kinh đã được nói đến

trong Chương 1. Trong hệ thống này, Betelgeuse được gọi là 58 Orionis và 61 Cygni là sao thứ 61 trong chòm sao Cygnus, Thiên Nga.

Khi các nhà thiên văn học bắt đầu ngày càng hiểu nhiều hơn về các sao, họ soạn thảo các mục lục sao đặc biệt, và bắt đầu gọi tên các sao theo con số mục lục của chúng. Nếu nhìn vào Phụ Lục 8 – danh mục của chúng ta về các sao gần nhất (nhiều sao trong đó quá mờ nhạt cho nên không có được một cái tên xưa, chữ cái của Bayer, hay con số của Flamsteed) – bạn sẽ xem các đoạn tham khảo với một số mục lục này. Lấy thí dụ là một tập hợp của các sao được đặt tên với một con số BD, dành cho "Bonner Durchmusterung". Đây là một mục lục khổng lồ của hơn 324.000 sao trong một loạt các khu vực trong bầu trời, được thành lập tại Đài thiên văn Bonn trong những năm 1850 và 1860. Hãy nhớ kỹ rằng mục lục này được thực hiện trước khi thuật nhiếp ảnh hay máy điện toán được đưa vào sử dụng, vì thế vị trí của mỗi sao phải được đo (ít nhất hai lần) bằng mắt, một công việc đầy khó khăn.

Cũng có một hệ thống hoàn toàn khác biệt để theo dõi các sao có độ trưng thay đổi, và một hệ thống khác nữa dành cho các sao rực sáng dữ dội vào những thời điểm không thể đoán trước được. Các nhà thiên văn học đã sử dụng tới nhiều hệ thống đặt tên sao khác nhau, nhưng các sinh viên thường nhận thấy chúng rắc rối khó hiểu và mong ước các nhà thiên văn học sẽ tập trung vào một hệ thống. Trong thiên văn học, cũng như trong nhiều lãnh vực của tư tưởng nhân loại, truyền thống giữ một vai trò mạnh mẽ. Tuy nhiên, với các cơ sở dữ liệu của máy tính tốc độ cao để trợ giúp cho trí nhớ của con người, các tên có thể ngày càng ít cần thiết hơn. Ngày nay các nhà thiên văn học thường nói đến các sao theo vị trí chính xác của chúng trên bầu trời hơn là theo tên của chúng hay số mục lục khác nhau.



Các vật thể trong chòm Orion: Sát cạnh nhau, chúng ta thấy một hình ảnh và một sơ đồ của các vật thể sáng nhất trong và gần mô hình sao Orion thợ săn (của thần thoại Hy Lạp) trong chòm sao Orion. Các vật thể được biểu thị là M42 và M78 không phải là các sao nhưng là các tinh vân – các đám mây bụi và khí; những con số này xuất phát từ một danh sách của "các vật thể mờ nhạt" do Charles Messier lập ra vào năm 1781.

Proxima thực sự có được kết hợp với cặp Alpha Centauri hay không; một số vạch chứng tỏ rằng nó có thể chỉ tạm thời đi ngang qua gần với Alpha Centauri).

Sao gần nhất thấy được mà không cần kính viễn vọng từ hầu hết các vùng trời nước Mỹ là sao hiện ra sáng nhất đối với tất cả các sao, Sirius (sao Thiên Lang), có khoảng cách nhiều hơn 8 LY một chút. Như chúng ta đã xem trong chương trước, nó cũng là một sao đôi, bao gồm một sao lùn trắng mờ nhạt quay quanh một sao trắng xanh trong dãy sao chính. Cần lưu ý rằng ánh sáng từ Mặt Trời đi tới chúng ta trong khoảng 8 phút, còn từ Sirius tới chúng ta trong khoảng 8 năm.

♦ PHẠM VI CỦA CÁC PHÉP ĐO THỊ SAI

Các phép đo thị sai của sao đã được cách mạng hoá do việc phóng phi thuyền

Hipparcos (*Thị sai và Thiên văn học Không gian*), đo đạc các khoảng cách xa tới khoảng 300 LY với độ chính xác từ 10 tới 20%. Tuy nhiên, thậm chí 300 LY còn nhỏ hơn 1% kích thước của đĩa chính của Dải Ngân Hà. Nếu sắp đi rất xa khỏi vùng lân cận với chuỗi phương pháp để đo các khoảng cách vũ trụ, chúng ta cần những kỹ thuật hoàn toàn mới mẻ.

10.3 CÁC SAO BIẾN QUANG: MỘT CHÌA KHÓA ĐO KHOẢNG CÁCH VŨ TRỤ

♦ XÉT LẠI CÁC BÓNG ĐÈN TIÊU CHUẨN

Chúng ta hãy xem xét lý do tại sao việc đo các khoảng cách tới các vì sao lại gay go như thế. Vấn đề của chúng ta là các sao tỏ ra có rất nhiều loại độ trung thực sự gây khó hiểu. (Nếu các sao là

Một trong những điều khó khăn nhất, về việc đo đạc chính xác các góc nhỏ xíu của sự dịch chuyển thị sai từ Trái Đất, đó là bạn phải quan sát các sao xuyên qua khí quyển của hành tinh chúng ta. Như chúng ta đã thấy ở Chương 5, hiệu ứng của khí quyển là làm cho các điểm của ánh sáng sao lan ra thành các đĩa mờ, việc tiến hành phép đo chính xác các vị trí này càng khó hơn. Cũng như các nhà thiên văn học đã từ lâu mơ ước về khả năng có thể đo được các thị sai từ không gian, và một đài quan sát trên quỹ đạo gần đây đã biến giấc mơ này thành hiện thực.

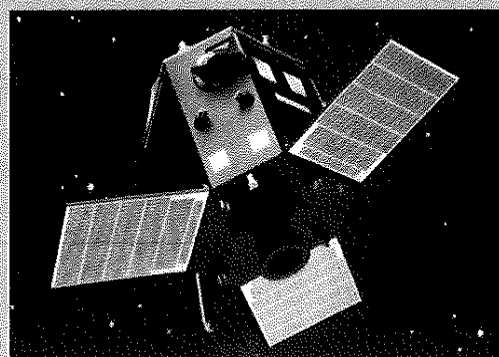
Tên gọi của vệ tinh Hipparcos, do Cơ quan Không gian châu Âu (European Space Agency) phóng đi vào năm 1989, đó là chữ viết tắt của **"High Precision Parallax Collecting Satellite"** (Vệ tinh thu thập thị sai chính xác cao) và là sự tỏ lòng tôn kính với Hipparchus, nhà thiên văn học tiên phong Hy Lạp mà công trình của ông. Vệ tinh này được thiết kế để tiến hành các phép đo thị sai chính xác nhất trong lịch sử từ 36.000 km bên trên Trái Đất. Tuy nhiên, động cơ hoá tiến của nó không đạt được sức đẩy cần thiết để đi tới cao độ mong muốn. Hipparcos đã kết thúc việc trải qua bốn năm của nó trong một quỹ đạo hình ê-líp thay đổi từ độ cao 500 tới 36.000 km. Trong quỹ đạo này, vệ tinh lao vào vành đai bức xạ của Trái Đất cách năm tiếng đồng hồ, mất đi phần lớn các tấm pin mặt trời cung cấp năng lượng để vận hành các thiết bị.

Tuy thế, sứ mạng đã thành công. Hai mục lục về dữ liệu của Hipparcos đã được xuất bản. Một mục lục cung cấp vị trí của 120.000 sao tới độ chính xác một phần ngàn của cung 1 giây – khoảng đường kính của trái banh đánh golf ở New York khi được quan sát từ châu Âu. Mục lục thứ hai chứa các thông tin dành cho hơn một triệu ngôi sao, vị trí của chúng đã được đo tới ba mươi phần ngàn của cung 1 giây. Dữ liệu đã được phân tích, đưa ra nhiều kết quả quan trọng. Hiện nay chúng ta có các phép đo

thị sai chính xác của các sao xa tới khoảng cách chừng 300 LY. Với các kính viễn vọng đặt trên mặt đất, các phép đo chính xác chỉ khả thi tới khoảng 60 LY.

Khoảng 200 sao gần mới cũng đã được phát hiện, sao gần nhất chỉ xa khoảng 18 LY. Vài trăm sao ban đầu được cho là trong vòng 75 LY hiện nay được biết là cách xa hơn nhiều. Bởi vì những ước tính về tuổi cũng như về kích thước của vũ trụ phụ thuộc vào chuỗi các khoảng cách vũ trụ, các kết quả của Hipparcos cũng ảnh hưởng tới các ước tính về kích thước và tuổi của vũ trụ, rằng các sao già nhất trong vũ trụ có thể chỉ từ 12 tới 14 tỉ năm tuổi – trẻ hơn 18 triệu năm theo ước tính từ các cuộc quan sát đặt trên mặt đất trước đây.

Trong một thời gian dài, phép đo các thị sai và các vị trí sao chính xác là sự bế tắc của nghiên cứu thiên văn – chủ yếu vì sự chính xác của các phép đo không tiến bộ nhiều từ đầu thế kỷ XX cho tới nay. Tuy nhiên, khả năng thực hiện các phép đo từ không gian đã cách mạng hoá lãnh vực này. Cơ quan Không gian châu Âu đang nghiên cứu sự khả thi của một tàu không gian sẽ đo đạc vị trí của hàng trăm triệu sao với độ chính xác tới một phần vài chục triệu của 1 arcsec (cung 1 giây). Chúng ta sẽ không chỉ có bản đồ ba chiều về một phần rộng lớn của Dải Ngân Hà, mà sẽ có một mắt xích mạnh mẽ không thể bị đứt rời trong chuỗi xích của các khoảng cách vũ trụ.



các bóng đèn tròn, chúng ta sẽ nói rằng chúng trở thành một dãy rộng của số watt [điện năng hay công suất tiêu thụ]. Trái lại, giả sử rằng tất cả các sao có cùng số watt hay độ trung. Trong trường hợp ấy các sao xa nhất luôn luôn trông mờ hơn, và chúng ta có thể nói một ngôi sao ở xa bao nhiêu một cách đơn giản do nó hiện ra mờ đến mức nào. Tuy nhiên, trong vũ trụ thực, khi nhìn một ngôi sao trong bầu trời (bằng mắt hay kính viễn vọng) và đo đặc độ sáng biểu kiến của nó, chúng ta không thể biết liệu nó trông thấy mờ nhạt bởi vì nó là một bóng đèn có số watt thấp, hay bởi vì nó ở cách xa, hay có lẽ mỗi thứ một ít.

Các nhà thiên văn học cần khám phá thêm về ngôi sao cho phép chúng ta “đọc rõ” độ trung thực sự của nó – thực tế, để biết số watt thực sự của sao là bao nhiêu. Với thông tin này, chúng ta có thể quy cho nó trông mờ như thế nào từ Trái Đất là do khoảng cách. Hãy nhớ lại rằng độ sáng biểu kiến của một vật thể giảm với bình phương khoảng cách tới vật thể ấy. Nếu hai vật thể có cùng độ trung nhưng vật thể này xa gấp ba lần vật thể kia, vật thể nào xa hơn sẽ trông mờ hơn vật thể kia chín lần. Vì thế cho nên, nếu biết độ trung của một ngôi sao và độ sáng biểu

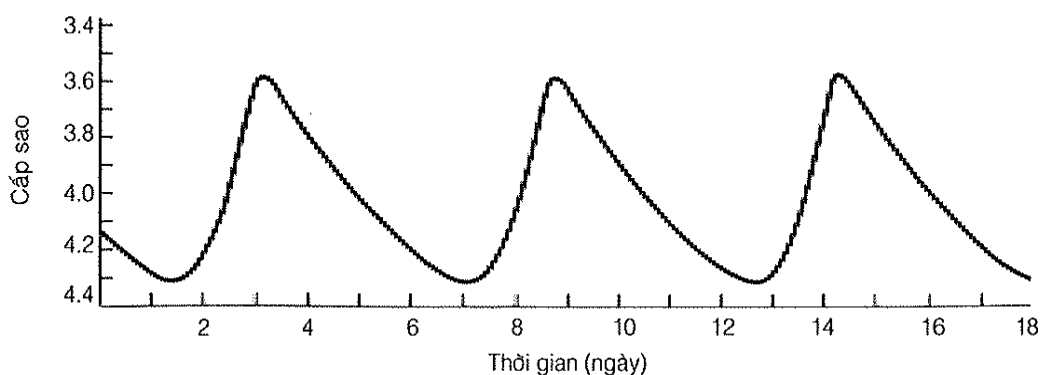
kiến của nó, chúng ta có thể tính được nó ở cách xa bao nhiêu.

Các nhà thiên văn học đã nghiên cứu các kỹ thuật cho phép xác định độ trung của một ngôi sao, và chúng ta sẽ nói đến những kỹ thuật này.

♦ CÁC SAO BIẾN QUANG

Bước đột phá trong việc đo đạc các khoảng cách tới các phần xa xôi của Dải Ngân Hà, và cũng như tới các thiên hà khác, xuất phát từ sự nghiên cứu các sao biến quang (variable stars). Hầu hết các sao không thay đổi (bất biến) về độ trung của chúng, ít ra cũng chỉ trong vòng một hay hai phần trăm. Giống như Mặt Trời, chúng sinh ra một dòng năng lượng ổn định từ phần bên trong của chúng. Tuy nhiên, một số sao được nhìn thấy thay đổi về độ sáng và vì nguyên do này được gọi là các sao biến quang. Nhiều loại sao như thế thay đổi theo một chu kỳ đều đặn, giống như những bóng đèn chớp nháy trang trí cho các cửa hiệu trong những ngày lễ.

Chúng ta hãy định nghĩa một số công cụ giúp theo dõi một sao biến quang thay đổi ra sao. Một sơ đồ mô tả độ sáng của một sao biến quang thay đổi như thế



Đường cong ánh sáng của sao biến quang Cepheid: Đường cong ánh sáng này mô tả độ sáng như một hàm số thời gian đối với một sao biến quang cepheid tiêu biểu.

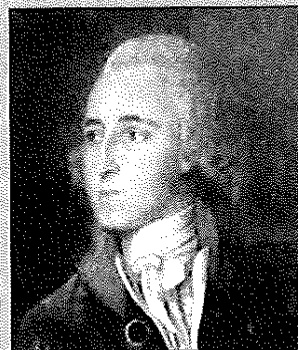
Cuộc đời ngắn ngủi của John Goodricke là một bằng chứng về tinh thần con người trong nghịch cảnh. Bẩm sinh bị điếc, và không thể nói được, tuy nhiên Goodricke đã thực hiện một số khám phá tiên phong trong thiên văn học qua các quan sát kiên trì về bầu trời.

Sinh ra ở Hà Lan nơi cha ông làm việc trong một phái đoàn ngoại giao, Goodricke được đưa lại về Anh lúc tám tuổi để đi học tại một ngôi trường đặc biệt dành cho người khiếm thính. Ông cũng vào Học viện Warrington, một trường trung học không cung cấp sự trợ giúp đặc biệt cho các học sinh bị khuyết tật. Ở đó, thầy giáo dạy toán đã truyền cho ông hứng thú quan tâm về thiên văn học, và vào năm 1781, ở tuổi 17, Goodricke bắt đầu quan sát bầu trời tại ngôi nhà của gia đình ở York, nước Anh. Trong vòng một năm, ông đã khám phá các sự thay đổi về độ sáng của sao Algol, và đề xuất ý kiến rằng một sao đồng hành không nhìn thấy được đang gây ra những sự thay đổi, một giả thuyết hơn 100 năm mới được chứng minh. Tham luận của ông về đề tài ấy đã được đọc trước Hiệp hội Hoàng gia vào năm 1783, và mang về cho ông một huy chương.

Cùng thời gian đó, Goodricke đã khám phá ra hai sao khác biến đổi một cách đều đặn, Beta Lyrae và Delta Cephei, cả hai tiếp tục khiến cho các nhà thiên văn học chú ý trong nhiều năm. Goodricke chia sẻ mối quan tâm của ông

với một người anh họ, Edward Pigott, người tiếp tục khám phá những sao biến quang khác. Vào tuổi 21, chỉ hai tuần sau khi được bầu vào Hiệp hội Hoàng gia, Goodricke bị một cơn cảm lạnh trong lúc tiến hành các cuộc quan sát thiên văn và không bao giờ hồi phục.

Ngày nay Viện đại học York có một toà nhà mang tên Goodricke Hall, và một tấm bảng đồng tôn vinh các đóng góp của ông cho khoa học. Tuy nhiên nếu bạn đi tới nghĩa trang trong khuôn viên nhà thờ, một bia mộ um tùm cây cối chỉ có những chữ đầu "J.G." nơi ông yên nghỉ. Nhà thiên văn học Zdenek Kopal, nghiên cứu cuộc đời của Goodricke, đã tuyên bố về lý do tại sao tấm bia mộ lại khiêm tốn đến vậy: Có lẽ những người thân khá lạnh nhạt của Goodricke không thể đánh giá đầy đủ về một con người tuy không thể nghe nhưng có thể thấy rất nhiều điều.



Chân dung John Goodricke, do họa sĩ J. Scouler vẽ, treo tại Hội Thiên văn Hoàng gia ở London.

nào cùng với thời gian được gọi là đường cong ánh sáng (light curve). Điểm cực đại (maximum) là điểm của đường cong ánh sáng ở đó ngôi sao có độ sáng lớn nhất; điểm cực tiểu (minimum) là điểm ở đó ngôi sao mờ nhất. Nếu sự thay đổi của ánh sáng tự lập đi lập lại theo chu kỳ, khoảng cách giữa hai điểm cực đại được gọi là chu kỳ (period) của sao.

✧ SAO BIẾN QUANG MẠCH ĐỘNG

Có hai loại sao biến quang đặc biệt qua đó – như chúng ta sẽ thấy – các phép đo về đường cong ánh sáng cung cấp cho chúng ta các khoảng cách chính xác. Những sao này được gọi là các sao biến quang cepheid và RR Lyrae, cả hai đều là các sao biến quang mạch động (pulsating variable stars). Sao biến quang mạch động thực tế thay đổi đường kính của nó

theo thời gian – nở ra và co lại theo chu kỳ. Hiện nay chúng ta hiểu rằng những sao này đang trải qua một giai đoạn không ổn định ngắn ngủi muộn màng trong cuộc đời của chúng.

Sự nở ra và co lại của các sao biến quang mạch động có thể được đo bằng cách sử dụng hiệu ứng Doppler. Các vạch trong quang phổ dịch chuyển về phía màu xanh khi bề mặt của sao di chuyển về phía chúng ta, và về phía màu đỏ khi nó co lại.

Khi ngôi sao dao động, nó thay đổi toàn bộ màu sắc, chứng tỏ rằng nhiệt độ của nó cũng đang thay đổi. Và, điều quan trọng nhất, độ trung của sao biến quang mạch động cũng thay đổi một cách đều đặn khi nó nở ra và co lại.

✧ SAO BIẾN QUANG CEPHEID

Cepheid là những sao mạch động (hay co giãn), màu vàng, lớn, được đặt tên theo sao nổi tiếng nhất của nhóm, Delta Cephei. Đây là một thí dụ khác nữa về việc những quy ước đặt tên đã gây nhầm lẫn rắc rối như thế nào trong thiên văn học; ở đây toàn thể một hạng sao được đặt tên theo chòm sao trong đó sao đầu tiên tình cờ được phát hiện.

Sự biến thiên của Delta Cephei đã được nhà thiên văn học trẻ tuổi người Anh John Goodricke khám phá vào năm 1784. Sao này dâng lên khá nhanh tới ánh sáng cực đại và sau đó hạ xuống chậm hơn tới ánh sáng cực tiểu, mất tổng cộng 5,4 ngày cho một chu kỳ. Đường cong trong hình thể hiện sự biến đổi ánh sáng của sao Delta Cephei.

Vài trăm sao biến quang Cepheid được biết đến trong Dải Ngân Hà của chúng ta. Hầu hết các sao Cepheid có chu kỳ trong

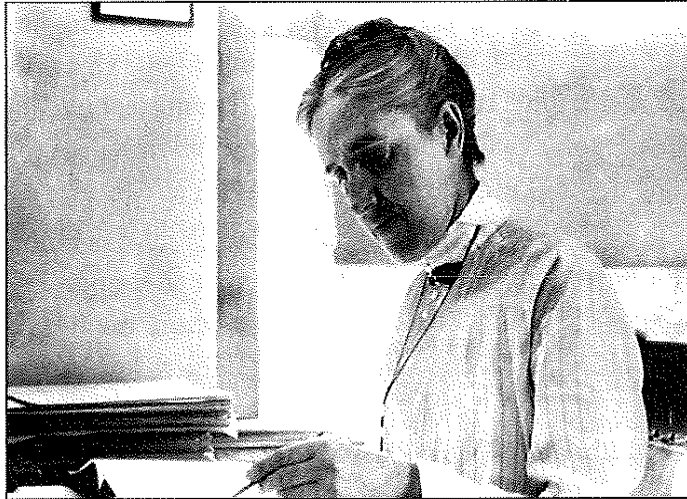
khoảng từ 3 tới 50 ngày, và độ trung lớn hơn khoảng từ 1000 tới 10.000 lần so với độ trung của Mặt Trời. Những sự biến đổi về độ trung của chúng có phạm vi từ một vài phần trăm tới một hệ số 10.

Polaris, sao Bắc Cực, là một sao biến quang Cepheid, trong một thời gian dài, biến đổi khoảng một phần mười cấp sao, hay vào khoảng 10% về độ trung nhìn thấy, theo một chu kỳ chỉ trong bốn ngày. Các phép đo gần đây chứng tỏ rằng mức độ qua đó độ sáng của sao Bắc Cực thay đổi đang sụt giảm, và rằng đôi khi trong tương lai, ngôi sao này sẽ không còn là một sao biến quang mạch động nữa. Đây chỉ thêm một chứng cứ nữa rằng các sao thực sự đang tiến hoá và thay đổi theo những cách thức cơ bản khi chúng già đi.

✧ MỐI QUAN HỆ CHU KỲ – ĐỘ TRUNG

Tầm quan trọng của các sao biến quang Cepheid nằm trong sự kiện các chu kỳ và độ trung trung bình của chúng hoá ra có quan hệ trực tiếp. Chu kỳ càng dài (sao mất thời gian nhiều hơn để biến đổi), độ trung càng lớn. Mối quan hệ chu kỳ– độ trung (period – luminosity relationship) là một khám phá đáng kể, qua đó các nhà thiên văn học vẫn còn cảm ơn các ngôi sao may mắn của họ. Chu kỳ của một sao như thế đo được dễ dàng – một kính viễn vọng tốt và một đồng hồ tốt là tất cả những gì bạn cần. Một khi bạn có được chu kỳ, mối quan hệ sẽ cho bạn độ trung của ngôi sao. Các nhà thiên văn học sau đó có thể so sánh độ sáng thực sự này với độ sáng biểu kiến: Sự chênh lệch giữa hai độ sáng cho phép tính toán được khoảng cách.

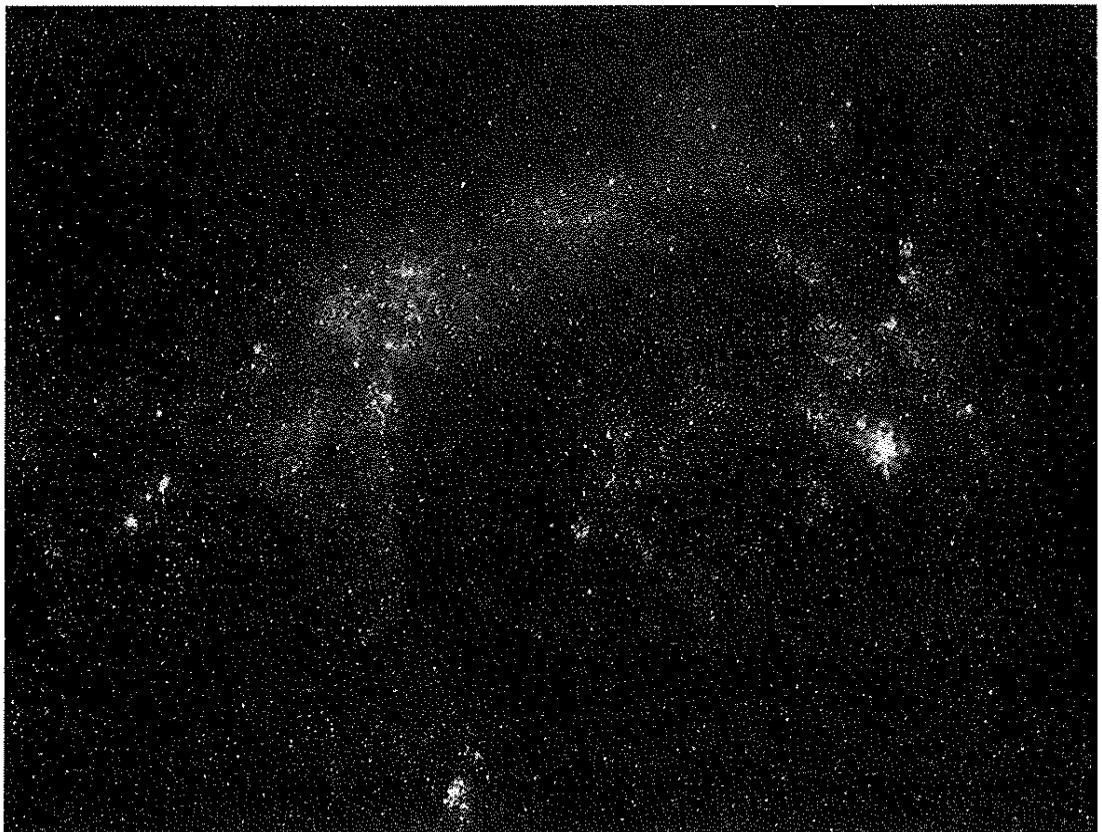
Quan hệ giữa chu kỳ và độ trung được Henrietta Leavitt khám phá vào năm



Henrietta Leavitt: Henrietta Swan Leavitt (1868–1921) làm việc tại Đài quan sát Đại học Harvard. Trong khi nghiên cứu các hình ảnh của các Đám mây Magellan, bà đã phát hiện ra hơn 1700 sao biến quang, kể cả 20 sao Cepheid. Bởi vì tất cả các sao Cepheid trong hệ thống này đại khái có cùng khoảng cách, bà có thể so sánh các độ trung của chúng và các chu kỳ biến đổi, và đã khám phá một mối quan hệ giữa các đặc điểm này dẫn đến một phương pháp mới mẻ và tốt hơn nhiều đối với việc ước tính các khoảng cách vũ trụ.

1908, bà làm việc tại Đài quan sát Đại học Harvard. Bà đã không công bố các kết quả theo một hình thức thu hút sự chú ý của các nhà thiên văn mãi cho tới bốn năm sau. Vài trăm sao biến quang

Cepheid đã được khám phá trong các Đám mây Magellan Lớn và Nhỏ, hai hệ sao vĩ đại thực sự là những thiên hà láng giềng (dù cho lúc đó chúng chưa được biết là những thiên hà).



Đám mây Magellan lớn: Đám mây Magellan Lớn (được gọi tên như thế bởi vì thủy thủ đoàn của Magellan là những người châu Âu đầu tiên ghi chép về nó) là một thiên hà nhỏ có hình dạng bất thường nằm gần Dải Ngân Hà của chúng ta. Chính là trong thiên hà này Henrietta Leavitt đã khám phá mối quan hệ chu kỳ– độ trung của sao Cepheid.

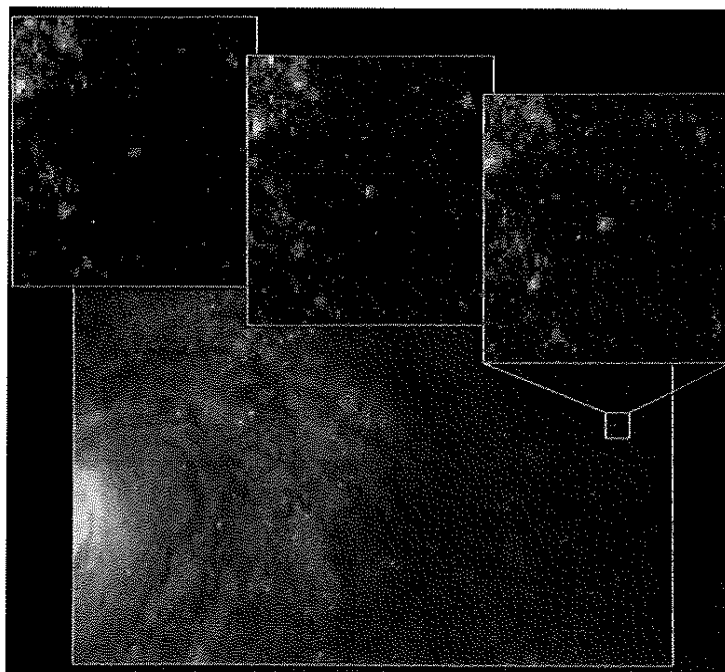
Các hệ thống này thể hiện một cơ hội tuyệt vời để nghiên cứu động thái của các sao biến quang không phụ thuộc vào khoảng cách của chúng. Đối với tất cả các mục đích thực tiễn, các Đám mây Magellan ở cách xa đến nỗi các nhà thiên văn học có thể giả định rằng tất cả các sao trong chúng đại khái là cùng một khoảng cách từ chúng ta. Nếu tất cả các sao biến quang trong các Đám mây Magellan có cùng khoảng cách, bất kỳ sự chênh lệch nào về độ sáng biểu kiến phải là sự phản ánh của những chênh lệch về độ trung thực sự của chúng.

Leavitt nhận thấy rằng những sao Cepheid hiện ra sáng hơn luôn luôn có các chu kỳ biến đổi ánh sáng dài hơn. Do đó, bà lý luận, chu kỳ phải có quan hệ với độ trung của các sao. Khi Leavitt đã làm công việc này, khoảng cách tới các Đám mây Magellan không được biết, vì vậy bà chỉ có thể mô tả rằng độ trung có quan hệ với chu kỳ. Bà không thể xác định chính xác mối quan hệ ấy là gì. Để định nghĩa mối quan hệ chu kỳ – độ

trung với các con số thực tế (để định cỡ cho nó), trước hết các nhà thiên văn học phải đo khoảng cách thực tế tới một vài sao Cepheid lân cận theo một cách khác. (Điều này được hoàn thành bằng cách tìm ra những sao Cepheid trong các chùm sao với những sao khác mà khoảng cách có thể được ước tính từ quang phổ của chúng). Nhưng một khi mối quan hệ do đó đã được phân định, nó có thể cho chúng ta khoảng cách của bất kỳ sao Cepheid nào, dù nó tọa lạc ở đâu đi nữa.

Sau cùng, đây là kỹ thuật các nhà thiên văn học đã tìm kiếm để phá vỡ các giới hạn về khoảng cách mà thị sai áp đặt lên họ. Hoá ra là, các sao Cepheid có thể được quan sát và theo dõi, trong nhiều phần của Dải Ngân Hà cũng như trong các thiên hà khác.

Các nhà thiên văn học, kể cả Ejnar Hertzsprung và Harlow Shapley của Đại học Harvard, lập tức thấy được tiềm năng của kỹ thuật tân tiến này; bắt đầu tiến hành khảo sát những tầm mức xa hơn của không gian bằng cách sử dụng các



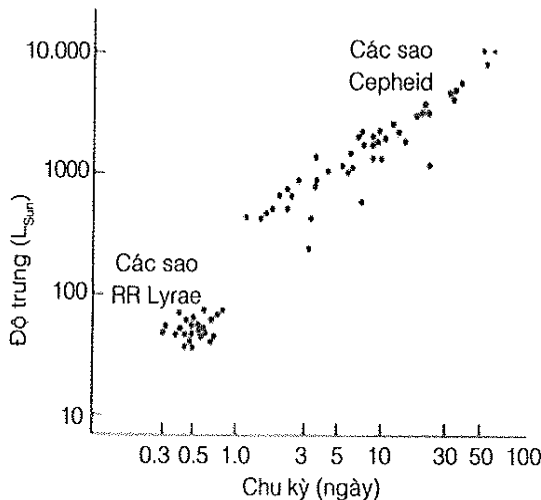
Một sao cepheid ở xa thực sự:
Bức ảnh này của một phần của thiên hà gọi là M100 được chụp bằng kính viễn vọng không gian Hubble vào năm 1994. Những ảnh lồng mô tả một sao Cepheid đơn lẻ trong thiên hà, trải qua chu kỳ biến đổi độ sáng của nó. Những gì khiến cho bức hình này đáng chú ý đó là M100 cách xa 51 triệu LY, và một trong số những thiên hà xa nhất trong đó các sao Cepheid riêng biệt đã được xác định và đo đạc.

sao Cepheid như những biển chỉ đường. Công việc vẫn còn tiếp tục, khi kính viễn vọng không gian Hubble và các thiết bị hiện đại khác cố gắng xác định và đo đạc các sao Cepheid riêng lẻ trong các thiên hà ngày càng cách xa hơn.

✧ SAO RR LYRAE

Một nhóm sao có cùng họ, bản chất của nó được hiểu rõ muộn hơn một chút so với bản chất của các sao Cepheid, được gọi là các sao biến quang RR Lyrae, được đặt tên theo sao RR Lyrae, thành viên nổi tiếng nhất của nhóm. Phổ biến hơn các sao Cepheid, nhưng ít sáng hơn, hàng ngàn sao biến quang mạch động (co giãn) này được biết đến trong thiên hà chúng ta. Chu kỳ của các sao RR Lyrae thường chưa đầy một ngày, và các sự thay đổi về độ sáng của chúng tiêu biểu ít hơn chừng một hệ số hai.

Các nhà thiên văn học thấy rằng các sao RR Lyrae xuất hiện trong bất kỳ chùm sao đặc biệt nào mà tất cả có cùng



Quan hệ chu kỳ – độ trung đối với sao biến quang cepheid: Trong hạng sao biến quang này, thời gian sao cần để đi qua một chu kỳ thay đổi độ trung có quan hệ với độ trung trung bình của sao. Thời gian sao mất để thay đổi càng lâu hơn, nó càng sáng hơn. Chu kỳ và độ trung đối với các sao RR Lyrae cũng được mô tả.

độ sáng biểu kiến. Bởi vì các sao trong một chùm sao gần như là cùng khoảng cách, hệ quả là các sao biến quang RR Lyrae gần như phải có cùng độ trung biểu kiến – khoảng $50 L_{\text{Sun}}$ (trong ý nghĩa này, các sao RR Lyrae hơi giống như những bóng đèn tròn tiêu chuẩn). Hình bên trình bày những loại chu kỳ và độ trung đối với các sao Cepheid và RR Lyrae.

Các sao RR Lyrae có thể được phát hiện ra tới một khoảng cách chừng 2 triệu LY, và các sao Cepheid tới khoảng 60 triệu LY. So sánh những giới hạn này với các thị sai mà ngay cả từ không gian có thể sẽ không đo được đối với các sao xa hơn vài trăm LY.

Bạn có thể thấy từ so sánh này đúng là sự khám phá về mối quan hệ chu kỳ – độ trung đối với các sao biến quang có vai trò quan trọng trong việc giúp các nhà thiên văn học mở rộng phép đo khoảng cách vũ trụ của họ.

10.4 SƠ ĐỒ H – R VÀ KHOẢNG CÁCH VŨ TRỤ

✧ KHOẢNG CÁCH TỪ CÁC LOẠI PHỔ

Đối với phép đo khoảng cách các sao biến quang đã được thỏa mãn và có hiệu quả, các sao này hiếm hoi và không được phát hiện ở bên cạnh tất cả các vật thể mà chúng ta mong muốn đo đạc khoảng cách. Thí dụ, giả sử chúng ta cần khoảng cách tới một sao không biến đổi. Hay một nhóm sao, trong đó không có sao nào là sao biến quang. Trong trường hợp này, sơ đồ H – R có thể trở thành sự cứu giúp của chúng ta.

Nếu chúng ta có thể quan sát quang phổ của một sao, chúng ta có thể ước tính khoảng cách của nó từ sự am hiểu

về sơ đồ H – R. Sự xem xét tỉ mỉ quang phổ sao cho phép các nhà thiên văn học phân loại sao vào một trong số các loại phổ (spectral types) biểu thị nhiệt độ bề mặt. (Các loại phổ là O, B, A, F, G, K và M; mỗi loại phổ này có thể chia thành các phân nhóm được đánh số). Tuy nhiên, nói chung, chỉ riêng loại phổ không đủ cho phép chúng ta ước tính độ trung. Ở chương trước, chúng ta đã thấy trong hình, sao A G2 có thể là một sao nằm trên dãy sao chính với độ trung $1L_{\text{Sun}}$, hay nó có thể là một sao khổng lồ với độ trung $100 L_{\text{Sun}}$, hay thậm chí một sao siêu khổng lồ với độ trung còn cao hơn.

Nhưng chúng ta có thể hiểu biết nhiều từ quang phổ của một sao hơn là nhiệt độ của chính nó. Thí dụ, hãy nhớ rằng chúng ta có thể phát hiện những chênh lệch về áp suất trong các sao từ các chi tiết của quang phổ (xem Mục 8.3). Kiến thức này rất hữu ích, bởi vì các sao khổng lồ lớn hơn (và có áp suất thấp hơn) các sao trong dãy sao chính, và các sao siêu khổng lồ còn lớn hơn các sao khổng lồ. Nếu nhìn vào chi tiết trong quang phổ của một sao, chúng ta có thể xác định liệu nó có phải là một sao trong dãy chính, một sao khổng lồ hay một sao siêu khổng lồ.

Thí dụ, giả sử rằng quang phổ, màu sắc, và các đặc trưng khác của sao ở xa G2 sánh ngang với những đặc trưng của Mặt Trời một cách chính xác. Vậy có thể kết luận rằng sao ở xa này rất có thể là một sao trong chuỗi sao chính giống như Mặt Trời, và có cùng độ trung như Mặt Trời.

Hệ thống được sử dụng rộng rãi nhất về việc phân loại sao chia các sao của một cấp phổ nhất định thành sáu hạng gọi là các cấp độ trung (luminosity classes). Các cấp độ trung này được biểu thị bằng các chữ số La Mã như sau:

Ia: Các sao siêu khổng lồ sáng nhất

Ib: Các sao siêu khổng lồ ít sáng hơn

II: Các sao khổng lồ sáng

III: Các sao khổng lồ

IV: Các sao tiểu khổng lồ (trung gian giữa các sao khổng lồ và sao trong dãy chính)

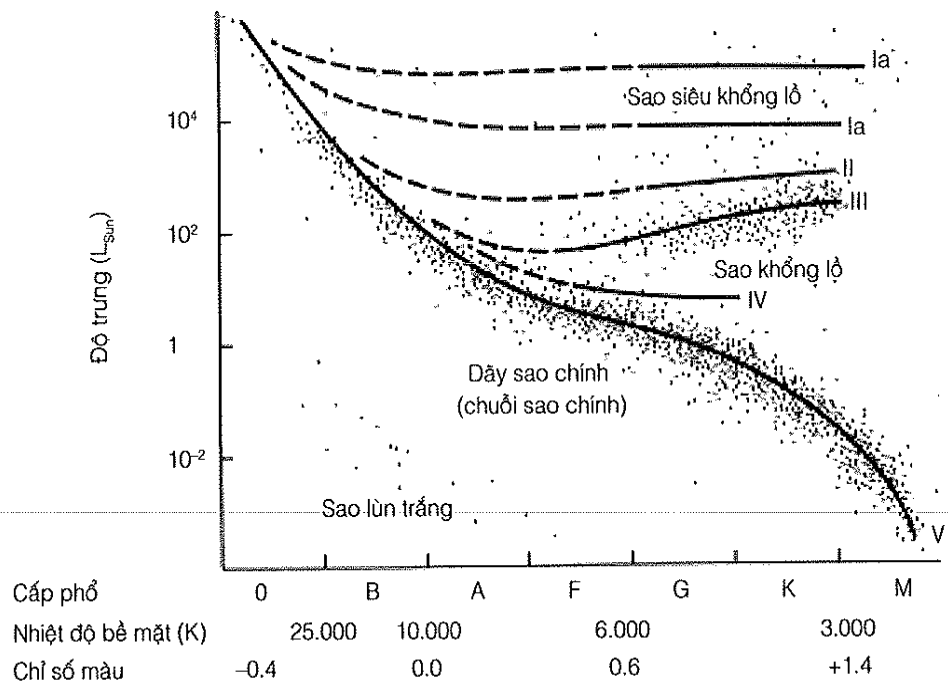
V: Các sao trong dãy sao chính.

Toàn bộ quy cách phổ của một sao bao gồm cấp độ trung của nó. Thí dụ, một sao trong dãy chính với cấp phổ F3 được viết là F3 V. Quy cách dành cho một sao khổng lồ M2 sẽ là M2 III. Hình trang bên mô tả các vị trí gần đúng của các sao của nhiều cấp độ trung khác nhau trên sơ đồ H – R. Những phần có dấu gạch ngang của các đường thể hiện các vùng rất ít hay không có sao.

Với cả các cấp phổ và độ trung đều đã biết của nó, vị trí của một sao trên sơ đồ H – R được xác định một cách đơn độc. Bởi vì sơ đồ đánh dấu độ trung ngược với nhiệt độ, điều này có nghĩa là hiện nay chúng ta có thể đọc rõ độ trung của sao (một khi quang phổ của nó đã giúp chúng ta đặt nó trên sơ đồ). Như trước đây, nếu chúng ta biết được một sao thực sự chiếu sáng đến mức nào, và nhìn thấy nó trông mờ như thế nào, sự chênh lệch cho phép chúng ta tính toán khoảng cách của nó. (Vì những nguyên nhân lịch sử, các nhà thiên văn học đôi khi gọi phương pháp xác định khoảng cách này là thị sai quang phổ (spectroscopic parallax); tuy nhiên chúng ta nhận thấy cái tên này có vấn đề, bởi vì phương pháp này chẳng có điều gì liên quan tới thị sai).

✧ MỘT VÀI LỜI VỀ THẾ GIỚI THỰC

Trong thế giới thực, các kỹ thuật mà chúng ta vừa mô tả thật rắc rối và khó



Các cấp độ trung: Các sao có cùng nhiệt độ (hay cấp phổ) có thể rơi vào các cấp độ trung khác nhau trên sơ đồ Hertzsprung-Russell. Bằng cách nghiên cứu các chi tiết của quang phổ dành cho mỗi sao, các nhà thiên văn học có thể xác định cấp độ trung nào chúng rơi vào (dù chúng là các sao trong dãy sao chính, sao khổng lồ hay là các sao siêu khổng lồ).

khăn, và thường mang đến cho các nhà thiên văn học những cơn đau đầu.

Thí dụ, mối quan hệ chu kỳ – độ trung đối với một số sao biến quang nào đó – không phải chính xác là những đường thẳng trên một đồ thị. Những điểm thể hiện nhiều sao nằm rải rác rộng lớn khi được đánh dấu, và do đó các khoảng cách bắt nguồn từ chúng cũng có một sự phân tán nào đó hay tình trạng không rõ ràng.

Các khoảng cách đo được, bằng những phương pháp mà chúng ta đã đề cập, chỉ chính xác trong phạm vi sai số phần trăm nào đó – đôi khi 10%, đôi khi 25%, đôi khi tới 50% hay hơn nữa. Sai số 25% đối với một ngôi sao được ước tính là cách xa 10.000 LY, nghĩa là nó có thể ở bất kỳ nơi nào cách xa từ 7500 tới 12.500 LY. Đây sẽ là tình trạng không

thể chấp nhận được nếu bạn đang nạp nhiên liệu vào một tàu không gian dành cho một chuyến du hành tới vì sao ấy, song nó không phải là hình ảnh tệ hại đầu tiên nếu bạn là một nhà thiên văn học ở Trái Đất.

Việc dựng hình của các sơ đồ H – R cũng không dễ dàng như bạn nghĩ. Để tạo ra một sơ đồ hợp lý, người ta cần đo đạc các đặc điểm của nhiều sao, có thể là một công việc tốn nhiều thời gian. Bởi vì vùng lân cận của Mặt Trời cũng đã được lập bản đồ, các sao mà các nhà thiên văn học muốn nghiên cứu rất có thể là xa hơn và mờ hơn. Có thể phải mất nhiều giờ quan sát để thu được một quang phổ duy nhất. Các nhà quan sát có thể phải trải qua nhiều đêm tại kính viễn vọng (và nhiều ngày với dữ liệu của họ) trước khi tìm được phép đo khoảng cách.

Tuy nhiên, với những công cụ này – các thị sai đối với các sao gần nhất, các sao biến quang RR Lyrae và các sơ đồ H – R đối với các chùm sao trong thiên hà của chúng ta và các thiên hà lân cận, và các sao Cepheid ở xa tới khoảng cách 60 triệu LY – chúng ta có thể đo đạc các khoảng cách xuyên qua Dải Ngân Hà tới các hệ sao lân cận. Chúng ta có thể phối hợp các khoảng cách như thế với các phép đo về thành phần cấu tạo, độ trung, và nhiệt độ được thực hiện với các kỹ thuật được trình bày trong Chương 8 và 9. Những điều này hình thành một kho lưu trữ thông tin để theo dõi sự tiến hoá của các sao từ lúc sinh ra đến lúc chết đi.

TÓM LƯỢC

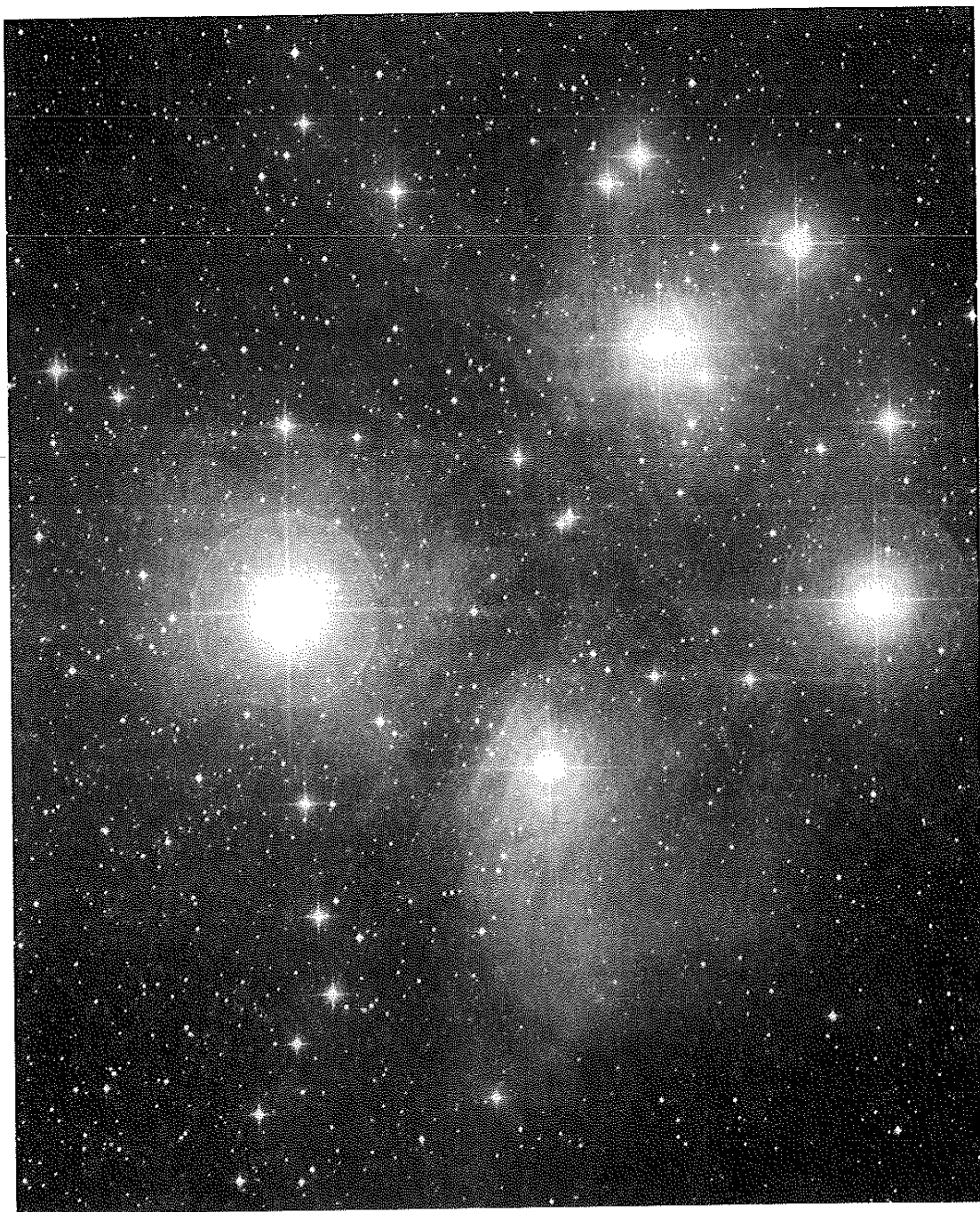
10.1 Các phép đo đầu tiên về độ dài dựa vào kích thước của con người, song ngày nay chúng ta sử dụng các tiêu chuẩn quốc tế phân định các độ dài bằng các đơn vị như mét chẳng hạn. Các khoảng cách trong phạm vi hệ mặt trời hiện nay được xác định bằng cách tính thời gian các tín hiệu radar đi từ Trái Đất tới bề mặt của một hành tinh hay thiên thể khác, sau đó quay trở lại.

10.2 Đối với các sao tương đối gần, chúng ta có thể dùng phép tam giác đạc để đo khoảng cách từ một cạnh đáy được tạo ra bởi sự chuyển động hàng năm của Trái Đất xung quanh Mặt Trời. Phân nửa sự dịch chuyển về vị trí của một sao gần so với các sao nền rất xa, như được quan sát từ các bên đối nghịch của quỹ đạo Trái Đất, được gọi là thị sai của sao và là một thước đo về khoảng cách của nó. Các đơn vị được dùng để đo khoảng cách

sao là năm ánh sáng (LY – Light Year), khoảng cách ánh sáng di chuyển trong một năm, và parsec (pc), khoảng cách của một sao với một thị sai 1 arcsec (cung 1 giây). Một parsec = 3,26 LY. Các phép đo đầu tiên về các thị sai sao được báo cáo vào năm 1838. Các phép đo thị sai là mất xích cơ bản trong chuỗi xích các khoảng cách vũ trụ. Vệ tinh Hipparcos đã giúp chúng ta đo đạc các thị sai chính xác đối với các sao xa tới khoảng 300 LY.

10.3 Các sao Cepheid và RR Lyrae là hai loại sao biến quang mạch động (hay sao biến quang co giãn) (pulsating variable stars). Các đường cong ánh sáng của các sao này chứng tỏ rằng các độ trung của chúng thay đổi theo một chu kỳ lặp đi lặp lại đều đặn. Cả hai loại sao biến quang đều tuân theo mối quan hệ chu kỳ – độ trung, do đó việc đo đạc các chu kỳ của chúng có thể cho chúng ta biết các độ trung của chúng. Sau đó, chúng ta có thể tính toán khoảng cách bằng cách so sánh độ trung với độ sáng biểu kiến của chúng, và điều này cho phép chúng ta đo đạc các khoảng cách tới các sao này xa hơn 60 triệu LY.

10.4 Các sao với nhiệt độ như nhau nhưng áp suất (và đường kính) khác nhau có các quang phổ hơi khác nhau. Sự phân loại phổ do đó có thể được sử dụng để ước tính cấp độ trung hay cấp sáng (luminosity class) của một sao, cũng như nhiệt độ của nó. Vì thế một quang phổ có thể giúp chúng ta xác định ngôi sao được phân bố ở đâu trên sơ đồ H – R và hình thành độ trung của nó. Điều này, với độ sáng biểu kiến của sao, một lần nữa mang lại đáp số về khoảng cách.



Chùm sao Pleiades (chùm sao Thất Nương, trong chòm sao Kim Ngưu – Taurus) (chỉ một vài sao được nhìn thấy ở đây) và được tọa lạc khoảng 400 LY tính từ Mặt Trời. Vùng mờ đục là ánh sáng sao bị phản xạ bởi bụi giữa các sao trong một đám mây mà chùm sao tinh cở đang đi ngang qua ở thời điểm hiện tại. Một phương pháp quan trọng giúp chúng ta nhận thức về vật chất giữa các sao là quan sát các tác động của bức xạ của sao đối với khí và bụi lân cận.

CHƯƠNG 11

GIỮA CÁC NGÔI SAO: KHÍ VÀ BỤI TRONG KHÔNG GIAN

“[Các hình ảnh] mô tả nhóm sao [chùm sao Thất Nữ – Pleiades] với những rắc rối phức tạp của vật chất tinh vân, dường như kết hợp với các sao khác bằng những đám mây mù và các luồng ánh sáng mờ ảo... tất cả nằm ngoài thị giác tinh nhạy nhất và kính viễn vọng mạnh nhất”.

E. E. Barnard, viết trong “Popular Astronomy”, cuốn 6, trang 439 (1898)

Có phải không gian giữa các ngôi sao là trống rỗng? Trong vùng lân cận Mặt Trời của chúng ta, khoảng cách trung bình giữa các sao là khoảng 7 năm ánh sáng. Bởi vì đường kính tiêu biểu của một ngôi sao là vài giây ánh sáng, các sao thực ra cách nhau rất xa so với kích thước của chính nó. Có phải không gian giữa chúng thật sự là một khoảng chân không vĩ đại? Hay là có vật chất giữa các ngôi sao?

Để bắt đầu cuộc bàn luận của chúng ta về câu chuyện sự sống của các ngôi sao, trước tiên chúng ta phải xem xét kỹ chúng bắt nguồn từ đâu. Một trong những khám phá hấp dẫn nhất của thiên văn học thế kỷ XX, đó là Thiên Hà của chúng ta không chỉ là những ngôi sao, mà còn là những khối lượng khổng lồ của những gì chúng ta có thể gọi là “nguyên

vật liệu” cho các ngôi sao – các chất khí và các hạt bụi bé nhỏ. Các nghiên cứu về vật chất nguyên sinh này giúp chúng ta hiểu được bằng cách nào các sao mới có thể tiếp tục hình thành và mang đến cho chúng ta những tri thức quan trọng về các nguồn gốc của chính chúng ta cách đây hàng tỉ năm.

Theo những tiêu chuẩn của Trái Đất, không gian giữa các sao là trống rỗng. Không có một phòng thí nghiệm nào trên Trái Đất có thể tạo ra một khoảng chân không hoàn toàn như thế. Tuy nhiên, “tình trạng trống rỗng” này lại đầy những đám mây khí rộng lớn bao la và các hạt rắn. Một số đám mây nhìn thấy được và được gọi là tinh vân (nebulae) (Tiếng Latin của “clouds” – “các đám mây”). Một số khác phát xạ năng lượng chỉ với các bước sóng hồng ngoại hay vô

tuyến. Còn một số khác nữa làm cho sự hiện hữu của nó được biết đến do chúng hấp thụ một phần ánh sáng đi ngang qua chúng. Các nhà thiên văn học nói đến tất cả những vật liệu nằm giữa các vì sao như là **vật chất giữa các sao** (interstellar matter); toàn bộ tập hợp của vật chất giữa các sao được gọi là **môi trường không gian giữa các sao** (interstellar medium).

Các đám mây giữa các sao không dài lâu đối với thời thời gian sống của vũ trụ, nhưng trái lại va chạm, kết hợp, và tăng trưởng. Một số hình thành các sao trong chúng, để sau đó phóng năng lượng vào vật liệu của đám mây và phân tán nó. Khi các sao chết đi, chúng lần lượt phun

ra một số vật liệu vào không gian giữa các sao. Vật liệu này sau đó có thể hình thành các đám mây mới và bắt đầu chu kỳ một lần nữa.

11.1 MÔI TRƯỜNG KHÔNG GIAN GIỮA CÁC SAO

Khoảng 99% của vật liệu giữa các sao ở dạng chất khí – nghĩa là, nó bao gồm những nguyên tử hay phân tử riêng lẻ. Nguyên tố dồi dào nhất trong chất khí này là hydro và helium (cũng là những nguyên tố dồi dào nhất trong các sao). Một phần trăm còn lại là các hạt rắn – đông cứng của nhiều nguyên



Các loại vật chất khác nhau giữa các sao: Tinh vân rực rỡ với ánh sáng được phát xạ bởi các nguyên tử hydro. Các vùng tối nhất trong ảnh chụp là các đám mây bụi che khuất ánh sáng từ các sao phía sau chúng. Phần trên của bức hình được lấp đầy với ánh sáng phản xạ từ các sao nóng được bao bọc trong vùng bên ngoài của một đám mây bụi và khí, lạnh và khổng lồ. Sao siêu khổng lồ lạnh Antares ở phần bên trái thấp hơn của bức hình. Sao này đang tỏa ra một số khí quyển bên ngoài của nó, và được bao bọc bởi một đám mây do chính nó tạo ra, phản xạ ánh sáng của sao. Tinh vân ở bên phải phía dưới một phần bao bọc sao Sigma Scorpii. (về phía phải và dưới Antares là M4, một chùm sao xa hơn nhiều của những sao cực già).

tử và phân tử được gọi là các hạt giữa các sao (interstellar grains) hay bụi giữa các sao.

Nếu toàn bộ các chất khí giữa các sao được trải rộng ra bằng phẳng, sẽ có khoảng một nguyên tử chất khí trên một centimét khối trong khoảng không giữa các sao. (Ngược lại, không khí trong phòng nơi bạn đang đọc cuốn sách này có chừng 10^{19} nguyên tử trên một centimét khối). Những hạt bụi thậm chí càng hiếm hoi hơn. Một kilômét khối không gian sẽ chứa chỉ một vài trăm tới vài ngàn hạt li ti, tiêu biểu mỗi hạt có đường kính

nhỏ hơn một phần mười ngàn milimét. Tuy nhiên, những con số này chỉ là số trung bình, bởi chất khí và bụi không được phân bố một cách đồng đều. Trái lại, như các bức hình trong chương này mô tả, sự phân bố lổm đổm, và không đều, với những vùng đậm đặc hơn được nói đến như là “những đám mây”.

Trong một số đám mây, mật độ của khí và bụi có thể vượt mức trung bình khoảng một ngàn lần hay nhiều hơn nữa, nhưng ngay cả mật độ này gần như là một khoảng chân không hơn bất cứ khoảng chân không nào trên Trái Đất.

Đám mây và Tinh vân

Nhìn vào các lời chú thích dành cho một số ảnh chụp đẩu trong chương này và chương kế tiếp, bạn sẽ nhận thấy rất nhiều tên được đặt cho các tinh vân. Một vài, mà trong các kính viễn vọng nhỏ trông như một vật thể có thể nhận ra được, đôi khi được đặt tên theo các vật thể mà chúng giống. Các thí dụ gồm tinh vân Crab (Con cua), Tarantula (Nhện đen), và Keyhole (Lỗ khóa). Nhưng hầu hết chỉ có những con số là những mục từ trong mục lục về các thiên thể.

Có lẽ bảng mục lục tinh vân nổi tiếng nhất (cũng như các chùm sao và các thiên hà) là do nhà thiên văn học Pháp Charles Messier (1730 – 1817) biên soạn. Niềm say mê của Messier là khám phá những sao chổi, và sự tận tụy của ông cho sự nghiệp này mang đến cho ông biệt danh “Người Săn Sao Chổi” (“The Comet Ferret”) từ Vua Louis XV. Khi các sao chổi đầu tiên được nhìn thấy đi về phía Mặt Trời, chúng trông giống như những mảng ánh sáng nhỏ và mờ nhạt; trong những kính viễn vọng nhỏ, chúng dễ lẫn với các tinh vân hay các nhóm sao ở rất xa mà ánh sáng bị trộn lẫn với nhau. Đôi khi Messier nghĩ rằng ông đã khám phá một trong những sao chổi quý báu, để rồi nhận ra rằng ông đã “chỉ” quan sát được một tinh vân hay một chùm sao.

Trong tâm trạng thất vọng, Messier bắt đầu phân thành mục lục vị trí và hình dạng của hơn 100 vật thể có thể nhầm lẫn với các sao chổi. Đối với ông, bảng liệt kê này thực sự là một công cụ trong công việc săn tìm sao chổi. Ông sẽ hết sức ngạc nhiên nếu ngày nay ông có thể quay trở lại để khám phá ra rằng không ai nhắc đến các sao chổi của ông, nhưng bảng mục lục về “các vật thể mờ nhạt không phải là các sao chổi” vẫn còn được sử dụng phổ biến. Trên hình có nói đến M4, nó biểu thị mục từ thứ tư trong bảng liệt kê của Messier.

Một danh sách bao quát hơn nhiều, được John Dreyer biên soạn, năm 1888, dưới tựa đề Mục lục tổng quát mới về các tinh vân và các Chùm Sao (New General Catalog [NGC] of Nebulae and Star Clusters). Lúc đó, ông đang làm việc tại đài thiên văn ở Armagh, Ireland. Ông đặt cơ sở công việc biên soạn của mình trên công trình của William Herschel và John, con trai ông, cộng thêm nhiều nhà quan sát khác tiếp nối. Thêm vào hai bảng danh sách nữa (gọi là các Mục lục chỉ số), tài liệu biên soạn của Dreyer cuối cùng bao gồm 13.000 vật thể. Ngày nay, các nhà thiên văn học vẫn còn sử dụng các con số trong NGC (Tân mục lục tổng quát) của ông khi nói đến các tinh vân và các nhóm sao.

Chúng ta hãy hình dung một ống trụ đứng trong khí quyển Trái Đất với tiết diện ngang là 1 m^2 . Bây giờ hãy vươn dài ống trụ cùng kích thước từ đỉnh của bầu khí quyển tới rìa của một vũ trụ có thể quan sát được, xa hơn 10 tỉ năm ánh sáng.

Dù dài, ống trụ mới vẫn chứa ít nguyên tử hơn nhiều so với ống trụ trong khí quyển của hành tinh chúng ta.

Trong khi mật độ của vật chất giữa các sao là rất thấp, thể tích không gian trong đó vật chất như thế được tìm thấy là vô cùng lớn, và do đó, tổng khối lượng (total mass) là đáng kể. Để hiểu tại sao, chúng ta nhớ rằng các sao chỉ chiếm một phần nhỏ của thể tích của Dải Ngân Hà. Thí dụ, ánh sáng chỉ mất khoảng 2 giây để di chuyển qua một khoảng cách bằng với bán kính của Mặt Trời, nhưng hơn bốn năm để di chuyển từ Mặt Trời tới ngôi sao gần nhất. Cho dù các khoảng không gian giữa các sao “có dân cư” một cách thưa thớt rời rạc, quả là có vô số khoảng không gian ngoài xa đó.

Các nhà thiên văn học ước tính rằng tổng khối lượng của chất khí và bụi trong Dải Ngân Hà bằng khoảng 5% khối lượng chứa trong các sao. Đừng để 5% ấy đánh lừa bạn: Điều này có nghĩa là khối lượng của vật chất giữa các sao trong Thiên Hà của chúng ta lên tới vài tỉ lần khối lượng của Mặt Trời. Có rất nhiều nguyên vật liệu trong Dải Ngân Hà để tạo ra nhiều thế hệ sao mới và hành tinh mới.

11.2 CHẤT KHÍ GIỮA CÁC SAO

Một số hình ảnh thiên văn ngoạn mục nhất mô tả chất khí giữa các sao ở gần các sao nóng. Chất khí này được đun

nóng tới nhiệt độ gần 10.000K bởi các sao lân cận; sau đó nó rực sáng với đặc điểm màu đỏ của nguyên tố hydro, hình thành đa số chất khí (khoảng $3/4$ khối lượng). (Vạch hydro mạnh nhất trong vùng thấy được của quang phổ là vạch Balmer màu đỏ; xem Mục 4.5).

✧ NHỮNG VÙNG H II – CHẤT KHÍ GẦN CÁC SAO NÓNG

Khí hydro giữa các vì sao gần những sao rất nóng bị ion hoá (electron bị lấy đi hoàn toàn) bởi bức xạ cực tím từ các sao ấy. Bởi vì hydro là thành phần chính của chất khí giữa các sao, cho nên chúng ta thường xác định đặc điểm một vùng không gian theo hoặc khí hydro của nó là trung hoà hay bị ion hoá. Một đám mây



Tinh Vân NGC 3603: Một chùm sao nóng sáng rực (vùng trắng sáng gần đáy của tấm ảnh) ion hoá hydro trong đám mây khí, hình thành một vùng H II. Khi các electron sau đó tái kết hợp với các proton và di chuyển trở xuống quỹ đạo năng lượng thấp nhất, các vạch phát xạ được tạo ra. Vạch hydro mạnh nhất có thể được thấy như ánh sáng thường nằm trong phần đỏ của quang phổ, và có liên quan với màu sắc của chất khí. Lưu ý rằng có nhiều làn bụi xuyên qua tinh vân.

của khí hydro ion hoá được gọi là một vùng H II (H II region). (Các nhà khoa học sử dụng số I La Mã để biểu thị rằng một nguyên tử đang ở trạng thái trung hoà; tuần tự những con số La Mã cao hơn được sử dụng cho từng giai đoạn ion hoá cao hơn. H II, do đó, nói đến nguyên tử hydro đã mất một electron của nó; Fe III là nguyên tử sắt thiếu mất hai electron).

Khi bức xạ từ một sao nóng ion hoá hydro trong chất khí chung quanh, một nguyên tử hydro trung hoà bị biến đổi thành một ion hydro dương (một proton) và một electron tự do. Một proton tách rời như thế không thể duy trì mãi được khi các electron hấp dẫn đang ở chung quanh, nó sẽ bắt lấy một electron tự do, trở thành hydro trung hoà một lần nữa. Tuy nhiên, một nguyên tử trung hoà như thế sau đó có thể hấp thụ bức xạ cực tím một lần nữa và bắt đầu trở lại một chu kỳ. Tại một thời điểm tiêu biểu, hầu hết các nguyên tử gần một sao nằm trong trạng thái ion hoá, đó là tại sao chúng ta gọi những khu vực như thế là những vùng H II.

Chính sự thu hút các electron tự do dẫn tới sự phát xạ ánh sáng mà chúng ta thấy từ các tinh vân này. Các electron đổ xuống qua nhiều mức năng lượng khác nhau của các nguyên tử hydro trên đường đi của chúng tới mức thấp nhất, hay *trạng thái cơ bản* (ground state). Trong mỗi giai đoạn chuyển hoá xuống dưới, chúng toả ra năng lượng trong dạng ánh sáng (như đã giải thích trong Chương 4). Quá trình biến đổi bức xạ cực tím thành ánh sáng thấy được này được gọi là *sự phát huỳnh quang* (fluorescence).

Một đèn huỳnh quang trên Trái Đất vận hành, sử dụng cùng các nguyên lý như một vùng huỳnh quang H II. Khi bạn

mở dòng điện, các electron va chạm với các nguyên tử của hơi thủy ngân trong ống đèn. Thủy ngân bị kích thích tới trạng thái năng lượng cao do các sự va chạm này. Khi các electron trong các nguyên tử thủy ngân trở về các mức năng lượng thấp hơn, một số năng lượng chúng phát xạ nằm dưới dạng các photon cực tím. Lần lượt, những photon này đập vào màng phủ chất phosphor trên thành trong của ống đèn. Các nguyên tử trên màng hấp thụ các photon cực tím và phát xạ ánh sáng thấy được khi chúng đổ xuống phía dưới trong số các mức năng lượng thấp. (Sự khác biệt là những nguyên tử này toả ra một phạm vi rộng hơn về các màu sắc ánh sáng, chúng hoà trộn để cho ra sự chói sáng trắng đặc trưng của các đèn huỳnh quang, trong khi các nguyên tử hydro trong vùng H II toả ra một tập hợp màu sắc hạn chế hơn).

Chất khí giữa các vì sao chứa những nguyên tố khác nữa cùng với hydro. Đa số cũng bị ion hoá ở vùng phụ cận của các sao nóng; sau đó chúng hút lấy các electron và phát xạ ánh sáng, giống như hydro thực hiện, điều này cho phép các nhà thiên văn học quan sát được chúng. Nhưng nói chung, vạch hydro đỏ là mạnh nhất, và đó là tại sao các vùng H II trông thấy màu đỏ.

✧ CÁC ĐÁM MÂY HYDRO TRUNG HOÀ

Khí hydro ion hoá là loại vật chất giữa các sao hầu hết được chụp hình. Nhưng những cuộc quan sát chứng tỏ rằng hầu hết hydro giữa các vì sao không bị ion hoá. Các sao rất nóng cần thiết để tạo ra các vùng H II thì rất hiếm, và chỉ một phần nhỏ của vật chất giữa các sao là khá gần với các sao nóng như thế để bị ion hoá bởi chúng.

Nếu chất khí giữa các vì sao được phân bố ở những khoảng cách lớn từ các sao thì không bị ion hoá và không thể tạo ra các vạch phát xạ mạnh, làm sao chúng ta có thể hiểu biết về chất khí như vậy? Một phương cách là truy tìm sự hiện diện của các nguyên tử và phân tử của vật chất giữa các sao trong quang phổ của các sao. Các đám mây khí lạnh có thể hấp thụ một số ánh sáng từ các sao nằm phía sau chúng, tạo ra các vạch phổ tối.

Chúng cứ đầu tiên về sự hấp thụ bởi các đám mây giữa các sao xuất phát từ việc phân tích sao đôi quang phổ (xem Chương 9). Trong khi hầu hết các vạch trong quang phổ của sao đôi này tuân tự chuyển đổi từ các bước sóng dài hơn tới ngắn hơn và quay trở lại, cũng như chúng ta mong đợi từ hiệu ứng Doppler đối với một sao trong quỹ đạo chung quanh sao khác, một vài vạch trong quang phổ vẫn giữ cố định về bước sóng. Bởi vì cả hai sao đều đang di động trong một hệ thống sao đôi, các vạch chứng tỏ không có sự chuyển động làm các nhà thiên văn học bối rối. Công trình tiếp theo chứng minh rằng những vạch này không được hình thành một chút nào trong khí quyển của sao, nhưng đúng hơn là trong một đám mây khí lạnh được phân bố giữa Trái Đất và sao đôi.

Sodium và calcium tạo ra các vạch giữa các sao rõ rệt nhất trong vùng ánh sáng thấy được của quang phổ. Chúng ta cũng thấy sự hấp thụ trong quang phổ được tạo ra bởi các phân tử (sự kết hợp của các nguyên tử) chẳng hạn như CN và CH. Các cuộc quan sát tia cực tím được thực hiện với các kính viễn vọng trên quỹ đạo đã dò ra những vạch của carbon, hydro, oxy, nitro và các nguyên

tố khác, cũng như monoxide carbon và hydro phân tử. Lưu ý rằng hydro vẫn là nguyên tố dồi dào nhất trong các vùng lạnh hơn, nhưng các nguyên tử hydro lạnh không tạo ra những vạch có thể quan sát được trong phần thấy được của quang phổ.

Cường độ của các vạch phổ của vật chất giữa các sao có thể được sử dụng để ước tính về việc mỗi nguyên tố phổ biến đến mức nào trong chất khí giữa các sao. Đối với một số nguyên tố, sự dồi dào giữa các sao giống như sự dồi dào tương đối của chúng trong Mặt Trời và các sao khác. Tuy nhiên, chất khí giữa các sao có sự dồi dào rất thấp về các nguyên tố dễ dàng ngưng tụ thành các chất rắn (nhất là aluminium, calcium, và titan, cũng như sắt, silicon, và magnesium). Như chúng ta sẽ thấy trong Mục 11.4, phần nhiều nguyên tử của các nguyên tố này đã thật sự kết hợp để hình thành các hạt rắn nhỏ li ti của bụi giữa các sao. Do đó chúng không còn thể hiện các vạch phổ được tạo ra bởi các nguyên tử trong trạng thái khí.

✧ CÁC CUỘC QUAN SÁT VÔ TUYẾN CỦA CÁC ĐÁM MÂY LẠNH: VẠCH 21 CM

Ngay bây giờ bạn có thể đã quên đi thông điệp rằng hydro là nguyên tố phổ biến nhất ngoài không gian. Và hầu hết khí hydro trong không gian giữa các sao đều lạnh.

Rủi thay, hydro lạnh – cách xa bức xạ của các sao nóng – do vậy không dễ dàng tìm ra khi sử dụng ánh sáng thấy được hay bức xạ cực tím. Tuy nhiên, các nhà thiên văn học vô tuyến, khám phá ra một cách thức để am hiểu về những gì là các bể chứa khí hydro lạnh trong Dải Ngân Hà.

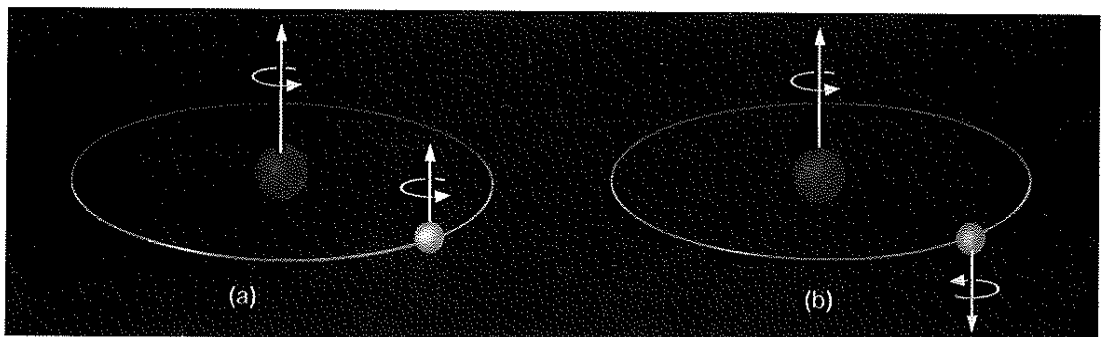
Các đám mây lạnh của chất khí giữa các vì sao phát xạ các vạch phổ trong phần vô tuyến của phổ điện từ (xem Mục 5.4 nói về việc làm sao để tìm ra bức xạ vô tuyến của bước sóng dài). Hữu dụng nhất trong các vạch này được tạo ra bởi hydro với bước sóng 21 cm. Đó là một bước sóng khá dài, ngụ ý rằng sóng có một tần số thấp và năng lượng thấp. Năng lượng quá thấp cho nên không thể xuất phát từ các electron nhảy vọt lên giữa các mức năng lượng. Vậy một thứ sóng năng lượng thấp như thế xuất phát từ đâu trong hydro?

Một nguyên tử hydro có một số năng lượng quay nhỏ bởi vì electron của nó đang xoay tròn quanh trục của nó và quay chung quanh nhân (proton). Hơn nữa, proton có một sự xoay tròn của chính nó. Nếu proton và electron đang xoay tròn theo các hướng đối nghịch, nói chung nguyên tử có một năng lượng hơi thấp hơn nếu hai sự xoay tròn cùng chiều. Nếu một nguyên tử trong trạng thái năng lượng thấp hơn (các sự xoay tròn ngược nhau) đạt được một số năng lượng nhỏ, sau đó các sự xoay tròn của proton và electron có thể cùng chiều, để cho nguyên tử trong một trạng thái *kích*

thích nhẹ (excited state). Nếu nguyên tử sau đó lại mất đi cùng số năng lượng đó, nó trở về trạng thái cơ bản của nó. Số năng lượng có liên quan tương ứng với một sóng có bước sóng 21 cm.

Các nguyên tử hydro trung hoà có thể thu được các số năng lượng nhỏ qua các sự va chạm với electron và các nguyên tử khác. Các va chạm như thế cực kỳ hiếm hoi trong các chất khí rải rác của không gian giữa các vì sao. Một nguyên tử riêng lẻ có thể đợi nhiều năm trước khi một va chạm làm cho sự xoay tròn của proton và electron cùng chiều. Tuy nhiên, qua nhiều triệu năm, một phần đáng kể của các nguyên tử hydro bị kích thích bởi một va chạm. (Ngoài kia trong không gian lạnh, điều đó cũng gần như có sự kích thích bằng một nguyên tử tiêu biểu trải qua).

Một nguyên tử bị kích thích sau đó có thể mất năng lượng thừa của nó bởi sự va chạm với một hạt khác hay bằng cách phát ra một sóng vô tuyến với bước sóng 21 cm. Nếu không có các va chạm, một nguyên tử hydro bị kích thích sẽ đợi khoảng 10 triệu năm trước khi phát xạ một photon và trở về trạng thái năng lượng thấp nhất của nó.



Sự hình thành của vạch 21 cm: Khi electron trong một nguyên tử hydro đang nằm trên quỹ đạo gần với nhân nhất, proton và electron có thể đang xoay tròn cùng chiều (trái) hay ngược chiều (phải). Khi electron bật tung đi, nguyên tử thu được hay mất đi một chút xíu năng lượng bằng cách hấp thụ hay phát xạ năng lượng điện từ với bước sóng 21 cm.

Thiết bị nhạy cảm đủ để phát hiện vạch 21 cm của hydro trung hoà trở thành có giá trị vào năm 1951. Cơ chế để tạo ra những sóng này được mô tả bởi các nhà thiên văn học Hà Lan, và họ đã chuẩn bị một thí nghiệm để phát hiện các sóng 21 cm khi một trận hoả hoạn phá hủy thiết bị của họ. Kết quả là, hai nhà vật lý của Đại học Harvard, Harold Ewen và Edward Purcell, tiến hành phát hiện đầu tiên, sau đó được tiếp nối bởi các sự xác nhận từ Hà Lan và ở Úc. Kể từ đó, nhiều vạch vô tuyến khác được tạo ra bởi các nguyên tử và phân tử đã được khám phá.

Các cuộc quan sát về vạch 21 cm chứng tỏ rằng hầu hết các nguyên tử hydro trung hoà trong Dải Ngân Hà bị giới hạn tới một lớp cực kỳ phẳng, dày chưa tới 300 LY, vươn dài ra qua cái đĩa

dẹt của Dải Ngân Hà. Vạch 21 cm được tạo ra trong các đám mây hydro lạnh rất cuộc có nhiệt độ khoảng 100 K. Đường kính của các đám mây lạnh này có phạm vi từ 3 tới 30 LY. Một phi thuyền tưởng tượng di chuyển xuyên qua không gian trong mặt phẳng của Dải Ngân Hà sẽ gặp gỡ, chỉ khoảng hai đám mây này. Chúng ta có thể ước tính rằng phỏng chừng 2% không gian giữa các sao được lấp đầy với các đám mây lạnh như thế. Khối lượng của các đám mây tiêu biểu có mức độ từ 1 tới 100 lần khối lượng Mặt Trời, với những đám mây khối lượng nhỏ là phổ biến nhất.

Tuy nhiên, không phải tất cả khí hydro giữa các vì sao được tìm thấy trong các đám mây cực lạnh này. Ít nhất 20% không gian giữa các sao trong mặt phẳng của Dải Ngân Hà được lấp đầy bằng chất khí hydro trung hoà và nóng ấm với nhiệt độ từ 3000 tới 6000 K. Chất khí này không đủ gần các vì sao để được làm nóng. Thế thì cái gì làm nóng nó? Câu trả lời đã đến khi một đài quan sát trên quỹ đạo khám phá ra thậm chí cả chất khí nóng hơn giữa các ngôi sao.



✧ CHẤT KHÍ CỰC NÓNG GIỮA CÁC NGÔI SAO

Sự khám phá về chất khí cực nóng giữa các sao là một bất ngờ lớn. Trước khi phóng các đài quan sát vào không gian, các nhà thiên văn cho rằng hầu hết khu vực giữa các ngôi sao được lấp đầy với khí hydro lạnh. Nhưng các kính viễn vọng bên trên khí quyển Trái Đất cho thấy có những vạch giữa các vì sao được tạo ra bởi các nguyên tử oxy đã được ion hoá năm lần. Để tách năm electron ra khỏi các quỹ đạo của chúng quanh một nhân oxy cần phải có nhiều năng lượng. Thực vậy, những cuộc quan sát này ngụ ý rằng nhiệt độ của vật chất giữa các vì sao nơi các nguyên tử này xuất hiện phải xấp xỉ một triệu độ K.

Có vẻ như nguồn năng lượng tạo ra các nhiệt độ đáng kể này là sự bùng nổ của các sao khổng lồ vào giai đoạn cuối trong sự sống của chúng. Những bùng nổ như vậy, gọi là những siêu tân tinh (supernovae), sẽ được bàn luận một cách chi tiết trong Chương 14. Còn bây giờ chúng ta sẽ chỉ nói rằng một số sao, gần đến các giai đoạn cuối trong sự sống của chúng, trở nên không ổn định và bùng nổ thực sự. Những bùng nổ này truyền đi chất khí nhiệt độ cao, di chuyển với vận tốc hàng ngàn (và thậm chí hàng chục ngàn) kilômét trong một giây, vào không gian giữa các ngôi sao, nơi đó nó có một tác động làm nóng dữ dội với các nguyên tử của chất khí lân cận mà nó va chạm.

Các nhà thiên văn học ước tính rằng một siêu tân tinh bùng nổ khoảng mỗi 25 năm ở đâu đó trong Dải Ngân Hà. Bình quân, khí nóng từ một siêu tân tinh sẽ quét qua bất cứ điểm nào trong Dải Ngân Hà khoảng 2 triệu năm một lần. Với mức độ này, tác động quét liên tục đủ để giữ hầu hết không gian giữa các

đám mây đầy áp chất khí với một nhiệt độ tới một triệu độ K. Khi chất khí cực nóng này tiếp xúc với một đám mây đậm đặc hơn, nó đun nóng các lớp bên ngoài của đám mây tới một nhiệt độ một vài ngàn độ K, do đó giải thích được tại sao chúng ta thấy khí hydro với nhiệt độ K nhiều ngàn độ nằm cách xa bất cứ nguồn nhiệt nào của các sao.

✧ CÁC PHÂN TỬ GIỮA CÁC SAO

Một số phân tử đơn giản đã được khám phá trong không gian giữa các ngôi sao bởi chúng hấp thụ bức xạ từ các sao xa hơn. Khi thiết bị càng tinh vi hơn để thu nhận các quang phổ trong các bước sóng vô tuyến và hồng ngoại đã có sẵn để sử dụng, các nhà thiên văn học cũng đã phát hiện nhiều phân tử phức tạp hơn trong các đám mây giữa các ngôi sao.

Giống như các nguyên tử để lại “dấu tay” của chúng trong quang phổ của ánh sáng thấy được, sự dao động và sự xoay tròn của các nguyên tử trong các phân tử có thể để lại dấu vết quang phổ trong các bước sóng vô tuyến và hồng ngoại. Nếu chúng ta trải rộng bức xạ với các bước sóng dài hơn như vậy, có thể dò được các vạch phát xạ hay hấp thụ trong quang phổ là đặc điểm của các phân tử đặc biệt. Qua nhiều năm, các cuộc thử nghiệm trong các phòng thí nghiệm trên Trái Đất đã chứng tỏ các bước sóng chính xác kết hợp với những sự thay đổi về sự xoay tròn và dao động của nhiều phân tử – cho chúng ta một khuôn mẫu của các vạch có thể có mà hiện nay chúng ta có thể so sánh những cuộc quan sát về vật chất giữa các sao với chúng.

Hơn một trăm loại phân tử đã được xác định trong không gian giữa các sao, nhất là trong các đám mây khổng lồ có chứa các số lượng đáng kể về chất khí và

bụi. Các phân tử phức tạp hơn này hầu hết được cấu tạo bởi sự kết hợp của các nguyên tử hydro, oxy, carbon, nitro, và lưu huỳnh. Trong số chúng là các phân tử của H_2 (hydro phân tử), nước, amôniac, và sulfic hydro. Các nhà thiên văn học cũng đã xác định một số phân tử hữu cơ (những phân tử này liên quan với đặc tính hoá học của carbon trên Trái Đất), chẳng hạn formaldehyc (được dùng để bảo quản các mô sống), cyanide hydro, và rượu (xem *Món rượu cocktail trong không gian*). Năm 1996, các nhà thiên văn học khám phá ra acid acetic (thành phần đầu tiên của giấm) trong một đám mây nằm theo hướng của chòm sao Nhân Mã (Sagittarius). Các phân tử tương đối nặng như HC_9N và $HC_{11}N$ chẳng hạn, có các chuỗi nguyên tử carbon dài, được tìm thấy trong một số đám mây lạnh. Các điểm đặc trưng khác trong các quang phổ hồng ngoại ám chỉ tới những vòng phức tạp nhiều đến 50 nguyên tử carbon.

Các đám mây lạnh giữa các sao cũng chứa cyanoacetylen (HC_3N) và acetaldehyc (CH_3CHO), được coi như các điểm khởi đầu cho sự hình thành acid amino. Đây là những *khối cấu trúc của prôtêin* (chất đạm), nằm trong số các hoá chất cơ bản cấu tạo các sinh vật sống trên Trái Đất. Sự có mặt của các phân tử hữu cơ này không ngụ ý rằng sự sống tồn tại trong không gian. Nhưng nó chứng tỏ rằng các *khối cấu trúc hoá học* của sự sống có thể hình thành theo một phạm vi rộng lớn của các điều kiện trong vũ trụ. Khi chúng ta biết được nhiều hơn về cách thức các phân tử phức tạp được tạo ra trong các đám mây giữa các sao như thế nào, chúng ta đạt được một sự hiểu biết gia tăng về những quá trình đi trước sự khởi đầu của sự sống trên Trái Đất cách đây hàng tỉ năm.

Tuy nhiên, các nguyên tử phức tạp như thế trong không gian cũng có một vấn đề sống còn. Hầu hết các phân tử

Món Rượu Cocktail trong Không Gian

Trong số các phân tử các nhà thiên văn học đã xác định trong các đám mây giữa các ngôi sao là rượu cồn (alcohol), nó trở thành hai loại: cồn methyl (hay cồn gỗ) (methyl alcohol), và cồn ethyl (loại có trong các món rượu cocktail). Cồn ethyl (ethyl alcohol) là một phân tử khá phức tạp, được viết là C_2H_5OH . Nó khá nhiều trong không gian (nói một cách tương đối). Trong các đám mây ở đó nó được xác định, chúng ta tìm ra khoảng một phân tử trong một mét khối. Lớn nhất trong số các đám mây lạnh (đường kính có thể là vài trăm năm ánh sáng) có đủ cồn ethyl để pha 10^{28} một phần năm ga-lông rượu.

Tuy nhiên, những cặp vợ chồng của các phi hành gia tương lai giữa các vì sao không cần phải sợ rằng họ sẽ trở nên những tay nghiện rượu giữa các vì sao. Cho dù một phi thuyền được

trang bị với một đường hầm có đường kính 1 km, và có thể mức nó xuyên qua một đám mây như thế với tốc độ ánh sáng, nó sẽ mất khoảng một ngàn năm để thu gom đủ rượu cho một ly martini tiêu chuẩn!

Vả lại, chính những đám mây đó cũng chứa các phân tử nước (H_2O). Động tác mức của bạn cũng sẽ thu gom được chúng, và sẽ có chúng thật nhiều bởi vì chúng đơn giản hơn và do đó dễ hình thành hơn. Một bài báo thiên văn đã tính toán được nồng độ rượu của một đám mây tiêu biểu. Nồng độ là tỉ lệ của rượu đối với nước trong một ly rượu, ở đâu mà nồng độ bằng 0 nghĩa là nước hoàn toàn, nồng độ 100 nghĩa là nửa rượu và nửa nước, và nồng độ 200 nghĩa là rượu hoàn toàn. Nồng độ rượu của đám mây giữa các vì sao chỉ là 0,2.

phức tạp hơn sẽ bị tách ra (xé ra thành các nguyên tử riêng lẻ) bởi bức xạ bước sóng ngắn xuất phát từ các sao. Vì thế những phân tử này chỉ có thể tồn tại nơi nào chúng được che chắn tránh khỏi tia cực tím của ánh sáng sao. Có những đám mây khổng lồ, đậm đặc, tối đen có chứa bụi, có tác dụng như một tấm chắn dày bằng khối giữa các vì sao và ngăn không cho tia cực tím của ánh sáng sao xuyên qua phần bên trong của đám mây (mặc dù các sóng vô tuyến báo hiệu sự có mặt của các phân tử rõ ràng đi ra). Chính là trong những đám mây này, chúng ta phát hiện ra các phân tử, thực vậy, những khối vật chất khổng lồ giữa các sao này được gọi là các đám mây phân tử (molecular clouds).

Một số nhà khoa học suy đoán rằng các bề mặt của các hạt bụi (xem Mục 11.4) – dường như sẽ rất rộng nếu bạn là một nguyên tử – cung cấp “mọi góc ngách xó xỉnh” nơi mà các nguyên tử có thể dính chặt đủ lâu để nối kết với các nguyên tử khác và hình thành các phân tử. (Hãy nghĩ về các hạt bụi như “các câu lạc bộ xã hội giữa các vì sao” ở

đó các nguyên tử đơn độc có thể gặp gỡ và hình thành các mối quan hệ đầy ý nghĩa). Những đám mây bụi không chỉ bảo vệ các phân tử, mà còn cung cấp một môi trường trợ giúp cho sự hình thành của chúng.

Như chúng ta sẽ thấy trong chương kế tiếp, các đám mây vật chất khổng lồ giữa các vì sao, ở đó các phân tử là phổ biến nhất, nằm trong số những cấu trúc thú vị nhất của Dải Ngân Hà. Chính ở đây là nơi chúng ta có nhiều khả năng nhất để nhìn thấy các sao mới hình thành từ vật liệu nguyên sinh, và bắt đầu chu kỳ sự sống của sao.

11.3 MÔ HÌNH CỦA CHẤT KHÍ GIỮA CÁC NGÔI SAO

Bảng dưới tóm tắt các đặc điểm của nhiều loại đám mây khác nhau “làm cư dân” của không gian giữa các vì sao. Những tương phản thật là hấp dẫn. Có những đám mây lạnh, đậm đặc trong đó hydro không bị ion hoá. Có những đám mây nóng đến mức các nguyên tử chủ

Chất Khí Giữa Các Vì Sao			
Loại vùng	Nhiệt Độ (K)	Mật độ (số tương/cm ³)	Mô tả
H I: các đám mây lạnh	10 ²	50	Các nguyên tử hydro trong các đám mây tiêu biểu đường kính từ 3 – 30 LY.
H I: các đám mây nóng	3 – 6x10 ³	0,3	Hydro thì nóng hơn nhưng không bị ion hóa; tìm thấy trong các đám mây.
Khí nóng	10 ⁵ – 10 ⁶	10 ⁻³	Tìm thấy xuyên qua Dải Ngân Hà; hydro bị ion hoá; bị đun nóng bởi các vụ bùng nổ của siêu tân tinh.
Các vùng H II	10 ⁴	10 ² – 10 ⁴	Tìm thấy gần các sao nóng; hydro hầu hết bị ion hoá.
Các đám mây phân tử khổng lồ	10	Cao tới 10 ⁵	Đường kính 50 – 200 LY; có các khối đậm đặc.

yếu là bị ion hoá và các phân tử không thể tồn tại. Các mật độ khác biệt nhau bằng hệ số 1.000.000 với các đám mây lạnh nhất có mật độ cao nhất. Chúng ta có thể hy vọng tìm thấy nhiều loại đám mây khác nhau ở đâu? Một đám mây riêng lẻ giống như thế nào? Các đám mây thay đổi ra sao khi thời gian trôi qua? Đây là một số câu hỏi mà các nhà thiên văn học đang tạo dựng các mô hình về môi trường giữa các ngôi sao tìm kiếm câu trả lời.

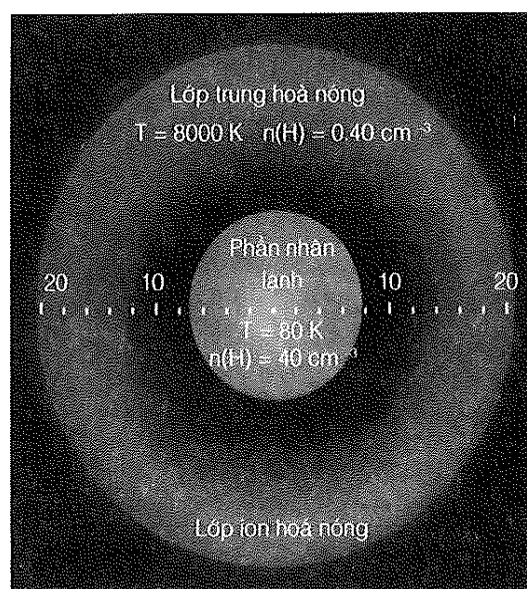
♦ CẤU TRÚC VÀ SỰ PHÂN BỐ CỦA CÁC ĐÁM MÂY GIỮA CÁC NGÔI SAO

Một yêu cầu quan trọng đối với một mô hình của vật chất giữa các sao là các đám mây và chất khí giữa chúng phải có cùng áp suất. Điều gì sẽ xảy ra nếu chúng không phải như vậy? Nếu áp suất của đám mây cao hơn, đám mây sẽ trương nở ra cho tới khi áp suất của nó tương đương với áp suất của môi trường. Mặt khác, nếu áp suất của chất khí nóng lớn hơn áp suất của đám mây được bao bọc trong nó, khí nóng sẽ nén đám mây và ép nó co lại cho tới khi áp suất của nó trở nên khá cao đủ để chống lại sức nén thêm nữa. Hãy hình dung một quả bóng. Nếu bạn cho thêm không khí vào nó, do đó gia tăng áp suất của nó, quả bóng sẽ căng ra. Nếu bạn nén nó bằng hai tay, bạn có thể làm cho quả bóng nhỏ hơn do áp suất bên ngoài lớn hơn.

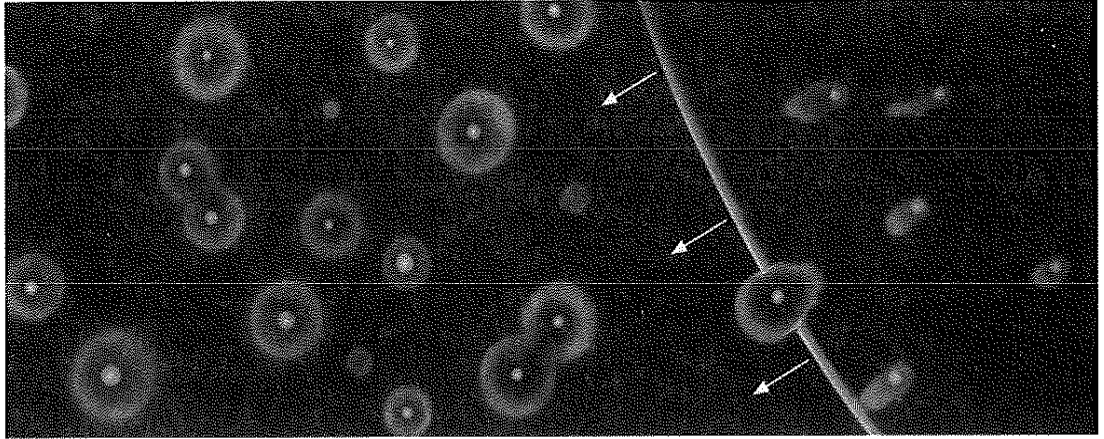
Áp suất trong một chất khí tùy thuộc vào nhiệt độ và số lượng các hạt trong một centimét khối (1 cm^3) (mật độ của nó). Nếu các hạt trong chất khí nóng hơn, năng lượng chuyển động của chúng cũng lớn hơn, và chúng khó va chạm hơn với nhau. Nếu mật độ lớn hơn, sẽ

có nhiều sự va chạm hơn. Đối với các áp suất của chất khí trong hai vùng khác nhau kề cận với nhau mà bằng nhau, vùng có nhiệt độ cao hơn phải có mật độ thấp hơn. Vùng có nhiệt độ thấp hơn, chẳng hạn như một đám mây lạnh, phải có mật độ cao hơn. (Trong cùng một cách như vậy, bạn có thể nhét nhiều người vào một căn phòng khi họ không di chuyển đây đó, thí dụ tại một tiệc rượu cocktail đúng nghĩa. Nhưng nếu họ muốn nhảy điệu valse, thì ít người hơn mới là vừa).

Hai hình dưới đây mô tả theo cách thức giản lược về những gì trông giống như các đám mây giữa các sao, dựa trên yêu cầu là các áp suất phải gần như bằng nhau ở mọi nơi. Các đám mây riêng lẻ nằm rải rác một cách bất kỳ khắp Dải Ngân Hà. Đám mây tiêu biểu có thể là có đường kính vài chục năm ánh sáng. Các đám mây được bao bọc trong chất khí với nhiệt độ một triệu độ K hay như thế, di sản của các sao bùng nổ. Các phần bên



Sơ đồ của một đám mây tiêu biểu giữa các vì sao: Hãy chú ý phân nhân đậm đặc và lạnh được bao quanh bởi một vỏ nóng. Thang vạch nằm ngang biểu thị khoảng cách từ trung tâm bằng năm ánh sáng.



Sự phân bố của vật chất giữa các sao: Các đám mây giữa các sao được bao bọc trong khí nóng và mật độ thấp, bị đun nóng tới nhiệt độ cao tới 1 triệu độ K do các vụ nổ của các siêu tân tinh. Ở phía trên bên phải, tàn tích của một siêu tân tinh được mô tả đang quét qua khoảng không gian giữa các vì sao.

ngoài của các đám mây bị đun nóng bởi chất khí này qua sự đối lưu (convection) – sự chuyển giao năng lượng trực tiếp từ chất khí nóng tới các nguyên tử bên ngoài của đám mây.

Nhiệt độ của phần bên ngoài của một đám mây tiêu biểu do đó bị nâng lên tới vài ngàn độ K.

Nếu một đám mây khá lớn, nó có thể bảo vệ phần nhân trong cùng của nó không bị đun nóng, và phần nhân có thể có nhiệt độ thấp hơn 100 lần và mật độ tương ứng cao hơn 100 lần. Các giá trị tiêu biểu đối với phần nhân của đám mây là nhiệt độ 80 K, còn mật độ là 40 nguyên tử hydro trong 1 cm^3 .

✧ VẬT CHẤT GIỮA CÁC NGÔI SAO QUANH MẶT TRỜI

Chúng ta hãy lấy một nhận xét ngẫu nhiên để nhìn vào sự phân bố của vật chất giữa các sao trong vùng lân cận của chúng ta. Mặt Trời tọa lạc trong một vùng mà mật độ của vật chất giữa các sao thấp một cách bất thường. Nhiệt độ của vật chất giữa các sao trong vùng phụ cận của Mặt Trời là khoảng 10^6 K ,

và mật độ của nó chỉ là 5×10^{-3} nguyên tử hydro trong 1 cm^3 . Vùng khí mật độ thấp này, gọi là **Bong Bóng Cục Bộ** (Local Bubble), mở rộng tới một khoảng cách ít nhất 300 LY từ Mặt Trời.

Nếu không gian giữa các sao gần Mặt Trời chứa đựng số lượng bình thường của các đám mây, chúng ta sẽ hy vọng dò ra khoảng 2000 đám mây trong phạm vi của Bong Bóng Cục Bộ (Local Bubble). Tuy nhiên các đám mây thuộc loại được mô tả trong hình trang trước rõ ràng không có mặt. Một sự giải thích khả dĩ là sự bùng nổ của một siêu tân tinh cách đây từ 100.000 tới 10 triệu năm quét qua vùng mà ngày nay chúng ta thấy như là Bong Bóng Cục Bộ gần như không có các đám mây giữa các sao. Một vụ nổ như thế sẽ đun nóng lượng nhỏ chất khí còn sót lại tới nhiệt độ cao hơn mà chúng ta quan sát được. Trong khi các đám mây hydro lạnh rất hiếm trong Bong Bóng Cục Bộ, một vài đám mây vẫn tồn tại. Bản thân Mặt Trời dường như nằm bên trong một đám mây với mật độ 0,1 nguyên tử hydro trong 1 cm^3 và nhiệt độ 10.000 K. Đám mây này mỏng manh đến nỗi nó được nhắc đến như một **Núi Băng Cục Bộ** (Local

Fluff). Chúng ta hãy quan sát một đám mây nóng khá lớn nằm trong hướng về phía trung tâm của Dải Ngân Hà, nhưng cách Mặt Trời 60 LY. Có thể rằng Núi Băng Cục Bộ là phần rìa nóng, bị ion hoá một phần, của một đám mây đậm đặc hơn và lạnh hơn và rằng Mặt Trời đúng là đang đi vào đám mây này khi nó di chuyển xuyên qua Dải Ngân Hà.

✧ SỰ TIẾN HOÁ CỦA CÁC Đám Mây GIỮA CÁC SAO

Mô hình của chất khí giữa các sao được mô tả ở đây trình bày một bức tranh về môi trường giữa các sao như nó hiện ra ở mức trung bình. Trong thực tế, áp suất của chất khí giữa các sao không phải lúc nào cũng cân bằng. Các đám mây va chạm và kết hợp; chúng bị xé ra bởi các vụ nổ siêu tân tinh và bị phá vỡ bởi gió mặt trời và áp suất của bức xạ từ các sao nóng. Môi trường giữa các sao luôn được bổ sung bằng chất khí được phun ra bởi siêu tân tinh và các sao nóng.

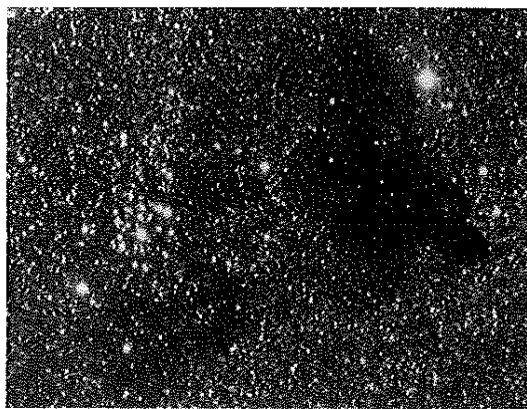
Ban đầu, khí giữa các sao hình thành các đám mây tương đối nhỏ, sau đó lớn lên qua các sự va chạm và sáp nhập với các đám mây khác. Cuối cùng quá trình dẫn tới sự hình thành các đám mây khổng lồ với đường kính rộng khoảng 200 LY, và khối lượng vượt hơn 100.000 lần khối lượng của Mặt Trời. Chính là trong những đám mây khổng lồ này mà sự hình thành sao mãnh liệt nhất xảy ra. Rồi các sao mới hình thành đi qua đời sống của chúng, và một số trở thành siêu tân tinh. Khí bùng nổ, chúng phun các chất khí ra, do đó bắt đầu chu kỳ một lần nữa. Môi trường giữa các sao quả thật còn hơn là một nền tảng dựa vào đó mà vở kịch của sự ra đời, sự sống, sự chết của một vì sao diễn ra.

11.4 BỤI VŨ TRỤ

Hình dưới mô tả một thí dụ nổi bật về những gì thực sự là một cảnh tượng phổ biến trong các kính viễn vọng lớn – một vùng tối trên bầu trời có vẻ gần như không có sao. Trong một thời gian dài các nhà thiên văn học tranh luận liệu các vùng tối này có phải là những đường hầm trống rỗng qua đó chúng ta ngắm nhìn xa hơn ngoài các vì sao của Dải Ngân Hà vào trong không gian giữa các thiên hà, hay là các đám mây vật chất tối đen che chắn ánh sáng của các sao xa hơn. Nhà thiên văn học Hoa Kỳ E. E. Barnard trình bày hàng loạt ảnh chụp tinh vân bao quát mà sự giải thích sau là đúng đắn.

✧ CÁC TINH VÂN TỐI

Đám mây tối (gọi là Barnard 86) nhìn thấy trong hình dưới che khuất ánh sáng của nhiều vì sao nằm phía sau nó – hãy chú ý những vùng ở các phần khác của bức ảnh dày đặc với các ngôi sao như thế



Một đám mây bụi tối: Chúng ta thấy một chùm sao (NGC 6520) kế bên một đám mây tối của vật chất giữa các sao (Barnard 86). Các sao già trong Thiên Hà của chúng ta hình thành phần sáng nhất của Dải Ngân Hà. Đám mây tối được nhìn thấy ngay phía trước các sao nền này, được nhìn thấy chỉ bởi vì nó che chắn ánh sáng từ các sao xa hơn. Chùm nhỏ của các sao còn trẻ có thể đã bắt đầu, cách đây hàng triệu năm, giống hệt như một đám mây như thế.

nào. Chỉ những sao được nhìn thấy theo hướng của Barnard 86 là những sao tình cờ nằm phía trước đám mây tối từ viễn cảnh của chúng ta. Barnard 86 là một thí dụ về một đám mây tương đối đậm đặc hay *tinh vân tối* (dark nebula) của các hạt rắn nhỏ li ti, thường được nhắc đến như bụi giữa các sao. Các đám mây đục được nhìn thấy rõ trên bất cứ hình ảnh nào của Dải Ngân Hà (xem các hình trong Chương 16). “Vết nứt tối”, chạy dọc xuống một phần dài của Dải Ngân Hà mùa hạ và có vẻ tách nó ra thành hai phần, được tạo ra bởi một tập hợp của các đám mây tối đen như thế.

Các đám mây bụi không được nhìn thấy trong vùng ánh sáng thường của



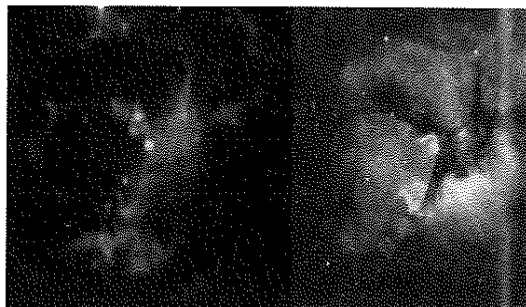
Tinh vân đầu ngựa: Các đám mây bụi đặc biệt dễ dàng nhìn thấy khi chúng nằm phía trước một nền sáng như đám mây này chẳng hạn. Đám mây tối này là một trong số những hình ảnh nổi tiếng nhất trong thiên văn học, có lẽ bởi vì nó rất giống cái đầu của một con ngựa. Hình dạng đầu ngựa là sự vươn rộng ra của một đám mây bụi lớn lấp đầy phần thấp hơn (phía đông) của bức hình và che khuất ánh sáng của các sao và chất khí xa hơn.

quang phổ; chúng ta chỉ tìm thấy chúng khi các đám mây đậm đặc hơn ngăn chặn ánh sáng từ các sao phía sau chúng.

Tuy nhiên, chúng tỏa sáng rực rỡ trong tia hồng ngoại. Các hạt bụi nhỏ hấp thụ ánh sáng thấy được và bức xạ cực tím rất hiệu quả. Các hạt bụi bị làm nóng bởi bức xạ được hấp thụ, tiêu biểu tới nhiệt độ từ 20 tới khoảng 500 K, và bức xạ lại sức nóng này với các bước sóng hồng ngoại.

Chúng ta có thể sử dụng định luật Wien (xem Mục 4.2) để ước tính nơi nào bức xạ này rơi xuống trong quang phổ điện từ. Đối với nhiệt độ 100 K, điểm cực đại là vào khoảng 30 micron ($1 \text{ micron} = 10^{-6} \text{ m} = 10^{-4} \text{ cm}$), trong khi các hạt lạnh khoảng 20 K sẽ bức xạ mạnh nhất gần 150 micron. Khí quyển Trái Đất mờ đục đối với bức xạ với các bước sóng này, do đó sự phát xạ bởi bụi giữa các sao được đo lường tốt nhất từ không gian.

Các cuộc quan sát từ bên trên khí quyển Trái Đất bởi IRAS (Infrared Astromical Satellite: Vệ tinh thiên văn



Tinh vân Trifid trong ánh sáng hồng ngoại và ánh sáng thường: Hình bên phải mô tả vùng này trong ánh sáng thường, và chúng ta thấy màu sắc quen thuộc của khí hydro. Hình bên trái mô tả cùng vùng đó trong tia hồng ngoại (8 tới 15 micron). Các bức hình mô tả chính xác cùng một vùng. Hãy nhìn vào các mẫu hình (hay các đường nét) của sáng và tối, và lưu ý rằng bức hình tia hồng ngoại bên trái gần như là một âm bản của bức hình chụp bằng ánh sáng thấy được bên phải. Các lần bụi trong thấy tối bằng ánh sáng thấy được bị đun nóng bởi ánh sáng sao và rực sáng trong phần hồng ngoại của quang phổ.

Ra đời năm 1857 ở Nashville, bang Tennessee, Hoa Kỳ, hai tháng sau khi cha ông mất, Edward Barnard lớn lên trong hoàn cảnh nghèo khổ nên ông phải bỏ học nửa chừng, vào lúc chín tuổi, để phụ giúp người mẹ ốm đau. Không bao lâu sau, ông trở thành người phụ tá cho một nhà nhiếp ảnh địa phương, học hỏi cả thuật nhiếp ảnh và thiên văn học, sẽ trở thành hai niềm đam mê của cuộc đời ông. Năm 1883, ông kiếm được một công việc trợ lý tại Đài quan sát của Viện đại học Vanderbilt, giúp cho tham dự một số khóa học về thiên văn.

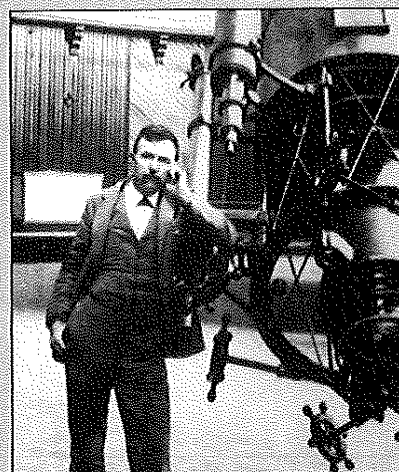
Một nhà sản xuất biệt được hiến tặng giải thưởng 200 đô-la (một số tiền lớn vào thời đó) cho sự khám phá bất cứ sao chổi mới nào. Barnard trải qua hàng đêm để tìm kiếm sao chổi, với sự quyết tâm. Ông đã khám phá được bảy sao chổi giữa năm 1881 và 1887, kiếm đủ tiền để trang trải cho ngôi nhà. Vào cuối cuộc đời, ông đã tìm thấy 17 sao chổi qua những cuộc quan sát siêng năng cần cù.

Năm 1887, Barnard nhận một chức vụ tại Đài thiên văn Lick mới thành lập. Mặc dầu bị từ chối thời gian ngồi trên kính viễn vọng, năm 1892, Barnard khám phá vệ tinh đầu tiên được phát hiện chung quanh Sao Mộc kể từ thời đại Galileo, một kỳ công tuyệt vời đã làm cho ông nổi tiếng khắp thế giới. Ông đã hoàn thiện kỹ thuật chụp ảnh và bắt đầu công bố những hình ảnh đẹp nhất của Dải Ngân Hà được chụp ở thời điểm đó. Chính trong công việc này, ông bắt đầu xem xét kỹ các vùng tối trong số những chùm sao chen chúc của Dải Ngân Hà, và nhận thức rằng chúng phải là những đám mây lớn của

vật chất tối (đúng hơn là “những cái lỗ” trong sự phân bố của các sao).

Nhà thiên văn học kiêm sử học Donald Osterbrock đã gọi Barnard là một “nhà quan sát lỗ” (“Observaholic”).

Năm 1895, Barnard chấp nhận một công việc tại Đài thiên văn Yerkes gần Chicago, tới khi mất vào năm 1923. Những tài liệu sưu tập về các hình ảnh thiên văn của ông đã trở thành các tập hình ảnh cổ điển. Ông cũng thực hiện các phép đo kích thước và các đặc điểm của các hành tinh, tham gia vào những cuộc quan sát về nhật thực, và lập mục lục các tinh vân tối. Năm 1916, ông đã khám phá ra ngôi sao với chuyển động riêng lớn nhất (xem Chương 8), hệ sao gần thứ hai đối với hệ sao của chúng ta. Ngày nay, nó được gọi là sao Barnard (Barnard's Star) để tôn vinh ông.



E. E. Barnard tại Đài Thiên Văn Lick với kính khúc xạ đường kính 36 inch.

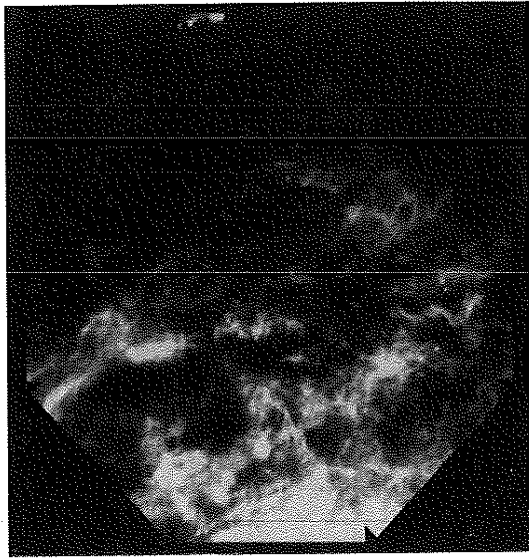
hồng ngoại) chứng tỏ rằng các đám mây bụi hiện diện khắp mặt phẳng của Dải Ngân Hà.

Các mảng phát xạ sáng đã được đặt cho cái tên mây ti hồng ngoại (infrared cirrus), bởi vì hình dạng của chúng giống như các đám mây ti trong khí quyển của

chúng ta. Các đám mây ti hồng ngoại gần nhất cách xa khoảng 300 LY.

◇ CÁC TINH VÂN PHẢN XẠ

Một số đám mây bụi đậm đặc gần sát với các sao sáng chói, và tán xạ ánh



Mây ti hồng ngoại: Ảnh hồng ngoại này mô tả sự phát xạ từ mây ti hồng ngoại trong một trường 12,5 x 12,5 độ gần thiên cực nam. Mây ti bao gồm các hạt bụi cực nhỏ, bị đun nóng bởi sự bức xạ từ các sao và tái bức xạ bằng tia hồng ngoại. Ảnh này được vệ tinh IRAS chụp và là một ảnh ghép của các bước sóng 12 micron, 25 micron, và 60 micron.



Sự tán xạ bởi bụi giữa các sao: Hầu hết tinh vân màu xanh được nhìn thấy trong ảnh này là ánh sáng sao bị tán xạ bởi bụi. Một vài sao đủ nóng để kích thích một mô hydro, tạo ra một sự tỏa sáng mờ. Nhóm các sao được nhìn thấy ở đây hiện ra như một sao đơn thuần đối với mắt thường; nó là "ngôi sao" nằm xa nhất về hướng bắc trong lưỡi kiếm của chòm Orion.

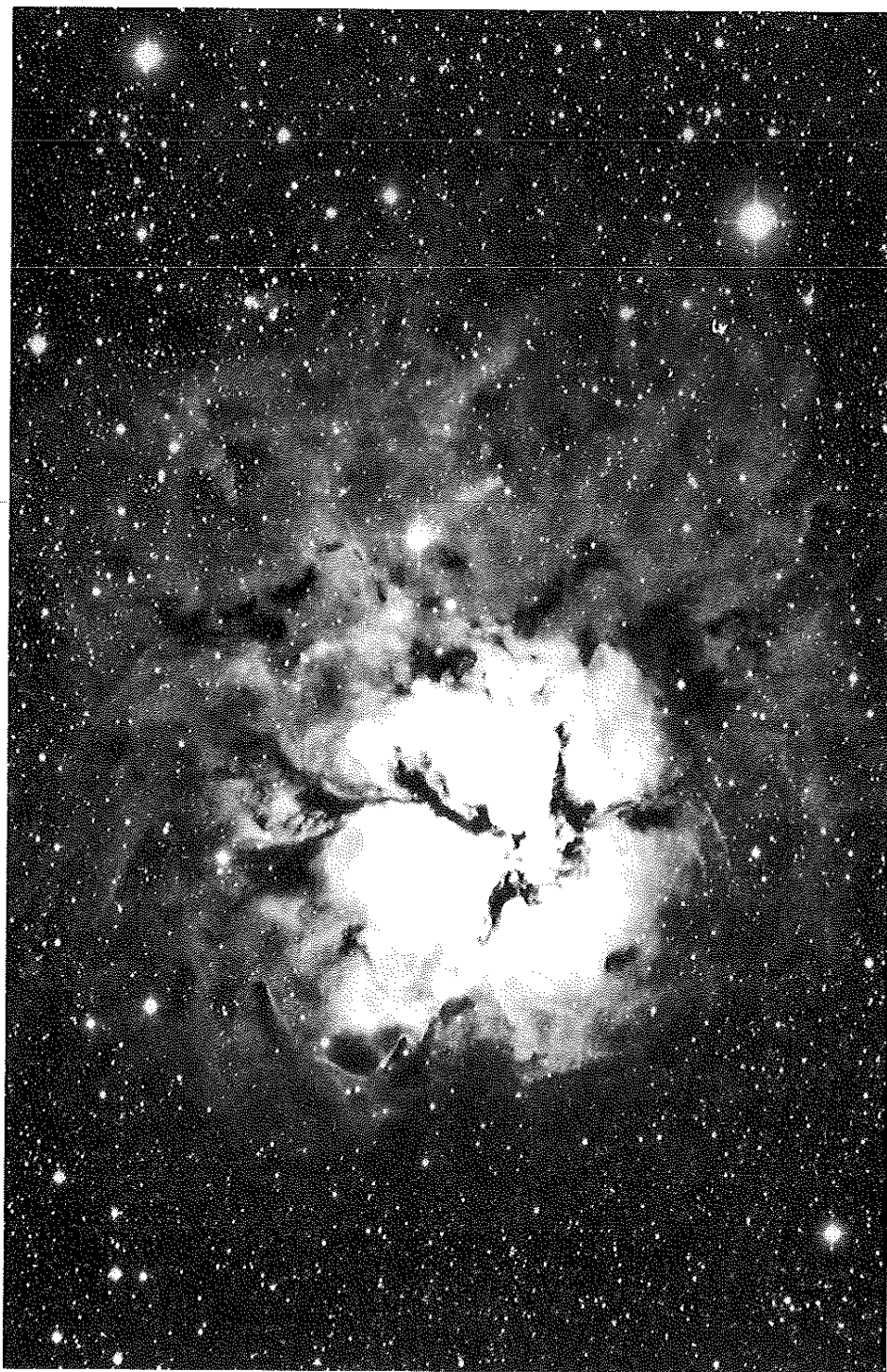
sáng sao đủ để trở thành nhìn thấy được. Một đám mây bụi như thế, được gọi là tinh vân phản xạ(reflection nebula) bởi vì ánh sáng chúng ta nhìn thấy là ánh sáng phản xạ từ các hạt bụi. Một trong những thí dụ nổi tiếng nhất là tinh vân chung quanh mỗi vì sao sáng nhất trong chòm sao Thất Nương (Pleiades). Các hạt bụi bé nhỏ, và các hạt nhỏ như thế tán xạ ánh sáng với bước sóng xanh lam hiệu quả hơn ánh sáng với bước sóng đỏ. Cho nên, tinh vân phản xạ thường có vẻ xanh hơn sao chiếu sáng của nó.

Khí và bụi, hoà trộn lẫn nhau trong không gian, mặc dù các tỉ lệ không chính xác bằng nhau ở mọi nơi. Sự hiện diện của bụi là rõ ràng trên nhiều hình ảnh của tinh vân phát xạ; Hình trang sau mô tả một ảnh đẹp của Tinh Vân Trifid trong chòm sao Nhân Mã (Sagittarius), ở đó chúng ta thấy một vùng H II được bao bọc bởi một tinh vân phản xạ xanh lam.

Loại tinh vân nào hiện ra sáng hơn tùy thuộc vào loại sao khiến cho chất khí và bụi tỏa sáng. Các sao lạnh hơn khoảng 25.000 K có rất ít bức xạ cực tím, của các bước sóng ngắn hơn 91,2 nm (đó là bước sóng cần thiết để ion hoá hydro), đến nỗi các tinh vân phản xạ chung quanh các sao như thế chiếu sáng hơn các tinh vân phát xạ. Các sao nóng hơn 25.000 K phát xạ đủ năng lượng cực tím mà các tinh vân phát xạ được tạo ra quanh chúng thông thường chiếu sáng hơn các tinh vân phản xạ.

✧ SỰ HOÁ ĐỎ CỦA KHÔNG GIAN GIỮA CÁC SAO

Các hạt bụi li ti giữa các vì sao hấp thụ một số ánh sáng sao mà chúng chặn lại. Song ít nhất phân nửa ánh sáng sao tương tác với một hạt thực sự bị tán xạ – nghĩa là, nó lại bị truyền đi tán loạn về mọi hướng. Bởi vì không phải ánh sáng



Toàn bộ tinh vân Trifid: Trong vùng H II màu đỏ, hydro bị ion hoá bởi các sao nóng lân cận và tỏa sáng qua quá trình gọi là sự phát huỳnh quang. Tinh vân Trifid (M20) có đường kính khoảng 30 LY và cách Mặt Trời khoảng 3000 LY. Bức ảnh đẹp này được xử lý bởi David Malin bằng cách sử dụng các kỹ thuật nhiếp ảnh để làm lộ rõ các chi tiết mờ nhạt.

sao bị hấp thụ cũng như ánh sáng sao bị tán xạ trực tiếp đi đến chúng ta, sự hấp thụ và tán xạ đều làm cho các sao trông mờ hơn. Những ảnh hưởng của cả hai quá trình này được gọi là sự tắt ánh sáng giữa các vì sao (interstellar extinction).

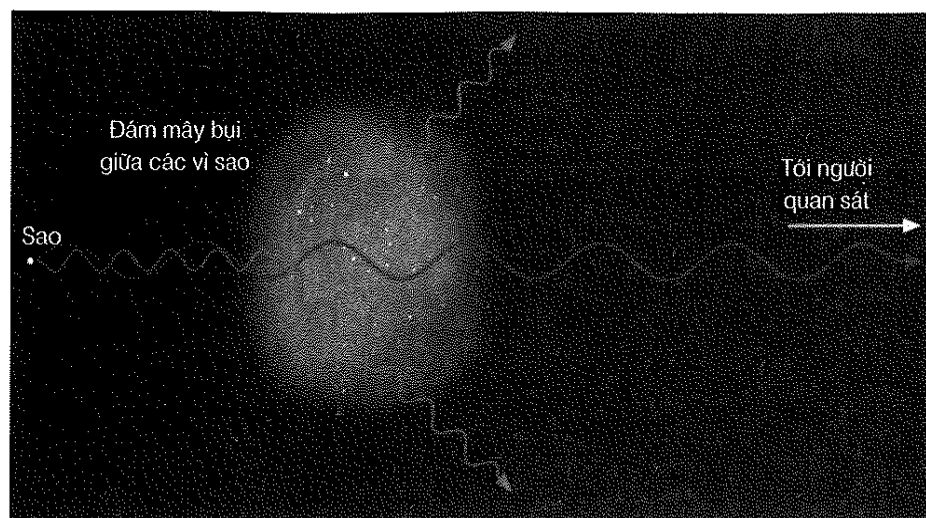
Lần đầu tiên các nhà thiên văn học hiểu sự tắt ánh sáng giữa các vì sao cách đây khoảng 70 năm, giải thích một quan sát gây hoang mang. Trong giai đoạn đầu của thế kỷ XX, các nhà thiên văn học đã khám phá ra rằng một số sao có màu đỏ dù cho các vạch phổ chứng tỏ rằng chúng phải cực nóng.

Giải pháp đối với điều dường như mâu thuẫn này là ánh sáng từ các sao nóng không chỉ là mờ đi mà còn ửng đỏ (hay trở nên đỏ) (reddened) bởi bụi giữa các vì sao.

Bụi không tương tác theo cùng một cách với tất cả các màu sắc của ánh sáng thấy được. Phần lớn ánh sáng tím, lam, và lục từ các sao này đã bị tán xạ hay hấp thụ bởi bụi, do đó nó không đi tới Trái Đất. Mặt khác, một số ánh sáng

cam và đỏ, với các bước sóng dài hơn, xuyên thủng những hạt bụi chen vào giữa một cách dễ dàng hơn và hoàn tất chuyến hành trình dài qua không gian để đi vào các kính viễn vọng đặt trên Trái Đất. Vì thế ngôi sao trông thấy đỏ hơn từ Trái Đất so với chính bản thân nó nếu bạn có thể nhìn thấy nó từ vùng lân cận. Nói đúng ra, sự ửng đỏ (reddening) không phải là thuật ngữ chính xác nhất dành cho quá trình này, bởi vì không có màu đỏ nào được thêm vào; trái lại, màu xanh lam và các màu liên quan bị bớt đi, do vậy có lẽ thích hợp hơn nó nên được gọi là “sự giảm xanh” hay “sự bớt xanh” [“deblueing”].

Chúng ta đều đã nhìn thấy một thí dụ của sự ửng đỏ. Mặt Trời hiện ra đỏ hơn nhiều lúc hoàng hôn so với lúc giữa trưa. Mặt Trời càng ở thấp hơn trong bầu trời, ánh sáng của nó phải di chuyển qua khí quyển càng xa hơn. Qua khoảng cách lớn hơn này, có một cơ hội lớn hơn để ánh sáng mặt trời sẽ bị tán xạ. Bởi vì ánh sáng đỏ ít có khả năng bị tán xạ hơn ánh



Sự tán xạ ánh sáng do bụi: Bụi giữa các vì sao tán xạ ánh sáng xanh hiệu quả hơn ánh sáng đỏ, do đó làm cho các sao xa hiện ra đỏ hơn, và mang đến cho các đám mây bụi gần các sao một sắc hơi xanh. Ở đây một tia ánh sáng đỏ từ ngôi sao đi thẳng tới người quan sát, trong khi tia xanh lam được mô tả đang tán xạ. Một quá trình tán xạ tương tự làm cho bầu trời của Trái Đất trông thấy xanh.

sáng xanh, Mặt Trời hiện ra ngày càng đỏ hơn khi nó tiến tới chân trời.

Sự tán xạ của ánh sáng mặt trời cũng khiến cho bầu trời của chúng ta xanh, dù rằng các chất khí hình thành khí quyển của Trái Đất là trong suốt.

Khi ánh sáng mặt trời đi vào, nó tán xạ từ các phân tử của không khí. Kích thước nhỏ bé của các phân tử có nghĩa là màu xanh lam tán xạ hiệu quả hơn nhiều so với màu lục, vàng, và đỏ. Do đó màu lam trong ánh sáng mặt trời bị tán xạ ra khỏi chùm ánh sáng và tỏa ra khắp cả bầu trời. Mặt khác, ánh sáng từ Mặt Trời đi tới mắt bạn bị thiếu mất một phần màu xanh của nó, vì thế Mặt Trời trông vàng hơn một chút, ngay cả khi nó ở trên cao trong bầu trời, so với nó khi được nhìn thấy từ không gian.

Sự kiện ánh sáng sao bị trở thành đỏ do bụi giữa các vì sao có nghĩa là bức xạ bước sóng dài được truyền hiệu quả hơn bức xạ bước sóng ngắn. Kết quả là, nếu mong muốn nhìn thấy xa hơn theo một hướng với vật chất giữa các sao đáng quan tâm, có lẽ chúng ta nên nhìn vào các bước sóng dài. Sự kiện đơn giản này cung cấp một trong những động cơ thúc đẩy sự phát triển của thiên văn học hồng ngoại. Thí dụ, trong vùng hồng ngoại với bước sóng 2 micron (2000 nm), sự làm mờ đi chỉ lớn bằng một phần sáu trong vùng thấy được (500 nm), và vì thế chúng ta có thể nghiên cứu các sao xa hơn gấp hai lần trước khi ánh sáng của chúng bị che chắn bởi bụi giữa các sao. Khả năng để nhìn thấy xa hơn này bằng cách quan sát các phần hồng ngoại của quang phổ thể hiện một lợi ích quan trọng đối với các nhà thiên văn học đang cố gắng tìm hiểu cấu trúc của Thiên Hà chúng ta hay thăm dò phần trung tâm của nó (xem Chương 16).

✧ CÁC HẠT GIỮA CÁC NGÔI SAO

Các đoạn trước đã trình bày sự ửng đỏ và sự mờ đi của ánh sáng sao bởi bụi giữa các ngôi sao. Nhưng làm sao chúng ta thực sự biết rằng bụi đáng bị “khiến trách”?

Các cuộc quan sát cho chúng ta biết rằng chất khí giữa các ngôi sao không phải là thủ phạm. Ngoại trừ các vạch phổ đặc biệt, chất khí nguyên tử hay phân tử hầu như trong suốt. Hãy xem xét khí quyển của Trái Đất. Cho dù mật độ cao không thể tin của nó so với mật độ của chất khí giữa các sao, nó thật trong suốt cũng như thực tế không thể nhìn thấy được (ngoại trừ khi con người tạo ra sương mù bằng cách lấp đầy bầu trời với các hạt rắn của khói và bụi, núi lửa cũng đôi khi phun khá nhiều bụi làm cho bầu trời mù mịt).

Lượng khí cần thiết để tạo ra sự hấp thụ ánh sáng quan sát được trong không gian giữa các ngôi sao phải là khổng lồ. Lực hấp dẫn của một khối lượng chất khí lớn như thế sẽ ảnh hưởng đến sự chuyển động của các ngôi sao theo cách thức có thể được phát hiện một cách dễ dàng. Những chuyển động như thế không được quan sát, và do đó sự hấp thụ giữa các ngôi sao không thể là kết quả của các chất khí.

Mặc dù chất khí không hấp thụ ánh sáng nhiều, chúng ta biết được từ kinh nghiệm hàng ngày rằng các hạt rắn hay lỏng nhỏ li ti có thể là những chất hấp thụ rất hiệu quả. Hơi nước trong không khí là hoàn toàn vô hình. Tuy nhiên, khi một số hơi nước ngưng tụ thành những giọt nước nhỏ, đám mây được tạo ra từ đó trở nên mờ đục. Các trận mưa bụi, khói, và sương mù cung cấp những thí dụ quen thuộc về hiệu quả các hạt rắn hấp thụ ánh sáng. Trên cơ sở lý luận như thế,

các nhà thiên văn học đã kết luận rằng các hạt rắn được rải rộng khắp trong không gian giữa các vì sao có liên quan đến sự mờ đi quan sát được (hay thấy được) của ánh sáng sao. Những hạt này được cấu tạo bằng chất gì? Và chúng đã hình thành như thế nào?

Các quan sát chứng tỏ rằng một số lượng bụi rất lớn tồn tại; do đó ban đầu nó phải được cấu tạo từ các nguyên tố thật dồi dào trong vũ trụ (và trong vật chất giữa các vì sao). Theo sau hydro và helium, các nguyên tố dồi dào nhất là oxy, carbon, và nitro. Ba nguyên tố này, cùng với magnesium, silicon, sắt, và có lẽ chính bản thân hydro, được cho là những thành phần quan trọng nhất của bụi giữa các ngôi sao.

Các quan sát thiên văn ủng hộ giả thuyết này. Nhiều nguyên tố nặng, kể cả sắt, magnesium, và silicon, trong chất khí giữa các sao kém dồi dào hơn so với trong Mặt Trời và các sao trẻ. Các nguyên tố nặng hầu như chắc chắn bị thiếu trong chất khí giữa các sao bởi vì chúng bị ngưng tụ thành các hạt rắn của bụi giữa các sao.

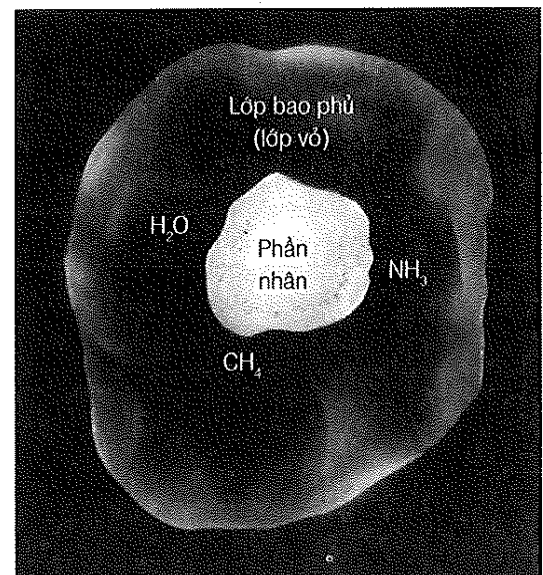
Chúng ta cũng biết được từ các phép đo về sự tắt ánh sáng toàn phần và sự ứng đỏ rằng các hạt bụi riêng lẻ tiêu biểu chỉ nhỏ hơn một chút so với bước sóng của ánh sáng thấy được. Nếu các hạt bụi nhỏ hơn nhiều, chúng sẽ không ngăn được ánh sáng một cách hiệu quả.

Mặt khác, nếu các hạt bụi lớn hơn nhiều so với bước sóng ánh sáng, ánh sáng sao sẽ không bị ứng đỏ. Chúng ta có thể suy ra rằng một hạt bụi đặc trưng giữa các sao chứa đựng 10^6 tới 10^9 nguyên tử và có đường kính từ 10^{-8} tới 10^{-7} m (10 tới 100 nm). Điều này thực sự giống như những hạt vật chất rắn trong khối thuốc

lá hơn là những hạt bụi lớn hơn mà bạn tìm thấy dưới bàn giấy của mình.

Các quan sát về các đặc điểm hấp thụ trong quang phổ được tạo ra bởi vật chất giữa các ngôi sao chứng tỏ rằng phải có nhiều loại hạt rắn. Một số hạt giữa các sao rõ ràng bao gồm một nhân của vật liệu cứng như đá (silicat); các hạt bụi khác có vẻ như là carbon nguyên chất (graphit). Nhân của các hạt bụi có thể được hình thành trong những cái vỏ của chất khí lạnh được phun ra từ các sao khổng lồ đỏ và các sao khác gần giai đoạn cuối cùng trong đời sống của chúng.

Rồi sau đó, các nhân của các hạt bụi có thể được kết hợp vào một đám mây giữa các ngôi sao, ở đó chúng có thể lớn lên bằng cách tập hợp những nguyên tử khác. Mô hình được chấp nhận một cách rộng rãi nhất mô tả các hạt bụi với nhân cứng như đá và lớp vỏ băng. Các vỏ băng phổ biến nhất trong các hạt bụi là nước (H_2O), metan (CH_4), và amoniac



Mô hình của hạt bụi giữa các sao: Một hạt bụi tiêu biểu được cho là bao gồm nhân của vật liệu cứng như đá (silicat), graphit (than chì), hay có thể là sắt được bao bọc bởi một lớp phủ băng băng (hay nước đá). Các kích thước hạt tiêu biểu là từ 10^{-8} tới 10^{-7} m.

(NH_3) – tất cả đều được cấu tạo từ các nguyên tử đặc biệt dồi dào trong thế giới của các ngôi sao.

11.5 CÁC TIA VŨ TRỤ

Thêm vào khí và bụi, một loại hạt thứ ba, đáng chú ý vì tốc độ cao mà chúng di chuyển, được tìm thấy trong không gian giữa các vì sao. Lần đầu tiên chúng được khám phá, vào năm 1911, do nhà vật lý người Áo Victor Hess, đã chở những thiết bị đơn giản trên các khí cầu, và chứng minh rằng các hạt tốc độ cao thực sự đi tới Trái Đất từ không gian. Những hạt này được biết là các tia vũ trụ – một cái tên rắc rối còn được giữ lại vì các nguyên nhân lịch sử. Chúng giống như chất khí bình thường giữa các sao về thành phần cấu tạo. Tuy nhiên, về động thái của chúng, các tia vũ trụ (cosmic rays) khác

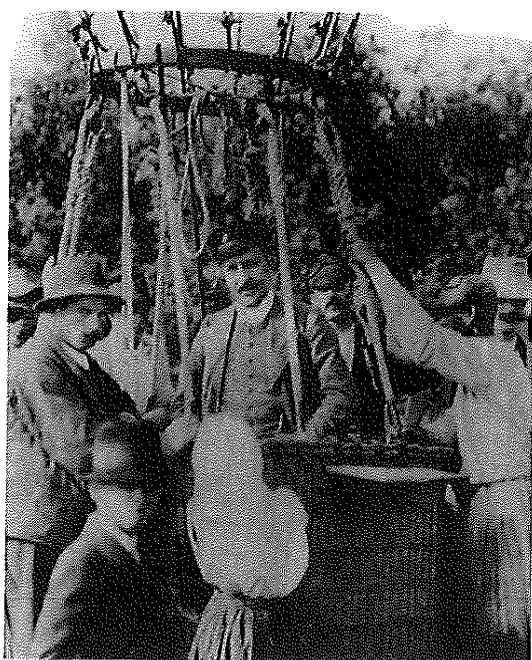
biệt một cách cơ bản với chất khí chúng ta đã xem xét.

♦ THÀNH PHẦN CẤU TẠO CỦA TIA VŨ TRỤ

Các tia vũ trụ là những hạt nhân nguyên tử, các electron và các hạt positron có tốc độ cao. Điển hình là các vận tốc đó ngang bằng với 90% tốc độ của ánh sáng. Hầu hết các tia vũ trụ là các hạt nhân hydro (các proton) bỏ đi electron đồng hành, nhưng helium và các hạt nhân nặng hơn hình thành khoảng 9% các hạt. 10 tới 20% các tia vũ trụ, với khối lượng ngang bằng với khối lượng của electron, mang điện tích dương thay vì điện tích âm để thể hiện rõ đặc điểm của các electron. Các hạt như thế được gọi là positron và là một dạng của phản vật chất (xem Mục 7.2).

Sự dồi dào phong phú của đủ loại hạt nhân nguyên tử khác nhau trong các tia vũ trụ phản ánh sự dồi dào phong phú trong các sao và chất khí giữa các vì sao, với một ngoại lệ quan trọng. Các nguyên tố nhẹ: lithium, beryllium, và boron, dồi dào trong tia vũ trụ hơn là trong Mặt Trời và các sao. Những nguyên tố nhẹ này được hình thành khi các hạt nhân của carbon, nitro và oxy trong tia vũ trụ va chạm với các proton trong không gian giữa các sao và vỡ tung ra. (Nếu bạn không nhớ hết tất cả các nguyên tố, chúng được liệt kê trong Phụ Lục 11 theo thứ tự của số lượng proton mà chúng chứa).

Các tia vũ trụ đi đến Trái Đất với số lượng đáng kể, và chúng ta có thể xác định các đặc tính của chúng bằng cách thu lấy chúng một cách trực tiếp, hay bằng cách quan sát những phản ứng xảy ra khi chúng va chạm với các nguyên tử trong khí quyển của chúng ta. Toàn bộ



Nhà tiên phong về tia vũ trụ: Victor Hess trở về từ chuyến bay bằng khinh khí cầu năm 1912, đã đạt đến độ cao 5+1/3 km. Chính trên các chuyến đi bằng khí cầu như thế mà Hess đã khám phá ra các tia vũ trụ.

năng lượng được lắng đọng bởi các tia vũ trụ trong khí quyển Trái Đất chỉ vào khoảng một phần tỉ năng lượng tiếp nhận từ Mặt Trời, nhưng có thể so sánh được với năng lượng toàn phần được tiếp nhận theo dạng của ánh sáng sao. Một số tia vũ trụ đi tới Trái Đất từ bề mặt của Mặt Trời. Nhưng hầu hết xuất phát từ bên ngoài hệ Mặt Trời.

✧ NGUỒN GỐC CỦA CÁC TIA VŨ TRỤ

Có một vấn đề hệ trọng trong việc xác định nguồn gốc của các tia vũ trụ. Bởi vì ánh sáng di chuyển theo đường thẳng, chúng ta có thể nói nơi nào nó xuất phát một cách đơn giản bằng cách nhìn. Các tia vũ trụ là những hạt tích điện, và chiều chuyển động của chúng có thể bị thay đổi bởi từ trường. Đường đi của các tia vũ trụ bị cong bởi từ trường trong không gian giữa các sao và bởi từ trường của Trái Đất. Các tính toán chúng tỏ rằng tia vũ trụ năng lượng thấp có thể di chuyển theo đường xoắn ốc nhiều lần chung quanh Trái Đất trước khi đi vào khí quyển nơi chúng ta có thể phát hiện ra chúng. Nếu một máy bay vòng quanh sân bay nhiều lần trước khi đáp xuống, thì không thể xác định được hướng và thành phố từ đó nó đến. Do đó, cũng vậy, sau khi một tia vũ trụ quay quanh Trái Đất nhiều lần, không thể biết được hành trình của nó bắt đầu từ nơi đâu.

Tuy nhiên, có một vài vấn đề về nơi chốn mà các tia vũ trụ có thể được sinh ra. Thí dụ, chúng ta biết rằng từ trường trong không gian giữa các sao đủ mạnh để ngăn giữ tất cả, ngoại trừ các tia vũ trụ mạnh nhất, không cho thoát ra khỏi Dải Ngân Hà. Vì thế dường như chúng được tạo ra ở một nơi nào đó bên trong

Dải Ngân Hà. Những ngoại lệ có vẻ thích hợp nhất là những tia vũ trụ với năng lượng cao nhất. Những tia vũ trụ như thế di chuyển nhanh đến nỗi chúng không bị ảnh hưởng đáng kể bởi từ trường giữa các vì sao, và do vậy chúng có thể thoát khỏi Thiên Hà của chúng ta. Một cách tương tự, chúng cũng có thể thoát khỏi các thiên hà khác, do đó một số tia vũ trụ năng lượng cao nhất mà chúng ta phát hiện được có thể đã được sinh ra trong một thiên hà xa xôi nào đó. Tuy nhiên, hầu hết các tia vũ trụ phải có nguồn gốc bên trong Dải Ngân Hà.

Chúng ta cũng có thể ước tính các tia vũ trụ tiêu biểu di chuyển bao xa trước khi chạm vào Trái Đất. Các nguyên tố nhẹ như lithium, beryllium, và boron giữ vị trí then chốt. Bởi vì chúng được hình thành khi carbon, nitro, và oxy đập vào các proton giữa các vì sao, chúng ta có thể tính toán, theo mức trung bình, các tia vũ trụ phải di chuyển trong bao lâu qua không gian để trải qua đủ các va chạm, giải thích cho sự dồi dào tương đối của lithium và các nguyên tố nhẹ khác mà chúng chứa đựng. Rốt cuộc là khoảng cách cần thiết là khoảng 30 lần chung quanh Dải Ngân Hà. Với tốc độ gần với tốc độ ánh sáng, có lẽ phải cần từ 3 tới 10 triệu năm để cho tia vũ trụ trung bình di chuyển qua khoảng cách này. Đây chỉ là một phần nhỏ của tuổi của Dải Ngân Hà hay vũ trụ, vì vậy các tia vũ trụ phải được tạo ra tương đối gần đây trên thang thời gian vũ trụ.

Ứng cử viên tốt nhất đối với nguồn gốc của tia vũ trụ là các vụ nổ siêu tân tinh, đánh dấu cái chết của các sao khổng lồ. Có đủ các vụ nổ, và các vụ nổ sinh ra đủ năng lượng, để giải thích cho số quan sát được của các tia vũ trụ.

Những gì chúng ta chưa biết là cơ chế chính xác nào trong các vụ nổ này thúc đẩy các proton và các hạt nhân nguyên tử khác tới các tốc độ mà chúng ta thấy. Một số sao bị sụp đổ (kể cả các xác sao còn lại từ các vụ nổ siêu tân tinh) có thể, trong những tình huống thích hợp, cũng sử dụng như một máy gia tốc hạt. Trong bất kỳ trường hợp nào, một lần nữa, chúng ta nhận thấy rằng vật liệu nguyên sinh của Dải Ngân Hà được phong phú dồi dào thêm bởi chu kỳ sống của các sao. Trong những chương kế tiếp, chúng ta sẽ thấy rằng khi các sao sống và chết, vật liệu của chúng có thể được tái tạo bằng những cách thức phức tạp và hấp dẫn.

TÓM LƯỢC

11.1 Khoảng 5% vật chất nhìn thấy được trong Dải Ngân Hà ở dưới dạng khí và bụi. Nguyên liệu cấu thành vật chất giữa các sao (inters-tellar matter) được phân bố theo một cách rời rạc lốm đốm, đôi khi trở nên nhìn thấy được như những đám mây rực sáng của chất khí gọi là các tinh vân (nebulae). Các nguyên tố dồi dào nhất trong chất khí giữa các vì sao là hydro và helium. Khoảng 1% vật chất giữa các sao ở dưới dạng các hạt bụi rắn giữa các ngôi sao (interstellar dust grains).

11.2 Chất khí giữa các ngôi sao gần các ngôi sao nóng phát xạ ánh sáng bởi sự phát huỳnh quang (fluorescence); nghĩa là, ánh sáng được phát xạ khi một electron bị thu hút bởi một ion và rơi xuống các mức năng lượng thấp hơn. Các đám mây toả sáng của khí hydro ion hoá được gọi là các vùng H II và có nhiệt độ khoảng 10.000

K. Hầu hết hydro trong không gian không bị ion hoá và có thể được nghiên cứu bởi các phép đo vô tuyến của vạch phổ 21 cm. Khoảng 2% không gian giữa các vì sao được lấp đầy bằng các đám mây lạnh (100 K) với mật độ khoảng 50 nguyên tử trong 1 cm³. Khoảng 20% khác của không gian giữa các sao được lấp đầy bằng các đám mây hydro trung hoà nóng (3000 tới 6000 K) ở mật độ 0,3 nguyên tử trong 1 cm³. Các vụ nổ của siêu tân tinh làm nóng một số chất khí tới nhiệt độ 10⁶ K.

11.3 Các quan sát chất khí giữa các ngôi sao phù hợp với một mô hình trong đó chất khí này được phân bố dưới dạng các đám mây với các phần nhân lạnh, mật độ cao, được bao quanh bởi các lớp vỏ nóng, mật độ thấp hơn, tất cả được bao bọc trong một chất khí nóng có mật độ rất thấp. Áp suất trong ba loại vùng này đại khái như nhau. Mặt Trời được tọa lạc tại vùng rìa của một đám mây mật độ thấp gọi là Núi Bông Cục Bộ (Local Fluff). Mặt Trời và đám mây này ở trong phạm vi của Bong Bóng Cục Bộ (Local Bubble), một vùng vươn rộng ra tới ít nhất 300 LY tính từ Mặt Trời, trong phạm vi đó mật độ của nguyên liệu giữa các sao là cực kỳ thấp.

11.4 Những hạt bụi giữa các ngôi sao hấp thụ và tán xạ ánh sáng sao. Ảnh hưởng của hai quá trình này được nói đến như sự tắt ánh sáng giữa các vì sao (interstellar extinction) và khiến cho các sao ở xa có vẻ mờ hơn bản thân chúng nếu không có những hạt bụi nằm dọc theo con đường ánh sáng sao đi ngang qua. Đa số bụi được tìm

thấy trong các đám mây gọi là **mây ti hồng ngoại** (infrared cirrus). Bởi vì nhiệt độ tiêu biểu của bụi là từ 20 tới 500 K, các hạt bụi giữa các sao được quan sát tốt nhất trong tia hồng ngoại. Do các hạt bụi tán xạ ánh sáng xanh hiệu quả hơn ánh sáng đỏ, các sao được nhìn thấy qua bụi có vẻ **ửng đỏ** (reddened). Các hạt bụi giữa các sao điển hình có các kích thước có thể so sánh được với bước sóng ánh sáng. Chúng có thể có một nhân silicat hay

carbon được bao quanh bởi một lớp vỏ của những loại băng chẳng hạn như nước, amoniac, và metan.

11.5 Các tia vũ trụ là các hạt di chuyển qua không gian giữa các sao với tốc độ tiêu biểu bằng 90 % tốc độ của ánh sáng. Các nguyên tố dồi dào nhất trong tia vũ trụ là các hạt nhân của hydro và helium, nhưng các hạt positron cũng được phát hiện. Rất có thể là nhiều tia vũ trụ được tạo ra trong các vụ nổ siêu tân tinh.





M16 (Tinh Vân Đại Bàng): Các vì sao hình thành trong các đám mây khí và bụi vĩ đại, và ảnh này mô tả một vùng rộng lớn của vật liệu nguyên sinh vũ trụ như thế. Chất khí thì nhìn thấy được, vì cách đây khoảng 2 triệu năm, đám mây này tạo ra một chòm sao sáng, ánh sáng của chúng ion hoá khí hydro lân cận. Chòm sao này có thể được nhìn thấy ở phía trên bên phải của ảnh. Những "cái vòi voi" của vật liệu bụi thấy được gần trung tâm của tấm ảnh được xem xét chi tiết hơn nhiều trong các hình ở trang sau.

CHƯƠNG 12

SỰ RA ĐỜI CỦA CÁC NGÔI SAO VÀ SỰ KHÁM PHÁ CÁC HÀNH TINH BÊN NGOÀI HỆ MẶT TRỜI

“Tất cả các thế giới lộng lẫy sáng chói này, và còn nhiều hơn nữa, mà các nhà thiên văn khảo sát... là những mặt trời, những trung tâm thống trị mà nhiều hành tinh lớn nhỏ phải tuân lệnh”.

Sir Richard Blackmore trong bài thơ “The Creation”,
Cuốn II, do A. Meadows trích dẫn trong “The High Firmament” (1969, Leicester U. Press).

Phải chăng hệ Mặt Trời của chúng ta là hệ hành tinh duy nhất? Hiện nay, chúng ta đã biết rằng những hành tinh bên ngoài hệ Mặt Trời còn nhiều hơn so với bên trong nó, và con số ấy đang tăng nhanh. Tại sao nhận thức của chúng ta thay đổi mạnh mẽ như thế vốn vẹn trong vài năm trời?

Sau khi khảo sát vật chất giữa các sao, vật liệu thô sơ từ đó các ngôi sao hình thành, chúng ta xem xét các sao mới được tạo ra bằng cách nào. Có chứng cứ mạnh mẽ rằng các hành tinh là phụ phẩm thường xuyên của quá trình hình thành sao, vì vậy trong chương này chúng ta cũng khảo sát chứng cứ về các hành tinh bên ngoài hệ mặt trời.

Sự hình thành của các ngôi sao thực ra không đơn thuần là một chủ đề quan trọng về mặt lịch sử. Sự hình thành sao

là một quá trình liên tục đang tiếp diễn ngay lúc này. Các ngôi sao đủ kích cỡ, đủ khối lượng, nhỏ cũng như lớn, đang được hình thành ở bên trong các đám mây bụi và khí, khắp Thiên Hà của chúng ta và các thiên hà khác. Trong vài năm gần đây nhất, các kính viễn vọng và các thiết bị đã giúp cho các nhà thiên văn học nhìn sâu vào các vùng hình thành sao lân cận và thu được những sự thoáng hiện mờ mờ của các ngôi sao trong những giai đoạn khởi thủy sự sống của chúng.

12.1 SỰ HÌNH THÀNH CÁC NGÔI SAO

Nếu chúng ta muốn tìm thấy những ngôi sao trẻ nhất – những ngôi sao còn trong quá trình hình thành – chúng ta phải tìm ở những nơi có nhiều vật liệu thô sơ cần thiết để tạo ra các ngôi sao.

Những điều cơ bản về các sao từ các chương trước

Các sao ổn định (trong chuỗi sao chính) chẳng hạn như Mặt Trời duy trì sự cân bằng bằng cách tạo ra năng lượng qua sự tổng hợp hạt nhân trong phần nhân của nó. Khả năng phát sinh ra năng lượng bởi sự tổng hợp sẽ xác định một ngôi sao (Các Mục 7.2 và 7.3).

Mỗi giây trong Mặt Trời, gần 600 triệu tấn hydro trải qua sự tổng hợp thành helium, với khoảng 4 triệu tấn chuyển hoá thành năng lượng trong quá trình đó. Mức độ sử dụng hydro này có nghĩa là cuối cùng Mặt Trời (và tất cả mọi vì sao khác) sẽ cạn kiệt nhiên liệu trong phần trung tâm (Mục 7.2).

Các ngôi sao cùng với nhiều khối lượng khác nhau, trong phạm vi từ $1/12 M_{\text{Sun}}$ tới khoảng $100 M_{\text{Sun}}$. Các sao khối lượng thấp có nhiều hơn so với các sao khối lượng cao (Mục 9.2).

Các ngôi sao đỏ sẫm nhất trong chuỗi sao chính (loại phổ O) cũng sáng nhất và có nhiệt độ bề mặt cao nhất. Các sao khối lượng thấp nhất (hay nhỏ nhất) trên chuỗi sao chính (loại phổ M và L) là những sao chói sáng thấp nhất và lạnh nhất (Mục 9.4).

Một thiên hà sao chẳng hạn như Dải Ngân Hà chứa những lượng khí và bụi khổng lồ – đủ để tạo ra hàng tỉ ngôi sao giống như Mặt Trời (Mục 11.1)



Các cột bụi trong M16: Bức ảnh của kính không gian Hubble này là một bức cận ảnh của các cột tối được nhìn thấy ngay trung tâm của bức ảnh M16 ở phần mở đầu chương này. Chúng ta nhìn thấy những cột khí lạnh khổng lồ, bao gồm hydro phân tử (H_2) và bụi. Những cột này có mật độ cao hơn những vùng chung quanh và đã chống lại sự bốc hơi bởi bức xạ cực tím từ các chùm sao nóng được mô tả ở phía trên bên phải của bức hình mở đầu chương này. Nhưng đỉnh của mỗi cột phơi bày chứng cứ về năng lực bốc hơi của sự bức xạ. Cột cao nhất dài khoảng 1 LY, và vùng M16 ở cách xa chúng ta khoảng 7.000 LY.



Những viên cầu (giọt nhỏ) đậm đặc trong M16: Bức cận ảnh của một trong các cột này được mô tả trong hình bên trình bày một số giọt nhỏ rất đậm đặc, đa phần chúng chứa những sao còn trong trạng thái phôi thai. Các nhà thiên văn học đặt ra thuật ngữ “các giọt khí nhỏ bay hơi” (evaporating gas globules) dành cho các cấu trúc này, do đó phần nào họ có thể nói rằng chúng ta đã tìm ra những cái trứng (e.g.g.s: chữ viết tắt của “evaporating gas globules”) bên trong Tinh vân Đại bàng (Eagle Nebula)! Có thể là bởi vì những phôi thai này hay những cái trứng (những giọt khí nhỏ bay hơi) đang bị phơi sáng bởi tác động không ngừng của sự bức xạ từ các sao nóng lân cận, một số có thể chưa thu thập đủ vật liệu để tạo ra một ngôi sao và có thể vì thế bị “chết non”.

Bởi vì các ngôi sao được cấu tạo bằng chất khí, chúng ta tập trung sự chú ý (hay các kính viễn vọng) vào các đám mây khí đậm đặc rải rác trong Dải Ngân Hà.

♦ CÁC Đám Mây Phân Tử: Các Vườn Ươm Sao

Những bồn chứa bao la nhất của vật chất giữa các vì sao – và một số vật thể đồ sộ nhất trong Dải Ngân Hà – là các đám mây phân tử khổng lồ (giant molecular clouds). Những cấu trúc khổng lồ bụi và khí này chứa đủ khối lượng để tạo ra từ 100 tới 1.000.000 Mặt Trời ở bất cứ nơi nào và đường kính của một đám mây tiêu biểu là 50 tới 200 LY (năm ánh sáng). Tên của chúng phản ánh sự lạnh lẽo của phần bên trong chúng, với những nhiệt độ đặc trưng chỉ khoảng 10 K, hầu hết các nguyên tử trong chất khí của chúng được kết hợp lại thành các phân tử. Các quan sát chứng tỏ rằng các đám mây này là nơi sinh ra hầu hết các sao trong Dải Ngân Hà.

Các đám mây phân tử chứa những cục hay những nhân đậm đặc của vật liệu với nhiệt độ rất thấp và mật độ cao hơn nhiều là tiêu biểu của hầu hết phần còn lại của đám mây (10^4 tới 10^6 nguyên tử trên 1 cm^3). Cả hai điều kiện này – nhiệt độ thấp và mật độ cao – là những gì cần thiết để tạo ra các ngôi sao mới. Để hình thành một ngôi sao – nghĩa là, một quả cầu vật chất nóng, đậm đặc có thể bắt đầu các phản ứng hạt nhân nằm sâu bên trong nó – chúng ta cần một khối nguyên tử và phân tử khổng lồ co lại về bán kính và gia tăng về mật độ bằng một hệ số gần 10^{20} . Đó là trọng lực tạo ra sự sụp đổ dữ dội.

Cốt lõi câu chuyện sự sống của các vì sao là sự cạnh tranh liên tục giữa

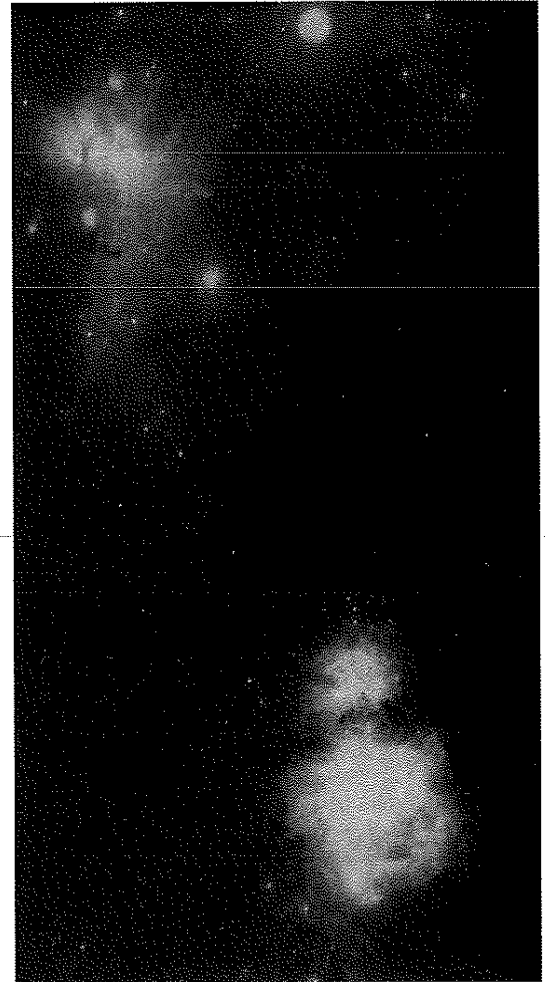
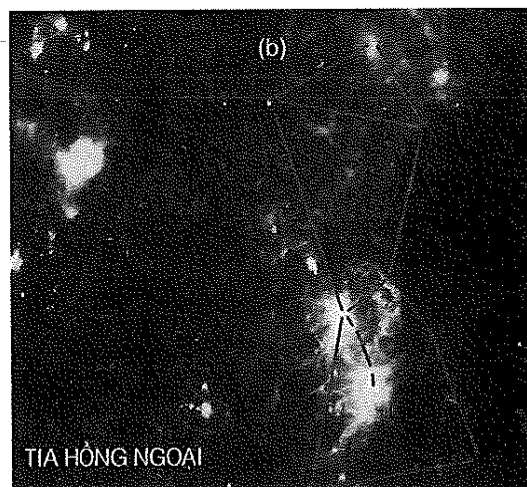
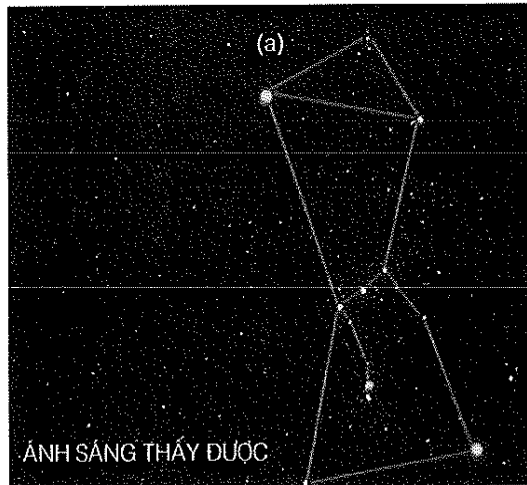
hai lực: *trọng lực* (gravity) và *áp suất* (pressure). Trọng lực, hút vào trong, cố làm cho ngôi sao sụp đổ. Áp suất bên trong được tạo ra bởi các chuyển động của các nguyên tử khí, đẩy ra ngoài, cố ép ngôi sao trương nở ra. Khi hai lực này ở trong trạng thái cân bằng, ngôi sao ổn định. Những thay đổi quan trọng về cấu trúc của ngôi sao xảy ra khi một lực này hay lực kia chiếm ưu thế. Khi ban đầu một ngôi sao đang hình thành, nhiệt độ thấp và mật độ cao đều tác động để cho phép trọng lực có lợi thế. Chúng ta bắt đầu cuộc khảo sát những gì xảy ra bằng cách nhìn vào một vùng đặc biệt của sự hình thành sao.

♦ Đám Mây Phân Tử Orion

Gần nhất và nghiên cứu thuận lợi nhất của các vườn ươm sao là trong chòm sao Orion, thợ săn, cách xa khoảng 1500 LY.

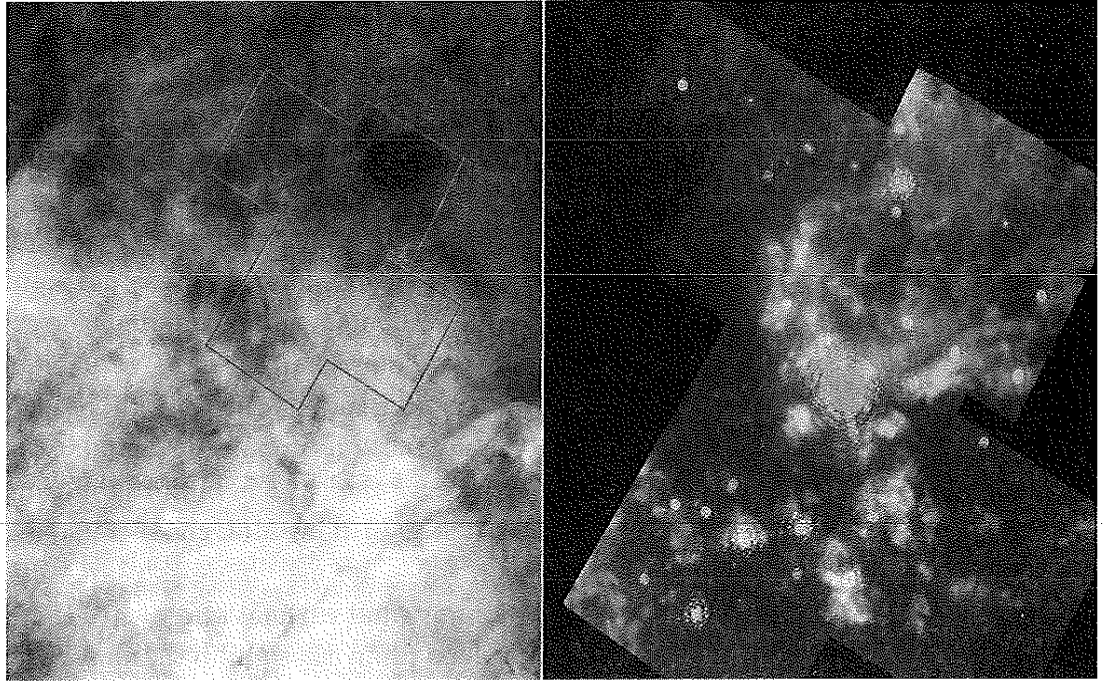
Một đám mây bụi và khí, sáng chói, gọi là Tinh vân Orion, có thể dễ dàng nhìn thấy bằng ống nhòm, ở giữa “thanh gươm” treo thông xuống từ dây đai của Tráng sĩ (Orion). Tuy nhiên, vật liệu chói sáng này, chỉ là một đốm ánh sáng trên bề mặt của một đám mây phân tử rộng lớn hơn nhiều. Phần lớn của đám mây không toả sáng với ánh sáng thấy được, nhưng để lộ sự có mặt của nó bởi sự bức xạ mà nó toả ra với các bước sóng hồng ngoại và vô tuyến.

Bản thân Tinh vân Orion là một nơi hấp dẫn, quyến rũ, ở đó một chùm sao nóng, trẻ, đang chiếu sáng với năng lượng vĩ đại. Sự bức xạ của nó đang mở ra cái kén (hay cái bọc) của bụi bên trong đó nó đã hình thành, để lộ ra một chùm sao mới được tạo ra đối với tầm nhìn của chúng ta. Chỉ có một số ít sao trong chùm Trapezium có thể được nhìn thấy với ánh



Chòm Orion trong ánh sáng thường và trong tia hồng ngoại: (a) Nhóm sao Orion được đặt tên theo truyền thuyết người thợ săn trong thần thoại Hy Lạp. Ba ngôi sao sát bên nhau trên một đường thẳng biểu thị dây đai của Tráng sĩ (Orion). Người cổ đại tưởng tượng một thanh gươm treo thông xuống từ dây đai; vật thể ở cuối đường màu xanh trong thanh gươm này là Tinh vân Orion. (b) Quang cảnh bằng tia hồng ngoại góc rộng của cùng một khu vực này đã được vệ tinh thiên văn hồng ngoại (Infrared Astronomical Satellite) chụp hình. Những đám mây bụi bị đun nóng trong ảnh màu giả tạo này, và phần nhiều các sao đứng bên ngoài trong hình (a) bây giờ không nhìn thấy được. Một ngoại lệ là sao đỏ khổng lồ, lạnh, Betelgeuse, có thể được nhìn thấy như một chấm ở đỉnh bên trái của tam giác (ở nách trái của Tráng sĩ). Vòng tròn lớn bên phải của Betelgeuse là xác của một ngôi sao đã bùng nổ. Ảnh hồng ngoại cho chúng ta thấy vùng này thực sự tràn ngập vật liệu giữa các sao như thế nào và do đó để lộ ra sự có mặt của Đám Mây Phân Tử Orion (Orion Molecular Cloud). Hai vùng được nhìn thấy trong hình bên là hai mảng không đều, sáng và màu vàng, ở cuối bên trái và bên dưới dây đai của Orion. Vùng thấp hơn là Tinh vân Orion, và vùng cao hơn là vùng của tinh vân bụi Đầu ngựa.

Những vùng hình thành sao trong Orion: Quang cảnh góc rộng này bao gồm dây đai và thanh gươm của Orion (Tráng sĩ). Tinh vân Orion là một vật thể trắng mờ gần dưới đây. Một đám mây bụi giống như một cái đầu ngựa có thể được nhìn thấy dựa vào sự rực sáng đỏ của hydro ở phần trên bên trái. Ngôi sao sáng, chói chang bên trên cái đầu ngựa và ngôi sao ở chính giữa ngay đỉnh bức ảnh là hai trong số các sao trong dây đai của Orion. Tất cả các đặc trưng nhìn thấy được của khí và bụi là chứng cứ của một đám mây phân tử lớn hơn nhiều nằm phía sau chúng và (với các bước sóng vô tuyến) sẽ lấp đầy hầu hết phạm vi được mô tả ở đây.



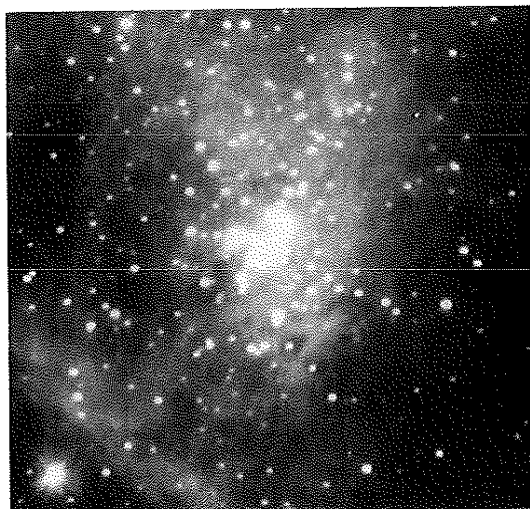
Vùng trung tâm của Tinh vân Orion: Tinh vân Orion "chứa chấp" một số sao trẻ nhất trong vùng lân cận của Mặt Trời. Ngay trung tâm của tinh vân là chùm Trapezium, bao gồm bốn sao rất sáng cung cấp năng lượng khiến cho tinh vân rực sáng chói chang. Trong những hình ảnh đẹp đẽ này của kính không gian Hubble, chúng ta thấy một phần của tinh vân trong ánh sáng thường (trái) và trong tia hồng ngoại (phải). Bốn vì sao sáng ở bên trái dưới đáy của ảnh với ánh sáng thường là các sao trong chùm Trapezium. Khu vực được mô tả trong ảnh phải được đánh dấu bằng một khung trên ảnh trái. Hãy lưu ý rằng các vật thể sáng nhất trong tia hồng ngoại hoàn toàn không được nhìn thấy trên ảnh bên trái. Sự toả sáng trên ảnh phải xuất phát từ các phân tử hydro bị kích thích. Điểm sáng nhất ở chính giữa ảnh phải được gọi là thiên thể Becklin – Neugebauer (theo tên những người khám phá ra nó); rất có thể là một sao trẻ khổng lồ.

khoảng 100 LY. Khối lượng tổng cộng của chất khí phân tử vào khoảng 200.000 lần khối lượng của Mặt Trời. Một làn sóng của sự hình thành sao đã bắt đầu cách đây khoảng 12 triệu năm tại một rìa của đám mây phân tử, gần cái vai phía tây của hình sao Orion, đã di chuyển chậm chậm qua đám mây, để lại phía sau các nhóm sao mới được hình thành. Các sao trong dãy đai của Orion vào khoảng 8 triệu tuổi, và các sao gần với Trapezium có tuổi từ 300.000 tới 1 triệu năm.

Tại sao có nhiều vật liệu còn lại chung quanh các sao mới được hình thành trong chùm Trapezium đến thế? Chúng ta đã đi đến hiểu biết rằng sự hình thành sao không phải là một quá trình rất hiệu

quả, khi sử dụng điển hình chỉ vài phần trăm chất khí trong một đám mây phân tử. Tuy nhiên, vật liệu còn lại dĩ nhiên bị làm nóng, hoặc bởi sự bức xạ của các sao nóng hơn đang hình thành hoặc bởi các sự bùng nổ của các sao lớn nhất. (Các sao lớn nhất đi qua đời sống của chúng rất nhanh, và kết thúc bằng sự bùng nổ). Dù nhẹ nhàng hay dữ dội, vật liệu trong vùng lân cận của các sao mới bị thổi bay vào không gian giữa các sao. Cho nên các nhóm sao già hơn có thể dễ dàng được quan sát trong ánh sáng thấy được bởi vì chúng không còn bị che phủ trong bụi và khí.

Do sự tương quan giữa tuổi của sao và vị trí trong vùng Orion, chúng ta biết



Các sao trong phần bên trong của Tinh vân Orion:

Vùng gần các sao Trapezium bị chen chúc với những ngôi sao, nhưng bạn không bao giờ có thể khẳng định được từ một ảnh giống như ảnh được mô tả trên cạnh trái của bức hình ở trang trước. Tuy nhiên, một kính viễn vọng hồng ngoại có thể tiết lộ nhiều hơn. Ảnh này được chụp với một máy ảnh hồng ngoại điện tử trên kính viễn vọng hồng ngoại của Anh (United Kingdom Infrared Telescope), 3,8 mét, ở Mauna Kea. Hình ảnh bao phủ một vùng khoảng 12 LY x 12 LY. Khoảng chừng 500 sao có thể được tìm thấy trên ảnh chụp này, hầu hết thuộc về chòm Trapezium. Điều này làm cho vùng này trở thành một trong những nhóm sao dày đặc nhất mà các nhà thiên văn học đã tìm thấy.

rằng sự hình thành sao đang được di chuyển tuần tự qua đám mây phân tử này. Trong khi chúng ta không biết ban đầu những gì đã khiến cho các sao bắt đầu hình thành trong Orion, thì có chứng cứ rằng thế hệ đầu tiên của các sao kích thích sự hình thành các sao bổ sung, đến lượt chúng dẫn đến sự hình thành thêm nhiều sao nữa.

Ý tưởng cơ bản là: Khi một sao khổng lồ được hình thành, nó phát xạ một lượng lớn bức xạ cực tím làm nóng chất khí xung quanh trong đám mây phân tử. Sự làm nóng này sẽ gia tăng áp suất trong chất khí và khiến cho nó nở rộng. Khi các sao khổng lồ cạn kiệt nguồn nhiên liệu, chúng bùng nổ, và năng lượng của

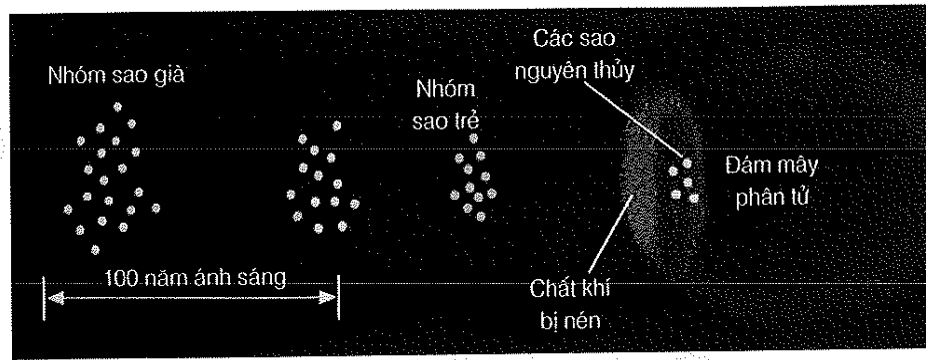
vụ nổ cũng làm nóng chất khí. Các chất khí nóng đổ xô vào đám mây lạnh xung quanh, nén ép vật liệu trong nó cho tới khi chất khí lạnh có cùng áp suất như chất khí nóng đang trương nở.

Đối với những vùng khí lạnh hơn, điều này có thể là một sự thay đổi mạnh mẽ. Trong những điều kiện tiêu biểu của các đám mây phân tử, sự nén ép khá đủ để gia tăng mật độ của chất khí bởi một hệ số 100. Với các mật độ cao như vậy, các sao có thể bắt đầu hình thành trong chất khí bị nén. Một chuỗi phản ứng như thế – nơi mà những sao sáng nhất và nóng nhất của một khu vực trở thành nguyên nhân của sự hình thành sao “của nhà bên cạnh” – dường như đã diễn ra không chỉ trong Orion mà còn trong nhiều đám mây phân tử khác nữa.

♦ SỰ RA ĐỜI CỦA MỘT NGÔI SAO

Mặc dù những vùng như Orion có thể giúp cho chúng ta hiểu về sự hình thành sao bắt đầu như thế nào, các giai đoạn tiếp nối của nó vẫn còn trong vòng bí mật (và rất nhiều bụi). Hầu như có một hệ số chênh lệch 10^{20} giữa mật độ của phần nhân một đám mây phân tử và phần nhân của các sao trẻ nhất có thể được phát hiện. Cho tới giờ, chúng ta đã không thể thu được bất kỳ chứng cứ trực tiếp nào về những gì xảy ra trong một đám mây khi các vật liệu kết hợp với nhau qua tác động của trọng lực và những sự sụp đổ qua dãy mật độ này để hình thành một ngôi sao.

Các quan sát về giai đoạn tiến hoá này của sao hình như không thể thực hiện được vì vài nguyên nhân. Thứ nhất, phần bên trong bị bụi bao phủ của các đám mây phân tử, ở đó sự ra đời của sao xảy ra, không thể quan sát được bằng



Lan truyền sự hình thành sao: Lược đồ này mô tả sự hình thành sao có thể di chuyển từ từ qua một đám mây phân tử như thế nào. Nhóm sao già nhất nằm bên trái sơ đồ và đã nở rộng do sự chuyển động của các sao riêng lẻ. Cuối cùng, các sao trong nhóm sẽ phân tán và không còn được nhận ra như một chùm sao. Nhóm sao trẻ nhất nằm ở bên phải, kế bên đám mây phân tử. Nhóm sao này chỉ có từ 1 tới 2 triệu năm tuổi. Áp suất của chất khí nóng, bị ion hoá, quanh các sao này nén ép vật liệu trong phần rìa gần của đám mây phân tử và khởi đầu sự sụp đổ do trọng lực sẽ dẫn đến sự hình thành thêm nhiều sao nữa.

ánh sáng thường. Chỉ với các kỹ thuật hồng ngoại và vô tuyến với bước sóng milimét chúng ta mới có thể thực hiện bất cứ phép đo nào. Vả lại, thang thời gian đối với sự sụp đổ ban đầu, được đo bằng hàng ngàn năm, là rất ngắn, về mặt thiên văn học. Bởi vì mỗi sao trải qua một phần nhỏ bé như thế của cuộc đời của nó trong giai đoạn này, các sao tương đối mới đang trải qua quá trình sụp đổ vào bất kỳ thời điểm nhất định nào.

Hơn nữa, sự sụp đổ của một ngôi sao mới diễn ra trong một vùng nhỏ (0,3 LY) đến mức trong hầu hết các trường hợp, chúng ta không thể giải quyết nó với các kỹ thuật hiện có. Vì tất cả các nguyên nhân này chúng ta phải, dù thế nào đi nữa, bắt quả tang một ngôi sao đang trong sự sụp đổ ban đầu của nó. Tuy vậy, qua các tính toán lý thuyết và các quan sát bị hạn chế, có thể ráp lại thành một bức tranh về giai đoạn tiến hoá đầu tiên của sao.

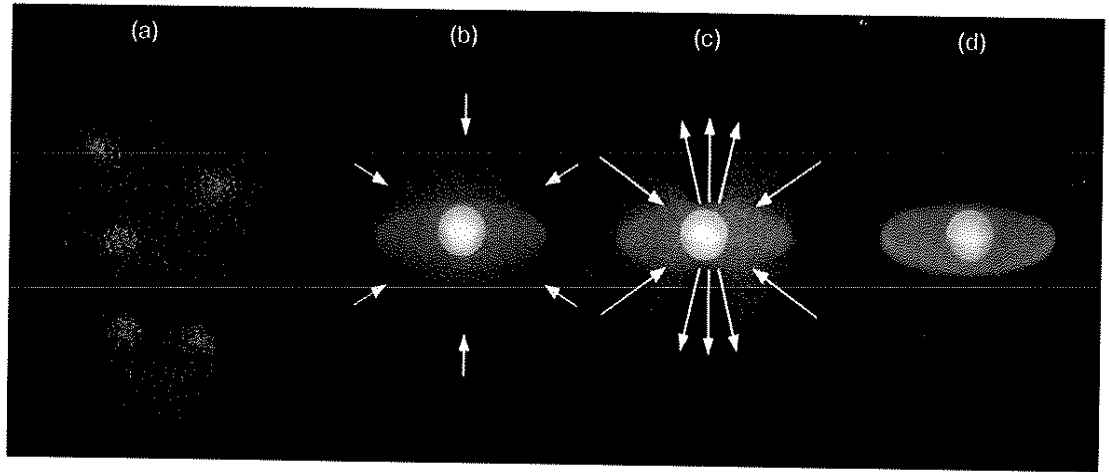
Khi mà một khối vật chất trong đám mây phân tử đang co lại để trở thành một ngôi sao thực sự, chúng ta gọi nó là

một ngôi sao nguyên thủy (protostar). Bởi một đám mây phân tử lớn hơn một ngôi sao tiêu biểu với hệ số 100.000 hay hơn nữa, nhiều ngôi sao nguyên thủy sẽ hình thành trong phạm vi mỗi đám mây.

Giai đoạn đầu tiên trong quá trình tạo ra các ngôi sao là sự hình thành trong phạm vi đám mây – qua một quá trình mà chúng ta không hiểu rõ – của các phần nhân vật liệu đậm đặc. Những nhân đậm đặc này sau đó thu hút vật chất bổ sung do lực hấp dẫn, chúng tác động lên vật liệu trong đám mây bao quanh chúng. Cuối cùng, lực hấp dẫn của chất khí trở nên đủ mạnh để lấn át áp suất bị tác động bởi vật liệu lạnh đang hình thành các phần nhân đậm đặc.

Sau đó, vật liệu trải qua một sự sụp đổ nhanh chóng, kết quả là mật độ của phần nhân gia tăng mạnh mẽ, và một ngôi sao nguyên thủy được hình thành.

Theo sự quan sát về moment góc (hay động lượng góc), một vật thể tự xoay quay nhanh hơn khi nó giảm bớt kích thước. Nói cách khác, nếu một vật thể có thể xoay chuyển vật liệu của nó chung quanh



Sự hình thành một ngôi sao: (a) Các phần nhân đậm đặc hình thành trong một đám mây phân tử. (b) Một ngôi sao nguyên thủy (hay hình thức khởi thủy của sao theo giả thuyết) với một đĩa vật liệu tròn xung quanh hình thành tại trung tâm của phần nhân đậm đặc, tích tụ các vật liệu bổ sung từ các đám mây phân tử qua lực hấp dẫn. (c) Một cơn gió sao bùng ra, nhưng bị hạn chế bởi đĩa vật liệu nên tuôn trào dọc theo hai cực của sao. (d) Cuối cùng cơn gió này quét sạch vật liệu của đám mây và làm ngưng sự tích tụ của vật liệu bổ sung, và một sao mới được hình thành, được bao quanh bởi chiếc đĩa, trở nên có thể quan sát được.

một vòng tròn nhỏ hơn, nó có thể di chuyển vật liệu ấy nhanh hơn. Điều này chính xác là những gì diễn ra khi một sao nguyên thủy đang hình thành: Khi nó co lại, tốc độ quay của nó tăng lên. Bởi vì sự nhiễu loạn tự nhiên bên trong một đám mây phân tử có khuynh hướng cung cấp cho bất cứ phần nào của nó một chuyển động quay tròn ban đầu nào đó (dẫu rất chậm), tất cả phần nhân đang sụp đổ được cho rằng quay tròn khi nó trở thành các sao nguyên thủy.

Sự xoay tròn nhanh có thể bắt đầu ảnh hưởng tới hình dạng của quả cầu vật liệu đang sụp đổ. Sự xoay tròn tại xích đạo của quả cầu khí đang quay (thậm chí trong lúc nó tiếp tục tụ lại ở hai cực). Bạn có thể đã quan sát cùng một hiệu quả này trên thiết bị vui chơi (như vòng quay ngựa gỗ) trong công viên giải trí, trong đó bạn dựa lưng vào một ống trụ được quay tròn càng lúc càng nhanh. Khi bạn quay tròn thật nhanh, bạn bị đẩy dựa vào vách mạnh đến nỗi không thể rơi về phía trung tâm của ống trụ. Vì vậy, chất

khí đang sụp đổ tụ lại ở phía xích đạo của ngôi sao nguyên thủy cũng bị giữ bởi sự xoay tròn và hình thành một đĩa mở rộng xoay tít chung quanh xích đạo (như được mô tả trong hình trên). Tuy nhiên, chất khí có thể tụ vào ngôi sao nguyên thủy một cách dễ dàng từ nhiều hướng cách xa xích đạo của ngôi sao.

Ngôi sao nguyên thủy và cái đĩa tròn ở giai đoạn này bị bao bọc trong một lớp vỏ bụi và khí, ở đó vật liệu vẫn đang tụ vào ngôi sao nguyên thủy. Lớp vỏ bụi này che khuất ánh sáng thấy được, nhưng bức xạ hồng ngoại có thể đi xuyên qua. Rốt cuộc, trong giai đoạn tiến hoá này, chính ngôi sao nguyên thủy chỉ có thể được quan sát trong vùng hồng ngoại của quang phổ.

✧ GIÓ VÀ CÁC CHÙM TIA

Các cuộc quan sát chứng tỏ rằng, cuối cùng một ngôi sao nguyên thủy trải qua giai đoạn liên quan tới sự tuôn chảy mạnh mẽ của các hạt từ bề mặt của nó

gọi là gió sao. Gió sao chủ yếu gồm có các proton (các hạt nhân hydro) và các electron chảy ra khỏi sao với vận tốc khoảng 200 km/s (khoảng 44.000 dặm/giờ). Chúng ta hãy xem xét kỹ tác động của gió sao đối với vật liệu chung quanh sao đang hình thành.

Khi ban đầu gió khởi sự, đĩa vật liệu xung quanh xích đạo của ngôi sao che chắn gió ở hướng này. Nơi mà các hạt gió có thể thoát ra hiệu quả nhất là ở hướng hai cực của sao. Nếu các ý tưởng về giai đoạn này trong sự sống của một ngôi sao là chính xác, chúng ta sẽ thấy các chùm hạt bắn ra ở các hướng đối nghịch từ các vùng cực của các sao mới trong giai đoạn hình thành. Các chùm hạt có thể tiết lộ sự hiện diện của ngôi sao mới được hình



Ảnh hồng ngoại của sao nguyên thủy S106: Chất khí thoát ra bên ngoài từ vật thể này theo các hướng thẳng góc với đĩa đậm đặc bao quanh nó. Cái đĩa được hình thành ở nơi mà các dòng chảy ra ngoài có vẻ dính chặt với nhau.

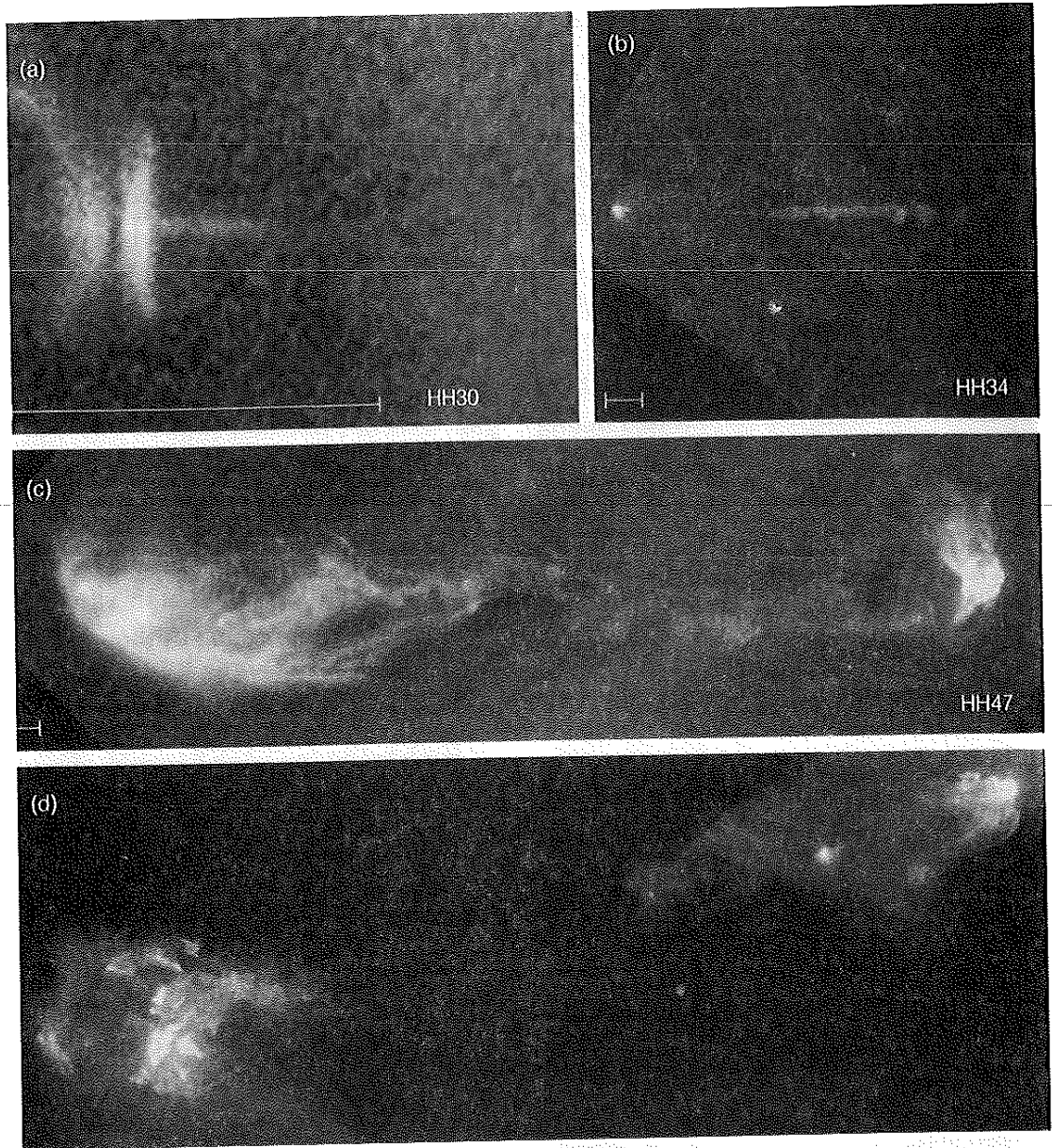
thành ngay cả khi ngôi sao ấy bị bao phủ hoàn toàn trong bụi.

Những chùm (hay những tia) gấp đôi như thế chính xác là những gì mà các nhà thiên văn học quan sát được quanh một số sao nguyên thủy. Đôi khi vật liệu tuôn ra có thể khá lớn, nhưng trên các hình ảnh khác, chúng ta thấy một tập hợp các tia nhỏ hẹp rõ rệt. thỉnh thoảng, các tia va chạm với một khối vật liệu, ở gần, đậm đặc hơn một chút và kích thích các nguyên tử của nó rực sáng.

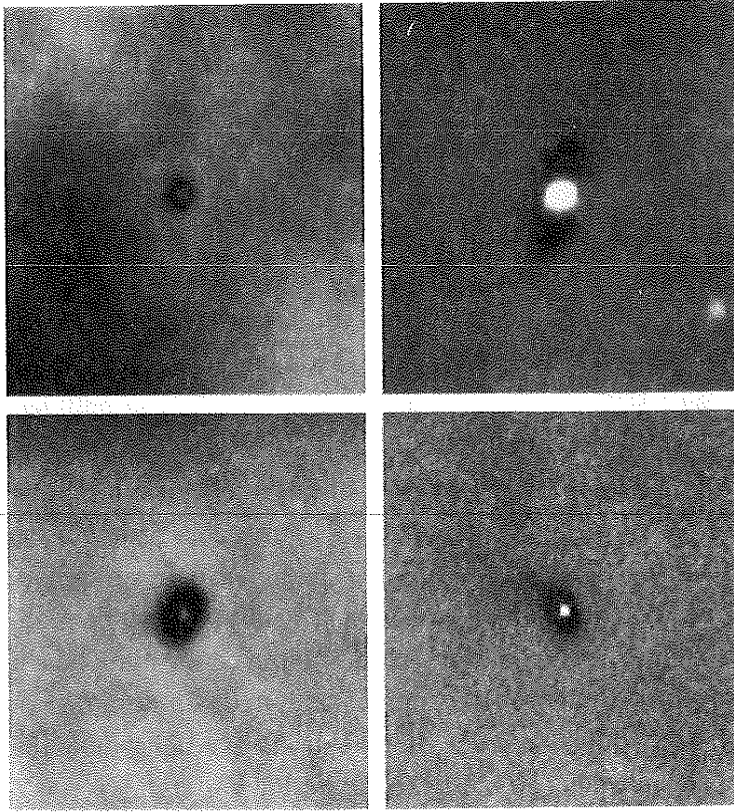
Những vùng rực sáng này, gọi là các *vật thể Herbig – Haro* (hay *HH*) theo hai nhà thiên văn học phát hiện ra chúng đầu tiên, cho phép chúng ta theo dõi quá trình của các chùm tia nằm cách ngôi sao tạo ra chúng khá xa.

Hình trang sau trình bày một số hình ảnh độc đáo của các vật thể Herbig – Haro, được chụp bằng kính không gian Hubble, xác nhận toàn bộ bức tranh của sự hình thành ngôi sao. Nhưng, cũng như luôn xảy ra trong thế giới thực, các hình ảnh cũng mô tả một mức độ đáng kể về cấu trúc phức tạp trong các chùm tia và các đám mây vật liệu mà chúng truyền sinh lực cho. Có thể là khối vật liệu vĩ đại này từ đĩa bên trong của ngôi sao tụ về phía ngôi sao và sau đó bị gió chặn lại và thổi ra ngoài, giống như một đồng lá có thể bị thổi bay đi cùng nhau trong một cơn bão trên Trái Đất.

Gió từ một ngôi sao đang hình thành sau cùng sẽ quét sạch lớp vỏ bụi và khí mờ mịt tối tăm của nó, để lại phía sau cái đĩa trần trụi và ngôi sao nguyên thủy, mà giờ đây có thể được nhìn thấy với ánh sáng thường. Chúng ta nên lưu ý rằng ngay thời điểm này, chính ngôi sao nguyên thủy đang co lại từ từ và chưa đạt tới giai đoạn của *chuỗi sao chính* trên



Sự tuôn chảy từ các sao nguyên thủy: Bộ sưu tập các hình ảnh gần đây được chụp bằng kính không gian Hubble, mô tả các đĩa và các chùm tia từ các sao mới được hình thành. Trên ba ảnh đầu, thanh trắng ở dưới đáy là kích thước của 1000 đơn vị thiên văn (1000 AU) (1000 lần khoảng cách giữa Trái Đất và Mặt Trời). **(a)** Hình trên bên trái: HH 30, một cái đĩa nhìn từ bên cạnh chung quanh một sao nguyên thủy trong chòm sao Taurus (Kim Ngưu) cách xa khoảng 450 LY. Chùm tia hơi đỏ thì nhỏ hẹp phơi bày những cụm vật liệu có thể được theo dõi để đo đặc tốc độ qua đó vật liệu trong chùm tia đang di chuyển. Tốc độ là khoảng một phần ba của 1 triệu km/giờ. **(b)** Hình trên bên phải: HH 34, một sao nguyên thủy trong vùng lân cận của Tinh vân Orion, trình bày một chùm tia với cấu trúc chuỗi hạt trở nên rộng hơn khi nó càng ở xa hơn với ngôi sao của nó. **(c)** Hình giữa: HH 47, một sao nguyên thủy cách xa 1500 LY (không thể nhìn thấy được bên trong một đĩa bụi ở lề trái của bức ảnh), tạo ra một chùm tia rất phức tạp. Ngôi sao có thể đang lắc lư, có lẽ vì nó có một bạn đồng hành. Ánh sáng từ sao chiếu sáng khu vực màu trắng ở bên trái bởi vì ánh sáng có thể lộ ra thẳng góc với cái đĩa (giống như chùm tia thực hiện). Bên phải chùm tia đang rẽ vào những khối khí tồn tại giữa các vì sao, tạo ra một làn sóng đột ngột (giống như một mũi tên). **(d)** Hình dưới cùng: Quang cảnh của HH 1 và 2 mô tả một cặp chùm tia toả ra từ một sao nguyên thủy (bị che giấu trong một đĩa bụi ở trung tâm) trong chòm sao Orion. Từ đầu này sang đầu kia, các chùm tia này rộng hơn 1 LY. Những vùng sáng (đầu tiên được Herbig và Haro phát hiện) là những nơi mà chùm tia đập mạnh vào một khối khí giữa các vì sao.



Các đĩa tròn chung quanh các sao nguyên thủy: Những hình ảnh của kính không gian Hubble mô tả bốn đĩa tròn chung quanh các sao trẻ trong Tinh vân Orion. Các đĩa bụi, tối, được nhìn thấy in bóng trên nền sáng của chất khí rực sáng trong tinh vân. Kích thước của mỗi ảnh lớn gấp khoảng 30 lần đường kính hệ hành tinh của chúng ta; điều này có nghĩa là những đĩa tròn mà chúng ta thấy ở đây về kích thước có phạm vi từ hai tới tám lần quỹ đạo của Pluto (Diêm Vương Tinh). Sự rực đỏ tại trung tâm của mỗi đĩa là một sao trẻ, không nhiều hơn 1 triệu năm tuổi.

sơ đồ H – R (một khái niệm được giới thiệu trong Chương 9). Nhưng cái đĩa tròn có thể bị phát hiện một cách dễ dàng tại thời điểm này hơn là ngôi sao, đặc biệt khi được quan sát với các bước sóng hồng ngoại hay khi nó được nhìn thấy được rọi bóng trên một nền sáng. Các nhà thiên văn học đã tích lũy rất nhiều bằng chứng về sự hiện diện của các đĩa tròn như thế quanh nhiều sao mới đang hình thành.

Phải chăng các đĩa tròn bao quanh các sao nguyên thủy hình thành các hành tinh? Chúng chứa đủ vật liệu với khoảng cách thích hợp đối với ngôi sao.

12.2 SƠ ĐỒ H – R VÀ NGHIÊN CỨU VỀ SỰ TIẾN HOÁ CỦA SAO

Một trong những phương pháp tốt nhất để tóm lược tất cả các chi tiết về

việc một ngôi sao nguyên thủy thay đổi theo thời gian như thế nào là sử dụng sơ đồ H – R. Khi một ngôi sao tiêu thụ nhiên liệu hạt nhân của nó, độ trung và nhiệt độ của nó biến đổi. Vì thế vị trí của nó trên sơ đồ H – R, trong đó độ trung được đánh dấu dựa vào nhiệt độ, cũng chuyển đổi. Khi một sao đã già, chúng ta phải đánh dấu nó ở những nơi khác trên sơ đồ. Cho nên các nhà thiên văn học thường nói về một ngôi sao di chuyển trên sơ đồ H – R, hay về sự tiến hoá của nó vạch ra một đường đi trên sơ đồ. Dĩ nhiên, trong bối cảnh này, “vạch ra một đường đi” không có quan hệ gì với sự chuyển động qua không gian của ngôi sao; đây chỉ là một cách nói vắn tắt rằng nhiệt độ và độ trung của nó biến đổi khi nó tiến hoá.

Để ước tính đúng độ trung và nhiệt độ của một sao thay đổi bao nhiêu khi nó già, chúng ta phải sử dụng các tính

toán. Theo nghiên cứu lý thuyết về tiến hoá của sao, chúng ta tính toán các mô hình về một ngôi sao, mỗi mô hình kế tiếp thể hiện một thời điểm sau đó. Các sao có thể biến đổi vì nhiều nguyên nhân khác nhau. Thí dụ, các sao nguyên thủy thay đổi về kích thước bởi vì chúng đang co lại, nhiệt độ và độ trung của chúng cũng thay đổi khi chúng co lại. Sau khi sự tổng hợp hạt nhân bắt đầu trong phần nhân của sao (xem Chương 7), các sao trong chuỗi sao chính biến đổi bởi vì chúng đang sử dụng cho hết nhiên liệu hạt nhân của chúng.

Dựa vào mô hình thể hiện một ngôi sao ở một giai đoạn tiến hoá của nó, chúng ta có thể tính được nó sẽ giống như thế nào tại thời điểm sau đó một chút. Tại mỗi giai đoạn, mô hình dự báo độ trung và kích thước của ngôi sao, chúng ta có thể suy ra nhiệt độ bề mặt của chúng. Một loạt các điểm trên một sơ đồ H – R, được tính toán theo phương thức này, cho phép chúng ta theo dõi những biến đổi về sự sống của một ngôi sao và được gọi là *đường tiến hoá* (evolutionary track) của nó.

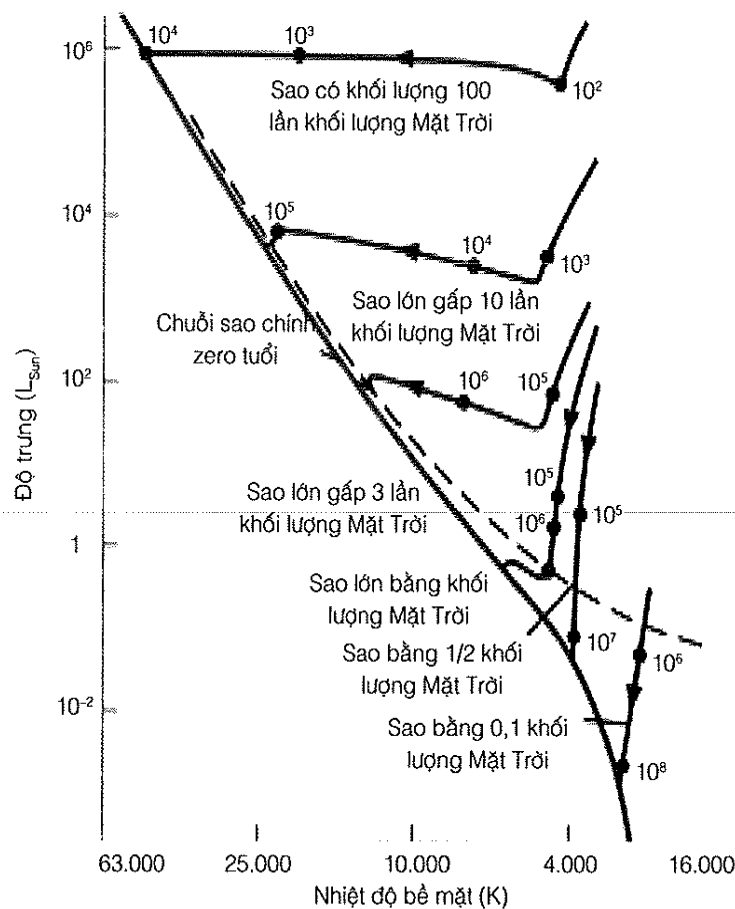
♦ CÁC ĐƯỜNG TIẾN HÓA

Bây giờ chúng ta hãy dùng những ý tưởng này để theo dõi sự tiến hoá của các ngôi sao nguyên thủy trên đường trở thành các sao trên chuỗi sao chính (main-sequence). Các đường tiến hoá của các sao mới hình thành với đủ loại khối lượng sao được mô tả trong sơ đồ ở trang sau. Các ngôi sao trẻ này chưa tạo ra năng lượng bằng các phản ứng hạt nhân, mà thu năng lượng từ sự co rút do lực hấp dẫn – quá trình được Helmholtz và Kelvin đề nghị dành cho Mặt Trời (xem Chương 7).

Ban đầu, một sao nguyên thủy vẫn còn tương đối lạnh, với một bán kính rất lớn và mật độ rất thấp. Nó trong suốt đối với bức xạ hồng ngoại, và sức nóng được sinh ra bởi sự co rút do lực hấp dẫn có thể được bức xạ tự do vào không gian. Bởi vì sức nóng tích tụ từ từ bên trong ngôi sao nguyên thủy, áp suất của chất khí vẫn còn thấp, và các lớp bên ngoài hầu như tự do tụ về phía trung tâm. Vì thế ngôi sao nguyên thủy trải qua sự sụp đổ rất nhanh, tương ứng với những vạch gần như thẳng ở bên phải sơ đồ ở trang sau. Khi ngôi sao co lại, diện tích bề mặt trở nên nhỏ hơn, và do đó độ trung toàn phần của nó giảm xuống. Sự co rút nhanh chóng dừng lại chỉ khi sao nguyên thủy trở nên đậm đặc và mờ đục đủ để thu lấy sức nóng được toả ra bởi sự co rút do lực hấp dẫn.

Khi ngôi sao bắt đầu giữ được sức nóng của nó, sự co rút trở nên chậm hơn nhiều, và các biến đổi bên trong ngôi sao đang co rút giữ cho độ trung của các sao giống như Mặt Trời gần như bất biến. Nhiệt độ bề mặt bắt đầu tích tụ, và ngôi sao “di chuyển” sang bên trái trong sơ đồ H – R. Các sao ban đầu trở thành nhìn thấy được chỉ sau khi gió sao được mô tả trước đây quét sạch bụi và khí xung quanh. Điều này có thể xảy ra trong giai đoạn co rút nhanh đối với các sao khối lượng nhỏ, nhưng các sao khối lượng lớn vẫn còn bị bao phủ trong bụi cho tới khi chúng đi tới dãy sao chính (xem vạch đứt khúc trong sơ đồ ở trang sau).

Để giúp bạn theo dõi các giai đoạn khác nhau mà các sao trải qua trong cuộc đời của chúng, việc so sánh sự phát triển của một ngôi sao với sự phát triển của một con người có thể hữu ích. Các sao nguyên thủy có thể được so sánh với bào thai của con người, cho đến lúc đó không



Các đường tiến hoá đối với các sao nguyên thủy đang co lại: Các đường được vẽ trên sơ đồ H – R để mô tả các sao với các khối lượng khác nhau thay đổi ra sao trong những giai đoạn đầu tiên trong cuộc đời của chúng. Các con số cạnh mỗi điểm đen trên một đường là số năm gần đúng mà một sao phải trải qua để đạt tới giai đoạn ấy. Một sao có khối lượng càng lớn, thời gian cần có để đi qua mỗi giai đoạn càng ngắn. Các sao nằm trên vạch đứt khúc sẽ tiêu biểu vẫn bị bao quanh bởi vật liệu tụt vào và sẽ bị nó che khuất.

thể tự duy trì bản thân, nhưng thu hút các nguồn nguyên liệu từ môi trường khi chúng lớn lên. Giống như sự ra đời của một đứa bé là thời điểm nó được yêu cầu tạo ra năng lượng riêng cho nó (qua ăn uống và hít thở), các nhà thiên văn học nói rằng một ngôi sao được sinh ra khi có thể tự duy trì bản thân nó qua các phản ứng hạt nhân.

Khi nhiệt độ trung tâm trở nên đủ cao (khoảng 10 triệu K) để tổng hợp hạt hydro thành helium, chúng ta nói rằng ngôi sao đã *đạt tới chuỗi sao chính* (reached

the main-sequence) trên sơ đồ H – R. (Các nhà thiên văn học gọi một sao như thế là sao trong chuỗi sao chính ngay cả khi câu chuyện không liên quan gì tới sơ đồ H – R). Giờ đây nó là một sao chính thức, trong trạng thái cân bằng không ít thì nhiều, và tốc độ thay đổi của nó đột ngột chậm lại. Chỉ có sự thiếu hụt dần dần của hydro khi nó bị biến đổi thành helium trong phần nhân làm thay đổi từ từ các đặc tính của sao.

Khối lượng của sao xác định chính xác nơi nào nó rơi xuống trên chuỗi sao

chính. Như sơ đồ ở trang trước mô tả, các sao khổng lồ trên chuỗi sao chính có các nhiệt độ cao và độ trung cao. Các sao khối lượng nhỏ có các nhiệt độ thấp và độ trung thấp.

Các vật thể với khối lượng cực nhỏ đạt các nhiệt độ trung tâm đủ cao để kích thích các phản ứng hạt nhân. Đầu thấp hơn của chuỗi sao chính dừng lại khi các sao có một khối lượng chỉ vừa đủ lớn để duy trì các phản ứng hạt nhân với một mức độ thích hợp để ngừng sự co rút do lực hấp dẫn. Khối lượng tối hạn này được tính toán là khoảng $1/12$ khối lượng của Mặt Trời. Các vật thể dưới khối lượng tối hạn này được gọi là các sao lùn nâu hay các hành tinh. Một cách chính xác nơi mà vạch phân định sẽ được vẽ giữa các sao lùn nâu và các hành tinh vẫn còn là một đề tài tranh luận. Hơn nữa, hành tinh là để nói tới một vật thể được hình thành trong một đĩa bao quanh một sao nguyên thủy, trong khi sao lùn nâu, như một sao thực sự, hình thành tại trung tâm của cái đĩa của sao nguyên thủy.

Ở cực kia, đầu cao hơn của chuỗi sao chính chấm dứt tại vị trí nơi mà năng lượng do các sao khổng lồ mới hình thành phát xạ trở nên lớn đến nỗi nó làm ngưng lại sự tăng thêm vật chất bổ sung. Giới hạn cao hơn của khối lượng sao là giữa 100 và 200 khối lượng Mặt Trời.

✧ CÁC THANG THỜI GIAN TIẾN HÓA

Nói chung, sự tiến hoá trước khi tới chuỗi sao chính của một sao chậm lại khi nó di chuyển dọc theo đường tiến hoá của nó về phía chuỗi sao chính. Các con số ghi tại các điểm trên mỗi đường trong sơ đồ là các thời gian, bằng năm, cần có cho các sao phôi thai đạt tới các giai đoạn co lại này. Thời gian đối với toàn bộ quá trình

tiến hoá này, như sơ đồ mô tả, tùy thuộc vào khối lượng của sao. Các sao với khối lượng lớn hơn nhiều so với khối lượng Mặt Trời đi tới chuỗi sao chính từ vài ngàn tới 1 triệu năm. Mặt Trời cần vài triệu năm để được sinh ra. Hàng chục triệu năm là cần thiết để cho các sao với khối lượng nhỏ hơn tiến hoá tới chuỗi sao chính thấp hơn. (Thực vậy, các sao khổng lồ đi qua tất cả các giai đoạn tiến hoá nhanh hơn các sao có khối lượng nhỏ).

12.3 CHỨNG CỨ CHO THẤY CÁC HÀNH TINH HÌNH THÀNH QUANH CÁC SAO KHÁC

Trái Đất là một hành tinh, và nó vô cùng thiết yếu cho sự sinh tồn của chúng ta, nên chúng ta có một mối quan tâm đặc biệt về các hành tinh. Tuy nhiên, việc phát hiện các hành tinh bên ngoài hệ Mặt Trời là cực kỳ khó khăn. Chúng ta nhìn thấy các hành tinh chỉ trong hệ thống của chúng ta bởi chúng phản chiếu ánh sáng Mặt Trời và ở gần. Khi chú ý tới các sao khác, chúng ta nhận thấy rằng lượng ánh sáng một hành tinh phản chiếu là một phần ánh sáng nhỏ xíu mà ngôi sao của nó toả ra. Hơn nữa, từ xa, các hành tinh bị mất hút trong sự chói lòa của ngôi sao sáng hơn nhiều.

Bạn có thể so sánh một hành tinh quay quanh một vì sao với một con muỗi bay chung quanh một bóng đèn khổng lồ. Do ở gần, bạn có thể nhận ra con muỗi, đặc biệt nếu nó có một cái bụng phản chiếu ánh sáng. Nhưng bây giờ hãy hình dung việc quan sát khung cảnh từ một khoảng cách thật xa. Bạn có thể nhìn thấy bóng đèn rất rõ, nhưng cơ may của việc bắt được ánh sáng phản chiếu từ con muỗi thì như thế nào?

Sau khi thử nhiều phương pháp khác nhau, các nhà thiên văn học gần đây đã thành công trong việc tìm kiếm các hành tinh ở hệ thống khác một cách gián tiếp – bằng cách phát hiện ra một đĩa vật liệu từ đó các hành tinh có thể đang ngưng tụ, hay quan sát các tác động của một hành tinh đối với ngôi sao trung tâm.

✧ CÁC ĐĨA CHUNG QUANH SAO NGUYÊN THỦY: CÁC HỆ THỐNG HÀNH TINH ĐANG HÌNH THÀNH?

Việc phát hiện vật liệu nguyên sinh từ đó các hành tinh có thể được cấu thành dễ dàng hơn nhiều so với việc phát hiện các hành tinh sau khi chúng được hình thành xong. Lập luận đưa ra như sau: Từ sự nghiên cứu về hệ mặt trời, chúng ta đã hiểu rằng các hành tinh hình thành bằng sự tập hợp chất khí và bụi trong quỹ đạo quanh một sao mới được hình thành. Khi điều này đang diễn ra, mỗi hạt bụi được đốt nóng bởi sao nguyên thủy trẻ và bức xạ trong vùng hồng ngoại của quang phổ. Trước khi bất cứ hành

tinh nào hình thành, chúng ta có thể dò ra bức xạ như thế từ tất cả các hạt bụi riêng lẻ đã “được dự trữ” để trở thành bộ phận của các hành tinh.

Tuy nhiên, một khi các hạt bụi này tập hợp lại và hình thành một vài hành tinh (và có thể vài vệ tinh), đa số bị che giấu ở phần bên trong của các hành tinh nơi mà chúng ta không thể nhìn thấy chúng. Tất cả những gì chúng ta có thể dò được là bức xạ từ bề mặt bên ngoài của các hành tinh, bao phủ một diện tích nhỏ hơn đĩa bụi khổng lồ từ đó chúng đã hình thành. Cho nên, lượng bức xạ hồng ngoại lớn nhất trước khi các hạt bụi có thể kết hợp thành các hành tinh. Vì lý do này, cuộc tìm kiếm các hành tinh của chúng ta bắt đầu với cuộc tìm kiếm bức xạ từ vật liệu cần thiết để tạo ra chúng.

Sự có mặt của đĩa khí và bụi có vẻ như là một bộ phận chủ yếu của sự hình thành sao. Các quan sát chứng tỏ rằng ít nhất 50% của tất cả các sao nguyên thủy thực sự bị các chiếc đĩa bao quanh có kích thước từ 10 tới 1000 AU. (Để so sánh,



Các đĩa hành tinh nguyên thủy trong Orion: Hình ảnh gây ngạc nhiên này của kính Hubble về một vùng trong Tinh vân Orion mô tả năm ngôi sao trẻ, bốn trong số đó được bao quanh bởi những cái đĩa trong đó các hành tinh có thể đang được hình thành. Có một số sao sáng mới được hình thành ngay bên ngoài bức hình này, chúng khiến cho những đĩa ở gần chiếu sáng do ánh sáng bị phản chiếu. Đĩa xa nhất, đối với các ngôi sao sáng, hiện ra tối so với nền sáng của tinh vân. Vùng được mô tả chỉ rộng khoảng một phần bảy năm ánh sáng.

đường kính trung bình của quỹ đạo Diêm Vương Tinh – nghĩa là kích thước gần đúng của hệ hành tinh của chúng ta – là 80 AU). Khối lượng chứa trong những đĩa này, tiêu biểu là 1 tới 10 phần trăm khối lượng Mặt Trời, nhiều hơn khối lượng của tất cả các hành tinh trong hệ mặt trời hợp lại. Cho nên các cuộc quan sát chứng tỏ rằng phần lớn các sao bắt đầu sự sống của chúng với đầy đủ nguyên liệu ở nơi thích hợp để hình thành hệ hành tinh.

♦ SỰ TIẾN HOÁ CỦA CÁC ĐĨA HÀNH TINH NGUYÊN THỦY

Kết quả này thật là khích lệ, nhưng sự sinh tồn của những chiếc đĩa vật liệu tự xoay tròn vẫn chưa đủ. Phải chăng thực sự các hành tinh hình thành trong các đĩa này? Nói cho cùng, các đĩa này là những cấu trúc tạm thời và có thể tan biến trước khi các hành tinh có cơ hội tụ hợp lại. Chỉ có sự bốc hơi của các đĩa như thế qua tác động của các sao nóng và gần mới có thể được quan sát trên các hình ảnh của Hubble về Tinh vân Orion.

Tuy nhiên, có một chứng cứ gián tiếp rằng một số đĩa có thể cũng đang hình thành các hành tinh. Nếu đo nhiệt độ và độ trung của một sao nguyên thủy, chúng ta có thể đặt nó trong một sơ đồ H – R như sơ đồ được mô tả trong sơ đồ ở trang trước. Bằng cách so sánh ngôi sao thực với các mô hình về việc các sao nguyên thủy sẽ tiến hoá theo thời gian, chúng ta có thể ước lượng tuổi của nó. Những gì các nhà thiên văn học đã khám phá là các đặc tính của các đĩa thay đổi có hệ thống theo các thời kỳ của ngôi sao nguyên thủy.

Để hiểu những thay đổi đó có ý nghĩa gì, chúng ta cần nhớ hai điều. Thứ nhất,

khi nghiên cứu những đĩa với các máy dò hồng ngoại, những gì chúng ta thực sự có thể thấy là bức xạ nhiệt từ bụi. Bụi hấp thụ năng lượng được bức xạ từ các sao nguyên thủy ở trung tâm, và sau đó bụi tái phát xạ năng lượng ấy như bức xạ hồng ngoại. Bằng cách nhìn vào quang phổ của bức xạ, chúng ta có thể đo nhiệt độ của đĩa bụi gây ra điều đó.

Thứ hai, bởi các ngôi sao nguyên thủy là nguồn năng lượng đầu tiên, bụi gần ngôi sao nguyên thủy nhất sẽ nóng nhất. Những nhiệt độ trong đĩa tại 0,1 AU tính từ sao là khoảng 1000 K; tại 1 AU, nhiệt độ là vài trăm độ; và tại biên giới bên ngoài của chúng, các đĩa rất, rất lạnh – chỉ vài chục độ.

Vì thế, nếu quan sát một số bụi với các nhiệt độ 1000 K hay hơn nữa trong một đĩa nào đó, chúng ta biết rằng bụi trải rộng gần như mọi hướng tới bề mặt của ngôi sao. Nếu chẳng có vật chất nóng nào có thể được dò ra, các vùng gần với ngôi sao gần như chẳng hề có bụi.

Những gì các quan sát chứng tỏ là nếu một sao nguyên thủy ít hơn 3 triệu năm tuổi, thì đĩa của nó chứa bụi. Cái đĩa, bị mờ đục với ánh sáng thường, trải ra mọi hướng từ thật gần với bề mặt của sao ra xa tới hàng chục hay hàng trăm đơn vị thiên văn. Vào thời điểm các sao nguyên thủy đạt tới “tuổi” 30 triệu năm, các đĩa của chúng mỏng dần và trở thành trong suốt. Những gì xảy ra giữa 3 và 30 triệu năm?

Trong các sao như thế, chúng ta nhận thấy các đĩa với phần bên ngoài vẫn còn mờ đục nhưng với vật chất ít nóng đến nỗi chúng ta không thể dò ra được chút gì bên trong đĩa. Nghĩa là, các vùng bên trong gần với sao đã thực sự bị rút hết bụi. Trong những vật thể này, các đĩa

trông như một cái bánh cam vòng với sao nguyên thủy nằm giữa lỗ rỗng của nó.

✧ CHỨNG CỨ VỀ CÁC HÀNH TINH

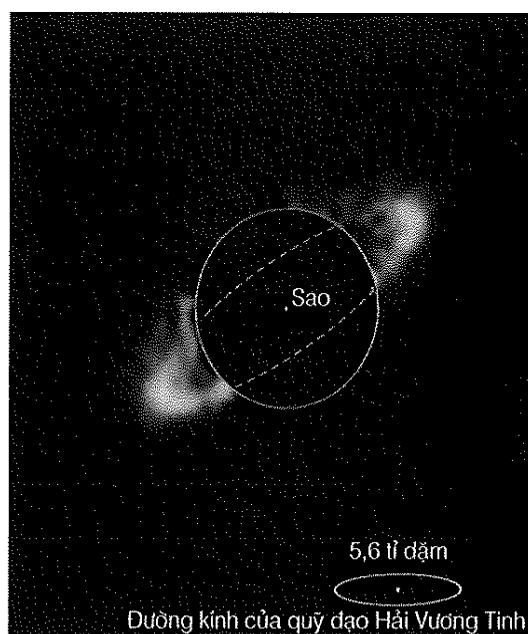
Làm sao có thể có hai vùng ngăn cách rất rõ ràng trong đĩa – một vùng với mật độ cao của vật liệu bụi và vùng kia hầu như không có gì? Sự cách biệt này đặc biệt làm rối trí bởi những tính toán chứng tỏ rằng vật chất từ vùng đậm đặc bên ngoài sẽ xoáy tròn nhanh theo chiều xoắn ốc vào bên trong (trong khoảng 50.000 năm) và lấp đầy lỗ bên trong. Khoảng thời gian này khá ngắn so với thời gian sao trải qua trong toàn bộ giai đoạn này. Sự kiện chúng ta thấy những lỗ như thế quanh phần lớn các sao nguyên thủy với độ tuổi giữa 3 và 30 triệu năm chứng tỏ rằng phải có một cơ chế nào đó để ngăn chặn vật chất không tuôn chảy vào bên trong.

Các tính toán chứng tỏ rằng sự hình thành của một hành tinh có kích cỡ Sao Mộc sẽ làm ngưng sự tuôn chảy vào bên trong. Giả sử một hành tinh như thế hình thành tại một khoảng cách vài đơn vị thiên văn từ sao nguyên thủy, có lẽ do sự kết tụ dần dần vật chất từ đĩa. Chính sự kết tụ này có thể góp phần tạo ra các vùng không có bụi. Các tính toán cũng chứng tỏ rằng bất cứ hạt bụi nhỏ và chất khí nào ban đầu được phân bố trong khu vực giữa sao nguyên thủy và hành tinh, và không bị quét sạch bởi hành tinh, sẽ rơi vào sao trong khoảng 50.000 năm.

Mặt khác, vật chất nằm bên ngoài quỹ đạo của hành tinh bị ngăn chặn không cho di chuyển vào lỗ bởi lực hấp dẫn do hành tinh tạo ra. (Chúng ta đã thấy điều tương tự trong các vành của Sao Thổ, nơi tác động của các vệ tinh đi theo

giữ vật liệu gần rìa của các vành không bị lan ra). Sự hình thành các hành tinh khổng lồ có thể, theo tính toán, tạo ra và duy trì những lỗ trong các đĩa chung quanh các sao rất trẻ.

Hiện tượng này có thể thực sự được thấy trong một số các sao trẻ, kể cả một sao gọi là HR4796A, được ước tính là khoảng 10 triệu năm tuổi. Vành bụi hẹp cách xa sao khoảng 70 AU, nhưng chỉ rộng khoảng 17 AU. Một điều tương tự có thể được thấy trong sao của chuỗi sao chính gọi là Epsilon Eridani, tại khoảng cách chỉ có 10 năm ánh sáng, là một trong các sao gần chúng ta nhất. Epsilon Eridani hơi lạnh hơn Mặt Trời (loại phổ của nó là K2 V), và nó chỉ già



Vành bụi chung quanh một sao trẻ: Ảnh hồng ngoại chụp gần từ kính không gian Hubble mô tả một vành bụi hẹp chung quanh sao rất trẻ HR 4796A, nằm cách xa khoảng 220 LY trong chòm sao Centaurus (Kim Ngưu). Vành này rất hẹp, trải ra một khoảng cách bằng với khoảng cách ngăn cách Sao Hỏa với Thiên Vương Tinh trong hệ mặt trời. (Tuy nhiên, vành này xa hơn nhiều so với sao của nó, nằm tại vị trí sẽ là gấp đôi khoảng cách của Diêm Vương Tinh tính từ Mặt Trời). Ảnh được chụp với kính quan sát nhật hoa (coronagraph), một thiết bị che khuất chính bản thân sao sáng và cho phép các cấu trúc mờ nhạt chung quanh nó được ghi nhận.

chừng một phần mười so với Mặt Trời. Các cuộc quan sát với các bước sóng milimét chứng tỏ rằng Epsilon Eridani bị bao bọc bởi một vành bụi có hình dạng chiếc bánh cam vòng. Đường kính của đĩa tương đương đường kính của vành đai Kuiper, là một cái đĩa dẹt của các sao chổi bên ngoài quỹ đạo của Hải Vương Tinh (Neptune) trong hệ Mặt Trời.

Nếu bức xạ chung quanh Epsilon Eridani thực sự được tạo ra bởi bụi từ một vành đai của các sao chổi, phải có nhiều sao chổi hơn 1000 lần quanh ngôi sao này so với trong vành đai Kuiper. (Các sao chổi như thế đúng là loại các cấu trúc từ đó các hành tinh kết hợp với nhau trong những ngày đầu của hệ mặt trời). Bên trong cái đĩa của Epsilon

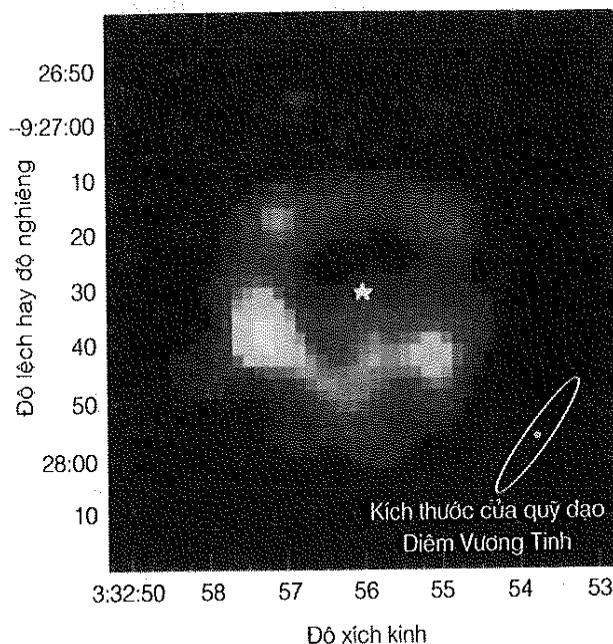
Eridani, có rất ít vật liệu, có lẽ do vùng này đã bị quét sạch bởi các hành tinh đã hình thành từ bụi. Vệt trắng trong vành có thể là bụi nóng hơn bị kẹt lại chung quanh một hành tinh đã hình thành bên trong chiếc bánh cam vòng. Nó có thể là sự tập trung của bụi được tụ hợp lại bởi ảnh hưởng hấp dẫn của một hành tinh quay quanh ngay bên trong vành.

12.4 CÁC HÀNH TINH BÊN NGOÀI HỆ MẶT TRỜI: TRUY TÌM VÀ KHÁM PHÁ

Sự hình thành của các hành tinh khổng lồ có thể giải thích các quan sát những vành bụi này không chứng minh được rằng các hành tinh như thế thực sự tồn tại. Các nhà thiên văn học đang sử dụng đủ loại kỹ thuật để tìm kiếm chứng cứ tốt hơn về các hành tinh, với một số kết quả gây ấn tượng. Bởi vì các hành tinh rất khó hình dung, những thí nghiệm khả thi với công nghệ hiện đại tìm kiếm hiệu ứng của các hành tinh với các sao của chúng. Đặc biệt, chúng ta đang đo đạc những thay đổi tinh tế trong sự chuyển động của sao qua không gian gây ra bởi sức hút của các hành tinh bao quanh.

✧ TRUY TÌM SỰ CHUYỂN ĐỘNG TRÊN QUỸ ĐẠO

Để hiểu rõ phương pháp này có tác dụng như thế nào, hãy xét một hành tinh đơn thuần như Sao Mộc trong quỹ đạo quanh một ngôi sao. Cả hành tinh và ngôi sao trong các hệ thống như thế quay chung quanh *trung tâm khối lượng chung* của chúng (commun center of mass). Thảo luận của chúng ta trong Chương 2 nói rằng lực hấp dẫn là sự hút lẫn nhau.



Cái đĩa chung quanh Epsilon Eridani: Ảnh được chụp với các bước sóng milimét (sử dụng kính viễn vọng Maxwell 15 m tại Đài thiên văn Mauna Kea ở Hawaii), và mô tả một đĩa bụi bao quanh sao lân cận Epsilon Eridani. Đốm sáng ở vị trí 8 giờ trong đĩa có thể biểu hiện sự có mặt của một hành tinh. Sao màu trắng biểu thị nơi ngôi sao được phân bố; một ngôi sao như thế không quá sáng với những bước sóng này. Cái vành nằm cách ngôi sao khoảng 60 AU; được ước tính là khoảng nửa tỉ tới một tỉ năm tuổi.

Ngôi sao và hành tinh đều tạo ra một lực của cái này đối với cái kia, và chúng ta có thể tìm thấy một điểm ổn định giữa chúng, qua đó cả hai vật thể đều quay chung quanh. Kích thước của những quỹ đạo quanh trung tâm khối lượng này tỉ lệ nghịch với khối lượng của chúng.

Giả sử hành tinh có khối lượng khoảng một phần ngàn khối lượng của ngôi sao; vậy thì kích thước của quỹ đạo ngôi sao bằng một phần ngàn kích thước của quỹ đạo hành tinh. Nói cách khác, trong khi ngôi sao sẽ dễ dàng được nhìn thấy hơn nhiều so với hành tinh, sự chuyển động trên quỹ đạo của nó sẽ rất nhỏ. Để có một nhận thức về việc quan sát chuyển động như thế khó khăn như thế nào, trước hết chúng ta hãy xem Sao Mộc (hành tinh lớn nhất trong hệ mặt trời) được phát hiện ra sao từ khoảng cách của một sao lân cận. Hãy giả sử một nhà thiên văn học đang cố gắng quan sát hệ Mặt Trời của chúng ta từ Alpha Centauri, hệ sao gần nhất với hệ sao của chúng ta (cách xa khoảng 4.3 năm ánh sáng).

Đường kính của quỹ đạo biểu kiến của Sao Mộc được quan sát từ khoảng cách này là cung 10 giây (10 arcsec), và đường kính của quỹ đạo Mặt Trời là 0,010 arcsec. (Cung một giây bằng 1/3600 độ). Dẫu cho họ có các kính viễn vọng tốt nhất mà chúng ta sử dụng hiện nay, các nhà thiên văn học này không thể trực tiếp dò ra Sao Mộc mờ nhạt. Nhưng nếu họ có thể đo đạc vị trí biểu kiến của Mặt Trời (sáng và dễ phát hiện) tới độ chính xác đầy đủ, họ sẽ thấy rằng nó vạch nên quỹ đạo có đường kính là 0,010 arcsec với một chu kỳ bằng với chu kỳ của Sao Mộc, là 12 năm.

Nói khác đi, nếu họ chăm chú theo dõi Mặt Trời trong 12 năm, họ sẽ thấy nó

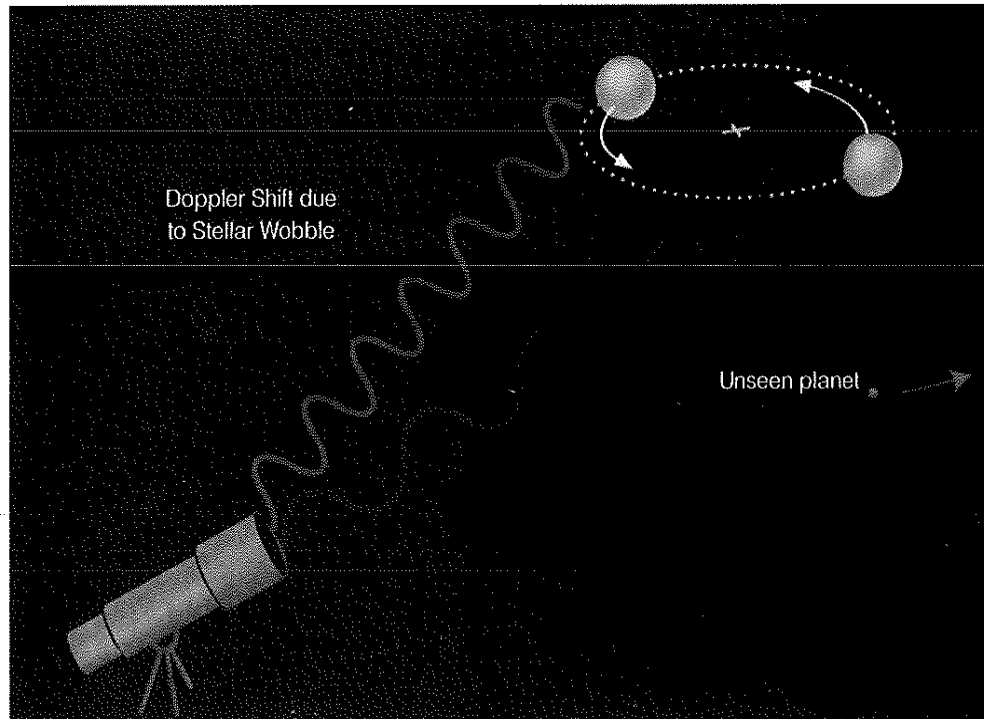
lắc lư tới lui trong bầu trời qua phần nhỏ xiu này. Từ sự chuyển động được quan sát và chu kỳ “lắc lư”, họ có thể suy ra khối lượng của Sao Mộc và khoảng cách của nó bằng các định luật Kepler.

Việc đo đạc các vị trí trong bầu trời chính xác như thế là cực kỳ khó khăn, và chỉ mới bắt đầu trong phạm vi các khả năng kỹ thuật của chúng ta. Cho đến giờ, không có phát hiện hành tinh nào được xác nhận đã sử dụng kỹ thuật này. Tuy nhiên, một ngày nào đó chúng sẽ thực hiện các phép đo như thế từ không gian.

✧ TRUY TÌM SỰ DỊCH CHUYỂN DOPPLER

Kỹ thuật đã trình bày dựa vào việc đo lường các thay đổi về vị trí của một ngôi sao khi quỹ đạo của nó làm cho nó di chuyển tới lui trong bầu trời (ngang qua đường ngắm của chúng ta). Nhưng khi sao và hành tinh quay quanh nhau, một phần của sự chuyển động của chúng sẽ nằm trong đường ngắm của chúng ta (tức là về phía chúng ta hay ra xa chúng ta). Chuyển động như thế (như đã nói ở Chương 4) có thể được đo đạc bằng cách sử dụng *hiệu ứng Doppler* và quang phổ của sao. Khi ngôi sao di chuyển tới lui trên quỹ đạo chung quanh trung tâm khối lượng của hệ thống tương ứng với lực hấp dẫn của một hành tinh trên quỹ đạo, các vạch trong quang phổ của nó sẽ dịch chuyển tới lui.

Chúng ta hãy xem xét một lần nữa thí dụ về Mặt Trời. Vận tốc xuyên tâm (sự chuyển động về phía chúng ta hay ra xa chúng ta) thay đổi vào khoảng 13 m/s với chu kỳ 12 năm bởi lực hấp dẫn của Sao Mộc. (Sự thay đổi trở thành nhiều hơn một chút [15 m/s] nếu những ảnh hưởng của Sao Thổ cũng được tính đến).



Phương pháp Doppler dò tìm các hành tinh: Sự chuyển động của một sao và một hành tinh đồng hành chung quanh một trung tâm khối lượng chung có thể được theo dõi như một sự biến đổi tuần hoàn về sự dịch chuyển của ngôi sao. Khi ngôi sao đang di chuyển ra xa chúng ta, các vạch trong quang phổ của nó thể hiện sự dịch chuyển một chút về phía đỏ; khi nó đang di chuyển về phía chúng ta chúng thể hiện sự dịch chuyển một chút về phía xanh. Sự thay đổi về màu sắc (bước sóng) đã được cường điệu hoá ở đây. Thực tế, các sự dịch chuyển Doppler mà chúng ta đo đạc là cực nhỏ và đòi hỏi các thiết bị tinh vi để dò tìm.

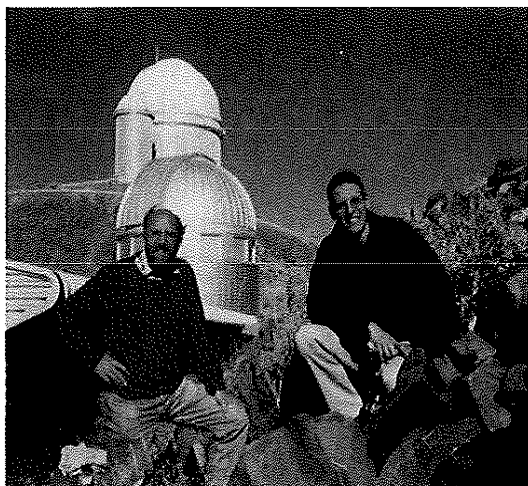
Điều này tương ứng với khoảng 30 mi/h (dặm/giờ), xấp xỉ tốc độ mà đa số chúng ta lái xe quanh thành phố. Việc dò ra sự chuyển động với mức độ này trong quang phổ của sao thể hiện một thách thức kỹ thuật lớn lao, nhưng không phải là không thể vượt qua được.

Nhiều nhóm nhà thiên văn học khắp thế giới đã tham gia truy tìm các hành tinh bằng cách sử dụng các máy ghi phổ đặc biệt được thiết kế cho mục đích này.

✧ KHÁM PHÁ RA CÁC HÀNH TINH

Hành tinh đầu tiên⁽¹⁾ được khám phá khi sử dụng kỹ thuật này được Michel Mayor và Didier Queloz của Đài thiên văn Geneva phát hiện vào năm 1995, bằng cách dùng một máy ghi phổ, với kính viễn vọng 1,9 mét của Đài quan sát Haute-Provence ở Pháp. Hành tinh quay quanh một ngôi sao giống như Mặt Trời gọi là 51 Pegasi, cách xa khoảng 40 LY. (Ngôi sao có thể tìm thấy trong bầu trời gần hình vuông lớn của Pegasus, con

⁽¹⁾ Chúng ta sẽ thừa nhận rằng các vật thể có khối lượng cỡ hành tinh đầu tiên được khám phá (năm 1992) không được phát hiện quanh các sao đang sống như các sao được nói đến ở đây, mà là chung quanh một "xác" sao gọi là sao neutron (được trình bày trong Chương 14). Sao neutron đặc biệt này (trong mục lục là PSR 1257 + 12) có ba và có thể bốn hành tinh chung quanh. Nhưng chắc chắn đây không phải là những hành tinh nguyên thủy, mà là các cấu trúc đã hình thành sau cái chết của một ngôi sao.



Đội săn hành tinh châu Âu: Michel Mayor và Didier Queloz của Đài thiên văn Geneva là những người đầu tiên khám phá một hành tinh khổng lồ quanh một ngôi sao giống Mặt Trời. Họ đang tiếp tục công việc bằng cách sử dụng các kính viễn vọng ở châu Âu và Chile, và đã tìm ra một số hành tinh khác kể từ năm 1995.

ngựa có cánh của thần thoại Hy Lạp, một trong những mẫu sao nổi tiếng nhất).

Hành tinh chỉ mất đúng 4,2 ngày để quay quanh ngôi sao. Hãy nhớ rằng Sao Thủy (Mercury), hành tinh trong cùng của hệ mặt trời, mất 88 ngày để quay quanh Mặt Trời một lần.

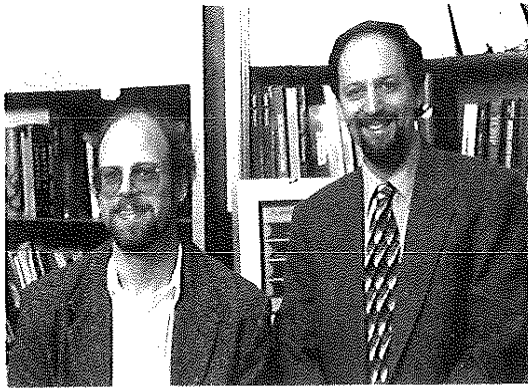
Điều này có nghĩa là hành tinh phải ở rất gần với sao 51 Pegasi, quay quanh nó với khoảng cách chừng 7 triệu km. Với khoảng cách ấy, năng lượng của sao sẽ đun nóng bề mặt hành tinh tới một nhiệt độ gần 1000°C. Từ sự chuyển động của nó, các nhà thiên văn học tính toán rằng nó có ít nhất là phân nửa khối lượng của Sao Mộc, khiến cho nó thành một hành tinh kiểu Sao Mộc và không phải là một hành tinh theo kiểu Trái Đất. Sự tồn tại của một hành tinh khổng lồ quá gần với ngôi sao của nó là một bất ngờ lớn.

Khi một “năm” chỉ kéo dài có bốn ngày Trái Đất, các tác động của hành tinh mới này trở thành rõ rệt trong quang phổ ngôi sao của nó. Trong vòng



Hành tinh khổng lồ gần với một sao giống như Mặt Trời: Bức tranh này mô tả, theo phép cận ảnh, những gì có thể trông giống như hành tinh khổng lồ được khám phá quay quanh sao 51 Pegasi. Như giải thích trong chương, hành tinh này là đầu tiên trong hơn một chục hành tinh cỡ Sao Mộc quanh các sao khác mà quỹ đạo của chúng nhỏ hơn quỹ đạo của Sao Thủy trong hệ Mặt Trời. Hành tinh quanh sao 51 Pegasi cách xa khoảng 7 triệu km đối với sao của nó, chỉ mất 4,2 ngày để đi hết quỹ đạo. Với khoảng cách đó, nhiệt độ bề mặt của hành tinh sẽ rất nóng (như nhà thiên văn học Geoff Marcy đã nói) “Một con gà quay có thể được nướng chín trong một phần triệu giây”. Bức tranh mô tả các tai lửa và các vết đen mặt trời trên sao 51 Pegasi, chứng cứ của một khí quyển hoạt động có thể vươn rộng ra một khoảng đáng kể tới hành tinh khổng lồ. Nó cũng mô tả hành tinh với những dải như Sao Mộc, tuy nhiên các phép đo chỉ có thể ước tính khối lượng của hành tinh, không phải mật độ của nó, và do vậy chúng ta không có được ý tưởng nào về loại vật liệu đã cấu tạo nên hành tinh.

một tuần lễ của lần khám phá đầu tiên, Geoffrey Marcy và Paul Butler của Đại học Quốc gia San Francisco xác nhận sự tồn tại của hành tinh khi sử dụng kính viễn vọng 3 mét tại Đài thiên văn Lick ở California. Hai nhà thiên văn đã quan



Đội săn hành tinh: Paul Butler và Geoff Marcy đều ở tại Đại học Quốc gia San Francisco khi họ xác định sự khám phá hành tinh quanh sao 51 Pegasi và tiếp tục khám phá hầu hết các hành tinh đã phát hiện quanh các sao khác.

sát quang phổ của khoảng 120 vì sao lân cận giống như Mặt Trời trong hơn tám năm với máy quang phổ có thể đo được những sự thay đổi của vận tốc xuyên tâm tới phạm vi 3m/s (mét/giây). Họ đã không tính đến sao 51 Pegasi trong chương trình nghiên cứu ban đầu bởi vì nó bị liệt kê nhầm lẫn trong mục lục sao vì không hoàn toàn giống Mặt Trời.

Kể từ lần khám phá đầu tiên, tốc độ của tiến trình đã trở nên dồn dập. Hiện nay chúng ta biết thêm về các hành tinh bên ngoài hệ Mặt Trời nhiều hơn so với các hành tinh trong phạm vi của hệ!

Khoảng 6% các sao giống như Mặt Trời được nghiên cứu cho đến nay có ít nhất một hành tinh khổng lồ quay quanh tương đối gần với chúng. Khối lượng tối thiểu của các hành tinh này được phân hạng từ khoảng 0,4 tới 11 lần khối lượng của Sao Mộc. (Các nhà thiên văn học chỉ biết *khối lượng tối thiểu* của các hành tinh, bởi vì để xác định khối lượng chính xác khi sử dụng sự dịch chuyển Doppler và các định luật Kepler, chúng ta cũng phải biết góc độ tại đó quỹ đạo của hành tinh hướng về tầm nhìn của chúng ta –

một điều mà chúng ta không có phương thức độc lập để am hiểu trong hầu hết các trường hợp. Tuy nhiên, nếu khối lượng tối thiểu lớn bằng các khối lượng được liệt kê trên bảng, chúng ta biết chắc chắn rằng đang xử lý thông tin về các hành tinh đồ sộ hơn một cách đáng kể so với Trái Đất).

Năm 1997, một hành tinh khổng lồ được tìm thấy trong quỹ đạo chung quanh Upsilon Andromedae, ngôi sao khoảng 3 tỉ năm tuổi và cách xa chúng ta khoảng 44 năm ánh sáng. Chu kỳ quay trên quỹ đạo của hành tinh là 4,6 ngày, và khối lượng của nó ít nhất là 70% khối lượng của Sao Mộc. Tuy nhiên, các sự biến thiên về vận tốc của sao không đi theo đường cong suôn sẻ được mong đợi nếu sự chuyển động của nó bị ảnh hưởng bởi một hành tinh đơn độc. Các quan sát bổ sung từ 1997 chứng tỏ rằng hệ mặt trời Upsilon Andromedae bao gồm ít nhất ba hành tinh. Hai hành tinh mới khám phá đều lớn hơn Sao Mộc, và quỹ đạo của hành tinh xa nhất hơi lớn hơn quỹ đạo của Sao Hỏa. Sự khám phá hệ thống hành tinh đầu tiên chung quanh một sao khác này gợi lên rằng sự hình thành các hành tinh là khá dễ dàng và Dải Ngân Hà có thể có rất nhiều hành tinh.

♦ GIẢI THÍCH CÁC HÀNH TINH TÌM THẤY

Tuy nhiên, quỹ đạo của các hành tinh mới được phát hiện chẳng hề là những gì được mong đợi. Mười ba trong 18 hành tinh khổng lồ trong bảng trang bên gần với ngôi sao trung tâm của chúng hơn so với Sao Thủy gần với Mặt Trời. Một số nhà thiên văn gọi các hành tinh này là “các Sao Mộc nóng”.

Theo lý thuyết về sự hình thành hành tinh, các hành tinh khổng lồ không thể

*Mười Tám Sao Với Các Hành Tinh Được Biết Vào Tháng 5/1999
(các hành tinh được mô tả theo thứ tự của chu kỳ quay trên quỹ đạo tăng dần)*

Tên sao ^(*)	Chu kỳ của quỹ đạo hành tinh (ngày)	Nửa trục chính (đơn vị thiên văn – AU)	Khối lượng tương đối của hành tinh (Sao Mộc)	Khoảng cách ước tính (năm ánh sáng – LY)
HD 187123	3,1	0,04	0,5	160
Tau Bootis	3,3	0,04	3,6	50
HD 75289	3,5	0,05	0,4	95
51 Pegasi	4,2	0,05	0,5	50
Upsilon Andromedae A	4,6	0,06	0,7	44
Upsilon Andromedae B	242	0,83	2,0	44
Upsilon Andromedae C	~1270	2,5	4	44
HD 217107	7,11	0,07	1,3	64
55 Cancri	14,7	0,12	0,8	45
Gliese 86 (HD 13445)	15,8	0,11	4,9	36
HD 195019	18,3	0,14	3,5	120
Rho Corona Borealis	39,6	0,23	1,1	55
HD 168443	58	0,28	5,0	124
Gliese 876	60,9	0,21	2,1	15
HD 114762	84	0,41	11,0	91
70 Virginis	117	0,47	6,8	60
HD 210277	437	1,15	1,4	70
16 Cygni B	803	1,7	1,7	70
47 Ursae Majoris	1093	2,1	2,4	45
14 Herculis (Gliese 614)	~1600	~2,5	3,3	55

(*) Bạn có thể thấy từ bảng này rằng các nhà thiên văn học không có một hệ thống nhất định để đặt tên cho sao. Một số sao sáng hơn được biểu thị bằng một con số hay chữ cái Hy Lạp cộng thêm tên của chòm sao trong đó chúng được tìm thấy, chẳng hạn như Tau Bootis hay 55 Cancri. Các sao khác được gọi một cách đơn giản bằng con số của chúng trong nhiều mục lục khác nhau của sao, chẳng hạn như Gliese 614 hay HD 75289.

hình thành gần một ngôi sao. Các nhà thiên văn học nghĩ rằng các giai đoạn trong sự hình thành một hành tinh khổng lồ là: Thứ nhất, các hạt rắn – băng và bụi – trong cái đĩa xung quanh một sao mới hình thành va chạm và gắn kết với nhau để hình thành các vật thể (các hành tinh nguyên thủy) (planetesi-mals) xếp hạng về kích thước từ các viên đá nhỏ cho tới các ngọn núi. Những hành

trinh nguyên thủy này sau đó kết tụ lại để hình thành phần nhân với kích thước vào khoảng Trái Đất. Các phần nhân bồi đắp dần quanh nó các chất khí từ cái đĩa bao quanh để tạo ra các hành tinh khổng lồ như Sao Mộc và Sao Thổ.

Nhiều hành tinh khổng lồ quanh các ngôi sao khác được tìm thấy trong các vùng nóng đến độ không thể có bất cứ hạt băng hay bụi nào để hình thành các

nhân hành tinh (chưa nói về nguồn cung cấp dồi dào các chất khí bay hơi). Vậy lý thuyết chỉ dựa trên các mẫu hành tinh chúng ta có cho tới gần đây, những hành tinh trong hệ Mặt Trời – phải chăng là sai lầm? Hay phải chăng các hành tinh khổng lồ trong các hệ sao khác hình thành ở ngoài xa và sau đó dịch chuyển gần hơn tới ngôi sao trung tâm? Các tính toán dường như ủng hộ khả năng thứ hai.

Hãy hình dung một hành tinh với khối lượng của Sao Mộc đang hình thành ở nơi “nó sẽ” (dựa trên các mô hình của chúng ta), tại một khoảng cách vài đơn vị thiên văn (AU) cách sao trung tâm, từ một cái đĩa khổng lồ của chất khí và bụi.

Giả sử rằng cái đĩa đậm đặc đến mức vẫn còn một chút vật liệu sót lại ngay sau khi hành tinh hình thành. Sau đó, trong khi tương tác với vật liệu trong cái đĩa bao quanh có thể khiến cho hành tinh mất một số năng lượng quay trên quỹ đạo của nó và xoay tròn chậm chậm theo hình xoắn ốc vào phía ngôi sao.

Phải có phương cách để hành tinh lang thang ngừng lại sự xoay tròn xoắn ốc trước khi nó rơi vào ngôi sao và biến mất. Một khả năng là nhiều Sao Mộc hình thành trong một cái đĩa như thế, hết cái này đến cái kia, chúng xoay tròn vào phía ngôi sao, và những hành tinh duy nhất sống sót là những hành tinh hình thành ngay khi vật liệu của đĩa sau cùng đã bị sử dụng hết. Bởi vì thời gian sống (tuổi thọ) của đĩa là vài triệu năm, và một hành tinh sẽ xoay tròn vào phía ngôi sao trong vài trăm ngàn năm, vì thế vài thế hệ hành tinh biến mất một cách đơn giản là điều có thể xảy ra.

Sự khám phá ra hệ thống hành tinh chung quanh Upsilon Andromedae thể

hiện thêm các thách thức đối với lý thuyết. Trong khi nhận thấy vũ trụ có thể dễ dàng tạo ra các hành tinh, các lý thuyết gia gặp khó khăn trong việc giải thích bằng cách nào thật nhiều sao khổng lồ bằng chất khí có thể hình thành và tồn tại qua quá trình dịch chuyển vào bên trong.

Các nhà thiên văn học nhận thấy rằng quang phổ của các sao mà chúng quan sát được các hành tinh đã được phát hiện, thường thể hiện sự tập trung các nguyên tố nặng cao hơn Mặt Trời (cho dù các sao hầu như giống Mặt Trời ở nhiều phương diện khác). Có thể các nguyên tố nặng đó là kết quả của sự kiện các ngôi sao đã “ăn thịt” một số đáng kể các hành tinh của chúng trong những thời kỳ ban đầu?

Chúng ta cần tìm hiểu một vấn đề khác nữa trước khi rời khỏi các “Sao Mộc nóng”. Kỹ thuật dịch chuyển Doppler rất thích hợp để phát hiện những hành tinh nào *khổng lồ và gần với ngôi sao của chúng*. Nói cho cùng, chính những hành tinh này có thể hút các sao trung tâm một cách đáng kể. Và chính những hành tinh này tạo ra “chu kỳ lắc lư” ngắn nhất trong sự chuyển động của các sao. (Như chúng ta đã thấy, nếu một hành tinh chỉ mất 5 ngày để đi vòng quanh ngôi sao của nó, sự lắc lư của ngôi sao hoàn toàn có thể được phân tích nếu chúng ta quan sát nó chỉ trong 5 ngày. Mặt khác, một hành tinh mất 30 năm để đi chung quanh ngôi sao – như Sao Thổ đi vòng quanh Mặt Trời – sẽ mất 30 năm để làm cho ngôi sao lắc lư qua một chu kỳ).

Do đó, một khi chúng ta đã vượt qua vấn đề rằng các Sao Mộc nóng có thể tồn tại, sẽ không ngạc nhiên rằng các hành tinh đầu tiên được tìm thấy bằng cách

sử dụng kỹ thuật này là các hành tinh khổng lồ nằm gần ngôi sao của chúng. Năm tháng trôi qua, các nhóm sử dụng kỹ thuật Doppler sẽ truy tìm các hành tinh Sao Mộc xa hơn nữa, đi vòng quanh trên quỹ đạo lâu hơn và tạo ra những sự lắc lư nhỏ hơn trong chuyển động của ngôi sao.

♦ NHỮNG HÀNH TINH CÓ THỂ Ở ĐƯỢC QUAY QUANH CÁC SAO KHÁC

Nếu các hành tinh khổng lồ có thể xoay tròn theo hình tròn ốc ở cách xa vài đơn vị thiên văn và bị nuốt chửng bởi các ngôi sao trung tâm trong thời kỳ đầu tiên của một hệ hành tinh, các hành tinh kiểu Trái Đất được hình thành thậm chí gần hơn với sao trung tâm chắc chắn có khả năng bị tiêu diệt nhiều hơn. Điều này làm cho các nhà thiên văn học thắc mắc liệu các hệ thống giống như hệ thống của chúng ta, đặc biệt, các hành tinh giống như Trái Đất phải chăng rất hiếm hoi? Có phải Sao Mộc và Sao Thổ đã được hình thành ngay khi vật liệu trong đĩa bao quanh Mặt Trời nguyên thủy đã bị quét sạch, để cho chúng có thể còn nguyên vẹn trên các quỹ đạo ban đầu của chúng và không dịch chuyển vào bên trong? Có thể các hành tinh kiểu Trái Đất chỉ tồn tại trong các hệ thống mà ở đó sự tính toán thời gian các diễn biến sơ khai là hoàn toàn chính xác? Chúng ta không thể trả lời các câu hỏi như thế cho tới khi có thể phát hiện được các hành tinh chung quanh các sao khác với khối lượng tương đương với khối lượng của Trái Đất.

Các kỹ thuật mà chúng ta sẵn có không cho phép thực hiện các phép đo chính xác đủ để dò ra các tác động của một hành tinh có khối lượng thấp như

Trái Đất. (Sự dịch chuyển Doppler mà Trái Đất sẽ tạo ra trong quang phổ của ngôi sao, thí dụ, là quá nhỏ đến mức chúng ta không thể phát hiện ra được). Tuy nhiên, các nhà thiên văn học đã hoạch định các thiết bị và kỹ thuật mới để thực hiện những phép đo sẽ cho phép chúng ta thấy các hành tinh kiểu Trái Đất chung quanh các ngôi sao khác.

Một phương pháp là sử dụng một kỹ thuật gián tiếp gọi là *phép trắc quang sự đi qua (hay sự di chuyển ngang qua)* (transit photometry). Trong bất kỳ mẫu sao lớn nào với các hành tinh quay quanh chúng, một vài hệ thống sẽ được sắp thẳng hàng để các hành tinh đi qua phía trước ngôi sao trung tâm trên mỗi quỹ đạo, như được nhìn thấy từ Trái Đất. Nếu đo được độ sáng của ngôi sao với độ chính xác cao, chúng ta có thể phát hiện được một vết nhỏ xíu trong ánh sáng khi các hành tinh đi qua (di chuyển ngang qua đĩa sao) và ngăn một phần bức xạ. Quan sát từ không gian (nơi độ chính xác rất cao có thể đạt được), chúng ta có thể sử dụng phương pháp này để phát hiện ra các hành tinh nhỏ như Trái Đất, và do đó xác định sự phân bố về kích thước và quỹ đạo của các hành tinh.

Chứng cứ tốt nhất đối với một hành tinh giống như Trái Đất ở nơi khác sẽ là một hình ảnh. Rốt cuộc, "thấy mới tin" quả là thói quen của con người. Nhưng việc hình dung ra một hành tinh xa xôi thực sự là một thách thức ghê gớm. Thí dụ, giả sử bạn ở một khoảng cách rất xa trong vũ trụ và mong muốn phát hiện được ánh sáng phản chiếu từ Trái Đất. Trái Đất tiếp nhận và phản xạ ít hơn một phần tỉ bức xạ của Mặt Trời, vì thế độ sáng biểu kiến của nó trong ánh sáng

thường ít hơn một phần tỉ độ sáng biểu kiến của Mặt Trời! Nhưng sự mờ nhạt của hành tinh tiềm ẩn không phải là vấn đề quan trọng nhất.

Trở ngại thực sự là ánh sáng mờ nhạt từ hành tinh bị che khuất bởi sự chói lòa của bức xạ từ ngôi sao trung tâm. Nếu bạn bị cận thị, hãy thử nhìn vào những bóng đèn đường vào ban đêm mà không có mắt kính. (Nếu mắt bạn tốt, bạn có thể đạt được cùng một hiệu quả bằng cách nheo mắt lại). Bạn sẽ thấy một quầng sáng bao quanh mỗi bóng đèn. Trong trường hợp này, vấn đề không phải là kính viễn vọng bị cận thị, đúng hơn là sự không hoàn hảo trong các dụng cụ quang học và sự lu mờ của khí quyển ngăn chặn ánh sáng sao không cho đi đến để hội tụ ở một điểm rõ nét. Các hành tinh, nếu có, sẽ nằm trong quầng sáng này, và ánh sáng mờ nhạt của chúng có thể không được nhìn thấy trong sự chói lòa của ngôi sao trung tâm.

Vượt qua được vấn đề này là một trong những mục tiêu quan trọng của thiên văn học. Một kỹ thuật là xây dựng các giao thoa kế hồng ngoại (infrared interferometer) trong không gian. Một lần nữa, chúng ta cần đi vào không gian để tránh các ảnh hưởng của khí quyển Trái Đất. Tia hồng ngoại là dãy bước sóng thuận lợi nhất để quan sát bởi vì các hành tinh trở nên sáng hơn trong tia hồng ngoại trong khi các sao trở nên mờ hơn, do đó có thể phát hiện dễ dàng hơn một hành tinh so với sự rực rỡ của ngôi sao. Phép đo giao thoa là một phương pháp hiệu quả để đạt được độ phân giải cao (high resolution) – đó là những gì chúng ta cần để quan sát ngôi sao và hành tinh lân cận như hai

vật thể riêng biệt. Các kỹ thuật đặc biệt có thể được sử dụng để ngăn chặn một cách nhân tạo ánh sáng từ sao trung tâm và để nhìn thấy dễ dàng hơn các hành tinh.

Cho dù đi vào không gian, liệu chúng ta có thể đạt được các hình ảnh như thế từ vùng lân cận Trái Đất hay không? Chúng ta vẫn nằm sâu trong *đám mây hoàng đạo* (zodiacal cloud) của Mặt Trời – một lớp bụi mỏng còn sót lại từ sự hình thành hệ Mặt Trời. Đám mây này có khuynh hướng tán xạ và lan truyền ánh sáng sao, làm cho khó chụp được những hình ảnh thật sắc nét. Thực hiện các cuộc quan sát xa khỏi Mặt Trời – thí dụ ra tới quỹ đạo của Sao Mộc – để giảm thiểu tối đa sự tán xạ ánh sáng có thể là điều cần thiết.

Một khi các nhà thiên văn học thực sự hình dung ra một hành tinh giống như Trái Đất, bước tiếp theo sẽ là đo đạc quang phổ và xác định thành phần khí quyển của nó. Thậm chí quang phổ có thể thể hiện sự sống có mặt hay không. Trong khí quyển của chúng ta, oxy được tạo ra bởi sự quang hợp và khí mêtan được tạo ra sự phân hủy của chất hữu cơ. Nếu sự sống vắng mặt, các chất này sẽ không có mặt trong khí quyển của chúng ta. Vì vậy, khám phá ra mêtan và oxy trong khí quyển của một hành tinh giống như Trái Đất sẽ là chứng cứ mạnh mẽ rằng sự sống, như chúng ta biết, có mặt. (Đĩ nhiên, có thể có những dạng sự sống mà chúng ta chưa thể tưởng tượng ra, chúng sẽ tạo ra những chất khác, do đó sự vắng mặt của oxy và mêtan có thể không có nghĩa rằng sự sống không có mặt).

Thật thú vị khi nghĩ rằng các nhà thiên văn bắt đầu khai triển những kế

hoạch thực tiễn có thể tìm thấy sự sống ở các thế giới xa xôi. Chúng ta đã biết rằng các hành tinh khổng lồ quanh các ngôi sao khác là phổ biến. Thế kỷ tới sẽ đem đến câu trả lời cho vấn đề liệu các hành tinh con người có thể ở được có phổ biến hay không, và thậm chí đối với câu hỏi liệu có các hành tinh khác có sự sống hay không. Sự khám phá ra các hành tinh bên ngoài hệ mặt trời làm gia tăng tinh thần lạc quan mới mẻ vào công cuộc tìm kiếm sự sống trong vũ trụ.

TÓM LƯỢC

12.1 Hầu hết các sao hình thành trong các đám mây phân tử khổng lồ (giant molecular clouds) có khối lượng gấp 10^6 lần khối lượng của Mặt Trời, và các đường kính tiêu biểu từ 50 tới 200 LY (năm ánh sáng). Đám mây phân tử được nghiên cứu kỹ nhất là Orion, nơi đó sự hình thành sao bắt đầu cách đây khoảng 12 triệu năm và đang di chuyển qua đám mây. Các sao nóng được hình thành đang trải qua nhiều giai đoạn của quá trình hình thành sao đối với tầm nhìn của chúng ta về Orion. Sự hình thành của một sao bên trong đám mây phân tử bắt đầu với một nhân (hay lõi) vật liệu đậm đặc, bồi đắp dần vật chất quanh nó và sụp đổ do lực hấp dẫn. Sự tích tụ vật liệu dừng lại khi sao nguyên thủy (pro-tostar) phát triển một cơn gió sao (stellar wind) mạnh mẽ. Một đám mây xáo trộn sẽ hình thành một ngôi sao tự xoay tròn với một đĩa vật liệu nằm ở xích đạo. Luồng gió có khuynh hướng nhô lên về phía các cực của sao nguyên thủy, dẫn tới các chùm

tia vật liệu được quan sát. Các chùm tia này có thể va chạm với vật liệu chung quanh sao và tạo ra các vật thể Herbig-Haro.

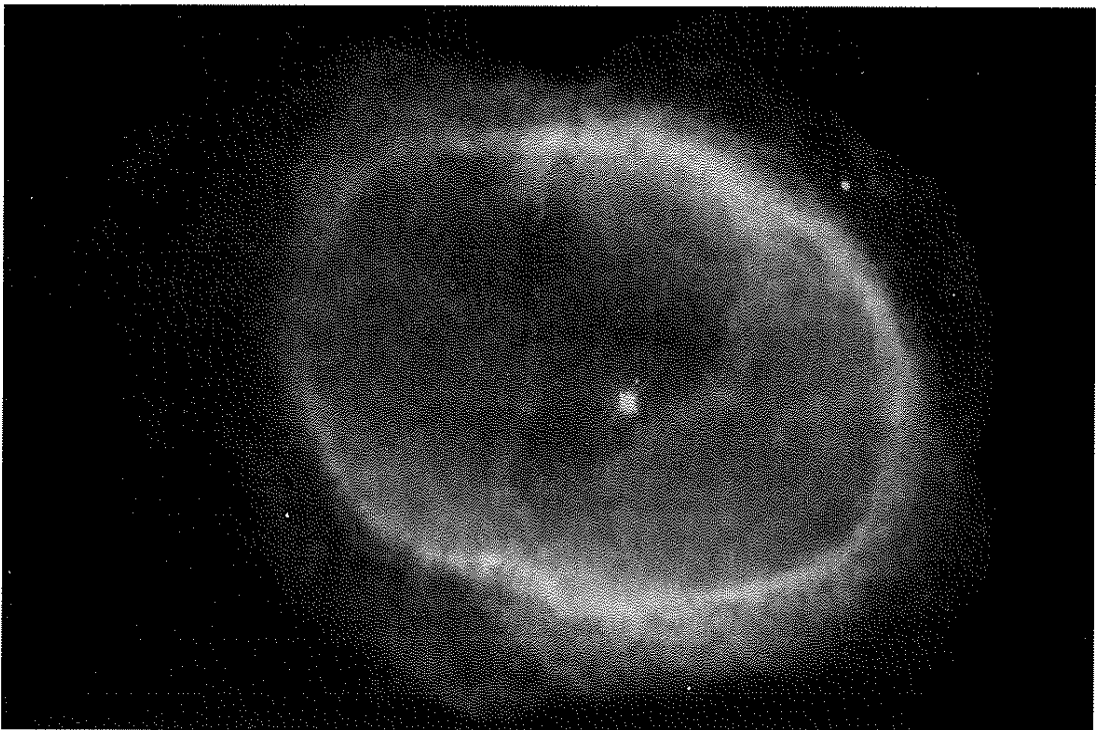
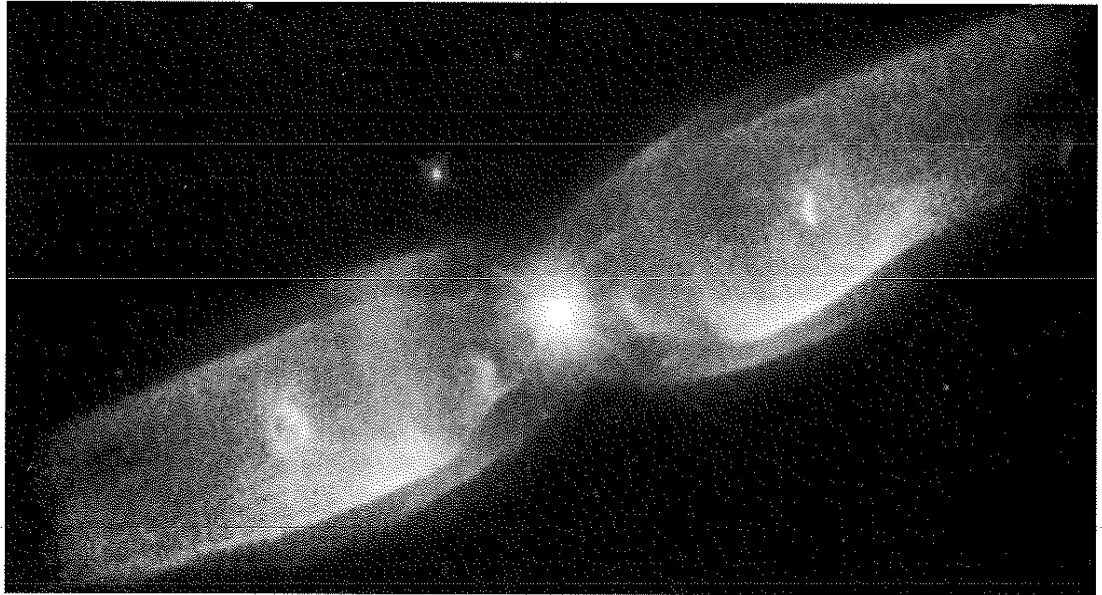
12.2 Sự tiến hoá của một ngôi sao có thể được mô tả trong những điều kiện sự thay đổi về nhiệt độ và độ trung, các thay đổi này có thể được theo dõi bằng cách đánh dấu chúng trên sơ đồ H – R. Các ngôi sao nguyên thủy sinh ra năng lượng qua sự co rút do lực hấp dẫn. Sự sụp đổ do lực hấp dẫn ban đầu mất vài ngàn năm sau đó một sự co rút chậm tiêu biểu tiếp theo trong hàng triệu năm, tới khi ngôi sao đi tới chuỗi sao chính (main sequence) và các phản ứng hạt nhân bắt đầu. Khối lượng của sao càng lớn, thời gian nó trải qua trong từng giai đoạn tiến hoá càng ngắn. Các ngôi sao được xếp hạng từ khoảng 1/12 tới 100 lần khối lượng của Mặt Trời.

12.3 Có chứng cứ rằng nhiều sao nguyên thủy được bao bọc bởi một cái đĩa với đường kính khá lớn và khối lượng (bằng 10 phần trăm khối lượng của Mặt Trời) đủ để hình thành một hệ thống hành tinh – mặc dù chúng ta không biết được bao nhiêu hệ thống thực sự hình thành. Một số đĩa được nhận thấy thay đổi theo thời gian. Đầu tiên, một đĩa mờ đục vươn rộng ra mọi hướng tới bề mặt của sao nguyên thủy. Sau vài triệu năm, phần bên trong của đĩa bị quét sạch bụi, và cái đĩa sẽ có hình dạng như một chiếc bánh cam vòng với ngôi sao nguyên thủy ở giữa lỗ trống. Sự phát triển của một lỗ như thế có thể được giải thích nếu một hành tinh lớn đã hình thành tại ranh giới bên ngoài của nó.

12.4 Hiện thời, chúng ta có thể tìm kiếm các hành tinh xung quanh các ngôi sao lân cận bằng cách quan sát chuyển động của ngôi sao quanh trung tâm khối lượng chung của hệ thống. Điều này có thể được thực hiện bằng cách theo dõi những thay đổi về vị trí của ngôi sao trên bầu trời qua thời gian hay vận tốc xuyên tâm của nó (như được nhìn thấy trong sự dịch chuyển Doppler của các vạch trong quang phổ của nó). Những cuộc tìm kiếm vận tốc xuyên tâm đã thành công rực rỡ. Ngày nay chúng ta biết thêm các hành tinh

bên ngoài hệ mặt trời nhiều hơn bên trong hệ và thêm nhiều hành tinh nữa đang được phát hiện, 13 trong số 20 hành tinh được tìm thấy là các hành tinh khổng lồ nằm gần các sao của chúng hơn so với khoảng cách Sao Thủy gần với Mặt Trời. Các cuộc thí nghiệm đầy tham vọng trong không gian đang được hoạch định có thể tạo thuận lợi để tìm kiếm các hành tinh giống như Trái Đất ngoài hệ mặt trời, thậm chí để có được quang phổ của chúng. Những cuộc thử nghiệm này có thể sẽ được khởi sự trong thế kỷ 21.





Trong các giai đoạn sau của sự tiến hoá của sao, các sao tống khứ khối lượng, khối lượng này quay trở lại môi trường giữa các sao để hình thành các sao mới. Đây là hai hình ảnh đẹp của các sao đang mất khối lượng được chụp bằng kính viễn vọng Hubble.

(a) Trong tinh vân bất thường này, chúng ta thấy rằng sao trung tâm (là bộ phận của một hệ sao đôi) đã tống khứ khối lượng ưu tiên về hai hướng đối nghịch. Trong các hình ảnh khác, một cái đĩa, thẳng góc với "những cái cánh" của chất khí rực sáng, có thể được nhìn thấy chung quanh hai sao ở chính giữa. Sự bùng nổ của sao dẫn đến sự trục xuất vật chất xảy ra cách đây khoảng 1200 năm. Oxy trung hoà được mô tả bằng màu đỏ, nitro bị ion hoá một lần màu lục, và oxy bị ion hoá hai lần màu lam. Tinh vân này nằm ở khoảng cách chừng 2100 LY trong chòm sao Ophiuchus.

(b) Bong bóng chất khí này, bị thổi bởi một sao đang chết, có đường kính gần nửa năm ánh sáng. Hai ngôi sao được nhìn thấy rõ ràng ở trung tâm; chính thành viên mờ yếu hơn của cặp sao đã lan truyền ra vật liệu mà chúng ta thấy, và bức xạ cực tím của nó làm cho nó rực sáng. Tinh vân hành tinh này (một thuật ngữ được giải thích trong chương) có tên gọi trong mục lục là NGC 3132 và cách xa khoảng 2000 LY (năm ánh sáng).

CHƯƠNG 13

CÁC NGÔI SAO: TỪ TRƯỞNG THÀNH TỚI TUỔI GIÀ

“Vũ trụ nói chung sẽ chịu thiệt hại một chút, trong vẻ rực rỡ và đa dạng của nó, nếu một ngày nào đó hành tinh chúng ta tiêu vong, giống như mức độ xanh tươi và tuyệt vời của một cánh rừng sẽ chịu tổn thất do sự rơi rụng của một chiếc lá đơn độc”.

Thomas Chalmers trong Các Bài Giảng về Khải Huyền Cơ Đốc Giáo
xét trong Mối Liên Hệ với Thiên Văn Học Hiện Đại (1817)

Chúng ta biết rằng Mặt Trời không thể kéo dài mãi mãi. Sớm hay muộn (muộn hơn nhiều, muộn hơn nữa, chúng ta hy vọng thế!) nó sẽ cạn kiệt nhiên liệu hạt nhân của nó và ngừng chiếu sáng. Nhưng nó sẽ thay đổi ra sao trong thời gian sống lâu dài của nó? Và những sự thay đổi này có ý nghĩa gì đối với tương lai của Trái Đất?

Bây giờ chúng ta trở lại từ sự ra đời của các sao và hành tinh cho tới phần còn lại của các giai đoạn đời sống của chúng. Đây không phải là một nhiệm vụ dễ dàng, bởi vì, như chúng ta thấy trong Chương 9, các sao sống lâu hơn các nhà thiên văn học rất nhiều. Do vậy, chúng ta không thể hy vọng nhìn thấy lịch sử sự sống của bất kỳ một sao đơn độc nào được bày ra trước mắt chúng ta hay các kính viễn vọng. Giống như phi hành đoàn vội vã của chiếc phi thuyền tưởng tượng

của chúng ta trong Chương 9 (với chỉ một ngày để nghiên cứu các sự sống của các cư dân Trái Đất), chúng ta phải khảo sát nhiều cư dân sao trong Dải Ngân Hà đến mức có thể. Nếu chúng ta may mắn (và cẩn thận), chúng ta có thể bắt gặp ít nhất một vài sao trong mỗi giai đoạn có thể có trong cuộc đời của chúng.

Các cuộc thăm dò trong vùng lân cận thiên hà của chúng ta và bên ngoài xa hơn nữa chứng tỏ rằng các sao có những đặc trưng khác nhau. Một số sự khác biệt xảy ra bởi vì các sao có khối lượng khác nhau và vì thế có nhiệt độ và độ trung khác nhau. Nhưng các sự khác biệt khác nữa là kết quả của các thay đổi xảy ra khi một ngôi sao già đi. Qua sự phối hợp của việc quan sát, lý thuyết, và công việc thăm dò thông minh, chúng ta có thể sử dụng các sự khác biệt này để lắp ghép lại câu chuyện đời sống của một ngôi sao.



Các sao trong chòm Nhân Mã: Bức ảnh này mô tả các cư dân màu vàng của các sao già hơn với một chùm nhỏ các sao trẻ hơn màu xanh (NGC 6520), cũng như một đám mây tối (Barnard 86) mà bên trong nó các sao nguyên thủy đang hình thành.

13.1 SỰ TIẾN HOÁ TỪ CHUỖI SAO CHÍNH TỚI CÁC SAO KHỔNG LỒ

Một trong những phương pháp tốt nhất để trình bày một “bức ảnh” của một nhóm sao là bằng cách đánh dấu những đặc trưng của nó trên một sơ đồ H – R. Chúng ta đã sử dụng sơ đồ H – R để theo dõi sự tiến hoá của các sao nguyên thủy cho tới thời điểm chúng đạt tới chuỗi sao chính. Giờ đây chúng ta hãy xem những gì sắp diễn ra.

Một khi mà ngôi sao đã đạt tới giai đoạn chuỗi sao chính trong cuộc đời của nó, nó thu lấy năng lượng hầu như hoàn toàn từ sự biến đổi hydro thành helium qua quá trình tổng hợp hạt nhân (xem

Chương 7). Bởi vì hydro là nguyên tố dồi dào nhất trong các sao, quá trình này có thể duy trì trạng thái cân bằng của sao trong một thời gian dài. Cho nên tất cả các sao giữ nguyên trên chuỗi sao chính trong hầu hết cuộc đời của chúng. Một số nhà thiên văn học gọi giai đoạn trong chuỗi sao chính là “tuổi thanh niên kéo dài” hay “tuổi trưởng thành” của sao (tiếp tục phép loại suy của chúng ta với các giai đoạn trong cuộc đời con người).

Bởi vì chỉ có 0,7% hydro được sử dụng trong các phản ứng tổng hợp được biến đổi thành năng lượng, ngôi sao không thay đổi khối lượng toàn phần của nó một cách đáng kể trong chu kỳ lâu dài này. Tuy nhiên, nó thay đổi thành phần hoá học trong các vùng trung tâm của nó, nơi đó các phản ứng hạt nhân xảy ra: hydro bị mất đi từ từ và helium tích tụ. Sự thay đổi thành phần này buộc ngôi sao biến đổi độ trung, kích thước và cấu trúc bên trong của nó.

Rìa (hay lề) bên trái của chuỗi sao chính trong sơ đồ H – R đôi khi được gọi là chuỗi sao chính zero tuổi (Zero-age main sequence). Chúng ta sử dụng thuật ngữ “zero tuổi” để biểu thị thời điểm khi mỗi sao đạt tới chuỗi sao chính và sự tổng hợp hạt nhân của nó bắt đầu. Chuỗi sao chính zero tuổi là một đường liên tục trong sơ đồ H – R mô tả nơi chốn các sao với khối lượng khác nhau nhưng thành phần hoá học tương tự bắt đầu tổng hợp hydro. Mặc dù, cuối cùng, vị trí đại diện cho bất kỳ sao nào trên sơ đồ H – R sẽ tiến triển cách xa ra chuỗi sao chính zero tuổi. Nghĩa là, độ trung và nhiệt độ bề mặt của mỗi sao (các đặc điểm được ghi nhận trên sơ đồ H – R) sẽ bắt đầu thay đổi. Chúng ta có thể, như chúng ta đã bàn luận trong các chương đầu, theo dõi

các thay đổi này bằng cách sử dụng các mô hình toán học của sao và các máy điện toán tốc độ cao.

Khi helium tích tụ ở trung tâm của sao, các tính toán chứng tỏ rằng nhiệt độ và mật độ ở vùng bên trong tăng trưởng chậm. Khi nhiệt độ gia tăng, mỗi proton cần có thêm năng lượng chuyển động trung bình; điều này có nghĩa là nó sẽ có thêm nhiều khả năng để tương tác với các proton khác, và hậu quả là mức độ tổng hợp cũng gia tăng. (Đối với chu kỳ proton-proton được trình bày ở Chương 7, mức độ tổng hợp tăng lên xấp xỉ như nhiệt độ tới lũy thừa bốn. Nếu nhiệt độ tăng gấp đôi, mức độ tổng hợp sẽ tăng theo một hệ số 2^4 , hay 16 lần).

Nếu mức độ tổng hợp tăng lên, tốc độ qua đó năng lượng đang được sản sinh cũng gia tăng, và độ trung của sao dần dần tăng lên. Tuy nhiên, trước tiên, các thay đổi này rất nhỏ, và các sao vẫn ở gần với chuỗi sao chính zero tuổi trong hầu hết thời gian sống của chúng.

✧ THỜI GIAN SỐNG TRÊN CHUỖI SAO CHÍNH

Bao nhiêu năm một ngôi sao vẫn còn ở trong giai đoạn chuỗi sao chính tùy thuộc vào khối lượng của nó. Bạn có thể nghĩ rằng một sao có khối lượng lớn hơn, có nhiều nhiên liệu hơn, sẽ kéo dài lâu hơn, nhưng điều đó không đơn giản như thế. Thời gian sống của sao trong giai đoạn tiến hoá riêng biệt tùy thuộc vào việc nó có bao nhiêu nhiên liệu hạt nhân và nó sử dụng hết nhiên liệu đó nhanh đến mức nào. Trong trường hợp của các sao, các sao có khối lượng lớn hơn sử dụng hết nhiên liệu của chúng nhanh hơn nhiều so với các sao có khối lượng thấp hơn.

Đây là lý do tại sao mức độ tổng hợp tùy thuộc mạnh mẽ vào nhiệt độ trong nhân của sao. Chúng ta đã thấy trước đây rằng các sao nóng có nhiều sự tổng hợp đang diễn tiến hơn so với các sao lạnh. Và điều gì quyết định các vùng trung tâm của sao trở nên nóng như thế nào? Chính khối lượng của sao – trọng lượng của các lớp nằm chồng lên trên – khiến cho ngôi sao trở thành bị nén và nóng như thế nào tại phần nhân của nó.

Sao với khối lượng càng lớn, thì, nhiệt độ trong vùng trung tâm càng cao hơn và sao chạy qua kho dự trữ hydro trong nhân của nó càng nhanh hơn. Mặc dù các sao khổng lồ có nhiều nhiên liệu hơn, chúng đốt cháy nó dữ dội đến nỗi thời gian sống của chúng ngắn hơn nhiều so với thời gian sống của các sao khối lượng nhỏ.

Thời gian sống trong chuỗi chính của các sao có khối lượng khác nhau được liệt kê trong bảng. Theo bảng này trình bày, các sao đồ sộ nhất chỉ trải qua vài triệu năm trên chuỗi sao chính. Một sao với 1 khối lượng mặt trời vẫn còn ở đó trong khoảng 10 tỉ năm, trong khi một sao với khoảng 0,4 khối lượng mặt trời có đời sống trên dãy sao chính khoảng 200 tỉ năm, một trị số lâu dài hơn tuổi hiện tại của vũ trụ (Tuy nhiên, mỗi sao trải qua hầu hết toàn bộ thời gian sống của nó trên chuỗi sao chính. Các sao trải qua trung bình 90% cuộc đời của nó bằng cách âm thầm lặng lẽ tổng hợp hydro thành helium).

Hãy lưu ý rằng các kết quả này không phải đơn thuần là lợi ích trừu tượng. Con người phát triển trên một hành tinh chung quanh một sao loại G mà thời gian sống ổn định của nó trên chuỗi sao chính lâu dài đến mức nó cung cấp cho sự

Thời gian sống của các sao trên chuỗi sao chính		
LOẠI PHỔ	KHỐI LƯỢNG (KHỐI LƯỢNG MẶT TRỜI = 1) /	THỜI GIAN SỐNG TRÊN CHUỖI SAO CHÍNH
O5	40	1 triệu năm
B0	16	10 triệu năm
A0	3,3	500 triệu năm
F0	1,7	2,7 tỉ năm
G0	1,1	9 tỉ năm
K0	0,8	14 tỉ năm
M0	0,4	200 tỉ năm

sống trên Trái Đất thật nhiều thời gian để tiến hóa. Nếu chúng ta định truy tìm sự sống thông minh giống như sự sống của chúng ta trên các hành tinh chung quanh các sao khác, thì việc tìm kiếm chung quanh các sao loại O và B sẽ là một sự phung phí thời gian. Những sao này duy trì trạng thái ổn định trong một thời gian ngắn đến độ sự phát triển của các sinh vật phức tạp là điều không thể xảy ra.

♦ TỪ SAO TRÊN CHUỖI CHÍNH TỚI SAO KHỔNG LỒ ĐỎ

Cuối cùng tất cả hydro trong nhân của sao, nơi nó đủ nóng cho các phản ứng hạt nhân, bị sử dụng hết. Giờ đây phần nhân chỉ chứa helium, “bị ô nhiễm” bởi bất cứ phần trăm nhỏ bé nào của các nguyên tố nặng hơn mà sao phải bắt đầu với chúng. Helium trong nhân có thể được coi như là “tro” được tích tụ từ sự “đốt cháy” hạt nhân của hydro trong giai đoạn trên chuỗi sao chính.

Năng lượng có thể không còn được sinh ra bởi sự tổng hợp hydro kể từ khi hydro hết sạch, và như chúng ta sẽ thấy, sự tổng hợp helium đòi hỏi nhiệt độ lớn

hơn rất nhiều. Bởi vì nhiệt độ trung tâm chưa đủ cao để tổng hợp helium, không có nguồn năng lượng hạt nhân nào để cung cấp nhiệt cho vùng trung tâm của sao. Lực hấp dẫn lại tiếp tục, và sau một thời kỳ ổn định dài lâu, phần nhân bắt đầu co rút. Một lần nữa năng lượng của sao được cung cấp từng phần bởi năng lượng hấp dẫn, theo cách được Kelvin và Helmholtz mô tả (xem Mục 7.1). Khi phần nhân của sao co lại, năng lượng của vật liệu rơi vào bên trong được biến đổi thành nhiệt.

Nhiệt được sinh ra theo cách này có một tác động lên hydro đã trải qua toàn bộ thời gian dài trên chuỗi sao chính ngay bên ngoài nhân. Như một người đóng thế chờ đợi trong cánh gà của một võ kịch thành công, vì một cơ hội để nổi tiếng và vinh quang, khí hydro này hầu như (nhưng không hoàn toàn) đủ nóng để trải qua sự tổng hợp và tham gia vào hoạt động chính để duy trì ngôi sao. Giờ đây, sức nóng bổ sung được tạo ra do phần nhân đang co rút khiến cho hydro “vượt qua giới hạn”, và một lớp vỏ các hạt nhân hydro ngay bên ngoài nhân trở nên đủ nóng để cho sự tổng hợp hydro bắt đầu.

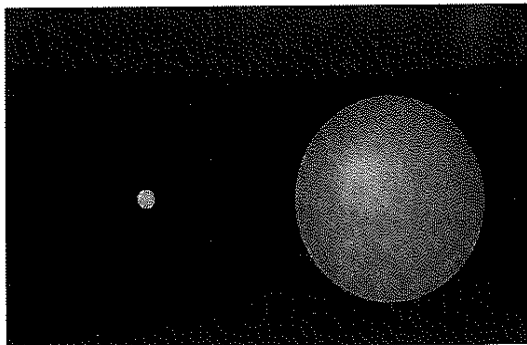
Năng lượng được tạo ra do sự tổng hợp giờ đây tuôn đổ ra từ lớp vỏ, lưu chuyển, cũng như sức nóng luôn lưu chuyển, tới những vùng lạnh hơn bên ngoài. Năng lượng bắt đầu đun nóng các lớp của sao xa hơn nữa, khiến cho chúng trương rộng ra một chút. Trong khi đó nhân helium tiếp tục co rút, tạo ra nhiều sức nóng hơn ngay chung quanh nó. Điều này dẫn đến thêm nhiều sự tổng hợp trong lớp vỏ của khí hydro “tươi mát” bên ngoài nhân. Sự tổng hợp phụ tạo ra thêm nhiều năng lượng, cũng lưu chuyển vào các lớp bên trên của sao.

Những thay đổi dẫn đến một sự điều chỉnh lại, cụ thể và nhanh chóng, toàn bộ cấu trúc của sao. Khi độ trung và nhiệt độ bề mặt thay đổi mạnh mẽ, sao rời khỏi chuỗi sao chính trên sơ đồ H – R, nói chung. Hầu hết các sao thực sự tạo ra nhiều năng lượng hơn khi tổng hợp hydro trong lớp vỏ bao quanh nhân so với khi sự tổng hợp hydro bị giới hạn trong phần trung tâm của sao; do vậy chúng gia tăng độ trung. Với tất cả năng lượng tuôn ra ngoài, các lớp bên

ngoài của sao bắt đầu trương nở và cuối cùng sao tăng trưởng tới các kích thước khổng lồ.

Sự trương nở của các lớp ngoài làm cho nhiệt độ tại bề mặt của sao tăng lên. Khi nó nguội đi, toàn bộ màu sắc của sao trở nên đỏ hơn (chúng ta đã thấy ở Chương 4 rằng màu đỏ tương ứng với nhiệt độ lạnh hơn). Vì vậy ngôi sao trở nên sáng hơn đồng thời lạnh hơn; trên sơ đồ H – R điều này có nghĩa là nó di chuyển lên phía trên và qua bên phải. Ngôi sao trở thành một trong những sao khổng lồ hay sao siêu khổng lồ đỏ, được đề cập trong Chương 9. Bạn có thể nói rằng những sao này có “những nhân cách phân lập” (plit personalities): Các phần nhân của chúng đang co lại trong khi các lớp bên ngoài đang trương ra. (Lưu ý rằng các sao khổng lồ sẽ không hoàn toàn trông thấy đỏ sậm về màu sắc; chúng chỉ trở nên đỏ hơn khi chúng lạnh hơn. Màu sắc toàn bộ của sao khổng lồ sẽ luôn luôn tùy thuộc vào nhiệt độ bề mặt của nó tại một thời điểm nhất định).

Vậy các sao khổng lồ và siêu khổng lồ đỏ này khác nhau như thế nào? Bảng dưới so sánh Mặt Trời với sao siêu khổng lồ đỏ Betelgeuse, được nhìn thấy bên trên dây đai của Orion như một sao đỏ



Các kích thước tương đối của sao: Sơ đồ được máy tính tạo ra này mô tả kích thước của Mặt Trời (màu vàng), so với kích thước của Delta Bootis, một sao khổng lồ (màu cam) và Xi Cygni, một sao siêu khổng lồ (màu đỏ). Các kích thước của các sao khác được đo đạc bằng cách sử dụng giao thoa kế Palomar Testbed, một thiết bị cho phép các nhà thiên văn học phân biệt được các chi tiết tinh tế hơn (độ phân giải cao hơn) bằng cách kết nối với nhau hai kính viễn vọng cách nhau 110 mét.

So sánh một sao siêu khổng lồ với mặt trời

ĐẶC TÍNH	MẶT TRỜI	BETELGEUSE
Khối lượng (2×10^{33} g)	1	16
Bán kính (km)	700.000	500.000.000
Nhiệt độ bề mặt (K)	5.800	3.600
Nhiệt độ trong nhân (K)	15.000.000	160.000.000
Độ trung (4×10^{26} W)	1	46.000
Mật độ trung bình (g/cm^3)	1.4	$1,3 \times 10^{-7}$
Tuổi (triệu năm)	4.500	10

sáng. So với Mặt Trời, sao siêu khổng lồ có bán kính lớn hơn nhiều, mật độ trung bình thấp hơn nhiều, bề mặt lạnh hơn, và nhân nóng hơn nhiều.

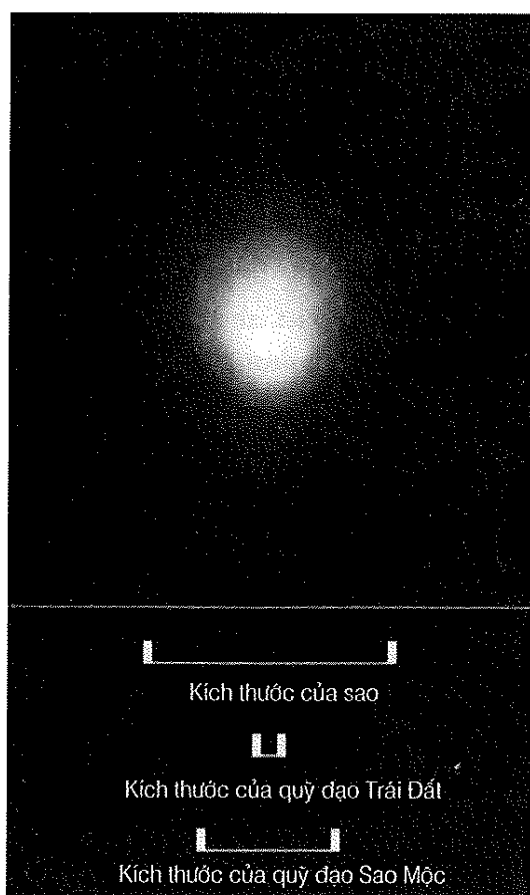
Tùy thuộc vào khối lượng của chúng, các sao khổng lồ và siêu khổng lồ này có thể trở nên lớn đến nỗi nếu chúng ta định thay thế Mặt Trời với một trong số chúng, ngoại tầng khí quyển của nó sẽ vươn ra tới quỹ đạo của Sao Hỏa hay thậm chí xa hơn nữa. Đây là giai đoạn kế tiếp trong cuộc đời của sao, khi nó di chuyển (để tiếp tục sự loại suy của chúng

ta với các cuộc đời của con người) từ giai đoạn thanh niên lâu dài của nó vào tuổi trung niên.

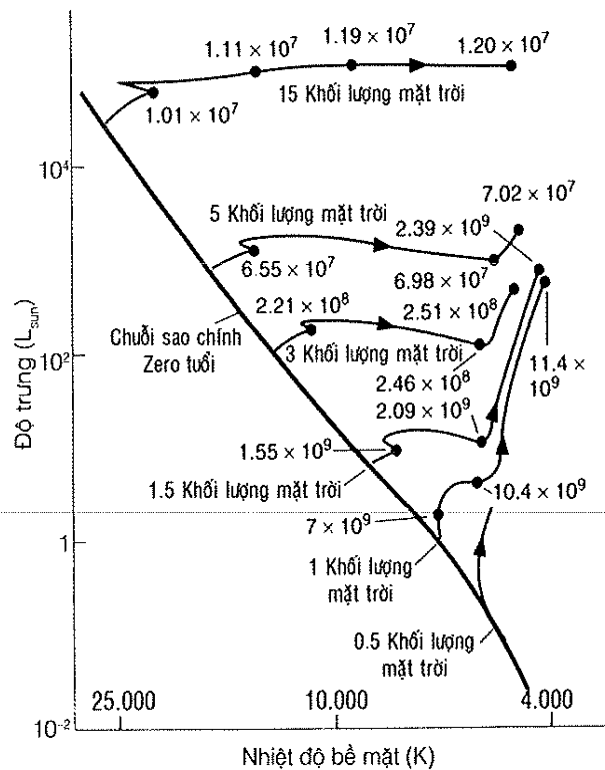
✧ CÁC MÔ HÌNH TIẾN HOÁ TỚI CÁC SAO KHỔNG LỒ ĐỎ

Như chúng ta đã nói đến, các nhà thiên văn học có thể xây dựng mô hình của sao bằng máy tính với các khối lượng và thành phần khác nhau để thấy các sao thay đổi như thế nào qua suốt cuộc đời của chúng. Hình trang sau, dựa trên các tính toán lý thuyết do nhà thiên văn học Icko Iben ở Viện Đại học Illinois, mô tả một sơ đồ H – R với một số đường tiến hoá từ chuỗi sao chính tới giai đoạn khổng lồ đỏ. Các đường được mô tả dành cho các sao với khối lượng khác nhau và với các thành phần hoá học tương tự như thành phần hoá học của Mặt Trời. Vạch đỏ là chuỗi sao chính ban đầu hay zero tuổi. Những con số dọc theo các đường trong Hình trang sau biểu thị thời gian, bằng năm, cần thiết cho các sao để tới các vị trí này trong sự tiến hoá của chúng sau khi rời khỏi chuỗi sao chính. Một lần nữa, bạn có thể thấy rằng một sao càng đồ sộ, nó đi qua mỗi giai đoạn trong cuộc đời của nó càng nhanh.

Lưu ý rằng các mô hình đồ sộ nhất trong sơ đồ này có khối lượng tương tự với khối lượng của Betelgeuse, và do đó đường tiến hoá dành cho mô hình này mô tả gần đúng những gì là câu chuyện quá khứ của Betelgeuse. Đường dành cho sao có khối lượng (bằng khối lượng) Mặt Trời mô tả rằng Mặt Trời vẫn còn nằm trong giai đoạn chuỗi sao chính của sự tiến hóa, bởi vì nó chỉ già khoảng 4,5 tỉ năm. Sẽ còn hàng tỉ năm nữa trước khi Mặt Trời bắt đầu “leo” chậm hơn



Sao siêu khổng lồ Betelgeuse: Ngôi sao này được phân bố trong chòm sao Orion. Ở đây chúng ta nhìn thấy một hình ảnh được chụp trong ánh sáng cực tím bằng kính viễn vọng Hubble – hình ảnh trực tiếp đầu tiên từng được thực hiện đối với bề mặt của một sao khác. Như được mô tả bởi các thanh dưới đây, Betelgeuse có một bầu khí quyển vươn rộng đến nỗi, nếu nó nằm ngay trung tâm của hệ mặt trời, nó sẽ trải dài qua quỹ đạo của Sao Mộc.



Các đường tiến hoá dành cho các sao với khối lượng khác nhau:
 Các vạch đen đậm mô tả sự tiến hoá được dự đoán từ chuỗi sao chính qua giai đoạn sao khổng lồ đỏ trên sơ đồ H-R. Mỗi đường được đặt tên với khối lượng của sao đang được trình bày. Các con số mô tả bao nhiêu năm các sao trải qua để trở thành các sao khổng lồ đỏ sau khi rời khỏi chuỗi sao chính. Vạch màu đỏ là chuỗi sao chính zero tuổi (hay không tuổi).

lên chuỗi sao chính – sự trương nở của các lớp ngoài của nó sẽ khiến cho nó trở thành một sao khổng lồ đỏ.

13.2 CÁC QUẦN TINH

Sự mô tả trước đây về sự tiến hoá của sao dựa vào các tính toán. Không có ngôi sao nào hoàn tất thời gian sống trong chuỗi sao chính của nó hay sự tiến hoá của nó tới một sao khổng lồ đỏ nhanh chóng đủ cho chúng ta quan sát những thay đổi cấu trúc này khi chúng xảy ra. May thay, vũ trụ đã cung cấp cho chúng ta một phương cách để kiểm chứng các tính toán.

Thay vì quan sát sự tiến hoá của một sao đơn lẻ, chúng ta có thể nhìn vào một nhóm sao hay một chùm sao (quần tinh). Nếu một nhóm sao rất gần với nhau trong không gian, giữ chặt nhau bởi sự hấp dẫn, đó là điều hợp lý để cho

rằng các sao riêng lẻ trong nhóm đều đã hình thành gần như cùng một thời điểm, từ cùng một đám mây, và với cùng các thành phần. Cho nên, chúng ta hy vọng rằng các sao này sẽ chỉ khác biệt với nhau về khối lượng. Và khối lượng là điều quyết định chúng đi qua mỗi thời kỳ trong cuộc đời của chúng nhanh đến mức nào.

Bởi vì các sao với khối lượng càng cao thì tiến hoá càng nhanh, chúng ta sẽ tìm kiếm các quần tinh trong đó các sao đồ sộ đã hoàn tất giai đoạn tiến hoá trong chuỗi sao chính và trở thành các sao khổng lồ đỏ, trong khi các sao với khối lượng thấp hơn trong cùng một quần tinh vẫn còn nằm trên chuỗi sao chính, hay thậm chí đang trải qua sự co rút do lực hấp dẫn trước khi tới chuỗi sao chính. Theo cách này, chúng ta có thể nhìn thấy nhiều giai đoạn tiến hoá của sao trong số các thành viên của một quần tinh đơn lẻ.

Các đặc điểm của các quần tinh (hay chòm sao)

	<i>Các quần tinh cầu</i>	<i>Các quần tinh phân tán (hay mở)</i>	<i>Các kết tụ sao</i>
Số lượng trong Dải Ngân Hà	150	Hàng ngàn	Hàng ngàn
Sự phân bố trong Dải Ngân Hà	Quầng sáng và chỗ phình hạt nhân	Đĩa (và các nhánh xoắn ốc)	Các nhánh xoắn ốc
Đường kính (LY)	50 – 300	< 30	100 – 500
Khối lượng (Khối lượng mặt trời)	$10^4 - 10^6$	$10^2 - 10^3$	$10^2 - 10^3$
Số lượng sao	$10^4 - 10^6$	50 – 1.000	$10^2 - 10^4$
Màu sắc của các sao sáng nhất	Đỏ	Đỏ hay xanh	Xanh
Độ trung của các quần tinh (L_{Sun})	$10^4 - 10^6$	$10^2 - 10^6$	$10^4 - 10^7$

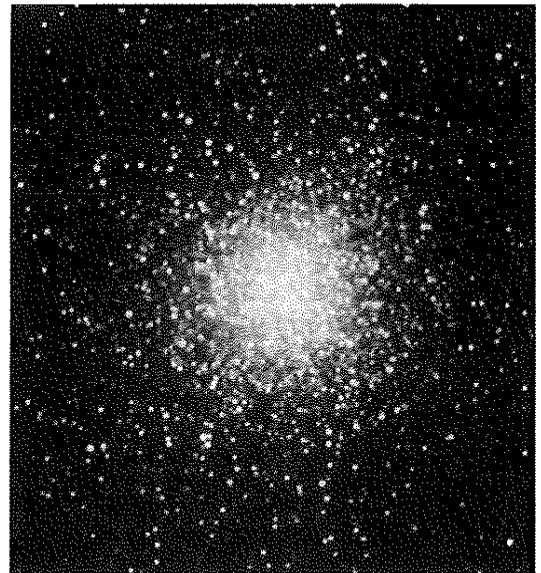
Các nhà thiên văn học phân các quần tinh thành ba loại: quần tinh cầu (globular clusters), quần tinh phân tán (hay quần tinh mở) (open clusters), và các kết tụ sao (stellar associations). Các đặc điểm của chúng được tóm lược trong bảng trên. Như chúng ta sẽ thấy, các quần tinh cầu chỉ chứa các sao rất già, trong khi các quần tinh phân tán và các kết tụ sao chứa các sao trẻ.

✧ QUẦN TINH CẦU

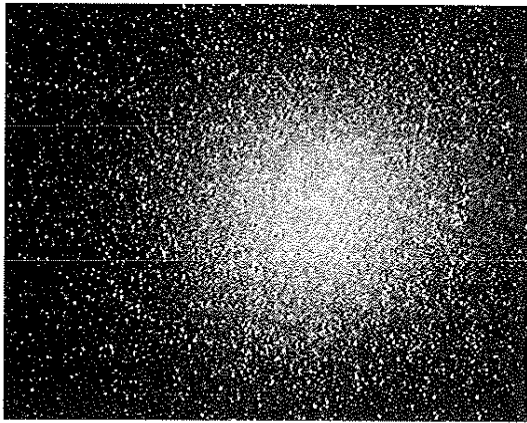
Các quần tinh cầu được đặt tên như thế do hình dạng của chúng. Một trong những cái lớn nhất trong Dải Ngân Hà chúng ta là 47 Tucanae, cách xa khoảng 15.000 LY (năm ánh sáng) và chứa vài triệu sao. Như chúng ta có thể thấy trên hình mở đầu ở Chương 10, 47 Tucanae là một hệ thống gần như tròn đối xứng của nhiều, thật nhiều sao, với sự tập trung cao nhất gần trung tâm. Lưu ý rằng các sao sáng nhất trong quần tinh này, là những sao khổng lồ, có màu vàng lợt. Các sao này có nhiệt độ tiêu biểu khoảng 2500 K và có cùng màu sắc với bóng đèn dây tóc.

Hầu hết các quần tinh cầu chứa hàng trăm ngàn sao thành viên. Ngôi sao sẽ

như thế nào để sống trong một quần tinh như thế? Trong phần đậm đặc nhất của một quần tinh cầu tiêu biểu, các sao sẽ tập trung xấp xỉ gấp một triệu lần nhiều hơn so với trong vùng lân cận của chúng ta. Tuy nhiên, vẫn sẽ còn thật nhiều khoảng không gian giữa các sao. Nếu Trái đất quay quanh một trong những sao bên trong một quần tinh cầu, thì các sao gần nhất sẽ cách xa nhiều *tháng ánh sáng* (light months).



Quần tinh cầu M13: Được phân bố trong chòm sao Hercules, quần tinh cầu gọi là M13 là một vật thể dễ dàng được quan sát qua kính viễn vọng nhỏ.



Omega Centauri: Ở xa khoảng 17.000 LY, quần tinh Omega Centauri là quần tinh cầu lớn nhất trong Dải Ngân Hà. Lưu ý rằng Omega Centauri là một cấu trúc mở rộng hơn so với 47 Tucanae.

Chúng sẽ vẫn hiện ra như những điểm sáng nhưng sẽ sáng hơn bất kỳ sao nào chúng ta thấy trong bầu trời. Dải Ngân Hà có thể sẽ không thể được nhìn thấy qua sự mờ sáng của ánh sáng sao được tạo ra bởi quần tinh.

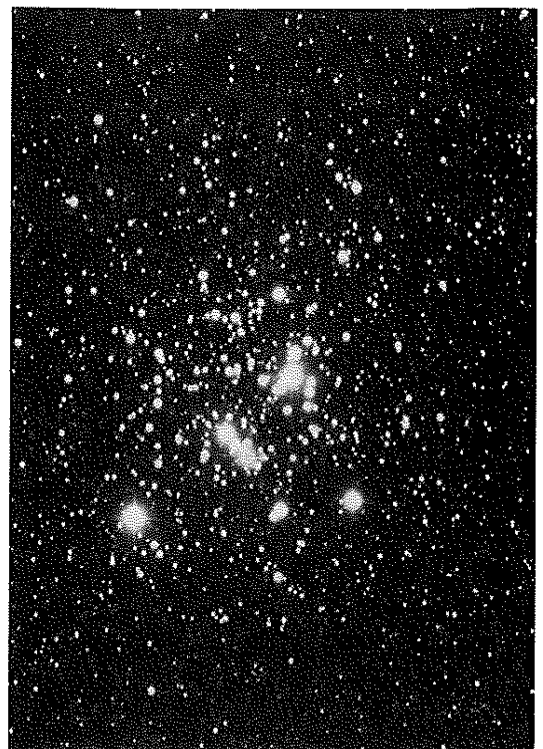
Khoảng 150 quần tinh cầu được biết đến trong Dải Ngân Hà. Đa số chúng nằm trong một quầng cầu (hay đám mây) bao quanh cái đĩa phẳng được hình thành bởi phần lớn các sao của Dải Ngân Hà và vật chất giữa các sao. Tất cả các quần tinh cầu ở rất xa đối với Mặt Trời, và một số được tìm thấy ở khoảng cách 60.000 LY hay hơn nữa từ mặt phẳng thiên hà. Đường kính của các quần tinh cầu xếp hạng từ 50 LY tới hơn 300 LY. Quần tinh cầu lớn nhất được biết, gọi là Omega Centauri, chứa khối lượng đủ tạo ra 5 triệu sao giống như Mặt Trời.

✧ QUẦN TINH PHÂN TÁN HAY QUẦN TINH MỎ

Quần tinh phân tán được phát hiện trong cái đĩa của Dải Ngân Hà, thường kết hợp với vật chất giữa các sao. Các quần tinh phân tán chứa rất ít sao hơn

các quần tinh cầu. Các sao trong quần tinh phân tán thường xuất hiện tách biệt rõ ràng với nhau, thậm chí trong các vùng trung tâm, điều đó giải thích cái tên chúng ta đặt cho loại quần tinh này. Dải Ngân Hà chứa hàng ngàn các quần tinh phân tán, nhưng chúng ta có thể chỉ nhìn thấy một phần nhỏ của chúng. Bụi giữa các vì sao (xem Chương 11) làm mờ ánh sáng của các quần tinh xa hơn nhiều đến mức chúng không thể được nhận ra.

Vài quần tinh phân tán được nhìn thấy bằng mắt trần. Nổi tiếng nhất trong chúng là Pleiades (Thất Nương) (xem hình mở đầu Chương 11), xuất hiện như một nhóm nhỏ gồm sáu sao được sắp xếp giống như cái môi trong chòm sao Taurus (Kim Ngưu). Một ống nhòm tốt có thể thấy hàng chục sao trong quần tinh, và một kính viễn vọng tiết lộ hàng trăm.



Hộp Nữ Trang (NGC 4755): Quần tinh phân tán của các sao trẻ và sáng này cách xa Mặt Trời khoảng 8.000 LY.

(Công ty xe hơi, Subaru, lấy tên của mình từ thuật ngữ tiếng Nhật dành cho chòm sao này; bạn có thể nhìn thấy nhóm sao trên nắp ổ khoá của mỗi chiếc Subaru).

Hyades là một quần tinh phân tán nổi tiếng khác trong chòm Taurus. Với mắt thường, nó có vẻ như một nhóm sao mờ hình chữ V tạo thành gương mặt của con bò (Kim Ngưu). Các kính viễn vọng cho thấy thực ra Hyades chứa hơn 200 sao.

Các quần tinh phân tán tiêu biểu chứa vài chục tới vài trăm sao thành viên. So với các quần tinh cầu, thì các quần tinh phân tán nhỏ hơn, thường có đường kính ít hơn 30 LY. Tuy nhiên, một vài sao sáng chói trong một số quần tinh phân tán có thể làm cho chúng chiếu sáng hơn các quần tinh cầu đồng đức hơn nhiều.

♦ CÁC KẾT TỤ SAO

Một kết tụ sao hiện ra như một nhóm chứa từ 5 tới 50 sao loại O và B, nóng và sáng, rải rác khắp một vùng không gian, trong đường kính khoảng từ 100 tới 500 LY. Các kết tụ sao cũng chứa các sao khối lượng thấp, nhưng những sao này mờ hơn nhiều và ít rõ ràng. Một sự tập trung các sao nóng và sáng như thế chứng tỏ rằng sự hình thành sao trong kết tụ sao đã xảy ra trong một triệu năm cuối cùng hay gần như vậy. Bởi vì các sao loại O và B đi qua cuộc đời của chúng chỉ trong một triệu năm hay gần như thế, chúng sẽ không còn ở chung quanh nếu sự hình thành sao đã dừng lại sớm hơn nhiều. Vì thế chẳng có gì ngạc nhiên rằng các kết tụ sao tiêu biểu được phát hiện trong những vùng dồi dào chất khí và bụi, cần thiết để hình thành các sao mới.

Bởi vì các kết tụ sao, giống như các quần tinh mở bình thường, nằm trong các vùng bị chiếm cứ bởi vật chất giữa các vì

sao, hầu hết bị che khuất khỏi tầm nhìn của chúng ta. Có thể có vài ngàn kết tụ sao không được khám phá trong Thiên Hà của chúng ta.

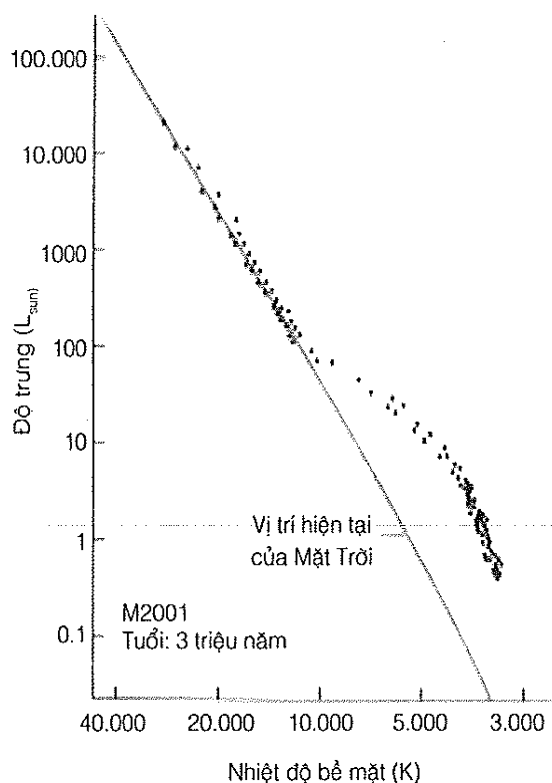
13.3 KIỂM TRA LÝ THUYẾT

Các quần tinh phân tán trẻ hơn các quần tinh cầu, và các kết tụ sao tiêu biểu có phần hơi trẻ hơn. Chúng ta biết điều này bởi vì các sao trong các loại quần tinh này được tìm thấy ở những nơi khác nhau trong sơ đồ H – R, và chúng ta có thể sử dụng các vị trí của chúng trong việc kết hợp với các tính toán lý thuyết để ước tính tuổi của chúng. Lý thuyết về sự tiến hoá của sao có thể giải thích tại sao các sơ đồ H – R của các quần tinh cầu có vẻ như khác biệt nhiều với các sơ đồ của các quần tinh phân tán và các kết tụ sao chứng tỏ lý thuyết đúng.

♦ CÁC SƠ ĐỒ H – R CỦA CÁC QUẦN TINH TRẺ

Lý thuyết dự đoán những gì đối với sơ đồ H – R của một quần tinh mà các sao của nó đã tích tụ gần đây từ một đám mây giữa các sao? Sau một vài triệu năm, các sao đồ sộ nhất có thể đã hoàn tất giai đoạn co rút của chúng và đang ở trên chuỗi sao chính, trong khi các sao kém đồ sộ hơn có thể ở xa về phía bên phải, vẫn trên đường tới chuỗi sao chính. Những ý tưởng này được trình bày trong hình mô tả sơ đồ H – R được tính toán bởi R. Kippenhahn và các cộng sự về một quần tinh giả định với độ tuổi 3 triệu năm.

Có những quần tinh thực tế phù hợp với sự mô tả này. Quần tinh đầu tiên đã được nghiên cứu (vào khoảng 1950) là NGC 2264. Nó vẫn còn liên kết với một



Sơ đồ H – R của quần tinh trẻ: Chúng ta thấy một sơ đồ H – R dành cho một quần tinh giả định ở tuổi 3 triệu năm. Hãy chú ý rằng các sao khối lượng cao (độ trung cao) đã đi tới giai đoạn chuỗi sao chính của cuộc đời của chúng, trong khi các sao khối lượng thấp (độ trung thấp) vẫn còn nằm ở bên phải của chuỗi sao chính zero tuổi, chưa đủ nóng để bắt đầu sự tổng hợp hydro.

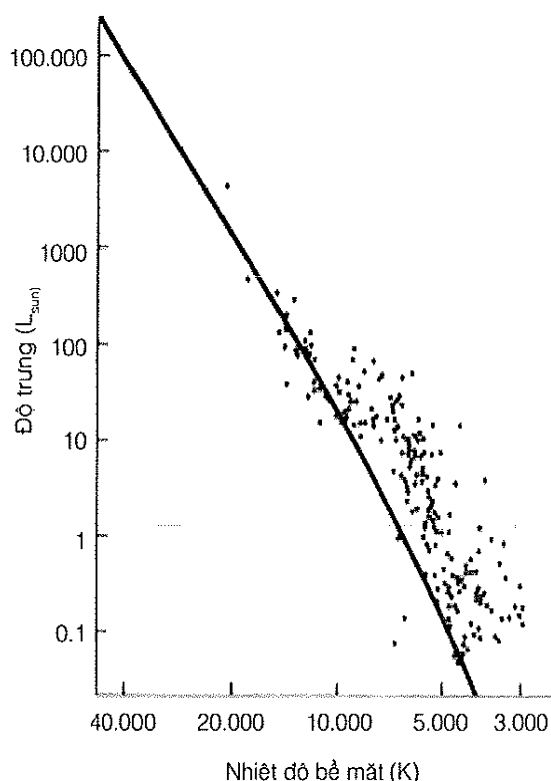
Quần tinh trẻ NGC 2264: Ở cách chúng ta khoảng 2500 LY, khu vực của các sao mới được hình thành này là một phức hợp của khí hydro đỏ bị ion hoá bởi các sao nóng bao quanh, các làn bụi tối đen, và các sao trẻ rực rỡ.

vùng khí và bụi từ đó nó được sinh ra. Sơ đồ H – R của nó được trình bày ở đây. Trong số các quần tinh khác trong giai đoạn đầu tiên như thế là một quần tinh ở chính giữa Tinh vân Orion.

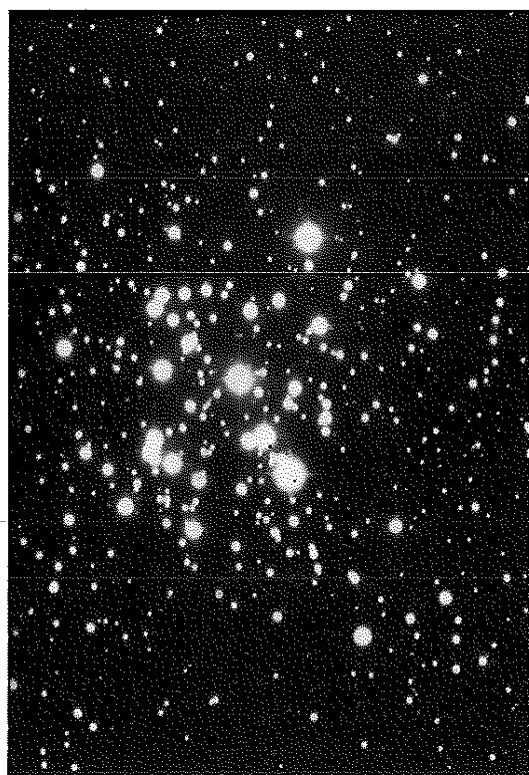
Khi các quần tinh già hơn, sơ đồ H – R của chúng bắt đầu thay đổi. Sau một thời gian ngắn – chưa tới một triệu năm sau khi đi tới chuỗi sao chính – các sao lớn nhất sử dụng hết hydro trong nhân của chúng và tiến triển ra khỏi chuỗi sao chính để trở thành các sao khổng lồ đỏ. Khi thời gian trôi qua thêm nữa, các sao có khối lượng càng ngày càng thấp hơn bắt đầu để rời khỏi chuỗi sao chính, và làm cho đường đi của chúng tới trên cao

bên phải của sơ đồ H – R. Hình trang bên là một ảnh chụp của NGC 3293, một quần tinh phân tán hơi già hơn một chút. Một sao đồ sộ đã tiến hoá thành một sao khổng lồ đỏ và nổi bật lên như một thành viên màu cam rực sáng đặc biệt của quần tinh.

Hình trang sau nữa mô tả sơ đồ H – R của quần tinh phân tán M41, nó có tuổi xấp xỉ 100 triệu năm; một số sao khổng lồ đỏ đã di chuyển ra xa về bên phải. Hãy chú ý khoảng trống xuất hiện trong sơ đồ H – R này giữa các sao gần chuỗi sao chính và các sao khổng lồ đỏ. Trong bức ảnh của sự tiến hoá sao được trình bày bằng sơ đồ H – R, một khoảng



Sơ đồ H – R dành cho quần tinh NGC 2264



Quần tinh phân tán NGC 3293: Tất cả các sao trong những quần tinh tương tự hình thành khoảng cùng một thời gian. Các sao lớn nhất, tuy nhiên, cạn kiệt nhiên liệu hạt nhân của nó nhanh hơn và do đó tiến hoá nhanh hơn các sao với khối lượng nhỏ. Khi các sao tiến hóa, chúng trở nên đỏ hơn. Sao sáng nhất, trong NGC 3293 là thành viên của quần tinh đã tiến hoá nhanh nhất.

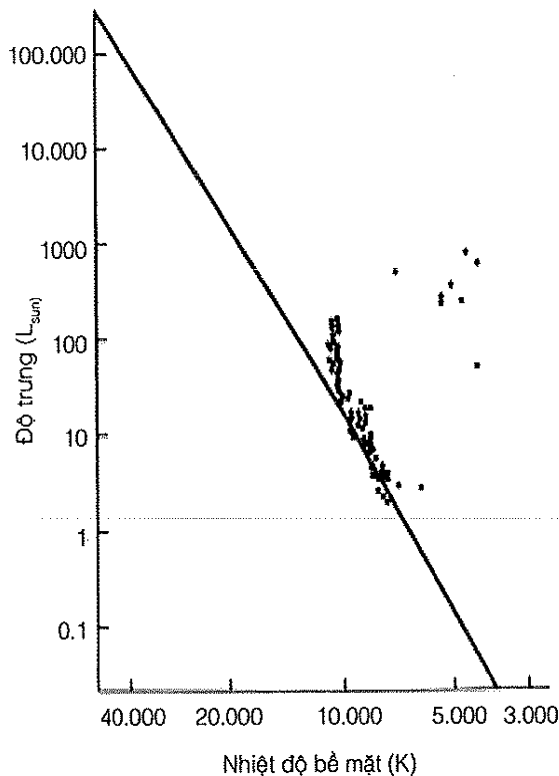
trống không nhất thiết tượng trưng cho một vùng nhiệt độ và độ trung mà các sao tránh xa. Nó đơn thuần tượng trưng cho một khu vực của nhiệt độ và độ trung qua đó một sao di chuyển rất nhanh khi nó tiến hóa. Chúng ta thấy một khoảng trống đối với M41 bởi vì tại thời điểm đặc biệt này chúng ta không bắt gặp một sao nào trong quá trình chạy nhanh qua phần này của sơ đồ.

♦ CÁC SƠ ĐỒ H – R CỦA CÁC QUẦN TINH GIÀ HƠN

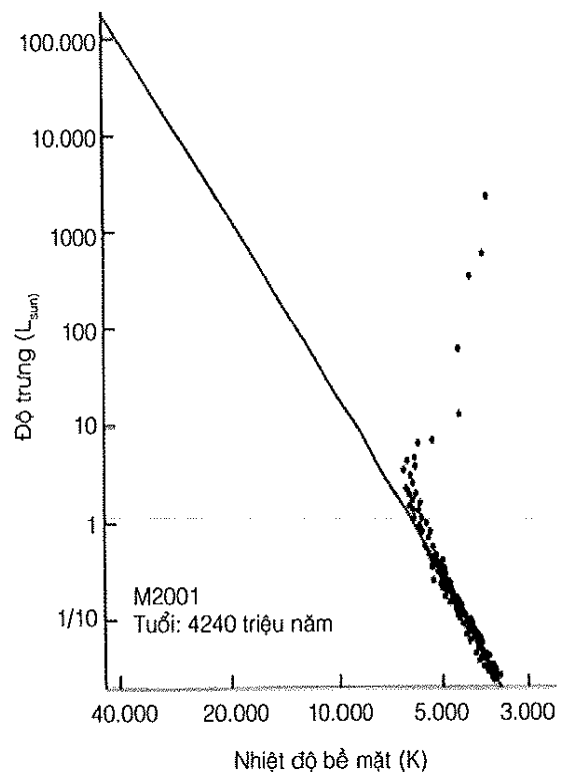
Sau 4 tỉ năm trôi qua, sơ đồ H – R của một quần tinh sẽ trông hoàn toàn

khác biệt một chút. Vào thời điểm ấy, nhiều sao hơn nữa – kể cả các sao chỉ lớn hơn Mặt Trời vài lần – đã bắt đầu rời khỏi chuỗi sao chính. Điều này có nghĩa là không có sao nào ở lại gần đỉnh của chuỗi sao chính; chỉ có các sao khối lượng thấp ở gần đáy còn nguyên. Các quần tinh càng già đi, thì vị trí trên chuỗi sao chính càng thấp hơn, ở đó các sao bắt đầu di chuyển về phía vùng sao khổng lồ đỏ. Các nhà thiên văn học thực sự sử dụng “điểm rẽ” như một thước đo tuổi của quần tinh.

Các quần tinh già nhất là các quần tinh cầu. Sơ đồ H – R của quần tinh cầu 47 Tucanae (xem hình mở đầu của



Sơ đồ H - R dành Cho quần tinh M41: Quần tinh này già hơn NGC 2264 và chứa một số sao khổng lồ đỏ. Một số sao lớn nhất của nó không còn ở gần với chuỗi sao chính zero tuổi.



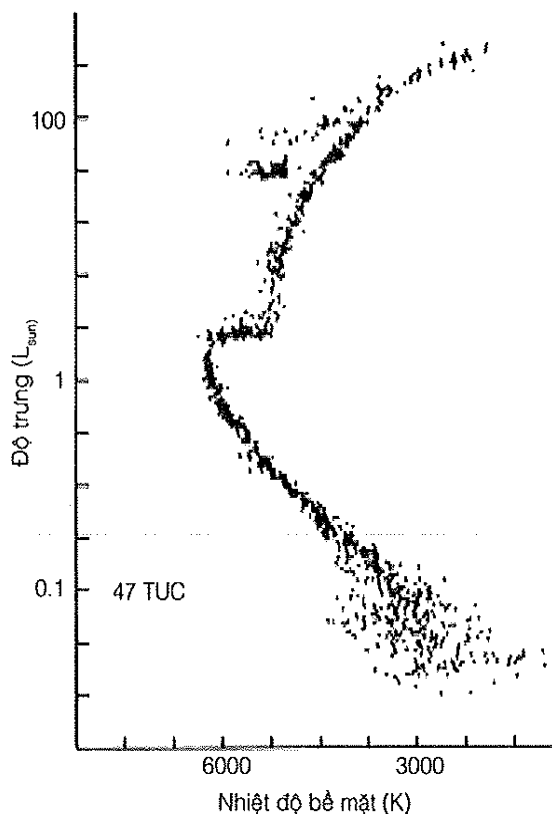
Sơ đồ H - R dành cho một quần tinh già hơn: Chúng ta thấy sơ đồ H-R dành cho một quần tinh già định với một tuổi 4,24 tỉ năm. Lưu ý rằng hầu hết các sao trên phần phía trên của chuỗi sao chính đã rẽ qua về phía khu vực sao khổng lồ đỏ.

Chương 10) được trình bày trong hình trang sau. Lưu ý rằng các thang độ trung và nhiệt độ thì khác biệt với các sơ đồ H - R khác trong chương này. Trong hình trên, thang độ trung ở cạnh trái của sơ đồ đi từ 1/10 tới 100.000 lần độ trung của Mặt Trời.

Nhưng trong hình trang sau, thang độ trung đã được giảm xuống đáng kể về phạm vi. Vì vậy nhiều sao trong quần tinh già này đã có thời gian để rẽ ra khỏi chuỗi sao chính, chỉ ngay tại dưới đáy của chuỗi sao chính là còn nguyên.

Các quần tinh già đến mức nào? Để có được tuổi thực tế (bằng năm), chúng ta phải so sánh hình dạng của các sơ đồ H - R về các tuổi khác nhau với các sơ

đồ H - R thực tế. Bởi vì các sao trong bất kỳ quần tinh nhất định nào cũng hình thành đại khái cùng một lúc, sự so sánh này cho chúng ta biết tuổi của nhiều sao riêng lẻ cấu thành quần tinh. Một số quần tinh phân tán có tuổi trẻ đến 1 triệu năm, và các quần tinh khác thì vài tỉ năm tuổi. Các quần tinh phân tán thường được tìm thấy trong các vùng vật chất giữa các vì sao, nơi đó sự hình thành sao vẫn có thể xảy ra, và các quần tinh phân tán mới và các kết tụ sao vẫn đang hình thành trong Dải Ngân Hà. Một khi toàn bộ vật chất giữa các vì sao chung quanh một quần tinh đã được sử dụng hết để hình thành các sao hay đã bị phân tán và di chuyển ra khỏi quần tinh, sự hình thành sao dừng



Sơ đồ H – R dành cho quần tinh 47 Tucanae (*H-R diagram for cluster 47 Tucanae*): Sơ đồ H–R này là dành cho quần tinh cầu 47 Tucanae. Lưu ý rằng thang độ trung khác biệt với thang độ trung của các sơ đồ H–R khác trong chương. Chúng ta đang tập trung về phần thấp hơn của chuỗi sao chính, phần duy nhất ở đó các sao vẫn còn giữ nguyên trong quần tinh già này.

lại, và các sao có khối lượng nhỏ dần di chuyển khỏi chuỗi sao chính như mô tả trong các sơ đồ.

Ngay cả quần tinh trẻ nhất trong các quần tinh cầu cũng già hơn quần tinh phân tán già nhất. Toàn bộ các quần tinh cầu có chuỗi sao chính rẽ ra tại độ trung kém hơn độ trung của Mặt Trời. Sự hình thành sao trong các hệ thống này dĩ nhiên dừng lại cách đây hàng tỉ năm, vì thế không có sao mới nào đang đi tới chuỗi sao chính để thay thế các sao đã rẽ ra.

Tóm lại, các quần tinh cầu là những cấu trúc già nhất trong Dải Ngân Hà (và

cũng như trong các thiên hà khác). Già nhất trong chúng có tuổi khoảng 13 tỉ năm. Bởi vì đây là những thiên thể già nhất mà chúng ta biết được, sự ước tính này là một trong những giới hạn tốt nhất chúng ta có về tuổi của bản thân vũ trụ – nó phải ít nhất là 13 tỉ năm tuổi.

13.4 SỰ TIẾN HOÁ XA HƠN CỦA CÁC SAO

“Câu chuyện cuộc đời” mà chúng ta đã kể lại từ trước đến giờ áp dụng cho tất cả các sao: Mỗi một sao trong chúng di chuyển qua các giai đoạn cơ bản như một sao nguyên thủy, sống hầu hết cuộc đời của nó như là một sao ổn định trên chuỗi sao chính, và cuối cùng di chuyển ra khỏi chuỗi sao chính hướng về vùng sao khổng lồ đỏ. (Tốc độ với nó sao đi qua các giai đoạn tùy thuộc, dĩ nhiên, vào khối lượng của nó, với các sao khối lượng lớn hơn thì tiến hoá nhanh hơn). Nhưng sau thời điểm này, các câu chuyện đời sống của các sao với các khối lượng khác nhau bắt đầu phân rẽ, với tầm mức rộng hơn về động thái có thể có tùy theo khối lượng, thành phần, và sự có mặt của bất kỳ sao đồng hành lân cận nào.

Ở đây chỉ là một kịch bản được đơn giản hoá về những gì xảy ra với các sao khi chúng di chuyển về phía các giai đoạn cuối cùng trong cuộc đời chúng, không đi sâu vào tất cả các phương cách khả thi mà các sao có thể ứng xử. Trái lại, chỉ tập trung vào các giai đoạn chủ yếu trong sự tiến hoá của các sao đơn lẻ và mô tả sự tiến hoá của các sao khối lượng cao khác biệt với sự tiến hoá của các sao khối lượng thấp (chẳng hạn như Mặt Trời).

✧ SỰ TỔNG HỢP HELIUM

Chúng ta hãy bắt đầu bằng cách xem xét các ngôi sao mà khối lượng ban đầu của chúng tương đối thấp – không nhiều hơn khoảng từ hai tới ba lần khối lượng của Mặt Trời. (Không phải tất cả đều thấp như thế, chúng ta biết rằng các ngôi sao lớn hơn như vậy nhiều đang tồn tại). Bởi vì các ngôi sao khối lượng thấp này có nhiều hơn các sao khối lượng cao (xem Chương 9), đa số các sao – kể cả Mặt Trời – tuân theo một kịch bản. Chúng ta sử dụng thuật ngữ các *khối lượng ban đầu* (initial masses) của các ngôi sao, bởi vì các ngôi sao có thể mất đi một chút khối lượng trong quá trình già nua và chết.

Các ngôi sao khổng lồ đỏ có phần nhân helium không có sự phát sinh năng lượng nào diễn ra, được bao bọc bởi lớp vỏ nơi mà hydro đang trải qua sự tổng hợp. Tuy nhiên, phần nhân đang co lại và trở nên nóng dần lên. Một khi nó đạt tới nhiệt độ 100 triệu K (nhưng trước đó thì không), ba nguyên tử helium có thể tổng hợp để hình thành một nhân carbon đơn lẻ. Quá trình này được gọi là *quá trình tam hợp alpha* (triple alpha process), vì các nhà vật lý hạt nhân gọi nhân của nguyên tử helium là một hạt alpha.

Khi quá trình tam hợp bắt đầu trong các sao khối lượng thấp (hay nhỏ), các tính toán chứng tỏ rằng toàn bộ phần nhân được đốt cháy trong sự bùng nổ nhanh chóng gọi là *sự lóe sáng helium* (helium flash).

Ở thời điểm này, tại sao bước quan trọng kế tiếp trong sự tổng hợp hạt nhân trong các sao lại bao gồm ba hạt nhân helium mà không phải chỉ có hai. Trong khi đó, dễ dàng hơn nhiều để có hai helium va chạm nhau, nhưng sản phẩm của sự va chạm thì không ổn định và tách ra rất nhanh. Cần có ba hạt nhân helium kết hợp với nhau để tạo ra một cấu trúc hạt nhân ổn định. Căn cứ vào mỗi nhân helium có hai proton dương, và các proton đẩy lẫn nhau, bạn có thể thấy ra vấn đề. Cần có một nhiệt độ 100 triệu K để đẩy các nhân helium lại với nhau, để cho sáu proton đi vào mỗi nhân carbon có thể vượt qua lực đẩy tự nhiên của chúng với nhau và dính chặt.

✧ TRỞ THÀNH SAO KHỔNG LỒ MỘT LẦN NỮA

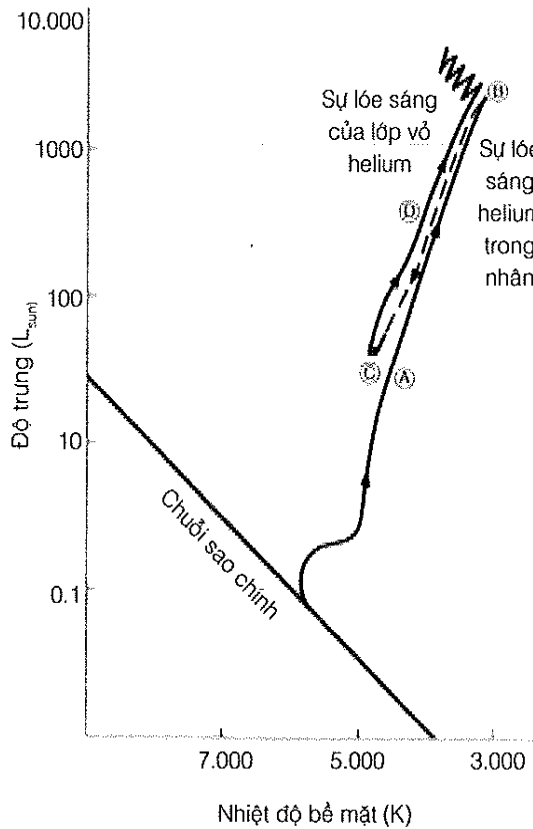
Sau sự lóe sáng helium, ngôi sao, đã sống sót qua “cuộc khủng hoảng năng lượng”, đi theo đoạn cuối của giai đoạn trong chuỗi sao chính, tìm lại trạng thái cân bằng của nó. Khi ngôi sao điều chỉnh

Các Sao Trong Ngón Tay Bé Nhỏ Của Bạn

Hãy nhìn ngón tay bé nhỏ của bạn. Nó bao gồm các nguyên tử carbon bởi vì carbon là một khối cấu trúc hoá học cơ bản đối với sự sống trên Trái Đất. Mỗi một nguyên tử carbon này trước kia nằm ở bên trong một sao khổng lồ đỏ, và được tổng hợp từ các nhân helium trong quá trình tam hợp alpha. Toàn bộ carbon trên Trái Đất – trong cơ thể bạn, trong than và trong kim cương – đã được “nấu chín” bởi các thế hệ sao trước đây. Bằng cách nào mà các nguyên tử carbon (và các

nguyên tố khác) thực hiện đường đi của chúng từ bên trong một số sao ấy để trở thành một phần của Trái Đất là đề tài sẽ được bàn luận trong chương tới. Mô tả của chúng ta về sự tiến hoá của ngôi sao không chỉ là mối quan tâm của các chuyên gia về thiên văn học, mà trong một ý nghĩa rất thực tế, còn là câu chuyện về “gốc rễ” của vũ trụ – lịch sử về việc các nguyên tử của chúng ta bắt nguồn từ trong số các sao như thế nào. Chúng ta đã được tạo ra từ vật-liệu-sao.

lại sự phóng thích năng lượng từ quá trình tam hợp alpha trong phần nhân, cấu trúc nội tại của nó thay đổi một lần nữa. Rốt cuộc, nhiệt độ bề mặt gia tăng và độ trung toàn phần của nó giảm xuống. Điểm tương trưng cho sao trên sơ đồ H-R vì thế di chuyển tới một vị trí mới về phía bên trái và hơi thấp hơn chỗ



Sự tiến hoá của một sao giống như mặt trời trên sơ đồ H - R: Mỗi giai đoạn trong cuộc đời của ngôi sao được đặt tên với một chữ cái: (A) sao tiến hoá từ chuỗi sao chính để trở thành sao khổng lồ đỏ, giảm nhiệt độ bề mặt và tăng độ trung; (B) sự lóe sáng helium xảy ra tại thời điểm này, dẫn đến sự điều chỉnh của cấu trúc nội tại của sao và tới (C) một thời kỳ ổn định ngắn trong đó helium bị tổng hợp thành carbon và oxy trong phần nhân (trong quá trình này sao trở nên nóng hơn và ít sáng hơn với tư cách là sao khổng lồ đỏ). (D) Sau khi helium ở trung tâm bị cạn kiệt, ngôi sao trở thành sao khổng lồ một lần nữa và di chuyển tới độ trung cao hơn và nhiệt độ thấp hơn. Tuy nhiên, vào thời điểm này, sao đã cạn nguồn cung cấp bên trong của nó và chẳng bao lâu nữa sẽ bắt đầu chết đi. Nơi mà đường tiến hoá trở thành một vạch đứt ngang, các sự thay đổi rất nhanh chóng, chúng rất khó mô phỏng.

của nó với tư cách là một sao khổng lồ đỏ. Sau đó, ngôi sao tiếp tục tổng hợp helium trong nhân của nó một thời gian, trở lại trạng thái cân bằng giữa áp suất và lực hấp dẫn là đặc trưng của giai đoạn trên chuỗi sao chính. Trong thời gian này, một nhân carbon mới được hình thành, đôi khi được liên kết bởi nhân helium khác nữa để tạo ra một nhân oxy.

Tuy nhiên, tại nhiệt độ 100 triệu độ K, phần nhân bên trong đang biến đổi nhiên liệu helium thành carbon (và oxy) với một tốc độ nhanh chóng. Do đó, giai đoạn ổn định mới có thể không thể kéo dài quá lâu: Nó ngắn hơn rất nhiều so với giai đoạn trên chuỗi sao chính. Chẳng bao lâu sau, toàn bộ helium đủ nóng dành cho sự tổng hợp sẽ bị sử dụng hết, và phần nhân bên trong sẽ lại không thể sinh ra năng lượng qua sự tổng hợp. Một lần nữa, lực hấp dẫn sẽ thắng thế.

Tình trạng của sao giống như đoạn cuối của giai đoạn trên chuỗi sao chính (khi hydro trong trung tâm đã bị "xài" hết), song ngôi sao giờ đây có một cấu trúc phức tạp hơn. Phần nhân của sao lại bắt đầu sụp đổ dưới trọng lực của nó. Sức nóng (hay nhiệt) được tỏa ra bởi sự co rút của phần nhân carbon và oxy tuôn chảy vào trong lớp vỏ helium ngay bên trên phần nhân.

Số helium này, đã không được đủ nóng để tổng hợp thành carbon trước đây, được đun nóng hoàn toàn đủ cho sự tổng hợp để bắt đầu và để sinh ra một dòng năng lượng mới.

Xa hơn trong ngôi sao là một lớp vỏ khác nữa nơi đó hydro mới đã được đun nóng đủ để hình thành helium. Khi năng lượng tuôn chảy ra ngoài từ hai lớp vỏ, một lần nữa các vùng bên ngoài của sao bắt đầu trương nở. Giai đoạn ổn định

ngắn ngủi của nó đã qua, sao di chuyển trở lại khu vực sao khổng lồ đỏ trên sơ đồ H-R trong một thời gian ngắn. Trong giai đoạn này, ngôi sao trở thành hơi sáng hơn so với trong thời kỳ đầu tiên của nó với tư cách là sao khổng lồ, song đó chỉ là một sự bùng lên rực rỡ ngắn ngủi và cuối cùng.

Lần cuối cùng ngôi sao ở trong tình trạng khó khăn này, sự tổng hợp helium mang tới sự cứu hộ cho nó. Nhiệt độ tại trung tâm của sao trở thành đủ nóng đối với *sản phẩm* của giai đoạn tổng hợp trước (helium) để trở thành *nhiên liệu* cho giai đoạn kế tiếp (helium tổng hợp thành carbon). Nhưng giai đoạn sau sự tổng hợp các nhân helium đòi hỏi một nhiệt độ nóng đến nỗi những loại sao khối lượng thấp hơn không thể nén ép phần nhân của chúng để đạt tới điều đó. Không có loại tổng hợp nào nữa có thể xảy ra đối với một sao như thế.

Trong các sao có khối lượng tương tự với khối lượng Mặt Trời, sự hình thành một nhân carbon-oxy biểu hiện đoạn cuối của sự phát sinh năng lượng hạt nhân tại trung tâm của sao. Chúng ta sẽ bàn luận cái chết của các sao trong chương tới. Bảng dưới tóm lược các giai đoạn trong cuộc đời của ngôi sao với khối lượng của Mặt Trời. Một trong những điều mang đến sự tin cậy vào những tính

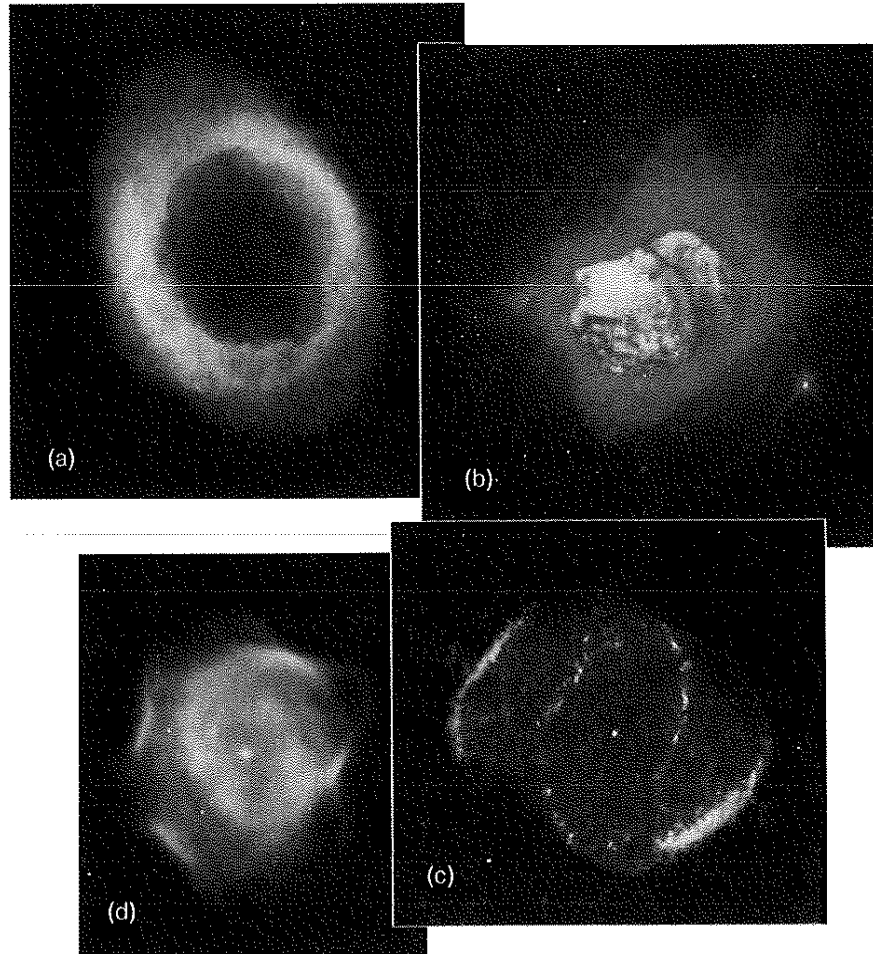
toán về sự tiến hoá của sao là khi lập ra các sơ đồ H-R của các quần tinh già hơn, chúng ta thấy các sao trong từng giai đoạn.

✧ SỰ MẤT KHỐI LƯỢNG TỪ CÁC SAO KHỔNG LỒ VÀ SỰ HÌNH THÀNH TINH VÂN HÀNH TINH

Khi các sao trở thành các sao khổng lồ và các lớp bên ngoài của chúng trương nở, chúng có thể bắt đầu mất đi một phần đáng kể về khối lượng vào không gian. Các nhà thiên văn học đã quan sát được một cơn bão vật chất tuôn ra từ một số sao khổng lồ, nhưng cơ chế để phát sinh sự tuôn chảy vẫn không được hiểu rõ. Chúng ta ước tính rằng vào thời điểm một sao giống như Mặt Trời đạt tới điểm của sự lóe sáng helium, thí dụ, nó có thể mất đi tới 25% khối lượng của nó. Và nó có thể còn mất khối lượng thêm nữa khi đi lên nhánh sao khổng lồ đỏ trong lần thứ hai. Kết quả là, sao đang già đi bị bao bọc bởi một hay nhiều lớp vỏ khí trương nở, mỗi lớp chứa tới 0,1 hay 0,2 M_{Sun} vật liệu.

Sự mất khối lượng lấy đi của sao các lớp bên ngoài, phơi trần các vùng nóng hơn ở bên dưới lần đầu tiên. Đồng thời, do sự phát sinh năng lượng hạt nhân đã dừng lại, phần nhân của sao bắt đầu co lại một lần nữa và đun nóng khi nó càng

Sự tiến hoá của một sao có khối lượng của mặt trời				
GAJI ĐOẠN	THỜI GIAN TRONG GIAI ĐOẠN NÀY (NĂM)	NHIỆT ĐỘ BỀ MẶT (K)	ĐỘ TRUNG (L_{Sun})	ĐƯỜNG KÍNH (ĐƯỜNG KÍNH CỦA MẶT TRỜI= 1)
Chuỗi sao chính	11 tỉ	6000	1	1
Trở thành sao khổng lồ đỏ	1,3 tỉ	xuống tới 3100	lên tới 2300	165
Tổng hợp helium	100 triệu	4800	50	10
Sao khổng lồ một lần nữa	20 triệu	3100	5200	180



Một phòng trưng bày về tinh vân hành tinh: Kính không gian Hubble (HST) đưa ra một loạt hình ảnh đẹp mô tả một số tinh vân hành tinh hấp dẫn:

(a) Có lẽ tinh vân hành tinh nổi tiếng nhất là Tinh Vân Vòng Tròn (Ring Nebula) (M57), ở cách xa khoảng 2000 LY trong chòm sao Draco. Cái vòng tròn có đường kính khoảng 1 năm ánh sáng, và sao trung tâm nóng hơn 100.000 K. Sự nghiên cứu kỹ lưỡng về hình ảnh của HST năm 1998 đã cho các nhà khoa học thấy rằng, thay vì nhìn vào lớp vỏ hình cầu chung quanh sao đang chết này, chúng ta có thể đang nhìn xuống cái nòng (hay ruột) của một ống hình trụ hay hình nón.

(b) NGC 7027 là một tinh vân hành tinh ở cách xa khoảng 3000 LY trong chòm sao Cygnus (Thiên Nga). Hình này phối hợp ánh sáng thường và thông tin hồng ngoại để mang đến một số giai đoạn phun xuất trong vật thể. Các lớp vỏ màu xanh đầu tiên (bên ngoài) bị phun xuất đồng đều hơn các lớp vỏ vật liệu bên trong, tỏa sáng với bức xạ hồng ngoại từ các hạt bụi đã đông đặc trong chúng. Các hình ảnh của Tinh Vân Vòng trong hình (a), được chụp bằng máy dò ánh sáng điện tử nhạy cảm từ mặt đất, cũng mô tả một loạt các lớp vỏ đồng tâm như thế.

(c) Tinh Vân Mắt Mèo (Cat's Eye Nebula) (NGC 6543), cách xa khoảng 3000 LY trong chòm sao Draco (Thiên Long), mô tả một số lớp vỏ khí đồng tâm, các chùm tia khí tốc độ cao, và các vùng ở đó vật liệu tốc độ cao đang tích tụ thành các lớp vỏ khí bị phun xuất trước đây. Sự phức tạp về đặc tính có thể có nghĩa rằng có hai sao tại trung tâm đang quay quanh một trọng tâm chung và khiến cho các chùm tia lung lay, nhưng chúng ta không thể phân giải hai sao trên tấm ảnh này.

(d) Tinh vân hành tinh nổi tiếng trẻ nhất là Tinh Vân Stingray (Stingray Nebula), trong chòm sao Ara, cách xa khoảng 18.000 LY. Tinh vân bắt đầu tỏa sáng trong 20 năm vừa qua, và chỉ bằng một phần mười kích thước của một tinh vân hành tinh tiêu biểu "được trưởng thành hoàn toàn". Trong ảnh này, một sao thứ hai được nhìn thấy ở bên trên và phía bên trái của sao trung tâm đã hình thành nên tinh vân. "Điều nhảy của lực hấp dẫn" của hai sao trên quỹ đạo chung quanh lẫn nhau có thể góp phần vào cấu trúc phức tạp mà chúng ta nhìn thấy. Hãy chú ý những cái bong bóng của vật liệu đang tuôn chảy thẳng góc với cái vòng tròn màu lục bên trong, biểu thị những chiều hướng trong đó luồng gió nóng từ sao đang chết có thể thoát ra tốt nhất.

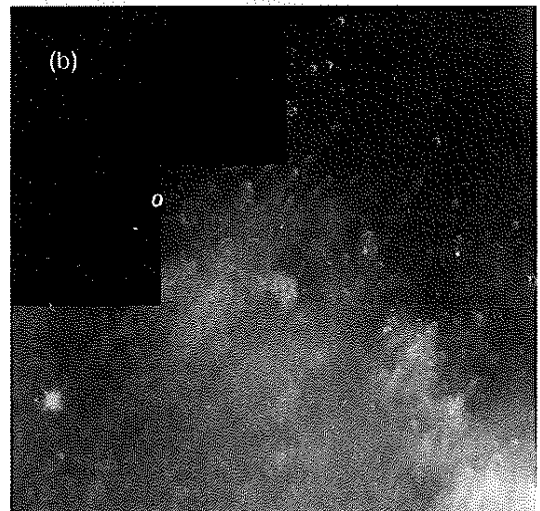
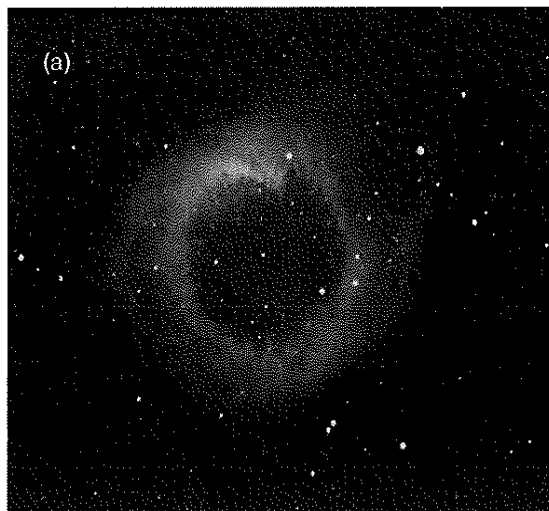
lúc càng bị nén ép. Rốt cuộc, bất kỳ hydro nào trong các lớp còn lại của sao cũng nhanh chóng bị tổng hợp thành helium. Sao đang co rút trở nên rất nóng – đạt tới nhiệt độ bề mặt 100.000 K. Những sao nóng như thế là các nguồn bức xạ cực tím rất mạnh, chúng tuôn trào trực tiếp vào lớp vỏ vật liệu vừa mới bị tổng ra.

Sự hoạt động phối hợp của tất cả các yếu tố này dẫn đến sự tạo ra một số thiên thể đẹp nhất trong vũ trụ. Bức xạ cực tím đun nóng các lớp vỏ, ion hoá chúng, và làm cho chúng rực sáng (giống như bức xạ cực tím từ các sao nóng và trẻ tạo ra các vùng H II – xem Chương 11). Các lớp vỏ rực sáng nằm trong số các vật thể độc đáo hấp dẫn nhất trong bầu trời (xem các hình ảnh mở đầu chương và ở trang trước).

Các vật thể này được đặt cho một cái tên gây hiểu lầm cực kỳ khi được

phát hiện lần đầu tiên: **tinh vân hành tinh** (planetary nebulae). Cái tên được bắt nguồn từ sự kiện rằng một vài tinh vân hành tinh, khi được quan sát qua kính viễn vọng nhỏ, hơi giống với các hành tinh. Thực ra, chúng lớn hơn hệ mặt trời hàng ngàn lần và chẳng dính dáng gì đến các hành tinh, nhưng một khi những cái tên đã được đưa vào sử dụng trong thiên văn học, để thay đổi chúng là một điều cực kỳ khó khăn. Có hàng chục ngàn tinh vân hành tinh trong Dải Ngân Hà, song nhiều tinh vân bị che giấu khi quan sát bởi vì ánh sáng của chúng bị bụi giữa các vì sao hấp thụ.

Đôi khi, như trong hình dưới, một tinh vân hành tinh có vẻ như là một vòng tròn đơn giản. Đây là một ảo giác, do chúng ta nhìn qua nhiều lớp dọc theo các cạnh của lớp vỏ hơn so với chính giữa. Cùng một cách như vậy, trung tâm



Tinh Vân Helix

(a) Với khoảng cách chừng 450 LY, Helix là tinh vân hành tinh gần nhất với chúng ta. Trên các ảnh chụp đường kính của nó trên bầu trời hầu như lớn bằng Mặt Trăng tròn. Mặc dù nó trông như một vòng tròn, thực ra nó là một lớp vỏ vật liệu bị phún xuất bởi sao đang chết ở trung tâm.

(b) Kính Không Gian Hubble (HST) có thể ghi nhận các chi tiết đáng chú ý trong thiên thể này, tiết lộ hàng loạt các cụm khí trên rìa bên trong của vòng tròn. Mỗi cụm ít nhất gấp đôi kích thước của hệ mặt trời. Chúng ta tin rằng các cụm này hình thành khi chất khí nóng từ sao va chạm với vật liệu lạnh hơn bị tổng ra trước đây. Hãy lưu ý các cụm đang bị thổi ra xa như thế nào khi nhiều năng lượng và các hạt năng lượng tuôn chảy ra khỏi sao nóng, nằm ngoài bức hình, về phía phải bên trên.

của bong bóng xà bông thường trong suốt hơn mép của nó. Khi sao trung tâm đã có một số *giai đoạn phun xuất* (episodes of ejection), hay khi hệ thống chứa nhiều hơn một sao, tinh vân hành tinh có thể nhận lấy các cấu trúc phức tạp tuyệt vời, như được mô tả trong hình trang trước.

Các lớp vỏ của tinh vân hành tinh thường trương nở với tốc độ từ 20 tới 30 km/s, và một tinh vân hành tinh tiêu biểu có đường kính vào khoảng 1 năm ánh sáng (1 LY). Nếu chúng ta thừa nhận rằng lớp vỏ khí trương nở với tốc độ bất biến, chúng ta có thể tính được rằng các lớp vỏ của toàn bộ tinh vân hành tinh thấy được đối với chúng ta bị tổng ra trong vòng 50.000 năm vừa qua hay như thế. Tuy nhiên các lớp vỏ già hơn đã trương nở nhiều đến mức chúng đơn thuần quá mỏng và quá loãng nên không được nhìn thấy. Khi chúng ta xem xét thời gian tương đối ngắn mà mỗi tinh vân hành tinh có thể được quan sát, và một số tinh vân như thế mà chúng ta nhìn thấy, chúng ta phải kết luận rằng đại bộ phận của tất cả các sao tiến hoá qua giai đoạn tinh vân hành tinh. Điều này xác nhận quan điểm của chúng ta về tinh vân hành tinh như là một dạng “hấp hối” của sự tiến hoá của sao khối lượng thấp.

✧ SỰ TÁI SINH CỦA VŨ TRỤ

Sự mất đi khối lượng do các sao đang chết là thí dụ đầu tiên của chúng ta về một loại hệ thống tái tạo sao của vũ trụ. Chúng ta đã thấy rằng các sao hình thành từ các đám mây vật liệu nguyên sinh bao la (gồm khí và bụi). Khi già đi, các sao bắt đầu hoàn lại một phần của chính bản thân chúng vào các bồn chứa

vật liệu nguyên sinh của thiên hà. Cuối cùng, một số vật liệu bị tổng ra từ các sao đang già sẽ tham gia vào sự hình thành các hệ thống sao mới.

Tuy nhiên, các nguyên tử được một sao đang già đi trả lại cho Dải Ngân Hà không phải lúc nào cũng là những nguyên tử giống như ban đầu nó đã tiếp nhận. Ngôi sao đã tổng hợp các nguyên tố mới qua tiến trình sự sống của nó, và trong giai đoạn sao khổng lồ đỏ vật liệu từ các vùng trung tâm của sao bị vết sạch và trộn lẫn với các lớp bên ngoài của nó. Rốt cuộc, luồng gió thổi ra ngoài một số hạt “mới được tạo ra” bên trong sao. (Như chúng ta sẽ thấy, cơ chế này thậm chí hiệu quả hơn đối với các sao khối lượng cao, nhưng nó cũng có tác dụng đối với các sao với khối lượng giống như Mặt Trời). Theo cách này, vật liệu nguyên sinh của Dải Ngân Hà không chỉ được tái cung cấp, mà còn tiếp nhận sự lan truyền của các nguyên tố mới.

13.5 SỰ TIẾN HOÁ CỦA CÁC SAO LỚN HƠN

Nếu những gì đã trình bày là toàn bộ câu chuyện về sự tiến hoá của các sao và các nguyên tố, chúng ta sẽ có một vấn đề quan trọng.

Ở các mô hình tối ưu về vài phút đầu tiên của vũ trụ, mọi sự vật bắt đầu với hai nguyên tố đơn giản nhất – hydro và helium (cộng thêm một chút xiu lithium). Tất cả các dự đoán của mô hình ngụ ý rằng không có nguyên tố nặng hơn nào được tạo ra vào lúc bắt đầu. Điều này chắc chắn phù hợp với quan sát rằng hầu hết vũ trụ được cấu tạo từ hydro và helium ngay cả ngày nay.

Sự tiến hoá của Mặt Trời ảnh hưởng đến các điều kiện trên Trái Đất như thế nào? Trong khi Mặt Trời đã có vẻ ổn định một cách rõ rệt về kích thước và độ trưng qua lịch sử được ghi chép của con người, khoảng thời gian ngắn ngủi ấy không có nghĩa gì so với các loại thang thời gian mà chúng ta đã bàn luận. Chúng ta hãy xem xét các viễn cảnh dài hạn đối với hành tinh của chúng ta.

Mặt Trời nằm ở vị trí của nó với tư cách một sao trên chuỗi sao chính cách đây xấp xỉ 4,5 tỉ năm. Tại thời điểm đó, nó chỉ phát xạ khoảng 70% năng lượng mà nó bức xạ ngày nay. Như là hậu quả của những sự thay đổi trong nhân của nó bị gây ra do sự tích tụ helium, Mặt Trời sẽ tiếp tục gia tăng độ trưng khi nó già đi. Càng lúc càng nhiều bức xạ hơn nữa sẽ đi tới mỗi hành tinh. Sớm hay muộn – các mô hình khí quyển vẫn chưa đủ nóng để nói chính xác khi nào, nhưng các ước tính có phạm vi từ 500 triệu tới 2 tỉ năm – sự nóng lên được gia tăng này của Trái Đất sẽ gây ra một hiệu ứng nhà kính nhanh chóng. Các đại dương sẽ bắt đầu bốc hơi, dẫn đến nhiều đám mây và hơi nước hơn để giữ sức nóng. Trái Đất sẽ bắt đầu giống như Venus (Kim Tinh) ngày nay, và nhiệt độ sẽ trở nên quá cao đối với sự sống.

Mặt Trời cũng sẽ trương nở khi nó già đi, ban đầu từ từ khi nó hoàn tất giai đoạn trong chuỗi sao chính, rồi sau đó nhanh hơn khi nó di chuyển về phía trở thành một sao khổng lồ đỏ. Mặt Trời của chúng ta sẽ bắt đầu sự leo lên của nó trên sơ đồ H – R để trở thành một sao khổng lồ đỏ cách đây 6,5 tỉ năm. Trong 7,8 tỉ năm, nó sẽ phát triển đầy đủ về kích thước, nhấn chìm hành tinh Mercury (Thủy Tinh). Bề mặt của Venus (Kim Tinh) sẽ bị nấu chảy, và nhiệt độ trên Trái Đất sẽ lớn hơn 750°C. Nước đông cứng trên các vệ

trình của Jupiter (Mộc Tinh) sẽ bắt đầu tan ra.

Sau đó Mặt Trời sẽ trải qua một sự lóe sáng helium và hơi co lại, nhưng chỉ là tạm thời. Khi nó lại trở thành một sao khổng lồ, nó sẽ trương nở tới một bán kính 1 AU – kích thước của quỹ đạo Trái Đất ngày nay. Sao Thủy sẽ lại nằm bên trong Mặt Trời, sự ma sát với ngoại tầng khí quyển của Trái Đất sẽ làm cho hành tinh xoắn tròn vào bên trong cho tới khi nó bị bốc hơi hoàn toàn.

Tuy nhiên, Trái Đất và Sao Kim sẽ không bị nuốt chửng, bởi vì chúng sẽ không còn nằm trên quỹ đạo hiện thời của chúng nữa. Vào thời điểm ấy, Mặt Trời sẽ mất đi khoảng 40% khối lượng nhờ vào các luồng gió sao khổng lồ đỏ của nó. Cho nên lực hấp dẫn nó tác động sẽ nhỏ hơn, và kích thước của quỹ đạo Trái Đất (và quỹ đạo của các hành tinh khác) sẽ tăng lên một cách tương ứng. Trái Đất sẽ quay quanh quỹ đạo cách xa khoảng 1,7 AU. Mặt Trời sẽ sáng hơn gấp 5000 lần so với nó hiện giờ, và sẽ đun nóng Trái Đất tới nhiệt độ 1300°C – đủ nóng để làm tan chảy tất cả các vật liệu cứng như đá đã hình thành các lục địa.

Có thể tiên đoán rằng, căn cứ vào sự không có khả năng hoà đồng với nhau, nhân loại sẽ tự hủy diệt rất lâu trước khi Mặt Trời tiến hoá khiến cho Trái Đất trở thành không thể sinh sống được.

Nếu chúng ta sống sót qua một trăm triệu năm, nhân loại sẽ có thể rời khỏi Trái Đất, và hành tinh tổ tiên của chúng ta có thể trở thành, trong điều kiện tốt nhất, một thế giới bảo tàng đối với những thế hệ sau từ nhiều thế giới khác quay trở về tìm hiểu về nguồn gốc của mình. Thậm chí loài người chúng ta có thể di chuyển Trái Đất tới một vị trí an toàn hơn.

Tuy nhiên khi nhìn chung quanh trên Trái Đất, chúng ta thấy rất nhiều nguyên tố khác ngoài hydro và helium. Những nguyên tố này phải được hình thành ở đâu đó trong vũ trụ, và nơi duy nhất đủ nóng để tạo ra chúng là bên trong các sao. Một trong những khám phá cơ bản của thiên văn học thế kỷ XX là các sao là nguồn cung cấp vật liệu dồi dào cho Trái Đất và sự sống của chúng ta.

Việc đi đến hiểu biết các giai đoạn của sự sống của các sao khối lượng thấp, chúng ta đã thấy nơi mà carbon và oxy được tạo ra: Chúng là kết quả của sự tổng hợp bên trong các sao trở thành các sao khổng lồ đỏ. Nhưng các nguyên tố nặng hơn (chẳng hạn như silicon và sắt bên trong Trái Đất, hay vàng và bạc) bắt nguồn từ đâu? hoá ra là các nguyên tố nặng hơn như thế được hình thành trong sự tiến hoá sau đó của các sao lớn hơn.

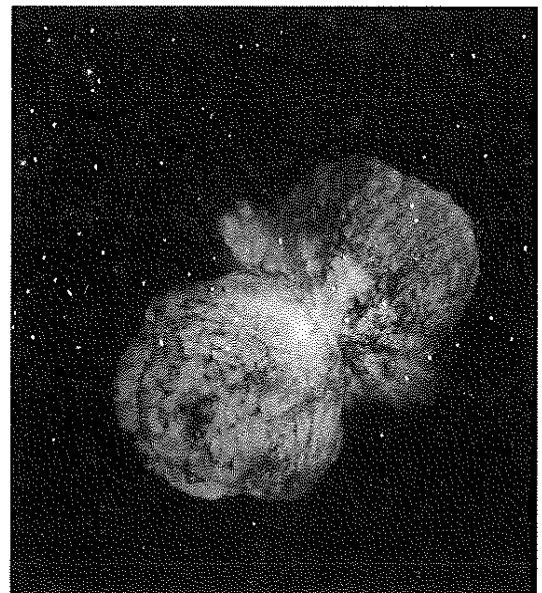
✧ HÌNH THÀNH CÁC NGUYÊN TỐ MỚI TRONG CÁC SAO LỚN

Các sao lớn tiến hoá theo cùng một cách mà Mặt Trời trải qua (nhưng lúc nào cũng nhanh hơn) – cho tới sự hình thành một nhân carbon-oxy.

Một sự khác biệt là đối với các sao gấp hai lần khối lượng của Mặt Trời, helium bắt đầu sự tổng hợp từ từ hơn, đúng hơn là với một sự lóe sáng bất ngờ. Cũng vậy, khi các sao lớn hơn trở thành các sao khổng lồ đỏ, chúng trở nên sáng và lớn đến nỗi chúng ta gọi là các sao siêu khổng lồ (supergiants). Các sao như thế có thể trương nở cho tới khi các vùng ngoại vi của chúng trở nên lớn bằng quỹ đạo của Sao Mộc, đó là những gì kính không gian Hubble đã mô tả đối với sao Betelgeuse. Chúng cũng mất đi

năng lượng rất rõ ràng, tạo ra các luồng gió mạnh và các vụ bùng nổ khi chúng già đi. Hình dưới trình bày một bức ảnh tuyệt vời của sao đỏ sộ Eta Carinae, với vô số vật liệu bị phún xuất.

Nhưng cách thức chủ yếu mà các sao đỏ sộ rẽ ra khỏi câu chuyện là chúng có thể bắt đầu những loại tổng hợp khác hơn trong nhân của chúng. Các lớp ngoại vi của một sao mà khối lượng lớn hơn gấp tám lần khối lượng Mặt Trời đủ nặng để nén ép phần nhân carbon-oxy cho tới khi nó trở nên đủ nóng để đốt cháy carbon. Tuy nhiên carbon có thể



Eta Carinae: Với khối lượng ít nhất gấp 100 lần khối lượng của Mặt Trời, sao siêu khổng lồ nóng Eta Carinae là một trong số các sao lớn nhất được biết. Ảnh được máy tính xử lý ở mức độ cao này do kính không gian Hubble ghi nhận hai thùy khổng lồ và cái đĩa vật liệu ở xích đạo được phún xuất trong quá trình tiến hóa. Vùng ngoại vi là vật liệu được phún xuất trong một vụ bùng nổ được nhìn thấy năm 1843, hiện tượng mất khối lượng lớn nhất được biết tới. Di chuyển xa ra khỏi sao với tốc độ khoảng 1000 km/s, nó rất dồi dào nitro và các nguyên tố khác được hình thành trong những phần bên trong của các sao đỏ sộ như thế. Vùng trắng xanh bên trong là vật liệu được phún xuất với tốc độ thấp hơn và do đó vẫn còn gần hơn với sao. Nó hiện ra trắng xanh bởi vì nó chứa bụi và phản xạ ánh sáng của Eta Carinae, mà độ trung là gấp 4 triệu lần độ trung của Mặt Trời.

tổng hợp thành thêm nhiều oxy cũng như neon, sodium, magnesium, và sau cùng là silic. Sau khi mỗi một nguồn nhiên liệu hạt nhân có thể bị cạn kiệt, phần nhân co lại cho tới khi nó đạt tới nhiệt độ đủ cao để dẫn đến sự tổng hợp của các hạt nhân còn nặng hơn.

Các nhà khoa học đã nhận thấy rằng những cơ chế qua đó gần như tất cả các nguyên tố hoá học của trọng lượng nguyên tử cho tới nguyên tố sắt có thể được tạo ra bởi sự tổng hợp hạt nhân (nucleosynthesis) này (sự hình thành của các hạt nhân nguyên tử mới) trong trung tâm của các sao siêu khổng lồ đỏ. Hơn nữa, các lý thuyết có thể dự đoán sự dồi dào tương đối xảy ra trong vũ trụ; nghĩa là, cách thức mà các sao tạo ra các nguyên tố trong đủ loại phản ứng tổng hợp có thể giải thích tại sao một số nguyên tố là phổ biến và số khác khá hiếm hoi.

Nhiều phản ứng này đã được các nhà vật lý hạt nhân quan tâm với mục đích ứng dụng sự hiểu biết về các phản ứng hạt nhân trên Trái Đất vào thế giới của thiên văn học. Đầu tiên là một nhóm do William Fowler của Viện Công nghệ California lãnh đạo, ông đã nhận giải thưởng Nobel 1983 về vật lý dành cho công trình của mình. Họ đã tường thuật rất rõ ràng việc các nguyên tố hoá học khác nhau xuất phát từ đâu.

♦ CÁC NGUYÊN TỐ TRONG CÁC QUẦN TINH CẦU VÀ QUẦN TINH PHÂN TÁN KHÔNG GIỐNG NHAU!

Sự kiện rằng các nguyên tố được tổng hợp trong các sao qua thời gian giải thích sự khác biệt quan trọng giữa các quần tinh cầu và quần tinh phân tán. Hydro và helium, các nguyên tố dồi dào nhất

trong các sao trong vùng lân cận của Mặt Trời, cũng là những thành phần cấu tạo dồi dào nhất trong các sao trong cả hai loại quần tinh. Tuy nhiên, sự phong phú chính xác của các nguyên tố nặng hơn helium là rất khác nhau.

Trong Mặt Trời và hầu hết các sao láng giềng của nó, sự phong phú phối hợp (bởi khối lượng) của các nguyên tố nặng hơn hydro và helium là từ 1 tới 4% của khối lượng sao.

Cường độ của các vạch nguyên tố nặng trong quang phổ của hầu hết các sao trong quần tinh phân tán chứng tỏ rằng, chúng cũng có từ 1 tới 4% vật chất trong dạng của các nguyên tố nặng. Tuy nhiên, các quần tinh phân tán là một câu chuyện khác. Sự dồi dào nguyên tố nặng của các sao trong các quần tinh cầu tiêu biểu được phát hiện là chỉ từ 1/10 tới 1/100 so với Mặt Trời.

Những sự khác biệt về thành phần hoá học này là hệ quả trực tiếp của việc các sao trong quần tinh được hình thành khi nào. Ban đầu ngay thế hệ đầu tiên của các sao chỉ chứa hydro và helium. Chúng ta đã thấy rằng các sao này, để sinh ra năng lượng, đã tạo ra các nguyên tố nặng hơn ở bên trong chúng. Trong những giai đoạn sau cùng của cuộc đời chúng, chúng phún xuất (hay phun ra) vật chất, giờ đây được làm giàu bằng các nguyên tố nặng, đi vào các bồn chứa vật liệu nguyên sinh giữa các vì sao. Vật chất như thế sau đó được kết hợp thành một thế hệ sao mới.

Điều này có nghĩa là sự dồi dào tương đối của các nguyên tố nặng phải càng lúc càng ít khi chúng ta nhìn xa hơn vào quá khứ. Chúng ta đã thấy rằng các quần tinh cầu già hơn các quần tinh phân tán. Bởi vì các sao trong quần tinh cầu hình

thành sớm hơn các sao trong các quần tinh phân tán, chúng chỉ có sự dồi dào tương đối nhỏ về các nguyên tố nặng hơn hydro và helium.

Khi Dải Ngân Hà càng lớn tuổi hơn, tỉ lệ của các nguyên tố nặng hơn tăng lên. Điều này có nghĩa là thế hệ đầu tiên của các sao đã hình thành trong Dải Ngân Hà không chắc chắn được đồng hành bởi một hành tinh giống như Trái Đất, đầy ắp silic, sắt, và các nguyên tố nặng khác. Trái Đất chỉ có thể có sau khi các sao có một cơ may tạo ra và tái tạo các nguyên tố nặng hơn của chúng.

♦ CÁI CHẾT ĐANG ĐẾN

So sánh với thời gian sống của các sao trên chuỗi sao chính, những diễn biến biểu hiện đặc điểm của các giai đoạn sau cùng trong sự tiến hoá của sao trải qua rất nhanh. Khi độ trung của sao gia tăng, mức độ tiêu thụ nhiên liệu hạt nhân của nó diễn ra nhanh chóng – ngay tại thời điểm đó trong cuộc đời của nó khi nguồn cung cấp nhiên liệu đang bắt đầu cạn dần.

Sau khi nhiên liệu đầu tiên, hydro, bị cạn kiệt trong nhân của sao, các nguồn năng lượng hạt nhân khác, có sẵn đối với sao – trong sự tổng hợp đầu tiên của helium và sau đó của các nguyên tố khác phức tạp hơn. Nhưng lượng năng lượng của các phản ứng này ít hơn rất nhiều so với số năng lượng của sự tổng hợp hydro thành helium. Và để kích thích các phản ứng này, nhiệt độ trung tâm phải cao hơn nhiệt độ cần thiết dành cho sự tổng hợp hydro thành helium, dẫn tới thậm chí sự tiêu thụ nhiên liệu nhanh hơn, và sự biến đổi nhanh hơn. Rõ ràng đây là một trò chơi thất bại, và sao tiến tới ngày tàn của nó rất nhanh chóng.

TÓM LƯỢC

13.1 Khi ban đầu các sao bắt đầu tổng hợp hydro thành helium, chúng ở trong *chuỗi sao chính zero tuổi (zero – age main sequence)*. Lượng thời gian sao trải qua trong giai đoạn chuỗi sao chính tùy thuộc vào khối lượng của nó. Sự tổng hợp hydro để hình thành helium làm thay đổi thành phần bên trong của sao, đến lượt nó dẫn đến những sự thay đổi về nhiệt độ, độ trung, và bán kính. Cuối cùng, khi các sao già đi, chúng tiến ra khỏi chuỗi sao chính để trở thành các sao khổng lồ đỏ. Phần nhân của sao khổng lồ đỏ đang co rút, nhưng các lớp ngoại vi đang trương nở như là kết quả của sự tổng hợp trong lớp vỏ bên ngoài nhân. Sao trở nên lớn hơn và đỏ hơn khi nó trương nở và lạnh đi.

13.2 Các tính toán chứng tỏ những gì xảy ra khi các sao già đi có thể được kiểm chứng bằng cách đo đạc đặc tính của các sao trong các quần tinh. Các thành viên của một quần tinh nhất định được hình thành cùng một lúc và có cùng thành phần cấu tạo, do vậy chúng chủ yếu khác biệt về khối lượng và vì thế về giai đoạn chúng đã đi tới trong cuộc đời của chúng. Có ba loại quần tinh. *Quần tinh cầu (globular clusters)* có đường kính từ 50 tới 300 LY (năm ánh sáng), chứa hàng trăm ngàn sao già, và được phân bố trong mặt phẳng của Dải Ngân Hà. *Quần tinh phân tán (open clusters)* tiêu biểu chứa hàng trăm sao từ trẻ cho tới trung niên, được phân bố trong mặt phẳng của Dải Ngân Hà, và có đường kính chưa tới 30 LY. *Các kết tụ sao (associations)* được tìm thấy

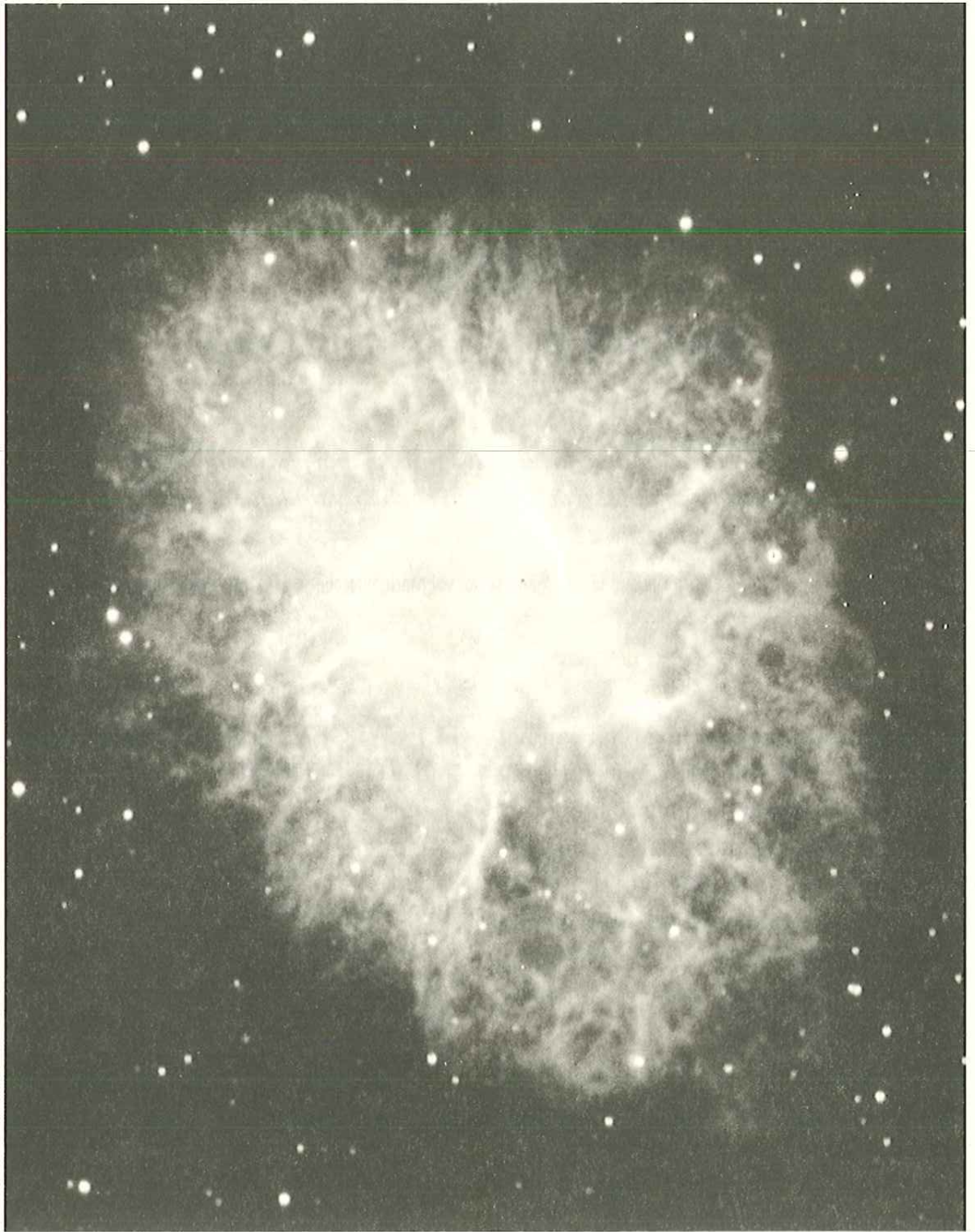
trong các vùng khí và bụi, và chứa các sao cực trẻ.

13.3 Sơ đồ H – R của các sao trong một quần tinh thay đổi một cách có hệ thống khi quần tinh càng già hơn. Các sao lớn nhất tiến hoá nhanh nhất. Trong các quần tinh và các kết tụ sao trẻ nhất, các sao xanh chiếu sáng mạnh nằm trên chuỗi sao chính, các sao với khối lượng thấp nhất nằm ở bên phải của chuỗi sao chính và vẫn còn đang co rút về phía nó. Cùng với thời gian trôi qua, các sao với khối lượng từ từ thấp hơn rẽ ra khỏi chuỗi sao chính. Trong các quần tinh phân tán, có tuổi tiêu biểu khoảng 13 tỉ năm, có các sao xanh không chiếu sáng gì cả. Các nhà thiên văn học có thể sử dụng điểm rẽ của chuỗi sao chính để quyết định tuổi của quần tinh.

13.4 Sau khi các sao trở thành các sao khổng lồ đỏ, phần nhân của chúng cuối cùng trở nên đủ nóng để tạo ra năng lượng bằng cách tổng hợp helium để hình thành carbon và oxy. Sự tổng hợp của ba hạt nhân helium tạo ra carbon qua *quá trình tam hợp alpha* (*triple alpha process*). Sự bắt đầu nhanh chóng của sự tổng hợp helium trong phần nhân của sao khối lượng thấp được gọi là *sự lóe sáng helium* (*helium flash*). Sau đó, sao trở nên ổn định và giảm bớt độ trung và kích thước của nó mau chóng. Trong các sao với khối lượng khoảng gấp hai lần khối lượng Mặt Trời hay ít hơn, sự tổng hợp dừng lại sau khi helium trong nhân đã bị cạn kiệt. Sự tổng

hợp hydro và helium trong các lớp vỏ chung quanh phần nhân đang co thắt khiến cho sao trở thành sao khổng lồ sáng chói một lần nữa, nhưng chỉ là tạm thời. Khi sao là một sao khổng lồ đỏ, nó có thể bỏ đi các lớp bên ngoài, do đó phơi trần các lớp nóng bên trong ra. *Các tinh vân hành tinh* (*planetary nebulae*) (không dính dáng gì với các hành tinh) là các lớp vỏ khí bị phún xuất bởi các sao như thế, bắt đầu tỏa sáng bởi bức xạ cực tím của sao trung tâm đang sụp đổ.

13.5 Trong các sao với khối lượng lớn hơn khoảng gấp tám lần khối lượng Mặt Trời, các phản ứng hạt nhân bao gồm carbon, oxy, và còn các nguyên tố nặng hơn có thể tạo ra các hạt nhân nặng như sắt. Sự tạo ra các nguyên tố này được gọi là *sự tổng hợp hạt nhân* (*nucleo-synthesis*). Các giai đoạn muộn màng của sự tiến hoá này diễn ra rất nhanh. Cuối cùng tất cả các sao phải sử dụng hết tất cả nguồn cung cấp năng lượng sẵn có của nó. Trong quá trình đang chết, hầu hết các sao phún xuất một số vật chất, dồi dào về các nguyên tố nặng, vào trong không gian giữa các vì sao ở đó nó có thể được sử dụng để hình thành các sao mới. Mỗi thế hệ kế tục của sao chứa một tỉ lệ lớn hơn của các nguyên tố nặng hơn hydro và helium. Sự dồi dào phong phú này giải thích tại sao các sao trong các quần tinh phân tán chứa nguyên tố nặng nhiều hơn các sao trong các quần tinh cầu, và cho chúng ta biết hầu hết các nguyên tử trên Trái Đất bắt nguồn từ đâu.



Tinh Vân Con Cua là tàn dư của một vụ bùng nổ sao được phát hiện đầu tiên năm 1054 sau Công nguyên. Được phân bố trong chòm sao Taurus (Kim Ngưu) cách xa khoảng 6500 LY, vật thể này là chìa khóa để hiểu biết cái chết của các sao đồ sộ và những gì xảy ra đối với vật liệu của chúng sau đó.

CHƯƠNG 14

CÁI CHẾT CỦA CÁC NGÔI SAO

“Anh ta bảo tôi nhìn vào bàn tay mình, vì một phần của nó bắt nguồn từ một ngôi sao đã bùng nổ cách đây rất lâu đến không thể tưởng tượng được”.

Ảnh hưởng của tia gamma đối với Marigolds con-người-trên-Mặt-Trắng

Cuối cùng các sao cũng phải cạn hết nhiên liệu. Mỗi sao chứa một số lượng nguyên tử khổng lồ – nhưng có hạn định, và chẳng sớm thì muộn, những nguyên tử nào đủ nóng sẽ bị tổng hợp thành các nguyên tố nặng hơn, có thể được tạo ra trong ngôi sao riêng biệt ấy. Những gì xảy ra khi một ngôi sao cạn hết năng lượng hạt nhân?

Không có nguồn cung cấp năng lượng nội tại, các ngôi sao cuối cùng chịu thua sức hút không lay chuyển được của trọng lực và sụp đổ dưới trọng lượng của nó. Sự sụp đổ ấy xảy ra như thế nào, và loại “xác” sao nào là hậu quả từ quá trình đó, tùy thuộc vào khối lượng sao vào thời điểm nó sụp đổ.

Hãy lưu ý rằng khối lượng của sao khi nó chuẩn bị chết – không phải khối lượng mà nó được sinh ra. Như chúng ta đã biết trong chương trước, các sao có thể mất đi một khối lượng đáng kể trong tuổi trung niên và tuổi già của chúng.

14.1 CÁI CHẾT CỦA CÁC SAO KHỐI LƯỢNG THẤP

Chúng ta hãy bắt đầu với các sao khối lượng thấp, khối lượng sau cùng của chúng, ngay trước khi chết, ít hơn khoảng 1,4 lần khối lượng của Mặt Trời, (đây là vạch phân chia chủ yếu trong một thời điểm). Hầu hết các sao trong vũ trụ ở vào loại này. Như chúng ta đã thấy, số lượng các sao giảm đi khi khối lượng gia tăng. Hơn nữa, nhiều ngôi sao với khối lượng ban đầu lớn hơn nhiều so với 1,4 khối lượng của Mặt Trời ($1,4 M_{\text{Sun}}$) sẽ bị giảm đi tới mức độ ấy vào thời gian chúng chết bởi quá trình mất khối lượng. Các mô hình lý thuyết chứng tỏ rằng các sao bắt đầu với $5 M_{\text{Sun}}$ hay ít hơn chắc chắn sẽ giảm xuống tới $1,4 M_{\text{Sun}}$ vào giai đoạn cuối. Thậm chí có thể là các sao với $10 M_{\text{Sun}}$ tìm cách mất đi đủ khối lượng để phù hợp với loại này.

✧ NGÔI SAO TRONG CƠN KHỦNG HOẢNG

Trong chương vừa qua, chúng ta để lại câu chuyện cuộc đời của một sao với khối lượng giống như khối lượng Mặt Trời ngay sau khi nó đã leo lên tới vùng sao khổng lồ đỏ của sơ đồ H – R trong lần thứ hai và đã lột bỏ một số lớp bên ngoài để hình thành một tinh vân hành tinh. Trong thời gian này, phần nhân của sao đang trải qua một “cuộc khủng hoảng năng lượng”. Ban đầu trong sự sống của nó, trong một giai đoạn ổn định ngắn ngủi, helium trong nhân đã trở nên đủ nóng để tổng hợp thành carbon (và oxy). Nhưng sau khi helium đủ nóng để thực hiện điều đó đã bị cạn, phần nhân của sao một lần nữa đã nhận thấy chính nó không còn nguồn áp suất để cân bằng với trọng lực, và do đó đã bắt đầu co rút.

Sự sụp đổ này là biến cố hủy hoại nhiều nhất (và cuối cùng) trong sự sống của nhân. Do khối lượng của sao tương đối thấp, nó luôn không thể có được nhiệt độ bên trong đủ nóng để bắt đầu chu kỳ tổng hợp khác (cách thức mà các sao khối lượng lớn hơn có thể). Vì thế phần nhân tiếp tục co rút cho tới khi nó bị nén ép rất nhiều. Với mật độ cao như thế, một cách thức mới và khác biệt để cho vật chất va chạm nhau và giúp sao đạt được trạng thái cân bằng sau cùng. Sự cân bằng này được hình thành chỉ sau khi phần nhân đã đạt tới một mật độ dường như bằng một triệu lần mật độ của nước! Trong quá trình ấy, những gì còn giữ lại của sao (sự mất đi khối lượng đã xảy ra) trở thành một trong những sao *lùn trắng* kỳ lạ mà chúng ta đã gặp trong Chương 9.

✧ CÁC SAO THOÁI HÓA

Bởi vì các sao lùn trắng đậm đặc hơn rất nhiều so với bất kỳ vật chất nào trên

Trái Đất, động thái của vật chất bên trong chúng khác biệt với bất kỳ điều gì chúng ta biết. Bị nén ép như thế, các electron chống lại và hình thành một áp suất mạnh mẽ bên trong phần nhân. Áp suất này là hậu quả của các qui luật cơ bản chi phối động thái của các electron. Theo những qui luật này, đã được xác định bằng cách nghiên cứu các electron hoạt động dưới các điều kiện của phòng thí nghiệm, không có hai electron nào có thể ở cùng một chỗ vào cùng một thời điểm làm cùng một việc. Chúng ta xác định nơi chốn của một electron qua vị trí chính xác của nó trong không gian và xác định nó đang làm những gì qua sự chuyển động của nó và chiều hướng nó đang xoay tròn.

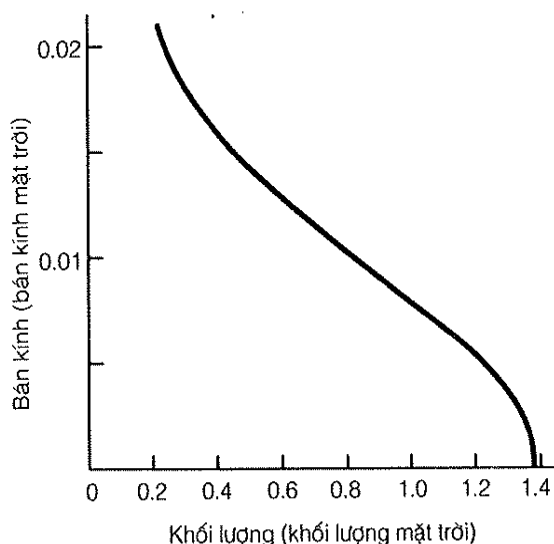
Nhiệt độ bên trong của một sao lúc nào cũng cao đến độ các nguyên tử bị tước hết các electron. Trong hầu hết cuộc đời của sao, mật độ của vật chất cũng tương đối thấp và các electron trong sao đang nhanh chóng di chuyển. Điều rất chắc chắn là bất kỳ hai electron nào trong chúng cũng sẽ không ở cùng một chỗ, di chuyển chính xác cùng một hướng, tại cùng một thời điểm. Nhưng điều này hoàn toàn thay đổi khi một sao cạn hết nguồn dự trữ năng lượng hạt nhân và bắt đầu sự sụp đổ cuối cùng.

Khi phần nhân của sao co rút, các electron bị nén ngày càng gần nhau hơn. Sau cùng một sao giống như Mặt Trời trở thành đậm đặc đến mức sự co rút thêm nữa sẽ đòi hỏi hai hay nhiều electron hơn vi phạm nguyên tắc chống lại việc chiếm giữ cùng một chỗ và di chuyển cùng một hướng. Một chất khí nóng và đậm đặc như thế được cho là bị *thoái hoá* (degenerate). Các electron trong chất khí thoái hoá chống lại sự nhồi nhét thêm nữa với áp suất mạnh hơn.

Các electron trong chất khí thoái hoá di chuyển đây đó, như các hạt trong bất kỳ chất khí nào, nhưng không được tự do nhiều. Một electron riêng lẻ không thể thay đổi vị trí hay động lượng cho tới khi một electron khác trong một vị trí kế cận tránh ra chỗ khác. Tình trạng rất giống như thế trong bãi đậu xe sau một trận bóng đá. Những chiếc xe được đậu gần nhau, và một chiếc xe hơi nào đó không thể di chuyển cho tới khi chiếc ở phía trước nó di chuyển, để lại một khoảng trống được lấp đầy. Dĩ nhiên, sao đang chết cũng có các hạt nhân nguyên tử chứ không chỉ các electron, nhưng trong giai đoạn này, chính sức ép của các electron sẽ làm ngưng lại sự nén ép thêm nữa.

✧ CÁC SAO LÙN TRẮNG

Các sao lùn trắng là các sao với phần nhân electron thoái hoá đã làm cho sao ổn định chống lại sự sụp đổ thêm nữa. Các tính toán chứng tỏ rằng các sao có thể làm điều đó, và những gì xảy ra đối



Liên hệ giữa khối lượng và bán kính của sao lùn trắng:
Các mô hình về cấu trúc của sao lùn trắng dự đoán rằng khi khối lượng của sao tăng lên (về phía phải), thì kích thước của nó ngày càng nhỏ hơn.

với các sao có khối lượng khác nhau, được thực hiện bởi nhà vật lý thiên thể S. Chandrasekhar. Ông có thể mô tả một sao sẽ co lại đến mức nào trước khi các electron thoái hoá dừng lại sự co rút của nó và do đó đường kính cuối cùng của nó sẽ là bao nhiêu. Hãy lưu ý rằng khối lượng của sao càng lớn, thì bán kính càng nhỏ.

Một sao lùn trắng với khối lượng giống như khối lượng của Mặt Trời có đường kính tương đương với đường kính của Trái Đất. Đây là một kích thước đáng kể đối với một sao và có nghĩa vật liệu của nó đã bị nén ép rất nhiều. Một muỗng cà-phê vật liệu của sao lùn trắng (nếu nó có thể được mang về Trái Đất trong trạng thái nén ép) sẽ nặng hơn một xe tải đầy rác.

Khi Chandrasekhar thực hiện các tính toán về các sao lùn trắng, ông nhận thấy một điều rất lạ lùng, được trình bày ở hình bên.

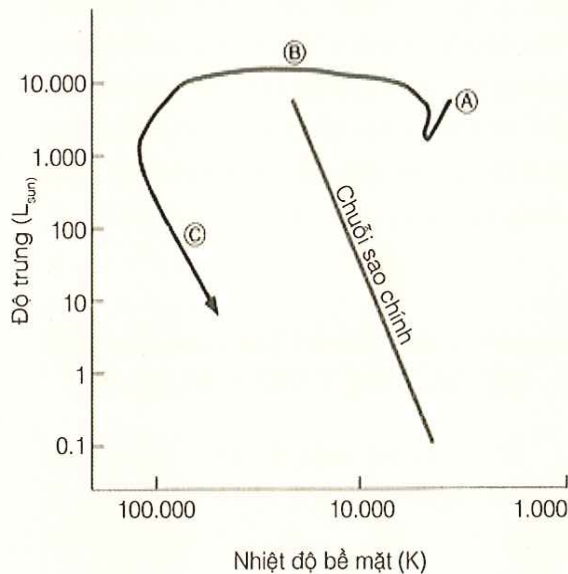
Kích thước của một sao lùn trắng co lại khi khối lượng tăng lên. Theo các mô hình lý thuyết tối ưu, sao lùn trắng với khối lượng khoảng $1,4 M_{\text{Sun}}$ hay lớn hơn sẽ có một bán kính bằng zero! Các tính toán cho chúng ta biết là ngay cả lực của các electron thoái hoá không thể làm ngưng sự sụp đổ của một sao với khối lượng lớn hơn thế này. Khối lượng tối đa mà một sao có thể có và vẫn trở thành một sao lùn trắng – $1,4 M_{\text{Sun}}$ – được gọi là *giới hạn Chandrasekhar*. Các sao với khối lượng vượt qua giới hạn này có một kiểu kết thúc khác về nguồn dự trữ.

✧ SỞ PHẬN CUỐI CÙNG CỦA CÁC SAO LÙN TRẮNG

Nếu sự ra đời của một sao trên chuỗi sao chính được xác định bởi sự bắt đầu

mạnh mẽ của các phản ứng hạt nhân, thế thì chúng ta phải coi sự kết thúc của toàn bộ các phản ứng hạt nhân là thời điểm cái chết của sao. Khi phần nhân được ổn định bởi sức ép của sự thoái hoá, một rung giật cuối cùng của sự tổng hợp trải qua bên ngoài của sao, tiêu thụ số hydro còn lại. Giờ đây ngôi sao đích thực là một sao lùn trắng: Nó không có một nguồn năng lượng nào nữa.

Bởi vì sao lùn trắng không thể co rút được nữa (hay tạo ra năng lượng qua sự



Đường tiến hoá dành cho một sao giống như Mặt Trời:

Sơ đồ này mô tả sự thay đổi về độ trung và nhiệt độ đối với một sao với khối lượng giống như Mặt Trời khi nó tới gần giai đoạn cuối của cuộc đời. Sau khi sao trở thành sao khổng lồ một lần nữa (điểm A trên sơ đồ), nó sẽ mất đi khối lượng ngày càng nhiều hơn khi phần nhân của nó bắt đầu sụp đổ. Sự mất đi khối lượng sẽ phơi trần phần nhân nóng bên trong ra, nhân này sẽ xuất hiện tại trung tâm của tinh vân hành tinh. Trong giai đoạn này, sao di chuyển ngang qua sơ đồ về phía bên trái khi nó ngày càng nóng hơn trong khi nó sụp đổ (điểm B trên sơ đồ). Ban đầu, độ trung còn giữ nguyên không đổi, nhưng khi sao bắt đầu co lại đáng kể, nó trở nên ngày càng kém sáng (điểm C). Giờ đây nó là một sao lùn trắng và sẽ từ từ lạnh đi cho tới khi tất cả phần dự trữ năng lượng còn lại của nó bị bức xạ hết. (Mô hình này giả định rằng Mặt Trời sẽ mất đi khoảng 46% khối lượng trong các giai đoạn sao khổng lồ: dựa trên các tính toán của Sackmann, Boothroyd và Kraemer).

tổng hợp), nguồn năng lượng duy nhất của nó là sức nóng được sinh ra bởi các chuyển động của các nhân nguyên tử ở bên trong nó. Ánh sáng nó phát xạ xuất phát từ sức nóng dự trữ bên trong là chủ yếu. Tuy nhiên, dần dần sao lùn trắng bức xạ tất cả sức nóng của nó vào không gian. Sau nhiều tỉ năm, các hạt nhân sẽ di chuyển càng chậm hơn nhiều, và sao lùn trắng sẽ không còn chiếu sáng nữa. Sau đó nó sẽ là *sao lùn đen* – một xác sao lạnh với khối lượng của sao và kích thước của hành tinh. Nó sẽ được cấu tạo hầu hết bằng carbon và oxy, các sản phẩm của hầu hết các phản ứng tổng hợp tiên tiến nhất mà ngôi sao có thể có.

Chúng ta có sự ngạc nhiên cuối cùng khi để lại ngôi sao khối lượng thấp trong nghĩa địa sao. Các tính toán chứng tỏ rằng khi một sao thoái hoá lạnh đi, các nguyên tử bên trong nó “cô đặc” thành một cái lưới khổng lồ, cô đọng (các nguyên tử được tổ chức giống như trong một tinh thể). Khi carbon bị nén ép và kết tinh theo cách này, nó trở thành kim cương (diamond). Một sao lùn trắng là món quà đính hôn gây ấn tượng nhất mà bạn có thể thấy.

✧ CHỨNG CỨ VỀ SỰ MẤT ĐI KHỐI LƯỢNG ĐÁNG KỂ

Những sao nào trở thành sao lùn trắng tùy thuộc vào việc khối lượng bị mất đi bao nhiêu trong sao khổng lồ đỏ và các giai đoạn trước đây của sự tiến hóa. Tất cả các sao có khối lượng dưới giới hạn Chandrasekhar khi chúng cạn hết nhiên liệu sẽ trở thành các sao lùn trắng, bất luận khối lượng của chúng là bao nhiêu khi mới chào đời. Chúng ta có chứng cứ gì về các sao bắt đầu với khối lượng lớn hơn đáng kể so với $1,4 M_{\text{Sun}}$ có

thể từ bỏ rất nhiều vật liệu trong tuổi già của chúng?

Một phương cách để xác định những sao nào có thể trở thành sao lùn trắng là nhìn vào các quần tinh phân tán còn trẻ.

Thí dụ, các quan sát chi tiết của NGC 1818, một quần tinh phân tán còn trẻ trong thiên hà lân cận của chúng ta, *Đám mây Magellan lớn*, chứng tỏ rằng các sao với khối lượng $7,5 M_{\text{Sun}}$ vẫn nằm trên chuỗi sao chính. Điều đó có nghĩa rằng chỉ có những sao với khối lượng lớn hơn mức này mới có thời gian để sử dụng hết nguồn cung cấp năng lượng hạt nhân của chúng và hoàn tất sự tiến hoá tới giai đoạn sao lùn trắng. Tuy nhiên, quần tinh phân tán này chứa ít nhất một sao lùn trắng. Điều này có nghĩa là ngôi

sao đã biến đổi thành sao lùn trắng phải có một khối lượng lớn hơn $7,5 M_{\text{Sun}}$ trên chuỗi sao chính, bởi vì các sao với khối lượng nhỏ hơn chưa có đủ thời gian để sử dụng hết năng lượng hạt nhân dự trữ. Cho nên, nó phải tổng khối lượng hơn $6 M_{\text{Sun}}$ để cho khối lượng của nó tại thời điểm mà sự phát sinh năng lượng hạt nhân dừng lại là ít hơn $1,4 M_{\text{Sun}}$.

Những cuộc quan sát về các quần tinh (và về nhiều hệ sao) đã thuyết phục các nhà thiên văn học rằng sự mất đi khối lượng là một nhân tố quan trọng trong đời sống của nhiều sao. Ngay cả các sao ban đầu khiến cho Mặt Trời của chúng ta trông giống như một vật thể nhẹ cân có thể kết thúc với khối lượng rất nhỏ vào giai đoạn cuối đến nỗi chúng sẽ chết theo cùng một cách mà Mặt Trời sẽ chết.



Sao lùn trắng trong quần tinh phân tán trẻ: Quần tinh được mô tả trong bức ảnh của kính Hubble nằm trong một thiên hà lân cận gọi là Đám mây Magellan Lớn (Large Magellanic Cloud), cách xa khoảng 160.000 LY. Quần tinh vào khoảng 40 triệu năm tuổi. Khi các nhà thiên văn học xây dựng sơ đồ H - R của nó, họ nhận thấy rằng các sao với khối lượng khoảng $7,5 M_{\text{Sun}}$ đúng là đang bắt đầu tiến ra khỏi chuỗi sao chính. Tuy nhiên, sao quay tròn là một sao lùn trắng, thành viên của quần tinh. Bởi vì một sao chỉ có thể trở thành một sao lùn trắng nếu nó có ít hơn $1,4 M_{\text{Sun}}$, sao này phải đã mất đi nhiều hơn sáu khối lượng Mặt Trời ($6 M_{\text{Sun}}$) giữa thời điểm nó rời khỏi chuỗi sao chính và thời điểm nó hoàn tất các giai đoạn tiến hoá của sao khổng lồ.

14.2 SỰ TIẾN HOÁ CỦA CÁC SAO ĐỎ SỘ: MỘT KẾT THÚC BÙNG NỔ

Nhờ vào sự mất đi khối lượng, các sao với khối lượng ít nhất $7,5$ (và có lẽ thậm chí 10) M_{Sun} có thể kết thúc cuộc đời của chúng như các sao lùn trắng. Nhưng chúng ta biết các sao có thể có khối lượng lớn bằng $150 M_{\text{Sun}}$. Số phận của các sao khối lượng lớn hơn thì như thế nào?

✧ SỰ TỔNG HỢP HẠT NHÂN CỦA CÁC NGUYÊN TỐ NẶNG

Như đã bàn luận trong Mục 13.5, chỉ sau khi helium trong phần nhân bị cạn kiệt thì sự tiến hoá của một sao đỏ sộ bắt đầu một quá trình khác biệt đáng kể so với quá trình của các sao khối lượng thấp hơn. Trong một sao lớn, trọng lượng của các lớp ngoại vi là đủ để thúc đẩy phần nhân carbon và oxy co rút cho tới khi nó

Sinh ra ở Lahore, Ấn Độ, vào năm 1910, Subrahmanyan Chandrasekhar (thường được gọi là Chandra) lớn lên trong một gia đình khuyến khích sự học hỏi. Bác của ông, C. V. Rama, là nhà vật lý đoạt giải thưởng Nobel 1930. Là một sinh viên sớm phát lộ tài năng, Chandra cố gắng đọc những tư tưởng mới nhất trong vật lý học và thiên văn học, mặc dù việc có được những cuốn sách kỹ thuật, ở Ấn Độ, vào thời đó, là không phải dễ. Ông tốt nghiệp đại học ở tuổi 19 và được một học bổng nghiên cứu ở Anh. Chính trong chuyến du hành bằng tàu tới trường nghiên cứu ông đã, lần đầu tiên, thực hiện các tính toán về cấu trúc của các sao lùn trắng.

Chandra đã khai triển các ý tưởng của ông rằng các sao lùn trắng với các khối lượng lớn hơn 1,4 lần khối lượng của Mặt Trời không thể tồn tại, và lý thuyết dự đoán được sự tồn tại của các loại xác sao khác. Các tính toán của ông chẳng bao lâu khiến ông mâu thuẫn với một vài nhà thiên văn học nổi tiếng, kể cả Sir Arthur Eddington. Tại một số cuộc hội nghị của các nhà thiên văn học, các chuyên gia trong ngành chẳng hạn như Henry Norris Russell đã từ chối để cho Chandra có cơ hội bảo vệ các ý tưởng của mình.

Tuy nhiên Chandra vẫn kiên trì làm sáng tỏ các lý thuyết, rốt cuộc không chỉ là đúng đắn, mà còn đặt nền móng cho sự hiểu biết hiện đại của chúng ta về cái chết của các sao. Năm 1983, ông nhận được giải Nobel về Vật lý cho công



trình đầu tiên này.

Năm 1937, Chandra tới Viện đại học Chicago. Ở đó, ông thực hiện những đóng góp quan trọng cho nhiều lãnh vực của thiên văn học – từ sự chuyển động của các sao qua Dải Ngân Hà cho tới cách hoạt động (hay động thái) của các vật thể lạ lùng gọi là các lỗ đen (xem Chương 15). Vào năm 1999, NASA đặt tên cho kính viễn vọng tia X thế hệ thứ hai quay trên quỹ đạo (được thiết kế một phần để khảo sát các xác sao) là Đài quan sát Chandra (Chandra Observatory).

Chandra cũng có sự say mê sâu sắc với âm nhạc, hội họa, và triết học. Ông nhấn mạnh rằng “người ta có thể am hiểu khoa học theo cái cách mà người ta hưởng thụ âm nhạc hay hội họa... Heisenberg đã có một câu nói tuyệt diệu “rùng mình trước vẻ đẹp”... đó cũng là cảm giác mà tôi có”.

trở thành đủ nóng để tổng hợp carbon thành neon. Chu kỳ co rút, làm nóng, và đốt cháy nhiên liệu hạt nhân khác này được lặp lại vài lần nữa. Sau khi mỗi loại nhiên liệu hạt nhân có thể có bị cạn kiệt, phần nhân co lại một lần nữa, cho tới khi đạt tới một nhiệt độ cao đủ để tổng hợp các hạt nhân còn nặng hơn. Các sao to lớn trải qua các giai đoạn này hết sức nhanh – nhanh hơn nhiều so với các giai đoạn trên chuỗi sao chính và sao khổng

lồ đỏ. Trong các sao thực sự đồ sộ, một số giai đoạn tổng hợp về phía giai đoạn cuối cùng có thể chỉ diễn tiến trong vài tháng thậm chí vài ngày!

Quá trình âm thầm tạo ra các nguyên tố do sự tổng hợp này tiếp diễn trong bao lâu? Hoá ra có một giới hạn: Sự tổng hợp silicon thành sắt là bước cuối cùng trong chuỗi âm thầm tạo ra nguyên tố. Cho tới thời điểm này, một hệ quả chủ yếu của mỗi phản ứng tổng hợp là *phóng thích*

năng lượng, bởi vì hạt nhân của mỗi sản phẩm của sự tổng hợp ổn định hơn một chút so với các hạt nhân đã hình thành nó. Như đã biết trong Chương 7, các hạt nhân nhẹ tỏa ra một số năng lượng liên kết của chúng trong quá trình tổng hợp thành các hạt nhân kết dính chặt hơn, nặng hơn. Chính năng lượng được phóng thích này giúp cho ngôi sao giữ được trạng thái cân bằng. Nhưng đối với tất cả các hạt nhân đã biết, sắt là hạt nhân kết chặt nhất và do đó ổn định nhất.

Có thể dẫn tới tình huống: Tất cả các hạt nhân nhỏ hơn muốn “trưởng thành” để trở thành sắt, và tình nguyện phóng thích năng lượng để đạt mục tiêu ấy. Nhưng sắt là hạt nhân trưởng thành với dung lượng hoàn hảo, để trở thành sắt; nó *đòi hỏi* phải hấp thụ năng lượng để thay đổi cấu trúc hạt nhân bền vững của nó. Đây đúng là sự đối nghịch về những gì đã xảy ra trong các phản ứng hạt nhân: thay vì cung cấp năng lượng để cân bằng với sức hút vào bên trong

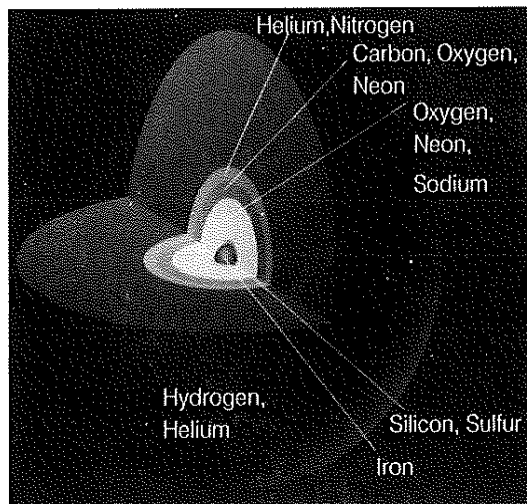
của trọng lực, bất cứ phản ứng hạt nhân nào liên quan đến sắt sẽ lấy đi một số năng lượng từ phần nhân của sao.

Ở giai đoạn tiến hoá này, một sao lớn giống như một củ hành với phần nhân chứa sắt. Khi chúng ta đi ra xa hơn từ trung tâm, chúng ta nhận thấy các lớp vỏ với nhiệt độ đang giảm trong đó các phản ứng hạt nhân liên quan tới các hạt nhân với khối lượng tuần tự thấp hơn – silicon và lưu huỳnh, oxy, neon, carbon, helium, và cuối cùng là hydro – đang diễn ra. Những gì xảy ra khi phần nhân sắt không thể còn hoạt động như một nguồn năng lượng dành cho sao?

✧ SỰ SỤP ĐỔ THÀNH MỘT QUẢ CẦU NEUTRON

Thực vậy, một sao đồ sộ tạo ra một sao lùn trắng trong trung tâm của nó, ở đó không xảy ra một phản ứng hạt nhân nào. Đối với các sao bắt đầu sự tiến hoá với các khối lượng ít nhất là $10 M_{\text{Sun}}$, sao lùn trắng này được cấu tạo từ sắt. Đối với các sao với khối lượng ban đầu trong phạm vi từ 8 tới $10 M_{\text{Sun}}$, sao lùn trắng hình thành phần nhân được cấu tạo từ oxy, neon, và magnesium bởi vì ngôi sao không bao giờ đủ nóng để hình thành các nguyên tố nặng như sắt. Dù thành phần cấu tạo của nó là gì, sao lùn trắng được bao bọc trong trung tâm của sao đồ sộ được các electron thoái hoá hỗ trợ chống lại sự sụp đổ thêm nữa do trọng lực.

Trong khi không có năng lượng nào được sinh ra trong phần nhân sao lùn trắng của sao đồ sộ, sự tổng hợp vẫn xảy ra trong các lớp vỏ bao quanh phần nhân. Khi các lớp vỏ chấm dứt các phản ứng tổng hợp của chúng và ngừng tạo ra năng lượng, các lớp tro tàn của phản ứng sau cùng rơi vào phần nhân sao lùn trắng, làm tăng khối lượng của nó. Như



Cấu trúc của một sao lớn đã già: Ngay trước khi sự sụp đổ cuối cùng do trọng lực, một sao lớn giống như một củ hành. Phần nhân sắt bị bao bọc bởi các lớp silicon và sulfur, oxy, neon, carbon trộn lẫn với một số oxy, helium, và cuối cùng là hydro. (Lưu ý rằng sơ đồ này không chính xác về tỉ lệ, nhưng nó có ý nghĩa chuyển tải ý tưởng tổng quát về một ngôi sao như thế).

đã mô tả, khối lượng cao hơn nghĩa là phần nhân nhỏ hơn. Phần nhân có thể co lại bởi vì ngay cả một chất khí thoái hoá hầu hết vẫn là khoảng không gian trống rỗng. Các electron và các hạt nhân nguyên tử, nói cho cùng, là cực kỳ nhỏ bé. Các electron và các hạt nhân nguyên tử trong phần nhân của sao có thể bị nhồi nhét chặt ních so với không khí trong phòng bạn, nhưng vẫn có nhiều khoảng trống giữa chúng.

Các electron, ban đầu, chống lại việc bị nhồi nhét gần nhau hơn và vì thế phần nhân chỉ co lại một chút. Tuy nhiên, cuối cùng, phần nhân sắt đạt đến một khối lượng lớn đến nỗi ngay cả các electron thoái hoá cũng không thể giữ cho nó khỏi bị sụp đổ. Khi mật độ đạt tới $4 \times 10^{11} \text{ g/cm}^3$ (400 tỉ lần mật độ của nước), một số electron thực sự bị nén ép vào các hạt nhân nguyên tử, ở đó chúng kết hợp với các proton để hình thành neutron. (Điều này chỉ có thể xảy ra ở các mật độ quá lớn được phát hiện trong các sao đang sụp đổ). Một số electron giờ đây đã mất, vì vậy khả năng của phần nhân kềm hãm lại khối lượng đang bị tan nát của các lớp bên ngoài của sao càng bị giảm sút nhiều hơn. Sự sụp đổ trở thành một tai họa. Các hạt nhân nguyên tử hấp thụ các electron ngày càng nhiều hơn, và cuối cùng trở nên bão hoà với các neutron mà chúng không thể giữ chặt được.

Tại thời điểm này, các neutron bị ép ra khỏi các hạt nhân nguyên tử và có thể sinh ra một lực mới. Cũng như các electron, các neutron chống lại việc ở cùng một nơi và di chuyển cùng một hướng. Lực có thể được sinh ra bởi các *neutron thoái hoá* như thế lớn hơn nhiều so với lực được sinh ra bởi các electron thoái hoá, do vậy chúng có thể chống lại

được sự sụp đổ. Các tính toán chứng tỏ rằng giới hạn cao hơn về khối lượng của các sao được cấu tạo chỉ bằng neutron là khoảng $3 M_{\text{Sun}}$.

Nói khác đi, nếu phần nhân đang sụp đổ có khối lượng ít hơn $3 M_{\text{Sun}}$, nó có thể đạt tới trạng thái ổn định như một quả cầu bị nát vụn cấu tạo bằng neutron, mà các nhà thiên văn học gọi là *sao neutron*. Tuy nhiên, nếu khối lượng của phần nhân lớn hơn giới hạn này, ngay cả sự thoái hoá của neutron cũng không thể ngăn phần nhân khỏi bị sụp đổ và ngôi sao trở thành một thứ gì đó bị nén ép, một cách lạ lùng, gọi là *lỗ đen*.

♦ SỤP ĐỔ VÀ BÙNG NỔ

Sự sụp đổ xảy ra khi các electron bị hấp thụ vào trong các hạt nhân, rất nhanh chóng. Trong chưa đầy một giây, phần nhân, ban đầu, tương đương đường kính của Trái Đất, sụp đổ xuống tới một đường kính ít hơn 20 km. Tốc độ mà các vật liệu rơi vào đạt tới một phần tư vận tốc của ánh sáng. Sự sụp đổ chỉ ngừng lại khi mật độ của phần nhân vượt quá mật độ của một nhân nguyên tử (là dạng đậm đặc nhất của vật chất mà chúng ta biết). Một sao neutron tiêu biểu bị nén ép đến nỗi để mô phỏng mật độ của nó, thì chúng ta sẽ phải ép tất cả mọi người trên thế giới vào một *giọt nước mưa*. Điều đó sẽ cho chúng ta một giọt nước mưa tương tự một sao neutron.

Do sự thoái hoá của neutron, phần nhân đậm đặc này mạnh mẽ chống lại sự nén ép thêm nữa, đột ngột ngưng sự sụp đổ. Sự kích động của cú sốc đột ngột sinh ra những làn sóng khắp các lớp bên ngoài của ngôi sao, khiến cho các lớp bên ngoài ấy tung ra thành một vụ nổ dữ dội gọi là *siêu tân tinh* (supernova).

Gần đây, các mô hình và các cuộc quan sát của chúng ta về siêu tân tinh đã đưa chúng ta tới việc hiểu rõ rằng những hạt hạ nguyên tử lúc ẩn lúc hiện gọi là *neutrino*, được giới thiệu trong Chương 7, đóng một vai trò chủ yếu tại thời điểm này. Mỗi lần một electron và một proton hợp nhất để hình thành một neutron trong phần nhân đang sụp đổ, “liên hợp” đó phóng thích một neutrino. Do đó chúng ta hy vọng vô số hạt neutrino được sinh ra rất nhanh khi sao neutron hình thành.

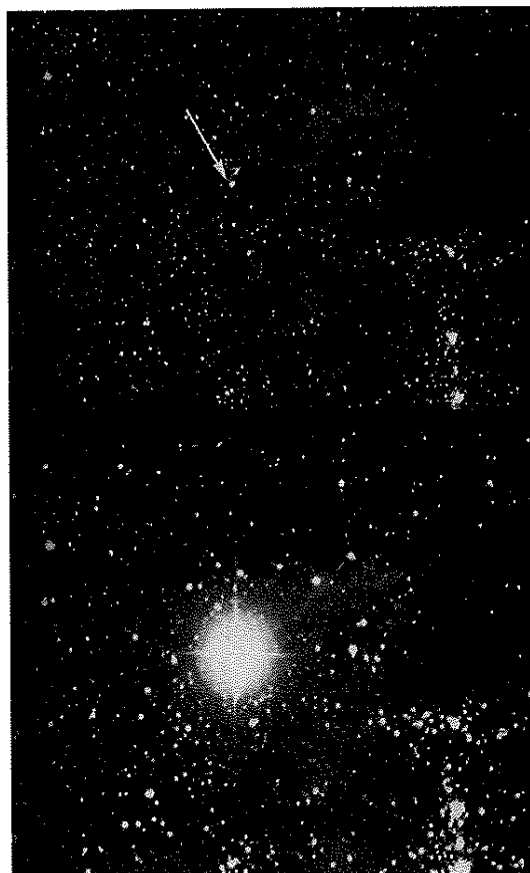
Trong khi thông thường các hạt neutrino không tương tác với các vật chất bình thường, vật chất trong phần nhân của một sao đang sụp đổ bị nén ép nhiều hơn nữa và do đó có nhiều khả năng hơn để tương tác với một sự bùng nổ khổng lồ của các hạt neutrino. Hiện nay, chúng ta tin rằng hơn 90% năng lượng của một vụ nổ siêu tân tinh có thể bị các hạt neutrino mang đi. Chúng cũng có thể chịu trách nhiệm về việc thổi tung phần còn lại của ngôi sao ra ngoài ngay cả trong lúc trọng lực đang kéo mọi thứ vào bên trong.

Bất luận cơ chế chi tiết liên quan đến sự bùng nổ của ngôi sao là như thế nào, chúng ta biết rằng những vụ nổ siêu tân tinh như thế luôn xảy ra bởi chúng ta có thể quan sát chúng trong Dải Ngân Hà cũng như trong các thiên hà khác. Khi chúng xảy ra gần bên, chúng có thể nằm trong số những hiện tượng vũ trụ ngoạn mục nhất. (Lưu ý rằng có ít nhất hai loại bùng nổ siêu tân tinh khác nhau; loại chúng ta đã mô tả được gọi là các siêu tân tinh loại II (Type II supernovae). Chúng ta sẽ trình bày các loại khác nhau trong Mục 14.4).

Bảng ở trang sau tóm lược những gì xảy ra với các sao có các khối lượng ban

đầu khác nhau tại giai đoạn cuối của cuộc đời chúng. Bảng liệt kê này giới thiệu một báo cáo về sự tiến triển, điều tốt nhất mà chúng ta có thể thực hiện với các mô hình và các cuộc quan sát.

Các giới hạn về khối lượng tương ứng với nhiều kết quả khác nhau có thể thay đổi một chút khi các mô hình được cải tiến. Có nhiều điều chúng ta chưa hiểu về các chi tiết của những gì xảy ra khi các sao chết đi.



Một sao bùng nổ: Chúng ta thấy các bức ảnh trước và sau của vùng chung quanh Siêu tân tinh 1987A trong Đám mây Magellan Lớn. Một mũi tên chỉ vào ngôi sao đã bùng nổ. Đặt một mũi tên như thế ở đó sau vụ nổ là điều dễ dàng; các nhà thiên văn học chỉ mong muốn những mũi tên như thế xuất hiện vượt trước thời gian để chúng ta có thể biết sao nào là sao sẽ bùng nổ kế tiếp. Sự khác biệt về chất lượng ảnh giữa các bức hình này là do hiệu ứng của khí quyển Trái Đất, nó ổn định hơn khi các tấm kính ảnh được dùng để tạo ra bức hình tiền siêu tân tinh được chụp.

Số phận sau cùng của các sao với khối lượng khác nhau:

Khối lượng ban đầu (Khối lượng Mặt Trời = 1)	Trạng thái sau cùng ở giai đoạn cuối của cuộc đời
< 0,01	Hành tinh
0,01 tới 0,08	Sao lùn nâu
0,08 tới 0,25	Sao lùn trắng được cấu tạo phần lớn từ helium
0,25 tới 8 – 10	Sao lùn trắng được cấu tạo hầu hết từ carbon và oxy
8 – 10 tới 12	Sao lùn trắng được cấu tạo từ oxy–neon–magnesium ^(*)
12 tới 40	Sự bùng nổ siêu tân tinh để lại một sao neutron
> 40	Sự bùng nổ siêu tân tinh để lại một lỗ đen

^(*) Các sao trong phạm vi khối lượng này có thể tạo ra một loại siêu tân tinh khác với siêu tân tinh chúng ta đã xem xét.

✧ QUAN SÁT CÁC SIÊU TÂN TINH

Các siêu tân tinh được khám phá rất lâu trước khi các nhà thiên văn học hiểu ra rằng các biến cố lớn lao này đánh dấu cái chết của các sao. Từ *nova* có nghĩa là “mới” trong tiếng Latin; trước khi có các kính viễn vọng, khi một sao quá mờ nên không được nhìn thấy bằng mắt thường đột nhiên lóe sáng lên trong sự bùng nổ rực rỡ, các nhà quan sát kết luận rằng nó phải là một sao mới ra đời. Các nhà thiên văn học thế kỷ XX phân loại lại các vụ bùng nổ với độ trung bên trong lớn nhất như là các *siêu tân tinh*.

Từ những ghi nhận lịch sử, từ những nghiên cứu về tàn tích của các vụ nổ siêu tân tinh trong Dải Ngân Hà, và từ những phân tích về siêu tân tinh trong các thiên hà khác, chúng ta ước tính rằng, trung bình, một vụ nổ siêu tân tinh xảy ở một nơi nào đó trong Dải Ngân Hà trong khoảng thời gian 25 tới 100 năm. Tuy nhiên, không có vụ nổ siêu tân tinh nào được phát hiện trong Dải Ngân Hà kể từ khi phát minh ra kính viễn vọng. Hoặc chúng ta đã không may mắn, hoặc rất có

thể những vụ nổ gần đây đã xảy ra trong các khu vực của Dải Ngân Hà, nơi đó ánh sáng bị ngăn chặn không đến được với chúng ta do bụi sao.

Với độ sáng tối đa, các siêu tân tinh sáng chói nhất có khoảng 10 tỉ lần độ trung của Mặt Trời. Trong một thời gian ngắn ngủi, một siêu tân tinh có thể chiếu sáng toàn bộ thiên hà trong đó nó xuất hiện. Sau khi độ sáng lên tới mức tối đa, sao mờ nhạt dần và biến mất khỏi tầm nhìn của kính viễn vọng trong vòng một vài tháng hay vài năm. Tại thời điểm bùng nổ, các siêu tân tinh có thể phóng ra vật liệu với vận tốc tiêu biểu 10.000 km/s (và tốc độ gấp đôi độ cao ấy đã được quan sát). Tốc độ 20.000 km/s tương ứng với khoảng 44 triệu mi/h (dặm/giờ), thật sự là một biểu hiện sức mạnh vĩ đại của vũ trụ.

✧ SIÊU TÂN TINH GIVETH VÀ SIÊU TÂN TINH TAKETH AWAY

Khi hầu hết vật liệu trước kia là một phần của sao bị thổi tung vào không gian do vụ nổ siêu tân tinh, đời sống của

Trong khi nhiều vụ nổ siêu tân tinh trong Dải Ngân Hà đã xảy ra nhưng không được chú ý, một vài vụ nổ ngoạn mục đến nỗi được các sử gia ghi chép rõ ràng vào thời điểm ấy. Chúng ta có thể sử dụng các ghi chép này, ngược về hai thiên niên kỷ, để giúp xác định các sao đang bùng nổ ở nơi nào và do đó để tìm kiếm các tàn tích của chúng vào ngày nay.

Siêu tân tinh gây ấn tượng mạnh nhất được quan sát vào năm 1006 sau Công nguyên. Nó xuất hiện vào tháng 5 như là một điểm sáng chói lọi nhìn thấy được vào ban ngày, có lẽ sáng hơn Sao Kim (Venus) 100 lần. Nó sáng đủ để rọi các bóng trên mặt đất vào ban đêm trên khắp châu Âu và châu Á. Không có ai đã nhìn thấy bất cứ điều gì giống như thế trước đó; các nhà thiên văn học Trung Hoa, ghi nhận rằng đó là một cảnh tượng độc đáo và gọi nó là một "sao khách".

Các nhà thiên văn học David Clark và Richard Stephenson đã tìm ra 20 bản tường thuật về 1006 siêu tân tinh. Điều này cho phép họ xác định nơi mà vụ nổ đã xảy ra trong bầu trời. Họ đặt nó vào chòm sao hiện đại Lupus; gần vị trí mà họ đã xác định, chúng ta tìm thấy một xác siêu tân tinh, hiện nay hoàn toàn mờ nhạt. Theo cách mà các sợi tia đang vươn ra, nó có vẻ đã 1000 năm tuổi.

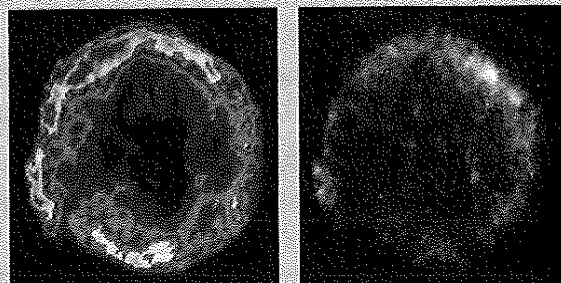
Một sao khách khác được ghi chép rõ ràng trong hồ sơ lưu trữ của Trung Hoa vào tháng Bảy năm 1054 sau Công nguyên. Tàn tích của sao ấy, gọi là Tinh vân Con cua (Crab Nebula), được mô tả trong ảnh mở đầu chương này. Nó là một vật thể phức tạp phi thường, mà việc nghiên cứu nó là chìa khoá để hiểu biết về cái chết của các sao đồ sộ. Chúng ta ước tính rằng nó sáng như hành tinh Sao Mộc, không bất ngờ như hiện tượng xảy ra trong năm 1006 nhưng hoàn toàn gây ấn tượng cho bất kỳ ai theo dõi các vật thể trên bầu trời. Thí dụ, có một số bằng chứng cho rằng những người châu Mỹ bản địa ở New Mexico đã ghi chép ngôi sao mới với mặt trăng lưỡi liềm ở kề bên trên một bức



tranh trong hang động. Một siêu tân tinh khác, mờ hơn, được nhìn thấy vào năm 1181 sau Công nguyên.

Siêu tân tinh kế tiếp được nhìn thấy vào tháng 11 năm 1572, và sáng hơn Sao Kim (Venus), được một số nhà quan sát phát hiện, kể cả Tycho Brahe. Các phép đo cẩn thận của ông về ngôi sao qua một năm rưỡi chứng tỏ rằng nó không phải là một sao chổi hay một thứ gì đó trong khí quyển Trái Đất, bởi vì nó không di chuyển tương đối với các sao. Ông suy ra một cách chính xác rằng nó phải là một hiện tượng thuộc về thế giới của các sao, chứ không phải của hệ mặt trời. Tàn tích của siêu tân tinh của Tycho (như hiện nay nó được gọi) vẫn có thể được phát hiện trong nhiều dãy phổ điện từ khác nhau. Johannes Kepler, người kế tục sự nghiệp khoa học của Tycho Brahe, tìm thấy siêu tân tinh của mình vào năm 1604. Mờ yếu hơn siêu tân tinh của Tycho, tuy nhiên nó vẫn được nhìn thấy trong khoảng một năm.

Chẳng hề có một siêu tân tinh nào được phát hiện trong Dải Ngân Hà trong 300 năm qua. Bởi vì sự bùng nổ của một siêu tân tinh có thể thấy được là một sự kiện ngẫu nhiên, không có cách gì để nói khi nào một sự kiện kế tiếp có thể xảy ra.



Vài quang cảnh của siêu tân tinh năm 1572 của Tycho Brahe. (a) Một bản đồ thông cáo về một "sao mới" từ năm 1573. (b) Một bản đồ hiện đại của bức xạ vô tuyến từ lớp vỏ tương đối của chất khí bị phun xuất do sự bùng nổ của siêu tân tinh. Các màu sắc khác nhau tương ứng với các cường độ khác nhau của bức xạ vô tuyến, được tạo ra do các electron cực mạnh hồi chuyển trong một từ trường. Không có một nguồn lực trung tâm nào được tìm thấy; rõ ràng chẳng hề có thứ gì còn lại của sao đã bùng nổ. Là các mảnh vụn từ vụ nổ tung ra, nó phun trào vào chất khí giữa các vì sao đang bao quanh, tạo ra các nhiệt độ rất cao. Vật liệu bị kích động rực sáng trong tia X, như được mô tả ở đây trong bức ảnh được ghi nhận bằng vệ tinh tia X Rosat.

một sao đồ sộ đi tới kết thúc. Nhưng cái chết của mỗi sao khổng lồ là một biến cố quan trọng trong lịch sử thiên hà của nó. Các nguyên tố được tạo ra bởi sự tổng hợp trong suốt cuộc đời của sao giờ đây “được tái sinh” vào trong không gian do sự bùng nổ, làm cho chúng trở thành có sẵn (sau đó) để hình thành các sao mới và hành tinh mới. Bởi vì nhiều vật liệu sao bị mất đi vào trong không gian và bởi vì sự phun trào mãnh liệt hơn nhiều, cái chết của một sao lớn là một sự tái sinh hiệu quả hơn nhiều của quặng sao mới được tạo ra so với cái chết êm dịu hơn của một sao khối lượng thấp. (Tuy nhiên, các sao khối lượng thấp có nhiều hơn so với các sao khối lượng cao là loại tạo ra các siêu tân tinh).

Ý tưởng cho rằng vật liệu của siêu tân tinh trở thành một phần quan trọng của các thế hệ sao sau này không đơn thuần là sự suy đoán. Chúng ta đã thấy trong Chương 12 rằng sự va chạm di chuyển ra bên ngoài của vụ nổ siêu tân tinh nén ép các đám mây giữa các vì sao, và do đó có thể giúp khởi sự quá trình hình thành sao. Có một số chứng cứ trong thành phần chi tiết của các thiên thạch cổ xưa chứng tỏ rằng sự hình thành hệ mặt trời của chúng ta được kích động bởi một siêu tân tinh trong vùng không gian lân cận cách đây khoảng 5 tỉ năm.

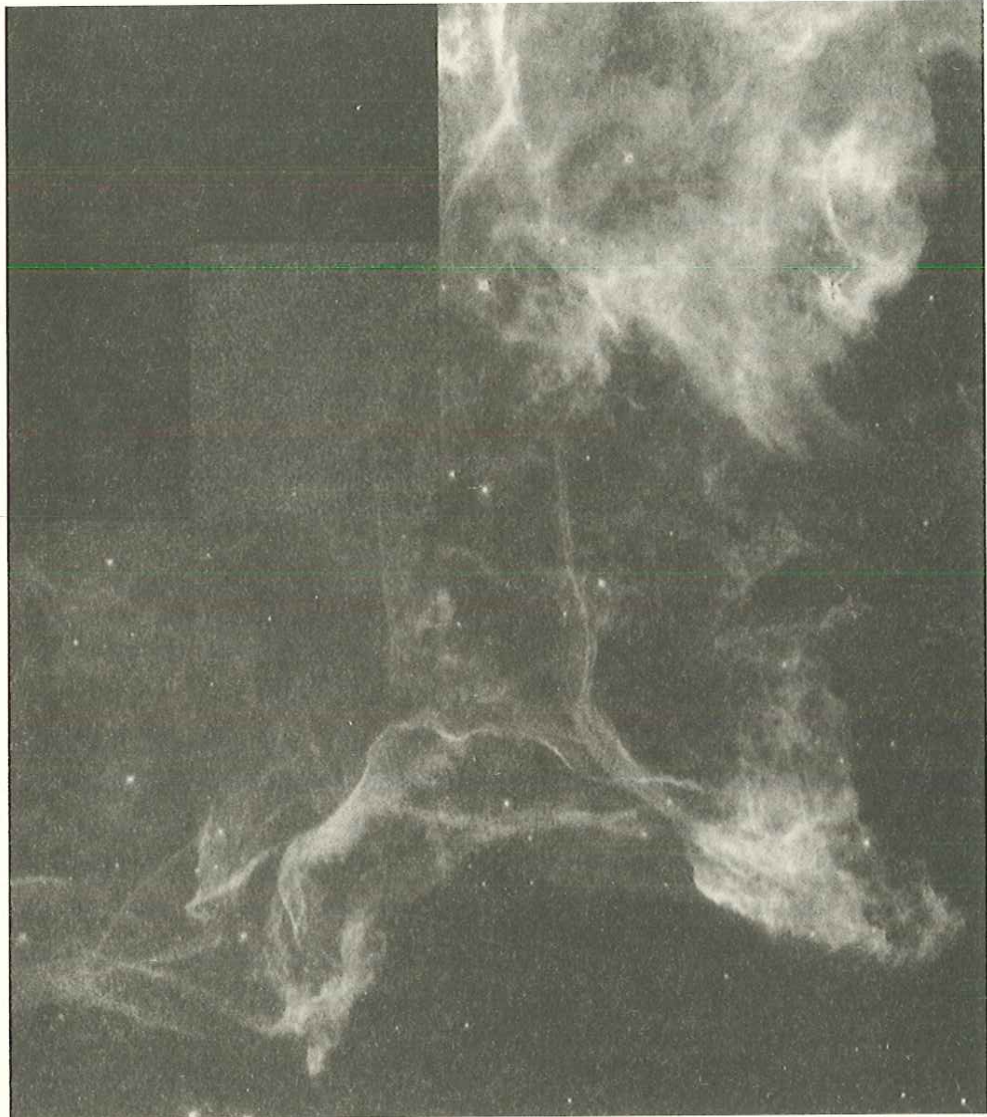
Nhưng sự bùng nổ của siêu tân tinh có một sự đóng góp sáng tạo nữa, sự đóng góp mà chúng ta đã ám chỉ trong chương trước khi chúng ta thắc mắc các nguyên tử trong đồ trang sức của con người, như vàng và bạc, bắt nguồn từ đâu. Sự bùng nổ của siêu tân tinh tạo ra một dòng chảy neutron mãnh liệt tuôn đổ qua vật liệu đang giãn nở. Những neutron này có thể được hấp thụ bởi các hạt nhân sắt và các

hạt nhân khác, ở đó chúng có thể chuyển đổi thành các proton. Vì thế chúng tạo ra các nguyên tố còn lớn hơn sắt, kể cả vàng và bạc. (Đây là cơ sở duy nhất để chúng ta biết từ đâu các nguyên tử như vàng và uranium có thể được tạo ra).

Khi các siêu tân tinh bùng nổ, các nguyên tố này (cũng như các nguyên tố mà sao tạo ra trong các thời điểm ổn định hơn) được phun trào vào chất khí hiện hữu giữa các sao và trộn lẫn với nó. Cùng với tinh vân hành tinh, các siêu tân tinh đóng vai trò quan trọng trong việc hình thành nguồn cung cấp các nguyên tố hoá học trong vũ trụ. Nếu không có chúng thì loài người chúng ta cũng sẽ không hiện hữu.

Hơn nữa, các siêu tân tinh được coi là nguồn hạt năng lượng cao của *tia vũ trụ* (cosmic ray) được bàn luận trong Mục 11.5. Bị từ trường của Dải Ngân Hà thu hút, các hạt từ các sao bùng nổ tiếp tục luân chuyển quanh vòng xoắn vĩ đại của Dải Ngân Hà. Các nhà khoa học suy luận rằng các tia vũ trụ tốc độ cao chạm vào chất liệu di truyền của các sinh vật trên Trái Đất qua hàng tỉ năm có thể đã góp phần vào những sự *đột biến* (mutation) đều đặn – những thay đổi tinh vi trong mã di truyền – điều khiển sự tiến hoá của sự sống trên hành tinh chúng ta. Trong tất cả các cách thức này, các siêu tân tinh đã đóng một vai trò trong sự phát triển của các thế hệ sao mới, các hành tinh, và sự sống.

Nhưng, giống như những nhiều biến cố sáng tạo khác, các siêu tân tinh cũng có mặt trái của nó. Giả sử một dạng sự sống không may phát triển chung quanh một sao bất ngờ nằm gần một sao khổng lồ được số phận định đoạt trở thành một siêu tân tinh có thể bị chấm dứt khi sự



Vòng Cygnus: Chúng ta thấy một phần nhỏ của một xác siêu tân tinh già, ảnh do kính không gian Hubble chụp. Các chất khí rực sáng đánh dấu rìa của một làn sóng nổ giống như bột được tạo ra bởi một vụ nổ sao xảy ra cách đây khoảng 15.000 năm và hiện nay có đường kính rộng xấp xỉ 130 năm ánh sáng. Ở đây chúng ta thấy một vùng nơi mà vụ nổ, di chuyển từ trái sang phải, đã chạm vào một đám mây hơi đậm đặc hơn của chất khí giữa các vì sao, và khiến cho nó tỏa sáng. Vụ nổ của siêu tân tinh đang trộn lẫn các nguyên tử của nó với các nguyên tử có sẵn trong không gian giữa các sao, và nén ép chất khí để giúp cho sự hình thành các thế hệ sao mới.

bức xạ mãnh liệt và các hạt năng lượng cao từ vụ nổ đi tới thế giới của chúng. Nếu, như một số nhà thiên văn học suy luận, sự sống có thể phát triển trên nhiều hành tinh chung quanh các sao sống lâu (khối lượng thấp), thì sự thích hợp của riêng ngôi sao và hành tinh của sự sống ấy có thể không phải là vấn đề đối với sự

tiến hoá và sinh tồn lâu dài của nó. Sự sống cũng có thể đã hình thành quanh một số sao ổn định thích hợp chỉ bị tiêu diệt do một sao ở gần trở thành siêu tân tinh. Giống như các trẻ em sinh ra trong một khu vực chiến tranh có thể là nạn nhân vô tội của những người láng giềng hung bạo, sự sống quá gần với một vì

sao trở thành siêu tân tinh có thể cũng sẽ là nạn nhân.

Khoảng cách an toàn tính từ một vụ nổ siêu tân tinh là bao nhiêu? Phần nhiều tùy thuộc vào sự dữ dội của sự bùng nổ cụ thể, nó là loại siêu tân tinh nào, và mức độ tàn phá nào. Các tính toán nêu ra rằng một siêu tân tinh cách xa chúng ta chưa tới 50 năm ánh sáng chắc chắn sẽ kết liễu tất cả sự sống trên Trái Đất, thậm chí một siêu tân tinh cách xa 100 năm ánh sáng cũng sẽ có những hậu quả khốc liệt về bức xạ trên Trái Đất.

Điều may mắn là hiện tại không có những sao khổng lồ có triển vọng trở thành các siêu tân tinh cách xa Mặt Trời trong vòng 50 năm ánh sáng. (Điều này một phần là do các loại sao khổng lồ trở thành các siêu tân tinh nói chung là hiếm hoi). Sao khổng lồ gần chúng ta nhất, Spica (trong chòm sao Virgo), cách xa khoảng 260 năm ánh sáng, có lẽ là một khoảng cách an toàn.

Các ý tưởng của chúng ta về các siêu tân tinh thường là nỗi lo âu. Chúng ta có những chứng cứ nào chứng tỏ rằng các vụ nổ siêu tân tinh thực sự dẫn đến những hậu quả như vậy? Thông tin tốt nhất của chúng ta xuất phát từ một biến cố được quan sát vào năm 1987.

♦ SIÊU TÂN TINH 1987A

Trước bình minh ngày 24 tháng 2 năm 1987, Ian Shelton, nhà thiên văn học Canada đang làm việc tại một đài thiên văn ở Chilê, rút một tấm kính ảnh ra khỏi thuốc tráng phim. Hai đêm trước, ông đã bắt đầu một cuộc thăm dò Đám mây Magellan Lớn, một thiên hà nhỏ nằm trong số các láng giềng gần nhất trong không gian của Dải Ngân Hà. Trên

kính ảnh của mình, Shelton xem xét kỹ Tinh vân Taranbula, một vùng khí rực sáng ở đó đang xảy ra sự hình thành sao. Gần bên, nơi lẽ ra chỉ có những sao mờ yếu, ông đã nhìn thấy một đốm sáng lớn. Ban đầu nghĩ rằng bức ảnh có sai sót, Shelton đi ra ngoài trời để nhìn lên Đám mây Magellan Lớn – và thấy một vật thể mới thực sự đã xuất hiện trên bầu trời. Ngay lập tức ông hiểu ra mình đã khám phá được một siêu tân tinh – một siêu tân tinh có thể được nhìn thấy bằng mắt thường, cho dù thực ra nó cách xa 160.000 năm ánh sáng.

Giờ đây được biết dưới cái tên SN 1987A, bởi vì nó là siêu tân tinh được khám phá vào năm 1987, kể mới đến rực rỡ sáng chói này trong bầu trời phương nam đem đến cho các nhà thiên văn học cơ hội đầu tiên để nghiên cứu cái chết của một vì sao tương đối gần. Tất cả các kính viễn vọng trên Trái Đất và trong không gian đã quay về phía siêu tân tinh. Bởi vì Shelton (và một số nhà quan sát khác cùng đêm hôm đó) đã chợt thấy vì sao ngay khi nó đang tắt lịm, cuối cùng các lý thuyết gia có thể kiểm chứng các tính toán chi tiết của họ về việc các sao khổng lồ chết đi như thế nào với các dữ liệu thu thập được tại nhiều bước sóng khác nhau.

Bằng cách kết hợp lý thuyết và sự quan sát, các nhà thiên văn học đã tái hiện câu chuyện sự sống của sao đã trở thành siêu tân tinh SN 1987A. Hình thành cách đây khoảng 10 triệu năm, ban đầu nó có khối lượng khoảng $20 M_{\text{Sun}}$ (khối lượng của Mặt Trời). Trong 90% cuộc đời, nó lẳng lặng sống trong chuỗi sao chính, biến đổi hydro thành helium. Vào giai đoạn này, độ trung của nó vào khoảng 60.000 lần độ trung của

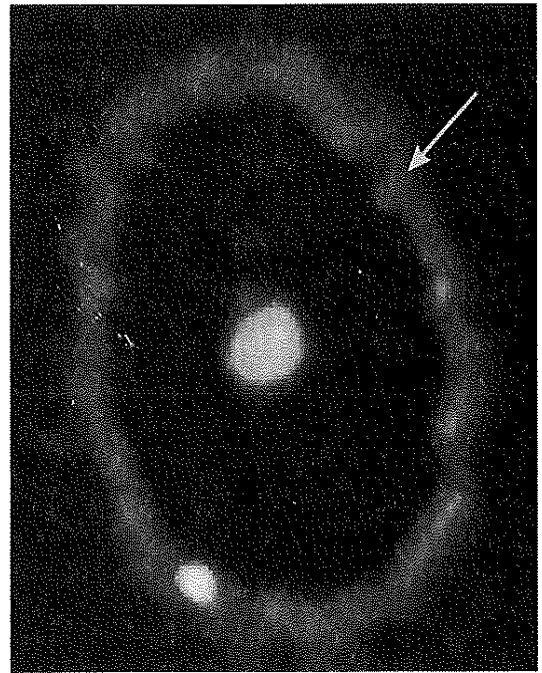
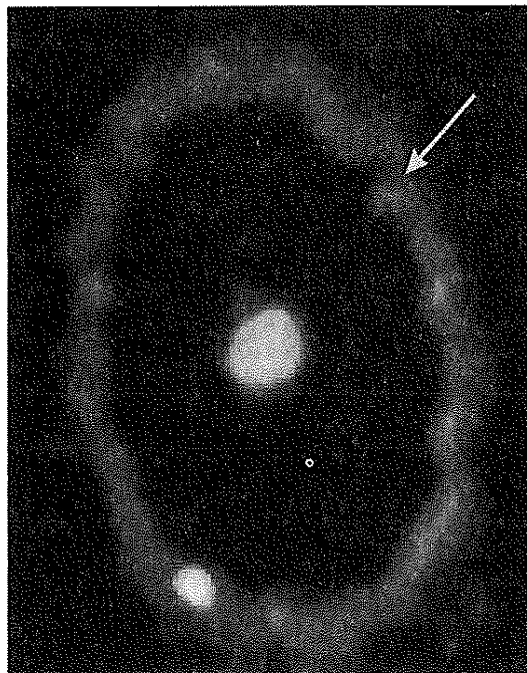
Mặt Trời (L_{Sun}), và phổ loại của nó là O. Nhiệt độ trong phần nhân của nó vào khoảng 40 triệu K, và mật độ trung tâm khoảng chừng 5 g/cm^3 , hay khoảng gấp 5 lần mật độ của nước.

Hãy lưu ý các mô hình mà chúng ta đang bàn luận: Mỗi giai đoạn tiến hoá xảy ra nhanh hơn giai đoạn trước, nhiệt độ và áp suất trong phần nhân gia tăng, và các nguyên tố tuần tự nặng hơn là nguồn năng lượng của sự tổng hợp.

Vào thời điểm hydro bị cạn kiệt tại trung tâm của sao, phần nhân helium gấp 6 lần khối lượng của Mặt Trời đã phát triển, và sự tổng hợp hydro đang tiến hành trong lớp vỏ bao quanh nhân này. Phần nhân co lại và nóng hơn cho tới khi đạt tới nhiệt độ là 170 triệu K và

mật độ là 900 g/cm^3 ! Tại thời điểm này, helium bắt đầu tổng hợp để hình thành carbon và oxy. Bề mặt của sao nở ra tới một bán kính khoảng 100 triệu km, kém hơn một chút so với khoảng cách từ Trái Đất tới Mặt Trời. Độ trung của sao gần bằng gấp đôi, tới $100.000 L_{\text{Sun}}$, và nó trở thành một sao siêu khổng lồ đỏ. Trong khi trong giai đoạn này ngôi sao mất đi một phần khối lượng của nó. Vật liệu này thực sự đã được dò ra bởi kính không gian Hubble. Ánh sáng của siêu tân tinh được phản xạ từ nó và lớp vỏ nổ tung hiện nay đang bắt đầu va chạm với nó.

Sự tổng hợp helium kéo dài chỉ trong khoảng 1 triệu năm, hình thành một phần nhân carbon và oxy với khối lượng khoảng gấp 4 lần khối lượng của Mặt Trời. Khi



Sự nổ siêu tân tinh và chạm với lớp vỏ trước đây: Các hình ảnh của kính Hubble này về vùng ngay chung quanh siêu tân tinh 1987A được chụp vào năm 1994 (trái) và năm 1997 (phải). Chúng chứng tỏ rằng vật liệu từ vụ nổ năm 1987 đang bắt đầu đi tới vòng vật liệu rộng lớn hơn nhiều được phún xuất trước đây khoảng 30.000 năm. Vòng lớn hơn này đã trở thành nhìn thấy được với kính Hubble năm 1990, bởi vì ánh sáng của siêu tân tinh bị phản xạ từ nó. Vệt sáng được nhìn thấy trong phía phải bên trên của vòng trong bức hình gần đây hơn là khu vực của một sự va chạm mạnh mẽ giữa phần bên trong của vòng và sóng nổ di chuyển ra bên ngoài do sự bùng nổ của siêu tân tinh tạo ra. Sự va chạm làm nóng chất khí và khiến cho nó tỏa sáng rực rỡ hơn. Đây là dấu hiệu đầu tiên của một sự va chạm dây ấn tượng và mãnh liệt xảy ra giữa các vật liệu cũ và mới trải qua vài năm kế tiếp.

helium bị sử dụng hết tại trung tâm của sao, phần nhân co rút một lần nữa, bề mặt cũng giảm bớt bán kính, và ngôi sao trở thành một sao siêu khổng lồ xanh với độ trung còn khoảng ngang với $100.000 L_{\text{Sun}}$. Đây là những gì mà nó còn trông giống như ở bên ngoài khi nó bùng nổ. Khi phần nhân đang co rút đạt tới nhiệt độ 700 triệu K và mật độ 150.000 g/cm^3 , các phản ứng hạt nhân bắt đầu biến đổi carbon thành neon, sodium và magnesium. Giai đoạn này chỉ kéo dài khoảng 1000 năm.

Phần nhân, đang cạn kiệt carbon với vai trò là nhiên liệu, co rút và đun nóng một lần nữa – lần này tới nhiệt độ 1,5 tỉ K và mật độ 10 triệu g/cm^3 . Các giai đoạn kế tiếp trong sự tổng hợp, sự biến đổi neon thành oxy và magnesium, và sau đó oxy thành silicon và lưu huỳnh, chỉ kéo dài trong vài năm. Tại nhiệt độ 3,5 tỉ K và mật độ 10^8 g/cm^3 , sắt bắt đầu hình thành.

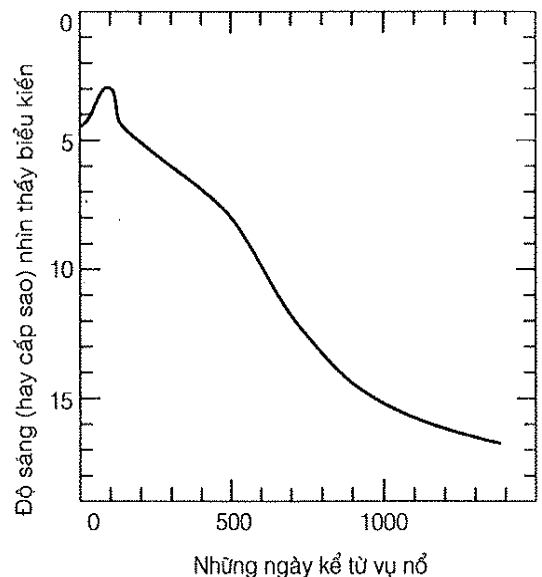
Một khi sắt đã được tạo ra, sự sụp đổ bắt đầu. Đó là một sự sụp đổ thảm hại, chỉ kéo dài một vài phần mười giây; tốc độ sụp xuống ở phần bên ngoài của nhân sắt đạt tới 70.000 km/s , khoảng một phần tư tốc độ của ánh sáng.

Trong lúc đó, các lớp vỏ ngoài của neon, helium, và hydro trong ngôi sao chưa biết về sự sụp đổ. Thông tin về sự chuyển động vật lý của các lớp khác di chuyển qua một sao với tốc độ âm thanh và không thể đi tới bề mặt trong vài phần mười giây cần thiết cho sự sụp đổ của phần nhân xảy ra. Do đó các lớp bề mặt của ngôi sao tóm tắt bị treo lơ lửng, giống như một nhân vật biếm họa rơi ra khỏi rìa của vách đá và trong chốc lát treo lơ lửng giữa không gian trước khi hiểu ra rằng không còn được chống đỡ bởi bất cứ thứ gì.

Sự sụp đổ của phần nhân tiếp tục cho tới khi các mật độ tăng lên gấp nhiều lần mật độ của hạt nhân nguyên tử. Sau đó sự chống cự lại với sự sụp đổ thêm nữa trở thành lớn đến nỗi phần nhân nẩy bật trở lại. Vật liệu đang rơi chạy vào một “bức tường gạch” của phần nhân đang nẩy bật lại và bị ném văng ra ngoài với một làn sóng xung kích (hay sóng chấn động) hết sức lớn. Các hạt neutrino tuôn ra khỏi phần nhân, giúp cho sóng xung kích phá tung ngôi sao ra từng mảnh. Sóng xung kích đi tới bề mặt của sao vài giờ sau đó, và sao bắt đầu rực sáng thành siêu tân tinh mà Ian Shelton đã quan sát vào năm 1987.

✧ SỰ TỔNG HỢP CÁC NGUYÊN TỐ NẶNG

Các biến đổi về độ sáng của siêu tân tinh 1987A, được trình bày trong sơ đồ bên dưới, giúp xác định các ý tưởng của chúng ta về sự tạo ra nguyên tố nặng.



Sự thay đổi về độ sáng của siêu tân tinh 1987a theo thời gian: Hãy chú ý mức độ suy tàn chậm dần như thế nào giữa những ngày 40 và 500. Trong thời gian này độ sáng chủ yếu là do năng lượng được phát xạ bởi các nguyên tố phóng xạ mới hình thành (và phân rã nhanh).

Chỉ trong một ngày, sao vọt lên cao về độ sáng theo hệ số khoảng 1000 và trở thành nhìn thấy được ngay cả khi không có kính viễn vọng. Sau đó sao tiếp tục từ từ gia tăng độ sáng cho tới khi nó ngang bằng với cấp sao biểu kiến (hay độ lớn biểu kiến) như các sao trong chòm Tiểu Hùng (Little Dipper).

Cho tới khoảng ngày 40 sau vụ bùng nổ, năng lượng đang được bức xạ ra ngoài do chính vụ nổ tạo ra. Nhưng sau đó siêu tân tinh 1987A không tiếp tục mờ nhạt đi, vì chúng ta đã hy vọng ánh sáng từ vụ nổ làm điều đó. Trái lại, siêu tân tinh 1987A vẫn sáng chói, vì một nguồn năng lượng mới từ các nguyên tố phóng xạ mới hình thành đã tham gia vào cuộc chơi.

Một trong số các nguyên tố hình thành trong sự bùng nổ siêu tân tinh là nickel phóng xạ, với nguyên tử khối là 56 (nghĩa là, tổng số proton cộng với neutron trong nhân của nó là 56). Nickel-56 không bền vững và thay đổi một cách tự phát, với chu kỳ bán phân rã là 6 ngày, thành cobalt-56. (Chu kỳ bán phân rã có nghĩa là thời gian nó cần có để cho phân nửa số hạt nhân trong một mẫu trải qua sự phân rã phóng xạ). Đến lượt cobalt-56 phân rã với chu kỳ bán phân rã khoảng 77 ngày thành sắt-56, bền vững. Các tia gamma mạnh mẽ được phát xạ khi các hạt nhân phóng xạ này phân rã; sau đó chúng được sử dụng như một nguồn năng lượng mới đối với các lớp đang trương nở. Các tia gamma đã được hấp thụ trong chất khí bao phủ và tái phát xạ với các bước sóng nhìn thấy được, giữ cho các tàn tích của sao sáng chói.

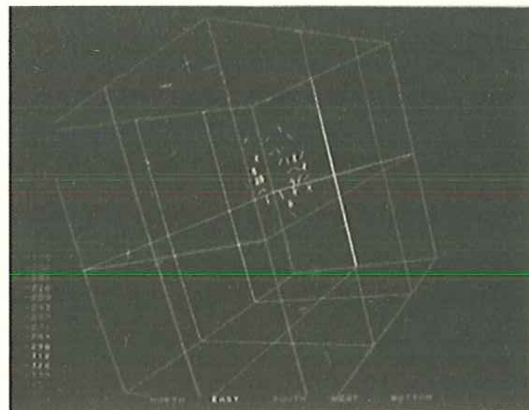
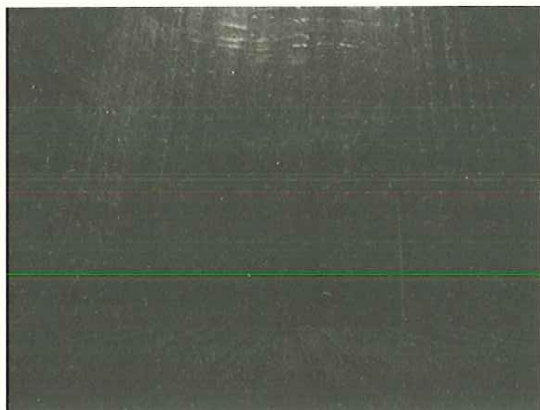
Như bạn có thể thấy trong sơ đồ, các nhà thiên văn học đã quan sát sự chiếu

sáng bắt nguồn từ các hạt nhân phóng xạ trong vài tháng đầu tiên theo sau vụ nổ của siêu tân tinh, và sau đó đã thấy ánh sáng phụ tắt đi khi ngày càng nhiều hạt nhân phóng xạ phân rã thành sắt bền vững. Sự đốt nóng của tia gamma rõ ràng có liên quan đến tất cả các bức xạ được phát hiện từ siêu tân tinh 1987A sau ngày thứ 40. Một số tia gamma cũng thoát đi trực tiếp mà không bị hấp thụ. Những tia gamma này được phát hiện bởi các kính viễn vọng bay quanh Trái Đất với các bước sóng được mong đợi dành cho sự phân rã của nickel và cobalt phóng xạ, xác nhận một cách rõ ràng lý thuyết về các nguyên tố mới được hình thành trong cái "lò luyện kim" của siêu tân tinh.

♦ CÁC HẠT NEUTRINO TỪ SIÊU TÂN TINH 1987A

Nếu có thể quan sát từ Đám mây Magellan Lớn cách đây 160.000 năm, sự bùng nổ mà chúng ta gọi là siêu tân tinh 1987A sẽ là một cảnh tượng rực rỡ trong bầu trời. Tuy nhiên hiện nay chúng ta biết rằng chưa tới 1/10 của 1% năng lượng của vụ nổ xuất hiện như ánh sáng thấy được. Khoảng 1% năng lượng cần thiết để phá hủy ngôi sao, và phần còn lại được các hạt neutrino mang đi. Toàn bộ năng lượng trong các hạt neutrino này thật là khủng khiếp. Trong giây đầu tiên, độ trung toàn phần của chúng là 10^{46} W, vượt qua độ trung của tất cả các sao trong tất cả các thiên hà trong phần vũ trụ mà chúng ta có thể quan sát. Và siêu tân tinh sinh ra năng lượng ấy trong một thể tích có đường kính chưa đầy 50 km! Siêu tân tinh vượt xa những biến cố mãnh liệt nhất trong vũ trụ.

Một trong những kết quả hấp dẫn nhất từ những cuộc quan sát về siêu



Máy dò Neutrino: (Trái) Máy dò neutrino dưới hồ Erie có 2048 ống nhạy sáng được bố trí chung quanh một cái bồn chứa 8000 tấn nước tinh khiết. (Phải) Một màn hình hiển thị do máy tính tạo ra mô tả một trong số những cuộc dò neutrino vào ngày 23/02/1987. Những chữ thập và vạch xiên gần trung tâm mô tả những ống nào bị kích thích do sự đi qua của neutrino.

tân tinh 1987A là các nhà vật lý đã phát hiện ra các hạt neutrino của siêu tân tinh này, do đó có được sự xác định mạnh mẽ rằng các tính toán lý thuyết về những gì xảy ra khi một ngôi sao bùng nổ là thực sự chính xác. Các neutrino được phát hiện bởi hai thiết bị, gọi là “các kính viễn vọng neutrino” (“neutrino telescopes”), hầu như trước các cuộc quan sát của Shelton trọn một ngày. (Đó là bởi vì các hạt neutrino thoát ra khỏi sao đang bùng nổ dễ dàng hơn ánh sáng và cũng bởi vì bạn không cần đợi cho tới khi đêm xuống để thấy chúng). Cả hai loại kính viễn vọng neutrino, thì một loại nằm sâu trong một hầm mỏ ở Nhật Bản, còn loại kia nằm dưới hồ Erie, bao gồm vài ngàn tấn nước tinh khiết được bao quanh bởi vài trăm máy dò nhạy sáng. Các hạt neutrino đang đi tới tương tác với nước để tạo ra các hạt positron và electron. Các hạt positron và electron này di chuyển nhanh chóng qua nước và phát xạ ánh sáng màu xanh thẫm.

Hệ thống của Nhật Bản dò được 11 hiện tượng neutrino qua một khoảng thời

gian 13 giây, và thiết bị dưới hồ Erie đo được 8 hiện tượng cùng thời gian ấy. Bởi vì các kính viễn vọng neutrino đặt ở Bắc Bán Cầu và siêu tân tinh xảy ra ở Nam Bán Cầu, các neutrino bị phát hiện đã đi qua Trái Đất và đang trên đường trở lại không gian thì bị chặn lấy!

Chỉ có một số ít neutrino bị phát hiện, bởi vì xác suất mà chúng có thể sẽ tương tác với các chất thông thường là vô cùng thấp. Người ta ước tính rằng siêu tân tinh thực tế phóng thích 10^{58} neutrino. Một phần nhỏ xiu của con số này, khoảng 50 tỉ, đi qua mỗi 1 cm^2 của bề mặt Trái Đất. Khoảng 1 triệu người thực sự chịu một sự tương tác neutrino bên trong cơ thể như là hậu quả của siêu tân tinh. Sự tương tác này xảy ra với chỉ một hạt nhân duy nhất trong mỗi cá nhân và do đó đã không bị một ảnh hưởng sinh học nào; nó diễn ra mà người có liên quan hoàn toàn không hay biết.

Bởi các neutrino trực tiếp đi từ trung tâm của siêu tân tinh, năng lượng của chúng cung cấp một thước đo nhiệt độ của phần nhân khi sao đang bùng nổ. Nhiệt độ trung tâm vào khoảng 200 tỉ

K, một con số gây choáng váng. Với các kính viễn vọng neutrino, chúng ta đang nhìn kỹ vào giây phút cuối cùng trong câu chuyện sự sống của các sao khổng lồ và quan sát những gì tồn tại bên ngoài kinh nghiệm của con người. Tuy nhiên, chúng ta cũng đang thấy những gợi ý không thể nhầm lẫn về chính nguồn gốc của chúng ta.

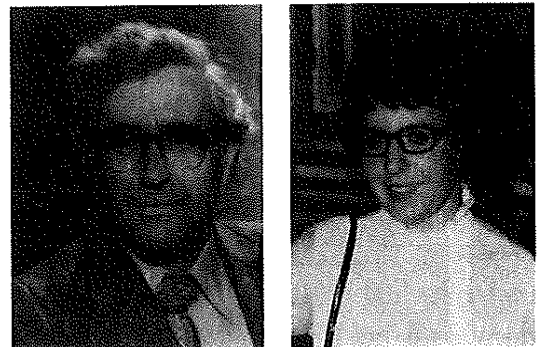
14.3 PULSAR VÀ SỰ KHÁM PHÁ CÁC SAO NEUTRON

Sau khi sự bùng nổ của siêu tân tinh biến mất dần, tất cả những gì còn lại phía sau là sao neutron. Các sao neutron là những vật thể đậm đặc nhất trong vũ trụ; trọng lực tại bề mặt của chúng là gấp 10^{11} lần lớn hơn những gì chúng ta chịu đựng tại bề mặt Trái Đất. Bên trong sao neutron được cấu tạo khoảng 95% neutron, cùng với một số ít proton và electron trộn lẫn. Bán kính của nó thì giống kích thước của một thành phố nhỏ hay một tiểu hành tinh hơn là một ngôi sao. (Bảng dưới so sánh các đặc trưng của các sao neutron và sao lùn trắng). Bởi vì nó quá nhỏ, sao neutron có thể khiến cho bạn nghĩ như một vật thể tối thiểu có thể được quan sát cách xa hàng ngàn năm ánh sáng. Tuy nhiên, các sao neutron vẫn báo hiệu sự có mặt của chúng qua các vực thẳm bao la của không gian.

✧ SỰ KHÁM PHÁ RA CÁC SAO NEUTRON

Năm 1967, Jocelyn Bell, một sinh viên Đại học Cambridge, đang nghiên cứu các nguồn vô tuyến xa xôi với một máy dò đặc biệt, đã được người cố vấn của cô, Antony Hewish, thiết kế và chế tạo để phát hiện những biến đổi nhanh chóng trong các tín hiệu vô tuyến. Các máy tính của dự án tuôn ra hàng ram giấy, mô tả nơi nào kính viễn vọng đã thăm dò bầu trời, và đó là công việc của các nghiên cứu sinh của Hewish phải hoàn thành, để tìm kiếm những hiện tượng thú vị. Vào tháng 9/1967, Bell khám phá ra những gì cô gọi là “một chút của cái gáy” (“a bit of scruff”) – một tín hiệu vô tuyến kỳ lạ không giống bất cứ tín hiệu nào được nhìn thấy trước đây.

Những gì Bell đã phát hiện, trong chòm sao Vulpecula, là một nguồn xung, rõ ràng, mạnh mẽ, và cực kỳ đều đặn của bức xạ vô tuyến. Giống như tiếng tích tắc đều đặn của đồng hồ, các xung này đi tới



Chân dung của Antony Hewish và Jocelyn Bell

Các đặc điểm của hai loại sao lùn trắng tiên biểu và sao neutron		
Đặc điểm	Sao lùn trắng	Sao neutron
Khối lượng (Mặt Trời = 1)	1,0 (luôn luôn < 1,4)	Luôn luôn > 1,4 và < 3
Bán kính	5000 km	10 km
Mật độ	$5 \times 10^5 \text{ g/cm}^3$	10^{14} g/cm^3

chính xác mỗi 1,33728 giây. Sự chính xác như thế đã khiến các nhà khoa học suy luận rằng có lẽ họ đã phát hiện được các tín hiệu từ một nền văn minh.

Thậm chí các nhà thiên văn học vô tuyến còn gán cho cái tên là nguồn “LGM” nghĩa là “người xanh nhỏ” (“little green men”). Tuy nhiên, chẳng bao lâu, ba nguồn tương tự được khám phá ở các hướng tách biệt nhau rất lớn trong bầu trời.

Khi đã rõ ràng rằng loại nguồn này là tương đối phổ biến, các nhà thiên văn học kết luận chúng chắc chắn không thể nào là các tín hiệu từ các nền văn minh khác. Ngày nay, hơn một ngàn nguồn như thế đã được khám phá; chúng được gọi là các **pulsar**, viết tắt của chữ “pulsating radio sources” (các nguồn xung vô tuyến). Antony Hewish đoạt giải thưởng Nobel 1974 về vật lý dành cho sự khám phá các pulsars và các dự án khác trong thiên văn học vô tuyến.

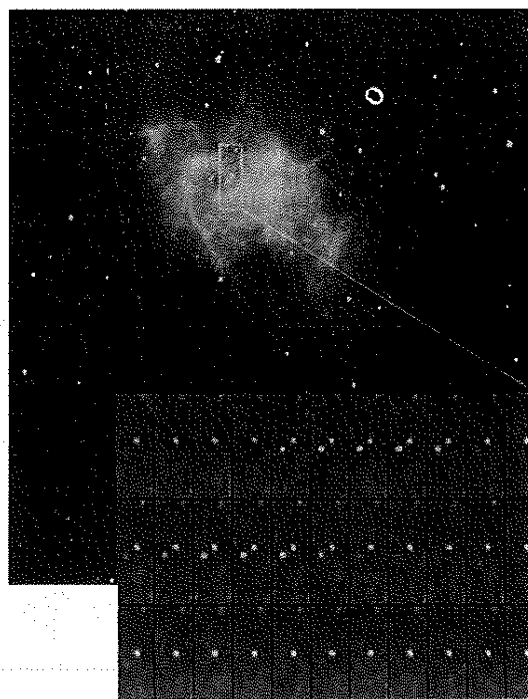
Chu kỳ xung của các pulsar khác nhau có phạm vi từ dài hơn 1/1000 giây một chút cho tới gần 10 giây. Đầu tiên, các pulsar dường như đặc biệt bí ẩn bởi vì chẳng có thứ gì có thể được nhìn thấy tại vị trí của chúng trên các bức ảnh chụp bằng ánh sáng thường. Nhưng sau đó một pulsar được khám phá ngay trung tâm của một xác siêu tân tinh nổi tiếng – Tinh vân Con cua. Năng lượng từ pulsar của Tinh vân Con cua đi đến những vụ nổ đột ngột xảy ra 30 lần mỗi giây. Ngoài các xung của năng lượng vô tuyến, chúng ta còn có thể quan sát được các xung của ánh sáng thấy được và các tia X từ Tinh vân Con cua.

Tinh vân Con cua (Crab Nebula) là một vật thể hấp dẫn về nhiều mặt. Hoàn toàn tách biệt khỏi những xung đột ngột,

toàn bộ tinh vân tỏa sáng với bức xạ tại nhiều bước sóng và hiệu suất năng lượng toàn phần của nó hơn gấp 100.000 lần năng lượng của Mặt Trời – không phải là tẻ đối với xác của một siêu tân tinh đã bùng nổ vào năm 1054 sau Công nguyên, hầu như cách đây một ngàn năm. Có thể có một mối liên hệ nào giữa pulsar và hiệu suất năng lượng lớn của tinh vân chủ của nó chăng?

♦ MỘT MÔ HÌNH ĐÈN PHA QUAY TRÒN

Bằng cách ứng dụng một sự kết hợp của lý thuyết và quan sát, như các nhà thiên văn học hiện nay đã xác định rằng các pulsar phải là các *sao neutron tự xoay tròn*. Theo mô hình, sao neutron là một thứ gì đó giống như ngọn hải đăng trên bờ biển. Để cảnh báo cho tàu bè ở mọi



Pulsar trong Tinh vân Con cua: Một ô ở trung tâm của tinh vân Con Cua mô tả vị trí của pulsar. Trong một chuỗi các tấm ảnh của một khoảng thời gian dài ấn tượng, bạn có thể thấy “sao” dường như bị mờ và tắt đi: đó là pulsar, với chu kỳ 0,033 giây.

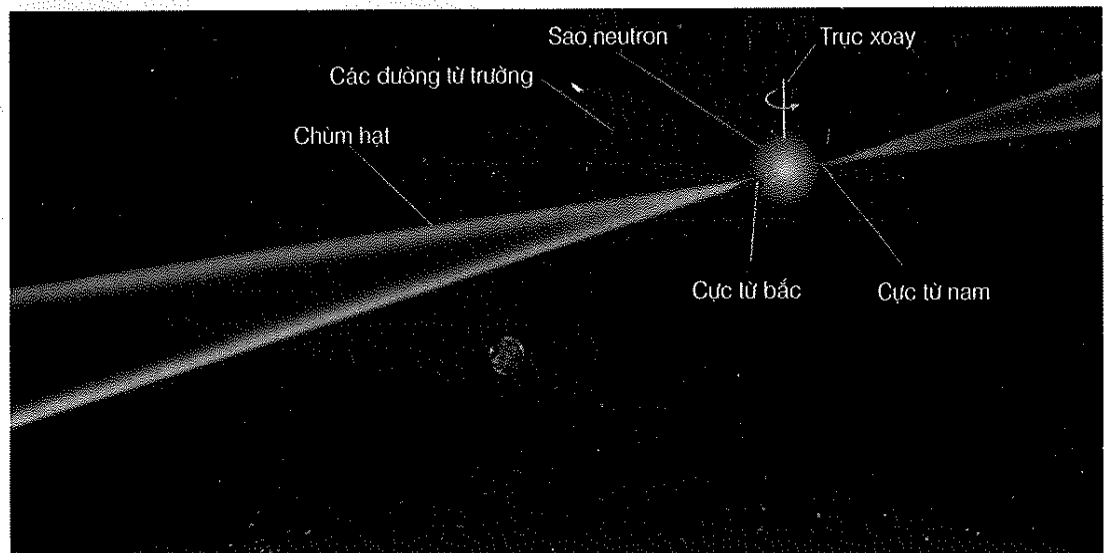
hướng, ánh sáng trong ngọn hải đăng hiện đại xoay tròn, quét chùm ánh sáng của nó ngang qua đại dương tối đen. Từ một vị trí thuận lợi của chiếc tàu, bạn nhìn thấy một xung ánh sáng mỗi lần chùm ánh sáng hướng về phía bạn. Cùng một cách như vậy, một thứ gì đó trên một sao neutron có thể quét ngang qua các biển không gian, mang đến cho chúng ta một xung bức xạ mỗi khi chùm bức xạ hướng về Trái Đất.

Sao neutron là các ứng viên lý tưởng cho một công việc như thế bởi vì sự sụp đổ đã khiến cho chúng trở thành nhỏ bé đến nỗi chúng có thể xoay tròn rất nhanh. Hãy nhớ lại nguyên lý bảo toàn động lượng góc của Mục 2.2 – nếu một vật thể càng nhỏ, nó càng có thể quay nhanh hơn. Dẫu cho ngôi sao ban đầu đang xoay tròn rất chậm khi nằm trên chuỗi sao chính, sự xoay tròn của nó phải tăng tốc khi nó sụp đổ để hình thành một sao neutron. Với đường kính chỉ từ 10 tới 20 km, sao neutron có thể

hoàn tất trọn một vòng quay chỉ trong một phần của giây. Đây chính là loại chu kỳ thời gian chúng ta quan sát giữa các xung của pulsar.

Bất kỳ từ trường nào tồn tại trong sao ban đầu sẽ bị nén ép rất cao khi phần nhân sụp đổ thành sao neutron. Tại bề mặt của sao neutron, các proton và electron bị bẫy (hay bị hút) trong trường quay này và gia tốc gần tới tốc độ của ánh sáng. Chỉ trong hai nơi – tại các cực từ bắc và cực từ nam – có thể các hạt bị bẫy (hay bị hút) thoát ra khỏi sức hút mạnh mẽ của từ trường. Có thể thấy được (ngược lại) cùng một tác động như vậy trên Trái Đất, nơi mà các hạt mang điện từ không gian tránh khỏi từ trường của hành tinh chúng ta khắp mọi nơi, ngoại trừ gần các cực. Vì lẽ đó, cực quang của Trái Đất (được tạo ra khi các hạt mang điện chạm vào bầu khí quyển với tốc độ cao) chỉ được nhìn thấy gần các cực.

Hãy lưu ý rằng trong sao neutron, các cực từ bắc và cực từ nam không phải là



Mô hình của Pulsar: Một sơ đồ mô tả các chùm bức xạ tại các cực từ của một sao neutron có thể sinh ra các xung bức xạ khi sao xoay tròn. Khi mỗi chùm tia quét qua Trái Đất, giống như chùm sáng của ngọn đèn pha quét qua một chiếc tàu xa xôi, chúng ta nhìn thấy một xung bức xạ ngắn. Mô hình này đòi hỏi rằng các cực từ phải được phân bố ở các vị trí khác với các cực xoay.

bất kỳ nơi nào gần cực bắc và cực nam được phân định theo sự xoay tròn của sao. Cùng một cách như vậy, các cực từ trên Thiên Vương Tinh (Uranus) và Hải Vương Tinh (Neptune) không trùng với các cực quay của các hành tinh ấy. Trên hình, chúng ta mô tả các cực của từ trường thẳng góc với các cực quay, nhưng hai loại cực có thể tạo thành một góc bất kỳ.

Tại hai cực từ, các hạt từ sao neutron được tập trung thành một chùm hẹp và tuôn ra ngoài với tốc độ khổng lồ, phát xạ năng lượng qua một dây phổ điện từ rộng lớn. Bản thân bức xạ cũng bị giới hạn trong một chùm hẹp, giải thích lý do tại sao pulsar hoạt động giống như một ngọn đèn pha. Khi sự xoay tròn mang theo cực đầu tiên và sau đó cực từ còn lại của sao vào trong tầm nhìn của chúng ta, mỗi lần chúng ta nhìn thấy một xung bức xạ.

✧ SỰ KIỂM CHỨNG CỦA MÔ HÌNH

Sự giải thích về pulsar trong điều kiện của các chùm bức xạ từ các sao neutron có từ trường cao và quay nhanh là một ý tưởng rất thông minh. Nhưng chúng cứ nào chúng ta có thể chứng minh đó là mô hình chính xác? Trước tiên, chúng ta có thể đo đặc khối lượng của một số pulsar, và nhận thấy rằng chúng nằm trong tầm mức từ 1,4 tới 1,8 lần khối lượng của Mặt Trời – chính là những gì mà các lý thuyết gia dự đoán đối với các sao neutron. Các khối lượng được tìm thấy bằng cách dùng các định luật Kepler đối với một vài pulsar là thành viên của các hệ sao đôi.

Nhưng thậm chí có một cách thức tốt hơn để xác nhận lập luận, mang chúng ta trở lại với Tinh vân Con cua và hiệu suất năng lượng khổng lồ của nó.

Khi các hạt tích điện năng lượng cao từ pulsar của sao neutron ló ra dọc theo các cực từ trường, cuối cùng chúng chạm vào vật chất di chuyển chậm hơn từ siêu tân tinh. Chúng tiếp thêm năng lượng cho vật chất này và làm cho nó “tỏa sáng” với nhiều bước sóng khác nhau – chính là những gì chúng ta quan sát từ Tinh vân Con cua. Theo một ý nghĩa nào đó, các chùm tia của pulsar là nguồn năng lượng đã tái cung cấp năng lượng cho tinh vân từ lâu sau khi vụ nổ đầu tiên của sao đã hình thành nó.

Ai là người “thanh toán hoá đơn” cho toàn bộ năng lượng chúng ta nhìn thấy đi ra khỏi một cái xác giống như Tinh vân Con cua? Nói cho cùng, khi năng lượng ló ra khỏi một nơi nào đó, nó phải bị lấy đi ở một nơi khác. Nguồn năng lượng cuối cùng trong mô hình của chúng ta là sự tự xoay tròn của sao neutron, nó đẩy các hạt tích điện ra bên ngoài và quay từ trường của nó với tốc độ cực lớn. Nếu ý tưởng này đúng, thế thì khi năng lượng quay của nó được sử dụng để kích thích Tinh vân Con cua hết năm này sang năm khác, pulsar bên trong tinh vân sẽ phải chậm dần. Khi nó quay chậm lại, cuối cùng các xung sẽ ít thường xuyên hơn một chút; thời gian sẽ trôi qua nhiều hơn trước khi sao neutron chậm hơn mang chùm tia của nó quay trở lại.

Trong khi pulsar của Tinh vân Con cua ban đầu dường như không thể thay đổi về nhịp độ của các xung, nhiều thập niên quan sát cẩn thận hiện nay đã chứng minh rõ ràng rằng nó thực sự đang chậm lại. Đo đặc được pulsar đang chậm lại bao nhiêu, chúng ta có thể tính toán được sao neutron đang mất đi bao nhiêu năng lượng quay. Hoá ra là năng

lượng ló ra khỏi Tinh vân Con cua trong tất cả các dạng bức xạ khác nhau của nó đều giống nhau. Nói khác đi, mô hình sao neutron đang quay có thể giải thích chính xác tại sao Tinh vân Con cua đang tỏa sáng với mức năng lượng mà chúng ta quan sát.

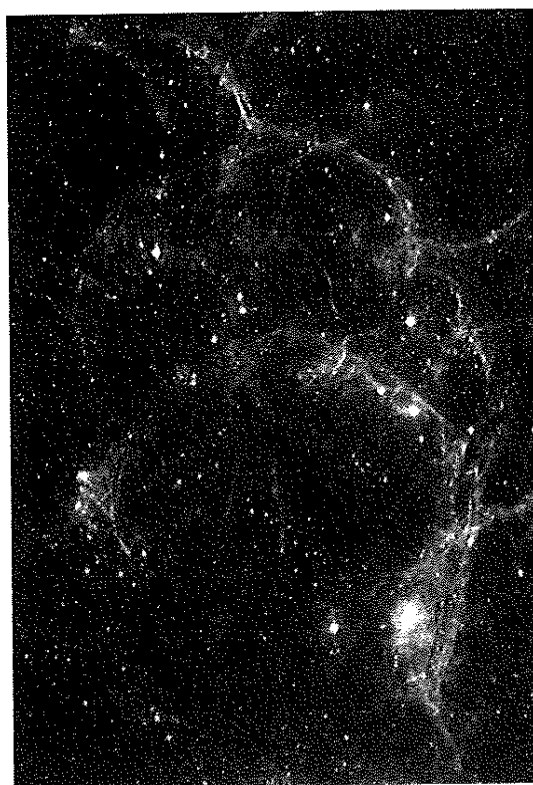
✧ SỰ TIẾN HOÁ CỦA CÁC PULSAR

Từ những cuộc quan sát các pulsar được khám phá từ trước đến nay, các nhà thiên văn học đã kết luận rằng một pulsar mới đã được chào đời ở nơi nào đó trong Dải Ngân Hà từ 25 tới 100 năm, các siêu tân tinh cũng được ước tính xảy ra với mức độ như vậy. Các tính toán nêu lên rằng thời gian sống tiêu biểu của một pulsar là khoảng 10 triệu năm; sau thời gian đó sao neutron không còn quay đủ nhanh nữa để tạo ra các chùm hạt và năng lượng lớn, và rồi nó không còn có thể quan sát được nữa. Chúng ta ước tính rằng có khoảng 100 triệu sao neutron trong Thiên Hà của chúng ta.

Pulsar Con cua (Crab pulsar) trẻ hơn (chỉ khoảng 900 năm tuổi) và có một chu kỳ ngắn, trong lúc các pulsar khác, già hơn đã chậm lại với các chu kỳ dài hơn. Các pulsar có tuổi hàng ngàn năm đã mất đi rất nhiều năng lượng để phát xạ đáng kể trong các bước sóng của ánh sáng nhìn thấy được và của tia X, và chỉ quan sát được như các pulsar vô tuyến; chu kỳ của chúng là một giây hay lâu hơn.

Có một lý do khác nữa là chúng ta có thể chỉ nhìn thấy một phần nhỏ của các pulsar trong Dải Ngân Hà. Hãy xét mô hình đèn pha của chúng ta một lần nữa. Trên Trái Đất, tất cả con tàu tiến tới trên cùng một mặt phẳng – bề mặt đại dương – vì vậy ngọn đèn pha có

thể được xây dựng để quét chùm sáng của nó qua bề mặt ấy. Nhưng trong không gian, các vật thể có thể ở bất cứ nơi nào trong cả ba chiều. Khi một chùm tia của pulsar nhất định quét qua một vòng trong không gian, tuyệt đối không bảo đảm rằng vòng tròn này sẽ bao gồm hướng của Trái Đất. Thực vậy, nếu bạn suy nghĩ về điều đó, thêm nhiều vòng tròn hơn nữa trong không gian sẽ *không* bao gồm Trái Đất. Do đó chúng ta ước tính rằng không thể quan sát được một số lớn các sao neutron mà các chùm tia của chúng hoàn toàn lệch khỏi chúng ta.



Xác siêu tân tinh Vela: Những vòng khí này là một phần từ xác của vụ nổ siêu tân tinh đã để lại phía sau một pulsar. Được phân bố trong chòm sao Vela, siêu tân tinh đã bùng nổ cách đây hơn 10.000 năm, và vì lẽ đó pulsar xoay tròn chậm hơn pulsar trong Tinh vân Con cua (Crab Nebula). Toàn bộ xác sao, phần lớn không được nhìn thấy ngay cả trên một bức ảnh góc rộng này, bao phủ hơn 10° trên bầu trời và khá mờ nhạt; các kỹ thuật làm nổi hình ảnh đặc biệt được yêu cầu để làm lộ các sợi mà chúng ta thấy.

Vào ngày 27/08/1998, lúc khoảng 3 giờ 22 phút sáng, Giờ ban ngày Thái Bình Dương (Pacific Daylight Time), Trái Đất bị ngập trong một luồng bức xạ tia X và tia gamma từ một sao neutron cách Trái Đất khoảng 20.000 năm ánh sáng. Mặc dù khoảng cách của nguồn, những gì đã làm cho sự kiện này trở thành rất đáng chú ý là sự trào dâng của bức xạ đã có những hiệu ứng có thể đo được đối với khí quyển của Trái Đất. Đợt sóng trào năng lượng cao kéo dài khoảng 5 phút, và tại rìa trên của khí quyển có cường độ khoảng một phần mười bức xạ liên kết với tia X dùng để chữa răng.

Hiệu ứng thứ nhất của bức xạ đối với lớp nằm trên cao trong khí quyển trái đất gọi là tầng điện ly (ionosphere). Ban đêm, thông thường tầng điện ly ở độ cao khoảng 85 km, nhưng vào ban ngày năng lượng từ Mặt Trời ion hoá nhiều phân tử hơn và hạ thấp ranh giới của tầng điện ly xuống tới độ cao khoảng 60 km. Xung của bức xạ tia X và tia gamma đã tạo ra một mức độ ion hoá cũng như Mặt Trời ban ngày! Nó cũng khiến cho một số vệ tinh nhạy cảm bên trên khí quyển ngừng hoạt động các thiết bị điện tử.

Các số đo bởi kính viễn vọng trong không gian chứng tỏ rằng nguồn bức xạ này là một loại sao neutron đặc biệt quay nhanh gọi là sao từ trường (magnetar). Các nhà thiên văn học Robert

Duncan và Christopher Thomson đã đặt cho chúng cái tên này do từ trường của chúng mạnh hơn từ trường của bất cứ loại nguồn vũ trụ nào khác – trong trường hợp này, khoảng 800 nghìn tỉ lần mạnh hơn từ trường của Trái Đất!

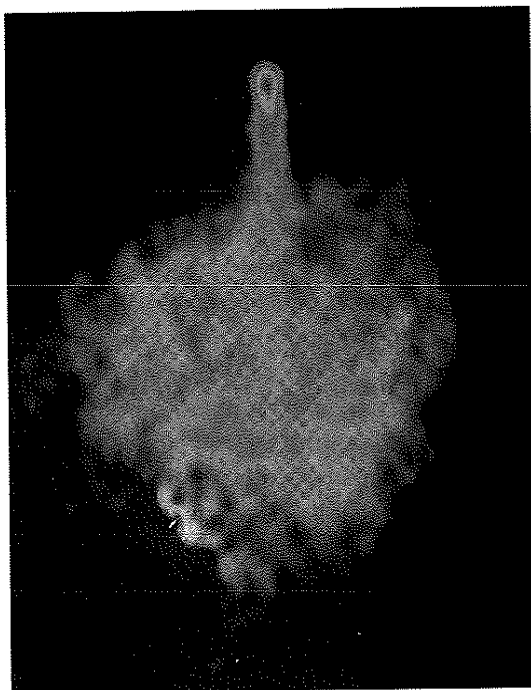
Một sao từ trường được coi là gồm có một phần nhân neutron siêu đậm đặc, được bao bọc bởi một các vỏ gồm các nguyên tử rắn chắc dày khoảng một dặm với một bề mặt cấu tạo bằng sắt. Trường của sao từ trường mạnh đến nỗi nó tạo ra những ứng suất thẳng khổng lồ bên trong mà đôi khi có thể làm nứt vỏ cứng, gây ra một sự chấn động (tinh chấn). Cái vỏ đang rung động tạo ra một sự bùng nổ bức xạ khổng lồ. Một phi hành gia ở cách xa sao từ trường đặc biệt này 0,1 năm ánh sáng sẽ nhận một lượng bức xạ chết người từ vụ nổ trong chưa đầy một giây.

May thay, chúng ta ở đủ xa để được an toàn. Liệu một ngôi sao từ trường có thể đưa tới một nguy cơ thực sự cho Trái Đất? Tạo ra năng lượng đủ để phá hủy tầng ozone, một sao từ trường sẽ phải được phân bố trong đám mây sao chổi bao quanh hệ mặt trời, và chúng ta biết rằng không một sao từ trường nào ở gần. Tuy nhiên, đó là một khám phá hấp dẫn mà các hiện tượng trên các xác sao xa xăm có thể có những hiệu ứng có thể đo lường được trên Trái Đất.

Đồng thời, rốt cuộc thì chỉ có một vài pulsar được khám phá từ trước đến nay là được bao bọc trong các đám mây khí thấy được làm nổi bật xác của một siêu tân tinh. Ban đầu điều này có vẻ bí ẩn, bởi vì chúng ta biết rằng các siêu tân tinh sinh ra các sao neutron và chúng ta lẽ ra hy vọng mỗi pulsar đã bắt đầu sự sống của nó trong vụ nổ siêu tân tinh. Nhưng thời gian sống của một pulsar hoá ra là khoảng gấp 100 lần lâu hơn khoảng thời gian cần thiết cho chất khí tương nở của một xác siêu tân tinh tan biến vào

không gian giữa các vì sao. Do vậy, hầu hết các pulsar được phát hiện mà chẳng hề có vết tích nào khác của vụ nổ đã tạo ra chúng còn sót lại.

Hơn nữa, một số pulsar thực tế có thể bị phún xuất bởi một vụ nổ siêu tân tinh không giống nhau trong mọi chiều hướng (một số nhà thiên văn học gọi đây là “nhận lấy cú đá đầu đời” (“getting a birth kick”). Chúng ta biết những cú đá như thế xảy ra, bởi vì chúng ta nhìn thấy một số các xác siêu tân tinh trẻ trong các thiên hà lân cận ở đó pulsar ở về một



Pulsar tăng tốc: Hình ảnh vô tuyến này mô tả một xác siêu tân tinh xa xôi trong Thiên hà của chúng ta, có biệt danh là Tinh vân Con vịt (Duck Nebula). Chúng ta thấy một pulsar tăng tốc (trong vùng màu vàng), chuyển động nhanh chóng của nó đã vượt qua được vật liệu đang trương nở từ vụ nổ.

phía của xác siêu tân tinh và di chuyển ra ngoài với tốc độ đáng kể.

14.4 SỰ TIẾN HOÁ CỦA CÁC HỆ SAO ĐÔI

Câu chuyện cuộc đời của các sao được đưa ra đã chịu đựng một thiên kiến – những gì chúng ta có thể gọi là chủ nghĩa sô-vanh sao đơn. Bởi vì nhân loại phát triển trên một hành tinh quay quanh một ngôi sao sống suốt đời một mình, cho nên chúng ta thường có khuynh hướng nghĩ về hầu hết các sao trong sự cô lập. Nhưng như chúng ta đã thấy trong Chương 9, giờ đây có vẻ như phân nửa toàn bộ số sao có thể phát triển trong các hệ sao đôi – trong đó hai sao được sinh ra tương thuộc lẫn nhau trong cái

vòng của lực hấp dẫn và sống suốt đời bằng cách quay quanh một trung tâm khối lượng chung.

Đối với các sao này, sự hiện diện của một sao đồng hành kế cận có thể có một ảnh hưởng sâu rộng đến sự tiến hoá của chúng. Dưới những điều kiện thích hợp, các sao có thể trao đổi vật liệu, đặc biệt trong các giai đoạn khi một sao trong chúng phình lên thành một sao khổng lồ hay siêu khổng lồ, hay có một luồng gió mạnh. Khi điều này xảy ra và các sao đồng hành ở gần nhau đủ để cho các vật liệu có thể lưu chuyển từ sao này sang sao kia, làm giảm khối lượng của sao cho và tăng khối lượng của sao nhận. Sự *chuyển giao khối lượng* như thế có thể gây ấn tượng khi bên nhận là một xác sao như sao lùn trắng hay sao neutron. Trong khi câu chuyện chi tiết về việc các sao đôi như thế tiến hoá ra sao nằm ngoài phạm vi của cuốn sách này, chúng tôi muốn đề cập tới một vài thí dụ về việc các giai đoạn được mô tả trong chương này có thể thay đổi như thế nào khi có hai sao trong một hệ thống.

✧ CÁC VỤ NỔ CỦA SAO LÙN TRẮNG: LOẠI ÔN HÒA

Chúng ta hãy xét một hệ thống của hai sao, trong đó sao này đã trở thành sao lùn trắng còn sao kia đang chuyển giao từ từ vật liệu cho nó. Khi hydro mới sinh ra từ các lớp ngoại vi của sao đồng hành của nó tích tụ trên bề mặt của sao lùn trắng nóng, nó bắt đầu tạo ra một lớp hydro. Khi ngày càng nhiều hydro tích tụ hơn và nung nóng trên bề mặt của sao thoái hoá, cuối cùng lớp vỏ mới đạt tới nhiệt độ tạo ra sự tổng hợp hạt nhân để bắt đầu một cách thức bùng nổ, bất ngờ, làm nổ tung nhiều vật liệu mới.

Sao lùn trắng nhanh chóng (nhưng chỉ ngắn ngủi) trở nên sáng chói hoàn toàn. Đối với các nhà quan sát trước khi phát minh ra viễn vọng kính, hình như một sao mới bất ngờ xuất hiện, và họ gọi nó là một *sao mới hiện* (hay tân tinh) (nova). Các sao mới hiện mờ nhạt dần trong một vài tháng cho tới một vài năm.

Hàng trăm các sao mới đã được quan sát, mỗi cái trong chúng xuất hiện trong một hệ sao đôi, và mỗi sao sau đó lộ ra một cái vỏ của vật liệu bị tổng ra. Một số sao có nhiều hơn một giai đoạn sao mới, khi nhiều vật liệu hơn tích tụ trên sao lùn trắng và toàn bộ quá trình lặp lại. Bao lâu mà các giai đoạn không làm tăng khối lượng của sao lùn trắng ra ngoài giới hạn Chandrasekhar (bằng cách chuyển giao rất nhiều khối lượng), sao lùn trắng đậm đặc tự duy trì gần như không bị ảnh hưởng bởi các vụ nổ trên bề mặt của nó.

♦ CÁC VỤ NỔ CỦA SAO LÙN TRẮNG: LOẠI DỮ DỘI

Nếu sao lùn trắng tích tụ vật chất từ một sao đồng hành với một tốc độ nhanh hơn nhiều, nó có thể bị đẩy qua giới hạn. Với khối lượng của nó giờ đây vượt qua gấp 1,4 lần khối lượng Mặt Trời, một vật thể như thế có thể không còn tự chống đỡ như một sao lùn trắng nữa, và nó bắt đầu sụp đổ. Khi sụp đổ, nó nóng lên, và các phản ứng hạt nhân mới bắt đầu trong phần nhân thoái hoá. Trong chưa đầy một giây một số lượng khổng lồ của sự tổng hợp hạt nhân diễn ra; năng lượng được phóng thích lớn đến mức nó hoàn toàn phá hủy sao lùn trắng. Các chất khí bị thổi tung vào không gian với vận tốc vài ngàn km/s, và không có sao trung tâm còn lại ở phía sau.

Bởi vì giống như sự phá hủy của sao khối lượng cao, sự bùng nổ như thế cũng được gọi là một siêu tân tinh, nó có thể tạo ra một số năng lượng khổng lồ trong một thời gian cực ngắn, phá hủy ngôi sao trong tiến trình. Chúng ta gọi các sao lùn trắng ăn quá mức này là các siêu tân tinh loại I (phân biệt với các siêu tân tinh loại II được bàn luận trước đây, báo hiệu cái chết của các sao khổng lồ). Các siêu tân tinh của Tycho (xem *Các siêu tân tinh trong lịch sử*) có vẻ như bị gây ra bởi một sao lùn trắng với một sao đồng hành hào phóng quá mức. (Những cuộc quan sát rất gần đây nêu lên rằng một số cơ chế cho phép các sao lùn trắng với khối lượng chưa tới $1,4 M_{\text{Sun}}$ [1,4 khối lượng mặt trời] trong các hệ sao đôi cũng bùng nổ dữ dội, tuy nhiên các nhà thiên văn học chưa có một mô hình chi tiết về việc điều này xảy ra như thế nào).

♦ CÁC SAO NEUTRON VỚI SAO ĐỒNG HÀNH

Một hệ sao đôi có thể sống sót qua vụ nổ của một trong các thành viên của nó là điều khả dĩ. Trong trường hợp ấy, một sao bình thường có thể chia sẻ một hệ thống với một sao neutron. Nếu vật liệu được chuyển giao từ sao “sống” sang sao “chết” (và bị nén ép rất cao) đồng hành với nó, vật liệu này sẽ bị hút vào bởi một lực hấp dẫn mạnh của sao neutron. Chất khí đang đổ xuống như thế sẽ bị nén ép và nung nóng tới các nhiệt độ không thể tin được. Nó sẽ nhanh chóng nóng đến độ nó sẽ trải qua một sự bùng nổ của sự tổng hợp hạt nhân. Năng lượng được sinh ra lớn đến nỗi chúng ta sẽ hy vọng phần lớn bức xạ từ vụ nổ xuất hiện như các tia X và tia gamma.

Và thực vậy, các nhà thiên văn học đã sử dụng các đài quan sát năng lượng

cao bên trên khí quyển của Trái Đất (xem Chương 5) đã ghi nhận nhiều vật thể trải qua đúng các loại bùng nổ tia X và tia gamma này. Trong khi có rất nhiều sự tranh cãi về bản chất của các vụ nổ mãnh liệt nhất, các nhà thiên văn học có lý do để tin rằng ít nhất một số vụ nổ tia X bắt nguồn từ các vật liệu rơi vào bề mặt của sao neutron.

Nếu sao neutron và sao đồng hành của nó được bố trí thẳng hàng, một lượng vật liệu đáng kể có thể được chuyển giao tới sao neutron và có thể làm cho nó quay nhanh hơn (vì năng lượng quay cũng được chuyển giao). Các nhà thiên văn học đã phát hiện ra một số pulsar trong các hệ sao đôi đang quay với tốc độ hầu như *1000 lần trong một giây!* Sự quay nhanh như thế phải được tạo ra từ bên ngoài. (Hãy nhớ lại rằng pulsar của Tinh vân Con cua, một trong những pulsar trẻ nhất được biết, đang quay 30 lần trong một giây). Thực vậy, một số pulsar quay nhanh được quan sát là một bộ phận của các hệ sao đôi, trong khi các pulsar khác có thể là một mình chỉ vì chúng có thể đã “tiêu thụ hoàn toàn” cộng sự trước đây của mình trong quá trình chuyển giao khối lượng. (Những pulsar này đôi khi được gọi là các “pulsar goá phụ áo đen”).

Bây giờ chúng ta đã đi tới đoạn cuối của sự mô tả về các trạng thái sau cùng của các sao. Tuy nhiên một phần của câu chuyện còn lại phải được lấp đầy. Chúng ta đã thấy rằng các sao có khối lượng chưa tới $1,4 M_{\text{Sun}}$ (1,4 khối lượng mặt trời) tại thời điểm chúng cạn hết nhiên liệu kết thúc cuộc đời của chúng như những sao lùn trắng. Các sao đang chết với khối lượng giữa 1,4 và $3 M_{\text{Sun}}$ trở thành sao neutron. Nhưng có những sao

với khối lượng lớn hơn $3 M_{\text{Sun}}$, khi cạn kiệt nguồn nhiên liệu; chúng trở thành cái gì? Kết quả thật kỳ dị của cái chết của các phần nhân của sao khổng lồ là chủ đề trong chương kế tiếp.

TÓM LƯỢC

14.1 Trong quá trình tiến hoá, các sao từ bỏ các lớp bên ngoài của chúng và mất đi một phần đáng kể của khối lượng ban đầu. Các sao với khối lượng lên tới khoảng $10 M_{\text{Sun}}$ có thể mất đi khối lượng đủ để trở thành các sao lùn trắng, có khối lượng chưa tới *giới hạn Chandrasekhar* (khoảng $1,4 M_{\text{Sun}}$). Một sao lùn trắng tiêu biểu có khối lượng khoảng ngang với khối lượng của Mặt Trời và đường kính sánh ngang với đường kính của Trái Đất. Áp suất sinh ra bởi các *electron thoái hoá* giữ cho sao lùn trắng tránh co lại tới các đường kính nhỏ hơn nữa. Cuối cùng, các sao lùn trắng nguội đi để trở thành các sao lùn đen, các xác sao chủ yếu được cấu tạo từ carbon và oxy.

14.2 Trong một sao khổng lồ, sự tổng hợp hydro trong phần nhân được tiếp nối bởi một số phản ứng tổng hợp khác liên quan tới các nguyên tố nặng hơn. Ngay trước khi nó cạn hết mọi nguồn năng lượng, sao khổng lồ có phần nhân sắt được bao bọc bởi các lớp vỏ silicon và lưu huỳnh, oxy, neon, carbon, helium, và hydro. Sự tổng hợp của sắt đòi hỏi năng lượng (đúng hơn là phóng thích nó). Nếu khối lượng của phần nhân sắt của sao vượt qua giới hạn Chandrasekhar (nhưng ít hơn $3 M_{\text{Sun}}$), phần nhân sụp đổ cho tới khi mật độ của nó vượt

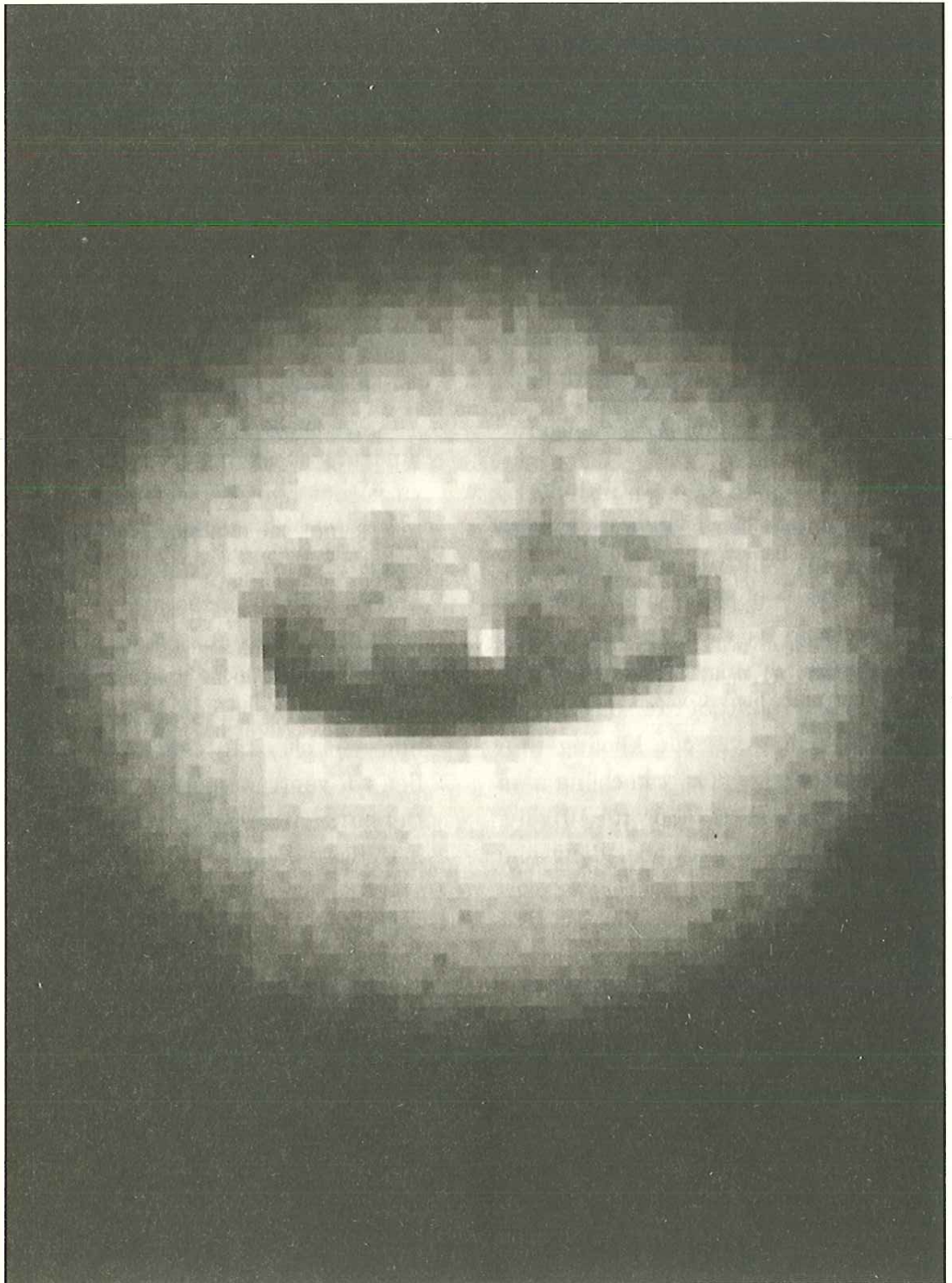
qua mật độ của hạt nhân nguyên tử, hình thành một sao neutron (neutron star) với đường kính tiêu biểu là 20 km. Phần nhân nẩy bật lại và truyền năng lượng ra ngoài, làm bật tung các lớp ngoại vi của sao trong một vụ bùng nổ siêu tân tinh loại II. Các nghiên cứu về siêu tân tinh 1987A, kể cả sự phát hiện ra hạt neutrino, đã xác nhận các tính toán lý thuyết về những gì xảy ra trong các vụ bùng nổ như vậy, kể cả sự hình thành các nguyên tố ngoại trừ sắt.

14.3 Ít nhất một số siêu tân tinh để lại phía sau một sao neutron có từ tính mạnh, quay nhanh, có thể quan sát được như một pulsar nếu chùm hạt đang thoát ra và chùm bức xạ tập trung đang hướng về phía chúng ta. Các pulsar phát xạ các xung bức xạ nhanh chóng với các khoảng thời gian đều đặn; chu kỳ của chúng nằm trong phạm vi từ 0,001 tới 10 giây. Sao neutron tự xoay hoạt động như

một ngọn đèn pha, quét chùm tia của nó theo một đường tròn và mang đến chúng ta một xung bức xạ khi chùm tia quét qua Trái Đất. Các pulsar mất đi năng lượng khi chúng già đi, sự xoay tròn chậm dần, và chu kỳ của chúng tăng lên.

14.4 Khi một sao lùn trắng hay sao neutron là thành viên của một hệ sao đôi gần nhau, sao đồng hành của nó có thể chuyển giao khối lượng cho nó. Vật liệu đang từ từ rơi vào một sao lùn trắng có thể bùng lên thành một vụ nổ đột ngột của sự tổng hợp và tạo ra một sao mới hiện hay tân tinh (nova). Nếu các vật liệu rơi xuống nhanh chóng vào sao lùn trắng, nó có thể đẩy sao lùn trắng qua giới hạn Chandrasekhar và khiến cho sao lùn trắng nổ tung hoàn toàn như một siêu tân tinh loại II. Vật liệu rơi vào sao neutron có thể gây ra những vụ nổ mạnh của bức xạ tia X và tia gamma.





Có bằng chứng thuyết phục rằng nhiều thiên hà chứa các lỗ đen khổng lồ ngay trung tâm của chúng. Đây là một tấm ảnh, do kính không gian Hubble chụp, về một cái đĩa bụi và khí bao quanh một lỗ đen trong thiên hà NGC 4261. Thiên hà này ở cách xa 100 triệu năm ánh sáng theo hướng của chòm sao Virgo (Xử Nữ hay Trinh Nữ). Cái đĩa bụi quay chung quanh lỗ đen có đường kính rộng 300 năm ánh sáng và chứa một khối lượng đủ để hình thành 100.000 ngôi sao giống như Mặt Trời của chúng ta. Bằng cách đo tốc độ qua đó chất khí trong đĩa quay quanh lỗ đen và áp dụng định luật Kepler 3, các nhà thiên văn học đã ước tính rằng khối lượng của bản thân lỗ đen lớn kinh khủng, gấp 1,2 tỷ lần khối lượng của Mặt Trời. Tuy nhiên, lỗ đen với khối lượng to lớn này không lớn hơn nhiều so với hệ mặt trời.

CHƯƠNG 15

LỖ ĐEN VÀ KHÔNG-THỜI GIAN CONG

“Một điều là chắc chắn, điều còn lại là cuộc tranh cãi – Các tia sáng, khi đến gần Mặt Trời, không đi thẳng”.

Arthur S. Eddington (1920)

Lỗ đen là gì? Chúng có thực sự tồn tại không? Trong hầu hết thế kỷ này, các lỗ đen dường như chỉ là chất liệu của tiểu thuyết khoa học viễn tưởng, ở đó chúng được miêu tả như những cái máy hút chân không quái dị quét sạch toàn bộ vật chất chung quanh chúng hay như những đường hầm từ vũ trụ này sang vũ trụ khác. Trong chương này, chúng ta nhận ra rằng sự thực về các lỗ đen hầu như còn lạ lẫm hơn tiểu thuyết viễn tưởng, và sau đó chúng ta sẽ thấy rằng các lỗ đen là chìa khoá để giải thích nhiều vật thể kỳ bí nhất trong vũ trụ.

Hầu hết các sao kết thúc cuộc đời của chúng cũng như các sao lùn trắng và sao neutron. Tuy nhiên, khi một sao thật đồ sộ sụp đổ vào đoạn cuối của cuộc đời nó, ngay cả sự thoái hoá neutron cũng không thể nâng đỡ phần nhân chống lại trọng lượng của chính nó. Đối với phần nhân mà khối lượng của nó lớn hơn gấp ba lần khối lượng của Mặt Trời (MSun), các lý thuyết của chúng ta dự đoán rằng vĩnh viễn không một lực nào được biết

có thể ngăn được nó tránh khỏi sụp đổ! Lực hấp dẫn rõ ràng áp đảo tất cả các lực khác và nghiền nát phần nhân cho tới khi nó trở thành vô cùng nhỏ. Một ngôi sao trong đó điều này xảy ra có thể trở thành một trong những vật thể lạ lùng nhất từng được dự đoán bằng lý thuyết – lỗ đen (black hole).

Để hiểu lỗ đen là gì, chúng ta cần một lý thuyết có thể trình bày sự hoạt động của lực hấp dẫn dưới những điều kiện cực kỳ như thế. Lý thuyết tốt nhất về lực hấp dẫn được Albert Einstein nêu ra vào năm 1916 và được gọi là *thuyết tương đối tổng quát (general relativity)*.

Thuyết tương đối tổng quát là một trong những thành tựu trí tuệ quan trọng của thế kỷ XX. Tuy nhiên, cho đến gần đây, các nhà khoa học đã có nhu cầu về một lý thuyết hấp dẫn tốt hơn; các ý tưởng của Newton (xem Chương 2) là hoàn toàn đầy đủ cho hầu hết các vật thể mà chúng ta đối phó trong đời sống hàng ngày. Tuy nhiên, trong ba thập niên vừa qua, thuyết tương đối tổng quát đã trở

thành điều cốt lõi trong việc tìm hiểu các pulsar (ẩn tinh), các quasar (chuẩn tinh), và nhiều thiên thể và hiện tượng của vũ trụ, kể cả các lỗ đen.

15.1 NGUYÊN LÝ TƯƠNG ĐƯƠNG

Nhận thức cơ bản dẫn tới sự hình thành thuyết tương đối tổng quát bắt đầu với một ý nghĩ rất đơn giản: Nếu bạn có thể nhảy ra khỏi một toà nhà cao tầng và rơi xuống tự do, bạn sẽ không cảm nhận được trọng lượng của chính bạn. Einstein đã từ ý tưởng này đạt tới những kết luận bao quát về cơ cấu của không gian và thời gian.

Einstein chỉ ra một thí dụ hằng ngày mô tả hiệu ứng trên. Hãy để ý rằng trọng lực của bạn hình như bị giảm bớt trong một thang máy tốc độ cao khi nó tăng tốc. Tương tự, trọng lực của bạn có vẻ gia tăng trong một thang máy bắt đầu di chuyển nhanh lên phía trên. Hiệu ứng này không chỉ là một cảm nhận đơn thuần: Nếu bạn đứng trên một cái cân trong một thang máy như thế, bạn có thể đo lường sự thay đổi trọng lực của bạn.

Trong một thang máy đang rơi tự do, không có ma sát không khí, nói chung bạn sẽ mất trọng lực. Tình trạng vô trọng lực có thể đạt được bằng cách đem máy bay tới một độ cao và để cho rơi nhanh xuống trong một khoảng thời gian. Đây là cách huấn luyện các phi hành gia trải nghiệm về sự rơi tự do trong không gian.

Đây là một cách khác để diễn tả ý tưởng của Einstein: Giả sử chúng ta có một phi thuyền chứa một phòng thí nghiệm không có cửa sổ được trang bị đầy đủ những thiết bị cần thiết để tiến hành các thí nghiệm khoa học. Hãy tưởng tượng rằng một nhà thiên văn học thức dậy sau một đêm dài, nhận thấy bị nhốt kín trong phòng thí nghiệm. Cô ta chẳng hề có ý tưởng về việc nó diễn ra như thế nào, nhưng nhận thấy rằng mình bị mất trọng lực. Điều này có thể là do cô ta đang đứng yên, hay di chuyển với một tốc độ không đổi qua không gian, ra khỏi mọi nguồn lực hấp dẫn. Nhưng cũng có thể là do cô ta đang rơi tự do về phía một hành tinh giống như Trái Đất.

Những gì Einstein nêu ra là không có một thí nghiệm nào mà cô ta có thể thực hiện bên trong phòng thí nghiệm được bịt kín để xác định liệu cô ta đang trôi nổi bồng bềnh trong không gian hay rơi tự do trong một trường hấp dẫn⁽¹⁾.

Trong mức độ liên quan đến cô ta, hai tình trạng hoàn toàn *tương đương*. Ý tưởng cho rằng sự sống trong một phòng thí nghiệm đang rơi tự do thì không thể phân biệt được, và do đó tương đương, với sự sống không có lực hấp dẫn được gọi là *nguyên lý tương đương* (*equivalence principle*).

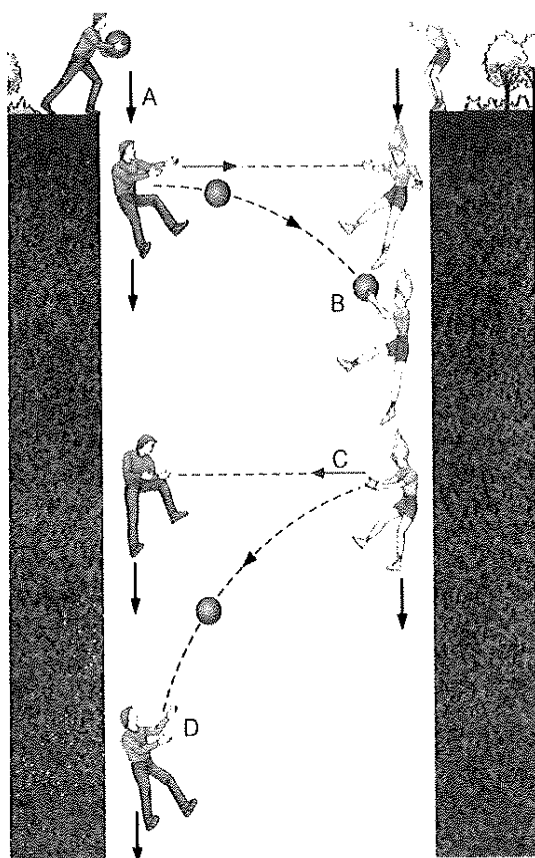
♦ LỰC HẤP DẪN HAY GIA TỐC?

Để khảo sát kỹ những hàm ý sâu sắc của ý tưởng đơn giản này, thí dụ, một

⁽¹⁾ Nói đúng hơn, điều này là chính xác chỉ với một phòng thí nghiệm nhỏ xiu. Các vị trí khác nhau trong một phòng thí nghiệm thực tế đang rơi tự do vì lực hấp dẫn không thể đều ở các khoảng cách giống nhau đối với những vật thể có liên quan tới sự tạo ra lực hấp dẫn. Trong trường hợp này, các vật thể ở các vị trí khác nhau sẽ chịu các gia tốc khác nhau. Trong một phòng thí nghiệm trôi bồng bềnh trong không gian cách xa mọi lực hấp dẫn, tất cả các vật thể sẽ giữ nguyên khoảng cách của chúng với nhau. Nhưng điểm này không làm mất đi giá trị của nguyên lý tương đương mà Einstein đã rút ra từ suy nghĩ này.

đôi trai gái liêu lĩnh nhảy một lượt từ hai bờ đối nghịch xuống một vực thẳm không đáy. Nếu bỏ qua ma sát không khí, chúng ta có thể nói rằng trong khi rơi, cả hai đều gia tốc xuống phía dưới với cùng tốc độ và không cảm thấy một lực ngoại lai nào tác động. Cả hai có thể ném một quả bóng qua lại với nhau, luôn nhắm quả bóng thẳng vào nhau, như thể không có lực hấp dẫn. Quả bóng rơi với cùng tốc độ mà cả hai cùng rơi, vì vậy nó có thể luôn ở trên đường thẳng giữa hai người.

Trên bề mặt của Trái đất, một trò chơi chụp bóng như thế sẽ hết sức khác



Sự rơi tự do: Một cặp đang chơi chụp bóng khi rơi xuống một vực thẳm không đáy. Bởi vì cậu trai, cô gái, và quả bóng đều rơi cùng một tốc độ, có vẻ như họ có thể chơi chụp bóng bằng cách ném quả bóng theo một đường thẳng giữa họ. Trong thế giới của họ, hình như không có trọng lực.

biệt. Mọi người cảm nhận lực hấp dẫn biết rằng một quả bóng, khi đã ném đi, sẽ rơi xuống mặt đất. Do đó, bạn phải nhắm quả bóng lên phía trên để cho nó đi theo một đường vòng cung – đi lên và rồi sau đó đi xuống khi nó di chuyển về phía trước – cho tới khi nó bị chụp lấy ở phía bên kia.

Bây giờ giả sử chúng ta cô lập chàng trai, cô gái, và quả bóng bên trong một cái hộp lớn đang rơi tự do. Không một ai trong hộp nhận thức về bất cứ lực hấp dẫn nào. Nếu hai người buông quả bóng ra, nó không rơi xuống đáy hộp, mà chỉ đứng yên đó hay di chuyển theo một đường thẳng, tùy thuộc vào việc nó có được cung cấp chuyển động nào hay không.

Các nhà phi hành trong tàu không gian con thoi quay quanh Trái Đất sống trong một môi trường đang gia tốc như thế. Tàu con thoi trong quỹ đạo đang rơi tự do chung quanh Trái Đất. Trong khi rơi tự do, các phi hành gia sống trong một thế giới kỳ ảo không có trọng lực. Người ta có thể đẩy mạnh một cái mỏ lết, và nó di chuyển với tốc độ không đổi ngang qua phòng thí nghiệm đang quay quanh quỹ đạo. Một cây bút chì để ở giữa không trung sẽ nằm nguyên ở đó, như thể không có một lực nào tác động lên nó.

Tuy nhiên, xét theo bề ngoài là lầm lẫn. Trong tình trạng này, có một lực. Cả tàu con thoi và các phi hành gia thực sự đều không phải là vô trọng lực, vì họ tiếp tục rơi vòng quanh Trái Đất, bị hút bởi lực hấp dẫn. Nhưng vì tất cả đều cùng rơi – phi thuyền con thoi, các phi hành gia, cái mỏ lết và cây bút chì – bên trong tàu con thoi cho nên toàn bộ trọng lực hình như không có mặt.

Vì thế tàu con thoi cung cấp một thí dụ tuyệt hảo về nguyên lý tương đương –

cách mà các hiệu ứng cục bộ của lực hấp dẫn có thể được bù trừ hoàn toàn bằng sự gia tốc chính xác.

Đối với các phi hành gia, việc rơi vòng quanh Trái Đất tạo ra các hiệu ứng giống như đang ở cách xa trong không gian, tách biệt khỏi mọi ảnh hưởng của sự hấp dẫn.

♦ ĐƯỜNG ĐI CỦA ÁNH SÁNG VÀ VẬT CHẤT

Einstein nêu định đề rằng nguyên lý tương đương là sự kiện cơ bản của vũ trụ, và không hề có thí nghiệm nào bên trong phi thuyền qua đó phi hành gia có thể phân biệt giữa trạng thái vô trọng lực trong không gian xa xôi và trạng thái rơi tự do gần một hành tinh giống như Trái Đất. Điều này cũng sẽ được áp dụng vào những thí nghiệm được thực hiện với các chùm ánh sáng. Khi sử dụng ánh sáng trong các cuộc thí nghiệm, chúng ta bị dẫn tới một số kết luận gây bối rối.

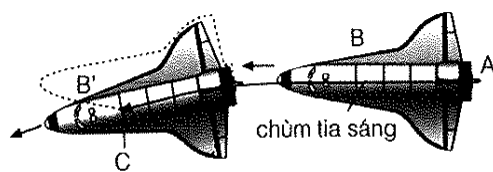
Những quan sát cơ bản từ cuộc sống hằng ngày nhận thấy rằng các chùm ánh sáng di chuyển theo các đường thẳng. Hãy hình dung phi thuyền con thoi đang di chuyển qua không gian trống rỗng cách xa bất cứ lực hấp dẫn nào. Hãy truyền một chùm tia laser từ đuôi phi thuyền tới phía trước và nó sẽ đi theo một đường thật thẳng và đập vào vách trước đối nghịch một cách chính xác với điểm từ đó nó rời khỏi vách sau. Nếu nguyên lý tương đương thực sự áp dụng cho cả vũ trụ, thì cũng cuộc thí nghiệm này được thực hiện trong sự rơi tự do vòng quanh Trái Đất sẽ cho chúng ta cùng một kết quả chính xác.

Hãy hình dung rằng các phi hành gia một lần nữa chiếu một chùm ánh sáng dọc theo chiều dài của phi thuyền.

Nhưng, như mô tả trong hình vẽ, tàu con thoi đi theo quỹ đạo rơi xuống một chút giữa thời điểm ánh sáng rời khỏi vách sau và thời điểm nó chạm vào vách trước. (Mức độ rơi được cường điệu rất nhiều trong hình). Nếu chùm ánh sáng đi theo một đường thẳng nhưng đường đi của phi thuyền cong xuống, ánh sáng sẽ đập vào vách trước tại một điểm cao hơn điểm từ đó nó rời khỏi.

Tuy nhiên, điều này sẽ vi phạm nguyên lý tương đương – hai cuộc thí nghiệm sẽ mang lại các kết quả khác nhau. Do đó chúng ta đối diện với việc từ bỏ một trong hai sự thừa nhận. Hoặc nguyên lý tương đương là không đúng, hoặc ánh sáng không phải lúc nào cũng đi theo các đường thẳng. Như Einstein, chúng ta chọn sự công nhận thứ hai, luôn nhớ rằng những sự lựa chọn về mặt lý thuyết như thế trong khoa học phải được xác nhận giá trị bằng cách kiểm chứng dựa vào các kết quả thử nghiệm.

Nếu chúng ta nói rằng nguyên lý tương đương là đúng, chùm tia sáng phải đi thẳng ngược lại điểm từ đó nó bắt đầu trong phi thuyền. Rồi thì ánh sáng, giống như quả bóng hai người đang ném



Đường đi của ánh sáng cong: Trong một phi thuyền đang di chuyển về bên trái (trong hình này) trong quỹ đạo của nó chung quanh một hành tinh, ánh sáng được chiếu ra từ sau đuôi, điểm A, về phía trước, điểm B. Trong lúc đó con tàu vũ trụ đang rơi ra khỏi đường đi thẳng của nó (ở đây mức độ rơi được cường điệu). Chúng ta có thể hy vọng ánh sáng đi tới điểm B', bên trên mục tiêu trong phi thuyền. Trái lại, ánh sáng, bị cong bởi lực hấp dẫn, đi theo một đường cong và đi tới điểm C.

qua lại với nhau, *phải rơi xuống cùng với phi thuyền* nếu phi thuyền nằm trong quỹ đạo quay quanh Trái Đất. Điều này sẽ làm cho đường đi của nó cong xuống, giống như đường đi của quả bóng, và do vậy ánh sáng sẽ đụng vào vách trước đối nghịch một cách chính xác với điểm từ đó nó xuất phát.

Suy nghĩ điều này, bạn có thể kết luận một cách hợp lý rằng nó không có vẻ là một vấn đề lớn lao; tại sao ánh sáng *không thể* rơi theo cách quả bóng rơi? Nhưng, như bàn luận trong Chương 4, ánh sáng khác biệt rất lớn với các quả bóng. Các quả bóng có khối lượng, ánh sáng thì không.

Đây là nơi mà trực giác của Einstein giúp ông tạo ra một bước nhảy vọt sâu sắc. Ông mang đến ý nghĩa vật lý cho kết quả lạ lùng của cuộc thí nghiệm. Einstein nêu lên rằng ánh sáng cong xuống để gặp mặt trước phi thuyền con thoi bởi vì sức hút của Trái Đất thực sự làm cong *cấu trúc của không gian và thời gian*. Ý tưởng căn bản này, giữ cho động thái của ánh sáng như nhau trong không gian trống rỗng và sự rơi tự do, đã thay đổi một số ý tưởng được nuôi dưỡng nhiều nhất về không gian và thời gian. Lý do chúng ta chấp nhận đề xuất của Einstein một cách nghiêm túc là các cuộc thí nghiệm hiện nay chứng minh rõ ràng rằng trực giác của ông là đúng.

15.2 KHÔNG-THỜI-GIAN VÀ LỰC HẤP DẪN

Ánh sáng có thực sự bị rẽ cong khỏi đường đi thẳng của nó bởi sức hút của Trái Đất không? Einstein nghĩ rằng chính không gian và thời gian đã bị ảnh hưởng bởi lực hấp dẫn; các chùm ánh

sáng, và mọi thứ khác di chuyển qua không gian và thời gian, và đường đi của chúng bị ảnh hưởng. Như chúng ta sẽ thấy, ánh sáng luôn luôn đi theo đường ngắn nhất – nhưng con đường ấy có thể không phải lúc nào cũng là đường thẳng. Thí dụ, trên bề mặt cong của Trái Đất, nếu bạn muốn bay từ Chicago tới Rome, khoảng cách ngắn nhất không phải là một đường thẳng mà là một cung của một *vòng tròn lớn*.

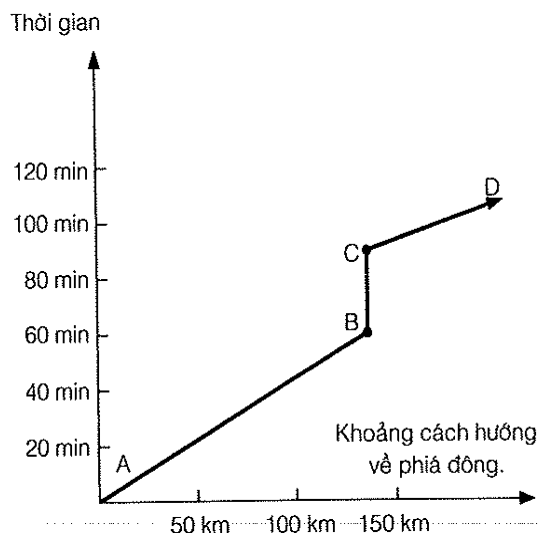
Để chứng minh ý tưởng của Einstein thực sự có ý nghĩa gì, trước hết hãy xét bằng cách nào chúng ta xác định vị trí một sự kiện trong không gian và thời gian.

Bất cứ hiện tượng nào trong vũ trụ cũng có thể được xác định bằng cách ba chiều của không gian và một chiều của thời gian.

Newton coi không gian và thời gian hoàn toàn độc lập, và quan điểm này được chấp nhận cho tới đầu thế kỷ XX. Nhưng Einstein chứng minh rằng có một mối liên hệ mật thiết giữa không gian và thời gian, và chỉ bằng cách xét cả hai cùng nhau – trong cái gọi là *không-thời-gian* – chúng ta có thể xây dựng một hình ảnh chính xác của thế giới vật lý.

Thực chất của thuyết tương đối tổng quát của Einstein là sự có mặt của khối lượng (lực hấp dẫn) bẻ cong hay làm cong cấu trúc của không-thời gian. Khi một thứ gì đó – một chùm ánh sáng, một electron, hay một con tàu vũ trụ – đi vào một vùng không-thời gian cong, đường đi của nó sẽ khác biệt với những gì nó sẽ làm trong sự vắng mặt của khối lượng. Ý tưởng này thường được tóm tắt theo cách thức sau: Vật chất cho biết không-thời gian cong như thế nào, và độ cong của không-thời gian cho biết vật chất di chuyển như thế nào.

Mức độ của sự biến dạng trong không-thời gian tùy thuộc vào khối lượng có liên quan và vào việc khối lượng ấy tập trung và cô đặc như thế nào. Các vật thể trên Trái Đất, chẳng hạn như quyển sách bạn đang đọc, có khối lượng quá nhỏ để đưa vào bất cứ sự biến dạng nào. Cần có một khối lượng như một ngôi sao để tạo ra sự biến dạng có thể đo đạc được, và một sao lùn trắng tạo ra sự biến dạng nhiều hơn ngay trên bề mặt của nó so với một sao khổng lồ đỏ có cùng khối lượng. Cuối cùng chúng ta đang nói về các ngôi sao đang sụp đổ một lần nữa, nhưng không phải trước khi bàn luận các ý tưởng của Einstein (và chứng cứ về chúng) chi tiết hơn.



Sơ đồ không-thời gian: Sơ đồ này mô tả tiến trình của một người lái mô tô. Khoảng cách đã đi được đánh dấu dọc theo trục hoành. Thời gian trôi qua kể từ người lái mô tô rời khỏi điểm khởi hành được đánh dấu dọc theo trục tung.

◇ CÁC THÍ DỤ VỀ KHÔNG-THỜI GIAN

Chúng ta có thể tìm hiểu sự biến dạng của thời gian do sự có mặt của một lượng (đáng kể) của khối lượng như thế nào? Thử làm phép loại suy sau đây. Bạn có thể đã có các bản đồ về thành phố New York nén ép cả ba chiều của đô thị cao ngất này trên một tờ giấy phẳng và vẫn có đủ thông tin, do vậy các du khách sẽ không bị lạc đường. Chúng ta hãy làm một điều gì tương tự với các sơ đồ không-thời gian.

Thí dụ, hình bên mô tả tiến trình của một người lái mô tô đi về hướng đông trên một quãng đường ở bang Kansas nơi mà vùng nông thôn tuyệt đối bằng phẳng. Bởi vì người lái mô tô chỉ đang di chuyển theo chiều đông-tây và mặt đất bằng phẳng, chúng ta có thể bỏ qua hai chiều kia của không gian. Lượng thời gian trôi qua kể từ khi anh ta rời khỏi nhà được mô tả trên trục tung, và khoảng cách di chuyển về hướng đông được mô tả trên trục hoành. Từ A tới B

anh ta đã lái với một vận tốc không đổi; rồi thay, nó là một tốc độ quá nhanh và một xe cảnh sát đã phát hiện ra. Từ B tới C, anh ta dừng lại để nhận phiếu của mình và không tiến tới qua không gian, chỉ qua thời gian. Từ C tới D anh ta lái xe chậm hơn vì xe cảnh sát ở phía sau.

Cùng một cách như vậy, chúng ta có thể (trong sự tưởng tượng) nén ép bốn chiều không-thời gian trong vũ trụ vào một tấm trải giường bằng phẳng. Tuy nhiên, để mô tả sự biến dạng, chúng ta sẽ dùng một tấm trải giường bằng cao su có thể căng thẳng hay uốn cong nếu đặt các đồ vật lên nó. Hãy tưởng tượng chúng ta mượn một tấm trải giường và căng nó trên bốn cái trụ.

Để hoàn tất phép loại suy, chúng ta cần một thứ gì đó thông thường di chuyển trên một đường thẳng (như ánh sáng chẳng hạn). Giả sử chúng ta có một con kiến cực kỳ thông minh đã được huấn luyện để đi trên một đường thẳng.

Chúng ta bắt đầu với một tấm trải giường cao su và con kiến, mô phỏng không gian trống rỗng không có khối lượng nào trong nó. Chúng ta đặt con kiến trên một cạnh của tấm trải giường và nó bò trên một đường thật thẳng qua tới cạnh bên kia. Kế đó, chúng ta sẽ đặt một hạt cát nhỏ trên tấm trải giường. Trong lúc cát làm biến dạng khăn trải giường một chút xíu, không phải là sự biến dạng mà chúng ta hay con kiến có thể đo lường được. Nếu chúng ta đẩy con kiến để nó đi sát cạnh, nhưng không phải trên đỉnh, hạt cát, nó gặp một chút trở ngại để đi trên một đường thẳng và nhận được phần thưởng.

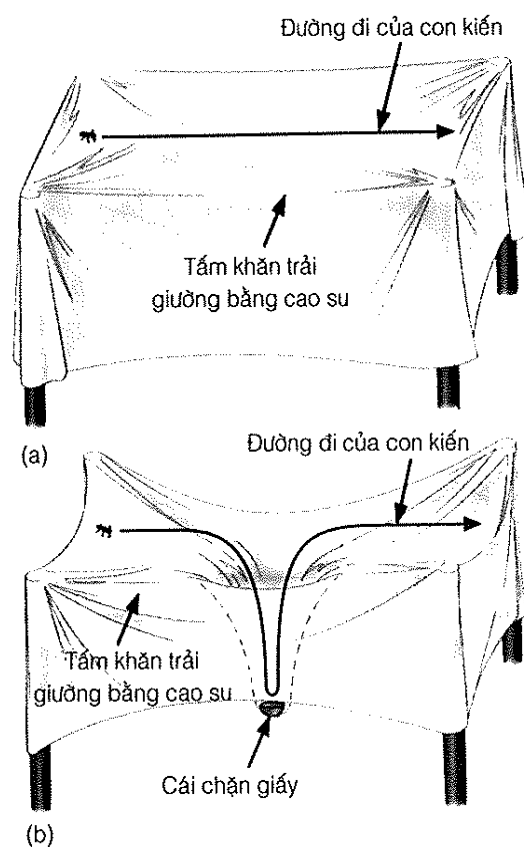
Bây giờ chúng ta nhặt một thứ gì đó có khối lượng lớn hơn một chút – thí dụ một hòn sỏi. Nó làm cong và biến dạng khăn trải giường một chút ngay chung quanh vị trí của nó. Nếu chúng ta đẩy con kiến vào vùng này, nó nhận thấy đường đi của nó hơi bị thay đổi do sự biến dạng của khăn trải giường. Sự biến dạng này không lớn, nhưng nếu chúng ta cẩn thận đi theo đường đi của con kiến, chúng ta nhận thấy nó hơi lệch ra khỏi đường thẳng.

Sự tác động dễ nhận thấy hơn khi chúng ta tăng khối lượng của vật thể đặt trên tấm khăn trải giường. Ví dụ giờ đây chúng ta dùng một cái chặn giấy lớn. Một vật thể nặng như thế làm biến dạng hay làm cong tấm trải giường cao su, tạo ra độ cong thích hợp. Từ quan điểm của chúng ta, có thể thấy tấm trải giường gần cái chặn giấy không còn thẳng nữa!

Một lần nữa, chúng ta đẩy con kiến vào một hành trình làm cho nó bò sát, nhưng không phải bên trên cái chặn giấy. Cách xa khỏi cái chặn giấy, con

kiến không gặp trở ngại trong việc bò đi, đối với chúng ta trông như thẳng. Tuy nhiên, khi đi gần tới cái chặn giấy, con kiến bị buộc đi xuống chỗ lún. Sau đó nó phải leo lên cạnh bên kia trước khi nó có thể lại bò đi trên phần không biến dạng của khăn trải giường. Suốt thời gian này, con kiến đang đi theo con đường ngắn nhất nó có thể, nhưng không phải do lỗi của chính nó mà đường đi bị cong do sự biến dạng của tấm trải giường.

Trong cùng một cách như vậy, theo lý thuyết của Einstein, ánh sáng luôn luôn đi theo con đường ngắn nhất qua không-thời gian. Nhưng các sự tập trung



Phép loại suy ba chiều về không-thời-gian: Trên một tấm trải giường cao su bằng phẳng, những con kiến được huấn luyện không gặp trở ngại khi đi trên các đường thẳng. Tuy nhiên, khi một vật thể lớn đặt một sức ép vào tấm trải giường, lúc ấy con kiến, nhận thấy đường đi của chúng thay đổi (bị lún cong) rất nhiều.

khối lượng lớn làm biến dạng không-thời gian, và những con đường ngắn nhất, thẳng nhất không còn là những đường thẳng nữa, mà là đường cong.

Một khối lượng phải lớn tới mức nào trước khi chúng ta có thể đo được sự biến dạng của không thời gian? Năm 1916, khi Einstein đầu tiên đề xuất lý thuyết này, không có sự biến dạng nào được phát hiện tại bề mặt Trái Đất (do đó Trái đất có thể đã đóng vai trò của hạt cát trong phép loại suy của chúng ta). Một thứ gì đó với khối lượng giống như Mặt Trời là cần thiết để phát hiện ra hiệu ứng mà Einstein đang mô tả.

Cái chặn giấy trong phép loại suy của chúng ta có thể là một sao lùn trắng hay sao neutron. Sự biến dạng của không-thời gian có thể dễ dàng nhận thấy hơn chung quanh các vật thể đồ sộ và cô đặc này so với chung quanh Mặt Trời. Và khi, quay trở lại tình trạng được mô tả tại đầu chương, một nhân sao với hơn ba lần khối lượng của Mặt Trời sụp đổ vĩnh viễn, các sự biến dạng của không-thời gian (distortion of spacetime) tới mức không thể tin được!

15.3 CÁC KIỂM CHỨNG VỀ THUYẾT TƯƠNG ĐỐI TỔNG QUÁT

Những điều Einstein đề nghị không gì khác hơn là một cuộc cách mạng quan trọng trong hiểu biết của chúng ta về không gian và thời gian. Nó là một mô hình mới về lực hấp dẫn, trong đó lực hấp dẫn không được nhìn thấy với tư cách là một lực, mà là một điều gì đó làm thay đổi hình dạng của không-thời gian. Giống như mọi ý tưởng mới trong khoa học, bất luận ai đề xuất chúng, lý thuyết của Einstein phải được kiểm

chứng. Đây không hề là một vấn đề dễ dàng, bởi vì các hiệu quả của quan điểm mới về lực hấp dẫn chỉ rõ ràng khi khối lượng khá lớn.

Khi khối lượng gây biến dạng là nhỏ, dự đoán của thuyết tương đối tổng quát phải phù hợp với các dự đoán của lý thuyết Newton, nói cho cùng, đã phục vụ chúng ta đáng kể trong công nghệ và trong việc hướng dẫn các cuộc thám dò không gian tới các hành tinh khác. Cho nên, trên mặt đất quen thuộc, sự khác biệt giữa các dự đoán của hai lý thuyết là tinh tế và khó phát hiện. Tuy nhiên, Einstein nêu ra một bằng chứng về lý thuyết của ông có thể được tìm thấy trong các dữ liệu hiện có và một bằng chứng khác sẽ được kiểm chứng chỉ một vài năm sau.

✧ SỰ CHUYỂN ĐỘNG CỦA SAO THỦY

Trong số các hành tinh trong hệ mặt trời, Sao Thủy quay trên quỹ đạo gần nhất đối với Mặt Trời và do đó bị ảnh hưởng nhiều nhất bởi sự biến dạng của không-thời gian do lực hút của Mặt Trời tạo ra. Einstein tự hỏi rằng liệu sự biến dạng có thể tạo ra một khác biệt có thể nhận thấy trong chuyển động của Sao Thủy, đã không được dự đoán bởi lý thuyết Newton, hay không. Rốt cuộc sự khác biệt là quá nhỏ song dứt khoát nó có ở đó. Quan trọng hơn hết, nó đã được đo đạc.

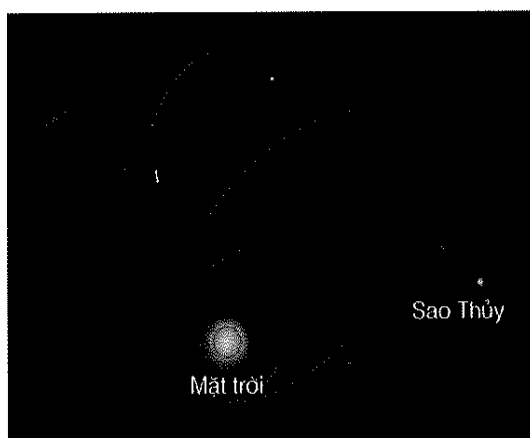
Sao Thủy có một quỹ đạo hình êlíp rõ rệt, tại điểm cận nhật, nó chỉ cách Mặt Trời khoảng hai phần ba so với tại điểm viễn nhật. Có thể tính được rằng các hiệu ứng hấp dẫn (các nhiễu loạn) của các hành tinh khác đối với Sao Thủy sẽ tạo ra một sự đi sớm về điểm cận nhật của nó.

Mỗi điểm cận nhật kế tiếp diễn ra theo một hướng hơi khác khi được nhìn thấy từ Mặt Trời.

Theo lý thuyết của Newton, các lực hấp dẫn do các hành tinh tạo ra sẽ khiến cho điểm cận nhật của Sao Thủy đi sớm khoảng một cung 531 giây (hay 531 arcsec) trong mỗi thế kỷ. Tuy nhiên, trong thế kỷ qua, người ta quan sát được sự đi sớm thực tế là 574 arcsec mỗi thế kỷ. Đầu tiên sự chênh lệch do Urbain Leverrier, người đồng khám phá ra Hải Vương Tinh (Neptune), vạch ra. Giống như những sự chênh lệch trong sự chuyển động của Thiên Vương Tinh (Uranus) cho phép các nhà thiên văn học khám phá ra sự hiện diện của Hải Vương Tinh, vì vậy người ta coi những sự chênh lệch trong chuyển động của Sao Thủy có thể nói lên sự có mặt của một hành tinh chưa được khám phá. Các nhà thiên văn học đã truy tìm hành tinh này gần Mặt Trời, thậm chí

còn đặt cho nó một cái tên – Vulcan (Thần Lửa), theo tên thần lửa của người La Mã.

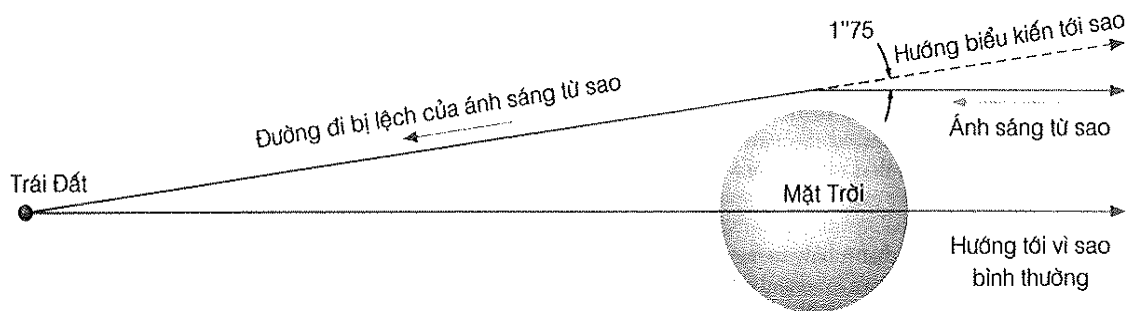
Nhưng chẳng hề có một hành tinh nào được tìm thấy gần Mặt Trời, và sự chênh lệch vẫn làm nản lòng các nhà thiên văn học khi mà Einstein đang thực hiện các tính toán của ông. Tuy nhiên, thuyết tương đối tổng quát, dự đoán rằng do độ cong của không thời gian nên sẽ có một lực đẩy phụ đối với Sao Thủy, còn được tiên đoán bởi lý thuyết của Newton, tại mỗi điểm cận nhật. Kết quả là làm cho trục chính của quỹ đạo Sao Thủy quay chậm lại trong không gian. Dự đoán của thuyết tương đối là hướng của điểm cận nhật sẽ thay đổi khoảng 43 arcsec mỗi thế kỷ. Điều này rõ ràng gần với sự chênh lệch đã quan sát được, và nó mang đến cho Einstein rất nhiều tự tin khi đưa ra lý thuyết của mình. Sự đi sớm tương đối của điểm cận nhật sau đó cũng đã được quan sát trong các quỹ đạo của một số tiểu hành tinh đi gần tới Mặt Trời.



Sự lắc lư của sao thủy: Trục chính của quỹ đạo hành tinh, chẳng hạn như Sao Thủy (Mercury), xoay tròn trong không gian do nhiễu loạn. Trong trường hợp của Sao Thủy, mức độ xoay tròn lớn hơn có thể được giải thích là do các lực hấp dẫn được tạo ra bởi các hành tinh khác; sự khác biệt này được thuyết tương đối tổng quát giải thích một cách chính xác. Sự thay đổi từ quỹ đạo này sang quỹ đạo kia đã được cường điệu đáng kể trên sơ đồ này.

♦ ĐỘ LỆCH CỦA ÁNH SÁNG SAO

Sự kiểm chứng thứ hai của Einstein là một điều đã không được quan sát trước đây và do đó cung cấp một bằng chứng tuyệt vời cho lý thuyết. Bởi vì không-thời gian bị uốn cong nhiều hơn trong các vùng có trường hấp dẫn mạnh, chúng ta sẽ hy vọng ánh sáng đi qua rất gần Mặt Trời sẽ đi theo một đường cong, giống như con kiến trong phép loại suy của chúng ta. Từ thuyết tương đối tổng quát, Einstein đã tính được rằng ánh sáng sao chỉ lướt qua bề mặt Mặt Trời sẽ bị lệch đi bởi một góc 1,75 arcsec. Một độ lệch như thế có thể được quan sát không?



Độ cong của đường đi ánh sáng gần mặt trời: Ánh sáng sao đi qua gần Mặt Trời bị lệch đi một chút do sự "uốn cong" của không-thời gian, nó không còn đi chuyển theo đường thẳng nữa.

Chúng ta gặp một "vấn đề kỹ thuật" nhỏ khi chụp hình ánh sáng sao đi rất gần với mặt trời: Mặt Trời tự nó là một nguồn ánh sáng cực kỳ chói lọi! Nhưng trong nhật thực toàn phần, phần lớn ánh sáng của Mặt Trời bị che khuất, cho phép chụp hình được các sao. Trong một bài báo xuất bản trong Thế chiến thứ nhất, Einstein gợi ý rằng sự quan sát trong giai đoạn thiên thực có thể phát hiện ra độ lệch của ánh sáng đi qua gần Mặt Trời.

Kỹ thuật chụp hình trước sáu tháng các sao mà đang trước chúng Mặt Trời bị che khuất sẽ hiện ra và đo đạc vị trí của tất cả các sao một cách chính xác. Và cũng các sao đó được chụp hình trong kỳ thiên thực.

Đây là khi ánh sáng sao tới chúng ta bằng cách men theo mép của Mặt Trời và di chuyển qua không-thời gian cong có thể đo được. Vì thế đường đi của nó không còn là đường thẳng. Như nhìn thấy từ Trái Đất, các sao gần Mặt Trời nhất sẽ "lệch chỗ" – hơi cách xa vị trí thường xuyên của chúng.

Một bản sao duy nhất của bài báo này, đi qua xứ Hà Lan trung lập, tới nhà thiên văn học Anh Arthur S. Eddington, và ông đề ý rằng lần thiên thực thích hợp kế tiếp là vào ngày 29/05/1919. Người

Anh tổ chức hai đoàn thám hiểm để quan sát nó, một đoàn trên hòn đảo Principe, cách xa bờ biển Tây Phi, và đoàn còn lại ở Sobral, ở bắc Brazil. Bất chấp một số vấn đề về thời tiết, cả hai đoàn thám hiểm đã có được những hình ảnh thành công. Các sao nhìn thấy gần Mặt Trời thực sự đã bị đổi chỗ, và với độ chính xác của các phép đo vào khoảng 20%, các sự dịch chuyển là phù hợp với dự đoán của thuyết tương đối. Đó là một thành tựu làm cho Einstein trở nên nổi tiếng.

Các phép đo đã thực hiện năm 1919 là khá tốt để phân biệt giữa thuyết hấp dẫn của Newton và của Einstein. Tuy nhiên, độ chính xác của các phép đo vẫn còn thấp đến nỗi chúng không thể được coi như một chứng minh thuyết phục về sự đúng đắn của lý thuyết. Các cuộc thám hiểm thiên thực về sau đã đem lại các phép đo tốt hơn, nhưng độ chính xác cao hơn nhiều đã đạt được gần đây với các bước sóng vô tuyến.

Các sóng vô tuyến di chuyển cạnh Mặt Trời cũng sẽ bị lệch, và bởi vì Mặt Trời ít sáng hơn trong các sóng vô tuyến, những phép đo như thế có thể được thực hiện dễ dàng hơn. Ban đầu, các nhà thiên văn học vô tuyến không thể xác định đúng hướng của nguồn sóng vô tuyến một cách chính xác như những nhà thiên văn làm việc

với ánh sáng thường. Nhưng giờ đây, kỹ thuật của phép đo giao thoa và việc đưa vào sử dụng của các dây ăng-ten vô tuyến đặt cách nhau thật rộng đã cho phép đo vị trí bằng vô tuyến rất chính xác. Khi Mặt Trời di chuyển qua bầu trời, các phép đo sự dịch chuyển bằng vô tuyến đã xác nhận những dự đoán của Einstein với độ chính xác chỉ sai biệt khoảng 1%.

15.4 THỜI GIAN TRONG THUYẾT TƯƠNG ĐỐI TỔNG QUÁT

♦ MỘT DỰ ĐOÁN

Thuyết tương đối tổng quát đưa ra nhiều dự đoán về động thái của không gian và thời gian. Một trong các dự đoán này, được đưa vào các từ ngữ hằng ngày, là *lực hấp dẫn càng mạnh, thời gian trôi càng chậm*. Một lời phát biểu như thế đi ngược lại cảm nhận trực tiếp về thời gian như một dòng chảy mà chúng ta cùng chia sẻ. Đường như lúc nào thời gian cũng là những khái niệm dân chủ nhất: Tất cả chúng ta, không kể đến tài sản hay địa vị, có vẻ như di chuyển cùng nhau từ cái nôi lúc sinh ra cho tới năm một lúc chết đi trong cùng một dòng chảy vĩ đại của thời gian.

Nhưng Einstein lập luận rằng hình như nó chỉ là như thế đối với chúng ta bởi vì tất cả nhân loại từ trước đến nay đã sống và chết trong môi trường hấp dẫn của Trái Đất. Chúng ta đã không có cơ hội để kiểm chứng các ý tưởng cho rằng tốc độ của thời gian sẽ tùy thuộc vào cường độ của lực hấp dẫn bởi vì chúng ta đã không trải qua các lực hấp dẫn khác nhau một cách rõ rệt. Và, những sự khác biệt trong dòng chảy của thời gian là cực nhỏ cho tới khi có liên quan đến các khối lượng thật lớn. Tuy nhiên, dự

đoán của Einstein giờ đây có thể được kiểm chứng, cả trên Trái Đất và trong không gian.

♦ CÁC KIỂM CHỨNG VỀ THỜI GIAN

Trong một cuộc thí nghiệm tài tình năm 1959, Robert Pound và Glenn Rebka đã sử dụng đồng hồ nguyên tử được biết chính xác nhất để so sánh các phép đo thời gian trên tầng trệt và tầng trên cùng của toà nhà nghiên cứu vật lý tại trường đại học Harvard. Đối với đồng hồ, các nhà thí nghiệm đã sử dụng tần số (số chu kỳ trong một giây) của các tia gamma được phát xạ bởi chất cobalt phóng xạ. Lý thuyết của Einstein dự đoán rằng một đồng hồ cobalt như thế đặt ở tầng trệt, đang gần hơn một chút với trọng tâm của Trái Đất, sẽ chạy chậm hơn một chút so với chính đồng hồ ấy đặt ở tầng trên cùng. Đây chính xác là những gì các nhà thí nghiệm quan sát được. Sau đó, các đồng hồ nguyên tử được mang theo trong phi cơ bay lên cao và thậm chí trên một trong các chuyến bay vào không gian của phi thuyền Gemini. Trong mỗi trường hợp, các đồng hồ càng cách xa Trái Đất thì chúng càng chạy nhanh hơn một chút.

Hiệu quả càng rõ ràng hơn nếu lực hấp dẫn có liên quan là của Mặt Trời chứ không phải là của Trái Đất. Nếu lực hấp dẫn mạnh hơn làm chậm lại tốc độ của thời gian, thì sẽ cần thời gian để cho sóng ánh sáng hay vô tuyến đi qua thật gần rìa mép của Mặt Trời đi tới Trái Đất lâu hơn chúng ta mong đợi trên cơ sở của định luật hấp dẫn của Newton. (Cũng cần thời gian lâu hơn bởi vì không-thời gian bị bẻ cong trong vùng lân cận của Mặt Trời). Khoảng cách giữa tia sáng và rìa mép của Mặt Trời tại đường đi gần

nhất càng nhỏ, sự chậm trễ về thời gian đến càng dài.

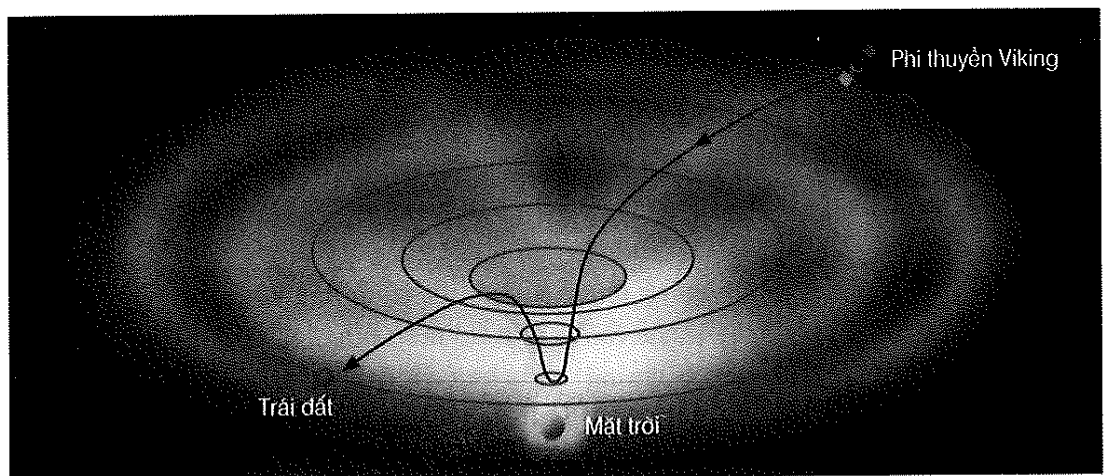
Vào tháng 11/1976, khi hai phi thuyền Viking đang hoạt động trên bề mặt của nó, Sao Hoả (Mars), như được nhìn thấy từ Trái Đất, đang đi phía sau Mặt Trời (Hình 15.9). Các khoa học gia đã lập trước chương trình cho Viking truyền sóng vô tuyến, về phía Trái Đất, sẽ đi gần với các vùng ngoại vi của Mặt Trời. Theo thuyết tương đối tổng quát, sẽ có một sự chậm trễ bởi vì sóng vô tuyến sẽ đi xuyên qua một vùng ở đó thời gian đi chậm hơn. Cuộc thí nghiệm đã có thể xác minh lý thuyết của Einstein với độ sai biệt khoảng 0,1%.

❖ SỰ DỊCH CHUYỂN VỀ PHÍA ĐỎ DO LỰC HẤP DẪN

Khi nói rằng thời gian đi chậm hơn là muốn nói lên điều gì? Khi ánh sáng đi vào một vùng có lực hấp dẫn mạnh và thời gian đi chậm lại, ánh sáng trải qua một sự thay đổi về tần số và bước sóng của nó: chúng ta gọi điều này là *sự dịch chuyển về phía đỏ do lực hấp dẫn*.

Để am hiểu những gì xảy ra trong tình trạng này, chúng ta hãy nhớ lại rằng sóng ánh sáng là một hiện tượng lặp đi lặp lại – đỉnh sóng theo sau lõm sóng, lõm sóng theo sau đỉnh sóng cứ như thế với sự đều đặn vô cùng. Trong ý nghĩa này, mỗi sóng ánh sáng là một cái đồng hồ nhỏ, giữ gìn thời gian với chu kỳ sóng của nó. Nếu lực hấp dẫn mạnh hơn làm chậm lại tốc độ của thời gian, tốc độ qua đó đỉnh sóng theo sau đỉnh sóng phải chậm lại – các sóng trở thành *ít thường xuyên hơn* (less frequent). Điều này có nghĩa là phải có nhiều khoảng trống hơn giữa các đỉnh sóng; nói cách khác, bước sóng của sóng phải gia tăng. Loại gia tăng này (khi bị gây ra bởi sự chuyển động của nguồn) chính là những gì chúng ta gọi là *sự dịch chuyển về phía đỏ* (redshift) trong Chương 4. Ở đây, nó không phải là sự chuyển động nhưng lực hấp dẫn tạo ra sự dịch chuyển về phía đỏ.

Ban đầu khi lý thuyết của Einstein được đề nghị, để đo lường sự dịch chuyển về phía đỏ đối với Trái Đất hay Mặt Trời là điều không thể bởi các hiệu ứng



Thời gian chậm trễ đối với các sóng vô tuyến gần mặt trời: Các tín hiệu vô tuyến từ nơi hạ cánh của phi thuyền Viking trên Sao Hoả bị chậm lại khi chúng đi qua gần Mặt Trời, ở đó không-thời gian bị uốn cong tương đối mạnh. Trong hình này, không-thời gian được mô tả như một tấm trải giường cao su hai chiều.

quá nhỏ đối với các thiết bị của chúng ta. Nhưng lực hút mạnh hơn nhiều của các sao lùn trắng khiến cho chúng trở thành các ứng cử viên tốt hơn cho việc quan sát sự dịch chuyển về phía đỏ như thế. Đối với sao lùn trắng trung bình, chúng ta không biết cách nào để tách sự dịch chuyển về phía đỏ do lực hút của nó ra khỏi sự dịch chuyển về phía đỏ do sự chuyển động của nó qua Dải Ngân Hà gây ra. Nhưng nếu sao lùn trắng là thành viên của một hệ sao đôi, các chuyển động có thể rõ rệt hơn. Trong các hệ thống như vậy, các nhà thiên văn học đã đo đạc thành công sự dịch chuyển về phía đỏ, vào những năm 1920.

Độ chính xác cao hơn nhiều đã đạt được gần đây trong môi trường gần Trái Đất với công nghệ thời đại không gian. Giữa thập niên 1970, một máy maser hydro, thiết bị (hơi giống với thiết bị laser) tạo ra tín hiệu vô tuyến vi ba (microwave radio signal) với một bước sóng riêng biệt, được một hoả tiễn chở tới độ cao 10.000 km. Thiết bị maser (máy khuếch đại viba) được hoả tiễn mang theo dùng để phát hiện sự bức xạ từ một thiết bị maser tương tự trên mặt đất. Bức xạ đã chứng tỏ một sự dịch chuyển về phía đỏ do lực hút của Trái Đất, đã xác nhận các dự đoán của thuyết tương đối trong khoảng một vài phần trong 10.000.

Từ trước đến nay, mỗi dự đoán của thuyết tương đối tổng quát có thể kiểm chứng đã được xác nhận trong các cuộc thử nghiệm. Ngày nay, thuyết tương đối tổng quát được chấp nhận là sự mô tả tốt nhất về lực hấp dẫn và được các nhà thiên văn học và vật lý học sử dụng để tìm hiểu động thái của các thiên hà hoạt động, sự khởi đầu của vũ trụ, và chủ đề về cái chết của các sao thật lớn.

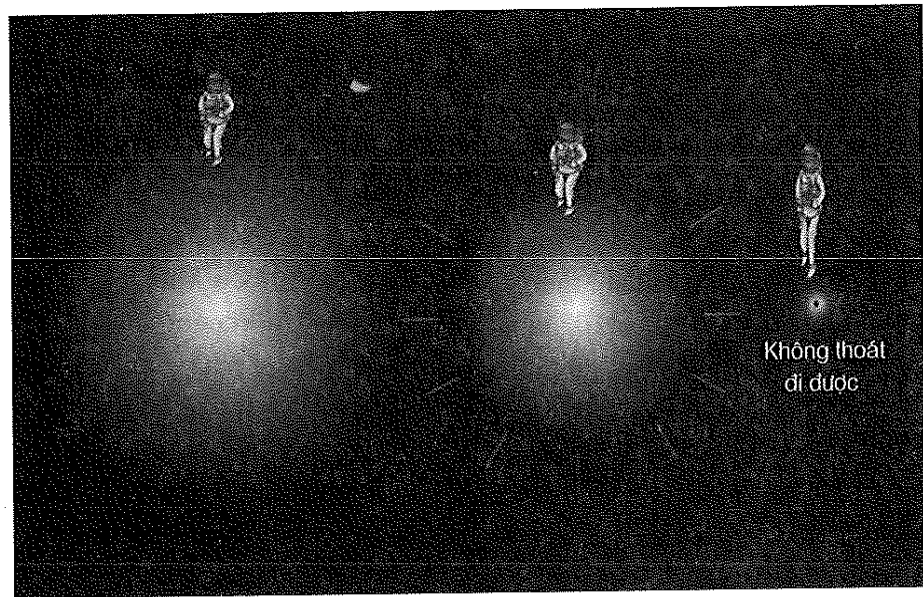
15.5 CÁC LỖ ĐEN

Bây giờ hãy áp dụng những gì chúng ta đã biết về lực hấp dẫn và độ cong của không-thời gian vào phần nhân đang sụp đổ trong một sao rất lớn. Chúng ta thấy rằng nếu khối lượng của phần nhân lớn hơn khoảng $3 M_{\text{Sun}}$, kiến thức lý thuyết buộc chúng ta kết luận rằng không có gì có thể ngăn chặn được phần nhân sụp đổ. Chúng ta sẽ khảo sát tình trạng này từ hai quan điểm – trước hết từ quan điểm tiền-Einstein, và kế đó với sự trợ giúp của thuyết tương đối tổng quát.

✧ SỰ SỤP ĐỔ CỔ ĐIỂN

Chúng ta hãy bắt đầu với một cuộc thí nghiệm tư duy. Chúng ta muốn biết tốc độ nào là cần thiết để thoát khỏi trọng lực của các vật thể khác nhau. Một hoả tiễn phải được phóng đi từ bề mặt của Trái Đất với một tốc độ rất cao nếu muốn thoát khỏi trọng lực của Trái Đất. Thực vậy, bất cứ vật thể nào – hoả tiễn, quả bóng, cuốn sách – được ném vào trong không khí với tốc độ ít hơn 11 km/s sẽ chẳng bao lâu rơi trở lại bề mặt Trái Đất. Chỉ có những vật thể nào được phóng đi với tốc độ lớn hơn *tốc độ bứt phá* hay *tốc độ vượt thoát* (escape velocity) này mới có thể đi ra khỏi Trái Đất.

Tuy nhiên tốc độ vượt thoát khỏi bề mặt Mặt Trời còn cao hơn – 618 km/s. Bây giờ hãy hình dung chúng ta bắt đầu nén ép Mặt Trời, buộc nó co lại về đường kính. Hãy nhớ lại rằng trọng lực tùy thuộc vào khối lượng đang hút bạn và khoảng cách của bạn từ trọng tâm của khối lượng đó. Nếu Mặt Trời bị nén ép, khối lượng của nó sẽ vẫn giữ nguyên, nhưng *khoảng cách* giữa một điểm trên



Sự hình thành một lỗ đen: Bên trái, một phi hành gia (tưởng tượng) nổi bồng bềnh gần bề mặt của một phần nhân-sao khổng lồ sắp sụp đổ. Khi cùng chính khối lượng ấy rơi vào một quả cầu nhỏ hơn, trọng lực tại bề mặt tăng lên, khiến cho bất cứ thứ gì thoát ra khỏi bề mặt của sao cũng khó hơn. Cuối cùng khối lượng sụp đổ vào một quả cầu nhỏ đến nỗi tốc độ thoát đi phải vượt quá tốc độ ánh sáng và vì vậy không có thứ gì có thể thoát đi được. Hãy chú ý rằng kích thước của phi hành gia đã được cường điệu hoá để bạn có thể thấy. Trong hình sau cùng, phi hành gia ở ngay bên ngoài chân trời biến cố, và bị kéo dài ra và nén ép lại bởi trọng lực mạnh.

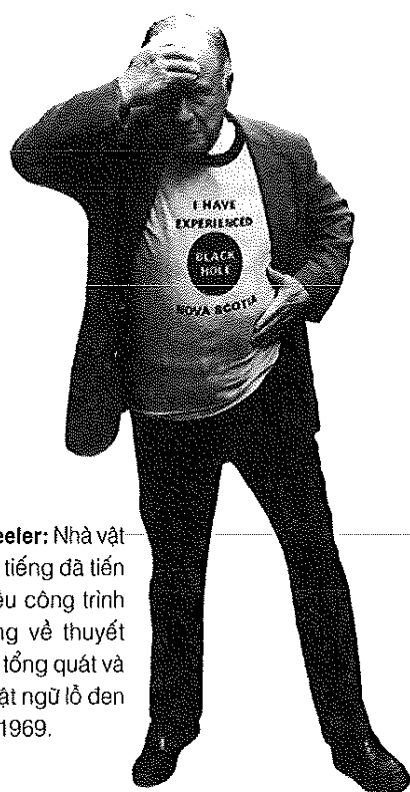
bề mặt Mặt Trời và trung tâm sẽ ngày càng nhỏ hơn. Do vậy, khi chúng ta nén ép sao, trọng lực đối với một vật thể trên bề mặt đang co lại sẽ ngày càng lớn hơn.

Khi Mặt Trời đang co lại đạt tới đường kính của một sao neutron (ít hơn 100 km), tốc độ cần thiết để thoát khỏi trọng lực của nó sẽ vào khoảng phân nửa tốc độ của ánh sáng.

Giả sử chúng ta tiếp tục nén ép Mặt Trời tới một đường kính ngày càng nhỏ hơn. (Chúng ta đã thấy điều này không thể xảy ra với Mặt Trời trong thế giới thực bởi vì sự thoái hoá của electron, nhưng nó sẽ xảy ra với phần nhân của sao siêu khổng lồ). Cuối cùng, khi Mặt Trời co lại, vận tốc thoát đi sẽ vượt qua tốc độ ánh sáng. Nếu vận tốc bạn cần để thoát đi nhanh hơn tốc độ nhanh nhất có thể có trong vũ trụ, sẽ chẳng có thứ

gì, ngay cả ánh sáng, có thể thoát đi được. Một vật thể với tốc độ vượt thoát lớn như thế không phát xạ ánh sáng, và bất cứ thứ gì rơi vào nó sẽ không bao giờ trở lại.

Trong thuật ngữ hiện đại, chúng ta gọi một vật thể từ đó ánh sáng không thể thoát đi là một lỗ đen (black hole), cái tên được khoa học gia Hoa Kỳ John Wheeler đề xuất năm 1969. Tuy nhiên ý tưởng cho rằng những vật thể như thế có thể tồn tại không phải là một ý tưởng mới. Giáo sư trường đại học Cambridge và là nhà thiên văn học tài tử John Mitchell viết một bài báo, vào năm 1783, về khả năng mà các sao với các vận tốc thoát đi vượt qua vận tốc của ánh sáng có thể tồn tại. Và vào năm 1796 nhà toán học Pháp Pierre Simon, Hầu tước de Laplace, thực hiện các tính toán tương tự sử dụng thuyết hấp dẫn của Newton: ông gọi



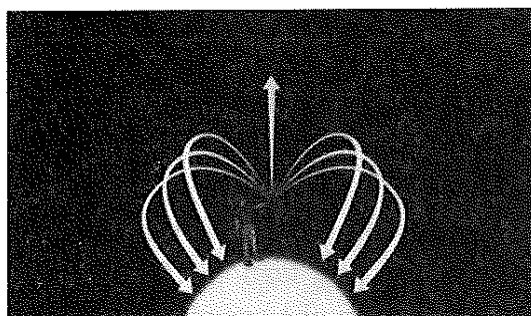
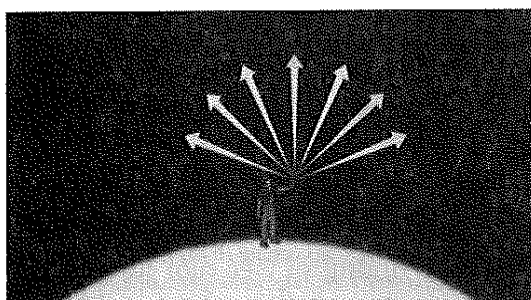
John Wheeler: Nhà vật lý học nổi tiếng đã tiến hành nhiều công trình tiên phong về thuyết tương đối tổng quát và đặt ra thuật ngữ lỗ đen vào năm 1969.

những vật thể từ đó mà ra là “các vật thể tối” (“dark bodies”).

Trong khi những tính toán đầu tiên cung cấp một gợi ý rằng một điều kỳ lạ sẽ được mong đợi nếu các vật thể rất lớn sụp đổ bởi chính trọng lực của nó, thì chúng ta thực sự cần thuyết tương đối tổng quát để mang đến sự mô tả thích hợp về những gì xảy ra trong một tình huống như thế.

❖ SỰ SỤP ĐỔ VỚI THUYẾT TƯƠNG ĐỐI

Thuyết tương đối tổng quát cho chúng ta biết rằng trọng lực thực sự là độ cong trong không-thời gian. Khi trọng lực gia tăng (như trong Mặt Trời đang sụp đổ của cuộc thí nghiệm tư duy của chúng ta) độ cong ngày càng lớn hơn. Cuối cùng,



Đường đi của ánh sáng gần một vật thể khổng lồ: Giả sử một người có thể đứng trên bề mặt của một ngôi sao bình thường với một cái đèn chớp (hay đèn flash). Ánh sáng rời khỏi đèn chớp di chuyển trong một đường thẳng cho dù đèn chớp được chĩa về hướng nào. Tuy nhiên, bây giờ hãy xét xem những gì xảy ra nếu ngôi sao sụp đổ để cho nó chỉ lớn hơn lỗ đen một chút. Mọi đường đi của ánh sáng, ngoại trừ đường thẳng đứng, đều uốn cong trở về bề mặt. Khi ngôi sao co lại bên trong chân trời biến cố và trở thành một lỗ đen, ngay cả một chùm ánh sáng được hướng thẳng đứng cũng vòng trở lại.



Karl Schwarzschild: Nhà khoa học Đức này là người đầu tiên chứng minh bằng toán học rằng một lỗ đen là có thể có.

nếu Mặt Trời có thể co lại tới một đường kính khoảng 6 km, chỉ có các chùm ánh sáng đi ra thẳng góc với bề mặt sẽ thoát được. Tất cả các chùm ánh sáng khác sẽ rơi trở vào ngôi sao. Nếu sau đó Mặt Trời có thể co lại chỉ thêm một chút nữa, ngay cả chùm ánh sáng còn lại cũng sẽ không thể thoát đi được.

Hãy nhớ rằng trọng lực không hút ánh sáng. Trọng lực đã uốn cong không-thời gian, và ánh sáng (giống như con kiến được huấn luyện của thí dụ trước đây), “làm hết sức mình” để đi trong một đường thẳng, giờ đây chạm trán với một thế giới trong đó các đường thẳng đã trở thành các đường cong. Ngôi sao đang sụp đổ là một *lỗ đen*, theo quan niệm này, bởi vì chính khái niệm “đi ra” không có ý nghĩa hình học. Ngôi sao đã trở thành bị mắc kẹt trong cái túi không-thời gian nhỏ bé của riêng nó, từ đó không có lối thoát.

Hình dạng của sao cắt đứt thông tin liên lạc với phần còn lại của vũ trụ một cách chính xác tại thời điểm khi mà, trong hình trước của chúng ta, tốc độ thoát đi bằng với tốc độ của ánh sáng. Kích thước của ngôi sao tại thời điểm này phân định một bề mặt mà chúng ta gọi là *chân trời biến cố* (event horizon). Đó là một cái tên miêu tả tuyệt vời: Giống như những vật thể chìm xuống dưới chân trời không thể được nhìn thấy trên Trái Đất, bất cứ biến cố nào bên trong đường chân trời biến cố có thể không còn ảnh hưởng tới phần còn lại của vũ trụ.

Hãy tưởng tượng một phi thuyền tương lai đậu gần bề mặt của một sao khổng lồ sụp đổ theo cách mà chúng ta đã mô tả.

Có lẽ trưởng đoàn phi hành đang say ngủ nên họ đã sụp đổ cùng với ngôi sao

vào bên trong chân trời biến cố. Thực ra, họ phóng một “tàu thoát hiểm” vượt thẳng ra ngoài. Nhưng các đường đi ra ngoài cong vòng trở lại để trở thành các đường đi vào bên trong, và “tàu thoát hiểm” quay chung quanh rồi rơi về phía trung tâm lỗ đen. Giờ đây trong tuyệt vọng, họ truyền một tín hiệu vô tuyến tới các người thân, kèm theo lời từ biệt. Nhưng các sóng vô tuyến, giống như ánh sáng, phải di chuyển qua không-thời gian, và không-thời gian không cho phép thứ gì đi ra. Tín hiệu của họ vẫn không được nghe thấy. Các biến cố bên trong chân trời biến cố có thể không bao giờ ảnh hưởng tới các biến cố bên ngoài nó nữa.

Các đặc điểm của một chân trời biến cố lần đầu tiên được nhà thiên văn học và toán học Karl Schwarzschild nghĩ ra. Là một thành viên của quân đội Đức trong Thế Chiến Thứ I, ông chết vào năm 1916 vì một chứng bệnh ông mắc phải trong khi thực hiện các tính toán về quả đạn pháo ở mặt trận Nga. Bài báo của ông về lý thuyết của các chân trời biến cố nằm trong số những sự việc cuối cùng ông đã hoàn thành trước khi chết; đó là giải đáp chính xác đầu tiên đối với các phương trình về thuyết tương đối tổng quát của Einstein. Chúng ta gọi bán kính của chân trời biến cố là *bán kính Schwarzschild* để tưởng nhớ ông.

Chân trời biến cố là ranh giới của lỗ đen; các tính toán chứng tỏ rằng nó không trở nên nhỏ hơn một khi ngôi sao đã sụp đổ bên trong nó. Đó là vùng phân cách các vật bị mắc kẹt bên trong nó đối với phần còn lại của vũ trụ. Bất kỳ thứ gì xuất phát từ bên ngoài cũng bị kẹt lại một khi nó đã đi vào bên trong chân trời biến cố. Kích thước của chân trời biến

cố rồi cuộc chỉ tùy thuộc vào khối lượng bên trong nó. Đối với một lỗ đen có khối lượng $1 M_{\text{sun}}$, bán kính *Schwarzschild* khoảng 3 km; vì thế toàn bộ lỗ đen vào khoảng một phần ba kích thước của sao neutron có cùng khối lượng ấy. Hãy cho lỗ đen thêm một số khối lượng, và chân trời sẽ lớn lên – nhưng không lớn lắm. Tăng gấp đôi khối lượng sẽ tạo ra một lỗ đen có bán kính 6 km, vẫn rất nhỏ đối với qui mô của vũ trụ.

Chân trời biến cố của các lỗ đen đồ sộ hơn có những bán kính lớn hơn. Thí dụ, nếu một quần tinh cầu của 100.000 sao (có khối lượng Mặt Trời) có thể sụp đổ thành một lỗ đen, nó sẽ có bán kính 300.000 km, nhỏ hơn một chút so với phân nửa bán kính của Mặt Trời. Nếu toàn bộ Dải Ngân Hà có thể sụp đổ thành một lỗ đen, thì nó sẽ có bán kính chỉ vào khoảng 10^{12} km – khoảng một phần mười của năm ánh sáng. Các khối lượng nhỏ hơn có những chân trời biến cố nhỏ hơn tương ứng: Đối với Trái Đất, để trở thành một lỗ đen, nó phải được nén ép tới bán kính chỉ có 1 cm – khoảng chừng kích thước của một trái nho. Tiểu hành tinh tiêu biểu, nếu bị nghiền nát tới một kích thước nhỏ đủ để trở thành một lỗ đen, sẽ có kích thước của một nhân nguyên tử!

✧ HUYỀN THOẠI VỀ LỖ ĐEN

Phần lớn các giai thoại hiện đại về các lỗ đen là sai lầm. Một ý tưởng mà bạn có thể đã nghe rằng các lỗ đen là những con quái vật hút mọi vật với lực hút ghê gớm của nó. Thực ra, chỉ gần bên lỗ đen thì những hiệu ứng lạ lùng mới bắt đầu có tác dụng. Lực hút ra khỏi một lỗ đen giống như lực hút của một ngôi sao đã sụp đổ để hình thành nó.

Hãy nhớ rằng lực hút của bất cứ sao nào, cách xa một khoảng nào đó, tác động như thể toàn bộ khối lượng của nó được tập trung tại một điểm ở trung tâm, mà chúng ta gọi là trọng tâm. Đối với các sao thực tế, chúng ta chỉ tưởng tượng rằng toàn bộ khối lượng được tập trung ở đó; đối với các lỗ đen, chúng ta sẽ thấy rằng toàn bộ khối lượng thực sự được tập trung tại một điểm trong trung tâm. Vì vậy nếu bạn là một ngôi sao hay hành tinh xa xôi, quay chung quanh một ngôi sao đang trở thành một lỗ đen, quỹ đạo của bạn có thể không bị ảnh hưởng đáng kể bởi sự sụp đổ của ngôi sao ấy (dù nó có thể bị ảnh hưởng bởi bất cứ sự mất đi khối lượng nào xảy ra trước khi sụp đổ). Mặt khác, nếu bạn mạo hiểm đến gần bên chân trời biến cố, điều đó sẽ rất khó cho bạn chống lại “sức hút” của không-thời gian cong gần lỗ đen.

Nếu một ngôi sao khác hay một phi thuyền sắp đi qua cách xa lỗ đen một hay hai bán kính Mặt Trời, các định luật Newton sẽ rất phù hợp để mô tả những gì sẽ xảy ra. Chỉ khi rất gần bề mặt của một lỗ đen thì lực hút của nó mới mạnh đến mức các định luật Newton bị phá vỡ. Một sao khổng lồ với tư cách là một lỗ đen đang đi vào vùng lân cận của chúng ta sẽ an toàn, an toàn rất nhiều cho chúng ta hơn là trước đây trong cuộc đời của nó khi nó còn là một sao nóng bỏng, chói lọi.

✧ CHUYẾN ĐI VÀO LỖ ĐEN

Việc họ không thể nhìn thấy bên trong các lỗ đen đã không ngăn được các nhà khoa học cố gắng tính toán xem chúng như thế nào. Một trong những điều đầu tiên mà những tính toán này đã chứng tỏ là sự hình thành của lỗ đen

gần như xoá sạch toàn bộ ngôi sao đã sụp đổ để tạo ra nó. Các nhà vật lý ưa nói “các lỗ đen không có tóc,” có nghĩa là chẳng có gì lộ ra từ các lỗ đen để cho chúng ta biết về loại sao nào đã tạo ra nó. Thông tin duy nhất mà một lỗ đen có thể tiết lộ về bản thân nó là khối lượng, sự xoay tròn của nó, và liệu nó có điện tích hay không.

Điều gì xảy ra với phần nhân sao đang sụp đổ đã hình thành lỗ đen? Các tính toán tối ưu của chúng ta dự đoán rằng vật liệu sẽ tiếp tục sụp đổ dưới trọng lượng của chính nó, hình thành một *điểm nén* (squezen point) vô hạn – một vị trí với thể tích bằng zero và mật độ vô hạn – qua đó chúng ta đặt cho cái tên là *điểm kỳ dị* (singularity). Tại điểm kỳ dị, không-thời gian ngưng tồn tại. Các định luật vật lý như chúng ta hiểu biết bị phá vỡ. Chúng ta chưa có kiến thức vật lý hay các công cụ toán học để mô tả điểm kỳ dị. Tuy nhiên, từ bên ngoài, toàn thể cấu trúc của một lỗ đen cơ bản (một lỗ đen không tự xoay tròn) có thể được mô tả như một điểm kỳ dị được bao quanh bởi chân trời biến cố. So sánh với con người, các lỗ đen thật sự là những vật thể rất đơn giản!

Các nhà khoa học cũng đã tính toán được những gì sẽ xảy ra nếu một phi hành gia sắp sửa rơi vào một lỗ đen. Chúng ta hãy chọn một vị trí quan sát cách xa chân trời biến cố một khoảng khá dài và an toàn, và theo dõi phi hành gia này rơi về phía nó. Ban đầu, anh ta rơi cách xa chúng ta, di chuyển ngày càng nhanh hơn, giống như thể đang đến gần bất cứ ngôi sao khổng lồ nào. Tuy nhiên, khi anh ta đi gần tới chân trời biến cố của lỗ đen, mọi việc thay đổi. Như chúng ta đã thấy, trường hấp

dẫn mạnh chung quanh lỗ đen sẽ khiến cho các đồng hồ của anh ta chạy chậm hơn, khi được nhìn thấy từ viễn cảnh bên ngoài của chúng ta.

Nếu, khi đến gần chân trời biến cố, anh ta truyền đi tín hiệu mỗi lần một giây theo đồng hồ của mình, chúng ta sẽ thấy khoảng cách giữa các tín hiệu ngày càng dài hơn cho tới khi nó trở thành dài vô tận khi anh ta chạm vào chân trời biến cố. (Nếu phi hành gia đang rơi sử dụng ánh sáng xanh để truyền các tín hiệu của mình đi mỗi giây, chúng ta cũng sẽ thấy ánh sáng ấy trở thành ngày càng đỏ hơn cho tới khi bước sóng của nó gần như vô hạn). Khi khoảng cách giữa các *tiếng tích tắc của đồng hồ* tiến tới vô hạn, có vẻ như đối với chúng ta phi hành gia đang đi chậm lại tới một chỗ dừng, bị đông cứng về thời gian tại chân trời biến cố.

Cùng một cách như vậy, đối với một quan sát viên bên ngoài, tất cả vật chất rơi vào một lỗ đen cũng sẽ có vẻ như dừng lại tại chân trời biến cố, bị đông cứng tại chỗ và cần một thời gian vô hạn để rơi xuyên qua nó. Vì lý do này, các lỗ đen đôi khi được gọi là các *sao đông lạnh* (frozen stars). Nhưng đừng nghĩ rằng vật chất rơi vào một lỗ đen sẽ vì thế được nhìn thấy dễ dàng tại chân trời biến cố. Sự dịch chuyển về phía đỏ mạnh mẽ sẽ làm cho rất khó quan sát bất kỳ bức xạ nào từ các “nạn nhân” đông lạnh của lỗ đen.

Tuy nhiên, đây chỉ là cách mà chúng ta, ở cách xa lỗ đen, nhìn thấy các sự vật. Đối với phi hành gia, thời gian của anh ta đi với tốc độ bình thường của nó và anh ta rơi xuyên qua chân trời biến cố vào lỗ đen. (Hãy nhớ, chân trời này không phải là một rào cản vật lý, mà

chỉ là một vùng trong không gian ở đó độ cong của không-thời gian làm cho sự thoát đi không thể thực hiện được).

Bạn có thể gặp trở ngại với ý tưởng rằng bạn (đang theo dõi từ xa) và phi hành gia (đang rơi vào) có các ý tưởng rất khác nhau về những gì đã diễn ra. Đây là lý do mà các ý tưởng của Einstein về không gian và thời gian được gọi là các *thuyết tương đối*. Những gì mà mỗi quan sát viên đo đạc về thế giới tùy thuộc vào (liên quan với) hệ quy chiếu của mình. Người quan sát ở trong lực hấp dẫn mạnh đo lường thời gian và không gian khác với người quan sát đứng trong lực hấp dẫn yếu. Khi Einstein đề xuất các ý tưởng này, nhiều nhà khoa học cũng gặp khó khăn với ý tưởng cho rằng hai quan niệm rất khác nhau như thế về cùng một diễn biến có thể là đúng đắn, mỗi quan niệm trong “thế giới” của riêng nó, và cố tìm kiếm một sự nhầm lẫn trong các tính toán. Không hề có nhầm lẫn: Chúng ta và phi hành gia ấy thực sự sẽ nhìn thấy sự rơi vào một lỗ đen theo cách rất khác nhau.

Đối với phi hành gia, chẳng hề có sự quay trở lại. Một khi đã vào bên trong chân trời biến cố, phi hành gia, bất cứ tín hiệu nào từ máy phát vô tuyến của anh ta, và bất kỳ tiếng kêu la hối tiếc nào cũng bị che giấu mãi mãi đối với vũ trụ bên ngoài. Tuy nhiên, anh ta sẽ không có nhiều thời gian (từ viễn cảnh của mình) để cảm thấy hối tiếc cho bản thân khi đến gần lỗ đen. Giả sử anh ta đang rơi một feet đầu tiên. Trọng lực được sinh ra bởi điểm kỳ dị đối với đôi chân của anh ta sẽ hơi lớn hơn đối với đầu anh ta, và anh ta sẽ bị kéo giãn ra một chút. Bởi vì điểm kỳ dị là một điểm, bên trái cơ thể anh ta sẽ bị kéo về phía

phải một chút và bên phải cơ thể sẽ bị kéo về phía trái một chút, làm cho mỗi bên gần hơn với điểm kỳ dị. Cho nên phi hành gia sẽ hơi bị nén ở chiều này và bị kéo dài ở chiều kia.

Trái Đất tạo ra các *lực thủy triều* (tidal forces) tương tự đối với một phi hành gia đang thực hiện một cuộc đi bộ ngoài không gian. Trong trường hợp của Trái Đất, các lực thủy triều là quá nhỏ đến nỗi chúng không đặt ra mối đe dọa cho sức khỏe và sự an toàn của phi hành gia. Nhưng không như thế trong trường hợp của một lỗ đen. Chẳng sớm thì muộn, khi phi hành gia tiến gần tới lỗ đen, các lực thủy triều sẽ trở nên rất lớn đến nỗi phi hành gia sẽ bị xé toạc ra từng mảnh. Đôi chân sẽ bị xé toạc ra khỏi thân mình, hai mắt cá chân rời khỏi đôi chân, các ngón chân rời khỏi hai bàn chân, và vân vân. Chẳng bao lâu sẽ chỉ là những nguyên tử riêng biệt từ cơ thể bị xé vụn của anh ta sẽ tiếp tục rơi vào điểm kỳ dị.

♦ MỘT CÁCH TẠO RA LỖ ĐEN

Lý thuyết cho chúng ta biết lỗ đen giống như cái gì. Nhưng các lỗ đen có thực sự tồn tại không? Thí dụ, chúng ta biết chẳng hề có thứ gì trong vũ trụ có thể nghiền nát Trái Đất hay Mặt Trời thành một quả cầu nhỏ để trở thành một lỗ đen. Song, như chúng ta đã thấy, sự sụp đổ của một nhân sao khổng lồ có thể là một loại trạng thái có thể tạo ra một lỗ đen.

Câu hỏi gay go, và là câu hỏi mà lý thuyết chưa có khả năng trả lời là: Có phải những phần nhân của một số sao thực ra lớn đến mức vượt qua giới hạn bên trên về khối lượng của sao neutron (khoảng gấp ba lần khối lượng của Mặt

Các cỗ máy thời gian là một trong các thiết bị được ưa chuộng nhất của truyện khoa học viễn tưởng. Một thiết bị như thế sẽ cho phép bạn di chuyển qua thời gian với những tốc độ khác nhau hay những chiều hướng khác nhau đối với mỗi người. Thuyết tương đối tổng quát nêu lên rằng, về mặt lý thuyết, có thể xây dựng một cỗ máy thời gian sử dụng lực hấp dẫn, có thể mang bạn vào trong tương lai.

Hãy tưởng tượng một nơi có lực hấp dẫn mạnh khủng khiếp, chẳng hạn như một lỗ đen. Thuyết tương đối tổng quát dự đoán rằng lực hấp dẫn càng mạnh, tốc độ của thời gian càng chậm (như được nhìn thấy bởi người quan sát ở xa). Do vậy hãy hình dung một phi hành gia tương lai, với một phi thuyền bay nhanh, tình nguyện thực hiện sứ mạng đi tới một môi trường có lực hấp dẫn mạnh như thế. Phi hành gia ra đi vào năm 2200, ngay sau khi tốt nghiệp trường đại học ở tuổi 22. Chúng ta hãy thí dụ, cô ta mất 10 năm để đi tới lỗ đen. Một khi đã đến đó, cô ta bay vòng quanh theo quỹ đạo cách xa nó một khoảng, vừa cẩn thận không để bị hút vào.

Giờ đây cô ta ở trong vùng lực hấp dẫn cao nơi mà thời gian trôi qua chậm hơn nhiều so với thời gian trôi qua trên Trái Đất. Điều này không chỉ là một hiệu ứng đối với cơ cấu của các đồng hồ của cô ta – thời gian tự nó đang đi chậm lại. Điều đó có nghĩa là mỗi phương thức, mà cô ta có, về việc đo lường thời gian, sẽ cho ra những con số đọc chậm lại như nhau khi so sánh với thời gian trôi qua trên Trái Đất. Tim cô ta sẽ đập chậm hơn, tóc cô ta sẽ mọc chậm hơn, đồng hồ đeo tay lỗi thời của cô ta sẽ chạy (hay kêu tích tắc) chậm hơn, và vân vân. Cô ta không nhận thức được về sự chậm lại này, bởi vì tất cả các số đọc của cô ta về thời gian, hoặc được tạo ra bởi các chức năng cơ thể của chính cô ta hay với các thiết bị cơ học, đang đo lường thời gian – chậm hơn – như nhau. Trong khi đó, trở về Trái Đất, thời gian trôi qua như nó luôn luôn vận hành như thế.

Phi hành gia của chúng ta giờ đây ló ra khỏi khu vực của lỗ đen, sứ mạng thám hiểm của cô đã kết thúc, và quay trở về Trái Đất. Trước khi rời khỏi cô ta cẩn thận ghi chú rằng (theo đồng hồ của cô ta) cô ta đã trải qua khoảng hai tuần chung quanh lỗ đen. Kể đó cô ta mất chính xác 10 năm để quay về Trái Đất. Các tính toán của cô ta nói cho cô ta biết rằng bởi vì cô ta đã 22 tuổi khi ra đi khỏi Trái Đất, cô ta sẽ là 42 tuổi cộng thêm hai tuần khi cô ta

quay về. Vì thế năm trên Trái Đất, cô ta nghĩ, sẽ là năm 2242, và bạn học của cô ta giờ đây sẽ đang đến gần các cuộc khủng hoảng giữa cuộc đời.

Nhưng phi hành gia của chúng ta lẽ ra nên chú ý nhiều hơn trong lớp học thiên văn của mình! Bởi vì thời gian đi chậm lại gần bên lỗ đen, thời gian trôi qua đối với cô ta ít hơn nhiều so với con người trên Trái Đất. Trong khi các đồng hồ của cô ta đo được hai tuần lễ trôi qua gần lỗ đen, thì hơn 2000 tuần (tùy thuộc vào việc cô ta ở gần tới mức nào) có thể cũng đã trôi qua trên Trái Đất. Điều đó tương đương với 40 năm, nghĩa là các bạn cùng lớp của cô ta sẽ là những công dân cao niên ở trong độ tuổi 80 của họ khi cô ta (chỉ có 42 tuổi) trở về. Trên Trái Đất, sẽ không phải là năm 2242, mà là năm 2282 – và cô ta sẽ nói rằng cô ta đã đi *trong tương lai*.

Tình huống này có thực không? Được thôi, nó có những sai sót thực tế – chúng ta không nghĩ rằng có bất kỳ lỗ đen nào đủ gần để cho chúng ta đi tới trong 10 năm, và chúng ta không nghĩ rằng bất kỳ phi thuyền nào hay người nào có thể sống sót quanh lỗ đen. Nhưng vấn đề chủ yếu, về sự chậm lại của thời gian, là một hệ quả tự nhiên của thuyết tương đối tổng quát của Einstein, và chúng ta đã thấy rằng những sự dự đoán của nó đã được xác nhận qua hết thí nghiệm này đến thí nghiệm khác.

Các nhà văn khoa học viễn tưởng chú ý nhiều tới các phát kiến trong thiên văn học và vật lý học đã chớp lấy ý tưởng này cho các tình tiết cốt truyện tuyệt vời. Trong tiểu thuyết *"World Out of Time"* (Thế Giới Vượt Thời Gian) của Larry Niven (1976, Ballantine Books), nhân vật chính di chuyển chung quanh một lỗ đen cực lớn và trở về Trái Đất khoảng ba triệu năm trong tương lai. Và trong *"Gateway"* (Lối Thoát) của Fred Pohl (1977, Ballantine Books), "người hùng" đã xô cô bạn gái của mình vào một lỗ đen để anh ta có thể thoát khỏi lực hút mạnh mẽ của nó. Không chỉ họ mãi mãi không thể nói chuyện với nhau hay chạm vào nhau được nữa, anh ta sau đó phải đối phó với tội lỗi tăng thêm vì biết rằng, giờ đây anh ta cách xa lỗ đen, thời gian của anh ta đang trôi qua nhanh hơn nhiều so với thời gian của nàng. Đối với anh ta, nàng hầu như bị treo lơ lửng trong thời gian, và (nếu có một kính viễn vọng khá tốt) anh ta có thể nhìn thấy nàng ở đó trong quãng đời còn lại của anh ta, đang nhìn ngược về phía anh ta mà không tin rằng anh ta đã có thể làm một điều khủng khiếp như thế.

Trời)? Nếu như thế, thì chẳng có thứ gì mà hiện tại chúng ta đã nhận thức được có thể làm ngưng sự sụp đổ của chúng, và chúng sẽ hình thành các lỗ đen.

Nếu lý thuyết chưa thể cho chúng ta biết những điều kiện nào tạo ra lỗ đen chứ không phải sao neutron, các quan sát có cung cấp bất kỳ bằng chứng nào rằng các lỗ đen thực sự tồn tại? Trước tiên, bạn có thể nghĩ rằng thật khó để tìm kiếm một thứ gì đó ở cách xa nhiều năm ánh sáng mà đường kính tương đương 10 km và hoàn toàn đen! Nhưng có thể phát hiện ra sự có mặt của lỗ đen bởi những điều mà nó hành xử với sao đồng hành.

15.6 CHỨNG CỨ VỀ LỖ ĐEN

Khi các sao sụp đổ thành các lỗ đen, chúng để lại ảnh hưởng hấp dẫn của chúng ở phía sau. Chúng ta đã thấy rằng một sao đồng hành, cách xa một khoảng, có thể không bị ảnh hưởng bởi sự sụp đổ (mặc dù bất cứ vụ nổ siêu tân tinh kèm theo nào có thể liên đới sự mất mát của nó của nó đối với sao đồng hành). Nếu một thành viên của hệ sao đôi trở thành một lỗ đen, chúng ta có thể phát hiện ra điều đó bằng cách nghiên cứu sự chuyển động và các đặc tính khác của sao đồng hành.

✧ CÁC YÊU CẦU ĐỐI VỚI MỘT LỖ ĐEN

Sau đây là sự diễn tả về việc phát hiện ra một lỗ đen: Đầu tiên, hãy tìm một ngôi sao mà chuyển động của nó (được xác định từ sự dịch chuyển Doppler của các vạch phổ) chứng tỏ nó là thành viên của một hệ sao đôi. Nếu cả hai sao đều được nhìn thấy, không có sao nào

có thể là lỗ đen, hãy tập trung sự chú ý vào những hệ thống nào ở đó chỉ một sao trong cặp sao được nhìn thấy, thậm chí với các kính viễn vọng nhạy cảm nhất.

Tuy nhiên, không thể nhìn thấy thì chưa đủ, bởi vì một sao tương đối mờ có thể là không được nhìn thấy do kề cận sự chói sáng của sao đồng hành, hay ở trong một màn bụi. Và thậm chí nếu ngôi sao thực sự không thể nhìn thấy được, nó có thể là một sao neutron. Cho nên, chúng ta cũng phải có chứng cứ rằng ngôi sao không nhìn thấy được có khối lượng quá lớn nên không phải là sao neutron, và là một thiên thể bị sụp đổ – một thiên thể với kích thước cực nhỏ.

Chúng ta có thể sử dụng định luật Kepler (xem Chương 2) và kiến thức của chúng ta về sao thấy được để đo đặc khối lượng của thành viên thấy được của cặp sao. Nếu khối lượng lớn hơn khoảng $3 M_{\text{Sun}}$, chúng ta rất có thể đang thấy (hay chính xác hơn, không nhìn thấy) một lỗ đen – miễn sao chúng ta có thể chắc chắn vật thể ấy thực sự là một sao bị sụp đổ.

Nếu vật chất rơi về phía một vật thể cô đặc với lực hấp dẫn lớn, vật liệu được gia tăng tới tốc độ cao. Gần chân trời biến cố của lỗ đen, vật chất đang di chuyển với các tốc độ gần với tốc độ ánh sáng. Khi các nguyên tử lao đi một cách hỗn loạn về phía chân trời biến cố, chúng cọ sát vào nhau; sự ma sát nội tại có thể nung nóng chúng tới nhiệt độ 100 triệu K hay hơn nữa. Vật chất nóng như thế phát ra bức xạ dưới dạng các tia X nhấp nháy. Phần mô tả cuối cùng của chúng ta, là tìm kiếm nguồn tia X liên quan với hệ sao đôi. Bởi vì các tia X không xuyên thủng khí quyển Trái Đất, những nguồn như thế phải được phát hiện bằng

cách dùng các kính viễn vọng tia X trong không gian.

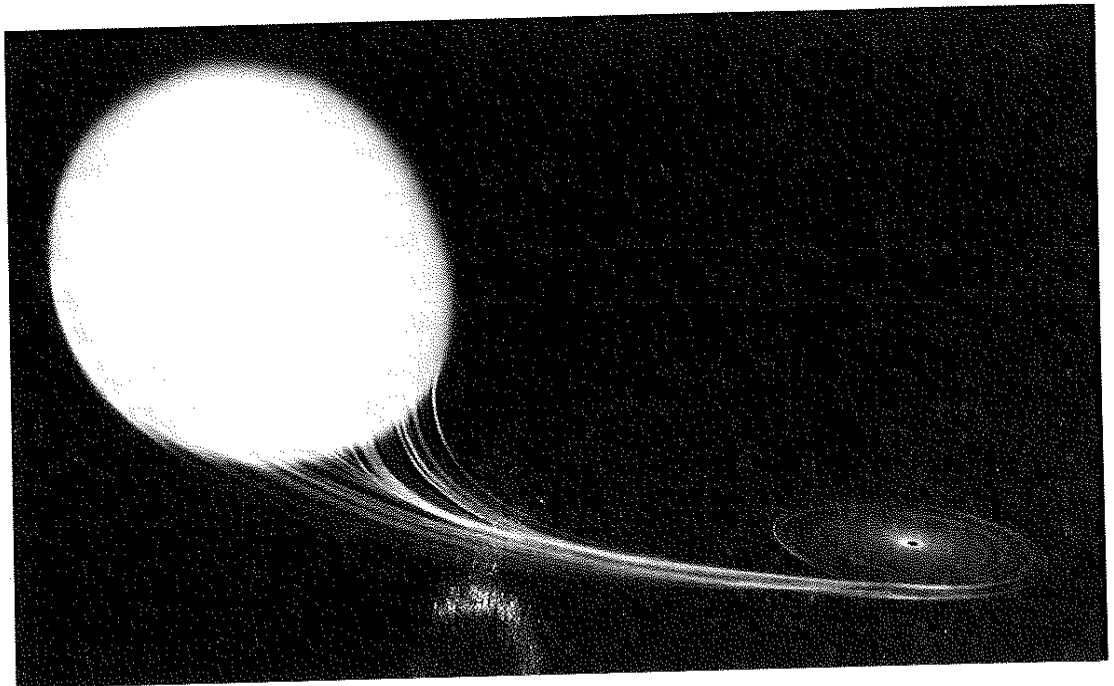
Chất khí đang rơi tạo ra sự phát xạ tia X xuất phát từ sao đồng hành của lỗ đen. Như chúng ta đã thấy trong Chương 14, các sao trong hệ sao đôi gần nhau có thể trao đổi khối lượng, đặc biệt khi một trong các thành viên giãn nở thành một sao khổng lồ đỏ. Giả sử một sao trong hệ sao đôi đã tiến hoá thành một lỗ đen và sao thứ hai bắt đầu giãn nở về kích thước. Nếu hai sao không cách xa nhau quá, các lớp bên ngoài của sao giãn nở có thể đạt tới mức độ (hay điểm) ở đó lỗ đen tạo ra lực hấp dẫn đối với chúng mạnh hơn so với các lớp bên trong của sao khổng lồ đỏ mà khí quyển phụ thuộc. Kế đó, ngoại tầng khí quyển đã đi qua *mức độ (hay điểm) không quay trở lại* giữa các sao và rơi về phía lỗ đen.

Sự xoay quanh lẫn nhau của sao khổng lồ và lỗ đen khiến cho vật liệu rơi

về phía lỗ đen xoáy tròn chung quanh nó hơn là tuôn chảy thẳng vào nó. Chất khí đang rơi xoáy tít chung quanh lỗ đen trong dạng một cái bánh kếp, dẹp của vật chất gọi là *đĩa bồi* (accretion disk). Chính là ở phần bên trong của đĩa này vật chất đang quay quanh lỗ đen nhanh đến mức sự ma sát nội tại nung nóng nó tới các nhiệt độ làm phát xạ tia X.

Một cách thức khác nữa để hình thành một đĩa bồi trong hệ sao đôi là phải có một luồng gió sao mạnh xuất phát từ sao đồng hành của lỗ đen. Những luồng gió như thế là đặc điểm của một số giai đoạn trong cuộc đời của sao. Một số khí bị phun trào trong luồng gió sau đó sẽ tuôn chảy khá gần với lỗ đen để bị nó hút vào trong đĩa.

Như thường xảy ra, các phép đo mà chúng ta đã và đang bàn luận không đơn giản như chúng được trình bày trong các sách giáo khoa nhập môn.



Đĩa bồi của lỗ đen trong một hệ sao đôi: Khối lượng bị mất từ một sao khổng lồ xuyên qua một luồng gió sao tuôn chảy về phía một lỗ đen và xoáy tròn chung quanh nó trước khi rơi xuống. Ở các phần bên trong của đĩa bồi, vật chất đang quay tròn nhanh đến độ sự ma sát nội tại nung nóng nó tới nhiệt độ rất cao và các tia X bị phát xạ.

Trong đời sống thực tế, định luật Kepler chỉ cho phép chúng ta tính toán khối lượng tổng hợp của hai sao trong hệ sao đôi. Chúng ta phải am hiểu nhiều hơn về ngôi sao thấy được trong cặp sao và lịch sử của nó để tách rời khối lượng của nó ra khỏi sao đồng hành không được nhìn thấy. Cũng vậy, các tính toán bị ảnh hưởng bởi việc quỹ đạo của hai sao bị nghiêng tới mức nào về phách Trái Đất, một điều mà chúng ta hiếm khi biết cách để đo đạc. Và các sao neutron cũng có thể có các đĩa bồi tạo ra các tia X, vì vậy các nhà thiên văn học phải nghiên cứu các đặc tính của các tia X này một cách cẩn thận khi cố gắng xác định loại vật thể tại trung tâm của đĩa là gì. Tuy nhiên, bằng chứng về các lỗ đen trong một số hệ thống khá mạnh mẽ.

✧ CÁC VẬT THỂ DỰ TUYẾN

Bởi vì các tia X là một mẫu chốt quan trọng đến nỗi chúng ta đang đối phó với lỗ đen có một ít của sao đồng hành của nó “làm bữa trưa”, sự truy tìm các lỗ đen phải đợi việc phóng các kính viễn vọng tia X vào không gian. Các thiết bị này phải có khả năng phân biệt vị trí của các nguồn tia X và cho phép chúng ta so sánh chúng với các vị trí của các hệ sao đôi. Chúng ta nghĩ rằng trong một trường hợp như thế, hệ sao đôi là ứng viên lỗ đen đầu tiên của chúng ta: Cygnus X-1.

Ngôi sao thấy được trong Cygnus X-1 thuộc loại phổ B. Các phép đo về dịch chuyển Doppler của các vạch phổ sao B chứng tỏ rằng nó có một sao đồng hành không thấy được. Các tia X rung rinh từ nó gợi ý rằng nó là một vật thể nhỏ bị sụp đổ – nhưng nó là một sao neutron hay một lỗ đen? (Hãy nhớ rằng, các sao neutron có thể phổ biến hơn nhiều, bởi

vì chúng xuất phát từ các sao khối lượng thấp, đông đảo hơn). Để phát hiện ra, các nhà thiên văn học đã cố gắng xác định khối lượng của thành viên không thấy được của cặp sao: nó hình như lớn gấp 10 lần khối lượng của Mặt Trời. Vì thế sao đồng hành quá đồ sộ nên không phải là một sao lùn trắng hay sao neutron.

Có một số hệ sao đôi khác thoả mãn tất cả các điều kiện để trở thành các ứng viên lỗ đen đầu tiên. Bảng ở trang sau liệt kê các đặc điểm của một số trường hợp tối ưu.

✧ CUNG CẤP VẬT LIỆU CHO LỖ ĐEN

Sau khi một sao cô lập, hay ngay cả một sao trong hệ sao đôi, trở thành lỗ đen, có lẽ nó không thể phát triển lớn hơn. Ở ngoài các khu vực cục bộ của Dải Ngân Hà nơi chúng ta đang sống, các ngôi sao và các hệ sao ở cách thật xa đối với các sao khác cho nên không cung cấp “thức ăn” cho một lỗ đen đói được. Nói cho cùng, các vật liệu phải đến sát bên chân trời biến cố trước khi lực hấp dẫn khác biệt với lực hấp dẫn của ngôi sao đã trở thành lỗ đen.

Song, các vùng trung tâm của các thiên hà hoàn toàn khác với các phần bên ngoài. Ở đây các sao và vật liệu thô sơ có thể khá chen chúc, và chúng có thể tương tác lẫn nhau thường xuyên hơn nhiều. Vì vậy, các lỗ đen ở vùng trung tâm của các thiên hà có thể có nhiều cơ hội hơn để tìm thấy khối lượng đủ gần với các chân trời biến cố của chúng để hút lấy.

Các lỗ đen không kén chọn “thực phẩm” để “dùng bữa”: chúng rất thích tiêu thụ các sao khác, các tiểu hành tinh, chất khí, chất bụi và thậm chí các lỗ đen khác.

Một số lỗ đen đơn giản nhất trong các hệ sao đôi			
Tên (Định mục)	Loại Phân loại Sao Đôi Chính	Chuỗi Số (Chuỗi Số)	Chuỗi Số (Chuỗi Số)
Cygnus X-1	Siêu khổng lồ B	5,6	6 – 15
LMC X-3	Chuỗi sao chính B	1,7	4 – 11
A0620 – 00 (V616 Mon) ^(*)	Chuỗi sao chính K	7,8	4 – 15
GS202 + 1338 (V404 Cyg)	Chuỗi sao chính K	6,5	> 6
GS2000 + 25 (QZ Vul)	Chuỗi sao chính K	0,35	4 – 15
GS1124 – 683 (Nova Mus 1991)	Chuỗi sao chính K	0,43	4 – 15
GRO J1655 – 40 (Nova Sco 1994)	Chuỗi sao chính F	2,4	4 – 15
H1705 – 250 (Nova Oph 1977)	Chuỗi sao chính K	0,25	4 – 15
GRS1009 – 45 (Nova Velorum 1993)	Sao lùn M	0,29	4 – 8
GRO J0422 + 32	Sao lùn M	0,21	4 – 15

(*) Như bạn có thể nói, không hề có cách thức tiêu chuẩn nào để gọi tên các ứng viên này. Chuỗi các con số là vị trí của nguồn theo độ xích kinh và độ lệch (hay độ xích vĩ) (hệ thống kinh độ và vĩ độ trên bầu trời); các chữ đứng trước chúng chỉ rõ vệ tinh đã khám phá ra ứng viên – A cho Ariel, G cho Ginga, vân vân. Các ký hiệu trong dấu ngoặc đơn là các ký hiệu được các nhà thiên văn học nghiên cứu các hệ sao đôi hay các tân tinh sử dụng.

(Nếu hai lỗ đen sáp nhập lại, bạn chỉ có một lỗ đen với khối lượng nhiều hơn và một chân trời biến cố rộng hơn).

Tóm lại, các lỗ đen trong các vùng đông đúc có thể lớn lên, cuối cùng nuốt hàng ngàn hay thậm chí hàng triệu lần khối lượng của Mặt Trời. Các cuộc quan sát bằng kính không gian Hubble gần đây đã đưa ra chứng cứ đầy ấn tượng về sự tồn tại của các lỗ đen trong vùng trung tâm của nhiều thiên hà. Những lỗ đen này có thể chứa hơn một tỉ lần khối lượng của Mặt Trời. Sự hấp dẫn điên cuồng của những lỗ đen siêu khổng lồ như thế có thể liên quan đến một số hiện tượng mạnh mẽ nhất trong vũ trụ.

Ngày càng có nhiều bằng chứng hơn cho thấy một số sao kết thúc cuộc sống của chúng như các lỗ đen. Hơn nữa, những cuộc kiểm chứng bằng quan sát về

thuyết tương đối tổng quát của Einstein đã thuyết phục ngay cả những khoa học gia hay ngờ vực nhất rằng bức tranh về không-thời gian cong quả thực là sự mô tả tối ưu về các hiệu ứng của lực hấp dẫn.

TÓM LƯỢC

15.1 Einstein đã đề xuất *nguyên lý tương đương (equivalence principle)* như là nền tảng của *thuyết tương đối tổng quát (general relativity)*. Theo nguyên lý này, chẳng có cách gì để cho bất cứ ai hay bất cứ thí nghiệm nào trong một môi trường khép kín có thể phân biệt được giữa sự rơi tự do và sự vắng mặt của trọng lực.

15.2 Bằng cách xem xét các hệ quả của nguyên lý này, Einstein kết luận

rằng chúng ta đang sống trong một *không-thời-gian (spacetime)* cong. Sự phân bố của vật chất quyết định độ cong của không thời gian; các vật thể khác (và ngay cả ánh sáng) đi vào một vùng của không-thời-gian phải đi theo độ cong của nó.

15.3 Ở các tốc độ thấp và trong các trường hấp dẫn yếu, các dự đoán của thuyết tương đối tổng quát phù hợp với các dự đoán của thuyết hấp dẫn của Newton. Tuy nhiên, thuyết tương đối dự đoán rằng ánh sáng sao và các sóng vô tuyến sẽ bị lệch khi chúng đi qua gần Mặt Trời, và vị trí nơi mà Sao Thủy (Mercury) ở tại điểm cận nhật có lẽ thay đổi khoảng 43 arcsec trong một thế kỷ dù cho không có các hành tinh nào khác trong hệ mặt trời làm nhiễu loạn quỹ đạo của nó. Các dự đoán này đã được kiểm chứng bằng thực nghiệm.

15.4 Thuyết tương đối tổng quát dự đoán rằng lực hấp dẫn càng mạnh, thời gian phải đi càng chậm hơn. Các cuộc thử nghiệm trên Trái Đất và với phi thuyền đã xác nhận những dự đoán này với độ chính xác đáng kể. Khi ánh sáng hay các bức xạ khác ló ra khỏi một xác sao cô đặc, nó thể hiện một sự dịch chuyển về phía đỏ do sự chậm lại của thời gian.

15.5 Lý thuyết nêu ra rằng các sao với những nhân sao lớn hơn gấp ba lần khối lượng của mặt trời tại thời điểm

chúng cạn kiệt nhiên liệu hạt nhân của chúng sẽ sụp đổ để trở thành các *lỗ đen (black holes)*. Bề mặt bao quanh lỗ đen, ở đó tốc độ vượt thoát bằng với tốc độ ánh sáng, được gọi là *chân trời biến cố (event horizon)*, và bán kính của bề mặt được gọi là bán kính Schwarzschild. Không một thứ gì, ngay cả ánh sáng, có thể thoát ra khỏi chân trời biến cố từ lỗ đen. Tại trung tâm của nó, mỗi lỗ đen có một *điểm kỳ dị (singularity)*, một điểm với mật độ vô cực và thể tích bằng không (hay zero). Vật chất rơi vào lỗ đen dường như, khi được quan sát bởi một quan sát viên bên ngoài, đông cứng tại chân trời biến cố. Tuy nhiên, nếu lướt đi theo vật chất đang rơi, chúng ta sẽ đi xuyên qua chân trời biến cố. Trong quá trình đó, các lực thủy triều do điểm kỳ dị tạo ra sẽ xé cơ thể chúng ta ra từng mảnh.

15.6 Chứng cứ tốt nhất cho thấy các lỗ đen có khối lượng của sao thực sự tồn tại xuất phát từ các hệ sao đôi có (a) một sao trong cặp sao không nhìn thấy được, (b) đặc điểm phát xạ tia X của đĩa bồi chung quanh một vật thể cô đặc, và (c) một dấu hiệu từ quỹ đạo và các đặc điểm của các sao thấy được chứng tỏ rằng khối lượng của sao đồng hành không thấy được là lớn hơn $3 M_{\text{Sun}}$. Một số hệ thống với các đặc điểm này đã được tìm thấy. Cũng có thể có các lỗ đen đồ sộ hơn.





Hợp Nhất Các Sao Neutron: Trong bức tranh tưởng tượng này, họa sĩ Don Dixon mô tả một cặp sao neutron sắp sửa hợp nhất, các vỏ "cứng" của chúng đang vỡ ra. Với nhiệt độ trong phạm vi một triệu độ K, các sao neutron được trình bày như chúng có thể hiện ra với đôi mắt nhạy cảm với tia X. Những sự hợp nhất như thế có thể liên quan với các sự bùng nổ tia gamma bí ẩn.

CHƯƠNG 16

BÍ MẬT CỦA CÁC VỤ BÙNG NỔ TIA GAMMA

“Các vấn đề khoa học quan trọng không được giải quyết bởi ý kiến đa số... mà bởi nhiều dữ liệu hơn... Tôi tin rằng chỉ một vài năm nữa sẽ biết được các trái phá tia gamma nằm ở đâu (và thậm chí là cái gì)”.

Sir Martin Rees, nhà thiên văn học Hoàng gia Anh, tại cuộc tranh luận tháng 4/1995 về bản chất của các vụ bùng nổ tia gamma ở Washington, DC.

Mọi người đều ưa thích những câu chuyện bí mật hấp dẫn, và các nhà thiên văn học cũng không phải là ngoại lệ. Có một sự bí ẩn mà chúng ta đã và đang lần ra manh mối trong một phần tư thế kỷ vừa qua mà dường như – sau cùng – gần tìm ra lời giải đáp. Đó là một câu chuyện thú vị, liên quan tới kính viễn vọng trong không gian, các sao neutron và lỗ đen, và một số công trình nghiên cứu mới.

Bí mật lần đầu tiên được khám phá vào giữa những năm 1960, không phải bởi một dự án thiên văn, mà là kết quả của một cuộc nghiên cứu về các dấu hiệu của các vụ nổ vũ khí hạt nhân. Bộ Quốc phòng Hoa Kỳ đã phóng một loạt các vệ tinh Vela để tìm kiếm dấu vết các vụ nổ của vũ khí hạt nhân trong không gian. Bởi vì các vụ nổ như thế tạo ra một dạng mạnh nhất của các sóng điện từ (xem Chương 4) gọi là các

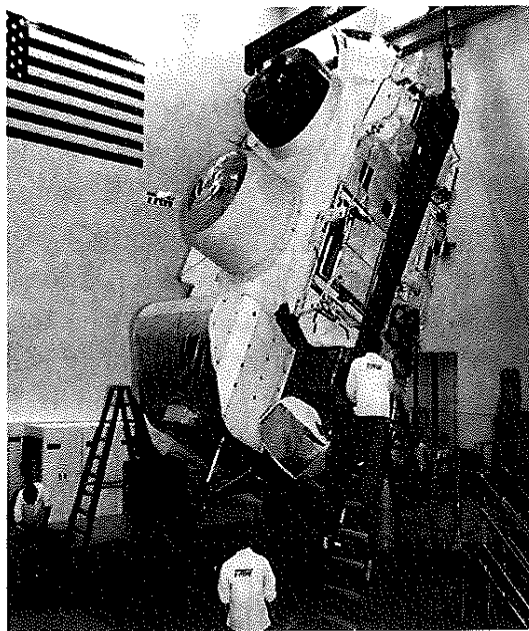
tia gamma (gamma rays). Các vệ tinh đã không phát hiện được bất kỳ biến cố nào từ các hoạt động của con người, nhưng đã phát hiện ra các vụ nổ của các tia gamma xuất phát từ các hướng ngẫu nhiên trong vũ trụ.

Tin tức về sự khám phá lần đầu tiên được công bố (sau khi phân tích kỹ càng) vào năm 1973; tuy nhiên, nguồn gốc của các vụ nổ vẫn còn là một bí ẩn. Không một ai biết cái gì đã tạo ra sự lóe sáng ngắn ngủi của các tia gamma hay các nguồn đó nằm cách bao xa. Chúng có thể đã ở sát bên các vùng ngoại vi của hệ mặt trời hay ở rìa vũ trụ có thể quan sát được. Dĩ nhiên, có rất nhiều lý thuyết có sức thuyết phục đã được đề xuất về các vụ nổ, nhưng điều thiếu sót là chứng cứ hợp lý quyết định các lý thuyết này. Quả thực, sự kiện các nhà thiên văn học không có manh mối về việc các “trái phá”

tia gamma có thể là cái gì là lý do hiếm khi có sự đề cập về chúng trong hầu hết các sách giáo khoa.

✧ TỪ MỘT VÀI CHO TỚI HÀNG NGÀN VỤ BÙNG NỔ

Với việc phóng Đài quan sát tia gamma Compton do NASA thực hiện vào năm 1991, các nhà thiên văn học đã bắt đầu xác định nhiều vụ bùng nổ khác và để tìm hiểu thêm về chúng. Khoảng một lần mỗi ngày, vệ tinh phát hiện ra một sự lóe sáng của các tia gamma ở một nơi nào đó trong bầu trời kéo dài từ một phần của giây cho tới vài trăm giây. Không có những vụ bùng nổ lặp đi lặp lại từ cùng một hướng, và các nguồn của các vụ nổ được phân bố *theo tính chất đẳng hướng* (isotropically) – nghĩa là, chúng có thể xuất hiện bất cứ nơi nào trên bầu trời. Các nhà thiên văn học đã hy vọng rằng nơi có nhiều khả năng nhất để xuất phát các vụ bùng nổ là đĩa chính của Dải Ngân Hà.



Đài quan sát Compton: Đài quan sát tia gamma Compton đang được lắp ráp và chuẩn bị sẵn sàng cho việc phóng tàu con thoi.

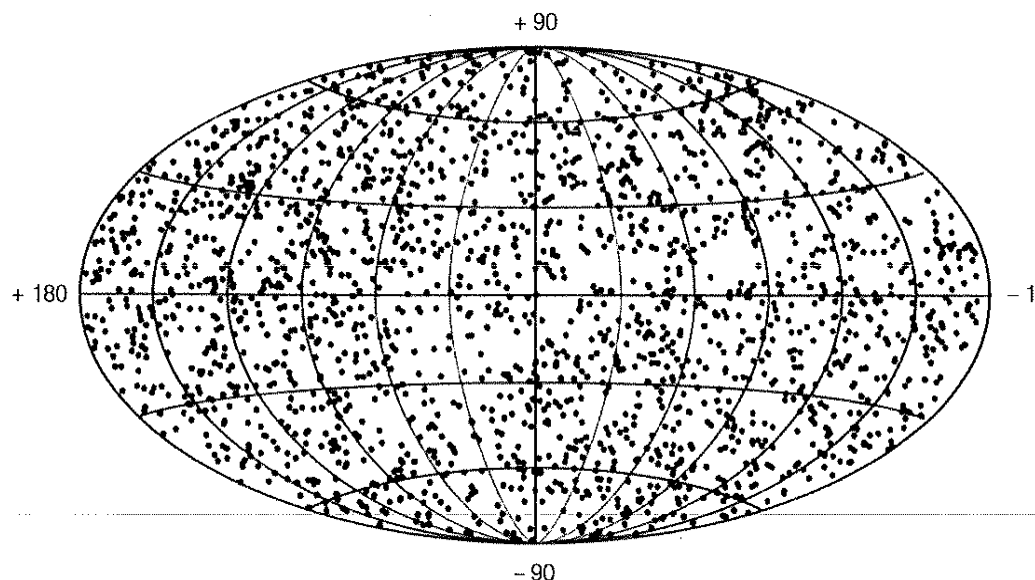
Tuy nhiên, nếu điều này đúng hẳn là phải có nhiều vụ nổ được nhìn thấy trong mặt phẳng chen chúc dày đặc của Dải Ngân Hà hơn là bên trên hay bên dưới nó.

Các vụ nổ có thể là tương đối ở gần bên, thí dụ như trong đám mây sao chổi bao quanh hệ mặt trời, hay trong quầng sáng của Dải Ngân Hà, rất rộng và có hình cầu và cũng bao quanh chúng ta ở mọi hướng. Nói cách khác, nếu chúng thực sự ở rất xa, chúng có thể xuất phát từ các thiên hà khác, được phân bố đồng đều ở mọi hướng. Một chút hấp dẫn của vấn đề là các vụ nổ có thể không xuất phát một cách riêng biệt từ các thiên hà ở gần hình thành Nhóm Cục Bộ của chúng ta (xem Mục 19.1) bởi vì các thiên hà chính trong nhóm ấy (chẳng hạn như đại thiên hà xoắn ốc trong chòm sao Tiên Nữ (Andromeda) đã không được phát hiện là các nguồn của các vụ nổ tia gamma.

Cả hai giả thuyết rất cục bộ và rất xa đều gây bối rối. Nếu các vụ nổ đang xuất phát từ các vùng lạnh lẽo bên ngoài của hệ Mặt Trời, quá trình vật lý nào ở ngoài đó có khả năng tạo ra các sự lóe sáng không thể dự đoán được của các tia gamma năng lượng cao? Và nếu các vụ nổ bắt nguồn từ các thiên hà xa xôi, cách xa hàng triệu hay hàng tỉ năm ánh sáng, chúng phải là cực mạnh để có thể quan sát được. Các vụ bùng nổ, bất kể chúng là gì, chắc chắn là một trong các hiện tượng mạnh mẽ nhất trong vũ trụ.

✧ VỊ TRÍ, VỊ TRÍ, VỊ TRÍ

Vấn đề với việc hình dung ra nguồn của các trái phá tia gamma đó là các thiết bị dùng để phát hiện các tia gamma của chúng ta không thể xác định được vị trí chính xác trong bầu trời nơi vụ bùng nổ đang diễn ra. Các kính viễn vọng tia



Sự phân bố của các vụ nổ tia gamma trong bầu trời: Một bản đồ về nơi các vụ nổ tia gamma đã được phát hiện trong bầu trời do Đài quan sát tia gamma Compton vào cuối năm 1997. Hơn 2000 vụ nổ được mô tả. Bản đồ được định hướng để cho đĩa của Dải Ngân Hà sẽ kéo dài ngang qua đường trung tâm (hay xích đạo) của hình oval (hay hình bầu dục). Hãy chú ý rằng các vụ nổ chứng tỏ không có sự ưu tiên nào hết đối với mặt phẳng của Dải Ngân Hà, như nhiều loại vật thể khác trong bầu trời thường thực hiện.

gamma chỉ có thể trình bày cho chúng ta một khung với một cung vài độ ở một phía nơi vụ nổ đang xảy ra; trong phạm vi một khung như thế, các kính viễn vọng ánh sáng thường có thể tiết lộ rất nhiều “thủ phạm” tiềm ẩn. Không có cách nào để biết trong số nhiều ứng cử viên trong khung (nếu có), ứng cử viên nào là nguồn bùng nổ. Nó giống như có một ánh đèn chớp mà máy ảnh phóng đi tại một cuộc họp báo đông nghẹt. Bạn không thể nói tay nhiếp ảnh nào chịu trách nhiệm, trừ phi bạn bất ngờ trông thấy chính xác chiếc máy ảnh ngay lúc đó.

Tuy nhiên, các nhà thiên văn học đã nghi ngờ (có lẽ chúng ta nên nói là đã hy vọng) rằng nếu chúng ta có thể xác định vị trí chính xác của một trong các vụ nổ nhanh chóng này, sự “phát sáng sau” kéo dài với nhiều bước sóng khác nhau sẽ có thể báo cho chúng ta biết nhiều hơn về nguồn. Như đã nói trong Chương 4, ánh

sáng các sóng khác thường chứa những thông tin mà chúng ta có thể giải mã để tìm hiểu nhiều hơn về các nguồn của các sóng. Thí dụ, các vạch trong quang phổ của ánh sáng có thể nói cho chúng ta biết về sự dịch chuyển Doppler của nguồn (xem Mục 4.6), và – nếu nó là một thiên hà – cung cấp cho chúng ta các manh mối về khoảng cách của nó.

Với việc phóng vệ tinh tia X BeppoSAX của Ý – Hà Lan năm 1996 (Beppo là biệt danh của một nhà vật lý nổi tiếng người Ý, và SAX là viết tắt của “*Satellite per Astronomia X*”), một số vụ nổ tia gamma có thể được phát hiện bởi sự phát sáng sau của tia X của chúng, và BeppoSAX chở những thiết bị cần để đo đặc vị trí của một nguồn tia X như thế với độ chính xác cao hơn. Tại một thời điểm bất kỳ nào đó, BeppoSAX có thể quan sát khoảng 5% bầu trời. Nếu có khoảng một biến cố tia gamma một ngày trên toàn bộ bầu trời,

sau đó chỉ bởi ngẫu nhiên người ta có thể hy vọng rằng khoảng một lần trong 20 ngày BeppoSAX sẽ được hướng về vùng “bên phải” của bầu trời và phát hiện ra các tia X đi theo sau một vụ nổ của các tia gamma. Sau đó, BeppoSAX có thể xác định một vị trí hợp lý với 1 cung khoảng 1 phút, hay 1 cung khoảng 1/30 đường kính của trăng tròn. Với độ chính xác ở mức như thế, một kính viễn vọng ánh sáng thường có thể được hướng về cùng một bộ phận của bầu trời và tìm kiếm một thứ gì đó đang mờ nhạt dần về độ sáng.

Kỹ thuật này sẽ không có tác dụng nếu sự phát sáng sau của tia X và ánh sáng thường cũng ngắn ngủi như các vụ nổ tia gamma. Một phần của giây – hay thậm chí vài trăm giây – đúng là không đủ lâu để cho BeppoSAX xác định được nguồn và báo động cho các kính viễn vọng khắp thế giới di chuyển vào đúng vị trí và tiến hành các cuộc quan sát. May mắn thay, ít nhất một số vụ bùng nổ tia gamma dường như có một sự phát sáng sau lâu hơn với các bước sóng của tia X, của ánh sáng thường, và của sóng vô tuyến. Hãy nghĩ về một vụ nổ pháo hoa tắt lịm chậm chạp đằng xa – với các tia lửa đỏ cam mờ dần và được thay thế với một sự tỏa sáng đỏ đục kéo dài và sau đó với bức xạ nhiệt (tia hồng ngoại). Tương tự, chúng ta có thể vẫn quan sát được một số nguồn nổ tia gamma với các bước sóng dài hơn trong vài tuần tới vài tháng sau khi các tia gamma đã biến mất.

❖ CÁC CUỘC QUAN SÁT ĐẦU TIÊN

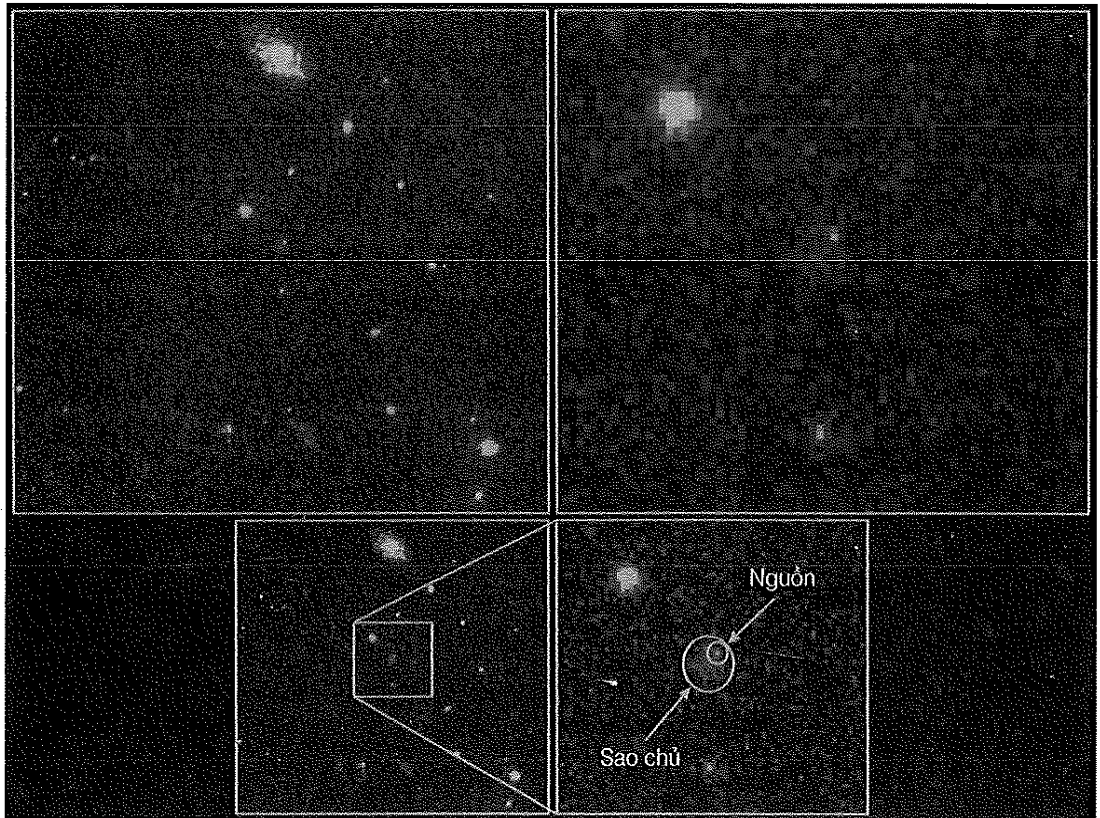
Hai cuộc quan sát chủ yếu của vệ tinh BeppoSAX về các vụ nổ vào năm 1997 đã giúp chúng ta giải đáp bí mật của vụ bùng nổ tia gamma. Vụ bùng nổ đầu tiên xảy ra vào ngày 28 tháng 2, từ hướng của

chòm sao Orion (Lạp Hộ). Trong vòng tám giờ đồng hồ, các nhà thiên văn học đang làm việc với vệ tinh đã phát hiện sự phát sáng sau của tia X, đã tái định hướng vệ tinh để tập trung máy ảnh tia X trường hẹp, và xác định một vị trí có thể chuyển giao cho các nhà thiên văn học trên khắp thế giới.

Chính đêm ấy, kính viễn vọng William Herschel 4,2 mét trên quần đảo Canary có thể tìm thấy sự tỏa sáng với ánh sáng thấy được mờ nhạt, và trong vòng một tuần, các kính viễn vọng lớn nhất của thế giới có thể nhìn thấy một cái gì đó mờ mờ ngay chỗ có điểm sáng mờ nhạt. Khi kính Hubble được chia ngay hướng ấy vào tháng Ba (và một lần nữa vào tháng Chín), nó đã phát hiện ra rằng vụ bùng nổ dường như đã xảy ra gần rìa của một thiên hà mờ yếu. Ngay lúc đó, có khả năng là nguồn nổ gần chúng ta hơn và thật bất ngờ thẳng hàng với một thiên hà xa hơn, vì vậy cuộc quan sát này đã là gợi ý, chứ không kết luận.

Nhưng sau đó tới vụ nổ ngày 8 tháng 5, từ hướng của chòm sao Camelopardalis. Trong một nỗ lực liên kết quốc tế, một lần nữa BeppoSAX chỉ mất vài giờ để xác định một vị trí chính xác hợp lý, và hầu như tức khắc một kính viễn vọng trên đỉnh núi Kitt Peak ở bang Arizona có thể bắt gặp sự phát sáng sau của ánh sáng thường. Trong vòng hai ngày, kính viễn vọng lớn nhất trên thế giới (Keck ở Hawaii) thu thập đủ ánh sáng để ghi nhận một quang phổ lý thú. Những gì mà quang phổ ấy thể hiện là bằng chứng rõ rệt rằng sự bùng nổ tia gamma đã xảy ra ở một thiên hà xa xôi.

Để nhận thức rõ chúng ta đã biết được điều này từ quang phổ ra sao, chúng ta phải nhảy tới trước về các hệ quả. Như



Cảnh tượng qua kính không gian Hubble về một vụ nổ tia Gamma: Ảnh được chụp vào ngày 05/09/1997, mô tả sự phát sáng sau đang mờ dần của quả cầu lửa của vụ bùng nổ ngày 28/02/1997, cũng như vật thể mờ ở đó nguồn hình như bị bao bọc. Bằng cách sử dụng kính Hubble, các nhà thiên văn học có thể phát hiện ra sự phát sáng sau sáu tháng sau vụ bùng nổ đầu tiên. Cảnh tượng trên cùng bên trái mô tả khu vực của vụ nổ (và nó được lặp lại nhỏ hơn tại phía dưới bên trái, nhưng với sự bổ sung của một khung mô tả vùng được phóng lớn ở các hình ảnh bên phải). Kế tiếp, hình phóng đại trên cùng bên phải mô tả nguồn của vụ nổ và những gì có vẻ là thiên hà chủ của nó. Khung hình dưới bên phải, chúng đã được đặt tên cho rõ ràng.

chúng ta sẽ tìm hiểu trong Chương 17, các nhà thiên văn học đã khám phá một khuôn mẫu đối với các chuyển động của các thiên hà trong vũ trụ ngoài Dải Ngân Hà.

Tóm lại, một thiên hà được phân bố càng xa chúng ta, nó di chuyển ra xa càng nhanh. Sự chuyển động như thế (về phía chúng ta hay xa khỏi chúng ta) có thể được đo đạc bởi vì nó tạo ra một sự thay đổi rõ rệt trong quang phổ của thiên hà. Như trình bày trong Chương 4, một nguồn sáng đang di chuyển ra xa chúng ta càng nhanh, sự *dịch chuyển về phía đỏ* (redshift) của các vạch trong

quang phổ của nó (hiệu ứng Doppler) càng lớn. Edwin Hubble là người đầu tiên chứng minh rằng có một mối liên hệ giữa khoảng cách của thiên hà và tốc độ của nó ra xa chúng ta, và điều ấy được gọi là định luật Hubble. Ý tưởng cho rằng tất cả các thiên hà đang di chuyển ra xa, theo định luật Hubble, được tóm tắt trong câu *vũ trụ mở rộng* (the expanding universe).

Các đám mây vật liệu thô sơ được phân bố trong không gian giữa các thiên hà để lại các vạch hấp thụ rõ rệt trong quang phổ của các thiên hà xa xôi mà ánh sáng của chúng mà chúng ta nhìn thấy

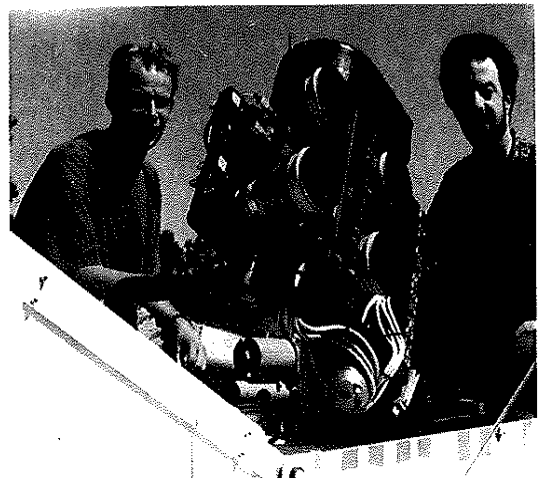
đi qua các đám mây. Bởi vì các đám mây này cũng tham gia vào sự mở rộng của vũ trụ, sự dịch chuyển đỏ của các dấu hiệu chúng để lại trong quang phổ có thể cho chúng ta biết (bằng cách sử dụng định luật Hubble) các đám mây cách xa bao nhiêu. Quang phổ của sự phát sáng sau của vụ nổ tia gamma tháng Năm đã thể hiện đúng các đặc trưng hấp thụ như thế. Và khoảng cách của chúng ít nhất là 4 tỉ năm ánh sáng từ Mặt Trời, nghĩa là vật thể chứa nguồn nổ phải thậm chí còn xa hơn nữa! (Sau đó trong tháng, Dãy Cực Rộng (Very Large Array) của các kính viễn vọng vô tuyến ở New Mexico bắt được sự phát sáng sau của vụ nổ bằng sóng vô tuyến và đã tăng thêm chứng cứ cho rằng chúng ta đang nhìn thấy một hiện tượng hoàn toàn nằm ngoài Dải Ngân Hà).

✧ MẠNG LƯỚI HOẠT ĐỘNG ĐỂ THU ĐƯỢC NHIỀU VỤ NỔ HƠN

Sau khi các cuộc quan sát đầu tiên này chứng tỏ rằng vị trí chính xác của các vụ nổ tia gamma có thể được tìm thấy, chúng ta cần chắc chắn rằng sự nhận ra hai vụ nổ đầu tiên với các thiên hà khác không phải là sự trùng hợp ngẫu nhiên hay chỉ là một phần của bức tranh. Khi thêm vài vụ nổ nữa được phân bố ở các thiên hà xa xôi trong năm 1998, các nhà thiên văn học nhận thức rằng việc bắt gặp và xác định các vụ nổ thường xuyên là rất quan trọng. Với một "cửa sổ cơ hội" của chỉ những phút giây sau mỗi vụ nổ, các nhà thiên văn học đã biết rằng họ cần dựa vào các hệ thống tự động hơn là những người quan sát tình cờ có mặt đúng nơi đúng lúc.

Một hệ thống như thế được xây dựng trong năm 1998. Khi một trong số kính viễn vọng năng lượng cao quay trên

quỹ đạo khám phá ra một vụ nổ, vị trí chính xác của nó lập tức được truyền tới *Mạng liên kết theo dõi các vụ nổ tia gamma* (Gamma Ray Burst Coordinates Network), đặt căn cứ tại Trung tâm bay vào không gian Goddard (Goddard Space Flight Center) của NASA. Từ nơi đó, các computer sử dụng mạng toàn cầu (internet) để thông báo đến một mạng lưới các kính viễn vọng trên mặt đất để tìm kiếm sự phát sáng sau của ánh sáng thường. Để chắc chắn rằng ít nhất một kính viễn vọng có thể phản ứng với một thông báo như thế ngay lập tức, một nhóm các nhà thiên văn học thuộc Đại học Michigan và các Phòng thí nghiệm Quốc gia Los Alamos và Livermore đã thiết kế một thiết bị tự động mà họ gọi là Thí nghiệm truy tìm nhanh bằng quang học tự động (Robotic Optical Transient Search Experiment – ROTSE). Được xây dựng bằng các thiết bị đơn giản, ROTSE "nằm chờ" sự báo động về tia gamma và tia X từ không gian, và rồi tự chỉnh hướng



Các thành viên của nhóm ROTSE, Jim Wren (trái) và Robert Kehoe đang đứng với dây máy camera ROTSE-1, được dùng để thu ánh sáng từ vụ nổ tia gamma ngày 23/01/1999. Thiết bị được chế tạo từ các thấu kính chụp xa, các máy dò ánh sáng điện tử, và các bộ phận khác được thiết kế cho các nhà thiên văn học tài tử.

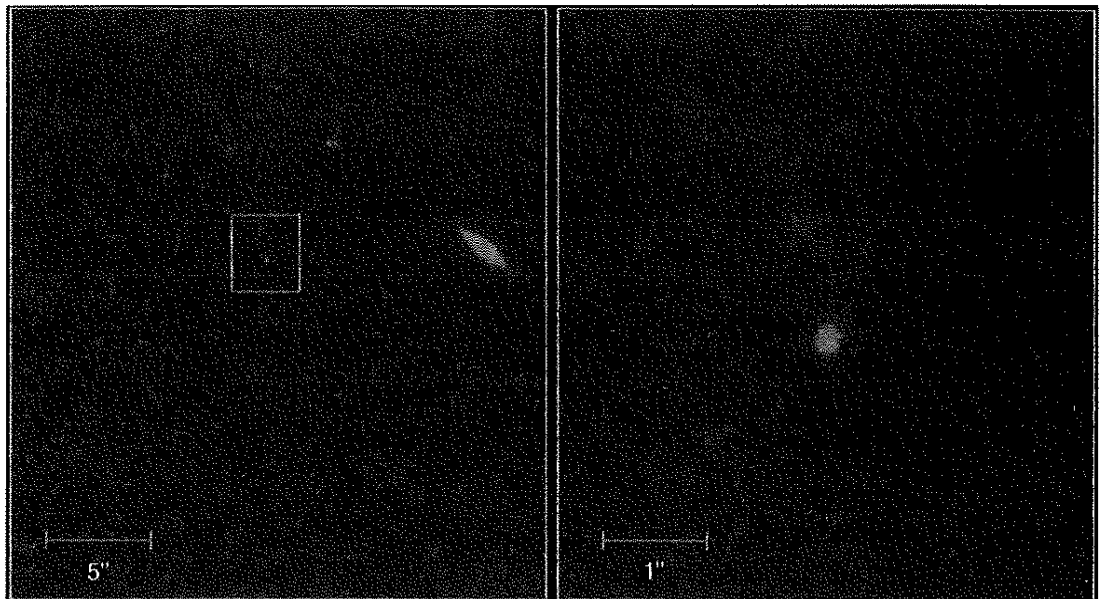
tới đúng vị trí và bắt đầu chụp các hình ảnh của bộ phận thích hợp của bầu trời.

Hệ thống đã chứng tỏ khả năng của nó với thành công lớn lao vào đầu năm 1999. Vào ngày 23/01/1999, Đài quan sát tia gamma Compton ghi nhận một vụ nổ tia gamma trong chòm sao Bootes (sao Mục Phu) trong những giờ đầu tiên của buổi sáng (giờ Hoa Kỳ). Chỉ sau 22 giây, thông tin đã tới kính viễn vọng ROTSE ở Los Alamos, New Mexico, và nó bắt đầu chụp hình khu vực nơi vụ nổ được phân bố. Thật kinh ngạc, các hình ảnh của ROTSE tự động bắt gặp sự phát sáng sau bằng ánh sáng thường vẫn còn tỏa sáng và rồi bắt đầu mờ nhạt dần. Quá trình hoạt động diễn ra rất nhanh đến nỗi ánh sáng thường thực sự bị “chộp” được trong lúc vụ nổ tia gamma 110 giây vẫn còn đang tiếp diễn – lần đầu tiên một vụ nổ đã từng được “trông thấy” trong thời điểm thực tế.

Việc định vị vụ nổ trên hình ảnh của ROTSE phải chờ đợi một vị trí chính xác hơn từ các cuộc quan sát của BeppoSAX về sự phát sáng sau của tia X, nhưng điều đó được thực hiện trong vòng một vài giờ. Trong vòng ba giờ, một nhóm các nhà thiên văn học thuộc Caltech cũng sử dụng kính viễn vọng 60 inch tại núi Palomar để xác định vị trí chính xác của sự phát sáng sau thấy được.

Được trang bị thông tin này, một nhóm các nhà thiên văn học đã sử dụng kính viễn vọng Keck II ở Hawaii, đêm kế tiếp, để nhận ra rằng ánh sáng mờ nhạt của vụ nổ ở bên trong một thiên hà mờ yếu. Ghi nhận một quang phổ, họ đã tìm ra thiên hà cách xa khoảng chín tỉ năm ánh sáng.

Ngày 08 và 09 tháng 2, kính không gian Hubble chụp một bức ảnh của vật thể “đang bùng nổ”, và chuẩn bị để thu ánh sáng của nó cho dù khi đó nó đã mờ



Những ảnh chụp ngày 8 và 9/2/1999, mô tả các cảnh tượng qua kính không gian Hubble về thiên hà xa xôi, ở đó vụ nổ tia gamma ngày 23/01/1999 đã xảy ra. Ảnh bên phải mô tả cái khung trong hình bên trái gần hơn. Bạn có thể thấy quả cầu lửa mờ nhạt trong một thiên hà mà hình dạng rời rạc của nó gợi lên rằng nó có thể là kết quả của hai thiên hà đang sáp nhập.

hơn khoảng bốn triệu lần so với lúc nó đã ở mức tối đa.

Để có thể phát hiện được từ một khoảng cách chín tỉ năm ánh sáng, biến cố tạo ra vụ nổ phải mạnh kinh khủng. Nếu nguồn đang bức xạ năng lượng ở mọi chiều hướng (và không phát ra năng lượng chỉ ở một hướng ưu tiên, giống như pulsar), thì năng lượng được phóng thích trong vụ nổ sẽ tương đương với độ trung của mười triệu tỉ (10^{16}) Mặt Trời.

◇ NGUỒN NĂNG LƯỢNG

Từ các cuộc quan sát như vậy, chúng ta có được manh mối quan trọng nhất – “tang chứng” – về bí mật. Các vụ nổ tia gamma xảy ra trong các thiên hà khác! Đây quả là những gì chúng ta cần để giúp xác định trong số nhiều lý thuyết khác nhau đã được đề xuất về các vụ nổ. Nếu chúng ta thực sự đang nói về các nguồn cách xa hàng tỉ năm ánh sáng (tuy nhiên có thể nhận ra được với các thiết bị trên Trái Đất), chúng ta phải tìm ra một cơ cấu có thể tạo ra cực nhanh một năng lượng lớn không thể tưởng. Mô hình tối ưu của chúng ta liên quan đến sự hợp nhất mãnh liệt của hai xác sao.

Như chúng ta đã bàn luận trong Chương 15 và 16, những cái chết của các sao đồ sộ nhất trong vũ trụ dẫn đến sự hình thành của hai loại vật thể kỳ dị. *Sao neutron* (neutron star) là một tàn tích cực kỳ cô đặc, bao gồm chủ yếu vật chất bị nén ép cho tới khi tất cả các khoảng trống trong mỗi nguyên tử đã bị loại trừ. Trong một cái xác xoay tròn như thế, vật liệu nhiều bằng hai Mặt Trời có thể bị nén ép thành một vùng không lớn hơn một thành phố nhỏ trên Trái Đất. *Lỗ đen* (black hole) thậm chí còn lạ lùng

hơn. Ở đó trọng lực của sao đang sụp đổ áp đảo mọi lực khác, và không có thứ gì – ngay cả ánh sáng – có thể thoát ra được. Các lỗ đen như thế cũng có thể chứa rất nhiều năng lượng trong sự xoay tròn nhanh của chúng.

Giờ đây nhiều sao không sống một mình, mà được tìm thấy trong các hệ thống ở đó hai (đôi khi nhiều hơn) sao quay quanh nhau trong vành đai hấp dẫn (gravitational embrace). Do đó thỉnh thoảng có thể tình cờ xảy ra hai sao neutron, hay thậm chí một sao neutron và một lỗ đen, quần quít lẫn nhau. Khi thời gian trôi qua, cặp xác sao mất đi năng lượng, hai vật thể bị hút gần nhau hơn bởi lực hấp dẫn, và cuối cùng sáp nhập một cách mãnh liệt để tạo ra một lỗ đen mới. Chúng ta có thể tính được rằng năng lượng do sự hợp nhất mãnh liệt như thế tạo ra đúng là những gì được nhìn thấy trong một vụ nổ tia gamma điển hình. Và từ một số các hệ sao neutron đôi được biết đến trong thiên hà của chúng ta có thể ước tính được rằng một sự hợp nhất như thế sẽ xảy ra khoảng một lần trong một triệu năm trong mỗi thiên hà, đủ để giải thích cho một vụ nổ tia gamma được nhìn thấy mỗi ngày từ tất cả các thiên hà bao trùm toàn bộ bầu trời.

Khi các neutron hợp nhất, các mô hình chứng tỏ rằng một lượng nhỏ của khối lượng (chưa tới 0,00001 lần khối lượng của Mặt Trời) có thể bị tổng ra với tốc độ gần với tốc độ ánh sáng.

Các hạt bị tổng ra mạnh đến nỗi các va chạm của chúng có thể tạo ra các cặp electron-positron – các hạt vật chất và phản vật chất. Vì thế, trong một vùng với bề ngang khoảng từ 100 tới 1000 km (nhỏ hơn đường kính của Trái Đất)

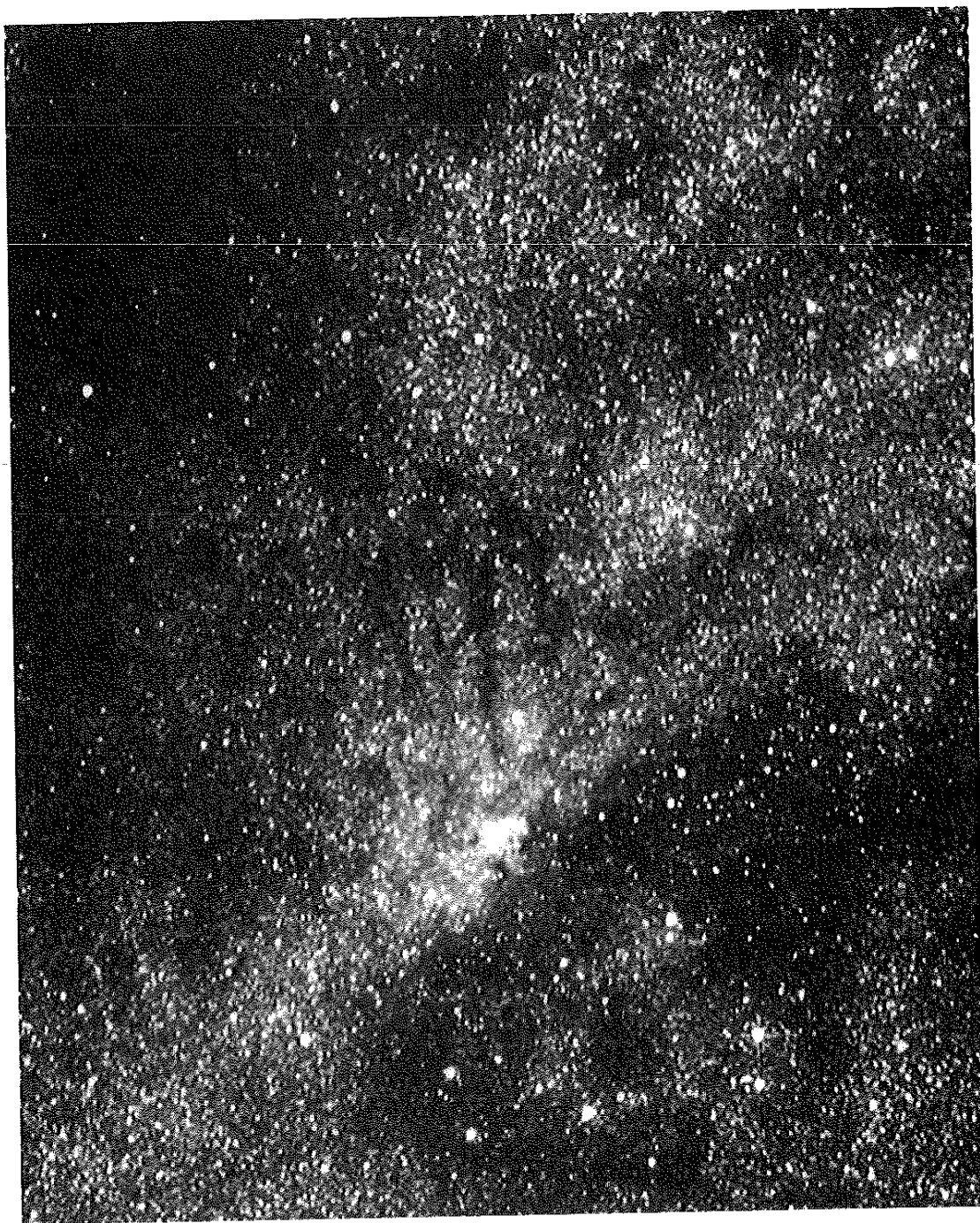
chúng ta có một biển dày đặc các bức xạ, các electron, các positron, các neutron, và các proton – một loại cầu lửa vũ trụ đơn thuần làm nhỏ lại bất kỳ sự bùng nổ nào mà chúng ta có thể tạo ra trên Trái Đất.

Sóng nổ mở rộng từ quả cầu lửa chung quanh cặp sao đã hợp nhất lan nhanh vào vật chất giữa các ngôi sao trong vùng lân cận của thiên hà chúng ta. Khi các hạt tốc độ-cao đã bị chậm lại, chúng từ từ mất đi năng lượng và phát ra bức xạ với các bước sóng ngày càng dài hơn. Điều này giải thích sự phát sáng sau của các tia X, của ánh sáng thường, và các sóng vô tuyến. Trong khi mô hình dường như có thể giải thích được nhiều cuộc quan sát, chúng ta nên lưu ý rằng các đề xuất khác về các vụ nổ có thể

vẫn còn đang được xem xét tích cực; hầu hết các vụ nổ cũng liên quan đến các giai đoạn cuối cùng trong cuộc đời của các sao khổng lồ. (Một khả năng là một “hypernova”, một vụ nổ siêu tân tinh trong một ngôi sao mà sản phẩm cuối cùng không phải là một sao neutron, nhưng là một lỗ đen đang xoay tròn được bao bọc bởi một vùng với một từ trường mạnh).

Một bí mật kéo dài 25 năm hình như đã được giải đáp. Trong lúc cần có thêm nhiều cuộc quan sát nữa, có vẻ như các vụ nổ tia gamma có thể là một hiện tượng nữa nhắc nhở chúng ta rằng các xác sao là những bồn chứa năng lượng khổng lồ và không được kết thúc hoàn toàn gây ra rối loạn ngay thời điểm chúng chết đi.





Bức xạ hồng ngoại có thể xuyên qua đám bụi nằm giữa chúng ta và trung tâm của Dải Ngân Hà. Ảnh hồng ngoại này mô tả vùng trung tâm rộng 150 LY của Thiên hà chúng ta. Vùng sáng ở chính giữa là nhân của Dải Ngân Hà, chứa những lượng khí lớn, các nhóm sao dày đặc, và một lỗ đen khổng lồ. Ảnh là một hình ghép của các cảnh tượng của cùng một quang cảnh với ba bước sóng hồng ngoại.

CHƯƠNG 17

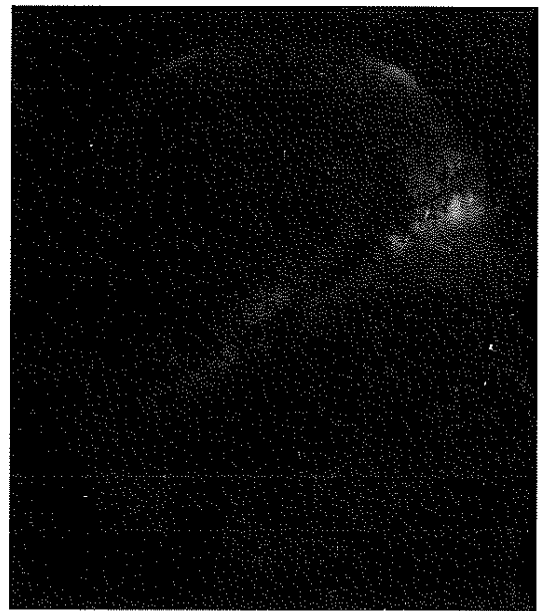
DẢI NGÂN HÀ

“Trên độ cao của bầu trời có một con đường chạy qua. Hiện rõ trong đêm tối, Dải Ngân Hà, nổi tiếng vì sự buy boàng với màu trắng sữa của nó...”

Ovid, “Metamorphoses” (Các sự biến hình) (dòng 169 – 175),
được trích dẫn bởi E. C. Krupp trong “Beyond the Blue Horizon” (1991, Harper Collins)

Ngày nay chúng ta biết rằng Mặt Trời chỉ là một trong số hàng tỉ sao hình thành một đảo vũ trụ khổng lồ gọi là Dải Ngân Hà. Làm sao chúng ta có thể “cân đong” một hệ thống như thế? Và nếu như khối lượng đo được ấy rất cuộc lớn hơn khối lượng của tất cả các vì sao mà chúng ta có thể phát hiện ra, các hình dạng khác bên cạnh các vì sao mà khối lượng của Dải Ngân Hà có thể cần đến là gì?

Một trong những đặc điểm nổi bật nhất trên bầu trời đen là một dải ánh sáng trắng mờ nhạt, gọi là Dải Ngân Hà, kéo dài từ chân trời này sang chân trời kia. Cái tên “Ngân Hà – Milky Way” bắt nguồn từ các truyền thuyết cổ xưa so sánh mảng ánh sáng trắng mờ của nó với dòng sữa chảy tràn. Một bộ lạc Đông Phi nghĩ về nó như làn khói của các đồng lửa trại xa xưa; một số câu chuyện của dân bản địa Hoa Kỳ kể về một con đường ngang bầu trời do các con vật linh thiêng đi qua; và



Toàn cảnh bầu trời với Dải Ngân Hà: Ảnh này, được tạo ra bằng một thấu kính đặc biệt có thể mô tả một toàn cảnh 360°, được chụp từ đỉnh của núi Graham, một ngọn núi cao 3200 m ở đông nam Arizona. Hãy chú ý các rãnh đen ngang qua trung tâm của Dải Ngân Hà. Chung quanh chân trời, theo chiều ngược kim đồng hồ, bắt đầu từ dưới đây, bạn có thể thấy những ánh đèn của thành phố Willcox, Tucson (ở phía Nam Arizona), và Phoenix (thủ phủ của bang Arizona), cũng như những cái bóng của các tháp thử nghiệm và các cây thông.

ở Siberi nó được biết đến như một đường khâu trong tấm lều của bầu trời.

Ánh sáng mờ nhạt của Dải Ngân Hà bị tràn ngập bởi ánh sáng nhân tạo ở các khu vực đô thị, do vậy nhiều cư dân thành phố có thể chưa bao giờ nhìn thấy Dải Ngân Hà. Ở Bắc Bán Cầu, Dải Ngân Hà sáng nhất trong các vùng của chòm sao Thiên Nga (Cygnus) và nhìn thấy rõ nhất vào mùa hạ. Ở Nam Bán Cầu, Dải Ngân Hà thậm chí còn sáng hơn đến nỗi dân bản xứ ở Nam Mỹ đặt những cái tên cho những phần khác nhau của nó, giống như các nhà thiên văn học ở phía bắc đặt những tên chòm sao cho các nhóm sao dễ thấy.

Năm 1610, Galileo đã thực hiện cuộc khảo sát đầu tiên bằng kính viễn vọng về Dải Ngân Hà và khám phá ra rằng nó được cấu tạo bởi vô số các sao riêng lẻ. Từ thật xa, mắt thường nhìn thấy ánh sáng tổng hợp của chúng như một mảng trắng. Nhưng tại sao mảng trắng ấy có hình dạng của một dải hay một vòng cung băng ngang qua bầu trời?

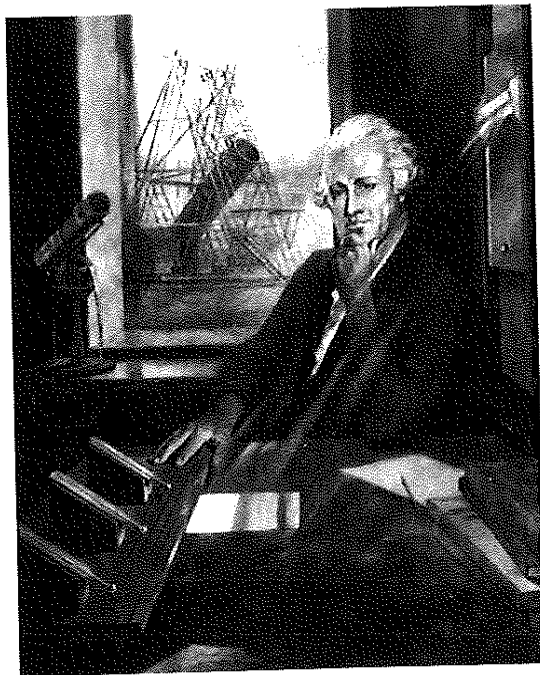
Như chúng ta sẽ thấy trong chương này, tất cả các sao chúng ta nhìn thấy bằng mắt thường (và không chỉ riêng vòng cung của Dải Ngân Hà) là một phần của một bánh xe khổng lồ hay một hệ thống có dạng cái đĩa nhựa dẹp của các sao. Các sao gần kề có thể được nhìn thấy ở mọi hướng quanh chúng ta. Nhưng khi chúng ta ngắm nhìn các bộ phận xa hơn của hệ thống, hình dạng của cái đĩa dẹp phẳng trở nên rõ ràng hơn. Ở những hướng cách xa khỏi cái đĩa dẹp này, chúng ta không còn (thấy) các sao nữa. Nhưng trong mặt phẳng của cái đĩa, chúng ta thấy thật nhiều sao trải dài ra tới các khoảng cách rộng lớn – và các sao này hình thành Dải Ngân Hà. Cái đĩa không được định hướng cùng một hướng như mặt

phẳng của hệ mặt trời của chúng ta hay thiên xích, vì thế chúng ta thấy vòng cung của Ngân Hà vắt chéo qua bầu trời.

Chúng ta gọi hệ sao vĩ đại này, mà hiện nay chúng ta biết rằng bao gồm hàng trăm tỉ ngôi sao và nhiều thứ khác nữa, là *Dải Ngân Hà* hay, đơn giản hơn, là Ngân Hà. Chúng ta hãy nghiên cứu xem Dải Ngân Hà trông như thế nào.

16.1 CẤU TRÚC CỦA DẢI NGÂN HÀ

Năm 1785, William Herschel đã khám phá ra rằng hệ sao mà Mặt Trời



William Herschel (1738 – 1822): Herschel là một nhạc sĩ Đức đã di cư sang Anh và nghiên cứu thiên văn học trong lúc rảnh rỗi. Ông đã khám phá ra hành tinh Thiên Vương (Uranus), xây dựng một số kính viễn vọng lớn, và thực hiện các phép đo về vị trí của Mặt Trời trong Dải Ngân Hà, chuyển động của Mặt Trời qua không gian, và độ sáng tương đối của các sao. Ảnh này mô tả Herschel đã khám phá ra bức xạ hồng ngoại bằng cách nào. Sau khi phân tán ánh sáng mặt trời thành quang phổ, ông đặt một nhiệt kế tại vị trí của mỗi màu sắc và đã đo sự gia tăng về nhiệt độ. Ông đã nhận thấy rằng nhiệt tăng lên ngay cả khi các nhiệt kế được đặt bên ngoài đoạn đỏ của quang phổ, do đó chứng minh sự tồn tại của bức xạ nhiệt không thấy được.

phụ thuộc có hình dạng của cái bánh xe hay cái đĩa. Ông đã dùng kính viễn vọng để đếm số lượng ngôi sao nhìn thấy ở nhiều hướng khác nhau. Để tìm hiểu ông đã thực hiện điều này bằng cách nào, hãy hình dung rằng bạn là một thành viên đứng trong đội hình trong giờ giải lao tại một trận bóng đá. Nếu bạn đếm các thành viên của đội mà bạn nhìn thấy ở các hướng khác nhau và mỗi lần có được số lượng bằng nhau, bạn có thể kết luận rằng đội đã tự sắp xếp hàng ngũ theo kiểu vòng tròn với bạn ở tại trung tâm. Bởi vì bạn không hề thấy thành viên nào trong đội ở bên trên đầu bạn hay ở dưới lòng đất, bạn biết rằng vòng tròn do đội bóng tạo ra là phẳng dẹt.

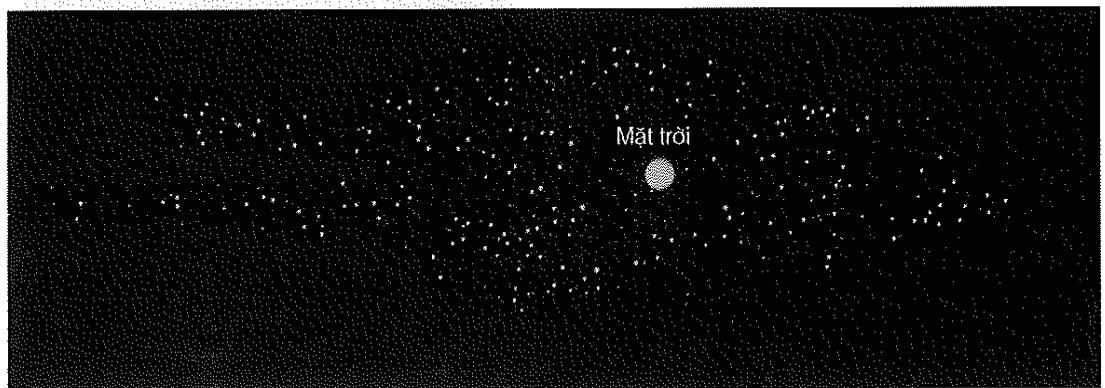
Herschel cũng đã thấy một điều như thế khi ông đếm các sao ở những hướng khác nhau trong Dải Ngân Hà.

Ông đã nhận ra rằng hầu hết các sao nằm trong một dải hẹp, Ngân Hà, xoay quanh bầu trời, và số lượng sao bằng nhau ở bất cứ hướng nào chung quanh dải này. Vì thế ông kết luận rằng Mặt Trời phải nằm gần trung tâm cái đĩa của các ngôi sao. Có một số tiện lợi về mặt triết học theo quan điểm này: Herschel đã biết rằng Trái Đất không phải là trung tâm của hệ mặt trời, nhưng ít nhất Mặt Trời

của chúng ta có vẻ như nằm ở trung tâm của sự phân bố các sao.

Ngày nay chúng ta biết rằng Herschel đã đúng về hình dạng của hệ sao của chúng ta, nhưng sai về nơi mà Mặt Trời nằm trong đĩa ấy. Như đã thấy trong Chương 11, chúng ta sống trong một Thiên Hà đầy bụi. Bởi vì bụi giữa các ngôi sao hấp thụ ánh sáng từ các ngôi sao, Herschel có thể chỉ nhìn thấy các ngôi sao trong phạm vi khoảng 6000 LY từ Mặt Trời. Đây là một phần rất nhỏ của đĩa sao lớn hơn rất nhiều hình thành Dải Ngân Hà: Toàn bộ đĩa thực ra là khoảng 100.000 LY về đường kính.

Cùng một cách như vậy, nếu đứng trên các con đường của một vùng đô thị rộng lớn trong một ngày mù sương, chúng ta chỉ có thể nhìn thấy một phần rất nhỏ của thành phố. Bụi và sự ô nhiễm trong không khí che khuất ánh sáng từ các vùng lân cận xa hơn. Herschel, bị hạn chế với việc sử dụng ánh sáng thường đối với các cuộc quan sát, đã không có cách nào để xuyên thủng qua làn bụi giữa các vì sao và do vậy đã không khám phá được những gì mà chúng ta biết ngày nay – rằng Mặt Trời thực ra được phân bố tương đối xa so với trung tâm của Dải Ngân Hà.



Herschel xây dựng tiết diện ngang của Dải Ngân Hà bằng cách đếm các sao ở nhiều hướng khác nhau. Vòng tròn lớn mô tả vị trí của Mặt Trời.

✧ CÁC QUẦN TINH CẦU VÀ TRUNG TÂM DẢI NGÂN HÀ

Cho tới đầu những năm 1900, nói chung các nhà thiên văn học đã chấp nhận kết luận của Herschel rằng Mặt Trời nằm gần trung tâm Dải Ngân Hà. Sự khám phá về kích thước thực sự của Ngân Hà và vị trí thực tế của chúng ta đã xảy ra qua các nỗ lực của Harlow Shapley. Để hiểu những gì ông đã làm, chúng ta hãy quay trở lại phép loại suy của một ngày sương mù trong một thành phố lớn.

Giả sử rằng, mặc dù không có khả năng nhìn thấy xuyên qua sương mù, tuy nhiên bạn cần có một nhận thức nào đó về phạm vi của thành phố và nơi bạn hiện đang ở.

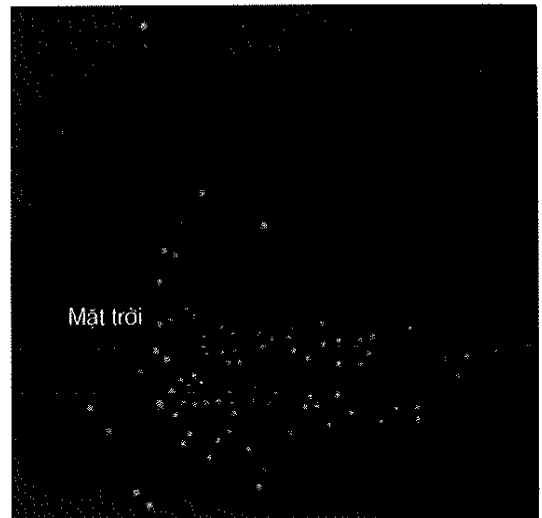
Là một quan sát viên nhảy bôn, bạn chú ý rằng sương mù thực tế bị giới hạn trong một lớp tương đối mỏng ngay tại mặt đất (đây không phải là sương mù thật, nhưng chiều theo ý chúng ta trong một phút). Nếu bạn nhìn lên trên thay vì xuyên qua sương mù, tầm nhìn của bạn rõ hơn một chút. Tình cờ, đội bóng địa phương đã chiến thắng các giải thể giới, và khắp thành phố đã thả các quả bóng khổng lồ mang tên đội như một phần của buổi lễ ăn mừng chiến thắng. Bởi vì các quả bóng này bay cao lên trên lớp sương mù, chúng có thể được phát hiện ở cách xa hơn nhiều. Nếu các quả bóng đã được thả tự do khắp nơi quanh thành phố, bạn có thể lập một mục lục về các vị trí của nó và có một nhận thức khá tốt về kích thước của thành phố và đâu là trung tâm của nó.

Những gì Shapley nhận ra là Dải Ngân Hà đã cung cấp cho chúng ta với những biển chỉ đường như thế ở bên trên (và bên dưới) cái đĩa bụi của nó. Chúng là

những quần tinh cầu (xem Chương 13) – các tập hợp của khoảng 100.000 sao hay nhiều hơn có thể được nhìn thấy (với các viễn vọng kính) với các khoảng cách lớn hơn nhiều so với các sao trong phạm vi cái đĩa của Dải Ngân Hà.

Hầu hết các quần tinh cầu chứa ít nhất một vài sao biến quang mà – cùng với các sao Cepheid – là các chỉ báo tuyệt vời về khoảng cách (xem Mục 10.3). Bằng cách so sánh độ trung bên trong đã được biết của các sao này với cách chúng hiện ra sáng như thế nào, Shapley có thể suy ra khoảng cách của chúng. (Chính khoảng cách khiến cho các sao trông mờ hơn so với khi chúng được “ở gần”, và chúng ta biết độ sáng mờ đi khi khoảng cách bình phương). Việc biết được khoảng cách tới bất kỳ sao nào trong một quần tinh sau đó sẽ cho chúng ta biết khoảng cách tới bản thân quần tinh.

Năm 1917, Shapley sử dụng các khoảng cách và các hướng của 93 quần tinh cầu để sắp xếp các vị trí của chúng trong không gian. Ông nhận thấy rằng



Các quần tinh cầu phác họa Dải Ngân Hà: Sơ đồ của Harlow Shapley mô tả vị trí của các quần tinh cầu, với vị trí của Mặt Trời cũng được đánh dấu. Vùng giới hạn mô tả sơ đồ cũ của Herschel, lấy Mặt Trời làm trung tâm, ánh chúng theo tỉ lệ.

Những ánh đèn sáng chói đã cướp đi thú vui ngắm nhìn các vì sao của hầu hết cư dân thành thị. Như chúng ta đã đề cập, nhiều người dân ở các vùng đô thị đã chưa bao giờ nhìn thấy ngay cả Dải Ngân Hà. Khi ánh sáng từ các ngọn đèn đường và các bảng quảng cáo chiếu sáng vào bầu trời, ở đó nó không có giá trị thực tiễn, chúng ta gọi đó là “sự ô nhiễm ánh sáng”. Lượng ánh sáng tuôn chảy lên phía trên đã chiếu sáng bầu trời đêm nhiều đến mức nó gây trở ngại hay khiến cho không thể nhìn thấy các chòm sao, theo dõi các trận mưa sao băng, hay xác định được sao chổi đột xuất đi qua.

Ánh sáng nhân tạo là một vấn đề nan giải cho nhiều đài thiên văn quan trọng, gây khó khăn cho các nhà thiên văn học trong việc dò tìm các sao và các thiên hà mờ nhạt so với bầu trời sáng. Các nhà thiên văn học phải di chuyển các thiết bị của họ tới các hải đảo xa xôi hẻo lánh hay các ngọn núi để thoát khỏi ánh sáng rực rỡ của nền văn minh.

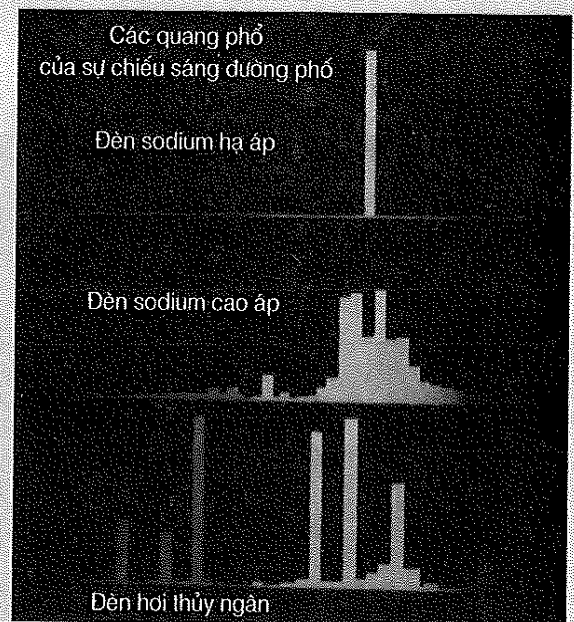
Nhưng bạn có thể nói, những ánh sáng như vậy là cái giá chúng ta phải trả để sinh sống trong các thành phố lớn. May thay, có một giải pháp cung cấp việc chiếu sáng chất lượng cao đồng thời giảm thiểu mức độ ô nhiễm ánh sáng. Trước hết, điều mấu chốt là hướng ánh sáng thẳng tới nơi nó hữu dụng nhất. Điều này có nghĩa là việc chiếu sáng ngoài trời sẽ bị che chắn để cho ánh sáng chỉ được chiếu xuống các đường phố, vỉa hè, và các sân thể thao. Các kỹ sư đã thiết kế các trang thiết bị chiếu sáng để che chắn các ngọn đèn đường phố theo cách mà không có ngọn đèn nào được chiếu rọi lên phía trên. Cho dù chúng ta làm gì đi nữa thì số ánh sáng phản chiếu cũng sẽ soi sáng bầu trời, tuy nhiên với việc che chắn thích hợp và các vật phản xạ trên cao, chúng ta có thể hướng ánh sáng nhiều hơn tới mặt đất.

Đối với các nhà thiên văn học, mối quan tâm không chỉ là lượng ánh sáng chiếu lên bầu trời, mà còn là các bước sóng đặc biệt trong đó ánh sáng ấy được phát xạ. Phần lớn thiên văn học hiện đại phụ thuộc vào quang phổ học (spectroscopy), ở đó chúng ta có thể tách dò ánh sáng với các bước sóng đặc biệt tương ứng với nhiều nguyên tố khác nhau. Vì thế chúng ta cần một nguồn ánh sáng nhân tạo càng ít gây nhiễu với các bước sóng càng tốt.

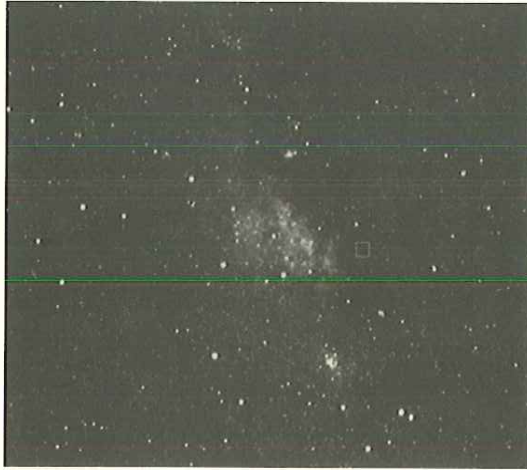
Sơ đồ kèm theo mô tả các quang phổ của ba loại nguồn sáng. Hai loại gây ô nhiễm với nhiều bước sóng. Nhưng có một loại, đèn sodium hạ áp, phát xạ ánh sáng chỉ với một vài bước sóng riêng biệt, trong khi phần còn lại của quang phổ không bị ô nhiễm ánh sáng. Đây là loại ánh sáng mà các nhà thiên văn học sẽ rất thích các thành phố sử dụng. May thay, các ngọn đèn sodium hạ áp có hiệu suất tối đa về năng lượng và do đó là dạng chiếu sáng đường phố mang lại lợi nhuận nhiều nhất. Chúng cũng là ánh sáng tốt nhất đối với thị lực, bởi vì chúng truyền

hầu hết năng lượng của chúng trong phần màu vàng của quang phổ nơi mà mắt nhạy cảm nhất.

Hãy kiểm tra các ngọn đèn trong thành phố bạn. Chúng thuộc loại nào? Bạn có thể mượn một con cách (hay cách tử) nhiễu xạ (diffraction grating) loại rẻ để bạn có thể quan sát quang phổ của một số ngọn đèn đường phố và so sánh chúng với các quang phổ kèm theo. Hãy chú ý các ngọn đèn đô thị vào lần tới khi bạn đang ở trong một máy bay vào ban đêm. Bạn có nhìn thấy bản thân các ngọn đèn không? Nếu có, là một số ánh sáng đang được chiếu thẳng lên trên, nơi nó không mang lại hiệu quả. Hay là bạn chỉ nhìn thấy ánh sáng phản chiếu từ nền đường? Trong trường hợp này, sự chiếu sáng được che chắn hợp lý. Nếu bạn sống trong hay gần một thành phố lớn, hãy kiểm tra bầu trời. Vùng nào của nó bị ô nhiễm bởi ánh sáng nhân tạo? Ở các hướng nào nó sáng nhất? Sao mờ nhất bạn có thể nhìn thấy là sao nào? Bây giờ hãy ra khỏi thành phố và chú ý xem bầu trời thay đổi như thế nào. Bạn phải đi ra xa bao nhiêu trước khi bầu trời hiện ra tối đen hoàn toàn và bạn có thể nhìn thấy Dải Ngân Hà? Một tổ chức gọi là Hiệp hội Bầu trời đen Quốc tế (International Dark-Sky Association) đang làm việc cật lực để nâng cao nhận thức về vấn đề ô nhiễm ánh sáng.



Các quang phổ của ba dạng chiếu sáng đường phố. Các ngọn đèn hơi thủy ngân là phổ biến nhất, nhưng phần lớn năng lượng của chúng được phát xạ trong các vùng màu đỏ và xanh của quang phổ, với các bước sóng qua đó mắt thường không nhạy cảm lắm. Trái lại, các đèn sodium hạ áp phát xạ tất cả năng lượng của chúng trong một vùng bước sóng rất hẹp ở đó mắt thường rất nhạy cảm. Trên hầu hết quang phổ loại chiếu sáng này không để lại một bức xạ nào có thể gây ô nhiễm cho những cuộc quan sát các ngôi sao và các thiên hà mờ nhạt.



Đây là ảnh góc rộng, được chụp bằng ánh sáng thường theo hướng trung tâm của Dải Ngân Hà. Hình dạng ẩn chứa được phân định bởi các sao sáng phía bên trái của trung tâm tấm ảnh là chòm sao Nhân Mã (Sagittarius). Cái khung đánh dấu trung tâm của Dải Ngân Hà, không thể nhìn thấy được trên các ảnh ánh sáng thường bởi các đám mây bụi nằm dọc theo đường ngắm.

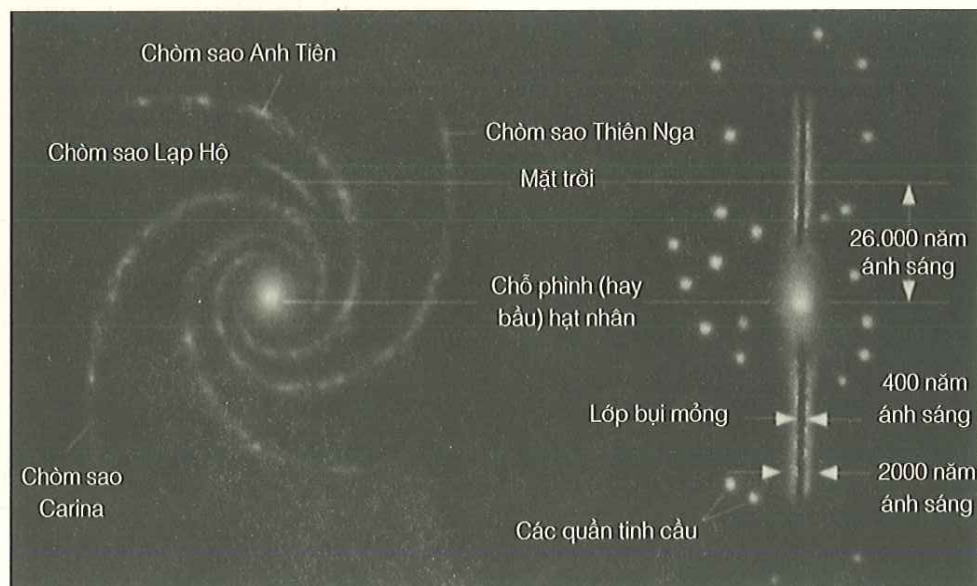
các quần tinh được phân bố trong một khối hình cầu, có tâm không phải ngay Mặt Trời mà tại một điểm xa dọc theo Dải Ngân Hà về hướng của chòm sao Sagittarius (chòm Nhân Mã). Shapley thừa nhận rằng vị trí ở đó hệ thống của

các quần tinh cầu được tập trung cũng là trung tâm của toàn bộ Dải Ngân Hà. Ngày nay sự thừa nhận này đã được kiểm chứng, kể cả sự khám phá ra rằng Dải Ngân Hà xoay quanh cùng vị trí này, cách Mặt Trời khoảng 26.000 năm ánh sáng (LY).

Công trình của Shapley đã chứng tỏ rằng ngôi sao của chúng ta không có vị trí đặc biệt trong Dải Ngân Hà. Chúng ta nằm trong vùng khó mô tả của Dải Ngân Hà, là một trong số ít nhất 100 tỉ sao quay chung quanh trung tâm xa xôi của Dải Ngân Hà. Bất cứ sự quan trọng nào mà nhân loại tìm thấy trong sự bao la của vũ trụ có khả năng xuất phát từ các hành động của chúng ta nhiều hơn là từ vị trí mà chúng ta đã được phân bố trong vũ trụ.

♦ MIÊU TẢ KHÁI QUÁT VỀ DẢI NGÂN HÀ

Với các thiết bị hiện đại, hiện nay các nhà thiên văn học có thể xuyên thủng "sương mù" của Dải Ngân Hà. Giống như



Ảnh bên trái mô tả quang cảnh nhìn xuống đĩa xoắn ốc; ảnh bên phải mô tả quang cảnh nhìn "ngang" cái đĩa. Các nhánh xoắn ốc quan trọng được đặt tên. Mặt Trời được phân bố ở rìa bên trong của đoạn ngắn Orion.

Ra đời năm 1885 trong một nông trại ở bang Missouri, ban đầu Harlow Shapley bỏ học nửa chừng với trình độ học vấn tương đương lớp 5. Ông tự học tại nhà và ở tuổi 16 nhận một công việc báo chí theo dõi các câu chuyện tội phạm. Nản chí do thiếu các cơ hội dành cho một người không học xong trung học, Shapley quay về và hoàn tất chương trình trung học sáu năm chỉ trong hai năm, tốt nghiệp với tư cách là đại biểu học sinh đọc diễn văn tốt nghiệp của lớp.

Năm 1907, ở tuổi 22, ông vào Đại học Missouri, dự định học về nghề báo, nhưng nhận thấy rằng Trường Báo chí (School of Journalism) sẽ không chiêu sinh năm đó. Đọc lướt qua danh mục các trường đại học, ông đã bất chợt nhìn thấy “Thiên văn học” (Astronomy) trong số các môn học bắt đầu bằng chữ “A”. Nhớ lại sự ham thích thời niên thiếu của mình về các vì sao, ông đã quyết định học thiên văn học trong năm kế tiếp.

Nhờ bằng tốt nghiệp, Shapley đã nhận được một học bổng nghiên cứu sinh tại Đại học Princeton và bắt đầu làm việc với Henry Norris Russell nổi tiếng. Với luận án tiến sĩ, ông đã thực hiện các đóng góp quan trọng về phương pháp phân tích động thái của các sao đôi che khuất. Ông cũng đã có thể chứng minh rằng các sao biến quang cepheid không phải là các hệ sao đôi, như vào lúc nào đó một số người đã nghĩ, tuy nhiên các sao riêng lẻ dao động với sự đều đặn rõ rệt.

Có ấn tượng với công trình của Shapley, George



Harlow Shapley (1885–1972)

Ellery Hale đề nghị với ông một chức vụ tại Đài thiên văn Mount Wilson, ở đó ông lợi dụng không khí trong lành của núi cao và kính viễn vọng phản xạ 60 inches để tiến hành cuộc nghiên cứu tiên phong về các sao biến quang trong các quần tinh cầu.

Sau đó, Shapley đã nhận chức giám đốc Đài thiên văn Đại học Harvard, và trải qua 30 năm kế tiếp ông và các cộng sự thực hiện các đóng góp cho nhiều lãnh vực của thiên văn học, bao gồm nghiên cứu về các thiên hà lân cận, khám phá về các sao lùn...

Lúc ông mất, năm 1972, Shapley được biết đến như một trong những nhân vật trụ cột của thiên văn học hiện đại, người đã vẽ bản đồ cho Dải Ngân Hà và chỉ cho chúng ta biết vị trí của chúng ta trong Dải Ngân Hà.

bạn có thể lắng nghe đài phát thanh ưa thích của bạn dù trời có hay không có sương mù trong thành phố, các nhà thiên văn học có thể “dò đài” về bức xạ vô tuyến và hồng ngoại từ các vùng xa xôi của Dải Ngân Hà.

Các phương pháp đo đạc với các bước sóng này (cũng như các cuộc quan sát về các thiên hà khác giống như thiên hà của chúng ta) đã bổ sung cho bức tranh

đầu tiên của Shapley về Dải Ngân Hà. Ngày nay, chúng ta biết nó là một đĩa vật chất chiếu sáng, mỏng, hình tròn, tự xoay tròn, được phân bố ngang qua một vùng khoảng 100.000 LY về đường kính, và dày khoảng 1000 LY. (Có lẽ một cái bánh kẹp kiểu Pháp là sự so sánh thích hợp hơn so với một cái đĩa nhựa).

Các vì sao sáng, cũng như bụi và chất khí từ đó các sao hình thành, dường như

tất cả đều được tìm thấy trong cái đĩa mỏng của Dải Ngân Hà. Như sơ đồ mô tả, các sao trẻ cũng như chất khí và bụi trong đĩa không được phân bố đồng đều nhưng được tập trung vào một loạt các cánh tay xoắn ốc. Mặt Trời được phân bố ở khoảng giữa từ trung tâm của Dải Ngân Hà tới rìa của đĩa và chỉ ở bên trên mặt phẳng trung tâm của nó khoảng 70 LY.

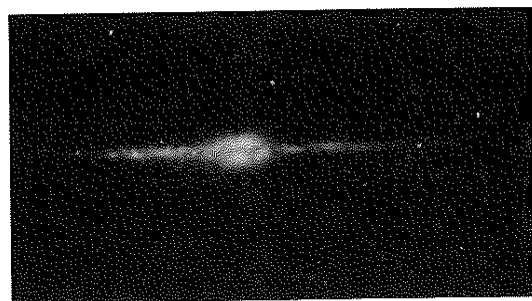
Đĩa Ngân Hà được bao bọc trong một *quầng sáng (halo)* hình cầu của các sao mờ nhạt vươn rộng ra tới một khoảng cách ít nhất là 50.000 LY cách tâm thiên hà. (Các quần tinh cầu cũng vạch ra một quầng sáng rộng chung quanh tâm thiên hà). Chúng ta biết phạm vi của quầng sáng bởi vì các sao biến quang RR Lyrae đã được tìm thấy với các số lượng đáng kể bên trên và bên dưới mặt phẳng thiên hà. Các phép đo về khoảng cách chứng tỏ rằng quầng sáng có toàn bộ đường kính ít nhất là 100.000 LY.

Gần với tâm thiên hà (trong vòng khoảng 3000 LY), các sao không còn bị hạn chế trong đĩa, nhưng hình thành một *chỗ phình hạt nhân* (nuclear bulge) bao gồm các sao già. Khi chúng ta sử dụng bức xạ thông thường của ánh sáng thấy được, chúng ta chỉ có thể thoáng thấy các sao trong chỗ phình ở những hướng mà ở đó bất ngờ tương đối có ít bụi giữa các vì sao. Hình đầu tiên thực sự thành công trong việc mô tả chỗ phình như một khối đã được chụp với các bước sóng hồng ngoại.

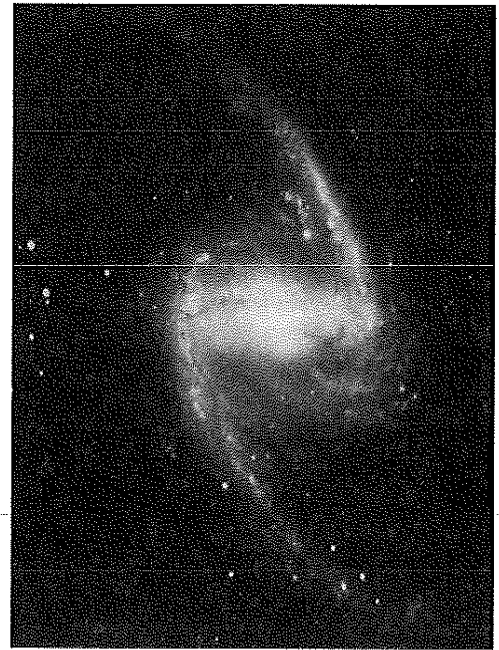
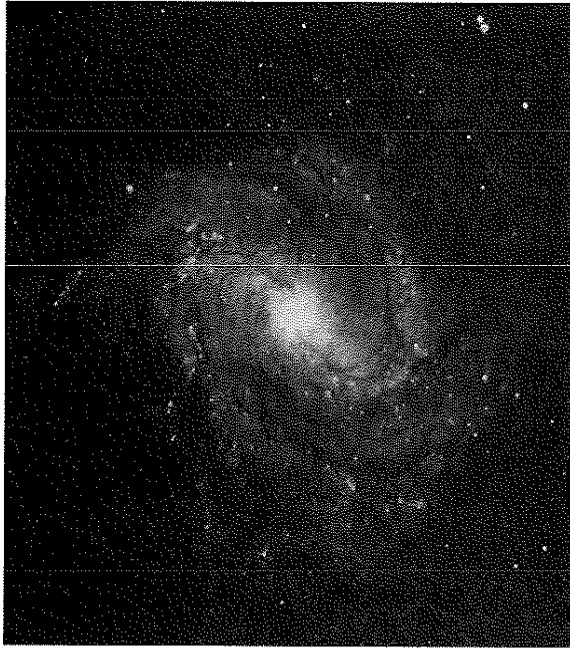
Sự kiện phần lớn chỗ phình bị che khuất bởi bụi khiến cho hình dạng của nó khó mà xác định. Trong một thời gian dài, các nhà thiên văn học cho rằng nó là hình cầu. Tuy nhiên, các ảnh hồng ngoại và các dữ liệu khác gợi ý rằng chỗ phình



Dù cho phần nhân của Dải Ngân Hà bị che giấu bởi bụi đối với các bước sóng thấy được, một vài nơi sự che khuất không nhiều, cho phép chúng ta nhìn thấy vào đám mây của các sao già tập trung về phía trung tâm và hình thành chỗ phình hạt nhân. Đây là bức hình của một vùng như thế, gọi là cửa sổ Baade sau khi nhà thiên văn học này chỉ ra trước tiên. Mật độ sao trong ảnh đạt tới điểm cực đại tại khoảng cách chừng 26.000 LY. Số lượng sao nhìn thấy được quả là gây ấn tượng mạnh mẽ. Sao sáng nhất trong hình là Gamma Sagittarii. Được phân bố rất gần với chúng ta hơn so với trung tâm, tại khoảng cách chừng 100 LY, nó có thể được nhìn thấy bằng mắt thường.



Hình này được chụp năm 1990 do một cuộc thí nghiệm trên vệ tinh thăm dò vũ trụ COBE (Cosmic Background Explorer Satellite). Được chụp trong phần cận hồng ngoại của quang phổ, bức ảnh cho phép chúng ta nhìn thấy, lần đầu tiên, chỗ phình của các sao già bao quanh trung tâm Dải Ngân Hà.



Ảnh bên trái mô tả M83, là một thiên hà rất giống với thiên hà của chúng ta. Thiên hà này ở tại khoảng cách chừng 20 triệu năm ánh sáng và có một sự tập trung của các ngôi sao già hơn. Trong một thời gian dài, người ta nghĩ rằng chỗ phình hạt nhân của Dải Ngân Hà cũng là hình cầu, giống như chỗ phình hạt nhân trong M83. Tuy nhiên, hiện nay, có vẻ như chỗ phình bị kéo dài ra, giống như NGC 1365 hơn, được mô tả trong ảnh bên phải. Thiên hà này cách xa khoảng 40 triệu năm ánh sáng. Hãy chú ý thời sáng chói, với chỗ phình hạt nhân như là trung tâm của nó. Chỗ phình và cái vạch ánh sáng đều có màu vàng bởi các ngôi sao sáng trong chúng là các ngôi sao khổng lồ đỏ đã già.

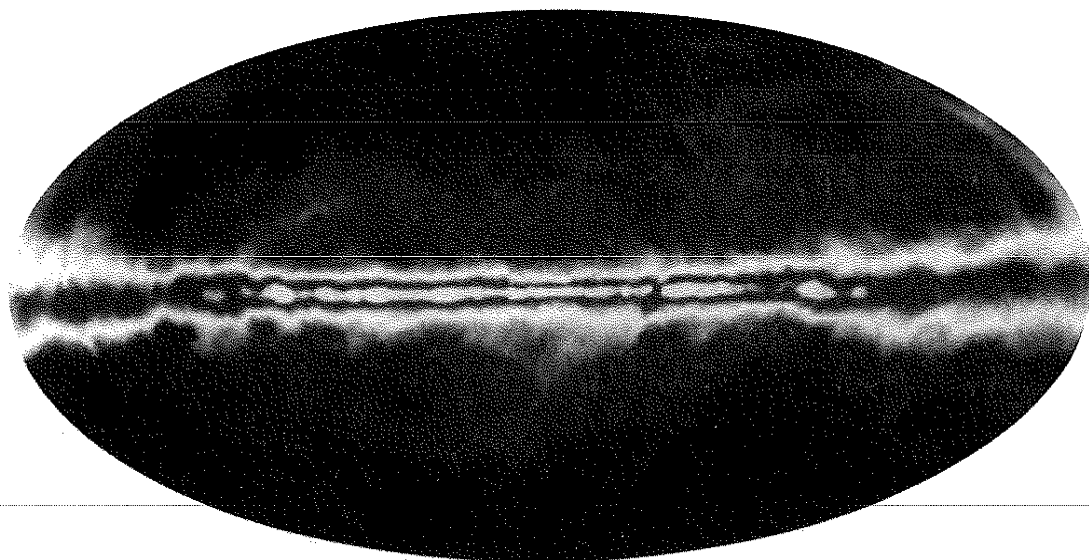
có thể bị kéo dài ra, giống như một điều gì rất mập. Chúng ta biết được nhiều thiên hà khác cũng có các vùng tập trung sao có dạng thanh (hay thoi, hay vạch) trong các vùng trung tâm của chúng; vì lý do ấy chúng được gọi là các xoắn ốc có vạch (barred spirals).

Chụp được toàn bộ bức hình này của Dải Ngân Hà từ vị trí thuận lợi của vùng ngoại ô, không có bụi là một trong những thành quả của thiên văn học thế kỷ XX (và là một thành quả đã tốn nhiều thập niên nỗ lực bởi các nhà thiên văn học làm việc với đủ loại kính viễn vọng). Một điều đã giúp ích rất nhiều là sự khám phá ra rằng Dải Ngân Hà không phải là độc nhất vô nhị về các đặc điểm của nó. Có nhiều tập hợp sao khác có dạng xoắn ốc như thế trong vũ trụ. Thí dụ,

Dải Ngân Hà giống thiên hà Andromeda (chòm sao Tiên Nữ), ở tại khoảng cách chừng 2,3 triệu năm ánh sáng, là một trong những người láng giềng gần nhất của chúng ta. Giống như bạn có thể có được một bức hình tốt hơn nhiều về chính bạn nếu một người khác nào đó chụp từ một khoảng cách nào đó, các bức hình (và các dữ liệu khác) về các thiên hà lân cận giống như thiên hà của chúng ta đã có ý nghĩa rất quan trọng đối với việc tìm hiểu các đặc tính của Dải Ngân Hà.

✧ VẬT CHẤT GIỮA CÁC VÌ SAO TRONG DẢI NGÂN HÀ

Một bước quan trọng trong việc tìm hiểu cấu trúc chi tiết của Dải Ngân Hà



Một bản đồ mô tả sự phân bố khí hydro lạnh trong Dải Ngân Hà, được xử lý đặc biệt từ các cuộc quan sát với bước sóng 21 cm. Hầu hết khí hydro nằm trong một cái đĩa mỏng thể hiện mặt phẳng của Dải Ngân Hà. Các dải và các sợi khí hydro bên trên và bên dưới đĩa là những cấu trúc lân cận.

là sự khám phá về bước sóng vô tuyến 21 cm từ khí hydro lạnh (xem Mục 11.2). Hydro có dồi dào khắp Dải Ngân Hà, và bức xạ với bước sóng này dễ dàng đi xuyên qua bụi. Các cuộc quan sát vô tuyến của vạch 21 cm chứng tỏ rằng hydro nguyên tử lạnh của Dải Ngân Hà bị giới hạn trong một lớp cực phẳng chỉ dày khoảng 400 LY. Trong mặt phẳng của Dải Ngân Hà, khí hydro này vươn rộng ra ngoài Mặt Trời tới một khoảng cách chừng 80.000 LY tính từ trung tâm thiên hà. Dải Ngân Hà có rất nhiều vật liệu thô sơ để tạo ra các sao mới trong đĩa của nó, và chính trong cái đĩa mà chúng ta nhìn thấy các sao trẻ, vừa mới được hình thành.

Bụi cũng bị hạn chế trong đĩa, sự tập trung cao nhất diễn ra trong các nhánh xoắn ốc. Độ dày của lớp bụi cũng khoảng 400 LY. Nhưng nó dường như tập trung nhiều hơn về phía các vùng bên trong đĩa; rất ít bụi được tìm thấy bên ngoài

quỹ đạo của Mặt Trời xung quanh trung tâm thiên hà.

Các đám mây phân tử đồ sộ nhất (đã bàn luận trong Chương 11 và 12) được phát hiện trong các nhánh xoắn ốc của Dải Ngân Hà. Trong nhiều trường hợp, các đám mây riêng lẻ đã tạo thành các phức hợp rộng lớn chứa một chục cụm riêng rẽ hay nhiều hơn. Bởi vì các đám mây phân tử rộng lớn và các phức hợp mây là những “địa điểm” của sự hình thành sao, hầu hết các sao trẻ cũng được tìm thấy trong các nhánh xoắn ốc. Hãy nhớ rằng các sao nóng, sáng chói là dễ dàng nhìn thấy nhất từ khoảng cách xa xôi. Nhưng các sao này không sống lâu và được phát hiện trong cuộc sống ngắn ngủi của chúng, khá gần với các bồn chứa vật liệu thô sơ đã sinh ra chúng. Khi nhìn vào các tấm ảnh của các thiên hà xoắn ốc khác, chúng ta cũng nhìn thấy các quần tinh sáng chói vạch ra các nhánh xoắn ốc của chúng.





Thiên hà xoắn ốc ngược 2997: Thiên hà này chiếu sáng bằng ánh sáng của 100 tỉ ngôi sao hay hơn nữa. Hai nhánh xoắn ốc, có vẻ bắt nguồn trong phần nhân màu vàng, bị rắc lên với những đốm màu đỏ sáng của hydro ion hoá tương tự như những vùng hình thành sao trong Dải Ngân Hà của chúng ta. Các sao nóng màu xanh, tạo ra phần lớn ánh sáng trong các nhánh của thiên hà, hình thành bên trong các đám mây hydro này.

16.2 CẤU TRÚC XOẮN ỐC CỦA DẢI NGÂN HÀ

✧ CÁC NHÁNH CỦA DẢI NGÂN HÀ

Các nhà thiên văn học đã xác định cách bố trí chính xác của Dải Ngân Hà. Dải Ngân Hà có bốn *nhánh xoắn ốc (spiral arms) chính*, với một số nhánh nhỏ hơn (small spurs). Mặt Trời nằm gần rìa bên trong của một nhánh ngắn gọi là *nhánh Orion*, dài khoảng 15.000 năm ánh sáng và chứa các đặc điểm rõ rệt chẳng hạn như Đường Nứt Cygnus (Cygnus Rift) (tinh vân tối vĩ đại trong Dải Ngân Hà mùa hạ) và Tinh Vân Orion (Orion Nebula).

Xa hơn nữa, và do đó ít rõ hơn, là các *nhánh Sagittarius-Carina* và *Perseus*, lần lượt được phân bố, khoảng 6000

LY ở bên trong và bên ngoài vị trí của Mặt Trời so với trung tâm thiên hà. Cả hai nhánh này và *nhánh Cygnus* (Cygnus arm) xa hơn dài khoảng 80.000 LY. Nhánh thứ tư thì không có tên và khó phát hiện bởi vì nó chạy dọc theo mặt bên kia của Dải Ngân Hà. Bức xạ từ nó được trộn lẫn với bức xạ từ các vùng trung tâm của Dải Ngân Hà, như được nhìn thấy từ vị trí thuận lợi của chúng ta.

✧ SỰ HÌNH THÀNH CẤU TRÚC XOẮN ỐC

Tại khoảng cách của Mặt Trời tính từ trung tâm của nó, Dải Ngân Hà không xoay tròn như một cái bánh xe đặc cứng. Các sao riêng biệt tuân theo định luật thứ ba của Kepler, giống như các hành

tinh trong hệ mặt trời của chúng ta. Hãy nhớ rằng Pluto (Diêm Vương Tinh) mất thời gian lâu hơn Trái Đất để hoàn tất trọn một chu kỳ quay quanh Mặt Trời. Trong cùng một cách như vậy, các sao trong các quỹ đạo lớn hơn trong Dải Ngân Hà “lê bước” theo sau những sao trong các quỹ đạo nhỏ hơn. Hiệu ứng này được gọi là *phép quay vi sai của thiên hà* (differential galactic rotation).

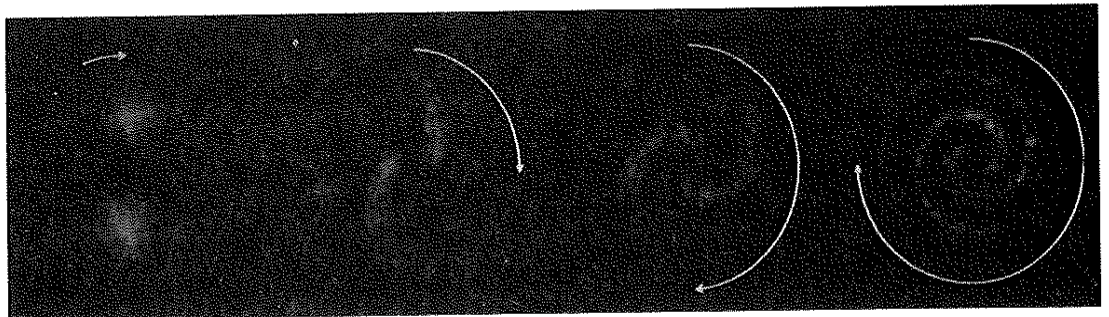
Phép quay vi sai giải thích lý do tại sao phần lớn vật liệu giữa các vì sao trong Ngân Hà được tập trung thành các đặc điểm kéo dài đến nỗi giống như các nhánh xoắn ốc. Dù sự phân bố ban đầu của vật liệu sẽ là thế nào đi nữa, phép quay vi sai của Ngân Hà cũng có thể kéo giãn nó ra thành các đặc tính xoắn ốc. Hình dưới mô tả sự phát triển của các nhánh xoắn ốc từ hai đốm không đồng đều của vật chất giữa các vì sao, vì các phần của các đốm gần trung tâm thiên hà nhất di chuyển nhanh nhất, trong khi các phần xa hơn kéo lê phía sau.

Nhưng bức hình về các nhánh xoắn ốc này đưa ra một vấn đề. Nếu điều đó là tất cả những gì có với câu chuyện, sự quay vi sai lẽ ra – trải qua lịch sử gần 13 tỉ năm của Dải Ngân Hà – đã quăn các nhánh của Ngân Hà ngày càng chặt hơn cho tới khi toàn bộ đáng vẽ bên ngoài

của cấu trúc biến mất. Thế nhưng, các nhánh xoắn ốc thon thả vẫn tự duy trì qua thời gian, ngay cả khi vật liệu trong chúng xoay tròn chung quanh trung tâm Ngân Hà.

Chúng ta có thể nghĩ về các nhánh xoắn ốc như những vùng vật chất được tập trung đậm đặc hơn. Các nhánh được phân định bởi sự tập trung của các sao và vật chất giữa các vì sao, nhưng các sao riêng lẻ và các đám mây khí có thể di chuyển vào và ra khỏi các nhánh. Để hiểu những gì chúng ta muốn nói, hãy hình dung rằng bạn đang lái xe trên một xa lộ và những chiếc xe với các tài xế rất căng thẳng đang di chuyển chậm chạp một cách bất thường trong hai làn xe phía trước. Lưu thông phía sau các xe này sẽ bị buộc đi chậm lại, và mật độ xe hơi chung quanh chúng sẽ gia tăng.

Qua thời gian, các xe riêng biệt như xe của bạn sẽ tìm cách qua mặt các xe đang di chuyển chậm chạp, nhưng các xe khác sẽ chiếm chỗ của chúng trong sự ùn tắc lưu thông. Được quan sát từ trên cao, sẽ thấy một đồng xe đang di chuyển dọc theo xa lộ với cùng một tốc độ như hai chiếc xe đang di chuyển chậm. Khối xe sẽ di chuyển chậm hơn sự lưu thông ở phía trước và ở phía sau



Sự hình thành các nhánh xoắn ốc: Bức phác họa này mô tả các nhánh xoắn ốc sẽ hình thành như thế nào từ các đám mây không đều đặn của vật chất giữa các vì sao được kéo dài ra do các tốc độ xoay tròn khác nhau khắp Dải Ngân Hà. Các vùng xa nhất từ trung tâm thiên hà xoay tròn chậm nhất.

sự ách tắc. Các xe bị kẹt sẽ khác nhau khi thời gian trôi qua; mỗi tài xế sẽ bị kẹt trong sự bế tắc lưu thông chỉ trong một lúc mà thôi.

Nếu cùng xa lộ ấy có những cặp tài xế chạy chậm khác, xa hơn về phía sau, sẽ có các khối xe lưu thông mà bất kỳ ai trên con đường cũng sẽ phải di chuyển qua. Trong cùng một cách như vậy, sự “lưu thông” của các sao và vật chất giữa các vì sao trong Dải Ngân Hà di chậm lại và kết lại thành khối khi gặp phải những vùng đậm đặc hơn của các nhánh xoắn ốc. Những vùng tập trung với mật độ cao hơn xoay tròn chậm hơn so với vật liệu thực tế trong Dải Ngân Hà, để cho bất kỳ nhóm sao nào, chất khí, và bụi cuối cùng cũng đi qua các nhánh xoắn ốc.

Các nhà thiên văn học đã tạo ra các mô hình về các sao và các đám mây khí sẽ di chuyển như thế nào tương ứng với lực hấp dẫn do vật chất trong Dải Ngân Hà sinh ra. Các tính toán chứng tỏ rằng các vật thể di chuyển chung quanh Dải Ngân Hà thực sự sẽ chậm lại một chút trong các vùng của các nhánh xoắn ốc và nán lại ở đó lâu hơn bất cứ thứ gì khác trong các quỹ đạo của chúng. Vì thế một làn sóng cuộn (hay xoắn) với mật độ cao hơn tích tụ ở các nhánh xoắn ốc.

Lý thuyết về các nhánh xoắn ốc hình thành như thế nào được gọi là mô hình của *sóng đậm đặc xoắn ốc* (spiral density wave). Các sóng đậm đặc xoắn ốc đã được quan sát trực tiếp trong các vòng đai của Sao Thổ (Saturn), một vùng khác nữa chứa một đĩa với nhiều vật thể quay quanh một trung tâm chung. Các nhà thiên văn học vẫn còn tranh luận về việc những kiểu sóng đậm đặc như thế bắt đầu như thế nào, nhưng mô hình vẫn

giải thích được nhiều đặc tính quan sát được trong cái đĩa của Dải Ngân Hà (và những thiên hà xoắn ốc khác).

Khi các đám mây khí và bụi tiến gần tới các ranh giới bên trong của một nhánh và chạm trán với sự đậm đặc cao hơn của vật chất đang di chuyển một cách chậm chạp, chúng va chạm vào nó. Đó chính là nơi sự kích động của vụ va chạm diễn ra mà sự nén ép cần thiết để hình thành sao có nhiều khả năng xảy ra nhất. Điều này giải thích lý do tại sao các nhánh xoắn ốc là các khu vực hình thành sao mạnh mẽ nhất và là tổ ấm của các sao trẻ. Trong một số thiên hà, các nhánh xoắn ốc có thể quan sát trực diện, chúng ta nhìn thấy các sao trẻ, dọc theo các đám mây bụi đậm đặc nhất, chiếm cứ các ranh giới bên trong của các nhánh xoắn ốc – như lý thuyết này dự đoán.

Mô hình của sóng đậm đặc xoắn ốc không giải thích được mọi điều về cấu trúc thiên hà. Ngay cả Thiên Hà của chúng ta có những đoạn ngắn hơn giữa các nhánh xoắn ốc đã không được giải thích. Các thiên hà xoắn ốc khác thậm chí có nhiều kiểu hỗn độn hay phức tạp hơn nữa. Các lý thuyết gia đã tìm ra những phương thức khác, không liên quan tới các sóng đậm đặc xoắn ốc, để tạo ra các cấu trúc kéo dài trông giống như các nhánh xoắn ốc. Thí dụ, các phản ứng chuỗi vĩ đại của sự hình thành sao có thể di chuyển tăng dần qua các đám mây phân tử và tạo ra các vùng mở rộng của các sao trẻ mô phỏng các nhánh xoắn ốc (xem Mục 12.1). Rất có thể nhiều hơn chứ không phải là một cơ chế góp phần vào việc xây dựng nên kiểu thiết kế đặc thù của các thiên hà chẳng hạn như Dải Ngân Hà.

16.3 DÂN SỐ SAO TRONG DẢI NGÂN HÀ

♦ HAI LOẠI SAO

Các sao trong Thiên Hà của chúng ta đại khái có thể được phân chia thành hai nhóm khác nhau, hay hai loại dân cư (populations), là một khám phá đầu tiên được thực hiện bởi Walter Baade của Đài thiên văn Mount Wilson ở phía nam bang California trong Thế chiến thứ Hai. Nhờ vào bầu trời tối hơn do sự tắt đèn tạm thời trong thời chiến ở Los Angeles, ông đã có thể xác định hai loại dân cư riêng biệt của các sao trong thiên hà lân cận Andromeda.

Baade có ấn tượng mạnh mẽ bởi sự tương đồng của các sao trong cái bầu

(hay chỗ phình) hạt nhân của thiên hà Andromeda với các sao trong các quần tinh cầu và quần sáng của Thiên Hà chúng ta, và bởi các sự khác biệt giữa tất cả các sao này và các sao được tìm thấy trong các nhánh xoắn ốc gần Mặt Trời. Trên cơ sở này, ông đã gọi tất cả các sao trong quần sáng, bầu hạt nhân, và các quần tinh cầu là dân cư loại II (population II), và các sao xanh sáng chói trong các nhánh xoắn ốc là dân cư loại I (population I).

Ngày nay, chúng ta biết rằng các loại dân cư sao không chỉ khác biệt nhau về vị trí của chúng trong Dải Ngân Hà, mà còn khác nhau trong các đặc điểm khác chẳng hạn như thành phần hoá học và độ tuổi. Các sao thuộc dân cư loại I, chỉ được tìm thấy trong đĩa, đặc biệt được



Thiên hà trong chòm sao Tiên nữ (M31): Hình xoắn ốc láng giềng này trông rất giống Thiên Hà của chúng ta. Hãy chú ý cái bầu (chỗ phình) của các sao già hơn, màu vàng ở trung tâm, các sao xanh hơn và trẻ hơn ở các vùng bên ngoài, và bụi trong cái đĩa che khuất một số ánh sáng từ cái bầu.

Ảnh nhỏ: **Walter Baade** (1893–1960).

tập trung trong các nhánh xoắn ốc và đi theo các quỹ đạo gần như hình tròn chung quanh trung tâm thiên hà. Lấy thí dụ là những sao siêu khổng lồ sáng chói, các sao trong chuỗi sao chính với độ trung cao (các loại phổ O và B), và các thành viên của các quần tinh phân tán còn trẻ. Vật chất giữa các vì sao và các đám mây phân tử được tìm thấy trong cùng một chỗ với các sao dân cư loại I.

Các sao thuộc dân cư loại II chúng tôi không có mối liên hệ với vị trí của các nhánh xoắn ốc. Những vật thể này được tìm thấy khắp Dải Ngân Hà. Một số nằm trong đĩa, nhưng phần nhiều đi theo các quỹ đạo hình êlip đưa chúng lên cao bên trên đĩa thiên hà đi vào quầng sáng. Lấy thí dụ bao gồm các tinh vân hành tinh và các sao biến quang RR Lyrae. Các sao trong các quần tinh cầu, được phát hiện hầu như toàn bộ trong quầng sáng và trong bầu trung tâm của Dải Ngân Hà, cũng được phân loại như dân cư loại II.

Ngày nay, chúng ta biết được nhiều hơn nữa về sự tiến hoá của sao so với các nhà thiên văn học trong những năm 1940, và có thể giải thích được những gì gây nên những sự khác biệt trong hai loại dân cư sao. Một khác biệt quan trọng phải thực hiện với các độ tuổi của các sao. Dân cư loại I bao gồm các sao với đủ loại tuổi. Trong khi một số có 10 tỉ năm tuổi, số khác ngày nay vẫn còn đang hình thành. Quan trọng nhất, dân cư loại I bao gồm tất cả các sao khổng lồ trẻ đã hình thành trong vài triệu năm vừa qua. Mặt Trời, khoảng 5 tỉ năm tuổi, là một sao dân cư loại I. Dân cư loại II, mặt khác, bao gồm toàn bộ các sao già đã hình thành rất sớm trong lịch sử của Ngân Hà: các độ tuổi tiêu biểu là từ 11 tới 13 tỉ năm.

✧ CÁC MANH MỐI TỪ THÀNH PHẦN HOÁ HỌC

Các phép đo về các quang phổ sao chứng tỏ rằng sự khác biệt chủ yếu giữa các sao thuộc dân cư loại I và dân cư loại II là thành phần hoá học của chúng. Hầu như tất cả các sao có vẻ được cấu tạo phần lớn là hydro và helium, nhưng sự dồi dào về các nguyên tố nặng hơn của chúng thì khác nhau. Trong Mặt Trời và các sao dân cư loại I khác, các nguyên tố nặng (những nguyên tố nặng hơn hydro và helium) tính ra khoảng từ 1 tới 4% toàn bộ khối lượng sao. Các sao dân cư loại II trong quầng sáng bên ngoài thiên hà và trong các quần tinh cầu có sự dồi dào kém hơn nhiều về các nguyên tố nặng – thường ít hơn một phần mười hay thậm chí một phần trăm các vùng tập trung được tìm thấy trong Mặt Trời.

Như chúng ta đã biết, các nguyên tố nặng được tạo ra trong các sao. Chúng quay trở về các khu dự trữ vật liệu thô sơ của Dải Ngân Hà khi các sao chết đi, chỉ để được tái tạo thành những thế hệ sao mới. Do đó, khi thời gian trôi qua, các sao được ra đời với nguồn cung cấp ngày càng lớn hơn về các nguyên tố nặng hơn. Sự phong phú về các nguyên tố chứng tỏ rằng hai loại dân cư sao phải được sinh ra tại các thời điểm khác nhau. Các sao dân cư loại II hình như đại diện cho các thế hệ đầu tiên của Dải Ngân Hà. Chúng ta có thể gọi chúng là những công dân lớn tuổi của Dải Ngân Hà; giống như đa số những người cao niên, chúng đã sống trong các thời kỳ đơn giản hơn (ít ra cho tới khi sự dồi dào về các nguyên tố được quan tâm).

✧ THẾ GIỚI THỰC

Với các ngoại lệ hiếm hoi, chúng ta sẽ không bao giờ tin tưởng vào bất kỳ

lý thuyết nào phân chia thế giới thành hai loại. Kể từ công trình tiên phong của Baade, chúng ta đã hiểu rằng tất cả các sao có thể được định rõ đặc điểm như già hơn và nghèo nàn về các nguyên tố nặng, hay trẻ hơn và dồi dào về các nguyên tố nặng, là quá đơn giản. Ý tưởng về hai loại dân cư giúp tổ chức các suy nghĩ ban đầu của chúng ta về Dải Ngân Hà, nhưng ngày nay chúng ta biết rằng nó không thể giải thích được mọi quan sát.

Thí dụ, các sao trong cái bầu (hay chỗ phình) hạt nhân của Dải Ngân Hà là đều tương đối già. Tuổi trung bình của chúng nằm trong một dãy từ 11 tới 13 tỉ năm, và không có sao nào trẻ hơn khoảng 5 tỉ năm tuổi. Tuy nhiên, sự phong phú của các nguyên tố nặng trong các sao này gần như ngang bằng với trong Mặt Trời. Các nhà thiên văn học nghĩ rằng sự hình thành sao trong cái bầu hạt nhân chen chúc đã diễn ra rất nhanh ngay sau khi Ngân Hà hình thành. Sau một vài triệu năm, thế hệ đầu tiên của các sao khổng lồ sống cuộc đời ngắn ngủi, sau đó đã tổng ra các nguyên tố nặng trong các vụ nổ siêu tân tinh và làm giàu cho các thế hệ kế tiếp. Vì thế, ngay cả các sao đã hình thành trong bầu hạt nhân các đây lâu hơn 11 tỉ năm đã bắt đầu với một nguồn cung cấp rất tốt về các nguyên tố nặng hơn.

Một cách chính xác tình huống ngược lại xảy ra trong Đám mây Magellan Nhỏ (Small Magellanic Cloud), là một tiểu thiên hà quay quanh thiên hà chúng ta. Ngay cả những sao trẻ nhất trong thiên hà này bị thiếu các nguyên tố nặng, có lẽ bởi vì sự hình thành sao đã xảy ra chậm đến mức đã có, cho đến bây giờ, tương đối vài vụ nổ siêu

tân tinh. (Các thiên hà nhỏ hơn cũng có nhiều trở ngại hơn trong việc cầm giữ chất khí được tạo ra trong các vụ nổ siêu tân tinh đủ lâu để tái tạo nó. Các thiên hà khối lượng thấp chỉ sinh ra một lực hấp dẫn khiêm tốn nhất, và chất khí tốc độ cao được phún xuất bởi các siêu tân tinh có thể dễ dàng thoát ra khỏi chúng).

Các nguyên tố mà một sao được cung cấp do đó tùy thuộc không chỉ vào thời điểm nó hình thành trong lịch sử thiên hà của nó, mà còn phụ thuộc vào số lượng sao trong bộ phận thiên hà của nó đã hoàn tất đời sống vào thời điểm ngôi sao sẵn sàng hình thành.

16.4 KHỐI LƯỢNG CỦA DẢI NGÂN HÀ

Mặt Trời, giống như mọi vì sao khác trong Ngân Hà, quay quanh trung tâm của Ngân Hà. Quỹ đạo ngôi sao của chúng ta gần như tròn và nằm trong cái đĩa của Ngân Hà. Tốc độ của Mặt Trời trong quỹ đạo vào khoảng 220 km/s , có nghĩa là chúng ta cần *225 triệu năm* để đi hết một vòng. Chúng ta gọi chu kỳ quay của Mặt Trời chung quanh phần nhân là *năm thiên hà* (galactic year); đó là một thời gian dài so với các thang thời gian của con người.

Trong toàn bộ thời gian sống của Trái Đất, chỉ vào khoảng 20 năm thiên hà đã trôi qua. Và chúng ta đã đi chỉ được một phần nhỏ của con đường xung quanh Ngân Hà trong toàn bộ thời gian mà nhân loại đã quan sát bầu trời.

◇ KEPLER GIÚP CÂN ĐO DẢI NGÂN HÀ

Chúng ta có thể sử dụng thông tin về quỹ đạo của Mặt Trời để ước tính khối

lượng của Ngân Hà (giống như chúng ta có thể “cân” Mặt Trời bằng cách theo dõi quỹ đạo của một hành tinh quay quanh nó – xem Chương 2). Chúng ta hãy thừa nhận rằng quỹ đạo Mặt Trời là hình tròn và Ngân Hà đại khái là hình cầu, cả hai là những sự thừa nhận tương đối chính xác. Từ lâu, Newton đã chứng minh rằng nếu bạn đã làm cho vật chất phân bố theo hình cầu, sẽ thật đơn giản để tính toán sức hút của trọng lực lên một vật thể nào đó ngay bên ngoài quả cầu ấy: Bạn có thể thừa nhận trọng lực tác động như thể tất cả vật chất được tập trung tại một điểm ở trung tâm quả cầu. Do vậy, vì các mục đích của chúng ta mà chúng ta có một điểm ở trung tâm của Ngân Hà, chứa tất cả khối lượng nằm phía bên trong đối với vị trí của Mặt Trời, và chúng ta có Mặt Trời đang quay quanh điểm ấy, cách xa khoảng 26.000 năm ánh sáng.

Đây là loại tình huống mà định luật thứ ba của Kepler (cũng như được bổ sung bởi Newton) có thể áp dụng trực tiếp. Sử dụng công thức trong Mục 2.3, chúng ta phải đặt khoảng cách theo đơn vị thiên văn và chu kỳ theo năm. Có $6,3 \times 10^4$ AU trong 1 LY, do đó 26.000 LY trở thành $1,6 \times 10^9$ AU. Nếu cần khoảng $2,25 \times 10^8$ năm để cho Mặt Trời quay quanh trung tâm của Ngân Hà, định luật Kepler phát biểu:

$$M_{\text{Galaxy}} + M_{\text{Sun}} = a^3/P^2 = (1,6 \times 10^9)^3 / (2,25 \times 10^8)^2 = \text{xấp xỉ } 10^{11} M_{\text{Sun}}$$

(Chú thích: M_{Galaxy} là $M_{\text{Thiên Hà}}$, M_{Sun} là $M_{\text{Mặt Trời}}$)

Hãy chú ý rằng định luật Kepler mang lại tổng số của khối lượng, nhưng khối lượng của Mặt Trời hoàn toàn không đáng kể so với khối lượng của Ngân Hà.

Vì thế, đối với tất cả các mục đích thực tiễn, kết quả (khoảng 100 tỉ khối lượng Mặt Trời) là khối lượng của Ngân Hà. Các tính toán tinh vi hơn dựa trên các mô hình phức tạp cho ra một kết quả tương tự.

Sự ước tính này chỉ cho chúng ta biết khối lượng được chứa trong thể tích bên trong quỹ đạo Mặt Trời là bao nhiêu mà thôi. Nó chỉ là một ước tính hợp lý về tổng khối lượng của Ngân Hà nếu không hề có bất cứ khối lượng nào bên ngoài quỹ đạo của Mặt Trời. Trong nhiều năm, các nhà thiên văn học đã nghĩ rằng sự thừa nhận này là có lý. Số lượng các sao sáng và lượng *vật chất chiếu sáng* (luminous matter) (nghĩa là bất kỳ vật liệu nào từ đó chúng ta có thể phát hiện ra bức xạ điện từ) đều lần lượt ra đi một cách đột ngột ở các khoảng cách xa hơn khoảng 30.000 LY từ trung tâm thiên hà.

✧ MỘT THIÊN HÀ CỦA HẦU HẾT VẬT CHẤT KHÔNG THỂ NHÌN THẤY

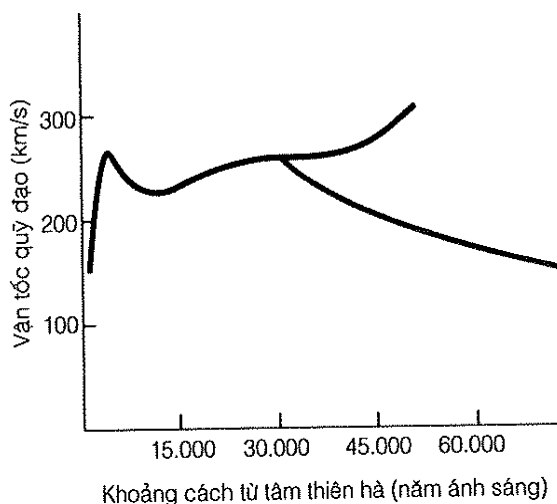
Trong khoa học, điều gì có vẻ như là một giả định hợp lý sau đó có thể là sai lầm (đó là lý do tại sao chúng ta tiếp tục thực hiện các cuộc quan sát và thí nghiệm với mọi cơ hội có được). Ngày nay, chúng ta đã hiểu rằng có nhiều hơn một Dải Ngân Hà gặp gỡ đôi mắt ta (hay các thiết bị của chúng ta)! Trong khi có tương đối ít vật chất chiếu sáng xa hơn 30.000 LY, hóa ra là có rất nhiều vật liệu không nhìn thấy được ở những khoảng cách lớn từ tâm thiên hà.

Chúng ta có thể hiểu được các nhà thiên văn học đi tới kết luận lạ lùng này như thế nào bằng cách nhớ rằng, theo định luật Kepler 3, các vật thể quay quanh một vật thể khổng lồ tại các

khoảng cách lớn di chuyển chậm hơn các vật thể gần hơn khối lượng trung tâm ấy. Trong trường hợp của hệ mặt trời, thí dụ, các hành tinh bên ngoài di chuyển chậm hơn trên các quỹ đạo của chúng so với các hành tinh gần Mặt Trời hơn.

Có một vài vật thể, kể cả một số đám mây khí và quần tinh cầu, cũng nằm bên ngoài ranh giới chiếu sáng của Dải Ngân Hà. Nếu hầu hết khối lượng thiên hà chúng ta được tập trung trong phạm vi của vùng chiếu sáng, những vật thể rất xa này sẽ di chuyển quanh các quỹ đạo thiên hà của chúng với các tốc độ chậm hơn, thí dụ, tốc độ của Mặt Trời.

Tuy nhiên, vài vật thể được nhìn thấy ở khoảng cách rất xa so với biên giới tỏa sáng của Dải Ngân Hà *không* di chuyển chậm hơn Mặt Trời. Có một số quần tinh cầu và các sao RR Lyrae nằm giữa 30.000 và 150.000 LY tính từ



Đường xoay tròn của Dải Ngân Hà: Tốc độ trên quỹ đạo của monoxide carbon (CO) tại các khoảng cách khác nhau từ trung tâm của Ngân Hà được thể hiện. Đường cong mô tả đường xoay tròn sẽ trông như thế nào nếu tất cả vật chất trong Ngân Hà được phân bố bên trong bán kính 30.000 LY. Thay vì đi xuống, tốc độ của các chất khí xa hơn đi lên, chứng tỏ thật nhiều khối lượng vượt ra ngoài quỹ đạo của Mặt Trời.

tâm Ngân Hà, và các tốc độ quỹ đạo của chúng thậm chí còn lớn hơn tốc độ của Mặt Trời.

Các tốc độ cao hơn này có nghĩa gì? Định luật Kepler 3 cho chúng ta biết các vật thể phải quay quanh một nguồn hấp dẫn nhanh ở mức chúng không rơi vào (bởi vì chúng di chuyển quá chậm) hay thoát đi (bởi vì chúng di chuyển quá nhanh). Nếu Dải Ngân Hà chỉ có khối lượng được tính toán trong mục trước đây, các vật thể ngoại vi tốc độ cao có lẽ từ lâu đã thoát khỏi sự kìm kẹp của Ngân Hà. Chúng đã không làm như thế có nghĩa là thiên hà chúng ta phải có nhiều lực hút hơn là có thể được cung cấp bởi vật chất chiếu sáng – thực vậy, một lực hút lớn hơn rất nhiều. Tốc độ gia tăng của các vật thể ngoại vi này cho chúng ta biết rằng nguồn của lực hút này phải vươn rộng ngoài trung tâm ra xa khỏi quỹ đạo Mặt Trời.

Nếu lực hấp dẫn được cung cấp bởi các sao hay thứ gì khác phát ra bức xạ, có lẽ chúng ta đã phát hiện ra vật liệu ngoại vi này từ lâu rồi. Do đó chúng ta buộc phải đi đến kết luận rằng vật chất này là không nhìn thấy được và đã, ngoại trừ đối với lực hấp dẫn của nó, ra đi mà không được phát hiện!

Các nghiên cứu về các chuyển động của hầu hết các quần tinh cầu xa xôi chúng tôi rằng toàn bộ khối lượng của Ngân Hà ra tới bán kính 150.000 LY là khoảng $10^{12} M_{\text{Sun}}$, lớn hơn gấp mười lần lượng vật chất bên trong quỹ đạo Mặt Trời. Các lập luận lý thuyết gợi ý rằng **vật chất tối** (dark matter) này (như các nhà thiên văn học gọi nó) được phân bố trong một quả cầu khổng lồ bao quanh Ngân Hà. Nhưng vật chất tối này có thể được cấu tạo bằng thứ gì?

Chúng ta hãy nhìn vào một bảng liệt kê những nghi ngờ lấy từ các nghiên cứu về thiên văn. Bởi vì vật chất này không thể nhìn thấy được, rõ ràng nó không thể nằm trong dạng của các sao thông thường. Và nó không thể là chất khí theo bất kỳ hình thức nào (hãy nhớ rằng phải có rất nhiều về điều đó). Nếu nó là khí hydro trung hoà, bức xạ 21 cm của nó sẽ được phát hiện. Nếu nó là hydro ion hoá, nó sẽ đủ nóng để phát ra bức xạ nhìn thấy được. Nếu rất nhiều nguyên tử hydro đã kết hợp thành các phân tử hydro, các phân tử này sẽ tạo ra các đặc điểm tối trong quang phổ cực tím của các vật thể nằm ngoài Dải Ngân Hà, nhưng các đặc điểm như thế đã không được thấy. Vật chất tối cũng không bao gồm bụi giữa các vì sao, bởi vì bụi với các số lượng cần thiết sẽ che chắn ánh sáng từ các thiên hà xa xăm.

Vật chất tối không thể là một lượng khổng lồ các lỗ đen của khối lượng sao hay các sao neutron già, bởi vì sự sụp đổ của vật chất giữa các sao vào các vật thể như thế sẽ tạo ra nhiều tia X hơn là được quan sát. Cũng vậy, sự hình thành các lỗ đen và các sao neutron xảy ra sau các vụ nổ siêu tân tinh, các vụ nổ này tung các nguyên tố nặng vào không gian được kết hợp thành các thế hệ kế tiếp của các sao. Nếu vật chất tối bao gồm số lượng khổng lồ các lỗ đen và sao neutron, các sao trẻ mà chúng ta quan sát được trong Ngân Hà ngày nay sẽ dồi dào các nguyên tố nặng nhiều hơn chúng thật sự có. Ngay cả những sao trở thành các sao lùn trắng phun trào vật chất dồi dào về carbon và các nguyên tố khác trong giai đoạn tinh vân hành tinh của sự tiến hoá, một số lớn trong chúng cũng sẽ tạo ra nhiều sự "ô nhiễm" nguyên tố nặng hơn là được quan sát.

Có thể giải thích vật chất tối trong Dải Ngân Hà là các vật thể khối lượng thấp, chẳng hạn như các hành tinh hay các sao lùn nâu, các lỗ đen với khối lượng gấp một triệu lần khối lượng mặt trời, hay những hạt hạ nguyên tử kỳ dị của một loại chưa được phát hiện trên Trái Đất. Các thí nghiệm rất tinh vi (và khó khăn) vẫn được tiến hành để tìm kiếm chứng cứ để ủng hộ cho các khả năng này.

Một điều quan trọng cần chú ý là vấn đề của vật chất tối hẳn nhiên không bị hạn chế trong Dải Ngân Hà. Các quan sát chứng tỏ rằng vật chất tối cũng có mặt trong các thiên hà khác (những vùng ngoại vi của các thiên hà này cũng quay trên quỹ đạo rất nhanh "vì lợi ích của riêng chúng"). Như chúng ta thấy, thậm chí nó tồn tại trong các chùm đại thiên hà, mà các thành viên của chúng di chuyển chung quanh dưới ảnh hưởng của lực hấp dẫn lớn hơn rất nhiều hơn là có thể được giải thích bởi riêng vật chất chiếu sáng.

Kết luận mà chúng ta có được đáng kinh ngạc biết bao. Có lẽ gần 90% khối lượng trong Dải Ngân Hà (và nhiều thiên hà khác) là không thể nhìn thấy, và chúng ta thậm chí cũng không biết nó được cấu tạo ra sao! Các sao và các vật liệu thô sơ mà chúng ta quan sát được có thể chỉ mới là cái chóp của tảng băng vũ trụ; nằm dưới nó tất cả đều có thể là vật chất khác. Việc hiểu biết bản chất của vật chất tối này là một trong những thách thức vĩ đại của thiên văn học.

16.5 NHÂN CỦA DẢI NGÂN HÀ

Một vùng rắc rối và phức tạp khác của Dải Ngân Hà là trung tâm (hay nhân)

của nó, nằm theo hướng của chòm sao Nhân Mã (Sagittarius). Chúng ta không thể nhìn thấy phần nhân bằng ánh sáng thông thường bởi vì sự hấp thụ do bụi giữa các vì sao nằm giữa chúng ta và trung tâm thiên hà. Ánh sáng từ vùng trung tâm của Ngân Hà bị lu mờ theo hệ số một ngàn tỉ (10^{12}). Tuy nhiên, bức xạ hồng ngoại và vô tuyến, mà các bước sóng của chúng dài so với kích thước của các hạt bụi giữa các sao, tuồn chảy chung quanh các hạt bụi và có thể đi tới chúng ta. Thực vậy, nguồn vô tuyến rất sáng trong phần nhân, được biết như Sagittarius A, là nguồn vô tuyến vũ trụ đầu tiên được khám phá.

Các nhà thiên văn học đã sử dụng các quan sát với tất cả các bước sóng này để cố gắng xác định cái gì nằm tại trung tâm Ngân Hà. Đó là một vùng đông đúc, phức tạp, đầy ắp chất khí, bụi, các sao và các xác sao; sự phân vùng chính xác của nó rất khó sắp xếp. Tuy nhiên, hiện nay có một chứng cứ mạnh mẽ rằng, ngoài những vật thể thông thường chẳng hạn như các sao và vật chất giữa các sao, trung tâm Dải Ngân Hà còn chứa một lỗ đen khổng lồ.

✧ TRUNG TÂM TỐI ĐEN CỦA DẢI NGÂN HÀ

Như chúng ta đã thấy trong Chương 15, việc chứng minh rằng một lỗ đen tồn tại là một thách thức bởi bản thân lỗ đen không phát ra các bức xạ. Những gì các nhà thiên văn học phải làm là chứng minh rằng một vùng nhỏ trong không gian chứa rất nhiều khối lượng hơn là có thể được giải thích bởi một quần tinh rất cô đặc hay một thứ gì khác được cấu tạo bằng vật chất thông thường. Thí dụ, bán kính của một lỗ đen với khối lượng khoảng 3 triệu M_{Sun} sẽ chỉ gần bằng kích

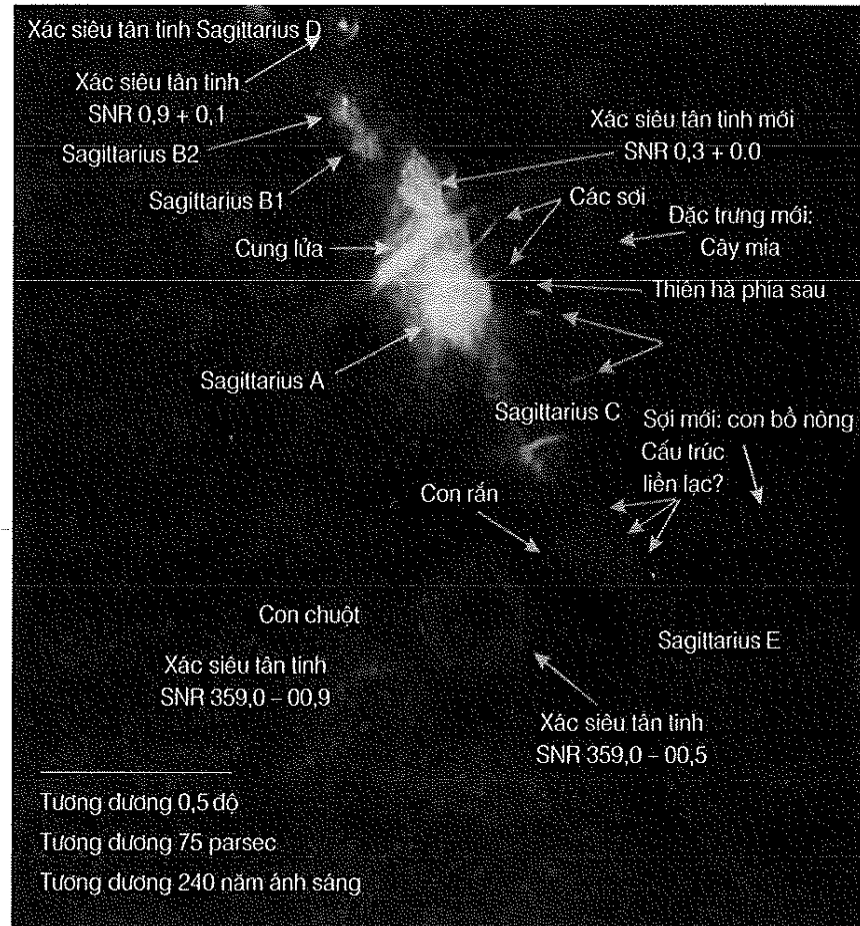
thước của Mặt Trời. Mật độ tương ứng trong vùng không gian này sẽ cao hơn nhiều so với mật độ của bất kỳ chòm sao nào hay bất kỳ thiên thể bình thường nào khác.

Gần đây, các nhà thiên văn học đã tích lũy được nhiều chứng cứ gián tiếp để ủng hộ ý tưởng cho rằng có một lỗ đen khổng lồ tại trung tâm của Ngân Hà. Có một nguồn vô tuyến mạnh mẽ, gọi là Sagittarius A*, ở tại hay rất gần những gì chúng ta tin là trung tâm chính xác của Ngân Hà. Các phép đo với kính viễn vọng vô tuyến VLA (Very Large Array) chứng tỏ rằng đường kính của nguồn vô tuyến này không dài hơn đường kính quỹ đạo Jupiter (Sao Mộc) (10 AU), và thậm chí nó có thể nhỏ hơn – gần bằng kích thước của một lỗ đen.

Nếu ở đó có một lỗ đen, bức xạ vô tuyến mà chúng ta quan sát được có thể được tạo ra trong một *cái đĩa bồi* (accretion disk) đang quay tròn, nơi đó vật chất bị nung nóng khi nó xoáy tròn vào bên trong về phía vùng lũng quên. (Các đĩa bồi như thế đã được giải thích trong Chương 15).

Sagittarius A* không chỉ nhỏ, mà còn có thể có một khối lượng rất lớn. Các cuộc quan sát chứng tỏ rằng Sagittarius A* trong trạng thái đứng yên. Các sao thông thường trong vùng trung tâm chen chúc của thiên hà thay đổi vị trí của chúng theo những mức độ có thể đo đạc được do các lực hấp dẫn và sức hút của các sao lân cận khác, nhưng Sagittarius A* thì không. Sự giải thích khả thi nhất là Sagittarius A* lớn hơn các sao thông thường quá nhiều đến nỗi nó không bị dịch chuyển đáng kể bởi ảnh hưởng hấp dẫn của chúng.

Nhưng chính xác thì nó lớn hơn bao nhiêu? Phương thức tối ưu để ước tính



Bản đồ vô tuyến của trung tâm Dải Ngân Hà (với bước sóng 90 cm) được xây dựng từ dữ liệu kính viễn vọng vô tuyến VLA. Những vùng sáng hơn thì mạnh hơn về các sóng vô tuyến. Trung tâm thiên hà nằm bên trong vùng mang tên Sgr A. Sgr B1 và B2 là những vùng hình thành sao năng động. Nhiều sợi hay những nét đặc biệt như sợi được nhìn thấy, cũng như một số vỏ (được đặt tên là SNR) đó là các xác siêu tân tinh (supernova remnant). Thanh ở dưới bên trái dài khoảng 240 LY, để cho bạn một cảm nhận về tỉ lệ.

khối lượng của bất cứ thứ gì nằm tại trung tâm Ngân Hà là phải đo đạc các vận tốc của các sao đang quay chung quanh trung tâm thiên hà và kế đó sử dụng định luật Kepler 3 để ước tính khối lượng của vật thể trung tâm. Vấn đề là trung tâm thiên hà cách xa chúng ta vào khoảng 25.000 LY (năm ánh sáng). Rất khó phân biệt đầy đủ chi tiết với khoảng cách đó để đo đạc được các vận tốc của các sao riêng lẻ nằm ngay bên ngoài nơi mà chúng ta hy vọng là ranh giới của lỗ đen.

Tuy nhiên, khi các kỹ thuật quan sát đã tiến bộ qua nhiều năm, các nhà thiên văn học đã có thể đo đạc các vận tốc của các sao luôn nằm gần hơn với trung tâm thiên hà. Các sao hiện nay đã được xác định rằng chỉ nằm cách trung tâm Ngân Hà 5 ngày ánh sáng, và từ các vận tốc của chúng có thể tính được rằng vùng bên trong quỹ đạo của chúng phải chứa một khối lượng bằng 2,6 triệu khối lượng mặt trời. Mật độ tương ứng trong vùng này gần như cao hơn một triệu lần so với mật độ của bất kỳ quần tinh được biết



Ảnh hồng ngoại mô tả một vùng tại trung tâm Dải Ngân Hà có đường kính khoảng 6 LY và đầy ắp các sao chen chúc nhau. Tất cả các sao được nhìn thấy trên ảnh là các sao khổng lồ đỏ; các sự chênh lệch về màu sắc được tạo ra bởi mức độ ửng đỏ khác nhau của ánh sáng của chúng do bụi nằm giữa chúng ta và vùng trung tâm. Tuy nhiên, không phải tất cả các vật thể màu đỏ đều là các ngôi sao. Một số là các vùng hydro bị ion hoá (HII), bên trong chúng phải có một số sao nóng, mà ánh sáng mạnh mẽ của chúng thực hiện sự ion hoá. Không có cái nào trong số các vật thể này có thể được nhìn thấy bằng ánh sáng thường, bởi vì bụi hoàn toàn che khuất tầm nhìn của chúng ta với các bước sóng nhìn thấy được. Bằng cách đo đặc vận tốc quỹ đạo của các sao trong phạm vi một vài ngày ánh sáng tính từ trung tâm, các nhà thiên văn học đã chứng tỏ rằng rất có thể là có một lỗ đen khổng lồ ngay tại tâm Ngân Hà.

nào! Và dấu cho khối lượng này được cấu tạo từ các sao, hay các xác sao, hay các hành tinh, hay bất cứ loại vật thể cá biệt nào khác, với các mật độ này chúng sẽ va chạm và hợp nhất chỉ trong một vài triệu năm. Căn cứ vào tuổi của Dải Ngân Hà khoảng 13 tỉ năm, một chùm vật thể như thế không thể đã tồn tại lâu như vậy. Do vậy tất cả các chứng cứ sẵn có mang lại sự ủng hộ mạnh mẽ cho ý tưởng rằng vật chất ngay tại trung tâm

Dải Ngân Hà phải ở trong dạng của một lỗ đen khổng lồ.

✧ TRUY TÌM NGUỒN GỐC

Lỗ đen này đã bắt nguồn từ đâu? Để khởi sự một lỗ đen khổng lồ như thế, tất cả những gì bạn cần là một ngôi sao thật khổng lồ đầu tiên trong lịch sử của Dải Ngân Hà, nhanh chóng trải qua cuộc đời của nó và chết đi bằng cách sụp đổ trong chân trời biến cố của nó. Thế rồi chất khí, bụi, và các sao khác va chạm với lỗ đen này trong vùng trung tâm có thể bị nuốt chửng từ từ. Trải qua nhiều tỉ năm, điều này có thể làm tăng khối lượng của lỗ đen ban đầu tới mức khổng lồ.

Ở thời điểm hiện tại, vật chất đang rơi vào tâm thiên hà với tốc độ khoảng $1 M_{\text{Sun}}$ trong 1000 năm ($1 M_{\text{Sun}}/1000 \text{ Y}$).

Nếu vật chất đã rơi vào với cùng một tốc độ trong khoảng 5 tỉ năm, thì nó sẽ dễ dàng có thể tích tụ cần thiết để hình thành một lỗ đen với khối lượng lớn gấp nhiều triệu lần khối lượng của mặt trời. Và không phải chỉ có chất khí và bụi mới có thể phục vụ như một “bữa ăn” dành cho một lỗ đen như thế. Mật độ của các sao gần trung tâm thiên hà là như thế mà chúng ta sẽ hy vọng rằng một ngôi sao đi qua gần lỗ đen ấy và bị nó nuốt chửng mỗi vài ngàn năm.

Như chúng ta sẽ thấy trong các chương sau, không phải chỉ riêng Dải Ngân Hà chứa chấp một “con dã thú” như thế trong lòng nó. Ngày nay, có chứng cứ rất thuyết phục rằng các lỗ đen siêu khổng lồ tồn tại trong các thiên hà khác và cũng có thể liên quan tới các “nhà máy điện bí mật” mà các nhà thiên văn học gọi là các quasar (hay chuẩn tinh) (xem Chương 18).

16.6 SỰ HÌNH THÀNH DẢI NGÂN HÀ

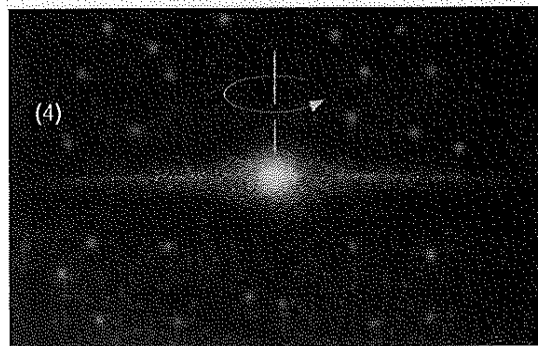
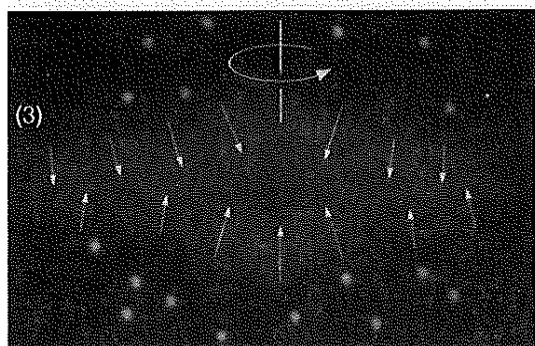
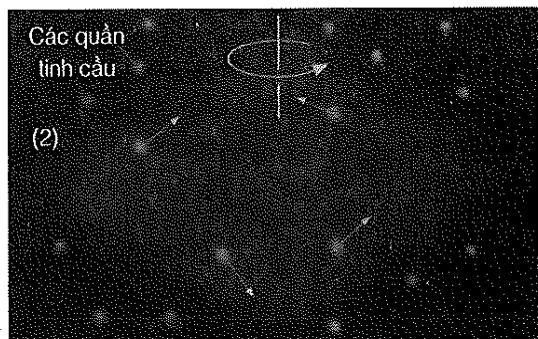
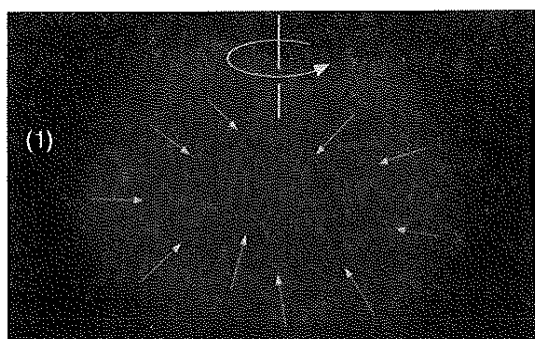
Một khi các nhà thiên văn học đã hiểu về Dải Ngân Hà, họ bắt đầu khai triển những mô hình về sự hình thành và tiến hoá của nó. Những mô hình đầu tiên khá đơn giản trong đó họ giả định Dải Ngân Hà phát triển trong sự cô lập, không bị ảnh hưởng bởi các sự tương tác với các thiên hà khác. Hình dạng cái đĩa phẳng dẹt của Ngân Hà gợi lên rằng nó đã hình thành qua một quá trình tương tự với quá trình dẫn tới sự hình thành của sao nguyên thủy (xem Chương 12). Xây dựng trên ý tưởng này, các mô hình đầu tiên cho rằng Ngân Hà đã hình thành từ một đám mây xoay tròn.

♦ Đám mây thiên hà nguyên thủy

Bởi vì các sao già nhất – các sao nằm trong quầng sáng và trong các quần tinh

cầu – được phân bố trong một quả cầu tập trung vào phần nhân của Ngân Hà, điều đó có nghĩa là một đám mây thiên hà nguyên thủy (protogalactic cloud) như thế về hình dạng đại thể là hình cầu. Các sao già nhất trong quầng sáng có độ tuổi vào khoảng 13 tỉ năm, và vì vậy chúng ta ước tính rằng sự hình thành của Ngân Hà cũng bắt đầu vào khoảng xa xưa ấy. Thế rồi, giống như trong trường hợp của sự hình thành sao, đám mây thiên hà nguyên thủy đã sụp đổ và hình thành một cái đĩa mỏng manh xoay tròn. Các sao được sinh ra trước khi đám mây sụp đổ đã không tham gia vào quá trình sụp đổ, nhưng tiếp tục quay quanh quỹ đạo trong quầng sáng cho tới hiện nay.

Các lực hấp dẫn khiến cho chất khí trong cái đĩa mỏng phân đoạn thành các đám mây hay các cụm với các khối



Dải Ngân Hà (Milky Way Galaxy) có lẽ đã hình thành từ một đám mây khí cô lập, xoay tròn đã sụp đổ do trọng lực. Các sao và các quần tinh cầu trong quầng sáng đã hình thành trước sự sụp đổ hay đã được hình thành từ nơi khác và bị hút bởi lực hấp dẫn tới Dải Ngân Hà đầu tiên trong lịch sử của nó. Các sao trong cái đĩa đã hình thành muộn màng, và chất khí từ đó chúng được tạo ra bị ô nhiễm với các nguyên tố nặng trong các thế hệ sao đầu tiên.

lượng giống như khối lượng của các quần tinh. Những đám mây cá biệt này sau đó phân đoạn thêm nữa để hình thành các sao. Bởi vì các sao già nhất trong cái đĩa gần như già bằng các sao trong quầng sáng, sự sụp đổ phải nhanh chóng, có lẽ không nhiều hơn một vài trăm triệu năm.

Tuy nhiên, mới đây, các nhà thiên văn học đã bắt đầu phát hiện những dấu vết cho rằng sự tiến hoá của Dải Ngân Hà đã không hoàn toàn êm ả như mô hình truyền thống.

Các quần tinh cầu khác nhau về độ tuổi khoảng gần 3 tỉ năm; có nghĩa là chúng không thể đều đã hình thành trong vài trăm triệu năm trước khi vật chất giữa các sao sụp đổ để hình thành đĩa thiên hà, như mô hình truyền thống dự đoán. Các cuộc nghiên cứu cũng chứng tỏ rằng một số quần tinh cầu quay chung quanh trung tâm Ngân Hà

theo chiều ngược lại với chiều của đa số các quần tinh cầu và của đĩa thiên hà. Các quần tinh cầu “lạc hậu” này hình như trẻ hơn từ 2 tới 3 tỉ năm so với các quần tinh cầu xoay tròn theo chiều thông thường, và chúng có khuynh hướng nằm xa hơn đối với trung tâm Ngân Hà.

✧ CÁC NẠN NHÂN CỦA VỤ VA CHẠM

Năm 1994, các nhà thiên văn học đã khám phá ra một tiểu thiên hà mới, trong hướng của chòm sao Sagittarius (Nhân Mã), đó là một vệ tinh của Ngân Hà – giống như Mặt Trăng là vệ tinh của Trái Đất. Thiên hà lùn Sagittarius chỉ cách xa trung tâm Ngân Hà có 50.000 LY và là thiên hà gần nhất được biết đến. Nó bị kéo dài rất nhiều, và hình dạng của nó chứng tỏ rằng nó đang bị xé ra từng phần bởi lực hấp dẫn của Ngân Hà – giống như sao chổi Shoemaker-Levy



Thiên hà lùn Sagittarius: Năm 1994, các nhà thiên văn học Anh đã khám phá ra một thiên hà trong chòm sao Sagittarius (Nhân Mã), ở cách trung tâm Ngân Hà khoảng 50.000 LY, và đang rơi vào thiên hà chúng ta. Ảnh này kết hợp một quang cảnh đen và trắng của các đĩa Ngân Hà, với một sơ đồ đường viền mô tả độ sáng của thiên hà lùn. Các sao màu trắng trong vùng này đánh dấu vị trí của một số quần tinh cầu.

bị xé toang ra khi nó đi qua quá gần Jupiter (Sao Mộc) năm 1992. Thiên hà Sagittarius là một thiên hà nhỏ với khoảng 150.000 sao, tất cả chúng dường như phải chịu kết liễu trong cái bầu (hay chỗ phình) và quang sáng của thiên hà chúng ta. Sự phá hủy của thiên hà lùn Sagittarius sẽ cần 100 triệu năm nữa hay đại loại như thế.

Dải Ngân Hà có thể thêm nhiều vụ va chạm sắp xảy ra. Các Đám mây Magellan Lớn và Nhỏ (Large and Small Magellanic Clouds), hai thiên hà vệ tinh lân cận khác, đang luôn luôn xoáy tròn gần hơn với thiên hà chúng ta và, theo các tính toán, sẽ hợp nhất với nó trong tương lai xa. Đã có chứng cứ cho rằng các luồng vật chất đã bị xé toạc ra khỏi các đám mây trong những lần chạm trán gần nhau trong quá khứ với Ngân Hà. Lực hút do Ngân Hà tạo ra kéo mạnh hơn đối với các cạnh gần của các Đám Mây và đã tách một số khí hydro của chúng ra thành cái đuôi dài tuôn chảy phía trước và phía sau chúng. Ngân Hà có tám tiểu thiên hà vệ tinh khác, và ít nhất một số các “gã lùn” (dwarfs) này có vẻ như là bị tách ra khỏi các Đám mây Magellan khi chúng đi qua gần Ngân Hà. Trong một vài tỉ năm nữa, thiên hà Andromeda (Tiên Nữ) có thể cũng va chạm với Ngân Hà.

Toàn bộ chứng cứ này nêu lên rằng sự tiến hoá của Ngân Hà đã bị ảnh hưởng bởi các sự tương tác và các vụ va chạm với các thiên hà khác. Các nhà thiên văn học hiện nay tin rằng Ngân Hà đã hình thành trong hai giai đoạn. Giai đoạn đầu đã tiến triển như được mô tả trong hình ở trang trước. Khoảng 2 tỉ năm sau khi sự hình thành của đa số các quần tinh cầu, xoáy tròn theo chiều hướng đi tới,

Ngân Hà có được các sao và các quần tinh cầu bổ sung từ một hay nhiều thiên hà vệ tinh đã bị chộp lấy khi chúng đi quá gần. (Cùng một cách như vậy, một số các vệ tinh trong hệ mặt trời chúng ta đã có các quỹ đạo thụ lùi và đã được nghĩ là các tiểu hành tinh hay các sao chổi bị bắt giữ). Có vẻ chắc chắn rằng trải qua vài tỉ năm kế tiếp, Ngân Hà sẽ vẫn thu gom thêm nhiều sao từ các thiên hà lân cận.

Do đó chúng ta đang đi đến nhận thức rằng “các ảnh hưởng môi trường” (và không chỉ những đặc điểm ban đầu) đóng một vai trò quan trọng trong việc quyết định các đặc tính và sự phát triển của Dải Ngân Hà. Trong các chương sắp tới, chúng ta sẽ thấy rằng các vụ va chạm và hợp nhất cũng là nhân tố chủ yếu trong sự tiến hoá của nhiều thiên hà khác.

TÓM LƯỢC

16.1 Mặt Trời được phân bố trong vùng ngoại vi của *Dải Ngân Hà* (Milky Way Galaxy). Dải Ngân Hà bao gồm một cái đĩa chứa bụi, khí, và các sao trẻ; một *cái bầu hạt nhân* (nuclear bulge) (hay *chỗ phình hạt nhân*) chứa các sao già; và một *quầng sáng* (halo) hình cầu chứa các sao rất già, các quần tinh cầu, và các sao biến quang RR Lyrae. Theo sự phân tích do Shapley về sự phân bố của các quần tinh cầu cung cấp dấu hiệu đầu tiên rằng Mặt Trời không được tọa lạc tại trung tâm Ngân Hà. Các cuộc quan sát vô tuyến với bước sóng 21 cm chứng tỏ rằng hydro lạnh bị giới hạn trong cái đĩa dẹt với độ dày gần Mặt Trời chỉ có 400 LY. Bụi cũng bị

hạn chế trong cùng cái đĩa mỏng này; rất ít bụi tồn tại bên ngoài quỹ đạo của Mặt Trời. Các đám mây phân tử lớn nhất, ở đó sự hình thành sao rất năng động, được tập trung trong các nhánh xoắn ốc.

16.2 Dải Ngân Hà có bốn *nhánh xoắn ốc* (spiral) chính và vài đoạn ngắn; Mặt Trời được phân bố trên một trong các đoạn ngắn. Các phép đo chứng tỏ rằng Ngân Hà không tự xoay tròn như một vật thể rắn, mà các sao của nó tuân theo các định luật Kepler; các sao gần với trung tâm thiên hà hơn hoàn tất quỹ đạo của chúng nhanh hơn. Lý thuyết về *sóng đậm đặc xoắn ốc* (spiral density wave) là một phương pháp giải thích các nhánh xoắn ốc. Các tính toán chứng tỏ rằng lực hấp dẫn trong phạm vi Ngân Hà khiến cho các sao và các đám mây khí đi chậm lại trong vùng phụ cận của các nhánh xoắn ốc, do đó dẫn tới các mật độ vật chất cao hơn. Khi các đám mây phân tử cố gắng vượt qua những vùng mật độ cao hơn này, sự hình thành sao được kích thích.

16.3 Đại khái chúng ta có thể phân chia các sao trong Dải Ngân Hà thành hai loại. Các sao già với vài nguyên tố nặng được nói đến như các sao *dân cư loại II* (population II) và được tìm thấy trong quầng sáng và trong các quần tinh cầu. Các sao *dân cư loại I* (population I) chứa nguyên tố nặng nhiều hơn trong cái đĩa, và đặc biệt được tập trung trong các nhánh xoắn ốc. Mặt Trời là một thành viên của dân cư loại I. Các sao dân cư loại I đã hình thành sau khi các thể hệ sao trước tạo ra các nguyên

tố nặng và phún xuất chúng vào môi trường giữa các vì sao. Các sao trong chỗ phình hạt nhân thường được nói đến như dân cư loại II bởi vì chúng đều rất già. Các sao trong chỗ phình hạt nhân cũng có mức độ đáng kể về các nguyên tố nặng, có lẽ bởi vì có nhiều sao khổng lồ thuộc thể hệ đầu tiên trong vùng đậm đặc này và các sao này nhanh chóng lây nhiễm cho các thể hệ sao kế tiếp với các sản phẩm của sự tổng hợp hạt nhân.

16.4 Khối lượng của Dải Ngân Hà có thể được xác định bằng cách đo đạc các vận tốc quỹ đạo của các sao hay vật chất giữa các vì sao. Mặt Trời quay giáp vòng quanh trung tâm thiên hà trong khoảng 225 triệu năm (đôi khi gọi là *năm thiên hà* [galactic year]). Tổng khối (toàn bộ khối lượng) của Dải Ngân Hà vào khoảng $10^{12} M_{\text{Sun}}$ (khối lượng mặt trời), và khoảng 90% khối lượng này bao gồm vật chất tối (dark matter) không phát ra các bức xạ điện từ và chỉ có thể được phát hiện do lực hấp dẫn mà nó tác động lên các sao nhìn thấy được và vật chất giữa các vì sao. Vật chất tối (hay vật chất đen) được phân bố hầu hết trong quầng sáng của Ngân Hà; bản chất của nó chưa được hiểu rõ.

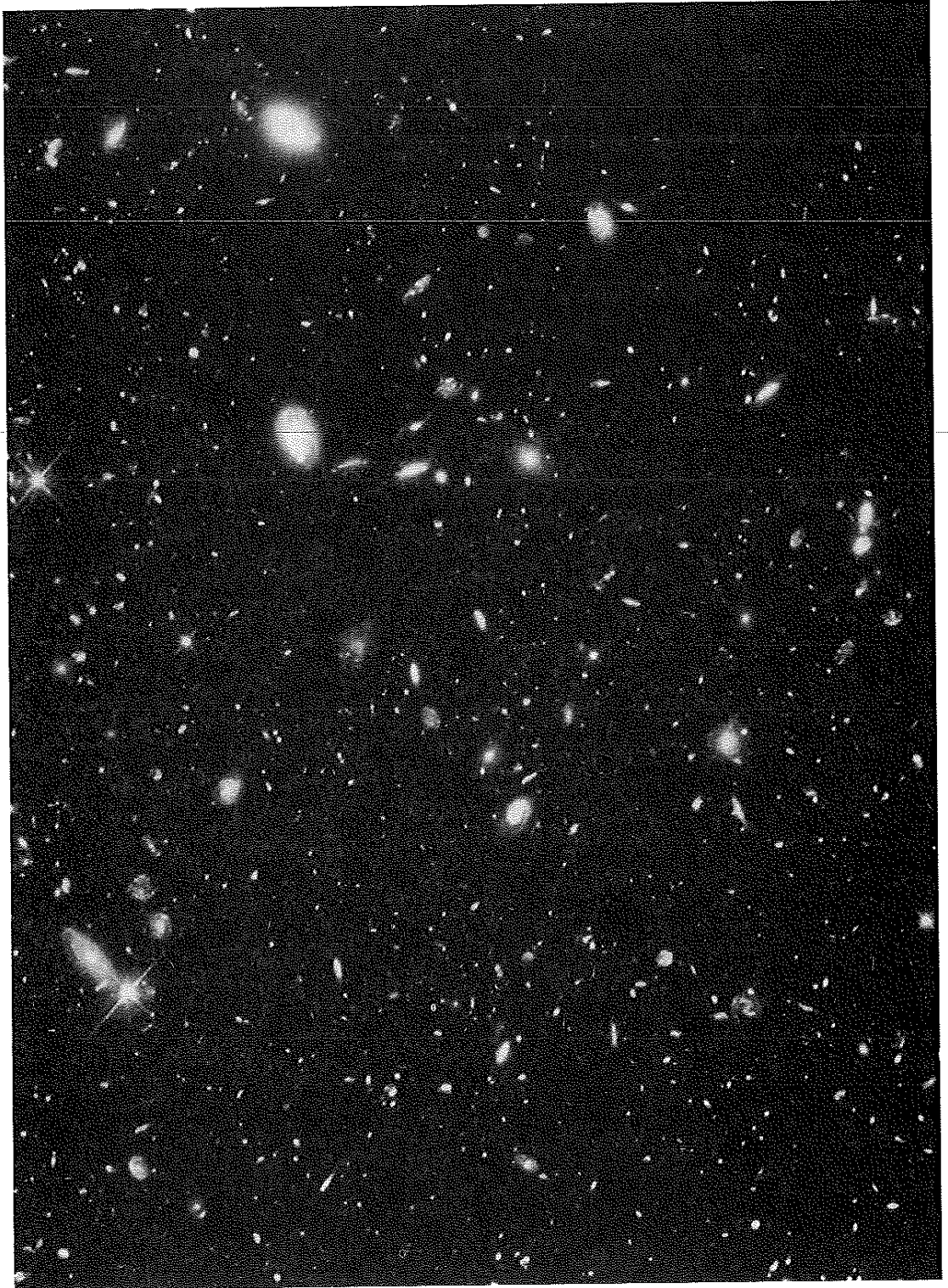
16.5 Có chứng cứ mạnh mẽ rằng một lỗ đen khổng lồ được phân bố tại trung tâm của Ngân Hà. Các phép đo về các vận tốc của các sao tọa lạc trong vòng 5 ngày ánh sáng từ trung tâm chứng tỏ rằng khối lượng bên trong các quỹ đạo của chúng xung quanh trung tâm là khoảng gấp 2,6 triệu lần khối lượng của Mặt Trời. Mặt

độ của vùng tập trung vật chất này vượt qua mật độ của các quần tinh được biết đậm đặc nhất theo một hệ số gần một triệu; vật thể duy nhất được biết với mật độ cao như vậy là một lỗ đen.

16.6 Dải Ngân Hà đã hình thành cách đây khoảng 13 tỉ năm. Các mô hình đề xuất rằng các ngôi sao trong quần sáng và các quần tinh cầu đã hình thành trước tiên, trong khi Dải Ngân Hà là hình cầu. Chất khí, khá dồi dào về các nguyên tố nặng bởi thể hệ các

ngôi sao đầu tiên, sau đó đã sụp đổ từ sự phân bố hình cầu tới sự phân bố dạng đĩa. Ngày nay các ngôi sao vẫn đang hình thành từ chất khí và bụi còn lại trong đĩa. Sự hình thành ngôi sao diễn ra nhanh nhất trong các nhánh xoắn ốc, ở đó mật độ của vật chất giữa các ngôi sao là cao nhất. Có bằng chứng cho rằng Dải Ngân Hà đã hút lấy (và vẫn đang hút lấy) các ngôi sao và các quần tinh bổ sung từ các tiểu thiên hà đến quá gần Dải Ngân Hà.





Tấm ảnh lịch sử này là một trong những hình ảnh sâu nhất được chụp về vũ trụ của các thiên hà. Hai trăm bảy mươi sáu bức hình, được chụp bằng kính không gian Hubble trải qua 150 quỹ đạo liên tiếp, được tổng hợp để hình thành một bức ảnh mô tả các thiên hà mờ nhạt hơn đã từng được thấy, kể cả một số là sự phá kỷ lục mờ hơn gấp 4 tỉ lần so với mắt người có thể nhìn thấy. Khoảng 2500 thiên hà là có thể nhìn thấy khi bức ảnh được xem xét gần. Một số cách xa đến nỗi chúng ta đang nhìn thấy chúng khi chúng chỉ là một tỉ năm sau khi vũ trụ bắt đầu sự nở rộng của nó. Vùng được chụp, là một mảng nhỏ của bầu trời ngay bên trên chòm Đại Hùng Tinh (Big Dipper) (gần bằng kích thước mà một hạt cát có thể trông thấy nếu được giữ cách một sải tay) được chọn, bởi vì nó cách xa cái đĩa của Dải Ngân Hà và chứa rất ít các thiên hà lân cận.

CHƯƠNG 18

CÁC THIÊN HÀ

“Không có thứ gì giống như thiên văn học để lôi kéo ra khỏi con người.

Những giấc mơ ngu xuẩn: Hãy để họ đi đếm các ngôi sao”.

Từ bài thơ “Star-Swirls” của Robinson Jeffers (1924)

Các thiên hà rải rác ở mọi hướng, ở xa tới mức các kính viễn vọng cực mạnh cũng không cho phép chúng ta nhìn kỹ. Các thiên hà khác liệu có giống thiên hà của chúng ta? Và làm sao chúng ta có thể đo đạc khoảng cách chính xác tới các tập hợp sao cách xa đến thế? Song chúng ta sẽ thấy rằng chính là qua những cuộc quan sát các thiên hà mà chúng ta có thể thăm dò những phạm vi xa xôi nhất của vũ trụ và nhìn lại sự khởi đầu của thời gian.

Cuộc du hành của chúng ta giờ đây rời khỏi các biên giới của Ngân Hà và chúng ta bắt đầu cuộc thám hiểm của mình tới vương quốc của các thiên hà khác. Hãy nhìn ra ngoài, thật kinh hoàng với số lượng vĩ đại của các “đảo vũ trụ”, mỗi đảo chứa hàng tỉ ngôi sao. Có nhiều thiên hà đến mức một kính viễn vọng hiện đại cho phép chúng ta nhìn thấy hàng triệu triệu thiên hà chỉ trong một vùng nhỏ của chòm sao Đại Hùng (Big Dipper). Giống như các du khách từ một

thành phố nhỏ, bị kinh ngạc bởi phạm vi và số lượng của các đại đô thị mà họ đang viếng thăm, chúng ta đang đi tới nhận thức về quy mô những gì tồn tại bên ngoài ranh giới thiên hà quê nhà của chúng ta.

Chính ý tưởng cho rằng có những thiên hà khác tồn tại gây tranh luận trong một thời gian dài. Vào cuối năm 1920, nhiều nhà thiên văn học, kể cả Harlow Shapley, đã nghĩ rằng Dải Ngân Hà bao gồm tất cả những gì đã có trong vũ trụ. Bằng chứng vào năm 1924 rằng Dải Ngân Hà không phải là độc nhất vô nhị, mà là một trong số những tiến bộ vĩ đại về sự hiểu biết về vị trí của chúng ta trong vũ trụ.

17.1 CUỘC TRANH LUẬN VỀ TINH VÂN VĨ ĐẠI

Với các kính viễn vọng trong những thế kỷ trước, các thiên hà trông như

Edwin Hubble tốt nghiệp trường trung học ở tuổi 16. Ông nhận được học bổng Rhodes vào Đại học Oxford ở Anh, nơi ông đã học luật với sự hăng hái ở mức trung bình.

Sự thu hút của thiên văn học đã chứng tỏ khó mà cưỡng lại, và vì thế ông đã trở lại Đại học Chicago.

Năm 1919, ở tuổi 30, ông đã bắt đầu làm việc với kính viễn vọng lớn nhất thế giới. Là một quan sát viên lão luyện, chẳng bao lâu Hubble hình thành một số ý tưởng quan trọng nhất trong thiên văn học hiện đại. Ông chứng minh rằng các thiên hà khác đã tồn tại, phân loại trên cơ sở hình dạng của chúng, tìm ra một khuôn mẫu cho sự chuyển động của chúng (và do đó đã đặt khái niệm về vũ trụ mở rộng lên một nền tảng quan sát vững chắc), và bắt đầu một chương trình nghiên cứu sự phân bố của các thiên hà trong vũ trụ. Mặc dù một vài người khác đã thoáng thấy các mảnh của điều bí ẩn, chính Hubble đã ráp nối tất cả và chứng minh rằng một hiểu biết về cấu trúc vi mô của vũ trụ là có tính khả thi.

Khi trở thành nổi tiếng hơn (ông là nhà thiên văn học đầu tiên xuất hiện trên bìa Tạp chí *Time*), ông lập kế hoạch và xây dựng kính viễn vọng 200 inches trên núi Palomar và đã bắt đầu sử dụng nó để nghiên cứu các thiên hà tới khi bị một cơn đột quỵ vào năm 1953. Khi các nhà thiên văn học đã chế tạo được kính viễn vọng không gian sẽ cho phép họ vươn rộng công trình của Hubble tới các khoảng cách mà ông chỉ có thể mơ ước, để vinh danh ông, người ta đã đặt tên cho nó là Hubble.



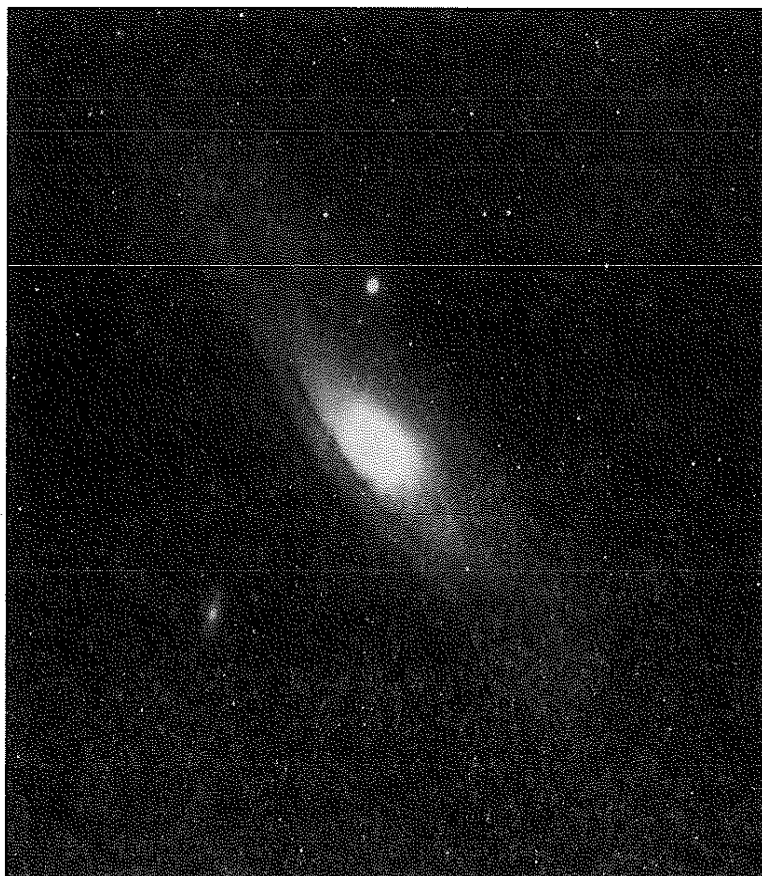
Edwin Hubble (1889 – 1953)

những vết mờ nhỏ bé và rất khó phân biệt với các chùm sao và các đám mây khí-bụi là một phần của Dải Ngân Hà. Tất cả các vật thể không phải là những điểm sáng rõ rệt được đặt cùng một cái tên “nebulae” (các tinh vân), từ ngữ Latin dành cho các đám mây. Bởi vì ngay cả các hình dạng chính xác của chúng thường cũng khó nhận ra và các kỹ thuật để đo đặc khoảng cách của chúng vẫn chưa được phát minh, các tinh vân là trung tâm của nhiều cuộc tranh luận giữa các nhà thiên văn học.

Ngay đầu thế kỷ 18, triết gia Immanuel Kant (1724–1804) gợi ý rằng một số tinh vân có thể là các hệ sao xa xôi (các Dải Ngân Hà khác) – nhưng bằng

chứng của gợi ý này nằm ngoài khả năng của bất kỳ ai vào thời điểm đó. Khoảng 1908, gần 15.000 tinh vân đã được lập thành mục lục và mô tả. Một số đã được xác định chính xác như là các chùm sao và một số khác (chẳng hạn như Tinh vân Orion) như là tinh vân khí. Tuy nhiên, bản chất của hầu hết chúng, vẫn chưa được giải thích, đặc biệt là những tinh vân nhỏ bé và không rõ rệt.

Nếu những tinh vân này ở gần, với các khoảng cách có thể so sánh với các khoảng cách của các sao quan sát được, chúng rất có thể là những đám mây khí hay các nhóm sao nằm trong Ngân Hà. Mặt khác, nếu chúng ở rất xa, xa ra ngoài



Thiên hà Andromeda: Cũng được biết đến qua số mục lục của nó M31, thiên hà xoắn ốc này về hình dạng rất giống với Ngân Hà, tuy hơi lớn hơn một chút. Hai thiên hà đồng hành được nhìn thấy thấp hơn ở giữa (M32) và cao hơn bên phải (NGC 205). Với khoảng cách nhiều hơn 2 triệu năm ánh sáng một chút, Andromeda (Tiên Nữ) là thiên hà xoắn ốc gần thiên hà chúng ta nhất trong không gian.

rià của Ngân Hà, chúng có thể là các hệ thống khác chứa hàng tỉ ngôi sao. Để xác định ý tưởng nào là chính xác, các nhà thiên văn học phải đi tìm một phương pháp để đo đạc các khoảng cách đối với ít nhất một số tinh vân. Để làm điều ấy, các kính viễn vọng lớn hơn là cần thiết. Khi kính viễn vọng 100 inches (2,5 m) trên núi Wilson ở phía nam California đi vào hoạt động, các nhà thiên văn học đã có một dụng cụ họ cần để giải quyết cuộc tranh luận.

Làm việc với kính viễn vọng 100 inches, Edwin Hubble đã có thể giải đáp về các sao riêng lẻ trong một số tinh vân dạng xoắn ốc sáng hơn (kể cả M31, tinh vân xoắn ốc vĩ đại trong chòm sao Andromeda được đề cập trong chương trước). Trong số các sao này, ông đã khám phá một số sao biến quang mờ

nhạt mà – khi phân tích các đường cong ánh sáng (light curves) của chúng – hoá ra là các sao Cepheid. Đây là những dấu hiệu đáng tin cậy mà Hubble có thể sử dụng để đo những khoảng cách tới các tinh vân khi dùng kỹ thuật được khai phá bởi Henrietta Leavitt (xem Chương 10). Ông đã ước tính được rằng thiên hà Andromeda cách xa chúng ta khoảng 900.000 LY và vì thế nó là thiên hà riêng biệt của các sao tọa lạc bên ngoài các biên giới của Dải Ngân Hà. (Ngày nay chúng ta biết rằng thực ra nó xa hơn gấp đôi một chút so với khoảng cách được ước tính theo Hubble, nhưng kết luận của ông về bản chất thực sự của nó vẫn không thay đổi).

Không một ai trong lịch sử nhân loại đã từng đo đạc được một khoảng cách vĩ đại như thế. Khi bài thuyết trình của

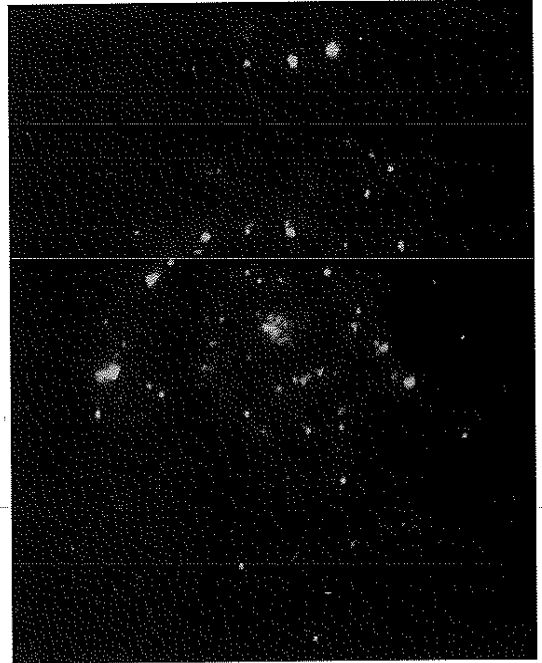
Hubble về các khoảng cách tới các tinh vân được đọc trước một cuộc hội nghị của Hội Thiên văn học Hoa Kỳ (American Astronomy Society) vào ngày đầu tiên của năm 1925, toàn thể phòng họp nổ tung trong tiếng hoan hô không dứt. Một kỷ nguyên mới đã bắt đầu trong sự nghiên cứu về vũ trụ, và một lãnh vực khoa học mới – thiên văn học các thiên hà – vừa mới được chào đời.

17.2 CÁC LOẠI THIÊN HÀ

Đã chứng minh sự tồn tại của các thiên hà khác, Hubble và những người khác quan sát chúng tỉ mỉ hơn – ghi chú hình dạng, dung lượng của chúng, và cũng như nhiều đặc tính khác mà họ có thể đo đạc.

Đây là một công việc chán nản trong những năm 1920, khi một tấm hình đơn giản hay một quang phổ của một thiên hà có thể cần trọn một đêm miệt mài quan sát. Vào các thập niên mới đây, các kính viễn vọng lớn hơn và các máy dò điện tử đã thực hiện nhiệm vụ này ít khó khăn hơn, mặc dù các thiên hà xa nhất (những thiên hà cho chúng ta biết vũ trụ trong các giai đoạn đầu tiên của nó) vẫn đòi hỏi sự nỗ lực vô cùng to lớn. (Xem bức ảnh mở đầu của chương này, nó cần 10 ngày quan sát bằng kính không gian Hubble).

Bước đầu trong việc cố gắng tìm hiểu một loại vật thể mới thường chỉ là để mô tả diện mạo của nó. Rốt cuộc, hầu hết các thiên hà chiếu sáng đi đến một trong hai hình dạng – hoặc chúng có các nhánh xoắn ốc, giống như Dải Ngân Hà, hay chúng có vẻ là hình elip. Mặt khác, nhiều thiên hà mờ nhạt có một hình dạng không đều.

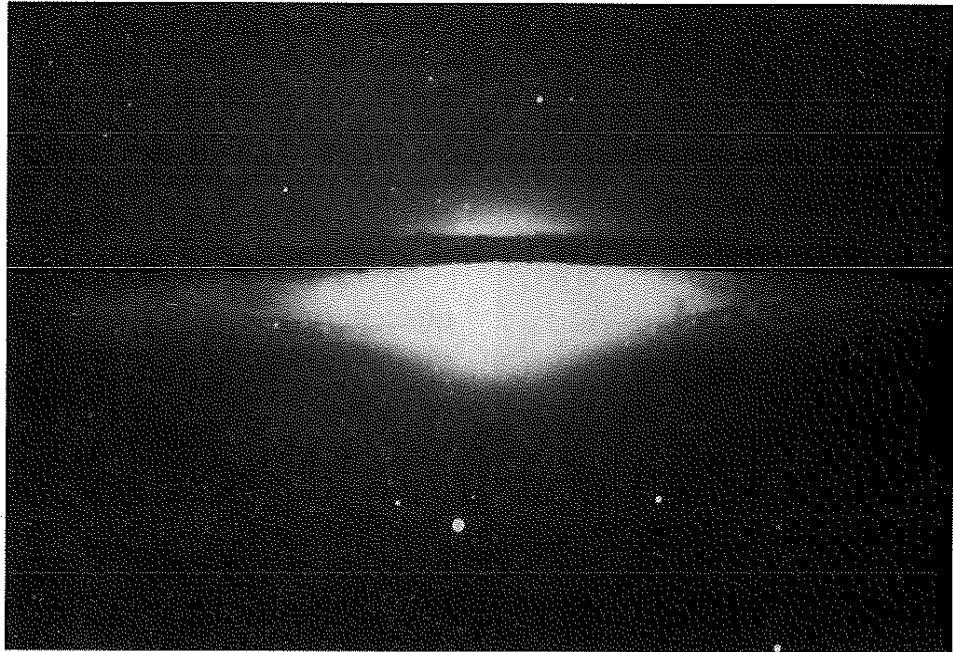


Các sao nóng trong thiên hà xoắn ốc: Ảnh cực tím này của thiên hà xoắn ốc M74 được chụp vào năm 1990 bằng kính viễn vọng cực tím (Ultraviolet Imaging Telescope) của NASA trên phi thuyền con thoi. Các vết sáng vạch ra các nhánh xoắn ốc là các vùng hình thành sao gần đây ở đó một chùm sao nóng đang phát ra rất nhiều bức xạ cực tím.

✧ CÁC THIÊN HÀ XOẮN ỐC

Dải Ngân Hà và M31, thiên hà Andromeda, được cho là rất giống nó, là những *thiên hà xoắn ốc* (spiral galaxies) tiêu biểu. Chúng bao gồm một phần nhân, một quầng sáng, một cái đĩa, và các nhánh xoắn ốc. Vật chất giữa các vì sao thông thường bị trải ra qua đĩa của các thiên hà xoắn ốc. Các tinh vân phát xạ sáng chói và các sao nóng có mặt, đặc biệt trong các nhánh xoắn ốc, chứng tỏ rằng sự hình thành sao mới vẫn còn đang tiếp diễn. Những cái đĩa thường là đầy bụi, đặc biệt đáng kể trong các hệ thống mà chúng ta hầu như quan sát ở phía bên cạnh.

Trong các thiên hà mà chúng ta quan sát trực diện, các sao sáng chói và các tinh



Thiên hà Sombrero: Nằm cách xa hơn 24 triệu năm ánh sáng, thiên hà này (cũng được biết là M104) được bao bọc bởi một vòng bụi nổi bật có đường kính là 50.000 LY.

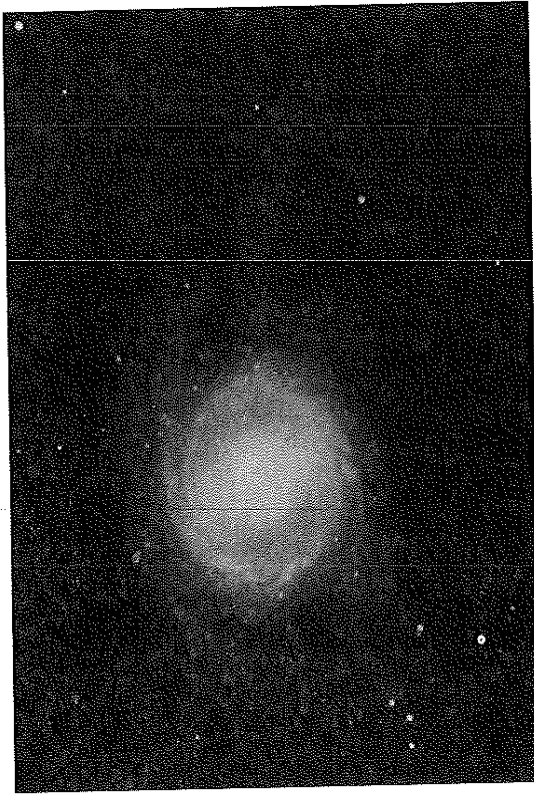


NGC 2997 là một thiên hà xoắn ốc ở chòm sao phương nam Antlia. Thiên hà này cách xa khoảng 55 triệu năm ánh sáng và chiếu sáng với ánh sáng của 100 tỉ ngôi sao hay nhiều hơn. Vùng được mô tả có đường kính khoảng 55.000 năm ánh sáng. Hai nhánh xoắn ốc được rải rác với các đám mây hydro ion hoá, tương tự với các vùng hình thành sao trong Ngân Hà. Đây là một trong số các hình ảnh đầu tiên được chụp bằng một trong những kính viễn vọng 8 mét của Đài thiên văn Nam Âu (ESO) ở bắc Chile, sẽ trở thành một phần của kính viễn vọng VTL (Very Large Telescope).

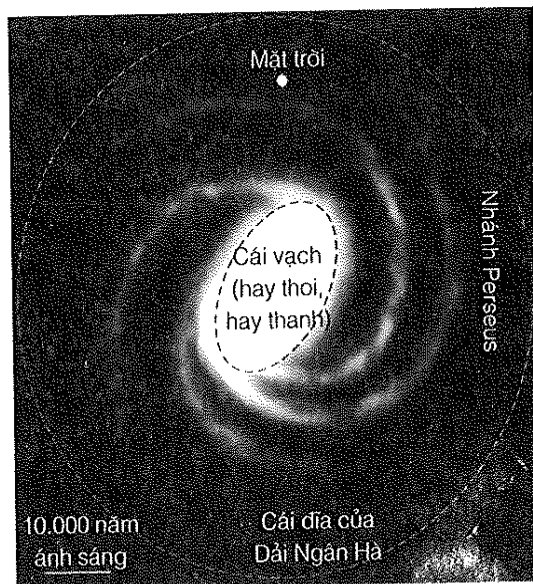
vân phát xạ hình thành các nhánh xoắn ốc nổi bật lên như một vòng pháo hoa.

Các quần tinh phân tán có thể được nhìn thấy trong các nhánh xoắn ốc gần hơn, và các quần tinh cầu thường được nhìn thấy trong các quãng sáng của chúng. Các thiên hà xoắn ốc chứa một hỗn hợp các sao trẻ và các sao già, Dải Ngân Hà cũng như vậy. Tất cả các thiên hà xoắn ốc đều xoay tròn, và chiều xoay tròn của chúng khiến cho các nhánh có vẻ kéo lê giống như những đuôi áo của một người chạy nhanh.

Một phần ba các thiên hà xoắn ốc có vạch sao rõ rệt chạy ngang qua phần nhân của chúng, và một phần ba khác có những vạch mờ nhạt. Những vạch này có dạng hình cái hộp hay hạt đậu phộng. Các nhánh xoắn ốc của một hệ thống như thế thường bắt đầu từ các đầu của cái vạch, chứ không phải trực tiếp xoay ra ngoài từ nhân. Các thiên hà như thế được gọi là các thiên hà xoắn ốc có



Thiên hà xoắn ốc có vạch: NGC 3351, một thiên hà xoắn ốc có vạch cách xa khoảng 25 triệu năm ánh sáng. Hãy chú ý các nhánh xoắn ốc bắt đầu tại hai đầu vạch.



Các quan sát hồng ngoại đặt trên không gian chứng tỏ rằng Dải Ngân Hà có một vạch nhỏ trong vùng trung tâm của nó. Ở đây chúng ta thấy các nhánh xoắn ốc chính và chỗ phình ở trung tâm cái đĩa của Dải Ngân Hà bị kéo dài ra một chút.

vạch. Sự kiện các vạch rất phổ biến gợi ý rằng chúng sống rất lâu; có thể là hầu hết các thiên hà xoắn ốc hình thành một cái vạch (sao) ở một vị trí nào đó trong sự tiến hoá của chúng. Dải Ngân Hà cũng có một cái vạch nhỏ bé khiêm tốn.

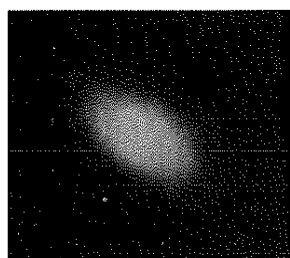
Trong tất cả các thiên hà xoắn ốc thông thường hay có vạch, chúng ta quan sát thấy đủ loại hình dạng khác nhau. Ở cực này, chỗ phình hạt nhân lớn và rực sáng, các nhánh mờ nhạt và quăn quại, và các tinh vân phát xạ sáng chói và các sao siêu khổng lồ không rõ ràng. Ở cực kia, chỗ phình hạt nhân nhỏ – thực sự gần như không có – và các nhánh bị xoắn một cách lỏng lẻo.

Trong các thiên hà muộn hơn này, các sao toả sáng và các tinh vân phát xạ là nổi bật nhất. Ngân Hà và M31 cả hai đều là trung gian giữa hai cực. Các bức hình về các thiên hà xoắn ốc, minh họa các loại khác nhau, được trình bày trong các hình ở trang sau.

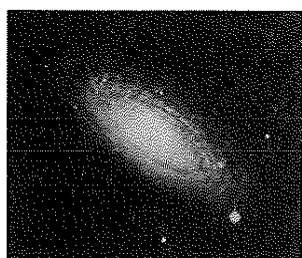
Các phần toả sáng của các thiên hà xoắn ốc có đường kính từ khoảng 20.000 tới hơn 100.000 LY, và hydro nguyên tử trong các đĩa thường vươn ra tới các đường kính lớn hơn nhiều. Cũng có thể có vật chất tối đáng kể trong chúng, giống như có trong Ngân Hà. Từ dữ liệu quan sát giới hạn sẵn có, khối lượng của chúng được ước tính trong phạm vi từ 10^9 tới $10^{12} M_{\text{Sun}}$. Toàn bộ độ trung của hầu hết các thiên hà xoắn ốc nằm trong phạm vi từ 10^8 tới $10^{11} L_{\text{Sun}}$. Ngân Hà và M31 tương đối đồ sộ và rộng lớn, các thiên hà xoắn ốc cũng vậy.

♦ CÁC THIÊN HÀ ÊLIP

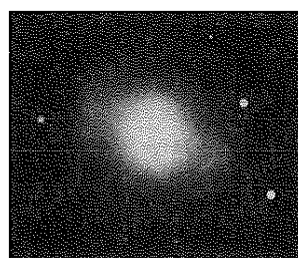
Các thiên hà êlip (elliptical galaxies) bao gồm hầu như toàn thể các sao già và có các hình dạng là hình cầu hay hình



Thiên hà NGC 1201; Loại S0



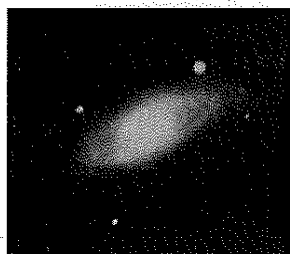
Thiên hà NGC 2841; Loại Sb



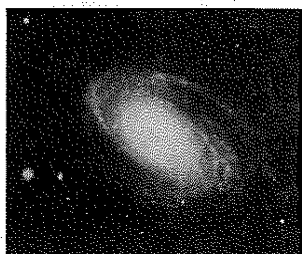
Thiên hà NGC 2859; Loại SB0



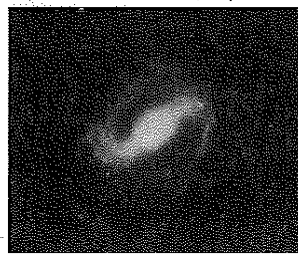
Thiên hà NGC 2523; Loại SBb (r)



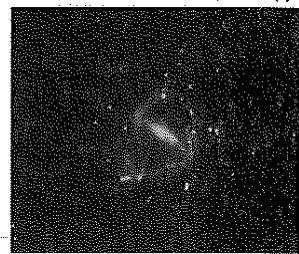
Thiên hà NGC 2811; Loại Sa



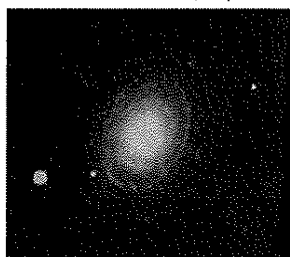
Thiên hà NGC 3031; Loại Sb



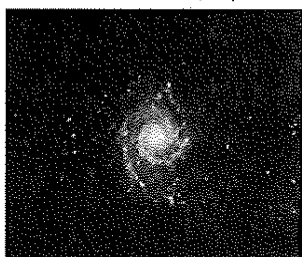
Thiên hà NGC 175; Loại SBab (s)



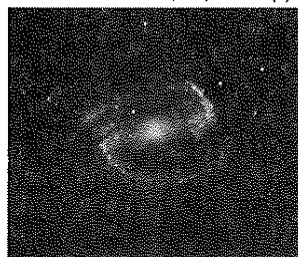
Thiên hà NGC 1073; Loại SBA(sr)



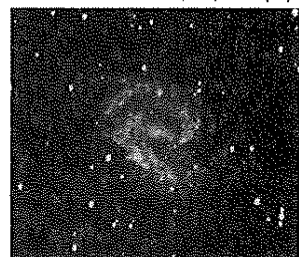
Thiên hà NGC 488; Loại Sao



Thiên hà NGC 628; Loại Sa



Thiên hà NGC 1300; Loại SBb (s)



Thiên hà NGC 2525; Loại SBA (s)

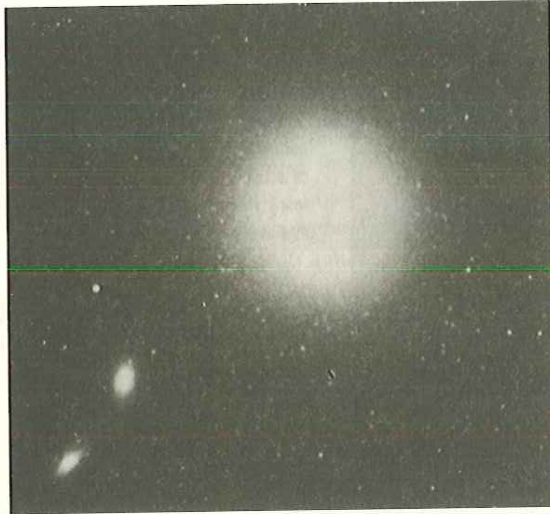
Các loại thiên hà xoắn ốc có phạm vi từ S0, hầu hết là chỗ phình còn cái đĩa rất ít, cho tới Sc, phần lớn là cái đĩa còn chỗ phình rất ít.

Các loại thiên hà xoắn ốc có vạch, so sánh với các loại thiên hà xoắn ốc thông thường. Một phần ba các thiên hà xoắn ốc có một cấu trúc giống như cái vạch nổi bật.

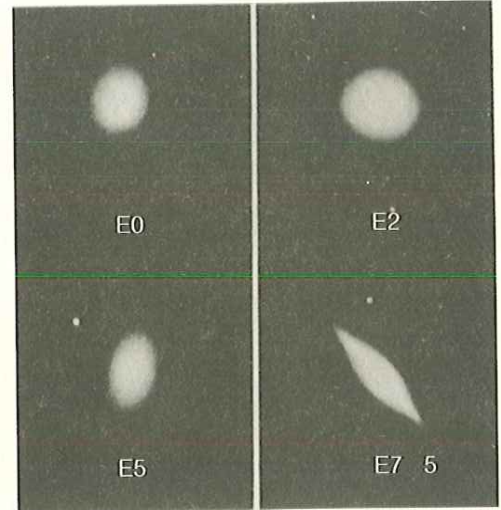
êlip (ellipsoids) (những hình cầu hơi bị bẹp). Chúng không chứa dấu vết của các nhánh xoắn ốc. Ánh sáng của chúng bị chi phối bởi các sao đỏ già hơn (các sao dân cư loại II được bàn luận trong chương trước), và về phương diện này các thiên hà êlip giống với cái bầu hạt nhân và các thành phần quang sáng của các thiên hà xoắn ốc. Trong các thiên hà êlip lân cận lớn hơn, nhiều quần tinh cầu có thể được xác định. Bụi và các tinh vân phát xạ không được rõ rệt trong các thiên hà êlip, nhưng phần lớn chứa một lượng nhỏ vật chất giữa các vì sao.

Các thiên hà êlip cho thấy đủ loại độ phẳng, xếp loại từ các hệ thống xấp

xi hình cầu cho tới các hệ thống đạt tới gần độ phẳng của các thiên hà xoắn ốc. Những thiên hà êlip khổng lồ (giant ellipticals) hiếm hoi (thí dụ, M87) đạt tới độ trung $10^{11} L_{\text{Sun}}$. Khối lượng trong một thiên hà êlip khổng lồ có thể lớn bằng $10^{13} M_{\text{Sun}}$. Đường kính của các đại thiên hà này vươn rộng ra ít nhất vài trăm ngàn năm ánh sáng và lớn hơn đáng kể so với các thiên hà xoắn ốc lớn nhất. Mặc dù các sao riêng lẻ quay chung quanh trung tâm của thiên hà êlip, các quỹ đạo không phải đều nằm trong cùng một chiều như chúng nằm trong các thiên hà xoắn ốc. Do đó, các thiên hà êlip không xoay tròn theo một cách



Các quần tinh cầu xung quanh thiên hà êlip: Tầm ảnh này, được xử lý bằng kỹ thuật che chắn đặc biệt, mô tả một đám quần tinh cầu bao quanh thiên hà êlip khổng lồ M87. Một tia vật chất đang bắn ra từ phần nhân của thiên hà, không nhìn thấy được ở đây. M87 là một thiên hà năng động, với các bức xạ vô tuyến và tia X mạnh mẽ.

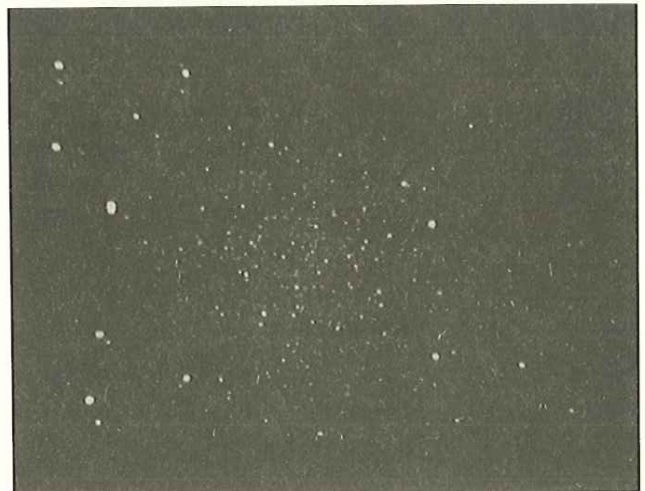


Các thiên hà êlip được phân loại bởi chúng thuộc hình cầu (E0) hay bị kéo dài ra thêm.

thức có hệ thống, và khó ước tính được chúng chứa bao nhiêu vật chất tối.

Các thiên hà êlip xếp hạng từ các sao khổng lồ, cho tới các *thiên hà êlip lùn* (dwarf ellipticals), có thể là loại thiên hà phổ biến nhất. Chúng thoát khỏi sự chú ý của chúng ta trong một thời gian dài bởi vì chúng rất mờ nhạt và khó phân biệt.

Một thí dụ về thiên hà êlip lùn là hệ thống Leo I. Có rất ít các sao sáng trong thiên hà này đến độ ngay cả các vùng trung tâm của nó cũng được phân giải (nghĩa là chúng ta có thể nhìn thấy các sao riêng biệt). Tuy nhiên, tổng số các sao (hầu hết chúng quá mờ nhạt cho nên không hiện ra trong tầm hình) có lẽ tối thiểu là vài triệu. Độ trung của thiên hà lùn tiêu biểu này xấp xỉ $10^6 L_{\text{Sun}}$, gần bằng với độ trung của các quần tinh cầu sáng nhất.



Thiên hà êlip lùn: Leo I, một thiên hà êlip lùn, là thành viên của Nhóm Thiên Hà Cục Bộ của chúng ta. Các thiên hà êlip lùn như thế có lẽ rất phổ biến, song chúng thường thoát khỏi sự chú ý của chúng ta bởi vì chúng rất mờ và khó phân biệt.

Trung gian giữa các thiên hà êlip khổng lồ và êlip lùn là cá hệ thống chẳng hạn như M32 và NGC 205, hai thiên hà đồng hành của M31. Chúng có thể được nhìn thấy trong hình ảnh của M31.

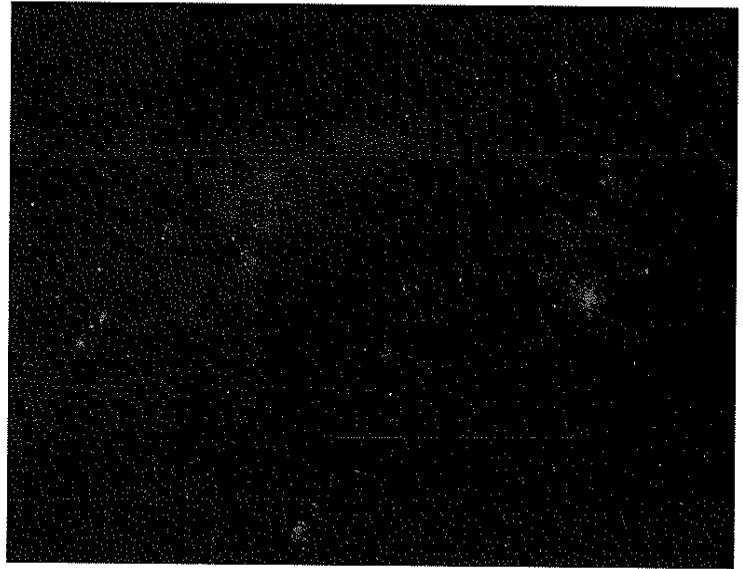
❖ CÁC THIÊN HÀ KHÔNG ĐỀU (HAY BẤT THƯỜNG)

Hubble đã phân loại tất cả các hệ sao không có hình dạng đều đặn liên quan với các loại mà chúng ta vừa mô tả vào khu vực các *thiên hà không đều* (hay bất thường). Các thiên hà này thường có vẻ lộn xộn, và phần nhiều đang tiến hành tương đối mạnh mẽ hoạt động hình thành sao; chúng chứa cả hai loại: các sao dân cư loại I và các sao dân cư loại II. Dường như các thiên hà không đều đặn, mà chúng ta có thể thực hiện các phép đo thích hợp,

có các khối lượng và độ trung thấp hơn các thiên hà xoắn ốc tiêu biểu.

Hai thiên hà không đều nổi tiếng nhất này là các Đám mây Magellan Lớn và Magellan Nhỏ, nằm trong số các láng giềng ngoại thiên hà gần nhất của chúng ta. Tên của chúng phản ánh sự kiện rằng Ferdinand Magellan và thủy thủ đoàn của ông, thực hiện cuộc hành trình vòng quanh thế giới, là những người du hành châu Âu đầu tiên nói về chúng. Mặc dù không được nhìn thấy từ Hoa Kỳ và châu Âu, hai hệ thống này nổi

Đám mây Magellan Lớn: Đám mây này được nhìn thấy bằng mắt thường từ Nam Bán Cầu. Tinh vân to lớn màu đỏ (gọi là Tarantula) là khu vực của sự hình thành sao năng động và chứa nhiều sao siêu khổng lồ trẻ.



Đám mây Magellan Nhỏ: Thiên hà lùn bất thường này là một vệ tinh khác nữa của Dải Ngân Hà.

bật từ Nam Bán Cầu, ở đó chúng trông giống như những dải mây mỏng trong bầu trời đêm. Chúng chỉ cách xa khoảng một phần mười so với thiên hà xoắn ốc Andromeda. Đám mây Lớn (Large Cloud) chứa phức hợp 30 Doradus (cũng có tên là Tinh vân Tarantula hay Nhện Đen), một trong những nhóm lớn nhất và sáng nhất của các sao siêu khổng lồ và chất khí liên quan được biết trong bất cứ thiên hà nào.

Đám mây Magellan Nhỏ bị kéo dài ra rất nhiều và nhỏ hơn Đám mây Lớn đáng kể. Chiều dài của dải vật chất hẹp lớn hơn chiều rộng gấp sáu lần, và thiên hà chứa trực tiếp về phía Ngân Hà như một mũi tên, trải dài từ khoảng 150.000 LY ra tới 250.000 LY. Đám mây Nhỏ có lẽ là nạn nhân của sự gần như va chạm với Đám mây Lớn cách đây khoảng 200 triệu năm. Hiện nay nó đang bị kéo ra từng phần bởi lực hấp dẫn của Ngân Hà. Các sự tương tác tương tự có thể giải thích hình dạng lạ lùng và các vùng đang hình thành sao tích cực của các thiên hà không đều khác.

♦ CÁC THIÊN HÀ CÓ TIẾN HOÁ KHÔNG?

Được cổ vũ bởi thành công về các sơ đồ H – R đối với các sao (xem Chương 9), các nhà thiên văn học nghiên cứu các thiên hà hy vọng tìm ra một loại sơ đồ so sánh nào đó, ở đó các sự khác biệt về hình dạng có thể bị ràng buộc với các giai đoạn tiến hoá khác nhau. Sẽ không thú vị hay sao nếu mỗi thiên hà êlip tiến hoá thành một thiên hà xoắn ốc, thí dụ, cũng như mỗi sao trên chuỗi sao chính tiến hoá thành một sao khổng lồ đỏ? Vài ý tưởng đơn giản về loại này được thử, một số do chính bản thân Hubble, nhưng không có cái nào bền vững chịu

đựng sự thử thách của thời gian (và sự quan sát).

Bởi vì không có sơ đồ đơn giản nào dành cho sự tiến triển một loại thiên hà này thành một loại thiên hà khác có thể được tìm thấy, sau đó các nhà thiên văn học có ý định nhắm tới một quan điểm trái ngược.

Trong một thời gian, hầu hết các nhà thiên văn học đã nghĩ rằng tất cả các ngân hà đã hình thành rất sớm trong lịch sử vũ trụ và sự khác biệt giữa chúng chỉ quan hệ với mức độ hình thành sao. Thiên hà êlip là các thiên hà mà trong đó toàn bộ vật chất giữa các sao bị biến đổi nhanh chóng thành các sao. Thiên hà xoắn ốc là các thiên hà mà sự hình thành sao diễn ra chậm chạp trải qua toàn bộ thời gian sống của thiên hà. Trong viễn cảnh đó, hình dạng của một thiên hà chỉ tùy thuộc vào các đặc điểm ban đầu của nó. Ý tưởng này rất cuộc cũng là quá đơn giản.

Ngày nay, chúng ta hiểu rằng tối thiểu một số thiên hà đã thay đổi loại trải qua hàng tỉ năm kể từ khi vũ trụ bắt đầu. Các vụ va chạm và sáp nhập của các tiểu thiên hà, kể cả các thiên hà xoắn ốc, trong các vùng trung tâm của các quần thể thiên hà dày đặc có thể tạo ra các thiên hà êlip khổng lồ như M87 chẳng hạn. Thậm chí các thiên hà xoắn ốc cô lập có thể thay đổi hình dạng của chúng qua thời gian. Vì chúng tiêu thụ chất khí của chúng, tốc độ hình thành sao sẽ chậm lại và các nhánh xoắn ốc sẽ dần dần trở nên kém rõ rệt hơn. Trải qua các giai đoạn dài, vì thế các thiên hà xoắn ốc bắt đầu trông giống các thiên hà ở trên cùng bên trái của các hình ở vài trang trước hơn (mà các nhà thiên văn học nói đến như là các loại S0).

17.3 ĐẶC TÍNH CỦA THIÊN HÀ

♦ KHỐI LƯỢNG CỦA THIÊN HÀ

Kỹ thuật tìm ra khối lượng của thiên hà về cơ bản cũng giống như kỹ thuật được sử dụng để ước tính khối lượng của Mặt Trời, các sao, và Dải Ngân Hà: Chúng ta áp dụng định luật thứ ba của Kepler được sửa đổi bởi Newton. Chúng ta đo được các vật thể trong các vùng ngoại vi của thiên hà đang quay quanh trung tâm nhanh đến mức nào, và sử dụng thông tin này để tính ra khối lượng bên trong quỹ đạo ấy là bao nhiêu. Đối với các thiên hà xoắn ốc, các nhà thiên văn học có thể đo được tốc độ quay bằng cách thu thập quang phổ của các sao hay chất khí trong thiên hà và tìm kiếm các sự chuyển đổi bước sóng do hiệu ứng Doppler tạo ra.

Thí dụ, các quan sát về M31 chứng tỏ nó có khối lượng (trong phần nhìn thấy được chủ yếu của thiên hà, ra tới khoảng cách 100.000 LY từ trung tâm) khoảng $4 \times 10^{11} M_{\text{Sun}}$, gần bằng với khối lượng của Dải Ngân Hà. Tuy nhiên, tổng số khối lượng của M31 cao hơn 4×10^{11}

M_{Sun} , bởi vì chúng ta đã không tính đến vật liệu nằm xa hơn 100.000 LY kể từ trung tâm. Giống như Dải Ngân Hà, Andromeda hình như có một lượng lớn vật chất tối bên ngoài biên giới tỏa sáng của nó.

Các thiên hà êlip không tự xoay tròn; đối với chúng, phải sử dụng một kỹ thuật khác để đo lường khối lượng. Các ngôi sao của chúng vẫn còn đang di chuyển trong quỹ đạo xung quanh trung tâm thiên hà, nhưng không phải trong chiều hướng có tổ chức, là đặc điểm nổi bật của các thiên hà xoắn ốc. Bởi vì các thiên hà êlip chứa các sao có hàng tỉ năm tuổi, chúng ta có thể giả định rằng các thiên hà tự chúng không đang tách riêng ra. Vì thế, nếu có thể đo được nhiều loại vận tốc qua đó các sao đang di chuyển trong quỹ đạo của chúng xung quanh trung tâm thiên hà, chúng ta có thể tính được khối lượng thiên hà là bao nhiêu để có thể giữ các ngôi sao nằm trong nó.

Trong thực tiễn, quang phổ của thiên hà là một hỗn hợp của các quang phổ nhiều ngôi sao của nó, mà sự di chuyển khác nhau tạo ra sự dịch chuyển Doppler

Đặc điểm của các loại thiên hà khác nhau			
Đặc điểm	Thiên hà xoắn ốc	Thiên hà êlip	Thiên hà không đều
Khối lượng (M_{Sun})	10^9 tới 10^{10}	10^5 tới 10^{13}	10^8 tới 10^{11}
Đường kính (hàng ngàn LY)	15 tới 150	3 tới 600	3 tới 30
Độ trung (L_{Sun})	10^8 tới 10^{11}	10^6 tới 10^{11}	10^7 tới 2×10^9
Dân cư của các sao	Già và trẻ	Già	Già và trẻ
Vật chất giữa các sao	Khí và bụi	Hầu như không bụi; ít khí	Nhiều khí; một số có ít bụi, một số nhiều bụi
Tỉ số khối lượng–ánh sáng trong phần thấy được	2 tới 10	10 tới 20	1 tới 10
Tỉ số khối lượng–ánh sáng của toàn bộ thiên hà	100	100	?

khác nhau (một số đỏ, một số xanh). Kết quả là các vạch chúng ta quan sát từ toàn bộ thiên hà phối hợp nhiều sự dịch chuyển Doppler; chúng trông rộng hơn nhiều trong một quang phổ so với cùng các vạch như vậy của một thiên hà giả định trong đó các sao không có sự chuyển động trên quỹ đạo. Các nhà thiên văn học gọi hiện tượng này là *sự mở rộng vạch*. Mức độ qua đó mỗi vạch mở rộng ra biểu thị dãy tốc độ mà các sao đang di chuyển so với trung tâm thiên hà. Tối thiểu dãy tốc độ tùy thuộc vào lực hấp dẫn giữ lấy hay thu hút các sao nằm trong thiên hà. Với thông tin về các tốc độ, có thể tính được khối lượng của thiên hà êlip.

Bảng dưới tổng kết phạm vi các khối lượng (và các đặc trưng khác) của các loại thiên hà khác nhau. Những thiên hà đồ sộ nhất là các thiên hà êlip khổng lồ, nhưng các thiên hà có khối lượng thấp nhất cũng là các thiên hà êlip. Trung bình, các thiên hà không đều đặn có khối lượng kém hơn các thiên hà xoắn ốc.

♦ TỈ SỐ KHỐI LƯỢNG VỚI ÁNH SÁNG

Một cách thức hữu dụng để làm nổi bật đặc điểm của thiên hà là bằng cách chú ý tỉ số của khối lượng (theo đơn vị khối lượng Mặt Trời) đối với hiệu suất ánh sáng (theo đơn vị độ trung của Mặt Trời). Đối với các sao giống như Mặt Trời, căn cứ vào định nghĩa này, *tỉ số khối lượng với ánh sáng* (mass-to-light ratio) là 1. Tuy nhiên, các thiên hà không chỉ được cấu tạo từ các sao giống như Mặt Trời. Đa số các ngôi sao ít đồ sộ hơn và kém sáng hơn Mặt Trời, và thông thường các sao này góp phần nhiều nhất vào khối lượng của một hệ thống mà không giải thích được nhiều về ánh sáng.

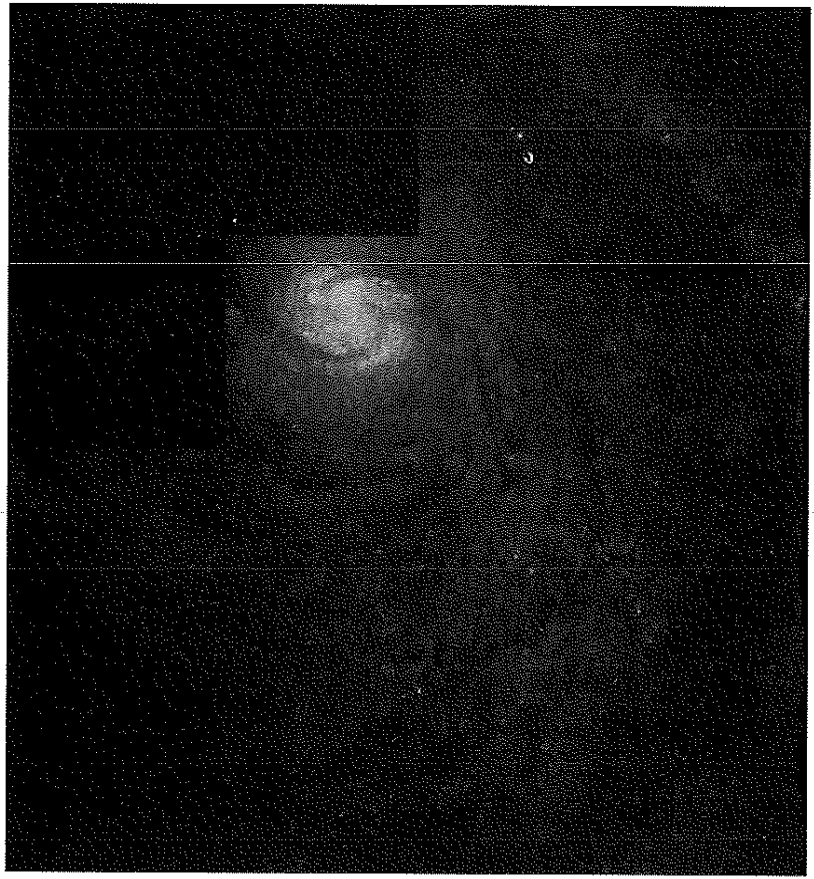
Tỉ số khối lượng – ánh sáng đối với các sao khối lượng thấp này lớn hơn 1. Vì lý do đó, tỉ số khối lượng – ánh sáng cũng thường là lớn hơn 1, với trị số chính xác tùy thuộc vào tỉ số của các sao khối lượng cao với các sao khối lượng thấp.

Các thiên hà trong đó sự hình thành sao vẫn còn đang diễn ra có nhiều sao đồ sộ, và các tỉ số khối lượng – ánh sáng của chúng thường là trong phạm vi từ 1 tới 10. Các thiên hà bao gồm hầu hết dân cư sao già hơn, chẳng hạn như các thiên hà êlip, trong đó các sao khổng lồ đã hoàn tất quá trình tiến hoá của chúng và đã ngừng chiếu sáng, có các tỉ số khối lượng – ánh sáng từ 10 tới 20.

Nhưng những con số này chỉ nói tới các phần bên trong, rõ rệt của các thiên hà. Trong Chương 16 chúng ta đã bàn luận về bằng chứng dành cho vật chất tối trong các vùng ngoại vi của Ngân Hà, vươn rộng ra xa hơn nhiều từ trung tâm thiên hà so với các sao sáng và chất khí. Các phép đo gần đây về sự xoay tròn của các vùng ngoại vi của các thiên hà lân cận, chẳng hạn như thiên hà xoắn ốc Andromeda, nêu lên rằng, chúng cũng có các vùng phân bố mở rộng của vật chất tối chung quanh cái đĩa nhìn thấy được của các sao và bụi. Vật chất rộng lớn không nhìn thấy được làm tăng thêm khối lượng của thiên hà trong khi chẳng góp gì vào độ trung của nó, do đó làm tăng tỉ số khối lượng – ánh sáng. Nếu vật chất tối không nhìn thấy có mặt trong một thiên hà, thì tỉ số khối lượng – ánh sáng có thể lên tới 100. Hai tỉ số khối lượng – ánh sáng khác nhau đã được dành cho đủ loại thiên hà được cung cấp trong bảng ở trang trước. Các phép đo ở các thiên hà khác ủng hộ kết luận đã đạt được từ các nghiên cứu về sự xoay

Thiên hà xoắn ốc M100:

Kính không gian Hubble chụp bức ảnh gây ấn tượng này về một phần của thiên hà xoắn ốc M100, cách xa khoảng 50 triệu năm ánh sáng. Với kính Hubble, các nhà thiên văn học có thể tiến hành các phép đo tốt hơn nhiều về khối lượng, cấu trúc, và khoảng cách của thiên hà. Những gì không thể nhìn thấy được trên các bức ảnh như thế này là vật chất tối được chứa trong thiên hà.



tròn của Ngân Hà – đó là, tới 90% toàn bộ vật liệu trong vũ trụ hiện thời không thể quan sát được trực tiếp trong bất kỳ phần nào của quang phổ điện từ. Một sự hiểu biết về các đặc điểm và sự phân bố của vật chất không nhìn thấy được này là vô cùng quan trọng đối với hiểu biết của chúng ta về các thiên hà. Qua lực hấp dẫn mà nó sinh ra, vật chất tối có lẽ đóng một vai trò thống trị trong sự hình thành và phát triển ban đầu của chúng. Như chúng ta sẽ thấy trong Chương 20, nó cũng có thể quyết định số phận cuối cùng của vũ trụ.

Ở đây có một sự so sánh thú vị giữa thời điểm của chúng ta và thời điểm trong đó Edwin Hubble đang tiếp nhận khoá huấn luyện của ông về thiên văn học. Vào năm 1920, nhiều nhà khoa học đã nhận thức được rằng thiên văn học

đứng trước một sự bứt phá quan trọng nếu mà bản chất và động thái của các tinh vân có thể được giải quyết với các quan sát tốt hơn. Cùng một cách như vậy, ngày nay nhiều nhà thiên văn học cảm thấy chúng ta có thể đang đến gần sự hiểu biết tinh tế hơn rất nhiều về cấu trúc vĩ mô của vũ trụ, nếu chúng ta có thể am hiểu nhiều hơn về bản chất và các đặc tính của vật chất tối.

17.4 THANG ĐO KHOẢNG CÁCH NGOẠI THIÊN HÀ

Để xác định phần lớn các đặc điểm của một thiên hà, chẳng hạn như độ trung và kích thước, trước tiên chúng ta phải biết nó ở xa bao nhiêu. Nếu biết được khoảng cách tới một thiên hà, chúng

ta có thể biến đổi việc thiên hà hiện ra sáng đến mức nào đối với chúng ta trong bầu trời thành độ trung thực sự của nó, bởi vì chúng ta biết một cách chính xác rằng ánh sáng bị mờ đi theo khoảng cách. (Thí dụ, cũng cùng một thiên hà nhưng cách xa gấp mười lần sẽ trông thấy mờ hơn 100 lần). Nhưng phép đo về các khoảng cách của thiên hà là một trong những vấn đề khó khăn nhất trong thiên văn học hiện đại: Tất cả các thiên hà đều ở xa, và hầu hết là rất xa đến nỗi thậm chí chúng ta không thể phân biệt được các sao riêng lẻ trong chúng.

Trong những thập niên sau công trình đầu tiên của Hubble, các kỹ thuật được sử dụng để đo các khoảng cách thiên hà là tương đối chính xác, và các nhà thiên văn học thu được những khoảng cách khác biệt tới hệ số hai. Hãy hình dung nếu khoảng cách giữa nhà bạn và lớp học là điều không chắc chắn này; sẽ rất khó khăn để bảo đảm rằng bạn luôn đến lớp đúng giờ. Tuy nhiên, các nhà thiên văn học đã phát minh ra các kỹ thuật mới để đo khoảng cách tới các thiên hà; tất cả các kỹ thuật này đều cho cùng đáp án tới độ chính xác khoảng 10%, điều này có nghĩa là cuối cùng chúng ta có thể tiến hành các ước tính đáng tin cậy về qui mô vũ trụ.

♦ CÁC SAO BIẾN QUANG

Trước khi các nhà thiên văn học có thể đo đạc các khoảng cách tới các thiên hà khác, trước hết họ phải hình thành thang đo các khoảng cách của vũ trụ bằng cách sử dụng các vật thể trong Dải Ngân Hà. Chúng ta đã mô tả chuỗi phương pháp đo khoảng cách này trong Chương 10. Các nhà thiên văn học đã vui mừng khi khám phá ra rằng họ có thể đo đạc

các khoảng cách bằng cách sử dụng vài loại sao biến quang (variable stars), kể cả các sao cepheid sáng chói. Các sao như thế có thể được tìm thấy trong nhiều quần tinh nằm trong Dải Ngân Hà và thậm chí, như Hubble đã phát hiện, trong các thiên hà lân cận.

Sau khi các sao biến quang đã được sử dụng để thực hiện các phép đo khoảng cách trong vài thập niên, Walter Baade chứng tỏ rằng thực ra có hai loại sao cepheid và các nhà thiên văn học đã vô tình trộn lẫn chúng. Kết quả là, trong đầu những năm 1950, tất cả các khoảng cách tới các thiên hà đã được gia tăng bởi hệ số hai.

Số lượng công trình liên quan với việc phát hiện ra các sao cepheid và với việc đo đạc các chu kỳ của chúng có thể là vô cùng lớn. Thí dụ, Hubble thu thập được 350 tấm hình phơi sáng lâu của thiên hà xoắn ốc lân cận M31 trải qua chu kỳ 18 năm và chỉ xác định được 40 sao cepheid. Dù cho các sao cepheid là các sao tương đối sáng, chúng chỉ có thể bị phát hiện trong khoảng 30 thiên hà gần nhất bằng các kính viễn vọng đặt trên mặt đất lớn nhất. Một trong số các dự án chính đang được tiến hành với kính không gian Hubble là phép đo các sao cepheid trong các thiên hà xa hơn (tối thiểu ra tới 65 triệu LY) để cải tiến độ chính xác của thang đo khoảng cách ngoại thiên hà.

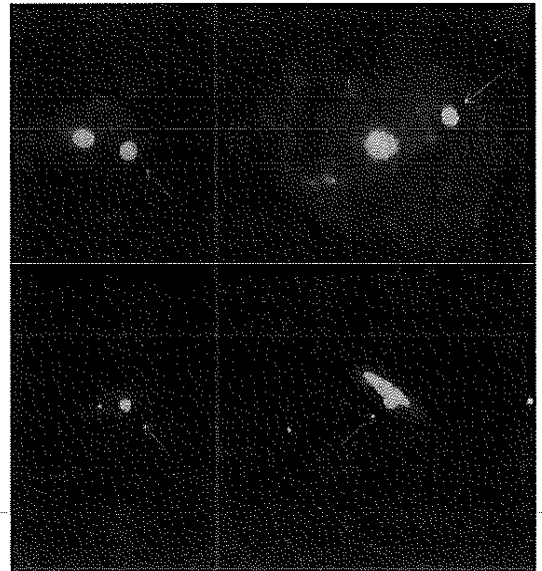
Cho nên, chúng ta chỉ có thể sử dụng sao cepheid để đo đạc các khoảng cách nằm trong một cái túi nhỏ của vũ trụ các thiên hà. Sau cùng, để sử dụng phương pháp này, chúng ta phải có khả năng phân giải các sao đơn lẻ và theo dõi các sự biến đổi tinh tế của chúng. Ra ngoài một khoảng cách nào đó, ngay cả các

kính viễn vọng không gian tốt nhất cũng không thể giúp chúng ta thực hiện điều này. Chúng ta cần tìm ra các phương pháp khác để đo đạc khoảng cách của các thiên hà.

♦ CÁC BÓNG ĐÈN TIÊU CHUẨN

Chúng ta cũng đã đề cập trong Chương 10 về sự thất vọng mà các nhà thiên văn học khi họ hiểu rằng các sao nói chung không phải là các *bóng đèn tiêu chuẩn* (standard bulbs). Nếu mỗi bóng đèn trong một thính phòng khổng lồ là một bóng tiêu chuẩn 100 watt, các bóng đèn trông thấy sáng hơn đối với chúng ta phải là gần hơn, trong khi những bóng đèn trông mờ hơn phải là cách xa hơn. Nếu mỗi ngôi sao là một độ trưng tiêu chuẩn (hay điện lượng), chúng ta có thể cũng “thể hiện” khoảng cách của chúng dựa trên việc chúng hiện ra sáng đến mức nào đối với chúng ta. Nhưng, như chúng ta đã thấy, các sao và các thiên hà đều không trở thành một độ trưng tiêu chuẩn. Tuy nhiên, các nhà thiên văn học đã truy tìm các vật thể ngoài xa đó hoạt động theo một cách thức nào đó giống như một bóng đèn tiêu chuẩn – có cùng một độ sáng bên trong cho dù chúng ở bất kỳ nơi đâu.

Một số đề xuất đã được thực hiện về những loại vật thể nào có thể là các bóng đèn tiêu chuẩn, kể cả các sao siêu khổng lồ sáng nhất, các tinh vân hành tinh (toả ra rất nhiều bức xạ cực tím), và các quần tinh cầu trung bình trong một thiên hà. Đặc biệt hữu dụng là siêu tân tinh loại I – siêu tân tinh liên quan tới sự bùng nổ của một sao lùn trắng trong một hệ sao đôi (xem Mục 14.4). Các cuộc quan sát chứng tỏ rằng các siêu tân tinh thuộc loại này đều đạt tới gần như cùng



Các siêu tân tinh như là các dấu hiệu của khoảng cách: Bốn tấm ảnh của các siêu tân tinh loại I (được mô tả với các mũi tên) trong các thiên hà khác nhau, được chụp bằng kính viễn vọng 1,2 mét tại Đài thiên văn Wipple. Nếu các siêu tân tinh loại I đều có cùng độ trưng cực đại, thì các siêu tân tinh trong các thiên hà xa hơn sẽ hiện ra mờ hơn và có thể được sử dụng để ước tính các khoảng cách.

một độ trưng (khoảng $10^{10} L_{\text{Sun}}$) với ánh sáng cực đại. Với độ trưng khổng lồ như thế, các siêu tân tinh này đã được phát hiện ra xa tới một khoảng cách hơn 8 tỉ năm ánh sáng (LY).

Với các khoảng cách rất lớn chúng ta có thể sử dụng toàn bộ ánh sáng được phát xạ bởi toàn thể một thiên hà như là một bóng đèn tiêu chuẩn. Kỹ thuật này, tuy nhiên, sẽ không có tác dụng đối với một thiên hà cô lập đơn lẻ bởi vì các thiên hà bao trùm một dải khổng lồ về độ trưng bên trong và từ riêng hình dáng bên ngoài chúng ta không thể nói độ trưng của bất kỳ một thiên hà nào thực sự là bao nhiêu. (Thí dụ, các thiên hà êlip với các độ trưng khác nhau thường trông thấy tương tự khi được nhìn thấy trong sự cô lập). Chúng ta chỉ có thể nói các thiên hà nào thì chiếu sáng mạnh và thiên hà nào thì không nếu chúng ta

nhìn thấy một tập hợp của chúng, với các độ sáng khác nhau, liền kề bên nhau. May thay, các thiên hà là những vật thể mang tính hợp quần và trở thành các nhóm và các quần thể.

Do đó chúng ta có thể sử dụng độ sáng biểu kiến của các thành viên sáng nhất của thiên hà elip (thí dụ, mức trung bình của năm thành viên sáng nhất) trong một chùm sao lớn để ước tính khoảng cách tới quần tinh.

Có nhiều cuộc tranh luận giữa các nhà thiên văn học về việc các bóng đèn tiêu chuẩn đủ loại này hợp lý đến mức nào. Để tiếp tục sự loại suy, đó là các bóng đèn tiêu chuẩn 100 watt xuất phát từ một nhà sản xuất bất cẩn đã chế tạo một số bóng đèn 90 watt và một số bóng đèn 110 watt. Trong trường hợp này bạn chỉ có thể sử dụng độ sáng của bất kỳ bóng đèn cho sẵn nào để ước tính độ sáng của nó cộng thêm hay trừ đi 10%. Vũ trụ cũng không phải là một doanh nghiệp sản xuất các vật thể của nó thành các bóng đèn tiêu chuẩn chính xác, vì vậy vẫn có một số biến đổi về các độ trung của cái tốt nhất trong số các dấu hiệu về khoảng cách. Chúng ta phải sử dụng các phương pháp như thế với ý thức về sự có thể sai lầm của chúng ta và kiểm tra chúng thật cẩn thận mỗi khi có cơ hội.

✧ CÁC KỸ THUẬT MỚI

Một số kỹ thuật mạnh mẽ để đo đạc các khoảng cách đã được phát triển gần đây. Tất cả đều bắt đầu với các cuộc quan sát các thiên hà lân cận, mà khoảng cách của chúng đã được đo đạc qua việc sử dụng các sao cepheid và các bóng đèn tiêu chuẩn. Những đặc điểm của các thiên hà lân cận này được xác định cẩn thận và được sử dụng để đo đạc khoảng cách

tới các thiên hà ở rất xa mà các sao riêng lẻ và các chùm sao có thể không còn bị phát hiện. Chúng ta hãy khảo sát hai trong số các kỹ thuật này.

Phương pháp thứ nhất lợi dụng mối quan hệ thú vị được chú ý vào cuối những năm 1970 bởi Brent Tully của Đại học Hawaii và Richard Fisher của Đài thiên văn vô tuyến Quốc gia (National Radio Astronomy Observatory). Họ đã khám phá ra rằng *độ trung* (luminosity) của một thiên hà xoắn ốc có liên quan tới *vận tốc quay* (rotational velocity) của nó. Tại sao điều này là đúng? Một thiên hà có khối lượng càng nhiều, các vật thể trong các vùng ngoại vi phải quay trên quỹ đạo càng nhanh. Một thiên hà lớn hơn, trong nó, có nhiều sao hơn, và do đó toả sáng nhiều hơn (không kể vật chất tối). Khi sử dụng các thuật ngữ từ mục trước, chúng ta có thể nói rằng nếu tỉ số khối lượng – ánh sáng đối với đủ loại thiên hà xoắn ốc là tương tự, chúng ta có thể ước tính độ trung của một thiên hà xoắn ốc bằng cách đo đạc khối lượng của nó và chúng ta có thể ước tính khối lượng của nó bằng cách đo vận tốc quay của nó.

Tully và Fisher đã sử dụng bức xạ có bước sóng 21 cm từ hydro lạnh để xác định xem vật liệu trong các thiên hà xoắn ốc đang quay chung quanh trung tâm của nó nhanh đến mức nào. Bởi bức xạ 21 cm từ các nguyên tử đứng yên đi tới trong một vạch rất hẹp, chiều rộng của vạch 21 cm do toàn bộ một thiên hà tạo ra cho chúng ta biết phạm vi của các vận tốc quay của khí hydro của thiên hà. Vạch càng rộng, chất khí đang quay trên quỹ đạo trong thiên hà càng nhanh, và thiên hà càng đồ sộ và sáng chói hơn.

Điều khá ngạc nhiên là kỹ thuật mang lại hiệu quả, bởi vì phần lớn khối

lượng liên quan với các thiên hà là vật chất tối, không góp phần vào độ trung nhưng lại ảnh hưởng đến tốc độ quay. Cũng có lý do không rõ ràng rằng tỉ số khối lượng – ánh sáng sẽ tương tự đối với tất cả các thiên hà xoắn ốc. Tuy nhiên, các cuộc quan sát về các thiên hà gần hơn chứng tỏ rằng việc đo đạc vận tốc quay của một thiên hà cung cấp một ước tính chính xác về *độ trung nội tại (độ trung thực)* (intrinsic luminosity) của nó. Một khi chúng ta biết thiên hà thực sự toả sáng đến mức nào, chúng ta có thể so sánh độ trung với độ sáng biểu kiến và sử dụng sự chênh lệch để tính ra khoảng cách của nó.

Một kỹ thuật khác liên quan tới việc đo đạc các dao động trong độ sáng biểu kiến trên bề mặt của các thiên hà elip. Kỹ thuật này đã được John Tonry tại Đại học Hawaii sử dụng. Các thiên hà elip chứa hầu hết các sao rất già và rất ít chất khí và bụi. Một bức hình cực kỳ rõ nét của một thiên hà elip sẽ trông rất giống

với tấm ảnh của một quần tinh cầu, với nhiều sao riêng biệt hiện ra như những điểm sáng rõ rệt. Thậm chí với sự lu mờ do khí quyển Trái Đất gây ra, ảnh của một thiên hà elip không hiện ra hoàn toàn trơn mịn. Đúng hơn, nó có đốm, có vệt hay mấp mô do sự phân bố thành khối, thành cụm một cách tự nhiên của ánh sáng được phát xạ bởi các sao riêng lẻ thuộc thiên hà ấy.

Mức độ mấp mô tùy thuộc vào khoảng cách tới thiên hà. Trong một thiên hà lân cận, chúng ta có thể nhìn thấy các sao riêng lẻ hay các chùm sao và tấm ảnh có nhiều chỗ nhô lên của độ sáng thay đổi. Trong một thiên hà rất xa, các sao không thể được phân giải chút nào, và tấm ảnh có thể trơn mịn.

Vì thế khoảng cách tới một thiên hà elip có thể được ước tính bằng cách đo mức độ mấp mô trong sự phân bố ánh sáng. Kỹ thuật này sẽ không có tác dụng đối với các thiên hà xoắn ốc, mà các đĩa của chúng chứa các lượng bụi rất lớn

Một số phương pháp để ước tính khoảng cách tới các thiên hà

<i>Phương pháp (Standard Bulb – Đèn đèn tiêu chuẩn)</i>	<i>Mức độ tin cậy</i>	<i>Loại thiên hà</i>	<i>Đới khoảng cách gần đúng (triệu năm ánh sáng)</i>
Các sao biến quang cepheid	Rất cao	Xoắn ốc, không đều	0 – 65
Các sao sáng nhất (SB)	Trung bình	Xoắn ốc, không đều	0 – 150
Các tinh vân hành tinh (SB)	Rất cao	Tất cả	0 – 70
Các quần tinh cầu (SB)	Trung bình	Tất cả	0 – 100
Các dao động của độ sáng bề mặt	Rất cao	Elip	0 – 100
Phương pháp Tully–Fisher (chiều rộng của vạch 21 cm)	Rất cao	Xoắn ốc, không đều	0 – 300
Các siêu tân tinh loại I (SB)	Rất cao	Tất cả	0 – 8.000
Thiên hà sáng nhất trong quần tinh (SB)	Rất cao	Elip trong các quần tinh	70 – 13.000
Các sự dịch chuyển đỏ (định luật Hubble)	Rất cao	Tất cả	300 – 13.000

cho nên cũng có thể gây ra các dao động trong sự phân bố ánh sáng.

Nhưng phương pháp này dường như cung cấp các khoảng cách hợp lý đối với các thiên hà êlip, chính là những thiên hà mà kỹ thuật Tully – Fisher không mang lại hiệu quả.

Bảng trang bên liệt kê loại thiên hà mà mỗi kỹ thuật đo khoảng cách mang lại ích lợi, dải khoảng cách qua đó kỹ thuật có thể được áp dụng, và độ tin cậy của các ước tính khoảng cách thu được với từng kỹ thuật.

17.5 VŨ TRỤ MỞ RỘNG

Bây giờ chúng ta đi tới một trong những khám phá quan trọng nhất đã được thực hiện trong thiên văn học – đó là sự kiện vũ trụ *đang mở rộng*.

Trước khi chúng ta trình bày sự khám phá này đã được tiến hành như thế nào, chúng ta sẽ chỉ ra rằng các bước đầu tiên trong sự nghiên cứu các thiên hà đã đi tới vào một thời điểm khi mà các kỹ thuật về quang phổ học cũng đã tiến bộ nhanh chóng. Các nhà thiên văn học sử dụng các kính viễn vọng lớn có thể ghi nhận quang phổ của một vì sao hay một thiên hà mờ nhạt trên các tấm kính ảnh nhạy cảm hơn, điều khiển các kính viễn vọng của họ sao cho chúng vẫn hướng về cùng một vật thể trong nhiều giờ liền. Các quang phổ sau cùng của các thiên hà chứa một kho thông tin về thành phần, khối lượng, và sự chuyển động của các hệ sao này.

✧ CÁC CUỘC QUAN SÁT TIỀN PHONG CỦA SLIPHER

Lạ thay, sự khám phá về sự mở rộng của vũ trụ bắt đầu với cuộc tìm kiếm những

sinh vật Hỏa Tinh và các hệ mặt trời khác. Năm 1894, nhà thiên văn học thích tranh luận Percivall Lowell đã thành lập một đài thiên văn ở Flagstaff, bang Arizona, để nghiên cứu các hành tinh và tìm kiếm sự sống ngoài vũ trụ. Lowell nghĩ rằng các tinh vân xoắn ốc có thể là các hệ mặt trời trong quá trình hình thành. Vì thế ông yêu cầu một trong số các nhà thiên văn học trẻ của đài quan sát, Vesto M. Slipher, chụp hình các quang phổ của một số tinh vân xoắn ốc để xem liệu những vạch phổ của chúng có thể thể hiện các thành phần hoá học giống như các thành phần hoá học được mong đợi đối với các hành tinh mới hình thành chăng.

Thiết bị quan trọng của Đài thiên văn Lowell là một kính viễn vọng khúc xạ 24 inch, cũng không thích hợp với các cuộc quan sát các tinh vân xoắn ốc mờ yếu. Với kỹ thuật vào thời kỳ đó, các tấm kính ảnh phải được phơi sáng trong 20 tới 40 giờ để tạo ra một quang phổ tốt (trong đó vị trí của các vạch có thể tiết lộ sự chuyển động của một thiên hà). Điều này thường có nghĩa là liên tục phơi sáng cùng một ảnh qua vài đêm. Bắt đầu vào năm 1912 và tiến hành những nỗ lực phi thường trải qua một giai đoạn khoảng 20 năm, Slipher đã tìm cách để chụp hình các quang phổ của hơn 40 tinh vân.

Ông rất ngạc nhiên, các vạch phổ của hầu hết các thiên hà đã thể hiện các *sự dịch chuyển đỏ* vô cùng bất ngờ. Qua “sự dịch chuyển đỏ”, chúng ta muốn nói rằng các vạch trong quang phổ bị dịch chuyển về phía các bước sóng dài hơn (về phía đầu đỏ của quang phổ nhìn thấy được). Hãy nhớ lại từ Chương 4 rằng sự dịch chuyển về phía đỏ được nhìn thấy khi nguồn của các loại sóng đang di chuyển ra xa chúng ta.

Các cuộc quan sát của Slipher chứng tỏ rằng hầu hết các thiên hà xoắn ốc đang chạy ra xa với các tốc độ khổng lồ; tốc độ cao nhất ông đã đo được là 1800 km/s. Chỉ có một vài thiên hà xoắn ốc, chẳng hạn như M31, hiện nay được biết là các láng giềng gần gũi của chúng ta, hoá ra là đang đến gần với chúng ta. Tất cả các thiên hà khác đang di chuyển ra xa. Lần đầu tiên Slipher tuyên bố sự khám phá này vào năm 1914 – nhiều năm trước khi Hubble chứng minh rằng các vật thể này là những thiên hà khác và trước khi biết chúng cách xa bao nhiêu.

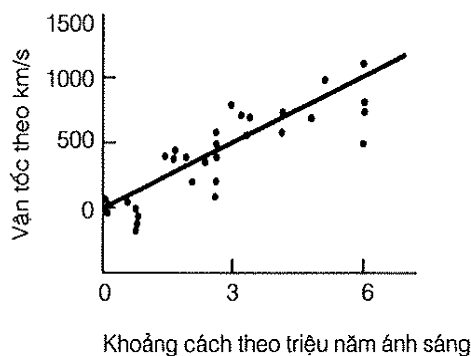
♦ ĐỊNH LUẬT HUBBLE

Những gợi ý sâu xa trong công trình của Slipher trở nên rõ ràng chỉ trong những năm 1920, khi Hubble đã tìm ra phương cách để ước tính các khoảng cách của các tinh vân xoắn ốc. Hubble tiến hành các cuộc quan sát chủ yếu trong sự cộng tác với Human Humason.

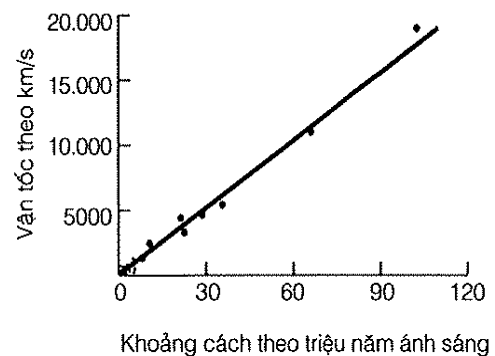
Vào cuối những năm 1920, Humason chụp hình các quang phổ của các thiên

hà mờ nhạt bằng kính viễn vọng 100 inches. (Lúc đó không có vấn đề rằng các tinh vân xoắn ốc thực sự là các thiên hà). Khi Hubble đặt các ước tính về khoảng cách của riêng ông bên cạnh các số đo về tốc độ mà các thiên hà đang di chuyển ra xa, ông đã phát hiện ra một điều gây ấn tượng sâu sắc: Có một mối quan hệ giữa khoảng cách và vận tốc đối với các thiên hà. *Thiên hà càng xa, thì nó đang lùi ra xa chúng ta càng nhanh.*

Năm 1931, Hubble và Humason cùng xuất bản một bài báo kinh điển trong tạp chí "*The Astrophysical Journal*" (Tạp chí Vật lý Thiên thể). Họ đã so sánh khoảng cách và vận tốc của các thiên hà xa xôi đang di chuyển ra xa chúng ta với các tốc độ tới 20.000 km/s và có thể chứng minh rằng các tốc độ thụt lùi của các thiên hà tỉ lệ thuận với các khoảng cách của chúng tính từ chúng ta. Ngày nay, chúng ta biết rằng mối quan hệ này bền vững đối với gần như mọi thiên hà (ngoại trừ một vài thiên hà gần nhất) mà khoảng cách độc lập của chúng đã có thể đo được! (Vài thiên hà tiến đến gần



(a)



(b)

Định luật Hubble: (a) Quan hệ vận tốc – khoảng cách đầu tiên của Hubble, phỏng theo bài báo năm 1929 của ông trong các Biên bản của Viện Hàn Lâm Khoa Học Quốc Gia (*Proceedings of the National Academy of Sciences*). (b) Quan hệ vận tốc – khoảng cách của Hubble và Humason, phỏng theo bài báo 1931 của họ trong tạp chí "*The Astrophysical Journal*". Những chấm ở thấp hơn bên trái là những điểm trong sơ đồ trong bài báo 1929. Sự so sánh của hai đồ thị mô tả sự xác định của các khoảng cách thiên hà và các sự dịch chuyển đỏ đã tiến triển trong hai năm giữa các ấn phẩm này nhanh đến mức nào.

chúng ta hoá ra là bộ phận của các nhóm thiên hà trong Dải Ngân Hà, có chuyển động nội tại riêng của nó).

Được viết như một công thức, mối quan hệ giữa vận tốc và khoảng cách là:

$$v = H \times d$$

trong đó v là tốc độ thụt lùi, d là khoảng cách, và H là một con số gọi là *hằng số Hubble*. Phương trình này hiện nay được biết như là *định luật Hubble*.

Các nhà thiên văn học diễn tả trị số của hằng số Hubble theo các đơn vị liên quan tới cách thức họ đo khoảng cách và vận tốc cho các thiên hà. Trong cuốn sách này, chúng ta sẽ sử dụng km/s (kilômét /giây) trên triệu LY (năm ánh sáng) với tư cách là đơn vị ấy. Trong nhiều năm, các ước tính về trị số của hằng số Hubble đã nằm trong phạm vi từ 15 tới 30 km/s trên triệu LY. Công trình gần đây nhất hình như đang hội tụ về một trị số gần 20 km/s trên triệu LY. Nếu H là 20 km/s trên triệu LY, một thiên hà di chuyển ra xa chúng ta với tốc độ 20km/s cho mỗi triệu năm ánh

sáng của khoảng cách của nó. Lấy ví dụ, một thiên hà cách xa 100 triệu năm ánh sáng đang di chuyển ra xa chúng ta với tốc độ 2000 km/s.

Nếu mỗi thiên hà trong vũ trụ qua đó chúng ta có thể thực hiện các phép đo khoảng cách, tuân theo mối quan hệ này, điều đó không thể là một sự trùng hợp. (Một vài nhà thiên văn học thực ra thoáng thấy mối quan hệ này trong dữ liệu của họ trước khi có công trình của Hubble, nhưng đã bỏ qua nó như là một sự trùng hợp ngẫu nhiên). Định luật Hubble cho chúng ta biết một điều gì đó là cơ bản về vũ trụ. Bởi vì tất cả nhưng không phải các thiên hà gần nhất hình như đang chuyển động *ra xa* (away) chúng ta, với những thiên hà xa nhất di chuyển nhanh nhất, chúng ta phải đang sống trong một *vũ trụ mở rộng* (expanding universe). Chúng ta sẽ khảo sát những gợi ý của ý tưởng này một cách ngắn gọn, cũng như trong các chương cuối của bản văn này. Còn bây giờ, chúng ta sẽ chỉ nói rằng các cuộc quan sát của Hubble làm nền tảng cho

Các Hằng Số Tỷ Lệ

Các mối quan hệ toán học chẳng hạn như định luật Hubble là khá phổ biến trong đời sống. Lấy một thí dụ đơn giản, giả sử trường đại học của bạn thuê bạn kêu gọi các cựu học sinh giàu có và yêu cầu những sự hiến tặng. Bạn được trả 1,5 USD cho mỗi lần gọi; bạn chen vào giữa việc nghiên cứu thiên văn học và các khoá học khác thêm nhiều cuộc gọi chừng nào, thì bạn mang tiền về nhà nhiều chừng nấy. Chúng ta có thể lập ra một công thức liên kết p , tiền công của bạn, và n , số lần gọi:

$$p = A \times n$$

trong đó A là hằng số cựu sinh viên, với một trị số là 1,5 USD. Nếu bạn thực hiện 20 lần gọi,

bạn sẽ kiếm được 1,5 USD nhân cho 20, hay là 30USD.

Giả sử ông chủ của bạn quên nói với bạn những gì bạn sẽ được trả cho mỗi lần gọi. Bạn có thể tính hằng số cựu sinh viên chi phối tiền công của bạn bằng cách theo dõi bao nhiêu lần gọi bạn thực hiện và để ý tổng số tiền công mỗi tuần. Nếu bạn thực hiện 100 lần gọi trong tuần đầu tiên và được trả 150 USD, bạn có thể suy ra rằng hằng số 1,5 (theo đơn vị đồng đô-la cho mỗi lần gọi). Hubble, (tất nhiên, không có nhân viên nói cho ông ta biết hằng số của ông sẽ là bao nhiêu – ông đã phải tính ra trị số của nó từ các số đo của khoảng cách và vận tốc.

tất cả các lý thuyết về nguồn gốc và sự tiến hoá của vũ trụ.

Như chúng ta sẽ thấy sau đây trong chương này, các phương trình về thuyết tương đối tổng quát của Einstein (xem Chương 15), khi giải thích về động thái của toàn thể vũ trụ, đã ngụ ý rằng tất cả các thiên hà, sẽ chỉ thể hiện loại mở rộng này. Nhưng Einstein bỏ qua ý tưởng đó vì quá rắc rối, và đã đưa một hệ số vớ vẩn vào các phương trình của ông để giữ cho vũ trụ đứng yên. Sau đó ông đã gọi sự thất bại của ông trong việc dự đoán những gì mà chẳng bao lâu Hubble sẽ khám phá ra là “sai lầm lớn nhất của đời tôi”.

✧ ĐỊNH LUẬT HUBBLE VÀ CÁC KHOẢNG CÁCH

Qui tắc được diễn tả trong định luật Hubble có một phần thưởng kèm theo: Nó mang đến cho chúng ta một cách thức mới để xác định các khoảng cách tới các thiên hà xa xôi. Trước hết, chúng ta phải thiết lập một cách xác thực hằng số Hubble bằng cách đo cả hai, khoảng cách và vận tốc của nhiều thiên hà trong nhiều hướng, để chắc chắn định luật Hubble thực sự là một đặc tính vũ trụ của các thiên hà. Nhưng một khi chúng ta có hằng số này và đã hài lòng rằng nó áp dụng được mọi nơi, chúng ta có thể sử dụng định luật Hubble để giải thích sự chuyển động của một thiên hà như là một *cái chỉ khoảng cách* (hay dụng cụ đo khoảng cách).

Chúng ta sử dụng quang phổ của một thiên hà để đo tốc độ mà nó đang di chuyển ra xa; nếu chúng ta đặt tốc độ và hằng số Hubble vào phương trình của định luật Hubble, chúng ta có thể tìm ra khoảng cách. Thí dụ, nếu chúng ta tìm thấy một thiên hà đang di chuyển ra xa

với vận tốc 20.000 km/s (và hằng số là 20 km/s trên 1 triệu LY), thì định luật Hubble cho chúng ta biết thiên hà phải nằm ở khoảng cách của một tỉ LY.

Đây là một kỹ thuật rất quan trọng, bởi vì, hầu hết các phương pháp của chúng ta dùng để xác định các khoảng cách của thiên hà không mang chúng ta ra ngoài 600 triệu LY (và chúng có nhiều tình trạng không chắc chắn). Nhưng để sử dụng định luật Hubble để chỉ khoảng cách, tất cả những gì chúng ta cần làm là có quang phổ của một thiên hà và đo được sự dịch chuyển Doppler, một việc mà các nhà thiên văn học rất giỏi.

Với các kính viễn vọng lớn và các máy ghi phổ hiện đại, các quang phổ như thế có thể được chụp từ các thiên hà cực kỳ mờ nhạt. Các nhà thiên văn học hiện nay có thể đo đạc các thiên hà với các sự dịch chuyển đỏ bao hàm một vận tốc cách xa ra chúng ta hơn 90% vận tốc ánh sáng. Với các vận tốc cao như thế, các vạch trong vùng cực tím của quang phổ – mà thông thường không thể quan sát được từ mặt đất – đã dịch chuyển tới các bước sóng vàng và đỏ, và có thể được chụp hình như ánh sáng thường.

✧ CÁC MÔ HÌNH VỀ MỘT VŨ TRỤ MỞ RỘNG

Trước tiên, khi nghĩ về định luật Hubble và là người hâm mộ Copernicus, bạn có thể sẽ bị sốc. Có phải tất cả các thiên hà thực sự đang di chuyển *ra xa chúng ta*? Nói cho cùng, phải chăng có một điều gì đó đặc biệt về vị trí của chúng ta trong vũ trụ? Sự kiện các thiên hà tuân theo định luật Hubble chỉ chứng tỏ rằng vũ trụ đang mở rộng đồng bộ. Một vũ trụ mở rộng đồng bộ là một vũ trụ đang mở rộng với cùng một mức độ ở khắp mọi nơi. Trong một vũ trụ như

thế, chúng ta và tất cả những người quan sát khác, dù bất cứ nơi nào họ được phân bố, phải quan sát được tính tỉ lệ giữa các vận tốc và các khoảng cách của các thiên hà xa xôi.

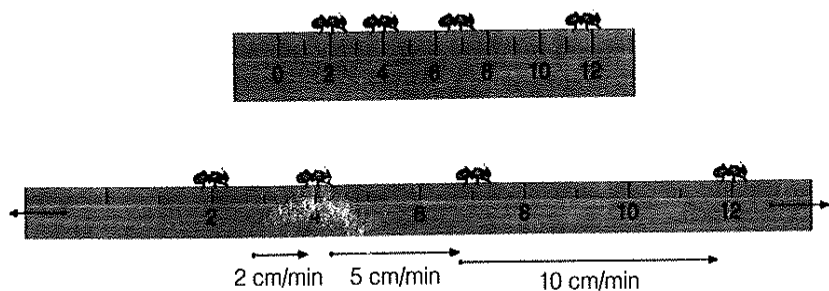
Để hiểu tại sao, trước tiên hãy hình dung một cây thước được làm bằng cao su dẻo, với các vạch thông thường đánh dấu tại mỗi centimét. Bây giờ giả sử một người nào đó với đôi tay khỏe mạnh nắm mỗi đầu thước và chậm chậm kéo giãn nó sao cho, thí dụ, nó tăng gấp đôi chiều dài trong 1 phút. Hãy xem xét một con kiến thông minh đứng trên vạch chỉ 2 cm – một vị trí không phải là đầu hay ở giữa cây thước. Nó đo được những con kiến khác, đứng tại vạch 4 cm, 7 cm, và 12 cm, di chuyển ra xa nó nhanh như thế nào khi cây thước kéo dài.

Con kiến tại 4 cm, ban đầu cách xa con kiến của chúng ta 2 cm, đã tăng gấp đôi khoảng cách của nó trong 1 phút; vì thế nó đã di chuyển ra xa với tốc độ 2 cm/phút. Con kiến tại vạch 7 cm, ban đầu cách xa con kiến của chúng ta 5 cm, giờ đây cách xa 10 cm; do đó nó đã phải di chuyển với 5 cm/phút. Con kiến bắt đầu tại vạch 12 cm, cách xa con kiến đang tính toán 10 cm, lúc bấy giờ cách xa 20 cm, nghĩa là nó phải đã chạy ra xa với tốc độ 10 cm/phút. Những con kiến tại

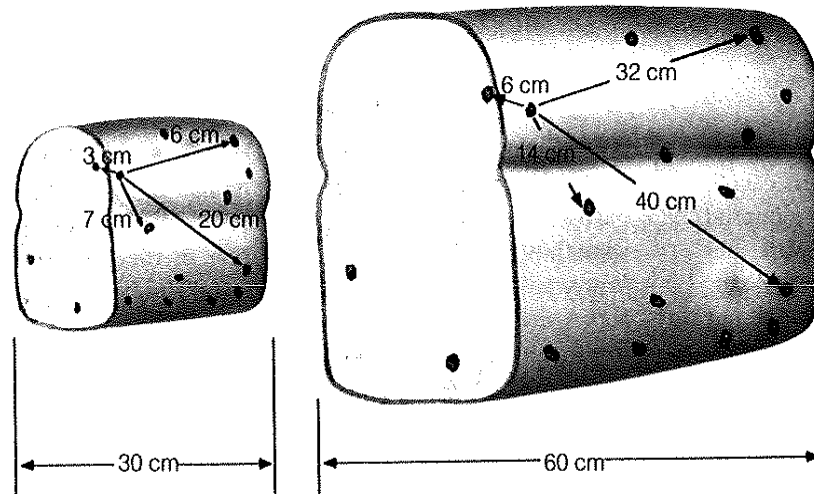
các khoảng cách khác nhau di chuyển ra xa với các tốc độ khác nhau, và các tốc độ của chúng tỉ lệ với khoảng cách của chúng (giống như định luật Hubble phát biểu về các thiên hà). Tuy nhiên tất cả những gì cây thước đang làm là kéo dài một cách đồng bộ.

Bây giờ chúng ta hãy lặp lại sự phân tích, nhưng đặt con kiến thông minh vào một vạch nào đó khác đi – thí dụ, tại 7 hay 12 cm. Chúng ta khám phá ra rằng, miễn sao cây thước kéo giãn đồng bộ, con kiến này cũng nhận thấy các con kiến kia di chuyển ra xa với tốc độ tỉ lệ với khoảng cách của nó. Nói cách khác, đại loại mối quan hệ được diễn tả bởi định luật Hubble có thể được giải thích bởi một sự kéo giãn một cách đồng bộ “thể giới” của những con kiến. Và tất cả những con kiến trên sơ đồ đơn giản của chúng ta sẽ nhìn thấy những con kiến khác di chuyển ra xa chúng khi cây thước giãn ra.

Đối với phép loại suy ba chiều, chúng ta hãy nhìn vào ổ bánh mì nho trong hình. Người đầu bếp đã bỏ quá nhiều men vào bột nhào và khi để cho bánh mì nổi lên, nó tăng gấp đôi kích thước trong 1 giờ sau đó, khiến cho tất cả trái nho di chuyển ra xa hơn. Một lần nữa chúng ta chọn một trái nho đại diện (nó không



Những con kiến trên cây thước kéo giãn nhìn thấy những con kiến khác di chuyển ra xa nó. Tốc độ mà con kiến khác di chuyển ra xa tỉ lệ với khoảng cách của nó.



Ổ bánh mì nho trương nở: Khi ổ bánh mì nho được đem nướng, những trái nho này nhìn thấy những trái nho kia di chuyển ra xa. Những trái nho xa nhất di chuyển ra xa nhanh nhất trong một ổ bánh trương nở đồng bộ.

phải ở cạnh mép hay trung tâm của ổ bánh) và mô tả các khoảng cách từ nó tới vài trái nho khác trong hình (trước và sau khi ổ bánh trương nở).

Hãy đo những sự gia tăng về khoảng cách và tính toán các tốc độ. Bởi vì mỗi khoảng cách đều tăng gấp đôi trong một giờ, mỗi trái nho di chuyển ra xa trái nho bạn đã chọn với một tốc độ tỉ lệ với khoảng cách. Dù cho bạn bắt đầu với bất kỳ trái nho nào, chắc chắn cũng sẽ như thế.

Hai ví dụ này rất ích lợi trong việc làm sáng tỏ suy nghĩ của chúng ta, nhưng bạn không phải chấp nhận chúng theo nghĩa đen. Đối với cây thước và ổ bánh mì nho, có những vị trí là ở ngay đầu hay cạnh mép. Bạn có thể sử dụng những vị trí này để xác định trung tâm của cây thước và ổ bánh. Trong khi các mô hình của vũ trụ có một sự tương đồng nào đó về các đặc điểm của cây thước và ổ bánh mì, chúng ta sẽ thấy rằng chúng không có một trung tâm hay một cái mép nào cả.

Những gì là hữu ích để nhận thấy về những con kiến và những trái nho là tự bản thân chúng không “gây ra” sự chuyển động. Trong cả hai ví dụ, chính sự kéo giãn của môi trường (cây thước hay ổ bánh mì) đã di chuyển những con kiến hay những trái nho tách xa thêm.

Cùng một cách như vậy, chúng ta sẽ thấy rằng các thiên hà không có những động cơ hỏa tiễn đẩy chúng ra xa lẫn nhau. Ngược lại, chúng tham gia thụ động trong sự mở rộng của không gian. Khi không gian giãn ra, các thiên hà bị mang đi ngày càng cách xa nhau hơn.

Nhân đây, sự mở rộng của vũ trụ không ngụ ý rằng các thiên hà riêng lẻ và các chùm thiên hà tự chúng mở rộng. Những trái nho trong ví dụ của chúng ta không phát triển về kích thước khi ổ bánh mì trương nở. Tương tự, lực hấp dẫn giữ các thiên hà và các chùm sao với nhau, và chúng chỉ càng cách xa nhau hơn mà thôi – chứ không phải tự bản thân chúng thay đổi về kích thước – khi vũ trụ mở rộng.

TÓM LƯỢC

17.1 Các chùm sao mờ, các đám mây khí toả sáng, các đám mây bụi phản xạ ánh sáng, và các thiên hà đều hiện ra như những mảng ánh sáng mờ nhạt (hay các tinh vân) trong các kính viễn vọng có sẵn ngay đầu thế kỷ XX. Chỉ khi Hubble đo được khoảng cách tới thiên hà Andromeda bằng cách sử dụng các sao biến quang cepheid vào năm 1924 thì sự tồn tại của các thiên hà khác, tương tự như Dải Ngân Hà về kích thước và dung lượng, mới được chứng minh.

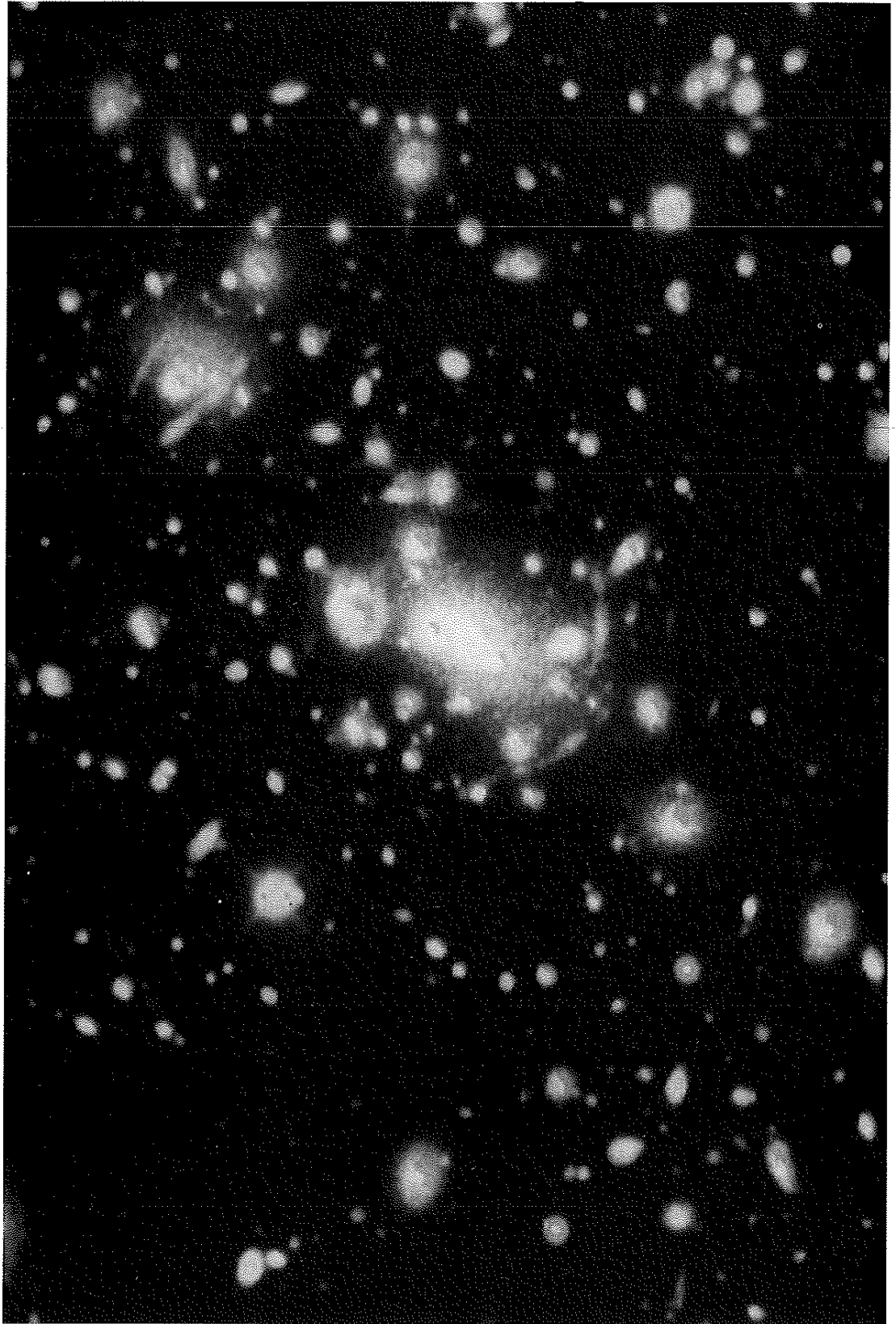
17.2 Đa số các thiên hà sáng chói là *các thiên hà xoắn ốc* và *các thiên hà êlip* (spirals or ellipticals). Các thiên hà xoắn ốc chứa các sao già và các sao trẻ, cũng như vật chất giữa các sao, và có khối lượng tiêu biểu trong phạm vi từ 10^9 tới $10^{12} M_{\text{Sun}}$. Dải Ngân Hà của chúng ta là một đại thiên hà xoắn ốc. Các thiên hà êlip là các hệ thống hình phỏng cầu hay hơi kéo dài ra, chứa hầu như toàn bộ các sao già, cùng với rất ít vật chất giữa các sao. Các thiên hà êlip, về kích thước, có phạm vi từ các sao khổng lồ, lớn hơn bất kỳ thiên hà xoắn ốc nào, cho tới các sao lùn, với khối lượng chỉ khoảng $10^6 M_{\text{Sun}}$. Một tỉ lệ phần trăm nhỏ của các thiên hà với các hình dạng hỗn độn hơn được phân loại như *các thiên hà không đều* (hay bất thường) (irregulas).

17.3 Khối lượng của các thiên hà xoắn ốc được xác định từ các phép đo về tốc độ quay của chúng. Khối lượng của các thiên hà êlip, được ước tính từ các phân tích về sự chuyển động của các ngôi sao nằm trong chúng. Các thiên hà có thể được định rõ đặc

điểm bởi *tỉ số khối lượng – ánh sáng* (mass-to-light ratios) của chúng. Các phần tỏa sáng của các thiên hà với sự hình thành sao tích cực tiêu biểu có tỉ số khối lượng – ánh sáng trong phạm vi từ 1 tới 10; các phần tỏa sáng của các thiên hà êlip, chỉ chứa các sao già, điển hình có tỉ số khối lượng – ánh sáng từ 10 tới 20. Các tỉ số khối lượng – ánh sáng của toàn bộ các thiên hà, kể cả các vùng ngoại vi của chúng, cao tới 100, biểu thị sự có mặt của rất nhiều vật chất tối.

17.4 Các nhà thiên văn học xác định khoảng cách tới các thiên hà bằng nhiều phương pháp, kể cả mối quan hệ chu kỳ – độ trung đối với các sao biến quang cepheid; các vật thể khác chẳng hạn như siêu tân tinh loại I, hình như là những bóng đèn tiêu chuẩn; và phương pháp Tully–Fisher, liên kết sự mở rộng vạch của bức xạ 21 cm với độ trung của các thiên hà xoắn ốc. Mỗi phương pháp có các giới hạn về phạm vi chính xác, với những loại thiên hà nó có thể được sử dụng, và dãy khoảng cách mà nó có thể được áp dụng.

17.5 Vũ trụ đang mở rộng. Các cuộc quan sát chứng tỏ rằng các vạch phổ của các thiên hà xa xôi bị *dịch chuyển về phía đỏ* (redshifted), và các vận tốc thụt lùi của chúng tỉ lệ với các khoảng cách của chúng đối với chúng ta, một mối quan hệ được biết là *định luật Hubble* (Hubble law). Mức độ của sự thụt lùi, gọi là *hằng số Hubble* (Hubble constant), xấp xỉ 20 km/s trên 1 triệu LY. Chúng ta không phải ở ngay trung tâm của sự mở rộng này: Một quan sát trong bất kỳ thiên hà nào khác sẽ nhìn thấy cùng một kiểu mở rộng mà chúng ta nhìn thấy.



Trong thí dụ tuyệt vời này của sự bẻ cong ánh sáng của lực hấp dẫn (gravitational lensing), một chùm thiên hà đang làm cong ánh sáng của các thiên hà xa hơn. Kết quả là một loạt các vòng cung phức tạp – theo một ý nghĩa nào đó – là những hình ảnh mờ của các vật thể mà nếu không có hiện tượng làm cong ánh sáng sẽ trông giống như các điểm sáng xanh.

CHƯƠNG 19



QUASAR VÀ CÁC THIÊN HÀ HOẠT ĐỘNG

*“Quasar, quasar, bùng cháy sáng rực
Trong những cánh rừng của đêm tối
Bàn tay bay đôi mắt bất tử nào
Có thể dựng lên những điểm đáng sợ đó”.*

Những lời tạ lỗi sâu sắc với William Blake

Giả sử một lỗ đen khổng lồ ngay trung tâm của một thiên hà tiếp cận với rất nhiều “thực phẩm” (vật liệu tương đối gần với chân trời biến cố của nó và có thể rơi vào trong nó). Thiên hà sẽ trông như thế nào từ thật xa? Có chứng cứ nào rằng vũ trụ đã tạo ra những thiên hà với các lỗ đen khổng lồ tại trung tâm của nó không?

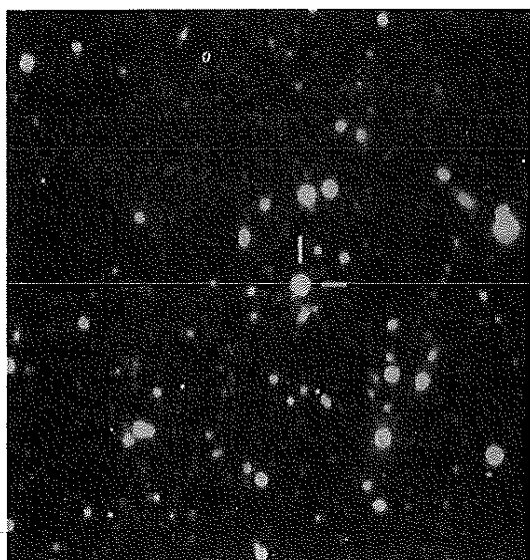
Trong tiền bán thế kỷ XX, các nhà thiên văn học đã quan sát vũ trụ của các thiên hà như một nơi chốn yên bình nhất. Họ đã thừa nhận rằng các thiên hà đã bắt đầu cách đây hàng tỉ năm và sau đó tiến hoá một cách chậm chạp khi các dân cư sao trong chúng đã hình thành, già cỗi, và chết đi. Bức tranh bình lặng ấy đã hoàn toàn thay đổi trong vài thập niên sau cùng của thế kỷ XX.

Ngày nay các nhà thiên văn học có thể thấy rằng vũ trụ thường được định hình bởi các biến cố dữ dội, kể cả các vụ nổ siêu tân tinh đầy tai họa, các vụ va

chạm của các thiên hà, và sự tuôn tràn khủng khiếp của năng lượng khi vật chất tương tác trong môi trường bao quanh các lỗ đen khổng lồ. Biến cố chủ yếu đã dẫn đến quan điểm bị thay đổi của chúng ta về bản chất của vũ trụ là sự khám phá những vật thể kỳ lạ mà ngày nay chúng ta gọi là các quasar (hay chuẩn tinh).

18.1 CÁC QUASAR

Mặt Trời không bức xạ nhiều năng lượng với các bước sóng vô tuyến. Các nhà thiên văn học hy vọng rằng các ngôi sao khác cũng sẽ yên lặng trong vùng vô tuyến của quang phổ. Vì thế, họ đã hoàn toàn ngạc nhiên khi vào năm 1960, hai nguồn sóng vô tuyến được xác định với những gì có vẻ như là các sao màu xanh mờ nhạt. Dĩ nhiên, các nhà thiên văn học đổ xô thu lấy các quang phổ của “các sao” vô tuyến này, nhưng các quang phổ chỉ làm cho sự bí ẩn càng khó hiểu thêm:



Một quasar tiêu biểu: Các vạch trong ảnh này đánh dấu quasar được biết bởi số mục lục của nó, PKS 1117–248. Không có thứ gì trong ảnh này phân biệt nó với một sao bình thường. Tuy nhiên, quang phổ của nó chứng tỏ rằng nó đang di chuyển xa ra chúng ta với một tốc độ cao hơn tốc độ của bất kỳ sao nào.

Họ đã có những vạch bức xạ mà ban đầu không thể được xác định với bất kỳ chất liệu nào đã biết được.

✧ CÁC DỊCH CHUYỂN ĐỎ KHÔNG LỖ

Vào những năm 1960, các nhà thiên văn học đã có một thể kỷ kinh nghiệm trong việc xác định các nguyên tố và các hợp chất trong các quang phổ của các sao. Các bảng chi tiết đã được xuất bản để mô tả các vạch mà mỗi nguyên tố sẽ tạo ra theo đủ loại điều kiện. Một ngôi sao với các vạch không thể xác định được trong quang phổ của ánh sáng thấy được bình thường là một sự sỉ nhục đối với một trăm năm tiến bộ hay là dấu vết của một điều hoàn toàn mới.

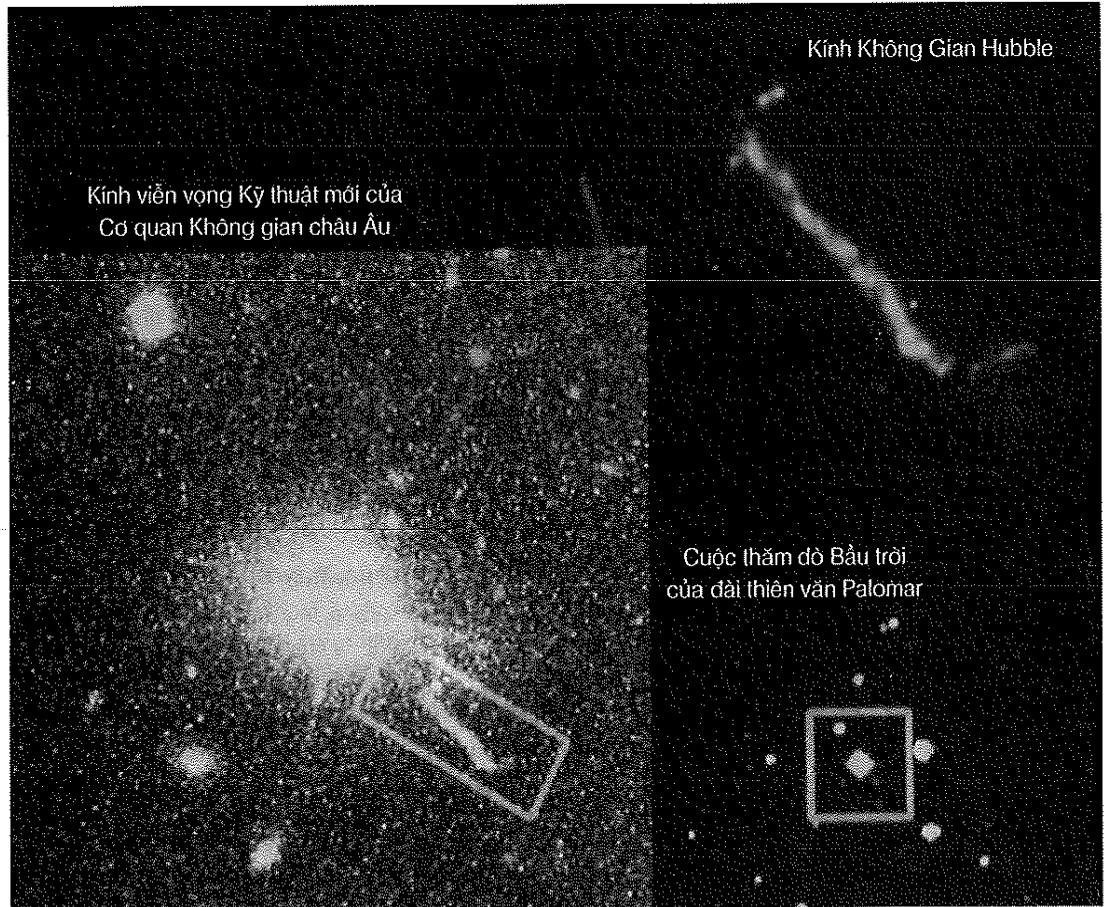
Sự khám phá đã tới vào năm 1963. Tại Đài thiên văn Palomar của Caltech, Maarten Schmidt đang bối rối với quang phổ của một trong số những sao vô tuyến, mang tên 3C 273 bởi vì nó là mục thứ

273 trong bảng mục lục Cambridge thứ ba của các nguồn vô tuyến. Trong quang phổ có những vạch bức xạ mạnh. Và Schmidt nhận ra rằng chúng có khoảng cách giống như những vạch Balmer của hydro (xem Chương 4). Nhưng những vạch trong 3C 273 bị dịch chuyển xa về phía đỏ của các bước sóng với chúng các vạch Balmer thường được phân bố. Thực ra, những vạch này là những bước sóng dài đến nỗi nếu các sự dịch chuyển đỏ được quy cho hiệu ứng Doppler, thì 3C 273 đang lùi ra xa chúng ta với một tốc độ 45.000km/s, hay khoảng 15% vận tốc ánh sáng!

Sau sự xác định của Schmidt về các vạch trong 3C 273, các vạch bức xạ rắc rối trong các nguồn vô tuyến giống như sao khác được tái khảo sát để xem liệu chúng cũng có thể là các vạch nổi tiếng với sự dịch chuyển đỏ lớn. Điều đó đã chứng tỏ như thế, nhưng các vật thể khác được phát hiện là đang lùi ra xa chúng ta thậm chí với tốc độ lớn hơn. Bởi vì các ngôi sao không thể hiện các sự dịch chuyển Doppler lớn như vậy, không ai đã nghĩ đến việc xem xét các sự dịch chuyển đỏ lớn là nguyên nhân của các quang phổ lạ lùng.

Tốc độ đáng kinh ngạc của chúng chứng tỏ rằng “các sao” vô tuyến không thể là các sao trong Dải Ngân Hà của chúng ta. Bất cứ ngôi sao thực sự nào di chuyển với hơn vài trăm kilômét trên 1 giây sẽ có khả năng vượt qua lực hấp dẫn của Dải Ngân Hà và hoàn toàn thoát ra khỏi nó. (Cuối cùng các nhà thiên văn học đã khám phá ra rằng cũng có nhiều “sao” này hơn chứ không phải chỉ là một điểm sáng).

Hoá ra các vật thể có tốc độ cao này chỉ trông giống như các sao bởi vì chúng



Quasar 3C 273: Quasar này là quasar sáng nhất trong bầu trời và là quasar đầu tiên được xác định. Ảnh thấp hơn bên phải được chụp từ một cuộc thăm dò bầu trời, ở đó hình dáng bề ngoài của nó giống như hình dạng của một ngôi sao bình thường. Ảnh bên trái mô tả vùng chung quanh quasar một cách chi tiết hơn; bốn cái gai xuất phát từ hình giữa là các tạo tác do các giá đỡ cho một trong các tấm gương trong kính viễn vọng tạo ra. Trong ảnh này có một sự phát sáng mờ từ thiên hà bao quanh và chi phối quasar. Quasar cũng có một tia khí nhô ra khỏi nó. Ảnh cao hơn bên phải là một tấm hình của kính không gian Hubble mô tả tia khí ấy chi tiết hơn; nó có chiều dài khoảng 150.000 năm ánh sáng.

cô đặc và ở rất xa. Do bề ngoài chúng giống các sao, song không chia sẻ các đặc điểm của sao, chúng đã được đặt tên là *các nguồn vô tuyến giống như sao* (quasi-stellar radio sources). Sau đó, các nhà thiên văn học đã khám phá ra các vật thể với các sự dịch chuyển đỏ lớn có vẻ giống như sao nhưng không có bức xạ vô tuyến. Ngày nay, tất cả các vật thể này được nói đến như *các vật thể giống như sao* (quasi-stellar objects – viết tắt là QSOs) hay, phổ biến hơn, là *quasar* (chuẩn tinh hay còn gọi là *nguồn chuẩn sao*).

Hàng ngàn vật thể giống như sao (QSOs) hiện nay đã được khám phá, và các quang phổ có giá trị cho một mẫu đại diện. Tất cả các quang phổ thể hiện các sự dịch chuyển đỏ lớn tới rất lớn (và không có quang phổ nào thể hiện sự dịch chuyển xanh). Cái lớn nhất tương ứng với các sự dịch chuyển trong bước sóng lớn hơn $\Delta\lambda/\lambda = 5$, ở đó $\Delta\lambda$ là sự khác biệt giữa bước sóng mà vạch phổ sẽ có nếu nguồn phát xạ đứng yên, và bước sóng mà nó thực sự có. Bước sóng đứng yên hay bước sóng phòng thí nghiệm được biểu thị bởi chữ λ của Hy Lạp.

Trong các quasar giữ kỷ lục, vạch đầu tiên của hydro thuộc dãy Lyman, với bước sóng phòng thí nghiệm 121,5 nm trong phần cực tím của quang phổ, bị dịch chuyển thẳng một mạch qua vùng nhìn thấy được tới hơn 700 nm. Với những sự dịch chuyển đỏ cao như thế, công thức đơn giản để chuyển đổi một sự dịch chuyển Doppler thành tốc độ (xem Mục 4.6) phải được sửa đổi để tính đến các ảnh hưởng của thuyết tương đối. Nếu áp dụng dạng tương đối của công thức dịch chuyển Doppler, chúng ta nhận thấy rằng những sự dịch chuyển đỏ này tương ứng với các vận tốc hơn 94% tốc độ ánh sáng.

♦ GIẢI THÍCH CÁC SỰ DỊCH CHUYỂN ĐỎ

Các quasar này có thể là cái gì? Các sự dịch chuyển đỏ rộng lớn có thể bị gây ra bởi một cái gì khác nữa ngoài sự chuyển động? Lực hấp dẫn mạnh tạo ra một sự dịch chuyển đỏ, như chúng ta đã thấy trong chương nói về thuyết tương đối và các lỗ đen, nhưng lực hấp dẫn mạnh như thế sẽ để lại chứng cứ khác trong quang phổ, và chứng cứ ấy không đơn thuần ở đó. Các quasar có thể là những vật với tốc độ cao được bắn ra từ các thiên hà bởi một quá trình nào đó chưa biết chăng? Điều đó có thể giải thích tốc độ cao của chúng, nhưng một thiên hà ở một nơi nào đó chắc chắn đang bắn ra một vật bất ngờ về phía chúng ta và thể hiện một sự dịch chuyển xanh. Tuy nhiên, chỉ có những sự dịch chuyển đỏ đã được quan sát.

Cuối cùng, các nhà thiên văn học đã chấp nhận sự giải thích ít phức tạp nhất. Nếu các quasar là các vật thể xa xôi, giống như các thiên hà, và vì vậy tham gia vào sự mở rộng của vũ trụ, những sự dịch chuyển đỏ của chúng mang ý nghĩa tuyệt vời. Theo định luật Hubble (Chương

17), những sự dịch chuyển đỏ của chúng đơn thuần có nghĩa là các quasar đi xa khỏi chúng ta.

♦ VẤN ĐỀ NAN GIẢI VỀ ĐỘ TRƯNG

Tuy nhiên, sự giải thích này đối với sự dịch chuyển đỏ, tạo ra một vấn đề. Nếu các quasar thực sự cách xa ra như các sự dịch chuyển đỏ của chúng gợi ý, chúng phải sáng không thể tin nổi đối với chúng ta khi được nhìn thấy – sáng hơn nhiều so với bất kỳ thiên hà bình thường nào. Thậm chí chỉ trong ánh sáng thấy được, hầu hết là mạnh hơn nhiều so với các thiên hà elip sáng nhất. Nhưng các quasar cũng phát năng lượng với các bước sóng tia X và tia cực tím, và một số cũng là các nguồn vô tuyến. Khi tất cả sự bức xạ của chúng được cộng lại, một số vật thể gần như sao (QSOs) có tổng số độ trung lớn tới $10^{14} L_{\text{Sun}}$, hay gấp 10 tới 100 lần độ sáng của các thiên hà sáng hơn.

Việc tìm ra một cơ chế để tạo ra năng lượng to lớn này là rất khó với bất kỳ tình huống nào. Nhưng có một vấn đề bổ sung. Khi các nhà thiên văn học bắt đầu tìm kiếm các quasar khác và sau đó theo dõi chúng cẩn thận, họ nhận thấy rằng một số trong chúng biến đổi về độ trung theo thời gian mấy tháng, mấy tuần, hay thậm chí trong một số trường hợp, mấy ngày. Sự biến đổi này là bất thường, không đều đặn và có thể thay đổi độ sáng của một quasar bởi một vài chục phần trăm trong cả hai hiệu suất ánh sáng và vô tuyến.

Hãy nghĩ về ý nghĩa của sự thay đổi như thế về độ trung. Một quasar lúc mờ nhất vẫn còn sáng hơn bất cứ một thiên hà bình thường nào. Hãy hình dung rằng độ sáng gia tăng khoảng 30% trong một vài tuần. Dù cơ chế nào có liên quan đi nữa cũng phải có khả năng phóng thích năng

lượng mới với các tốc độ làm rung động trí tưởng tượng của chúng ta. Những sự thay đổi gây ấn tượng mạnh nhất về độ sáng của quasar là tương đương với năng lượng được phóng thích bởi 100.000 tỉ Mặt Trời. Để sản xuất ra năng lượng khổng lồ này, chúng ta sẽ phải biến đổi khối lượng tổng cộng của khoảng mười Trái Đất thành năng lượng chỉ trong một phút!

Hơn nữa, bởi vì những thay đổi bất thường xảy ra trong một thời gian ngắn như thế, bộ phận của vật thể gần như sao (QSO) đang thay đổi phải nhỏ hơn khoảng cách ánh sáng di chuyển trong thời gian cần thiết cho sự biến đổi xảy ra – tiêu biểu là một vài tháng. Để hiểu tại sao điều này phải là như vậy, chúng ta hãy xét một chùm sao có đường kính 10 LY với một khoảng cách rất lớn tính từ Trái Đất. Giả sử mỗi ngôi sao trong chùm sao này bằng cách nào đó tỏa sáng cùng một lúc và vẫn còn sáng. Khi ánh sáng từ biến cố này đi tới Trái Đất, đầu tiên chúng ta sẽ thấy ánh sáng sáng hơn từ các sao ở phía gần hơn; năm năm sau chúng ta sẽ thấy ánh sáng tăng lên từ các sao ở trung tâm. Mười năm sẽ trôi qua trước khi chúng ta thấy nhiều ánh sáng hơn từ các sao ở phía xa hơn.

Mặc dù tất cả các sao trong chùm sao bùng sáng cùng một thời điểm, sự kiện rằng chùm sao rộng 10 LY có nghĩa là mười năm phải trôi qua trước khi ánh sáng từ mỗi bộ phận của chùm sao đi tới chúng ta. Từ Trái Đất, chúng ta sẽ thấy chùm sao ngày càng sáng hơn, vì ánh sáng ngày càng từ nhiều sao hơn bắt đầu đi tới chúng ta, và chưa tới mười năm sau khi sự tỏa sáng bắt đầu chúng ta sẽ không thấy chùm sao đạt tới độ sáng tối đa. Nói cách khác, nếu một vật thể mở rộng bất ngờ lóe sáng, hình như nó

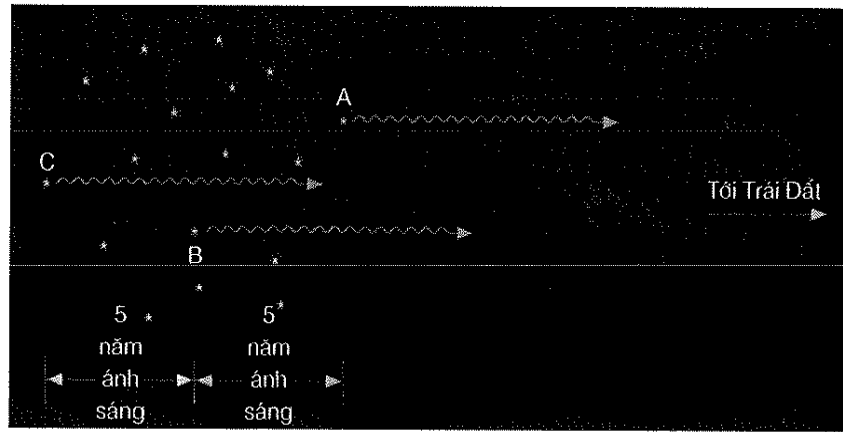
sẽ tỏa sáng qua một giai đoạn bằng với thời gian cần thiết để ánh sáng ngang qua vật thể từ phía xa của nó.

Chúng ta có thể áp dụng ý tưởng này vào sự thay đổi độ sáng trong các quasar để ước tính đường kính của chúng. Bởi vì các vật giống như sao (QSOs) tiêu biểu thay đổi (càng sáng hơn và mờ hơn) trải qua các giai đoạn một vài tháng, vùng mà ở đó năng lượng được sinh ra có thể không lớn hơn một vài tháng ánh sáng. Nếu nó lớn hơn, nó sẽ cần lâu hơn một vài tháng để cho ánh sáng từ cạnh xa bên kia đi tới chúng ta.

Một vùng của một vài tháng ánh sáng rộng bao nhiêu? Pluto (Sao Diêm Vương), thông thường là hành tinh xa nhất trong hệ Mặt Trời, cách xa chúng ta khoảng 5,5 giờ ánh sáng. Đám mây sao chổi Oort có thể vươn rộng ra tới khoảng 10 tháng ánh sáng, trong khi sao gần nhất cách xa 4 năm ánh sáng. Rõ ràng một vùng cỡ bề ngang một vài tháng ánh sáng là nhỏ bé một cách đáng kể so với một thiên hà. Và một số quasar thậm chí biến đổi nhanh chóng hơn, có nghĩa là năng lượng của chúng được sinh ra trong một vùng thậm chí còn nhỏ hơn. Dù cho bất cứ cơ chế nào cung cấp năng lượng cho các quasar cũng phải có khả năng sinh ra năng lượng nhiều hơn, so với năng lượng được tạo ra bởi toàn bộ một thiên hà, trong khoảng không gian mà, trong một số trường hợp, không rộng lớn hơn hệ mặt trời.

Khi lần đầu tiên các quasar được khám phá, không ai nghĩ ra cách giải thích sự kiện nhiều năng lượng như thế trong một không gian nhỏ như thế.

Sau đó trong những năm 1960, các nhà thiên văn học đối diện với một tình huống nan giải. Nếu các quasar nằm ở các khoảng cách nhất định theo định luật



Thời gian làm thay đổi qui mô của những giới hạn: Sơ đồ này mô tả lý do tại sao các sự biến đổi của ánh sáng từ một vùng rộng lớn trong không gian có vẻ kéo dài ra thêm một khoảng thời gian khi được nhìn từ Trái Đất. Giả sử tất cả các sao trong quần tinh này, có đường kính là 10 LY, bùng sáng lên cùng một lúc và ngay lập tức. Từ Trái Đất, sao A sẽ có vẻ như sáng lên trước sao B năm năm, tới lượt sao B sẽ hình như sáng lên trước sao C năm năm. Sẽ mất 10 năm để cho một quan sát viên ở Trái Đất thu được hiệu ứng đầy đủ của sự chiếu sáng này.

Hubble, một số cơ chế mới thật cần thiết để giải thích hiệu suất năng lượng khổng lồ của chúng. Nếu chúng ở gần, chúng ta cần những kiến thức vật lý học mới để giải thích tại sao chúng đã có những sự dịch chuyển đỏ cao như vậy. Đồng thời, cả những khả năng dường như bất hợp lý. Ngày nay, gần bốn mươi năm sau, có bằng chứng mạnh mẽ rằng các quasar thực sự ở những khoảng cách đã được gợi ý bởi các sự dịch chuyển đỏ của chúng, và chúng ta cũng có một cách giải thích về năng lượng khổng lồ do chúng tạo ra.

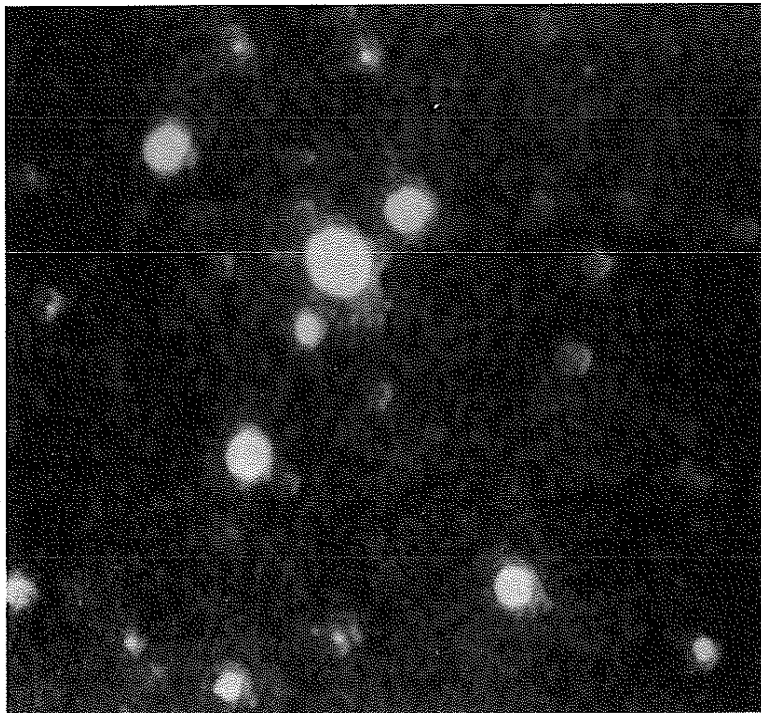
✧ KHOẢNG CÁCH TỚI CÁC QUASAR

Để xác định liệu các quasar có nằm ở những khoảng cách được gợi ý bởi các sự dịch chuyển đỏ của chúng hay không, chúng ta cần tìm ra một cách thức để đo đạc các khoảng cách tới chúng – nhưng không cần sử dụng các sự dịch chuyển đỏ. Hai kỹ thuật đã có tác dụng. Cả hai đều liên quan tới việc tìm kiếm các thiên hà liên kết với các quasar và thay vào đó

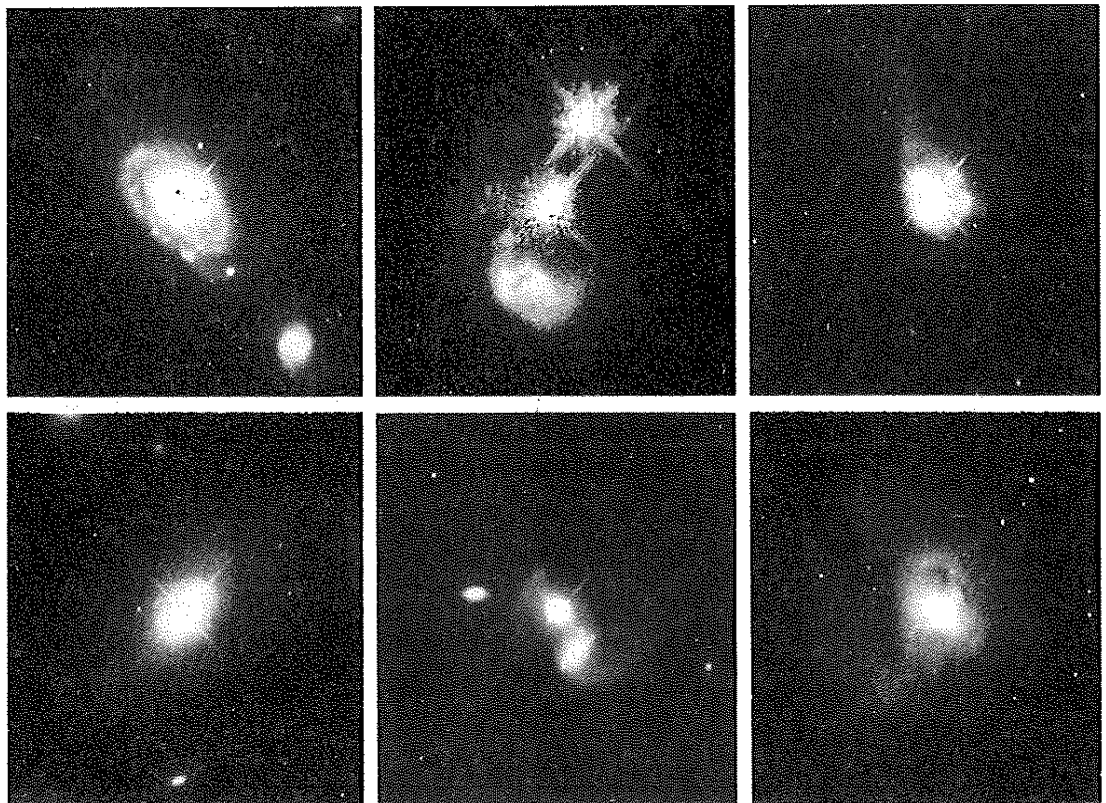
do các sự dịch chuyển đỏ của các thiên hà. Các phương pháp này có tác dụng bởi vì chúng ta biết rằng các sự dịch chuyển đỏ chắc chắn cung cấp các khoảng cách chính xác tới các thiên hà.

Các thiên hà khắp nơi trong vũ trụ được tìm thấy thành từng nhóm và từng chùm. Chúng ta biết những nhóm thiên hà này thực tế có quan hệ với nhau bởi vì chúng không chỉ gần với nhau trong bầu trời, mà những thành viên của chúng còn thể hiện cùng một sự dịch chuyển đỏ. Bây giờ, giả sử chúng ta nhìn thấy một quasar trong cùng một khu vực của bầu trời. Một sự liên kết như thế không chứng tỏ rằng quasar ấy nằm ở khoảng cách giống như chùm thiên hà. Nói cho cùng, có thể đó là một sự trùng hợp, giống như khi nhìn thấy một con chim và một máy bay cùng một lúc, chỉ để hiểu rằng máy bay thực sự cách xa hơn nhiều.

Bây giờ giả sử chúng ta có thể tìm ra *nhiều thí dụ* trong đó một quasar được tìm thấy trong số một chùm thiên hà và



Quasar trong một chùm thiên hà: Quasar 3C 275.1 là quasar đầu tiên được phát hiện trong một chùm thiên hà. Nó hiện ra như một vật thể sáng nhất nằm gần trung tâm của bức ảnh. Phần nhân của quasar bị bao bọc bởi một đám mây khí, có dạng hình elip. Sự dịch chuyển đỏ của nó chứng tỏ rằng quasar này và chùm thiên hà của nó đều cách xa 7 tỉ năm ánh sáng.



Các thiên hà chứa quasar: Kính không gian Hubble làm lộ ra những thiên hà "chủ" mờ hơn nhiều chung quanh các quasar. Ảnh trên cùng bên trái mô tả một quasar, nằm ngay trung tâm của một thiên hà xoắn ốc cách Trái Đất 1,4 tỉ LY (năm ánh sáng). Ảnh dưới bên trái mô tả một quasar nằm tại trung tâm của một thiên hà elip cách chúng ta chừng 1,5 tỉ LY. Các ảnh giữa trình bày các cặp thiên hà xa xôi đang tương tác, một trong số chúng chứa một quasar. Mỗi ảnh bên phải trình bày những cái đuôi dài của khí và bụi tuôn trào ra từ một thiên hà có chứa một quasar. Những cái đuôi như thế được tạo ra khi thiên hà này va chạm với thiên hà khác.

mỗi quasar có cùng sự dịch chuyển đỏ như các thành viên khác của chùm thiên hà của nó. Cuối cùng, chúng ta có thể kết luận rằng các quasar này thực sự là các thành viên của các chùm thiên hà và có cùng khoảng cách như các thiên hà.

Điều này không phải là một ý tưởng dễ dàng kiểm chứng. Các quasar ở rất xa; chúng ta nhận thấy chúng bởi vì chúng quá sáng chói. Bất kỳ thiên hà bình thường nào với cùng một sự dịch chuyển đỏ (và do đó có cùng khoảng cách lớn) như một quasar sẽ bị mờ hơn và cực kỳ khó khăn để dò ra. Tuy nhiên, sau nhiều nỗ lực, các nhà thiên văn học đã xác định được một số chùm thiên hà mờ nhạt có chứa các quasar với cùng các sự dịch chuyển như các thành viên khác của chúng. Khi chỉ có một chùm-thiên-hà-với-một-quasar như thế được biết đến, điều đó nói lên rằng sự tương đồng về dịch chuyển đỏ cũng chỉ là một sự trùng hợp. Có lẽ sự dịch chuyển đỏ của quasar là do một cơ chế khác, và nó chỉ bất ngờ nằm trong cùng một hướng như chùm thiên hà.

Những sự trùng hợp như thế đôi khi xảy ra, nhưng như những con bạc ở Las Vegas có thể chứng nhận, chúng thường không xảy ra nhiều. Khi chúng ta đã tìm thấy ngày càng nhiều hơn các chùm thiên hà với các quasar bên trong có cùng sự dịch chuyển đỏ như tất cả các thành viên của chùm, rõ ràng rằng sự dịch chuyển đỏ của quasar được tạo ra bởi cùng một hiệu ứng đã gây ra sự dịch chuyển đỏ của các thiên hà bình thường – đó là vũ trụ mở rộng.

Thêm nhiều quan sát mới đây đã ủng hộ mạnh mẽ ý tưởng. Các quan sát bằng kính không gian Hubble chứng tỏ rằng quasar được phân bố ở trung tâm của các thiên hà. Các dấu vết gợi ý rằng điều

này là sự thực đã được thu thập bằng các kính viễn vọng đặt trên mặt đất, nhưng các quan sát trên không gian đã đưa ra chứng cứ thuyết phục. Lý do là các quasar chiếu sáng hơn cả toàn bộ các thiên hà với các hệ số từ 10 tới 100 hay còn nhiều hơn. Khi ánh sáng này đi qua khí quyển của Trái Đất, nó trở nên không rõ ràng bởi sự nhiễu loạn và lấn át ánh sáng mờ nhạt từ thiên hà chung quanh – giống như các đèn pha sáng chói từ một chiếc xe hơi đang chạy tới khiến cho khó nhìn thấy bất cứ thứ gì ở bên cạnh nó.

Tuy nhiên, kính không gian Hubble không bị ảnh hưởng bởi sự nhiễu loạn của khí quyển và có thể phát hiện ra sự phát sáng mờ từ các thiên hà chứa các quasar. Các quan sát này chứng tỏ rằng quasar có thể được tìm thấy trong phần nhân của các thiên hà xoắn ốc và thiên hà êlip. Chúng cũng đã chứng tỏ rằng nhiều thiên hà chứa quasar có liên quan tới một vụ va chạm với một thiên hà thứ hai, cung cấp một mẫu chốt quan trọng về nguồn gốc của sự sản sinh năng lượng phi thường này.

18.2 CÁC THIÊN HÀ HOẠT ĐỘNG

Một khi đã kết luận rằng sự dịch chuyển đỏ chắc chắn biểu thị các khoảng cách thực sự tới các quasar, chúng ta vẫn còn sự bí ẩn về việc chúng có thể tạo ra nhiều năng lượng như thế trong một vùng nhỏ bé như thế bằng cách nào. Những mẫu chốt ban đầu về câu trả lời xuất phát từ sự nghiên cứu một số thiên hà khá khác thường đã cung cấp một sự kết nối giữa các thiên hà bình thường và các quasar. Trước hết chúng ta hãy nhìn vào các quan sát, và sau đó đưa ra mô hình đơn giản sử dụng các lỗ đen để

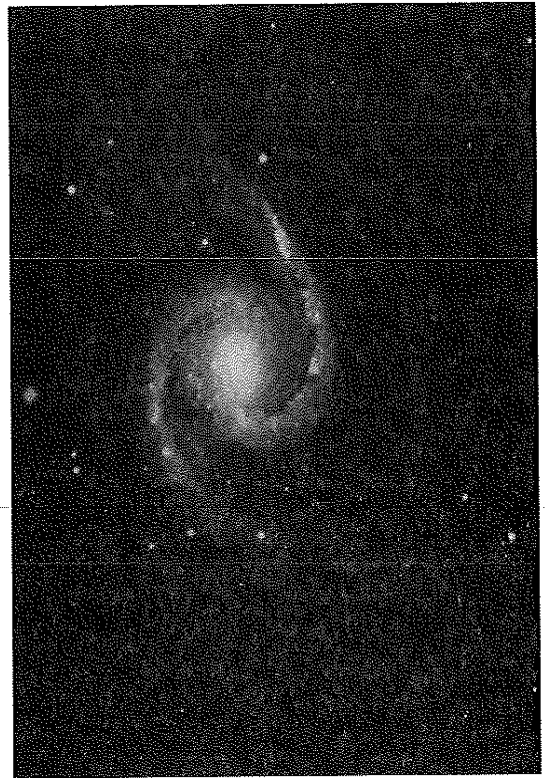
giải thích sự đa dạng gây bối rối của các thiên hà khác thường và các quasar.

Các thiên hà khác thường này mà chúng ta đang quan tâm hầu hết là sáng chói như các quasar và chia sẻ nhiều đặc tính của chúng, mặc dù với một mức độ kém ngoạn mục. Bởi vì số lượng bất thường về năng lượng được tạo ra trong trung tâm, chúng được xem là có *các nhân thiên hà hoạt động* và thường được nói đến như các AGN (viết tắt của Active Galactic Nuclei). Các thiên hà chứa nhân hoạt động này được gọi là *các thiên hà hoạt động*. (Ngày nay chúng ta hiểu rằng các thiên hà hoạt động này thực ra có các *tiểu quasar* được bao bọc trong trung tâm của chúng).

✧ CÁC THIÊN HÀ SEYFERT

Một thí dụ thú vị về một loại thiên hà hoạt động là một nhóm gọi là *các thiên hà Seyfert* (Seyfert galaxies), là những thiên hà xoắn ốc với phần nhân cường nhiệt giống như một điểm. Chúng được đặt tên theo nhà thiên văn học khám phá ra những mẫu đầu tiên. Giống như các quasar, các thiên hà Seyfert có các vạch bức xạ rõ ràng, rộng lớn trong quang phổ của chúng. Bởi vì các sao tiêu biểu tạo ra *các vạch hấp thụ* (absorption lines) trong quang phổ của một thiên hà, *các vạch bức xạ* (emission lines) chứng tỏ rằng có các đám mây khí nóng gần phần nhân của các thiên hà Seyfert. Bề rộng của các vạch chứng tỏ rằng chất khí tỏa sáng đang di chuyển với các tốc độ lên tới hàng ngàn kilômét trong một giây.

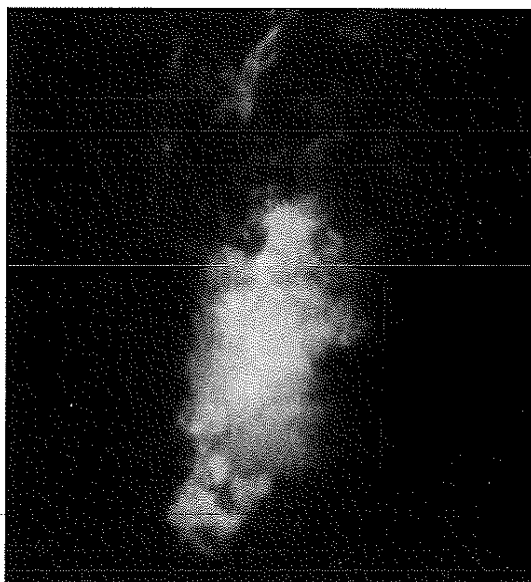
Một trong số các hình ảnh chụp được bằng kính không gian Hubble mô tả vùng nhân của thiên hà Seyfert NGC 1068. Tám ảnh, không bị làm lu mờ bởi khí quyển Trái Đất, mô tả cấu trúc phức



Thiên hà Seyfert NGC 1566: Thiên hà này nằm ở khoảng cách chừng 50 triệu LY và có vẻ như là một thiên hà xoắn ốc bình thường. Tuy nhiên, các cuộc quan sát chứng tỏ rằng nó có phần nhân rất sáng với nhiều đặc điểm của một quasar, mặc dù nó kém mãnh liệt hơn nhiều so với một quasar. Vùng hoạt động tại trung tâm của NGC 1566 thay đổi theo một qui mô thời gian ít hơn một tháng, chứng tỏ rằng nó cực kỳ cô đặc. Các quang phổ chứng tỏ rằng chất khí nóng gần bên phần nhân nhỏ đang di chuyển với một tốc độ cao khác thường, gợi ý rằng nó có thể nằm trong một quỹ đạo xung quanh một lỗ đen khổng lồ.

tạp, bao gồm các đám mây khí nóng có bề ngang nhỏ tới 10 LY, nằm ngay trung tâm của thiên hà.

Một số thiên hà Seyfert, lại giống như các quasar, là các nguồn vô tuyến hay tia X hay cả hai, tất cả đều phát xạ mạnh tia hồng ngoại. Một số thể hiện các sự biến đổi độ sáng trải qua giai đoạn một vài tháng, do đó, như chúng ta đã kết luận về các quasar, vùng từ đó sự bức xạ xuất phát có thể có chiều ngang không hơn một vài tháng ánh sáng.



Vùng trung tâm của thiên hà NGC 1068: Ảnh về phần bên trong này của một thiên hà Seyfert, được chụp bằng kính không gian Hubble, mô tả một vùng có bề ngang chỉ chừng 150 LY. Các đám mây khí ion hoá có đường kính nhỏ chừng 10 LY được nhìn thấy tại trung tâm cuồng nhiệt của thiên hà này, cách xa khoảng 60 LY (năm ánh sáng) trong chòm sao Virgo (chòm Xử Nữ).

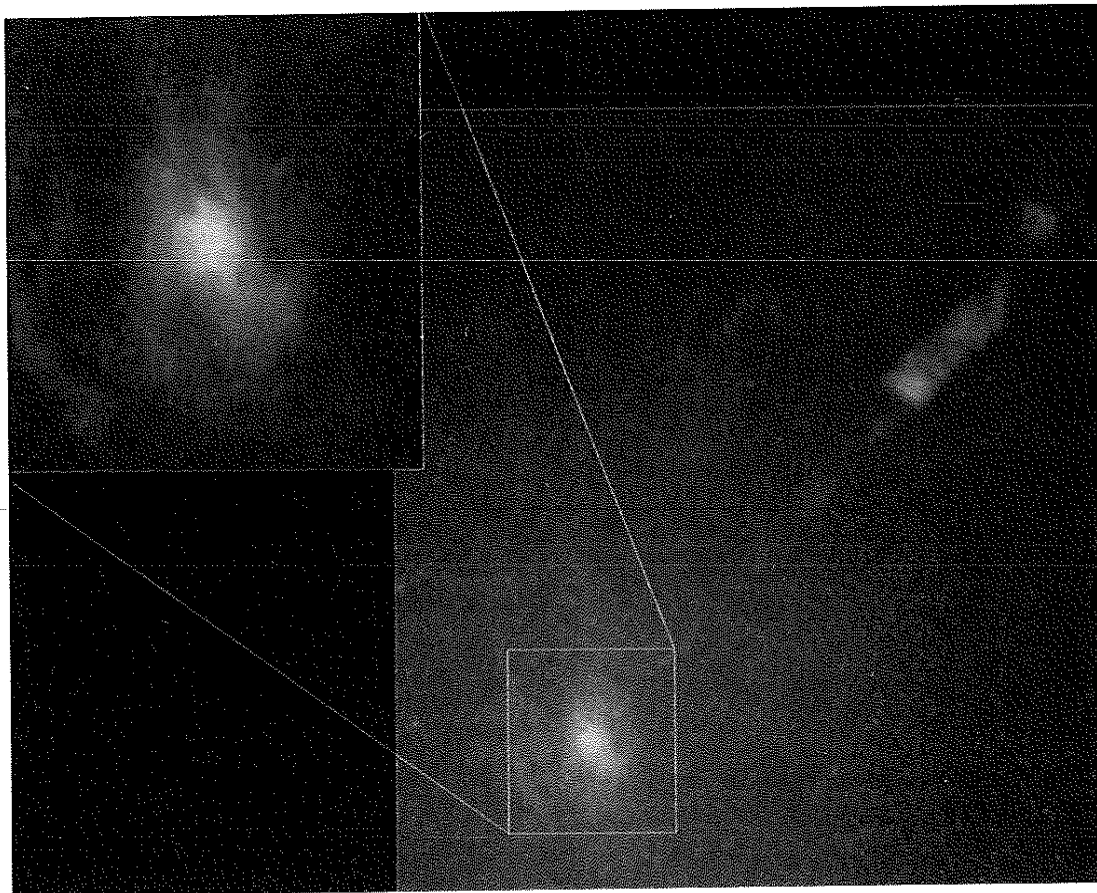
Các nghiên cứu về nhiều vật thể như thế chứng tỏ rằng các thiên hà Seyfert và các thiên hà lùn thường khác nữa có khuynh hướng sáng chói hơn các thiên hà bình thường, song không sáng chói bằng các quasar. Các phần nhân sáng rực nhưng giống như một điểm của chúng chứng tỏ rằng một lượng năng lượng khổng lồ đang được bức xạ từ một vùng nhỏ bé tại trung tâm của chúng. Vấn đề chủ yếu về các thiên hà Seyfert và các thiên hà hoạt động khác là một phần năng lượng đáng kể của chúng xuất phát từ các nguồn khác hơn sự sản sinh năng lượng của các sao riêng lẻ.

✧ CÁC THIÊN HÀ ÊLIP HOẠT ĐỘNG

Các thiên hà xoắn ốc không đơn độc trong việc thể hiện sự hoạt động khác

thường trong phần nhân của chúng. Một số thiên hà êlip cũng có các nguồn năng lượng trung tâm mạnh mẽ. Nhiều thiên hà êlip khổng lồ hiện ra tương đối bình thường khi được nhìn thấy bằng ánh sáng thường hóa ra là những nguồn phát xạ năng lượng vô tuyến mạnh mẽ; do đó chúng ta gọi chúng là *các thiên hà vô tuyến* (radio galaxies). Thiên hà M87, đã được bàn luận trong chương trước, là một thí dụ tốt. Hình ảnh của nó khiến nó trông cứ tưởng là yên tĩnh. Nhưng kính không gian Hubble và các ảnh vô tuyến cho phép chúng ta “nhìn” sâu hơn vào bên trong thiên hà. Ở đó, chúng ta tìm thấy một nguồn bức xạ vô tuyến cực mạnh trong trung tâm, và một chùm tia vật chất phức tạp vươn rộng từ nó ra hơn 6000 LY (năm ánh sáng). Các phép đo gần đây chứng tỏ rằng các cụm vật liệu trong chùm tia này đang di chuyển ra ngoài với vận tốc gần hai phần ba tốc độ ánh sáng.

Trong một số thiên hà vô tuyến, phần lớn bức xạ vô tuyến bắt nguồn từ các vùng nhỏ gần trung tâm của chúng (nhắc nhở chúng ta về các quasar). Trong số khác, chúng ta không chỉ phát hiện được các nguồn sáng chói trong phần nhân, mà còn các vùng mở rộng lớn hơn của bức xạ vô tuyến bao quanh thiên hà. Trong khoảng ba phần tư các thiên hà vô tuyến, nguồn vô tuyến là gấp đôi, với phần lớn bức xạ xuất phát từ các vùng mở rộng ở các phía đối nghịch của mỗi thiên hà. Điển hình, hai vùng phát xạ (gọi là *các thùy vô tuyến* [radio lobes]) rộng hơn bản thân thiên hà rất nhiều, và các trung tâm của chúng cách xa thiên hà một vài trăm ngàn năm ánh sáng. Các quan sát khác cũng tiết lộ hai chùm tia hẹp của bức xạ vô tuyến hướng ra khỏi thiên hà về phía các nguồn mở rộng to lớn. Những chùm tia này tương tự với chùm tia trong hình

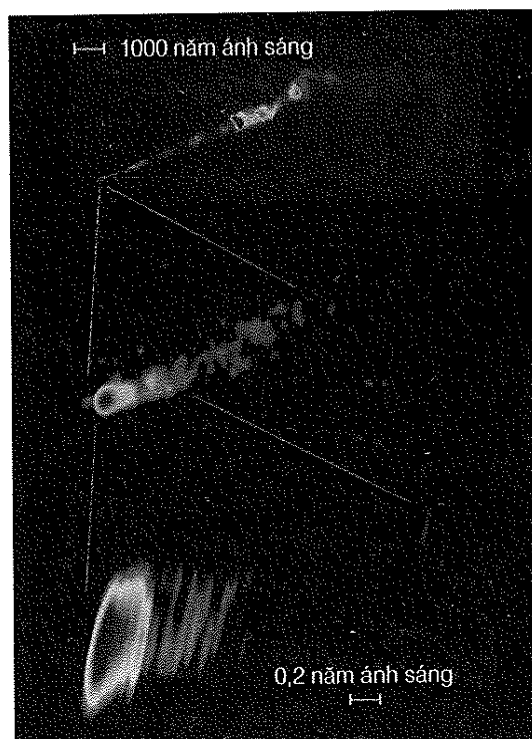


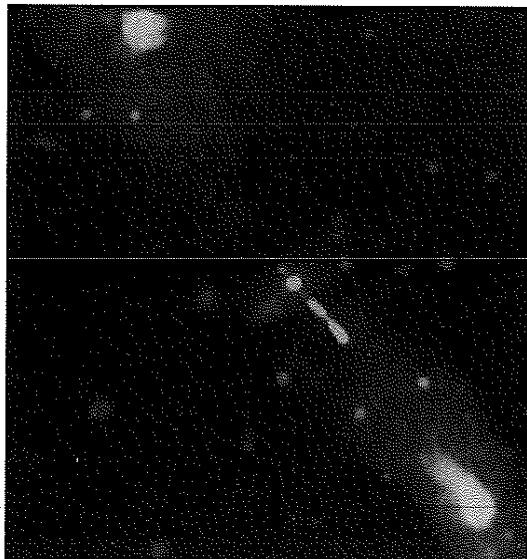
Các vùng trung tâm của thiên hà M87: Kính không gian Hubble đã khám phá cái đĩa hình xoắn ốc này của chất khí nóng đang quay nhanh trong phần nhân của thiên hà elip khổng lồ có tên là M87. Bức ảnh cũng mô tả một tia electron tốc độ cao được bức xạ từ trung tâm của thiên hà.

Quang cảnh vô tuyến của thiên hà M87. Quang cảnh trên cùng, được thực hiện với dãy Kính viễn vọng VLA, mô tả nguồn vô tuyến tại trung tâm của thiên hà và toàn bộ phạm vi của chùm tia gây ấn tượng. Các ảnh giữa và cuối cùng mô tả những gì có thể được thực hiện với dãy kính viễn vọng vô tuyến VLBA, trải dài qua lục địa. Chúng mô tả phần bên trong của chùm tia với các chi tiết chưa từng thấy; các đặc điểm nhỏ nhất mà chúng ta có thể phân biệt chỉ có kích thước vài tuần ánh sáng.

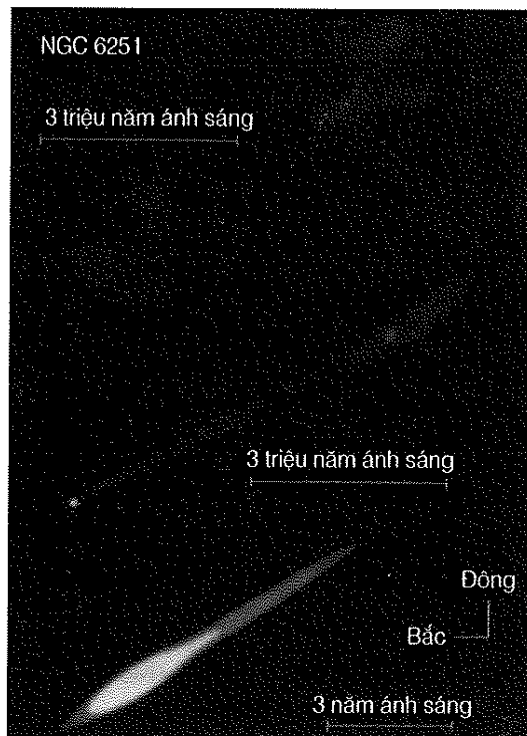
ở trang trước, nhưng có thể dài hơn một triệu năm ánh sáng.

Có vẻ như rằng trong tất cả các vật thể này các chất khí nóng bị ion hoá bị “bắn ra” dọc theo các chùm tia vào trong các thùy vô tuyến bởi một nguồn năng lượng cực kỳ mạnh trong phần nhân của thiên hà.





Thiên hà vô tuyến elip 3C 219: Để hình thành bức hình này, một ảnh ánh sáng thường đã được phối hợp với một ảnh vô tuyến. Các thùy của bức xạ vô tuyến vươn rộng ra xa ngoài các phần thấy được của thiên hà; một chùm tia ngắn nối liền các thùy và thiên hà.

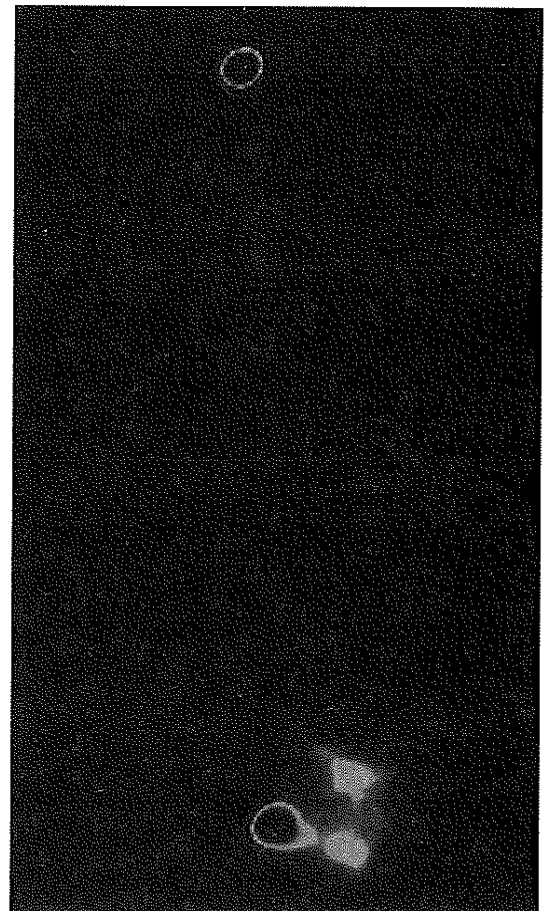


Các ảnh vô tuyến của thiên hà NGC 6251: Như bạn có thể thấy trong chuỗi bản đồ vô tuyến này, một chùm tia dài bất thường, có chiều dài hơn 300.000 LY, nhô ra khỏi thiên hà này. Ảnh bên trên mô tả hai thùy của bức xạ vô tuyến ở cả hai bên của thiên hà, ảnh giữa mô tả một chùm tia dài, ảnh dưới cùng mô tả một trong số các cụm bức xạ cực mạnh trong chùm tia. Vạch màu trắng cho thấy tỉ lệ của mỗi hình.

Một số cơ chế trong trung tâm có khả năng hướng luồng các hạt năng lượng thành những chùm tập trung hẹp lan tỏa và tương tác với chất khí trung hòa lạnh hơn khi chúng vượt ra ngoài các ranh giới của thiên hà. Với các thiết bị hiện đại, các chùm tia tương tự có thể được nhìn thấy trong hơn phân nửa toàn bộ các quasar.

✧ SỰ ĐA DẠNG CỦA CÁC PHẦN NHÂN THIÊN HÀ HOẠT ĐỘNG

Các thí dụ chỉ nói sơ lược về bề mặt của nhiều loại thiên hà hoạt động khác nhau mà các nhà thiên văn học đã không khám phá ra trong vài thập niên vừa qua.



Quasar 1007 + 417 với chùm tia: Quasar được phân bố tại điểm sáng gần đỉnh trên cùng của bức hình; một chùm tia đi tới một thùy bức xạ vô tuyến ở dưới đây.

Mặc dù ban đầu sự đa dạng về hình dáng bề ngoài của chúng gây bối rối, ngày nay chúng ta biết rằng những sự khác biệt thường là do những góc độ mà chúng ta nhìn thấy các chùm tia hay các thùy của chúng. (Các khoảng cách của các thiên hà và môi trường chung quanh trong đó sự hoạt động của chúng diễn ra cũng đóng một vai trò quan trọng).

Hãy nhớ rằng các thiên hà có thể được định hướng trong mỗi hướng có thể đi tới đường ngắm của chúng ta từ Trái Đất. Đôi khi chúng ta nhìn thẳng vào chùm tia, như vào cái nòng của một khẩu súng; trong những trường hợp như vậy chúng ta thấy một đốm sáng rực. Các chùm tia của các thiên hà khác phóng ra về một bên đối với viễn cảnh của chúng ta, cho thấy một quang cảnh tối ưu. Nhiều khi chúng ta nhìn thấy nguồn trung tâm và các chùm tia hay các thùy với một góc, khiến cho sự giải thích trở nên khó khăn hơn. Và, dĩ nhiên, vật thể càng cách xa, việc quan sát nó càng gay go thách thức hơn. Như chúng ta đã thấy, một số quasar trông như các điểm sáng mờ với kỹ thuật của những năm 1960 hiện nay thể hiện các chùm tia từ chúng đang đi tới, hay dấu vết mờ nhạt của một thiên hà bao quanh.

Dựa trên nhiều quan sát như thế và nhiều thập niên xây dựng các mô hình lý thuyết, hầu hết các nhà thiên văn học ngày nay quan sát tất cả các vật thể này như một phần của cùng một hiện tượng cơ bản. Một số nguồn năng lượng mạnh tồn tại ngay trung tâm của các thiên hà hoạt động và cuối cùng có liên quan tới tất cả các dạng hoạt động khác, kể cả sự tuôn trào năng lượng do các quasar. (Các quasar ấy là những trường hợp đặc biệt được sinh ra bởi sự kiện rằng chúng

ta đã phát hiện được chỉ một quasar duy nhất trong mỗi 10 triệu thiên hà xoắn ốc bình thường).

Như chúng ta đã thấy trong chương về Dải Ngân Hà, ngay cả Dải Ngân Hà cũng có một nguồn năng lượng cô đặc tại trung tâm của nó. Trong khi năng lượng được phát xạ bởi nguồn cô đặc này tương đối nhỏ so với năng lượng được tạo ra bởi một quasar, thì trung tâm của Dải Ngân Hà có thể đại diện cho cực năng lượng thấp của phạm vi hoạt động trong các phần nhân của thiên hà. Ngày nay chúng ta biết rằng nguồn năng lượng tại trung tâm của Dải Ngân Hà là một lỗ đen. Đối với các quasar sáng chói nhiều hơn thực sự có giống như vậy không? Chúng ta hãy nhìn vào bằng chứng.

18.3 NĂNG LƯỢNG PHÍA SAU CÁC QUASAR

Sau khám phá rằng nhiều thiên hà có nguồn năng lượng khổng lồ tại trung tâm cô đặc, các nhà thiên văn học bắt đầu tạo ra các mô hình về việc năng lượng được sản sinh bằng cách nào. Các mô hình này bao gồm sự va chạm của các ngôi sao trong phần nhân chen chúc của các thiên hà, các sao siêu khổng lồ đang trải qua các giai đoạn mãnh liệt trong chu kỳ sự sống bình thường của nó, và các vụ nổ siêu tân tinh mạnh mẽ phi thường.

Tuy nhiên, mới đây, các quan sát đã thuyết phục các nhà thiên văn học rằng quasar và các loại thiên hà hoạt động khác có những lỗ đen khổng lồ tại trung tâm của chúng. Các lỗ đen có khả năng tạo ra năng lượng to lớn miễn là chừng nào vật liệu còn đang rơi vào về phía chúng. (Chúng ta đã thấy điều này trong Chương 15 khi nhìn vào các hệ sao đôi

với các lỗ đen là những nguồn bức xạ tia X mạnh mẽ).

Khả năng của một lỗ đen tạo ra năng lượng tùy thuộc vào khối lượng của nó và lượng vật liệu đi tới đủ gần để bị nó “xử lý”. Đối với một lỗ đen với trị số khối lượng bên trong bằng một tỉ Mặt Trời ($10^9 M_{\text{Sun}}$), ngay cả những lượng vật liệu bổ sung tương đối khiêm tốn nhất – chỉ khoảng $10 M_{\text{Sun}}$ mỗi năm – rơi vào lỗ đen sẽ sản sinh ra nhiều năng lượng như một ngàn thiên hà bình thường. Điều này đủ để giải thích cho toàn bộ năng lượng của một quasar.

♦ CHỨNG CỨ VỀ QUAN SÁT

Hãy nhớ từ Chương 16 rằng cách thức để chứng minh lỗ đen có mặt tại trung tâm của một thiên hà là một khối lượng thật lớn bị nhồi nhét vào một thể tích thật nhỏ đến độ không có những vật thể bình thường nào – các sao khổng lồ hay các chùm sao – có thể giải thích cho điều đó. Chúng ta sử dụng định luật Kepler thứ 3 để ước tính khối lượng từ vận tốc của vật liệu xoay tròn chung quanh nó.

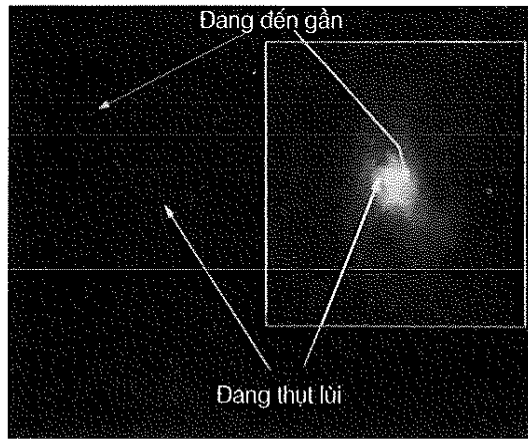
Để áp dụng định luật này, chúng ta phải tìm ra hoặc chất khí hoặc các sao quay chung quanh rất gần với vật thể mà khối lượng của nó chúng ta đang cố gắng ước tính. Kính không gian Hubble đặc biệt rất thích hợp với nhiệm vụ bởi nó nằm bên trên khả năng làm lu mờ của khí quyển Trái Đất và có thể thu được các quang phổ rất gần với các vùng trung tâm sáng chói của các thiên hà hoạt động. Hiệu ứng Doppler được sử dụng để đo các vận tốc xuyên tâm của các vật liệu quay trên quỹ đạo và do đó suy ra vận tốc nó di chuyển chung quanh.

Một trong số các thiên hà đầu tiên được nghiên cứu với kính không gian

Hubble là thiên hà quen thuộc của chúng ta, thiên hà êlip khổng lồ M87. Hình ở trang trước đã mô tả các sao tại trung tâm của thiên hà này trở nên tập trung dày đặc, hình thành một cái lõi sáng rực rỡ rệt. Mật độ của các sao tại trung tâm trong M87 tối thiểu là 300 lần lớn hơn được mong đợi đối với một thiên hà êlip khổng lồ bình thường, và hơn 1000 lần đậm đặc hơn sự phân bố của các sao trong vùng lân cận của Mặt Trời. Phân tích chi tiết về sự phân bố ánh sáng trong M87 chứng tỏ rằng một lỗ đen trung tâm với khối lượng gần 2,5 tỉ M_{Sun} sẽ tạo ra loại tập trung này của các sao.

Với kính Hubble, các nhà thiên văn học có thể đo được những vận tốc trong cái đĩa khí nóng (10.000 K) xoay tròn chung quanh trung tâm của M87. Điều ngạc nhiên là tìm thấy chất khí nóng như thế trong một thiên hà êlip, nhưng khám phá ấy là cực kỳ hữu ích để xác nhận sự tồn tại của lỗ đen. Các nhà thiên văn học có thể đo được sự dịch chuyển Doppler của các vạch phổ được phát xạ bởi chất khí này, và tìm ra tốc độ quay của nó. Sau đó họ dùng tốc độ ấy để tính ra số lượng của khối lượng bên trong cái đĩa – bằng cách áp dụng định luật thứ ba của Kepler.

Những phép đo xác nhận rằng thực sự có một khối lượng khoảng 2,5 tỉ M_{Sun} tập trung trong một vùng nhỏ bé ngay tại trung tâm của M87. Do đó khối lượng khổng lồ trong một thể tích không gian nhỏ như thế phải là một lỗ đen. Chúng ta hãy nhìn vào hình này – một lỗ đen đơn độc đã nuốt chửng vật liệu đủ để tạo ra 2,5 tỉ ngôi sao giống như Mặt Trời! Vài phép đo thiên văn đã dẫn đến một kết quả không thể tin được như thế. Vùng lân cận của một lỗ đen siêu khổng lồ như thế phải là một môi trường kỳ dị vô cùng.



Cái đĩa tại trung tâm của M87: Cái đĩa của chất khí đang xoay tròn được khám phá tại trung tâm của thiên hà êlip khổng lồ M87 bằng kính không gian Hubble. Các cuộc quan sát được thực hiện đối với các phía đối nghịch của cái đĩa chứng tỏ rằng một phía đang đến gần chúng ta (các vạch phổ bị dịch chuyển về phía xanh do hiệu ứng Doppler) trong khi phía đối nghịch đang lùi ra (các vạch dịch chuyển về phía đỏ), một dấu hiệu rõ ràng rằng cái đĩa đang xoay tròn. Vận tốc xoay tròn là khoảng 550 km/s hay 1,2 triệu mi/h (dặm/giờ). Vận tốc quay cao như thế là chứng cứ rõ rệt rằng có một lỗ đen khổng lồ tại trung tâm của thiên hà M87.

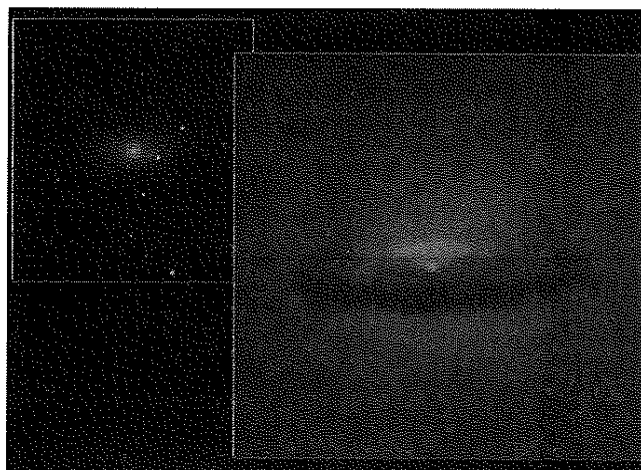
Một thí dụ khác được mô tả trong hình dưới. Ở đây chúng ta thấy một cái đĩa bụi bao quanh một lỗ đen với khối lượng 300 triệu M_{Sun} (khối lượng mặt trời) trong trung tâm của một thiên hà êlip.

(Vệt sáng trong trung tâm được tạo ra bởi ánh sáng phối hợp của các sao đã bị hút gần lại với nhau do lực hấp dẫn của

lỗ đen). Khối lượng của lỗ đen một lần nữa được rút ra từ các phép đo về vận tốc quay của các đĩa. Bụi đang di chuyển chung quanh với vận tốc 155 km/s (341 mi/h) với khoảng cách chỉ 186 LY tính từ trung tâm. Dựa vào sức hút của khối lượng tại trung tâm, chúng ta hy vọng rằng toàn bộ đĩa bụi sẽ bị nuốt chửng bởi lỗ đen trong vài tỉ năm.

Hiện nay có một chứng cứ về các lỗ đen trong nhiều thiên hà hơn nữa. Quả thực các cuộc quan sát nêu lên rằng tất cả các thiên hà có một vùng tập trung hình cầu của các sao – hoặc các thiên hà êlip hay các thiên hà xoắn ốc với những chỗ phình hạt nhân – chứa các lỗ đen tại trung tâm. Trong số các thiên hà kể sau là láng giềng của chúng ta, thiên hà Andromeda. Khối lượng của lỗ đen trong các thiên hà được nghiên cứu từ trước đến nay là khoảng 0,5% tổng số khối lượng của các sao trong thiên hà êlip xung quanh hay bầu hạt nhân. Những thiên hà đồ sộ nhất, như thiên hà êlip khổng lồ M87, có những lỗ đen đồ sộ nhất.

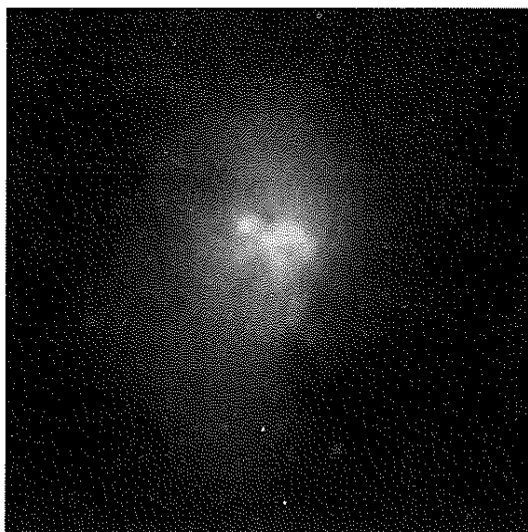
Nhiều nhà thiên văn học nghĩ rằng các lỗ đen trung tâm là một hệ quả không thể tránh được của sự hình thành một thiên hà với một vùng tập trung đậm đặc



Thiên hà khác với cái đĩa của lỗ đen: Tấm ảnh nhỏ hơn ở phía trên bên trái mô tả một thiên hà êlip gọi là NGC 7052 trong chòm sao Vulpecula, cách Trái Đất gần 200 triệu LY (năm ánh sáng). Tại trung tâm của thiên hà (ảnh lớn hơn) là một cái đĩa bụi có đường kính xấp xỉ 3700 LY. Cái đĩa xoay tròn như một bánh xe đu quay khổng lồ: Chất khí ở phần bên trong (cách trung tâm 186 LY) xoay tròn chung quanh với vận tốc 155 km/s (341 mi/h). Từ các số đo này và định luật thứ ba của Kepler, có thể ước tính rằng cái đĩa xoay tròn chung quanh một lỗ đen trung tâm với khối lượng của 300 triệu Mặt Trời.

hình cầu của các ngôi sao. Các lý thuyết đề xuất rằng các thiên hà đã hình thành từ các đám mây đang sụp đổ của khí hydro. Một số chất khí đã hình thành các sao. Nhưng rất có thể một số chất khí đã lắng tụ vào trung tâm, ở đó nó trở nên cô đặc đến mức đã hình thành một lỗ đen siêu khổng lồ.

Một khi đã hình thành, các lỗ đen sẽ tiếp tục phát triển bằng cách “ăn” (feeding) chất khí và các sao đi ngang quá gần với nó. Cũng thế, đôi khi các thiên hà va chạm và hợp nhất với các láng giềng. Vật chất giữa các sao và các ngôi sao thuộc một hay nhiều nạn nhân



Sự va chạm của hai thiên hà xoắn ốc: Ảnh này, được chụp bằng máy ảnh hồng ngoại trên kính không gian Hubble, mô tả các cụm sáng của các sao trong trung tâm của một thiên hà được biết là Arp 220 (cách xa khoảng 250 triệu LY). Vật thể có hình trăng lưỡi liềm, sáng chói là một cái lõi còn lại của một trong cặp thiên hà va chạm và chứa một tỉ ngôi sao. Người ta mong rằng cái lõi là hình cầu, và hình dáng khác thường này gợi ý rằng ánh sáng từ nửa dưới bị che khuất bởi một đĩa bụi có đường kính khoảng 300 LY. Đĩa xoay tròn chung quanh trung tâm của lõi, có thể chứa một lỗ đen. Lõi của thiên hà thứ hai trong cặp thiên hà va chạm nhau được phân bố ở bên trái của vật thể có dạng trăng lưỡi liềm. Hai lõi (hay hai nhân) bị tách biệt khoảng 1200 LY và đang quay quanh lẫn nhau. Các vụ va chạm như thế của thiên hà có thể cung cấp thêm nhiên liệu cho các lỗ đen khổng lồ tại trung tâm của các thiên hà.

của các vụ va chạm như thế có thể rơi về phía lỗ đen và làm tăng thêm khối lượng của nó. Các vụ hợp nhất như thế cũng có thể giải thích được lý do tại sao các thiên hà elip như M87 có thể phát triển quá lớn.

✧ SỰ SẢN SINH NĂNG LƯỢNG CHUNG QUANH MỘT LỖ ĐEN

Bạn có thể sẵn sàng tán thành ý tưởng cho rằng các lỗ đen khổng lồ ẩn núp tại trung tâm của các thiên hà hoạt động. Nhưng chúng ta vẫn cần trả lời câu hỏi về việc một lỗ đen như thế có thể trở thành một trong số các nguồn năng lượng mạnh nhất trong vũ trụ bằng cách nào. Như đã thấy trong Chương 15, tự bản thân lỗ đen không thể phát ra năng lượng. Bất cứ năng lượng nào mà chúng ta phát hiện được từ nó phải xuất phát từ vật liệu rất gần với lỗ đen, chứ không phải bên trong chân trời biến cố của nó.

Trong một thiên hà, một lỗ đen ở trung tâm thu hút vật chất – các sao, bụi, và chất khí – đang quay quanh trong các vùng hạt nhân đậm đặc. Vật chất này xoáy vào phía lỗ đen đang quay và hình thành một *đĩa bồi* (accretion disk) của vật liệu quanh nó (xem Chương 15). Vì lúc nào vật liệu cũng xoáy vào gần hơn với lỗ đen, nó tăng tốc và trở nên bị nén ép, nung nóng tới nhiệt độ hàng triệu độ. Vật chất nóng như thế có thể bức xạ những năng lượng khổng lồ khi rơi về phía lỗ đen.

Để tự thuyết phục rằng sự rơi vào một vùng với lực hút mạnh có thể phóng thích rất nhiều năng lượng, hãy hình dung bạn đánh rơi cuốn sách giáo khoa ra ngoài cửa sổ tầng trệt của thư viện. Nó sẽ rơi xuống đất với một tiếng động mạnh, và

có thể gây cho một con chim bồ câu hoảng hốt một cú va chạm tệt hại, nhưng năng lượng được phóng thích do sự rơi không lớn lắm. Bây giờ hãy đem cuốn sách ấy lên tầng 15 của một toà nhà cao và buông nó xuống. Đối với bất kỳ ai ở bên dưới, cuốn sách có thể gây chết người; khi va chạm, nó cũng tạo ra rất nhiều năng lượng. Thả những vật từ rất xa vào lực hút mạnh hơn nhiều của một lỗ đen thì hiệu quả càng lớn hơn. Giống như cuốn sách đang rơi có thể nung nóng không khí, làm rung động mặt đất, hay tạo ra năng lượng âm thanh có thể được nghe thấy ở một khoảng cách nào đó, năng lượng của vật liệu đang rơi về phía lỗ đen có thể được chuyển đổi thành những số lượng đáng kể bức xạ điện từ.

Phương thức chính xác trong đó năng lượng của vật liệu đang rơi được chuyển đổi thành bức xạ gần một lỗ đen phức tạp hơn nhiều so với thí dụ đơn giản của chúng ta. Chỉ đơn cử một yếu tố, vật liệu không phải đi thẳng vào, mà xoáy tròn vào một đĩa bồi hỗn độn. Thực vậy, để hiểu những gì xảy ra trong cái vùng "lộn xộn" xung quanh một lỗ đen khổng lồ, các nhà vật lý phải viện đến các mô hình máy tính.

✧ LIÊN KẾT MÔ HÌNH VÀ CÁC CUỘC QUAN SÁT

Một số hiện tượng mà chúng ta quan sát trong các thiên hà hoạt động và các quasar tất nhiên có thể được giải thích trong các mô hình này. Trước hết, lượng vật liệu đáng kể rơi vào một lỗ đen vô cùng đồ sộ có thể tạo ra những lượng năng lượng vĩ đại được phát xạ bởi các quasar và các phần nhân của thiên hà hoạt động. Các tính toán tỉ mỉ chứng tỏ rằng khoảng 10% khối lượng của vật chất rơi vào một lỗ đen có thể được chuyển đổi thành năng lượng. Đây là một quá trình

rất có hiệu quả. Hãy nhớ rằng trong toàn bộ quá trình tiến hoá của một ngôi sao giống như Mặt Trời, chưa tới 1% khối lượng của nó được chuyển đổi thành năng lượng bởi sự tổng hợp hạt nhân.

Chân trời biến cố của một lỗ đen rất nhỏ bé; hãy nhớ lại từ Chương 15 rằng một lỗ đen với khối lượng 1 tỉ M_{Sun} sẽ có bán kính xấp xỉ là 3 tỉ km, tương đương khoảng cách giữa Mặt Trời và Thiên Vương Tinh (Uranus). Sự bức xạ do vật chất rơi vào tạo ra bắt nguồn từ một thể tích không gian bé nhỏ bao quanh sát bên lỗ đen. Kích thước nhỏ bé của vùng bức xạ chính xác là những gì chúng ta cần để giải thích sự kiện rằng các quasar biến đổi theo các thang thời gian hàng tuần và hàng tháng.

Chúng ta đã thấy rằng các quang phổ của quasar bị chi phối bởi các vạch bức xạ mạnh. Các vạch như thế hình thành khi có một chất khí nóng tỏa sáng, điều đó đúng là những gì chúng ta mong nhìn thấy chung quanh một lỗ đen mãnh liệt như thế. Các mô hình gợi ý rằng những vạch bức xạ rộng lớn được hình thành trong các đám mây tương đối đậm đặc trong phạm vi nửa năm ánh sáng tính từ lỗ đen. Các đám mây này được phân bố ra xa hơn cái đĩa bồi và có thể cung cấp nhiên liệu bổ sung cho lỗ đen trong tương lai.

✧ CÁC CHÙM TIA VÔ TUYẾN

Từ trước đến nay, mô hình của chúng ta dường như giải thích một cách hiệu quả nguồn năng lượng trung tâm của các quasar và các thiên hà hoạt động. Nhưng, như chúng ta đã thấy, các quasar và các thiên hà hoạt động khác cũng có những chùm tia dài; những chùm tia này tỏa sáng với các sóng vô tuyến, ánh sáng, và

đôi khi ngay cả các tia X, và vươn rộng ra ngoài các giới hạn của thiên hà. Chúng ta có thể tìm ra cách thức để lỗ đen và cái đĩa bồi của nó tạo ra các chùm hạt năng lượng này hay không?

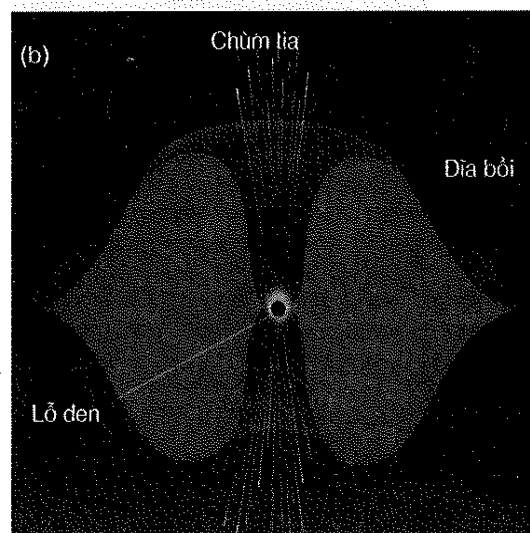
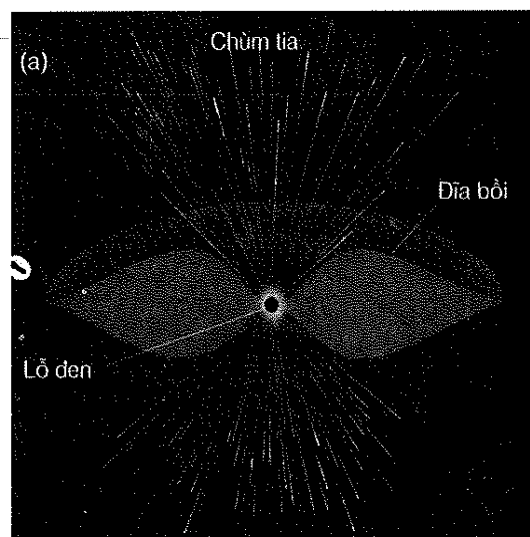
Nhiều quan sát đã phát hiện các chùm tia này trong phạm vi từ 3 tới 30 LY (năm ánh sáng) tính từ quasar hay nhân thiên hà chủ. Trong khi lỗ đen và cái đĩa bồi tiêu biểu nhỏ hơn 1 LY, chúng ta cho là nếu các chùm tia đi gần như thế có lẽ là do chúng phát xuất từ vùng phụ cận của lỗ đen.

Tại sao các electron mạnh mẽ và các hạt khác bị bắn ra thành các chùm tia, và thường thành hai chùm tia ngược chiều nhau, mà không phải là ở mọi chiều hướng? Một lần nữa, chúng ta phải sử dụng các mô hình của siêu máy tính về những gì xảy ra khi rất nhiều vật liệu xoáy tròn vào cái đĩa bồi của một lỗ đen dày đặc. Không có sự nhất trí về việc các chùm tia hình thành chính xác như thế nào, song rõ ràng rằng bất cứ vật liệu nào thoát khỏi vùng lân cận của lỗ đen không gặp trở ngại khi thoát ra thẳng góc với đĩa.

Theo một số cách nào đó, các vùng bên trong đĩa bồi của lỗ đen giống như một em bé đang học ăn. Đôi khi thực phẩm có thể kết thúc bằng cách được phun trở ra ở mọi hướng khác nhau cũng nhiều như đi vào miệng của em bé. Cùng một cách như vậy, một số vật liệu xoáy vào trong về phía lỗ đen chịu một áp suất khổng lồ, và quay chung quanh với vận tốc khổng lồ. Dưới những điều kiện như vậy, các mô phỏng của chúng ta chứng tỏ rằng một lượng vật liệu đáng kể có thể bị hất tung ra ngoài – không quay trở lại dọc theo đĩa, ở đó nhiều vật liệu hơn đang chen chúc, nhưng mà ở trên và dưới đĩa. Nếu đĩa dày (vì nó có khuynh hướng như

thế khi rất nhiều vật liệu nhanh chóng rơi vào), nó có thể hướng vật liệu đang lao ra thành các chùm hẹp.

Hình trang sau mô tả các cuộc quan sát về một thiên hà êlip có động thái theo cách này một cách chính xác. Tại trung tâm của thiên hà hoạt động, có một vòng bụi và khí có đường kính khoảng 400 LY, bao quanh một lỗ đen có khối lượng 1,2 tỉ M_{Sun} . Các cuộc quan sát vô tuyến chứng tỏ rằng hai chùm tia nhô ra



Các mô hình của các đĩa bồi: Các bức vẽ dạng biểu đồ này mô tả đĩa bồi có thể trông như thế nào chung quanh các lỗ đen lớn. (a) Một đĩa bồi mỏng. (b) Một đĩa "béo" – kiểu mẫu cần thiết để giải thích cho sự chuyển hướng dòng chảy ra ngoài của vật liệu nóng thành các chùm tia hẹp có hướng thẳng góc với cái đĩa.

theo chiều thẳng góc với cái vòng, đúng như mô hình dự đoán.

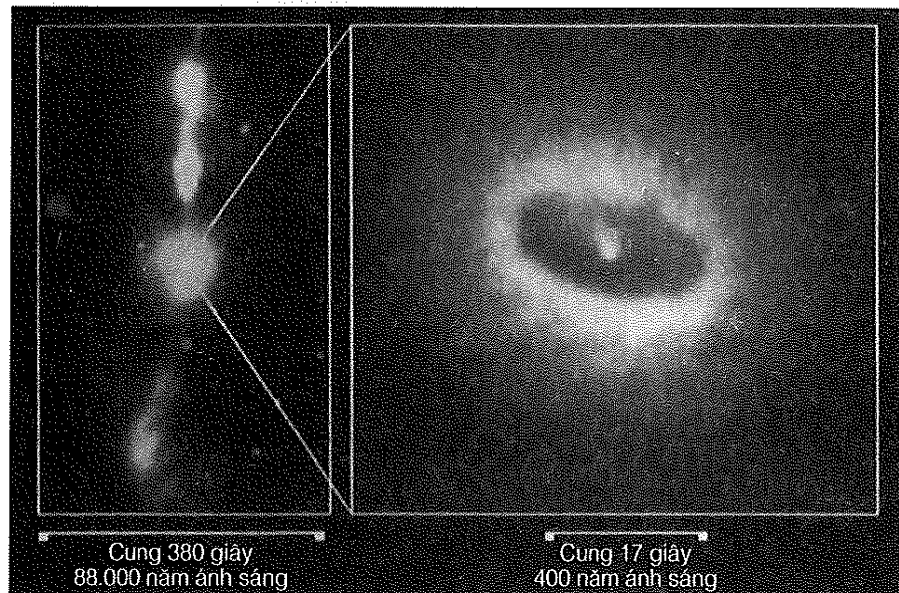
♦ SỰ TIẾN HÓA CỦA CÁC QUASAR

Có một sự kiện quan trọng khác về các quasar mà mô hình về lỗ đen có thể giải thích. Hãy nhớ lại rằng khi lần đầu tiên giới thiệu các quasar, chúng ta đã đề cập rằng chúng thường có khuynh hướng đi ra xa – và, thực vậy, là những vật thể xa nhất mà chúng ta có thể phát hiện trong vũ trụ. Kết quả này là rất thú vị, bởi vì khi nhìn thấy các vật thể cực kỳ xa xăm, chúng ta đang nhìn thấy chúng khi chúng tồn tại cách đây rất lâu. Bức xạ từ một quasar cách xa 8 tỉ LY đang nói cho chúng ta biết quasar ấy giống như thế nào cách đây 8 tỉ năm, gần hơn nhiều với thời gian thiên hà đã hình thành. Nếu có nhiều quasar xa hơn nữa,

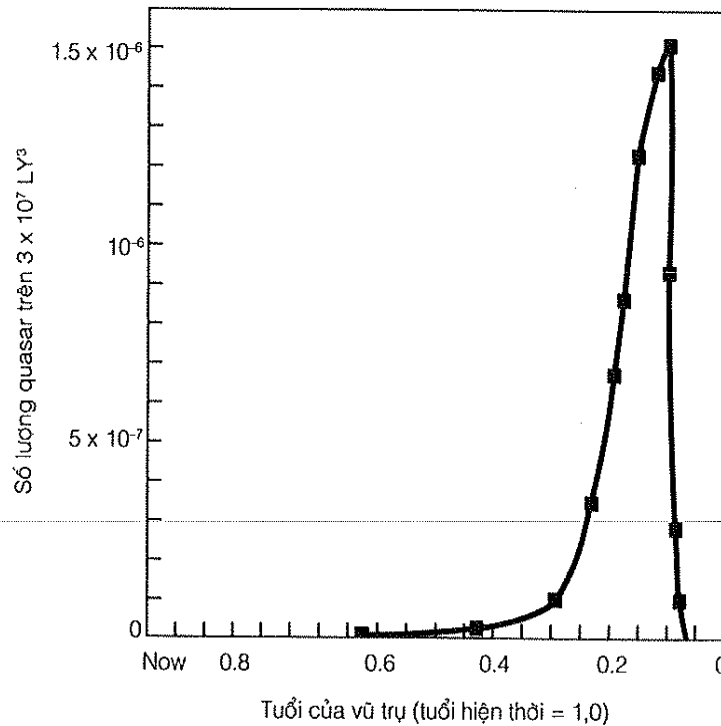
đã phải có nhiều quasar cách đây lâu hơn nữa – khi vũ trụ còn trẻ hơn.

Tổng số của quasar được hoàn tất gần đây với các sự dịch chuyển đỏ khác nhau chứng tỏ cho chúng ta khuynh hướng này thực sự gây ấn tượng. Số lượng quasar là lớn nhất vào thời điểm khi vũ trụ chỉ mới 20% độ tuổi hiện nay của nó.

Mô hình của chúng ta nói rằng các quasar là các lỗ đen với nhiên liệu đủ để hình thành một đĩa bồi rục sáng ngay xung quanh chúng. *Tại sao các quasar cách đây đã lâu (cách xa) có nhiều hơn chúng có ngày hôm nay (ở gần)?* Có lẽ trong thời kỳ niên thiếu của nó, một lỗ đen tại trung tâm thiên hà có thể tìm thấy dồi dào nhiên liệu. Nhưng có thể là sau đó, phần lớn nhiên liệu có sẵn đã bị tận dụng, và lỗ đen “đói ăn” ấy đã để lại rất ít nhiên liệu để thấp sáng các vùng trung tâm của thiên hà.



Các chùm tia và cái đĩa trong một thiên hà hoạt động: Hình bên trái mô tả thiên hà êlip hoạt động NGC 4261, được phân bố trong chòm sao Xử Nữ (Virgo). Bản thân thiên hà – vùng hình tròn màu trắng ở chính giữa – được mô tả theo cái cách nó trông thấy trong ánh sáng thường, trong khi các chùm tia được nhìn thấy với các bước sóng vô tuyến. Một bức ảnh của kính không gian Hubble về phần trung tâm của thiên hà được trình bày bên phải. Nó chứa một vòng bụi và khí có đường kính khoảng 400 LY, bao quanh một lỗ đen siêu khổng lồ. Lưu ý rằng các chùm tia ló ra khỏi thiên hà theo hướng thẳng góc với mặt phẳng của vòng bụi khí, phù hợp với các mô hình được mô tả trong hình ở trang trước.



Số lượng quasar khi chúng ta nhìn ngược về thời gian: Đồ thị này mô tả số lượng các quasar vào các thời điểm ngày càng sớm hơn nữa (nghĩa là, ngày càng xa hơn nữa). 0 tuổi (zero tuổi) tương ứng với sự khởi đầu của vũ trụ; 1 tuổi tương ứng với thời điểm hiện tại. Lưu ý rằng các quasar có nhiều nhất khi vũ trụ vào khoảng 20 phần trăm độ tuổi hiện tại của nó.

Nói cách khác, nếu vật chất trong đĩa bồi tiếp tục bị lấy đi bằng cách rơi vào lỗ đen hay bị thổi tung ra khỏi thiên hà theo dạng các chùm tia, một quasar có thể tiếp tục bức xạ miễn sao có sẵn chất khí để bổ sung cho đĩa bồi. “Thức ăn” dành cho lỗ đen này bắt nguồn từ đâu và nó có thể được bổ sung bằng cách nào?

Một khả năng đối với nguồn nhiên liệu đầu tiên là các chùm sao rất cô đặc hình thành gần trung tâm của các thiên hà.

Các ngôi sao này mất đi một số khối lượng trong quá trình tiến hoá bình thường của sao – nhờ các luồng gió sao và các vụ nổ siêu tân tinh – vật liệu phối hợp của chúng có thể cung cấp nhiên liệu cho lỗ đen. Nếu các ngôi sao tới quá gần với lỗ đen, cũng có thể các lực thủy triều đủ mạnh để xé các sao ra thành từng phần. Bất cứ vật liệu thô sơ nào (chất khí hay bụi) gần trung tâm của thiên hà cũng sẽ là một nguồn nhiên liệu thích hợp, và chúng ta hy vọng tìm thấy chất

khí trong các vùng trung tâm ban đầu trong cuộc đời của một thiên hà nhiều hơn so với sau này. (Hãy nhớ lại rằng cả các thiên hà elip và các bầu phình trung tâm của các thiên hà xoắn ốc ngày nay có rất ít vật liệu thô sơ còn sót lại).

Hơn nữa, như được gợi ý ở trên, một nguồn nhiên liệu khác có thể xuất phát từ các vụ va chạm của các thiên hà. Nếu hai thiên hà va chạm và hợp nhất, sau đó chất khí và bụi từ thiên hà này có thể đi tới đủ gần với lỗ đen trong thiên hà kia để bị nó “nuốt sống” và do đó cung cấp nhiên liệu cần thiết. Các nhà khoa học chỉ bắt đầu tìm hiểu những vụ va chạm của các thiên hà phổ biến tới mức nào. Sự nuốt chửng thiên hà này bởi thiên hà khác thậm chí có thể biểu hiện một cách thức khả thi rằng một quasar hay một thiên hà hoạt động có thể được *khởi động lại* rất lâu sau khi tất cả nhiên liệu cục bộ bị tận dụng hết.

Nếu tình huống này là đúng đắn, nói chung chúng ta sẽ nhìn thấy nhiều hơn

Việc khám phá ra các quasar vào đầu những năm 1960 là điều đầu tiên trong một loạt điều bất ngờ mà các nhà thiên văn học đã chuẩn bị sẵn. Trong vòng một thập niên, họ sẽ tìm ra các sao neutron (trong hình dạng của các pulsar), các dấu vết đầu tiên của các lỗ đen (trong nguồn tia X của hệ sao đôi), và ngay cả sự dội vô tuyến của bản thân Vụ Nổ Lớn (Big Bang). Nhiều khám phá mới vẫn nằm ở phía trước.

Như Maarten Schmidt đã hồi tưởng vào năm 1988, "Tôi tin điều này có một ảnh hưởng sâu rộng đối với cách ứng xử của những ai thực hành thiên văn học. Trước những năm 1960, có nhiều quan niệm độc đoán trong lãnh vực này. Các ý tưởng mới được bày tỏ tại các hội nghị sẽ bị phản xét ngay lập tức bởi các nhà thiên văn học kỳ cựu và bị phản đối nếu nó quá xa vời". Chúng ta đã thấy một thí dụ lý thú về điều này trong sự trở ngại mà Chandrasekhar gặp phải trong việc tìm kiếm sự chấp nhận cho các ý tưởng của ông về cái chết của các ngôi sao với phần nhân lớn hơn $1,4 M_{\text{sun}}$.

Schmidt nói tiếp, "Các khám phá của những năm 1960 là một tình trạng gây bối rối, theo ý nghĩa rằng chúng đã hoàn toàn không được mong đợi và không thể được đánh giá ngay tức

thời. Về phản ứng đối với các sự phát triển này, một thái độ đã tiến triển ở đó thậm chí các ý tưởng kỳ dị trong thiên văn học cũng được xem xét nghiêm túc".

Điều này không phải là nói rằng các nhà thiên văn học (là con người) không tiếp tục có những thành kiến và thiên vị. Thí dụ, một nhóm nhỏ các nhà thiên văn học đã nghĩ rằng các sự dịch chuyển đỏ của các quasar không có liên hệ với các khoảng cách của chúng (rõ ràng đó là quan điểm của thiểu số), thường cảm thấy bị loại trừ khỏi các cuộc hội nghị hay sự tiếp cận với các kính viễn vọng trong những năm 1960 và 1970.

Nhưng ngày nay, khi các thiết bị tân tiến hơn mang đến các giải pháp cho một số vấn đề và hoàn toàn soi sáng sự thiếu hiểu biết của chúng ta về những vấn đề khác, toàn bộ lãnh vực thiên văn học dường như mở rộng ra hơn để bàn luận về các ý tưởng khác thường. Dĩ nhiên, trước khi bất cứ giả thuyết nào trở nên được chấp nhận, chúng phải được kiểm chứng – lặp đi lặp lại nhiều lần – dựa trên chứng cứ mà vũ trụ tự tiết lộ. Tuy nhiên, nhiều đề xuất lạ lùng được công bố về vật chất tối chứng nhận sự công khai mới mẻ mà Schmidt đã trình bày.

các quasar cách đây rất lâu (cách xa hơn) – cũng như chúng ta thực sự nhìn thấy. Nếu chúng ta nhìn thấy một quasar hay một thiên hà hoạt động lân cận, chúng ta sẽ kiểm tra xem liệu nó đã có tham gia vào bất kỳ tai nạn lưu thông vũ trụ nào gần đây hay không. Và, quả thực, phần nhiều các quasar tương đối gần và vẫn-còn-hoạt-động có vẻ như bị bao bọc trong các thiên hà đã trải qua các vụ va chạm với các thiên hà khác. Chất khí và bụi từ các thiên hà khác này rõ ràng đã bị quét sạch bởi một lỗ đen nằm im lìm và đã cung cấp nguồn nhiên liệu mới cần thiết để kích thích nó.

Tuy nhiên, hầu hết các lỗ đen trong các thiên hà lân cận hiện nay tối đen và yên lặng – chỉ là những cái bóng của chính bản thân chúng trước đây. Không có những lượng lớn "thực phẩm", chúng chỉ tỏa sáng yếu ớt khi những vật liệu cục bộ ít ỏi xoáy tròn về phía lỗ đen.

Với mô hình này, chúng ta đã đi được một đoạn đường dài về phía sự hiểu biết các quasar và các thiên hà hoạt động mà dường như đã rất bí ẩn cách đây chỉ vài thập niên. Sự kết hợp các thiết bị tân tiến hơn (và do đó các cuộc quan sát tốt hơn) và các mô hình lý thuyết thích hợp hơn đã chứng tỏ rằng năng lực của

quasar là năng lực của lực hấp dẫn mạnh mẽ đang hoạt động.

18.4 CÁC THẤU KÍNH (CỦA LỰC) HẤP DẪN

Sự rực sáng và khoảng cách rộng lớn của các quasar khiến chúng trở thành những máy dò lý tưởng về những ranh giới xa xôi của vũ trụ. Giống như cây đèn pha rọi sáng những chướng ngại của biển khơi trong đêm tối, bức xạ từ các quasar xa xôi có thể phô bày cho chúng ta thấy những gì nằm giữa chúng và các kính viễn vọng.

Thí dụ, trong khi quang phổ của các quasar bị chi phối bởi các vạch bức xạ, một số quasar cũng thể hiện các vạch hấp thụ trong quang phổ. Tuy nhiên, các vạch hấp thụ này tiêu biểu có các sự dịch chuyển nhỏ hơn các vạch bức xạ làm nổi bật đặc điểm của quasar. Các vạch giống như vậy phát sinh trong các đám mây khí bên trong hay ở giữa các thiên hà. Các đám mây này gần với chúng ta hơn quasar, nhưng rất khó phân biệt trong những phương pháp khác. Bằng cách nghiên cứu chúng, các nhà thiên văn học có thể am hiểu về sự phân bố của vật liệu thô sơ trong vũ trụ tại các thời kỳ khác nhau.

Nhưng có một phương cách khác mà ánh sáng từ các quasar có thể bị ảnh hưởng về phương hướng của nó tới chúng ta. Thuyết tương đối tổng quát dự đoán ánh sáng sẽ bị lệch trong vùng phụ cận của một trường hấp dẫn mạnh. Điều này có thể xảy ra khi các tia sáng từ một quasar xa xăm đi qua gần một thiên hà khổng lồ cô đặc trên đường đi của nó tới Trái Đất và bị bẻ cong theo đủ hướng khác nhau. Các tính toán chứng tỏ rằng,

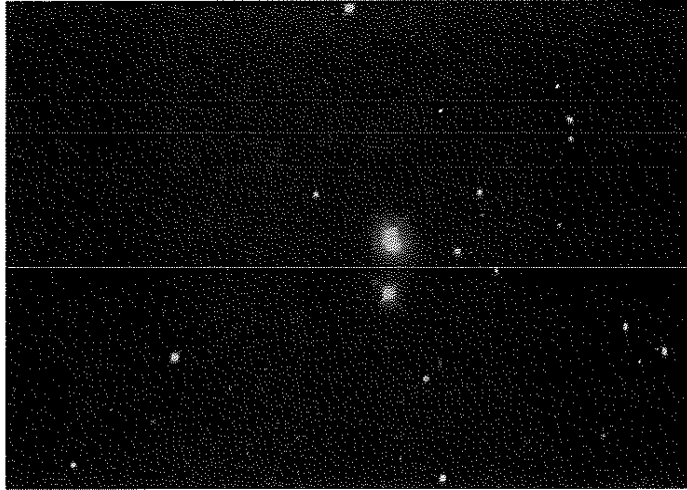
giống như sự phản xạ trong tấm gương làm biến dạng, sự bẻ cong như thế có thể tạo ra những hình ảnh lớn gấp bội hay vặn vẹo. Những hiệu ứng lạ lùng này (gọi là *sự bẻ cong ánh sáng của lực hấp dẫn* – gravitational lensing) cũng đã được quan sát.

✧ THẤU KÍNH HẤP DẪN ĐẦU TIÊN

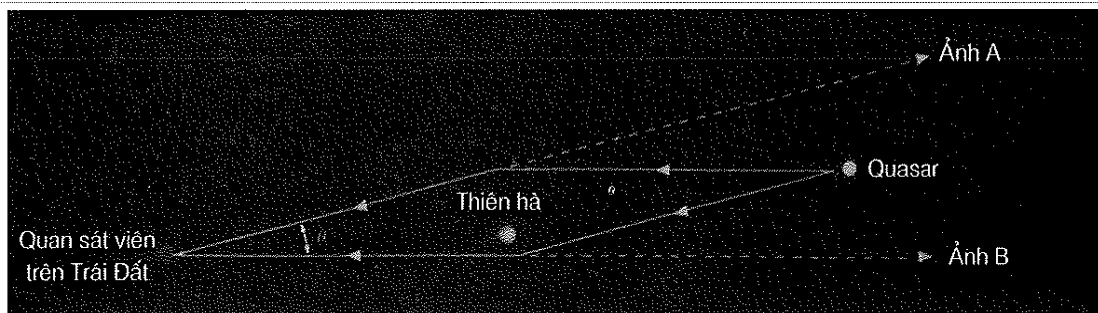
Năm 1979, các nhà thiên văn học Dennis Walsh, Robert Carswell, và Ray Weymann của Đại học Arizona nhận thấy rằng một cặp quasar, rất gần với nhau trong bầu trời và được biết qua cái tên QSO 0957+561 (những con số cung cấp các tọa độ của chúng trong bầu trời), có các quang phổ và các sự dịch chuyển đỏ giống hệt nhau. Các nhà thiên văn học đã gợi ý rằng hai quasar ấy có thể thực ra chỉ là một, và rằng hai ảnh ấy được tạo ra bởi một vật thể trung gian – một hiệu ứng được dự đoán bởi Einstein.

Ngày nay chúng ta biết rằng có một thiên hà mờ nhạt nằm ngay bên trên quasar thấp hơn trong hình ở trang sau. Thực vậy, thiên hà ấy rốt cuộc là thành viên của một chùm thiên hà nằm gần chúng ta hơn quasar. Hình dạng và khối lượng ước tính được của thiên hà đúng là thích hợp để tạo ra sự bẻ cong của lực hấp dẫn. Hình trang bên là một giản đồ mô tả hiệu ứng này.

Các thấu kính hấp dẫn (gravitational lenses) có thể tạo ra không chỉ các ảnh đôi mà còn nhiều ảnh, các cung, hay các vòng tròn. Một thí dụ nổi bật được mô tả trong hình mở đầu của chương này, trong đó chúng ta thấy các hình ảnh của một thiên hà bị biến dạng thành các vòng cung thanh mảnh bởi các chùm thiên hà ở tiền cảnh.



Quasar đôi QSO 0957+561: Một thiên hà khổng lồ hoạt động như một thấu kính hấp dẫn hình thành nhiều ảnh của một quasar nằm xa bên ngoài nó. Ở đây chúng ta thấy hai ảnh của chỉ một quasar xa xôi. Hai ảnh ấy là các vật thể giống như điểm sáng hiện ra trong đường gần như thẳng đứng gần trung tâm của bức hình. Thiên hà ở tiền cảnh đang tạo ra các ảnh xuất hiện ngay bên trên quasar.



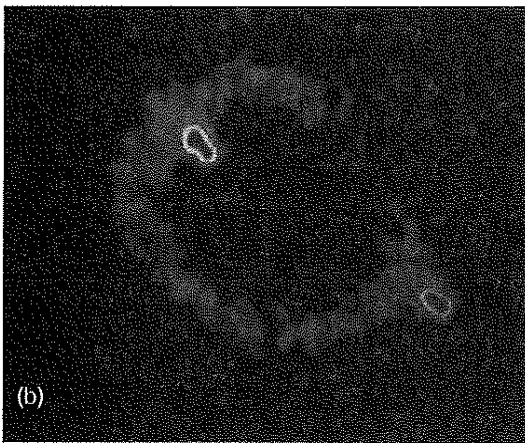
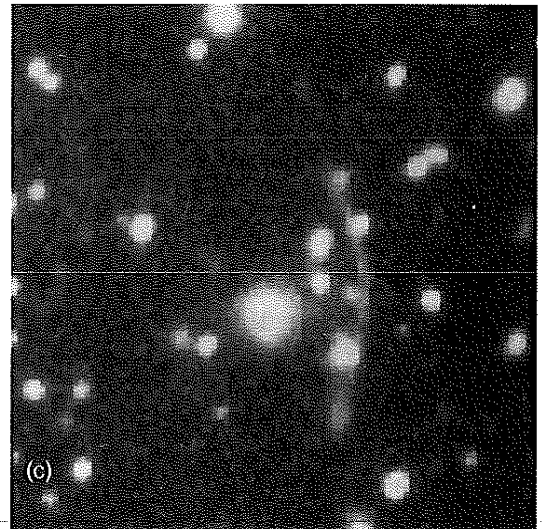
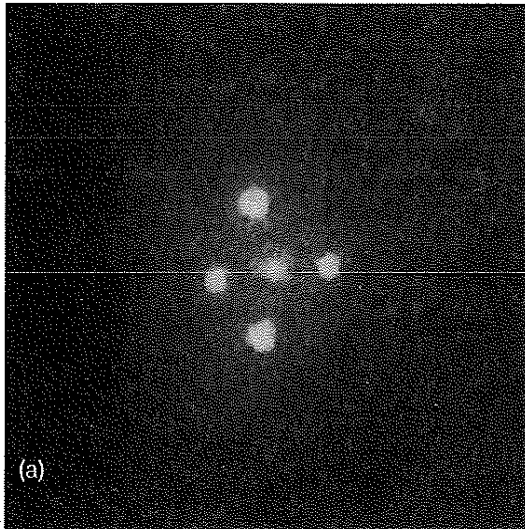
Sự bẻ cong ánh sáng của lực hấp dẫn: Sơ đồ này mô tả một thấu kính của lực hấp dẫn có thể tạo ra hai ảnh như thế nào, như trong Hình 18.20. Hai tia sáng từ một quasar xa xôi được mô tả đang bị bẻ cong trong khi đi qua một thiên hà ở tiền cảnh; sau đó chúng cùng nhau đi tới Trái Đất. Mặc dù hai chùm tia sáng chứa cùng một thông tin, hiện nay chúng có vẻ như đi tới từ hai điểm khác nhau trên bầu trời. Sơ đồ này là hết sức đơn giản và không theo tỉ lệ, nhưng nó cung cấp một ý tưởng khái quát về hiện tượng bẻ cong ánh sáng.

❖ CÁC THẤU KÍNH HẤP DẪN VÀ CUỘC TRUY TÌM VẬT CHẤT TỐI

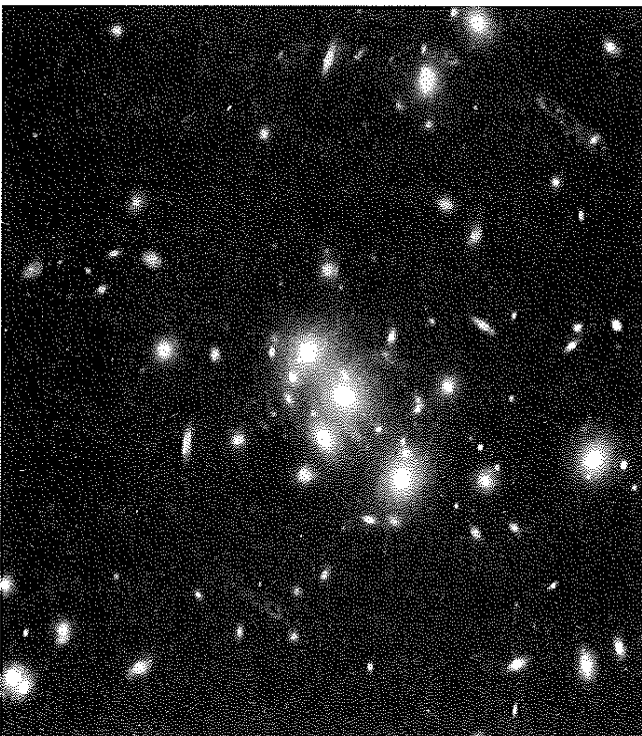
Các thiên hà được nhìn thấy không phải là những thấu kính hấp dẫn duy nhất. Các vùng tập trung của vật chất tối cũng có thể tiết lộ sự hiện diện của chúng do tạo ra hiệu ứng này.

Hình trang sau mô tả một chùm thiên hà ở tiền cảnh; nhiều hình oval (hình trái xoan), các vòng cung, và những phần vòng cung nhỏ cũng có thể được nhìn thấy. Mỗi vòng cung nhỏ là hình ảnh của một thiên hà rất xa mà hình dạng biểu kiến của nó bị vặn vẹo khi ánh sáng từ nó đi qua chùm thiên hà màu vàng ở tiền cảnh.

Những cung nhỏ này có thể được sử dụng để vẽ ra bản đồ toàn bộ khối lượng trong chùm thiên hà tiền cảnh – kể cả vật chất tối. Các bản đồ chứng tỏ rằng chùm thiên hà tiền cảnh chứa vật chất nhiều hơn gấp mười lần so với thực tế được nhìn thấy trong ánh sáng thường. Nếu ở đó không có vật chất tối, chúng ta sẽ thấy ít hơn ảnh bị biến dạng của thiên hà màu xanh ở hậu cảnh. Các nhà thiên văn học đang quan sát các ảnh của thấu kính trên khắp bầu trời để xác định vật chất tối được phân bố ở đâu và có nhiều tới mức nào. Các quan sát đã đưa ra sự ủng hộ mạnh mẽ cho ý tưởng rằng hầu hết khối lượng trong vũ trụ là ở dạng vật chất tối.



Một phòng trưng bày các thấu kính hấp dẫn: Số lượng và hình dạng của các ảnh đã qua thấu kính hấp dẫn tùy thuộc vào các vị trí tương đối của nguồn ở xa và thiên hà trung gian bẻ cong ánh sáng. Ba ảnh này mô tả một số khả năng. **(a)** Kính không gian Hubble tiết lộ bốn ảnh riêng biệt của cùng một quasar ở xa, một hình thể gọi là chữ thập Einstein. Quasar cách xa gần 8 tỉ LY. Một thiên hà (vật thể hơi lu mờ ở trung tâm) nằm ở khoảng cách 400 triệu LY được sử dụng như thấu kính hấp dẫn. **(b)** Nếu sự sắp hàng là đúng như vậy, một thấu kính hấp dẫn có thể biến đổi một điểm nguồn thành một vòng tròn, được gọi là vòng Einstein. Trong bản đồ vô tuyến này, được thực hiện với dãy kính viễn vọng VLA, một chùm thiên hà dày đặc tạo ra hai ảnh điểm và một ảnh vòng tròn của một thiên hà xa xôi. **(c)** Vòng cung màu xanh là một thiên hà xa xôi bị mờ nhòe bởi hiệu ứng bẻ cong ánh sáng của lực hấp dẫn của chùm thiên hà ở tiền cảnh.



Các vòng cung từ các thấu kính hấp dẫn: Ảnh này mô tả một chùm thiên hà có tác dụng như một thấu kính của lực hấp dẫn; nó làm biến dạng hình ảnh của một thiên hà rất xa nằm phía sau nó, tạo ra các vòng cung. Từ hình dạng và vị trí của các cung này, các nhà thiên văn học có thể ước tính được vật chất tối được chứa trong chùm thiên hà ở phía trước (hay tiền cảnh).

TÓM LƯỢC

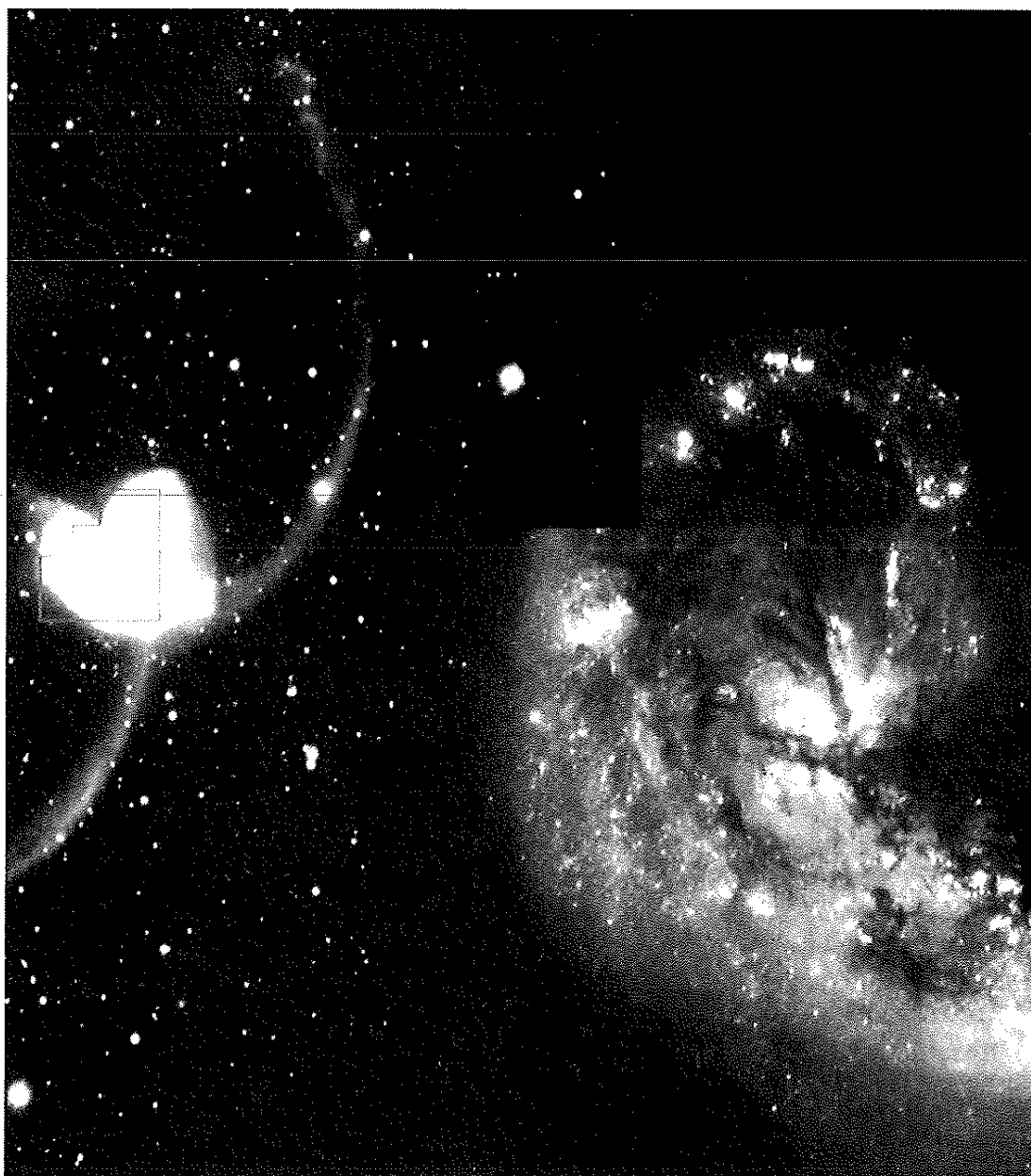
18.1 Các quasar đầu tiên được khám phá trông giống như các ngôi sao nhưng có bức xạ vô tuyến mạnh. Các quang phổ của quasar thu được từ trước cho đến nay thể hiện các sự dịch chuyển đỏ có phạm vi từ 15 tới hơn 95% tốc độ ánh sáng. Chứng cứ chứng tỏ rằng các quasar với các khoảng cách thật lớn được gợi ý bởi các sự dịch chuyển đỏ, và do đó chúng có độ trung lớn gấp 10 cho tới 100 lần độ trung của các thiên hà bình thường sáng hơn. Sự biến đổi của chúng chứng tỏ rằng hiệu suất năng lượng khổng lồ này được sinh ra trong một thể tích nhỏ bé – trong một số trường hợp, trong một vùng không lớn hơn hệ mặt trời chúng ta. Một số quasar là thành viên của các nhóm hay các chùm sao với cùng sự dịch chuyển đỏ như quasar. Các quan sát với kính Hubble chứng tỏ rằng các quasar nằm tại các trung tâm của các thiên hà. Các thiên hà xoắn ốc và thiên hà êlip đều chứa các quasar.

18.2 Hầu hết các nhà thiên văn học ngày nay quan sát các quasar như các kiểu mẫu cực xa của một loại thiên hà đặc thù sinh ra các lượng năng lượng lớn trong một *nhân thiên hà hoạt động* (active galactic nucleus) nhỏ bé. Các thiên hà Seyfert là một thí dụ về *các thiên hà hoạt động* (active galaxies) như thế. Một số thiên hà êlip khổng lồ cũng là các nguồn vô tuyến mạnh. Trong nhiều trường hợp, có các chùm tia bức xạ vô tuyến vươn rộng ra từ trung tâm hoạt động tới các vùng bức xạ vô tuyến được phân bố ở cả hai bên của thiên hà hay quasar. Các thiên

hà hoạt động có các độ trung trung gian giữa độ trung của các thiên hà bình thường và các quasar.

18.3 Nhân thiên hà hoạt động và quasar đều thu lấy năng lượng của chúng từ vật liệu rơi về phía một lỗ đen khổng lồ, và hình thành một đĩa bồi chung quanh lỗ đen này. Khối lượng của lỗ đen tiêu biểu vào khoảng 1/200 khối lượng của các sao trong thiên hà êlip hay chỗ phình hạt nhân bao quanh nó. Các quasar cách đây hàng tỉ năm phổ biến hơn nhiều so với hiện nay, và các nhà thiên văn học cho rằng chúng đánh dấu giai đoạn sơ khai trong sự hình thành của các thiên hà. Các quasar rất có khả năng là đang hoạt động khi vũ trụ còn trẻ và nhiên liệu dành cho các đĩa bồi và các chùm tia có sẵn nhiều hơn. Sự hoạt động của quasar có thể bị tái kích thích một cách rõ rệt do các vụ va chạm giữa các thiên hà; các vụ va chạm này cung cấp một nguồn nhiên liệu mới để “nuôi sống” lỗ đen.

18.4 Các quasar có thể được sử dụng như những cái máy dò các ranh giới xa xôi của vũ trụ. Thí dụ, các cuộc quan sát các quasar chứng tỏ rằng các hiệu ứng của *sự bẻ cong ánh sáng của lực hấp dẫn* (gravitational lensing) được dự đoán bởi thuyết tương đối tổng quát thực tế có xảy ra. Các thấu kính hấp dẫn có thể tạo ra đủ loại hình ảnh của quasar, kể cả các ảnh đôi và các vòng cung. Sự phân tích hiệu ứng bẻ cong ánh sáng của lực hấp dẫn có thể được sử dụng để xác định vật chất tối được phân bố ở đâu và tồn tại như thế nào. Các quan sát ủng hộ ý tưởng cho rằng hầu hết khối lượng trong vũ trụ ở dưới dạng vật chất tối.



Các thiên hà đang va chạm: Bên trái là ảnh của kính viễn vọng đặt trên mặt đất của hai thiên hà (NGC 4038 và 4039) đang va chạm nhau, đôi khi có biệt danh là Antennae. Những cái đuôi dài, sáng chói là vật liệu bị xé toang của các thiên hà bởi các lực thủy triều trong khi va chạm. Ảnh bên phải mô tả một quang cảnh của các vùng bên trong của hai thiên hà này được chụp bởi kính không gian Hubble. Các phần nhân của hai thiên hà là những đốm ở bên trái và bên phải của trung tâm bức ảnh. Hãy chú ý các làn bụi tối băng qua phía trước các vùng sáng. Chùm sao màu xanh sáng là kết quả của một vụ bùng nổ của sự hình thành sao được kích thích bởi vụ va chạm.

CHƯƠNG 20

VỀ BẢN ĐỒ VŨ TRỤ

“Nhưng tôi muốn chắc chắn về nơi chốn và thời gian của chúng ta, đó là một nhu cầu triết học”.

Vladimir Nabokov in Ada (1969, Vintage Books)

Với các khoảng cách xa nhất mà chúng ta có thể quan sát với các kính viễn vọng lớn nhất, vũ trụ giống như thế nào? Có phải nó chứa cùng các loại sao và thiên hà mà chúng ta nhìn thấy ở kế bên không? Có phải vũ trụ cách đây hàng tỉ năm cũng giống như nó bây giờ không?

Như những nhà du hành cẩn thận, chúng ta muốn biết rõ “nơi chốn và thời gian” của chúng ta trong hệ thống các sự vật ngày một lớn hơn này. Chúng ta sẽ khảo sát sự phân bố của các thiên hà trải qua hàng triệu và hàng tỉ năm ánh sáng, và cách thức mà các thiên hà đã thay đổi qua thời gian sống của vũ trụ.

Ngày nay, các nhà thiên văn học có những công cụ để thám hiểm vũ trụ hầu như ngược về thời gian nó đã bắt đầu. Các kính viễn vọng tân tiến khổng lồ được xây dựng hơn một thập niên vừa qua tạo điều kiện thuận tiện để thu thập được không chỉ các hình ảnh mà còn những quang phổ của các thiên hà rất xa và rất mờ nhạt. Các quang phổ của

chúng có thể cho chúng ta biết các sự dịch chuyển đỏ của chúng và do đó chúng cách xa bao nhiêu, cũng như chúng được cấu tạo bằng vật liệu gì và do vậy chúng đã hình thành khi nào.

Để hiểu được cách thức các thiên hà được phân bố trong không gian, chúng ta phải lập một bản đồ ba chiều về vị trí của chúng. Một ảnh chiều sâu được chụp với một kính viễn vọng lớn có thể cho chúng ta biết vị trí của một thiên hà nhất định nào đó trên vòm trời – nhưng đó chỉ là hai chiều chúng ta cần. Chúng ta cũng phải thu thập vị trí của thiên hà trong chiều thứ ba – phải đo đạc khoảng cách của nó đối với chúng ta, sử dụng sự dịch chuyển đỏ và định luật Hubble.

Việc tiến hành các phép đo về khoảng cách đối với một kiểu mẫu khá to lớn của các thiên hà là một trong những nhiệm vụ gay go nhất của thiên văn học hiện đại.

Khi nghiên cứu sự tiến hoá của toàn bộ các thiên hà, các nhà thiên văn học gần đây chỉ mới bắt đầu tiến bộ thực sự. Các trở ngại khó khăn là không thể

tin được. Trước hết, các thiên hà được hình thành từ các sao, và chính là chỉ sau khi sự tiến hoá của các sao riêng lẻ được hiểu rõ thì các nhà thiên văn học mới có thể bắt đầu khảo sát toàn bộ các hệ sao thay đổi theo thời gian như thế nào. Cách đây bốn mươi năm, bất kỳ nỗ lực nào nhằm mô tả sự tiến hoá của các thiên hà đều vô ích: Đơn giản là chúng ta đã không biết đầy đủ về lịch sử đời sống của các sao.

Trở ngại thứ hai trong sự nghiên cứu các thiên hà là chúng hết sức mờ nhạt. Cho tới gần đây, để nhìn thấy các sao riêng lẻ trong hầu hết các thiên hà hay để xác định hình dạng của các thiên hà xa nhất là điều cực kỳ khó khăn, thậm chí với các kính viễn vọng lớn. Do vậy việc đo đạc xem chúng thay đổi theo thời gian như thế nào chỉ trở thành khả thi khi các thiết bị có thể cho chúng ta biết những chi tiết của các thiên hà mờ nhạt với độ phân giải cao hơn. Ngày nay, các kính viễn vọng lớn trên mặt đất và các thiết bị như kính Hubble trong không gian đã làm cho một nhiệm vụ như thế trở thành khả thi.

Tuy nhiên, chúng ta phát hiện một lợi thế có sẵn trong việc nghiên cứu sự tiến hoá của thiên hà. Chính bản thân vũ trụ là một cỗ máy thời gian cho phép chúng ta quan sát các thiên hà xa xôi cũng như chúng cách đây rất lâu. Đối với các thiên hà gần nhất, thời gian mà ánh sáng cần để đi tới chúng ta là theo thứ tự một vài trăm ngàn năm cho tới một vài triệu năm. Nhưng khi chúng ta quan sát một thiên hà cách xa một tỉ năm ánh sáng, chúng ta đang nhìn thấy nó y như chính bản thân nó khi mà ánh sáng rời khỏi nó cách đây một tỉ năm. Bằng cách quan sát các vật thể ngày càng xa hơn, chúng ta luôn nhìn xa hơn ngược về một thời điểm mà các thiên hà và vũ trụ đều còn trẻ.

Trong chương này, trước hết chúng ta sẽ khảo sát các thiên hà được phân bố trong không gian theo cách nào, để biết được vũ trụ trông như thế nào. Sau đó chúng ta sẽ tìm chứng cứ cho chúng ta biết các thiên hà hình thành và thay đổi theo thời gian ra sao. Cuối cùng, chúng ta sẽ hoàn tất bản kiểm kê về hàm lượng của vũ trụ bằng cách trở lại vấn đề về vật



Di chuyển theo thời gian của vũ trụ: Ảnh phơi sáng lâu này, được thực hiện trong suốt 48 vòng quỹ đạo của Trái Đất với kính không gian Hubble, mô tả một khu vực nhỏ trong hướng của chòm sao Hercules (Vũ Tiên). Chúng ta có thể nhìn thấy các thiên hà cách xa từ 3 tới 8 tỉ LY, kể cả một loạt các thiên hà màu xanh mờ phổ biến hơn nhiều vào thời gian ban đầu so với chúng ngày nay.

chất tối bí ẩn – nó có nhiều bao nhiêu, nó ở đâu, và nó có thể là cái gì.

19.1 SỰ PHÂN BỐ CÁC THIÊN HÀ TRONG KHÔNG GIAN

Một khi các nhà thiên văn học đã chứng minh rằng các thiên hà là các hệ sao xa xăm giống như Dải Ngân Hà của chúng ta, họ bắt đầu thắc mắc về sự phân bố của chúng trong không gian. Họ tự hỏi, có phải các thiên hà bị cô lập với nhau, hay chúng tập hợp thành từng nhóm? Chúng ta đã biết rằng các thiên thể lân cận hiếm khi đi qua không gian một mình. Trái Đất là một trong chín hành tinh quay chung quanh Mặt Trời. Hơn phân nửa toàn bộ các sao được tìm thấy trong các hệ sao đôi hay sao ba, và phần lớn là thành viên của các chùm sao (hay quần tinh). Tất cả các sao hay các chùm sao trong Dải Ngân Hà được giữ gần nhau bởi lực hấp dẫn, quay chung quanh một trung tâm chung. Là một điều hợp lý khi thắc mắc liệu tính thống nhất gần gũi của vũ trụ này có duy trì trên qui mô lớn hơn hay không. Và nếu có, thì các nhóm thiên hà rộng lớn tới cỡ nào? Và nói chung, các thiên hà và các nhóm thiên hà được sắp xếp trong vũ trụ như thế nào? Thí dụ, phải chăng chúng có nhiều trong một hướng của bầu trời cũng như trong các hướng khác?

Edwin Hubble đã tìm thấy các câu trả lời đối với một số câu hỏi chỉ một vài năm sau khi lần đầu tiên ông chứng minh rằng các thiên hà khác tồn tại. Khi ông đã khảo sát các thiên hà trên khắp bầu trời, Hubble đã thực hiện hai cuộc khám phá hết sức quan trọng cho các công cuộc nghiên cứu về sự tiến hóa của vũ trụ.

✧ NGUYÊN LÝ VŨ TRỤ HỌC

Hubble tiến hành các cuộc quan sát của ông với những gì sau đó là các kính viễn vọng lớn nhất thế giới – các kính viễn vọng phản xạ 100 inch và 60 inch trên núi Wilson. Mặc dù các kính viễn vọng này có thể thăm dò các độ sâu vĩ đại, nhưng chúng chỉ có thể thăm dò trong các thị trường nhỏ bé. Để chụp hình toàn bộ bầu trời với kính viễn vọng 100 inch sẽ mất hàng ngàn năm. Vì thế ngược lại, Hubble lấy mẫu bầu trời ở nhiều vùng, cũng như Herschel đã thực hiện với máy đo sao của mình (xem Mục 16.1). Trong những năm 1930, Hubble đã chụp hình 1283 khu vực mẫu, và cẩn thận đếm số lượng ảnh của thiên hà.

Khám phá đầu tiên mà Hubble thực hiện là số lượng của các thiên hà nhìn thấy được trong mỗi khu vực của bầu trời là gần như bằng nhau. (Nói đúng hơn điều này chỉ chính xác nếu như ánh sáng từ các thiên hà xa xôi không bị hấp thụ bởi bụi trong Dải Ngân Hà, nhưng Hubble đã tiến hành các hiệu chỉnh đối với sự hấp thụ này).

Ông cũng đã nhận thấy rằng số lượng của các thiên hà gia tăng cùng với độ mờ, cũng như chúng ta sẽ hy vọng giá như mật độ của các thiên hà là gần như bằng nhau tại mọi khoảng cách đối với chúng ta.

Hãy hình dung bạn đang chụp hình nhanh trong một sân vận động chật cứng suốt buổi hoà nhạc đã bán hết vé. Những người ngồi gần bạn trông to lớn, do đó chỉ một vài người trong họ sẽ vừa khít với khung hình. Nhưng nếu bạn tập trung vào những người ngồi trong những hàng ghế ở phía bên kia của sân vận động, họ trông nhỏ đến mức nhiều người hơn sẽ vừa khít vào bức hình của

bạn. Nếu tất cả các bộ phận của sân vận động có cùng sự sắp xếp ghế ngồi như nhau, khi bạn trông thấy ngày càng xa hơn, bức ảnh của bạn sẽ trở nên chen chúc hơn cùng với nhiều người. Cùng một cách như vậy, khi Hubble ngắm nhìn các thiên hà ngày càng mờ hơn, ông đã nhìn thấy các thiên hà ngày càng nhiều hơn.

Những sự phát hiện của Hubble cực kỳ quan trọng, vì chúng chứng tỏ rằng vũ trụ là *đẳng hướng* và *đồng nhất* (isotropic and homogeneous) – nó trông như nhau ở mọi hướng, và một thể tích không gian rộng lớn với bất kỳ sự dịch chuyển đồ hay khoảng cách nhất định nào cũng giống như bất kỳ thể tích nào khác với sự dịch chuyển đồ ấy. Nếu là như vậy, thì khu vực nào của vũ trụ mà chúng ta quan sát được là không quan trọng (miễn sao đó là một phần khá lớn) – bất kỳ một khu vực nào đó sẽ trông thấy giống như các khu vực khác.

Nói cách khác, các kết quả của ông không chỉ đề xuất rằng vũ trụ hầu như giống nhau ở mọi nơi, ngoài những sự thay đổi theo thời gian, mà còn nêu ra rằng bộ phận mà chúng ta có thể nhìn

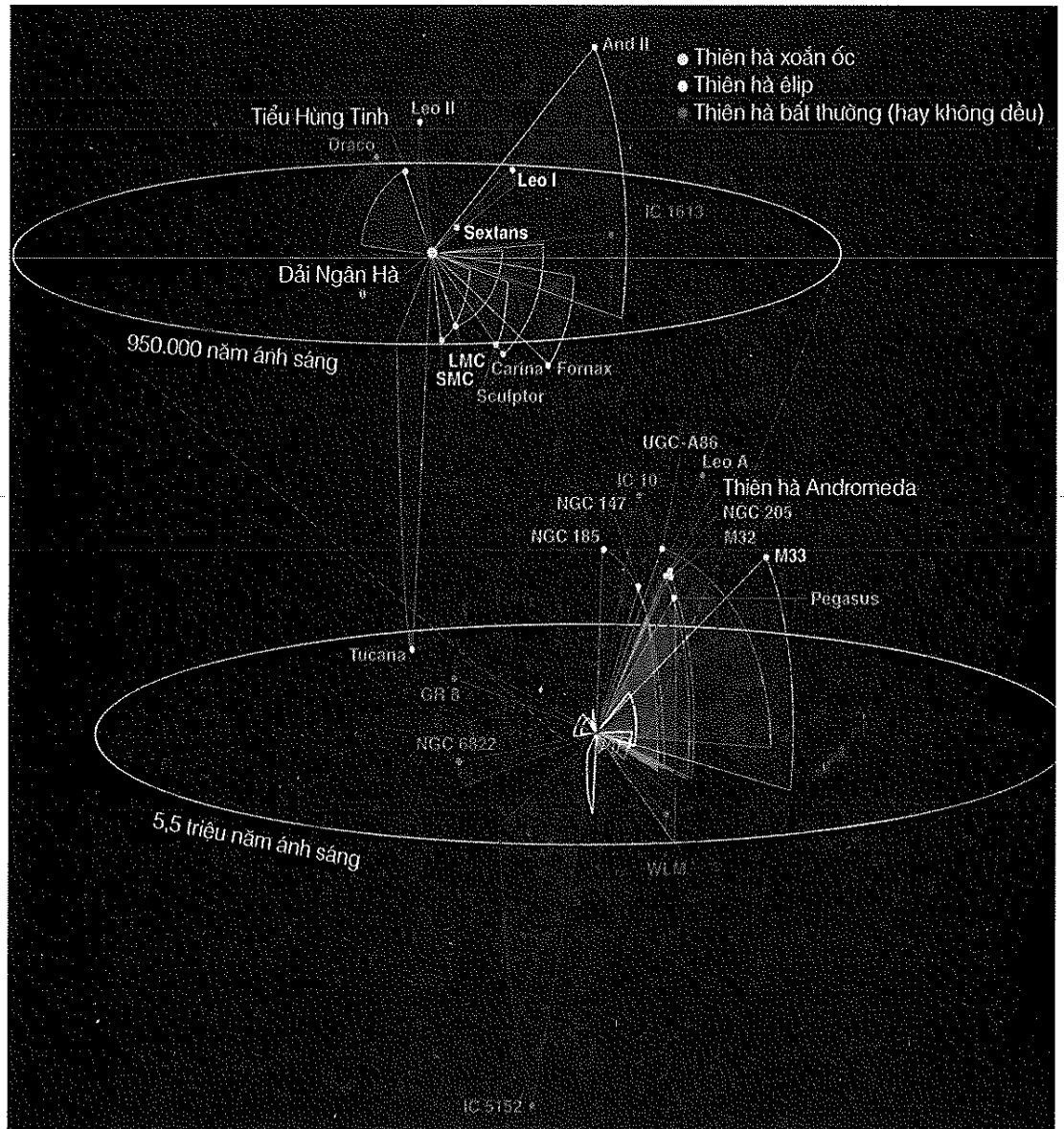
thấy chung quanh chúng ta, ngoài các sự khác biệt cục bộ qui mô nhỏ, là đại diện của cả toàn thể. Ý tưởng cho rằng vũ trụ giống nhau ở mọi nơi được gọi là *nguyên lý vũ trụ học* (cosmological principle) và là giả định sơ khởi đối với hầu hết mọi lý thuyết mô tả toàn bộ vũ trụ.

Không có nguyên lý vũ trụ học, chúng ta không thể tiến bộ chút nào trong việc nghiên cứu vũ trụ. Giả sử vùng lân cận địa phương của chúng ta khác thường ở một phương diện nào đó. Vậy thì chúng ta không thể hiểu biết nhiều hơn về vũ trụ giống như chúng ta bị bỏ rơi trên một hòn đảo ẩm áp ở vùng biển phía nam mà không có các thông tin bên ngoài và đang cố gắng tìm hiểu địa hình của Trái Đất. Từ vị trí thuận lợi bị hạn chế, chúng ta không thể biết rằng một số bộ phận của hành tinh bị bao phủ cùng với tuyết và băng, hay những lục địa rộng lớn tồn tại cùng với sự biến đổi về địa thế lớn hơn nhiều so với địa thế được tìm thấy trên hòn đảo.

Hubble chỉ đếm số lượng các thiên hà ở đủ các hướng khác nhau mà không biết hầu hết chúng ở cách xa bao nhiêu. Nhưng trong thập niên vừa qua, các



Thiên hà lùn mới được khám phá: Những ảnh này là của And VI, thiên hà lùn thứ sáu được khám phá gần thiên hà Andromeda. Khám phá này được công bố vào năm 1999, và nhiều thiên hà lân cận mới nữa có thể được phát hiện. Các thiên hà nhỏ bé này rất khó phát hiện bởi vì chúng xuất hiện như chỉ là một sự gia tăng nhẹ về mật độ của các sao trong số nhiều sao nên được nhìn thấy trong Dải Ngân Hà.



Đây là quang cảnh ba chiều của một số thành viên của Nhóm Cục Bộ của các thiên hà, với Dải Ngân Hà ở trung tâm. Quang cảnh tách vị trí ra theo tỉ lệ ở trên cùng mô tả vùng gần Dải Ngân Hà nhất. Ba thiên hà lớn nhất trong số ba tá thành viên của Nhóm Cục Bộ đều là thiên hà xoắn ốc; các thành viên khác là các thiên hà khác thường (hay không đều) nhỏ và các thiên hà êlip lùn. Một số thành viên mới của nhóm đã được phát hiện kể từ khi bản đồ được lập.

nhà thiên văn học đã đo đặc vận tốc và khoảng cách của hàng ngàn thiên hà, và do đó xây dựng được một bức tranh đầy ý nghĩa về cấu trúc vĩ mô của vũ trụ.

❖ NHÓM CỤC BỘ

Vùng vũ trụ mà chúng ta có các thông tin chi tiết nhất về nó, là vùng lân cận

cục bộ của chúng ta. Rốt cuộc Dải Ngân Hà là một thành viên của một nhóm nhỏ các thiên hà gọi là *Nhóm Cục Bộ*. Nó trải dài hơn 3 triệu LY và chứa hơn 40 thành viên. Có ba thiên hà xoắn ốc lớn (thiên hà chúng ta, thiên hà Andromeda, và thiên hà M33), hai thiên hà êlip trung bình, và nhiều thiên hà êlip lùn và khác thường (không đều đặn). Một danh sách

riêng về các thành viên của Nhóm Cục Bộ có trong Phụ Lục 10, và từ danh sách này, bạn có thể có một ý tưởng về các thiên hà này giống như thế nào.

Các thành viên mới của Nhóm Cục Bộ vẫn đang được khám phá. Một thiên hà lùn chỉ cách Trái Đất khoảng 80.000 LY và cách trung tâm Dải Ngân Hà khoảng 50.000 LY, gần đây được phát hiện trong chòm sao Sagittarius (chòm Nhân Mã). (Thiên hà lùn này thực ra đang mạo hiểm quá gần với Dải Ngân Hà lớn hơn nhiều và cuối cùng sẽ làm “miếng mồi ngon” cho nó). Một số các thiên hà lùn mới cũng đã được phát hiện gần thiên hà Andromeda. Các thiên hà lùn như thế rất khó phát hiện bởi vì chúng chứa tương

đối ít sao và rất khó phân biệt chúng với các sao nền trong Dải Ngân Hà.

Hình trang sau là một bức phác họa khái quát mô tả nơi các thành viên sáng hơn của Nhóm Cục Bộ được phân bố. Mức trung bình của những chuyển động của tất cả thiên hà trong Nhóm biểu thị rằng tổng số khối lượng là khoảng $5 \times 10^{12} M_{\text{Sun}}$. Một lượng đáng kể của khối lượng này ở dưới dạng vật chất tối.

✧ CÁC NHÓM VÀ CÁC CHÙM THIÊN HÀ LÂN CẬN

Nhóm Cục Bộ không phải là độc nhất vô nhị. Chúng ta tìm thấy các nhóm thiên hà khác tại mỗi thang khoảng



Thiên hà trong một nhóm lân cận: Thành viên này của một nhóm thiên hà lân cận, gọi là Dwingeloo I (theo vị trí của kính viễn vọng Dutch đã tìm thấy nó), được khám phá vào năm 1994. Nó cách xa khoảng 10 triệu năm ánh sáng. Thiên hà xoắn ốc nằm ở chính giữa bức hình. Các vật thể với các gai là các ngôi sao sáng trong Dải Ngân Hà đã được phơi sáng quá mức.



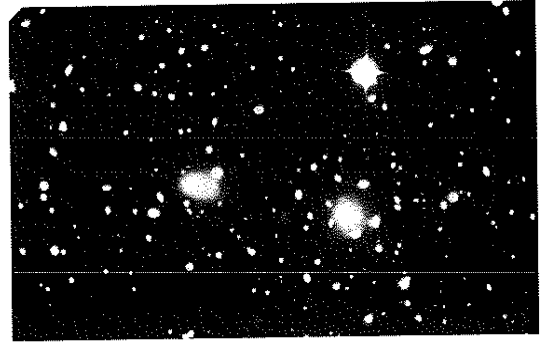
Vùng trung tâm của chùm thiên hà Virgo: Virgo là chùm thiên hà phong phú gần nhất và với khoảng cách chừng 50 triệu LY. Với hàng trăm thiên hà sáng của nó, Virgo là đặc điểm nổi bật của Chùm Siêu Thiên Hà Cục Bộ. Trong hình này bạn có thể thấy hai thiên hà elip khổng lồ, M84 và M86, cùng với một số thiên hà xoắn ốc.

cách mà chúng ta đã khảo sát. Để bắt đầu theo tính chất cục bộ, hình ở trang trước bên trái mô tả một thiên hà gọi là Dwingeloo I. Đã được khám phá vào năm 1994, là một bộ phận của một nhóm nhỏ cách xa khoảng 10 triệu LY.

Tuy nhiên, các nhóm nhỏ giống như nhóm thiên hà chúng ta rất khó nhận ra với các khoảng cách lớn hơn. May mắn thay, có nhiều nhóm đáng kể hơn nhiều gọi là *các chòm thiên hà* (Galaxy clusters). Các chòm thiên hà như thế được mô tả nghèo nàn hay phong phú tùy thuộc vào việc chúng chứa bao nhiêu thiên hà. Các chòm thiên hà phong phú chứa hàng ngàn hay thậm chí hàng chục ngàn thiên hà, phần lớn trong chúng hoàn toàn mờ nhạt và khó phát hiện.

Chòm thiên hà phong phú gần nhất được gọi là chòm Virgo, theo tên chòm sao trong đó nó được nhìn thấy. Nó cách xa khoảng 50 triệu LY và chứa hàng ngàn thành viên, trong đó một vài thành viên được mô tả trong hình trang trước bên phải. Thiên hà êlip khổng lồ (và rất năng động) M87, mà bạn đã biết trong chương trước, thuộc về chòm Virgo. Mặc dù M87 không được mô tả trong hình, hai thiên hà êlip khổng lồ khác trong chòm thiên hà này lại được mô tả.

Một thí dụ thú vị về một chòm thiên hà lớn hơn nhiều phức hợp Virgo là chòm Coma, với đường kính tối thiểu là 10 triệu LY. Nằm cách xa khoảng 250 tới 300 triệu LY, chòm thiên hà này tập trung vào hai thiên hà êlip khổng lồ mà độ trung của chúng tương đương khoảng 400 tỉ Mặt Trời. Hàng ngàn thiên hà đã được quan sát trong Coma, nhưng các thiên hà mà chúng ta nhìn thấy thì hầu như chắc chắn chỉ là một phần của những gì thực sự ở đó. Các thiên hà



Vùng trung tâm của chòm thiên hà phong phú Coma: Chòm thiên hà này nhận được cái tên ấy bởi vì nó có thể được nhìn thấy trong chòm sao Coma Berenices. Hai thiên hà nổi bật nhất trong ảnh này là những thiên hà êlip khổng lồ, và chúng có đặc điểm của các sao già. Hơn 10.000 thiên hà thuộc vào chòm thiên hà này. Các nhà thiên văn học hầu như không nhìn thấy những thiên hà xoắn ốc giống như Dải Ngân Hà trong các vùng trung tâm của chòm thiên hà phong phú này.

lùn quá mờ nhạt cho nên không được nhìn thấy với khoảng cách của Coma, song chúng ta hy vọng chúng có ở đó. Nếu chúng có, vậy thì Coma chắc chắn chứa hàng chục ngàn thiên hà. Tổng số khối lượng của chòm thiên hà này là khoảng $4 \times 10^{15} M_{\text{Sun}}$ (khối lượng đủ để tạo ra 4 triệu tỉ ngôi sao giống như Mặt Trời!).

Hiện giờ chúng ta đang bàn luận về số lượng qua đó ngay cả các nhà thiên văn học đôi khi cũng cảm thấy choáng ngợp. Chòm Coma có thể có 10, 20, hay 30 ngàn thiên hà, và mỗi thiên hà có hàng tỉ ngôi sao. Nếu chúng ta đang di chuyển với tốc độ của ánh sáng, bạn sẽ vẫn cần hơn 10 triệu năm (lâu hơn lịch sử của loài người) để đi ngang qua đám thiên hà khổng lồ này.

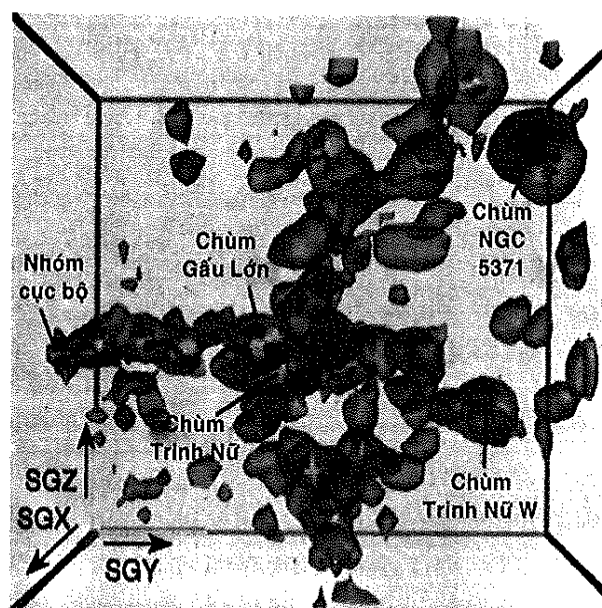
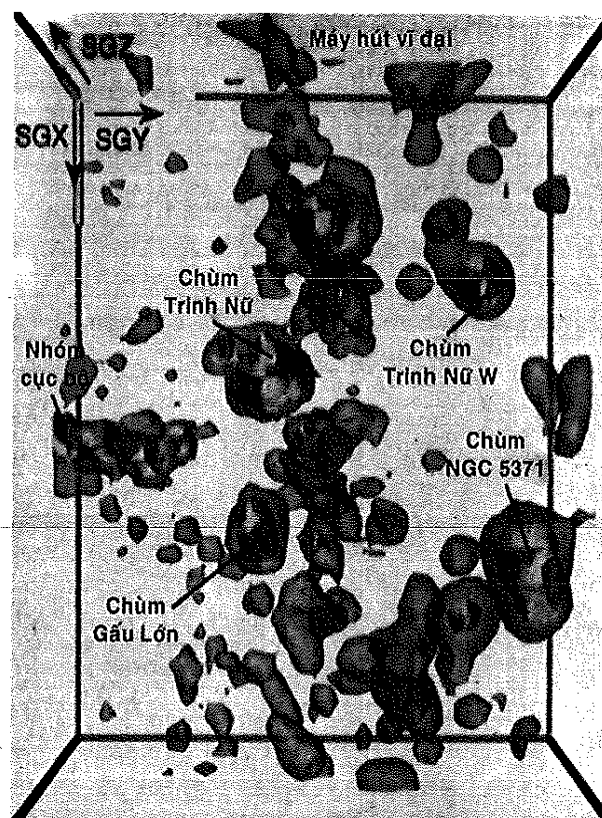
Và nếu bạn đã sống trên một hành tinh ở vùng ngoại vi của một trong số các thiên hà này, nhiều thành viên khác của chòm thiên hà sẽ đủ gần để trở thành cảnh tượng đáng chú ý trong bầu trời ban đêm của bạn.

Các chòm thiên hà phong phú thực sự chẳng hạn như Coma thường có một vùng tập trung cao độ các thiên hà gần trung tâm. Các thiên hà êlip khổng lồ xuất hiện trong các vùng trung tâm này, nhưng nếu có bất kỳ các thiên hà xoắn ốc nào được tìm thấy trong đó thì chỉ là một vài. Các thiên hà xoắn ốc vẫn tồn tại thường xuất hiện trong các vùng ngoại vi của các chòm thiên hà. Chúng ta có thể nói rằng các thiên hà êlip có tính “xã hội” cao: Chúng thường được tìm thấy từng nhóm, và rất thích “quanh quẩn, lảng vảng” với các thiên hà êlip khác trong tình trạng chen chúc. Mặt khác, các thiên hà xoắn ốc “mắc cỡ, e thẹn” hơn: Chúng rất có nhiều khả năng được tìm thấy trong các chòm thiên hà nghèo nàn hay trên các rìa mép của các chòm thiên hà phong phú.

✧ CÁC CHÙM SIÊU THIÊN HÀ VÀ CÁC KHOẢNG TRỐNG

Sau khi các nhà thiên văn học khám phá ra các chòm thiên hà, tất nhiên họ tự hỏi rằng liệu có các cấu trúc lớn hơn trong vũ trụ hay không. Các chòm thiên hà cũng tụ hợp với nhau không? Rốt cuộc là chúng tụ hợp, hình thành các cấu trúc vĩ mô mà chúng ta gọi là các *chùm siêu thiên hà* (superclusters). Và trong số các chùm siêu thiên hà mà chúng ta đã bắt đầu thoáng thấy các *khoảng trống* (voids) vĩ đại, là các khu vực trống rỗng hơn ở đó nếu bất kỳ các thiên hà nào có thể được tìm thấy chỉ là một vài.

Được nghiên cứu kỹ nhất trong số các chùm siêu thiên hà là Chòm Siêu Thiên



Chùm siêu thiên hà cục bộ: Chùm siêu thiên hà cục bộ bao phủ một thể tích không gian có đường kính hơn 100 triệu LY, và các ảnh này mô tả nơi các thiên hà được phân bố. Sử dụng máy tính, nhà thiên văn học Brent Tully đã vẽ bản đồ vùng tập trung các thiên hà từ hai phối cảnh khác nhau. Nhóm cục bộ ở tại vách bên trái trong mỗi trường hợp, và chòm Virgo ở trung tâm. Hãy chú ý rằng các thiên hà được tìm thấy trong các cụm và các nhóm nhỏ, trong khi phần lớn không gian trống rỗng.

Hà Cục Bộ (Local Supercluster). Có tên như thế bởi vì chúng ta là một phần của nó, thực ra chẳng có điều gì là “cục bộ” về nó. Với đường kính tối thiểu là 100 triệu LY và khối lượng khoảng $10^{15} M_{\text{Sun}}$, nó bao gồm Nhóm Cục Bộ các thiên hà của chúng ta cũng như chòm Virgo, nằm gần trung tâm của nó. Dải Ngân Hà nằm ở vùng ngoại vi của Chùm Siêu Thiên Hà Cục Bộ.

Có lẽ sự kiện gây ngạc nhiên nhất đã được tiết lộ bởi các nghiên cứu về Chùm Siêu Thiên Hà Cục Bộ là không gian hầu như trống rỗng. Hầu hết các thiên hà được tập trung vào các chòm thiên hà, và các chòm này chỉ chiếm khoảng 5% toàn bộ thể tích của không gian bị hạn chế trong phạm vi các ranh giới của chòm siêu thiên hà cục bộ. Đối với các chòm siêu thiên hà khác dường như thực sự cũng giống như vậy.

♦ CÁC LÁT CẮT CỦA VŨ TRỤ

Các thể tích không gian khổng lồ nằm bên ngoài Chùm Siêu Thiên Hà Cục Bộ. Khảo sát các vùng xa xôi này là một trong các dự án khó khăn nhất và tiêu tốn thời gian nhiều nhất trong thiên văn học, tuy nhiên nó cũng là một trong những bước đi quan trọng nhất để hiểu biết sự tiến hoá của vũ trụ. Bằng cách nào chúng ta có thể làm cho một nhiệm vụ như thế trở thành khả thi?

Tình huống này tương tự với tình trạng mà nhóm các nhà thám hiểm đầu tiên phải đương đầu trong một vùng đất khổng lồ, không được vẽ bản đồ trên Trái Đất. Bởi vì chỉ có một toán các nhà thám hiểm mà số lượng đất đai lại vô cùng lớn, họ phải quyết định lựa chọn nơi nào trước tiên để đi. Một chiến lược có thể được đề ra theo một đường thẳng để có được một

nhận thức về địa thế. Họ có thể, thí dụ, băng qua một số đồng cỏ hầu như trống trơn và kẻ đó đục phải một rừng cây dày đặc. Khi họ thực hiện hành trình xuyên qua rừng, họ biết được nó dày đặc như thế nào theo hướng mà họ đang di chuyển, không phải là chiều rộng của nó đối với bên trái hay bên phải của họ. Tiếp đến một con sông vắt ngang đường đi; khi lội qua, họ có thể đo được chiều ngang của nó nhưng không biết gì về chiều dài. Tuy nhiên, khi đi tiếp theo đường thẳng, họ bắt đầu có được một nhận thức nào đó về phong cảnh và có thể hình thành một phần của tấm bản đồ. Các nhà thám hiểm khác, đề ra theo các hướng khác, một ngày nào đó sẽ giúp ghi vào những phần còn lại của bản đồ ấy.

Các nhà thiên văn học phải tiến hành cùng một loại trong số các lựa chọn. Chúng ta không thể khảo sát vũ trụ ở mọi hướng, nhưng chúng ta có thể chọn ra một hướng duy nhất hay một lát cắt nhỏ của bầu trời và bắt đầu vẽ bản đồ các thiên hà. Margaret Geller, John Huchra, và các sinh viên của họ tại Trung tâm Vật lý thiên thể Harvard-Smithsonian (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics) đã nghiên cứu các lát cắt như thế trong gần hai thập niên; một biểu đồ bằng máy tính về các kết quả của họ được mô tả trong hình ở trang sau nữa. (Trong hình này, các vận tốc xuyên tâm của các thiên hà được xác định, nhưng theo định luật Hubble, khoảng cách tỉ lệ với vận tốc xuyên tâm). Các nhóm khác trên khắp thế giới đang tiến hành các cuộc thăm dò tương tự ở các hướng khác, và hàng chục ngàn thiên hà đã được vẽ bản đồ.

Mặc dù đây vẫn là một phần nhỏ không đáng kể của những gì ở ngoài xa,

Chào đời vào năm 1947, Margaret Geller là con gái của một nhà hóa học, đã khuyến khích bà quan tâm đến khoa học và giúp bà hình dung cấu trúc ba chiều của các phân tử.

Geller đậu cử nhân vật lý tại Đại học California ở Berkeley và trở thành người phụ nữ thứ hai nhận được bằng tiến sĩ vật lý từ Đại học Princeton. Ở đó, trong khi làm việc với James Peebles, một trong những nhà vũ trụ học hàng đầu, bà quan tâm đến các vấn đề liên quan tới cấu trúc vĩ mô của vũ trụ. Năm 1980, bà nghiên cứu tại Trung tâm Vật lý thiên thể Harvard-Smithsonian, một trong những tổ chức năng động nhất về công cuộc nghiên cứu thiên văn học. Geller và các cộng sự đã bắt đầu nhiệm vụ lâu dài và gian khổ để vẽ bản đồ các thiên hà.

Toán nghiên cứu của bà đã may mắn được tiếp cận kính viễn vọng phản xạ 60 inch trên núi Hopkins, gần Tucson, bang Arizona, ở đó họ tiếp tục ghi nhận các quang phổ để xác định khoảng cách của các thiên hà. Để có được một lát cắt của vũ trụ, họ hướng kính viễn vọng của mình về một vị trí nhất định trong bầu trời, và sau đó để cho sự xoay tròn của Trái Đất mang



Margeret Geller

các thiên hà mới vào trong thị trường. Theo cách này, họ đã đo đạc được các vị trí và các sự dịch chuyển của hơn 18.000 thiên hà, và lập ra đủ loại bản đồ. Các cuộc khảo sát của họ lúc bấy giờ bao gồm “những lát cắt” ở Bắc Bán Cầu và Nam Bán Cầu.

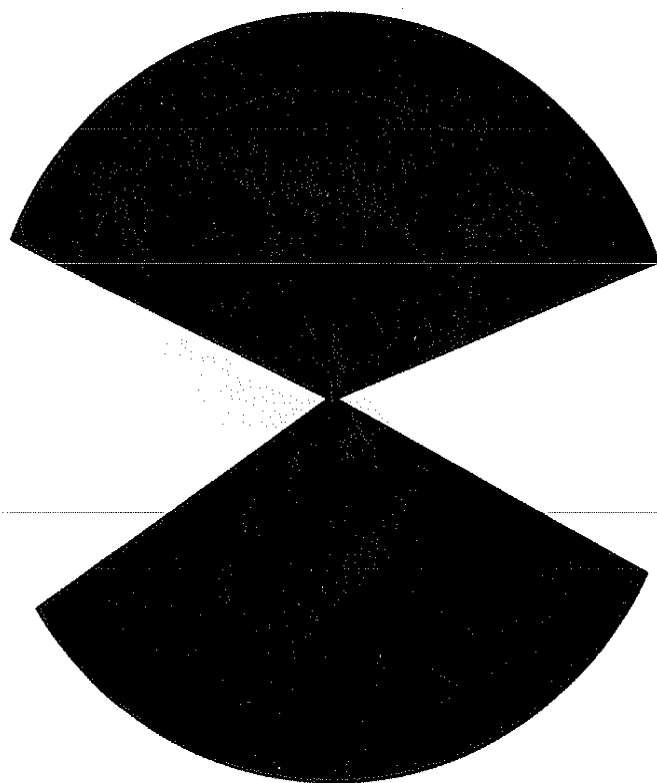
“Quả là phần khích để khám phá một điều mà không ai được nhìn thấy trước đây. [Là] một trong ba người từng nhìn thấy lát cắt ấy của vũ trụ... Chuyện này giống như Columbus... Không ai từng hy vọng một mô hình hấp dẫn đến như thế!” – Margaret Geller.

các cuộc khảo sát đầu tiên đã mang lại một sự bất ngờ lớn.

Sự bất ngờ là các thiên hà không được sắp xếp một cách đồng đều khắp vũ trụ, nhưng được tìm thấy trong các chùm siêu thiên hà khổng lồ có dạng hình sợi dài trông giống như những vòng cung vĩ đại của những vết mực bị tung toé ra ngang trang giấy. Một thí dụ gây ấn tượng về cấu trúc hình sợi, có biệt danh là “Vạn Lý Trường Thành” (Great Wall), được mô tả trong hình. Một mảng của các thiên hà tối thiểu dài 500 triệu LY, cao 200 triệu LY, và dày khoảng 15 triệu LY, Vạn Lý Trường Thành nằm cách xa Dải Ngân Hà của chúng ta trung bình khoảng 250

triệu LY. Khối lượng của nó được ước tính là $2 \times 10^{16} M_{\text{Sun}}$, một hệ số 20 lần lớn hơn khối lượng của Chùm Siêu Thiên Hà Cục Bộ (Local Supercluster).

Ngăn cách các sợi và các mảng là các khoảng trống, trông giống như những bong bóng trống rỗng khổng lồ bị bao quanh bởi các vòng cung vĩ đại của các thiên hà. Chúng có các đường kính tiêu biểu 150 triệu LY, cùng với các chùm thiên hà được tập trung dọc theo các vách. Toàn bộ sự sắp xếp của các sợi và các lỗ trống nhắc chúng ta nhớ tới một bồn tắm đầy các bọt xà bông, bên trong một tổ ong hay một khoanh phô-mai Thụy Sĩ với những cái lỗ rỗng thật lớn.



Hai lát cắt của vũ trụ: Bản đồ này mô tả sự phân bố của các thiên hà trong không gian như được nhìn thấy từ vị trí của chúng ta, nằm ở chính giữa nơi mà hai lát cắt gặp nhau. Bức hình bao gồm các vị trí dành cho 9325 thiên hà về phía các cực bắc và nam của Dải Ngân Hà mà các dịch chuyển đỏ đã được đo đạc. Các ranh giới bên trên và bên dưới của các góc cắt cách xa chúng ta khoảng 400 triệu năm ánh sáng (LY). Hãy chú ý vùng tập trung của các thiên hà trong những dải hay lần hẹp, với những khoảng trống lớn (một số rộng tới 150 triệu LY) ở giữa chúng. Chúng ta sẽ có được một sự phân bố tương tự nếu chúng ta lấy một lát cắt xuyên qua một tập hợp những cái bong bóng (hay bọt) của đủ loại kích thước. "Vạn Lý Trường Thành" (Great Wall) là một dải các thiên hà kéo dài từ trái sang phải ngang qua phần giữa của hình bên trên. Một bức tường tương tự ở phía nam chạy chéo ngang qua góc cắt phía nam.

Nếu bạn lấy một lát thích hợp hay một tiết diện ngang qua bất kỳ những thứ này, bạn sẽ thấy một điều gì đó trông đại khái giống như hình trên.

Trước khi các khoảng trống được khám phá, hầu hết các nhà thiên văn học có lẽ đã dự đoán rằng các vùng nằm giữa các chùm thiên hà khổng lồ được lấp đầy với nhiều nhóm thiên hà nhỏ, hay thậm chí cùng với các thiên hà riêng lẻ cô lập. Các cuộc truy tìm cẩn thận trong phạm vi các khoảng trống này đã phát hiện vài thiên hà của bất kỳ loại nào. Rõ ràng, 90% các thiên hà chiếm chưa tới 10% thể tích của không gian.

Nếu đã nghĩ về vũ trụ mở rộng, bạn có thể đang tự hỏi chính xác thì cái gì đang mở rộng? Chúng ta biết rằng các thiên hà và các chùm thiên hà được giữ lại với nhau do lực hấp dẫn và không mở rộng khi vũ trụ mở rộng. Tuy nhiên, các

khoảng trống cứ phát triển rộng hơn và các sợi di chuyển ra xa hơn.

Trong câu chuyện này, chúng ta đã không xét đến sự hiện diện của vật chất tối, có thể cấu thành một bộ phận lớn hơn nhiều của nhiều thiên hà so với vật chất mà chúng ta có thể phát hiện được. Chúng ta cũng chưa biết liệu các khoảng trống có chứa vật chất tối hay không. Chúng ta sẽ trình bày những gì mà các nhà thiên văn học đã am hiểu về vật chất tối trong Mục 19.4.

✧ CÁC LÝ THUYẾT VỀ CẤU TRÚC

Sự hiểu biết một cách chính xác về việc các thiên hà được phân bố như thế nào có thể cung cấp lý do tại sao chúng được phân bố theo cách ấy. Sự tồn tại của các sợi thiên hà lớn và các khoảng trống là một sự bí ẩn, bởi vì chúng ta có

chứng cứ rằng vũ trụ cực kỳ trơn nhẵn một vài trăm nghìn năm sau khi hình thành. Thách thức đối với các lý thuyết gia là tìm hiểu một vũ trụ trơn nhẵn đã thay đổi thành một vũ trụ phức tạp và dồn cục lổn nhổn mà ngày nay chúng ta nhìn thấy bằng cách nào.

Thí dụ, dựa vào dữ liệu mô tả các thiên hà được phân bố trên các thành của các cấu trúc giống như bong bóng, một số nhà thiên văn học lập luận rằng vật chất thường nằm bên trong các bong bóng và sau đó bị đẩy về phía các vách bằng một cách nào đó. Nhưng điều này có thể xảy ra như thế nào? Một khả năng là có các vụ bùng nổ khổng lồ trong vài tỉ năm đầu tiên của vũ trụ đã quét chất khí vào các lớp vỏ giống như bong bóng, và các thiên hà đã hình thành sau đó trong các lớp vỏ ấy. *Nhưng dù tài năng đến đâu, các nhà thiên văn học vẫn còn phải nghĩ ra một phương cách để mô tả các vụ nổ đủ mạnh giải thích những khoảng trống lớn nhất.*

Các cuộc quan sát với kính viễn vọng Keck đã tìm thấy chứng cứ về các cấu trúc giống như Vạn Lý Trường Thành (Great Wall) tại các khoảng cách vài tỉ năm ánh sáng – có nghĩa là các cấu trúc này đã có mặt cách đây hàng tỉ năm. Bởi vì bản thân vũ trụ chỉ vào khoảng 13 – 15 tỉ năm tuổi, các cuộc quan sát này chứng tỏ rằng các vùng tập trung dạng hình sợi rộng lớn của vật chất đã hình thành khi vũ trụ còn rất trẻ. Một số nhà lý thuyết lập luận rằng “các vạn lý trường thành” ban đầu đã hình thành khi vũ trụ chỉ mới một vài trăm ngàn năm tuổi. Tại thời điểm đó, chưa thiên hà nào có mặt, và do đó chính là các lượng chất khí vĩ đại tụ hợp lại trước tiên.

Khi vũ trụ mới một vài trăm ngàn năm tuổi, mọi thứ đều ở nhiệt độ một

vài ngàn độ. Các lý thuyết gia lập luận rằng tại thời kỳ ban đầu này, tất cả chất khí nóng đều đang dao động, giống như các sóng âm thanh tạo ra dao động trong không khí của phòng đọc sách của bạn – và điều này đã tập trung vật chất thành những đỉnh sóng với mật độ cao. Khi vũ trụ nguội đi, các vùng tập trung vật chất này bị “đông lại”, và cuối cùng các thiên hà đã hình thành từ vật chất trong các vùng mật độ cao này.

Nếu toàn bộ cấu trúc này tồn tại, liệu vũ trụ thực sự có thể được mô tả như là đồng nhất và đẳng hướng hay không? Câu trả lời có lẽ là có, với điều kiện là chúng ta xem xét các vùng của vũ trụ khá lớn bao gồm một số chùm siêu thiên hà, “các trường thành”, và các khoảng trống. Điều này tương tự như việc tiến hành một cuộc khảo sát về các thị trấn nhỏ và các không gian mở rộng. Nếu bạn sống trong một thị trấn và chỉ ngắm nhìn các ngôi nhà gần bạn nhất, quan điểm của bạn sẽ bị thiên lệch. Tương tự, nếu bạn sống trong một nông trại cô lập và chỉ ngắm nhìn vài mẫu đất gần nhất, bạn sẽ bỏ lỡ tất cả các sự vật diễn ra chỉ riêng trong các khu vực đô thị. Một cuộc khảo sát tiêu biểu phải nắm bắt đủ các vùng đất bao gồm các thành phố, các ngôi làng, các nông trại, và vùng quê bao la thoáng dang.

19.2 SỰ TIẾN HÓA CỦA CÁC THIÊN HÀ: CÁC CUỘC QUAN SÁT

Sau khi các nhà vẽ bản đồ đã lập bản đồ cho một thế giới mới, đó là thời điểm dành cho các nhà địa chất học. Họ sẽ mô tả các hình dạng của núi non và thung lũng và các địa hình, lấy mẫu để xác định đất đai được cấu tạo bằng

gì, và thực hiện các ước tính về tuổi của các đặc điểm đánh dấu phong cảnh và cố gắng xác định các quá trình – núi lửa, các kiến tạo địa tầng học,... đã tạo ra chúng.

Do đó, sau khi khám phá các thiên hà được phân bố ra sao khắp không gian, các nhà thiên văn học cũng giải quyết vấn đề về việc tìm ra các thiên hà bao nhiêu tuổi và xác định các quá trình vật lý nào đã hình thành sự tiến hoá của chúng.

✧ CÁC THIÊN HÀ ĐÃ HÌNH THÀNH KHI NÀO?

Khi kính không gian Hubble và kính viễn vọng khổng lồ Keck bắt đầu thực hiện các cuộc quan sát, các nhà thiên văn học đã có các dụng cụ mà họ cần để cố gắng tìm ra khi nào các thiên hà đã hình thành. Vấn đề quan trọng là liệu các thiên hà đã hình thành rất sớm sau khi vũ trụ đã bắt đầu – thí dụ, trong các tỉ năm đầu tiên – hay liệu phải mất nhiều tỉ năm để các thiên hà bùng sáng cùng với các ngôi sao.

Một phương cách để trả lời câu hỏi này là truy tìm các thiên hà rất xa. Nếu một thiên hà nằm ở khoảng cách 10 tỉ năm ánh sáng, chúng ta đang nhìn thấy nó khi nó cách đây 10 tỉ năm. Nếu chúng ta nghĩ rằng tuổi của vũ trụ là từ 13 đến 15 tỉ năm, thiên hà ấy đã phải hình thành không nhiều hơn từ 3 tới 5 tỉ năm sau khi vũ trụ bắt đầu. Nếu chúng ta cũng có thể tìm thấy các ngôi sao trong thiên hà ấy đã già 3 tỉ năm tuổi, thiên hà đã phải hình thành rất gần với sự khởi đầu của thời gian.

Trong một hay hai năm vừa qua, kỷ lục về các vật thể xa nhất được khám phá từ trước đến giờ đã thay thay đổi chủ (các thiên hà hay các quasar) vài lần. Những

gì đã gây ngạc nhiên cho các nhà thiên văn học chính là các thiên hà và quasar này rất cuộc xa đến như thế. Hiện nay chúng ta biết về một tá vật thể hay tương đương như thế đã tồn tại vào một thời điểm khi mà vũ trụ có tuổi chưa tới 10% so với nó hiện giờ. Điều đó có nghĩa là tối thiểu một số thiên hà có thể đã hình thành và tạo ra các ngôi sao trong vòng 1,5 tỉ năm đầu tiên sau khi vũ trụ bắt đầu mở rộng.

Một vấn đề thú vị là liệu ngày nay có các thiên hà thực sự còn trẻ hay không – nghĩa là, có bất cứ thiên hà nào đang hình thành trong thời đại của chúng ta không? Cho tới giờ, dường như rằng hầu hết các thiên hà ngày nay chứa tối thiểu một số sao già và do đó có lịch sử đi ngược về hàng tỉ năm. Đồng thời, chúng ta hiểu rằng nhiều thiên hà đã thay đổi về hình dạng và kích thước kể từ khi vũ trụ còn rất trẻ, như chúng ta sẽ thấy.

✧ CÁC QUANG PHỔ, CÁC MÀU SẮC VÀ CÁC HÌNH DẠNG

Để nghiên cứu sự tiến hoá của các dãy núi và các địa hình khác trên bề mặt của Trái Đất, các nhà địa chất học có lợi thế rất lớn là họ có thể lấy mẫu của các vật thể họ đang nghiên cứu. Các nhà thiên văn học phải dựa vào các phép đo được thực hiện về khoảng cách. Họ phải sử dụng thông tin từ các quang phổ, màu sắc, hình dạng, và số lượng các thiên hà vào các thời kỳ lịch sử khác nhau của vũ trụ để suy luận vũ trụ và các thiên hà đã tiến hoá như thế nào.

Quang phổ của một thiên hà cung cấp rất nhiều thông tin. Sự dịch chuyển đỏ có thể được sử dụng để ước tính khoảng cách của nó, và các nghiên cứu về sự quay của một thiên hà để tính ra khối lượng của

Trong thời kỳ của Edwin Hubble, quang phổ của các thiên hà phải được ghi nhận riêng rẽ tại từng thời điểm. Ánh sáng mờ nhạt của thiên hà xa xôi được thu thập bởi một kính viễn vọng lớn được đi qua một khe hở, và sau đó một phổ kế được sử dụng để tách biệt các màu sắc và ghi chép quang phổ. Đây là một quá trình khó nhọc, không thích hợp với các nhu cầu về các bản đồ vĩ mô đòi hỏi các sự dịch chuyển đỏ của hàng ngàn thiên hà.

Nhưng công nghệ tân tiến đã giúp đỡ các nhà thiên văn học. Cuộc khảo sát đầy tham vọng nhất về bầu trời hiện nay đang được tiến hành ở Rừng quốc gia Lincoln (Lincoln National Forest) trên đỉnh dãy núi Sacramento của bang New Mexico, nước Mỹ. Gọi là Cuộc khảo sát bầu trời kỹ thuật số Sloan, theo tên tổ chức đã cung cấp một phần tài trợ lớn, chương trình sử dụng một kính viễn vọng 2,5 mét (khoảng bằng với kính Hubble) như một camera thiên văn góc rộng. Trong suốt chương trình vẽ bản đồ 5 năm, các nhà thiên văn học sẽ sử dụng các máy dò ánh sáng bằng điện tử để chụp hình hơn 100 triệu vật thể, bao phủ một phần tư thiên cầu. Giống như nhiều dự án lớn lao trong khoa học hiện đại, cuộc khảo sát Sloan bao gồm các nhà khoa học thuộc nhiều tổ chức khác nhau, từ các trường đại học cho tới các phòng thí nghiệm quốc gia.

Khi ban đêm trời mát lạnh và trong trẻo, các nhà thiên văn học sẽ sử dụng thiết bị để chụp các hình ảnh ghi nhận vị trí và độ sáng của các thiên thể trong các hành trình lâu dài của bầu trời. Thông tin sẽ được ghi chép bằng kỹ thuật số như là một hồ sơ lưu trữ cho các thế hệ tương lai. Nhưng chỉ khi tầm nhìn thích hợp, kính viễn vọng sẽ được sử dụng để ghi nhận quang phổ của các thiên hà và các quasar – nhưng nó sẽ thực hiện tới 640 vật thể tại một thời điểm!

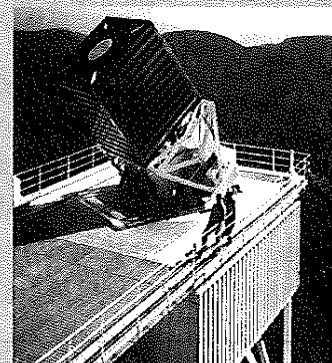
Chìa khoá đi tới thành công của dự án là một loạt các sợi quang học (optical fibers), những ống mỏng manh của thủy tinh dẻo có thể dẫn ánh sáng từ một nguồn tới một con chip điện tử ghi nhận quang phổ. Sau khi chụp hình một bộ phận bầu trời, và xác định các vật thể nào là thiên hà, các nhà khoa học của dự án sẽ khoan các lỗ trên

một tấm nhôm để gắn các sợi quang học tại vị trí của mỗi thiên hà. Sau đó kính viễn vọng sẽ được hướng về khu vực thích hợp của bầu trời, và các sợi quang học sẽ dẫn ánh sáng của mỗi thiên hà tới phổ kế dành cho những ghi nhận riêng biệt.

Khoảng một giờ là đủ cho mỗi tập hợp quang phổ, và các tấm nhôm được khoan lỗ sẵn có thể được thay đổi nhanh chóng. Do đó nó sẽ có thể ghi nhận nhiều tới 5000 quang phổ trong một đêm (miễn là thời tiết thuận lợi).

Sau năm năm, chúng ta sẽ có các quang phổ (và do đó các sự dịch chuyển đỏ và các khoảng cách) đối với hơn một triệu thiên hà và 100.000 quasar. Thông tin này sẽ dẫn tới một bản đồ về bầu trời toàn diện hơn so với đã từng có thể có và sẽ cho phép chúng ta kiểm chứng các ý tưởng về cấu trúc vĩ mô và sự tiến hoá của các thiên hà dựa vào hàng loạt dữ liệu thực tế gây ấn tượng.

Thông tin được ghi nhận bởi cuộc khảo sát bầu trời kỹ thuật số Sloan làm dao động trí tưởng tượng. Dữ liệu sẽ đi vào với 8 megabyte trong một giây (điều này có nghĩa là 8 triệu con số hay đặc điểm riêng biệt trong mỗi giây). Trải qua tiến trình của dự án, các nhà khoa học hy vọng ghi nhận hơn 15 terabyte hay 15 ngàn tỉ byte. Tổ chức và phân loại khối lượng dữ liệu này sẽ là một thách thức ghê gớm, ngay cả trong thời đại thông tin.



Kính viễn vọng của cuộc khảo sát bầu trời kỹ thuật số Sloan tại Đài thiên văn trên núi Apache (Apache Point Observatory) được nhìn thấy ở đây với toà nhà bảo vệ được lặn đi (hãy chú ý các đường rãnh ở hai bên hàng rào màu trắng) và vách ngăn gió hình hộp che chỗ cấu trúc của kính viễn vọng.

nó. Sự phân tích chi tiết về các vạch phổ có thể xác định được các loại sao nào cư trú trong một thiên hà, chúng được cấu tạo từ những nguyên tố nào, và liệu một thiên hà có chứa khối lượng lớn về vật chất giữa các vì sao hay không.

Nhiều thiên hà quá mờ nhạt đến nỗi sự thu gom cho đủ ánh sáng để tạo ra một quang phổ có thể đo đạc được là điều bất khả thi. Do vậy, các nhà thiên văn học phải sử dụng biến chỉ đường khái quát hơn nhiều để ước tính các loại sao nào cư trú trong các thiên hà mờ nhạt – màu sắc của chúng. Để hiểu rõ điều này, hãy nhớ rằng các sao xanh nóng chiếu sáng có thời gian sống chỉ một vài triệu năm. Nếu nhìn thấy một thiên hà rất xanh, chúng ta biết rằng nó phải có nhiều sao xanh nóng tỏa sáng, và sự hình thành sao đã phải xảy ra trong vài triệu năm vừa qua. Một thiên hà vàng hay đỏ, mặt khác, chứa đa số các sao già, đã hình thành hàng tỉ năm trước khi ánh sáng mà chúng ta hiện nay nhìn thấy được phát xạ.

Một mấu chốt quan trọng khác về bản chất của một thiên hà là hình dạng của nó. Như chúng ta đã thấy, các thiên hà xoắn ốc chứa các sao trẻ và những lượng lớn vật chất giữa các sao, trong khi các thiên hà êlip có đa số các sao già và rất ít vật chất giữa các sao. Các thiên hà êlip biến đổi hầu hết vật chất giữa các sao thành các ngôi sao cách đây nhiều tỉ năm, trong khi sự hình thành sao đã tiếp tục cho tới thời đại hiện nay trong các thiên hà xoắn ốc. Nếu chúng ta có thể đếm được số thiên hà của mỗi loại tồn tại trong mỗi thời kỳ của vũ trụ, điều đó sẽ giúp cho chúng ta hiểu rõ nhịp độ của sự hình thành sao thay đổi theo thời gian như thế nào. Kính viễn vọng Hubble đang được sử dụng để thu thập

hình ảnh của các thiên hà xa xôi, không bị làm lu mờ bởi khí quyển của Trái Đất, để xác định liệu các thiên hà trong vũ trụ xa xăm có trông giống như các thiên hà được nhìn thấy lân cận trong vũ trụ thời kỳ hiện tại.

♦ TUỔI VÀ THÀNH PHẦN CẤU TẠO CỦA THIÊN HÀ

Một trong các kết luận quan trọng nhất mà chúng ta có thể rút ra từ các cuộc quan sát các thiên hà là hầu như toàn bộ chúng đều rất già. Thí dụ, Thiên Hà của chúng ta chứa các quần tinh cầu với các sao tối thiểu là 13 tỉ năm tuổi, và một số có thể thậm chí già hơn thế. Dải Ngân Hà tối thiểu phải già bằng các ngôi sao già nhất trong nó.

Các nhà thiên văn học đã lần theo sự mở rộng của vũ trụ ngược thời gian và khám phá ra rằng bản thân vũ trụ không già hơn so với các sao trong các quần tinh cầu. Do đó dường như các ngôi sao trong quần tinh cầu thuộc Dải Ngân Hà đã phải hình thành trong một tỉ năm đầu tiên hay gần như thế sau khi sự mở rộng bắt đầu.

Các nhà thiên văn học đã sử dụng các quang phổ để xác định thành phần cấu tạo của một số thiên hà êlip ở cách thật xa đến độ ánh sáng mà chúng ta nhìn thấy từ chúng rời đi khi vũ trụ chỉ già bằng một nửa như nó hiện nay. Tuy nhiên các thiên hà êlip này chứa các sao đỏ già, đã hình thành hàng tỉ năm trước đó. Sự hình thành sao trong các thiên hà êlip có lẽ đã bắt đầu chưa tới một tỉ năm hay tương tự như thế sau khi vũ trụ bắt đầu, và các sao mới tiếp tục hình thành trong nhiều nhất một vài tỉ năm. Khi chúng ta so sánh các thiên hà xa xôi này với các thiên hà êlip gần hơn, hình như

các thiên hà êlip đã không thay đổi nhiều lắm kể từ khi vũ trụ đạt tới khoảng phân nửa độ tuổi hiện thời của nó.

Các nhà thiên văn học đã quan sát một số thiên hà tỏa sáng nằm cách xa đến độ ánh sáng mà chúng ta thấy hiện nay đã rời khỏi chúng khi vũ trụ chưa tới một phần mười độ tuổi hiện nay của nó – chỉ 1,5 tỉ năm hay tương tự như vậy sau khi bắt đầu. Tuy nhiên các quang phổ của các thiên hà này chứa các vạch của nguyên tố nặng, kể cả carbon, silicon, nhôm và lưu huỳnh. Các nguyên tố này không có mặt khi vũ trụ bắt đầu. Điều này có nghĩa là khi ánh sáng từ các thiên hà này được phát xạ, toàn bộ một thể hệ sao đã được sinh ra, đã sống qua cuộc đời của chúng, và đã chết đi – làm tuôn ra các nguyên tố mới được tạo ra bên trong chúng.

Chất khí trong các quasar xa xăm cũng chứa một số nguyên tố nặng hơn chẳng hạn như carbon, nitro, và oxy. Hãy nhớ từ chương trước rằng các quasar được tìm thấy trong trung tâm của các thiên hà. Vì thế, chúng ta một lần nữa kết luận rằng tối thiểu một thể hệ các sao trong thiên hà chung quanh quasar đã hoàn tất sự tiến hoá của chúng trước khi ánh sáng mà chúng ta nhìn thấy được phát xạ. Dựa vào các khoảng cách tới các quasar, điều này có nghĩa là các sao đầu tiên của chúng cũng phải đã hình thành khi vũ trụ chưa đầy một tỉ năm tuổi. Thực vậy, một số sao có thể đã bắt đầu trải qua các vòng đời của chúng trước khi các thiên hà được phát triển đầy đủ.

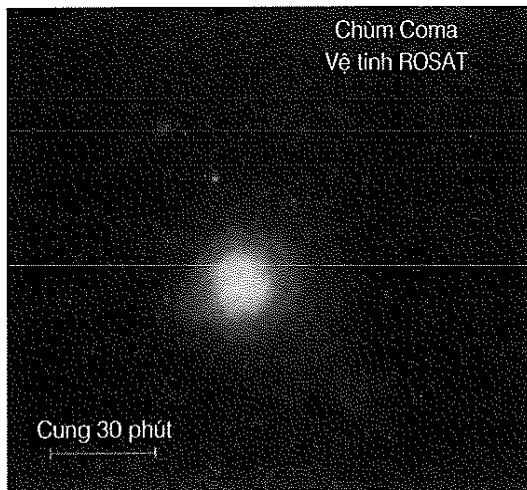
♦ SỰ HÌNH THÀNH SAO TRONG CÁC LOẠI THIÊN HÀ KHÁC NHAU

Sự tiến hoá của các thiên hà xoắn ốc và êlip khác biệt nhau về một chiều

hướng cơ bản. Trong kỷ nguyên hiện tại, sự hình thành sao đã dừng lại trong các thiên hà êlip. Ngay cả các sao trẻ nhất trong các thiên hà êlip cũng già hơn Mặt Trời. Tuy nhiên, sự hình thành sao trong các thiên hà xoắn ốc là một quá trình liên tục vẫn còn đang diễn ra ngay thời nay. Trong các thiên hà xoắn ốc với những nhánh nổi bật và những phần nhân nhỏ bé (các thiên hà xoắn ốc loại Sc), sự hình thành sao đã diễn ra với một mức độ hầu như bất biến qua suốt toàn bộ thời gian sống của thiên hà. Trong các thiên hà xoắn ốc với các phần nhân lớn và các nhánh xoắn ốc ít rõ rệt (các loại thiên hà xoắn ốc loại Sa), tốc độ hình thành sao đã suy giảm theo thời gian và hiện tại chỉ bằng một cho tới mười phần trăm của những gì nó là ban đầu trong cuộc đời của thiên hà.

Lý do mà sự hình thành sao đã dừng lại trong các thiên hà êlip là bởi vì loại thiên hà này chứa rất ít bụi hay chất khí. Vật liệu thô sơ để tạo ra các sao mới không có sẵn. Chất khí và bụi trong các thiên hà êlip đã đi về đâu? Phần lớn đã bị tiêu thụ rất nhanh trong sự hình thành sao của các thể hệ sao đầu tiên. Nhưng chỉ riêng sự hình thành sao sẽ không đủ hiệu quả để tiêu thụ tất cả chất khí và bụi đầu tiên hiện diện trong các thiên hà êlip. Trong bất kỳ trường hợp nào đi nữa, khi các sao tiến hoá, chúng đều mất đi khối lượng qua các cơn gió sao, bởi sự hình thành các tinh vân hành tinh, hay bởi sự bùng nổ. Trải qua tất cả các quá trình này, chúng tái tạo và bổ sung lại vật liệu giữa các sao trong thiên hà của chúng.

Cho nên chúng ta phải kết luận rằng có một cơ chế hiệu quả đã lấy đi chất khí và bụi ra khỏi các thiên hà êlip. Trong



Chùm Coma trong tia X: Trong ảnh này, được chụp với vệ tinh tia X ROSAT, có thể thấy một "đám mây" bức xạ tia X to lớn từ chất khí nóng trong Chùm Coma của các thiên hà. Hãy chú ý một đám mây nhỏ hơn gần dưới đây bên phải, có vẻ như là một cụm nhỏ hơn trong một tiến trình va chạm với Coma.

những năm gần đây, các nhà thiên văn học đã khám phá ra rằng các cụm thiên hà, đặc biệt là các cụm phong phú như cụm Coma chẳng hạn, thường là các nguồn của tia X. Các tia X này được tạo ra bởi chất khí nóng, với các nhiệt độ giữa 10 và 100 triệu độ, được phân bố giữa các thiên hà. Các phép đo chứng tỏ rằng chất khí nóng này đặc trưng hình thành một phần đáng kể về toàn bộ khối lượng của cụm thiên hà. Có thể rằng chất khí nóng giữa các thiên hà này ban đầu xuất phát từ các thiên hà êlip trong các cụm – các thiên hà hiện nay nghèo chất khí như là một kết quả chẳng? Chúng ta hãy nhìn vào chứng cứ.

Các vạch trong quang phổ tia X chứng tỏ rằng chất khí nóng bao quanh các thiên hà trong một cụm thiên hà không chỉ là khí hydro và helium, thành phần mà chúng ta sẽ hy vọng nếu như chất khí là *nguyên thủy* (primordial) – nếu nó là vật liệu thô sơ từ đó các thiên hà trong cụm đầu tiên đã hình thành. Trái lại,

Tại sao các thiên hà va chạm và các sao hiếm khi va chạm?

Chúng ta đã nhấn mạnh các khoảng cách lớn giữa các vật thể trong không gian. Do đó bạn có thể đã ngạc nhiên khi nghe nói về các vụ va chạm thường xuyên giữa các thiên hà trong một cụm thiên hà phong phú. Tuy nhiên (ngoại trừ ở tại chính các phần nhân của các thiên hà) chúng ta đã không lo lắng gì cả về các sự va đụng của các sao. Tại sao có sự khác biệt như thế?

Lý do là các ngôi sao quá nhỏ bé so với khoảng cách giữa chúng. Hãy lấy Mặt Trời làm thí dụ.

Mặt Trời rộng khoảng 1,4 triệu km, nhưng cách xa vì sao gần nhất khoảng 4 năm ánh sáng, hay khoảng 38 ngàn tỉ km. Nói khác đi, Mặt Trời nằm cách láng giềng gần nhất là 27 triệu lần đường kính của nó. Đây là đặc trưng của các sao không nằm trong bầu hạt nhân của một thiên hà, hay bên trong các cụm sao. Chúng ta hãy so sánh điều này với khoảng cách của các thiên hà.

Đĩa thấy được của Dải Ngân Hà có đường kính khoảng 100.000 năm ánh sáng. Có ba thiên hà vệ tinh nằm cách xa chúng ta chỉ một hay hai lần đường kính của Dải Ngân Hà (và chúng ta đã thấy rằng các thiên hà này cuối cùng sẽ va chạm với chúng ta). Thiên hà xoắn ốc vĩ đại gần nhất là M31, cách xa khoảng 2,4 triệu năm ánh sáng. Vì thế đại thiên hà láng giềng gần nhất chỉ cách xa 24 lần đường kính thiên hà của chúng ta. (Và thậm chí điều đó không xét đến việc tất cả các thiên hà có thể có một quang vật chất tối lớn hơn nhiều!)

Các thiên hà trong các cụm thiên hà phong phú thậm chí gần nhau hơn các thành viên của Nhóm Cục Bộ. Do đó, cơ hội để các thiên hà va chạm nhau là lớn hơn nhiều so với cơ hội của các sao trong cái đĩa của một thiên hà đang va chạm. Và chúng ta sẽ lưu ý rằng sự khác biệt giữa khoảng cách của các thiên hà và các sao cũng có nghĩa là khi các thiên hà va chạm nhau, các sao của chúng có thể đi qua lẫn nhau giống như các con tàu trôi qua không hề hay biết trong đêm tối.

chất khí nóng chứa các nguyên tố nặng dường như có cùng tỉ lệ như được tìm thấy trong Mặt Trời. Điều này có nghĩa là chất khí về một phương diện nào đó đã phải đi qua các phần bên trong của các vì sao, ở đó các nguyên tố nặng đã được tạo ra.

Trong Chương 14, chúng ta biết rằng các sao khổng lồ không chỉ tạo ra đủ loại các nguyên tố nặng hơn trong cuộc đời của chúng, mà chúng còn có “nhã ý” tự bùng nổ và tái sinh chúng thành chất khí trong các sao. Do vậy qua hàng tỉ năm, chất khí *bên trong các thiên hà*, một cách tự nhiên, hình thành các vùng tập trung ngày càng gia tăng của các nguyên tố nặng hơn. Nhưng thế thì chất khí này đã đi ra ngoài các thiên hà chủ trong các chòm thiên hà phong phú chẳng hạn như Coma như thế nào?

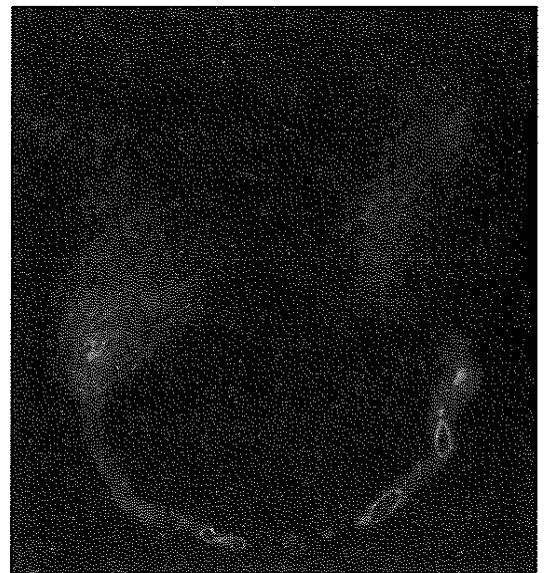
Giải pháp cho điều bí ẩn này là các thiên hà trong các chòm có thể *va chạm* với nhau. Các thiên hà trong các chòm phong phú (và đông đúc) có rất nhiều khả năng va chạm hơn các thiên hà trong các vùng “dân cư” sao thưa thớt hơn chẳng hạn như Nhóm Cục Bộ. Hậu quả của những vụ va chạm như thế là để tuôn trào chất khí ra ngoài tất cả các thiên hà, cho phép nó thoát vào không gian xung quanh.

Hơn nữa, các thiên hà trong một chòm đang chuyển động chung quanh trọng tâm của nó (giống như các sao và các quần tinh trong Dải Ngân Hà đang chuyển động chung quanh trung tâm của nó). Khi các thiên hà rẽ qua chất khí giữa các thiên hà bao quanh – với tốc độ lên tới hàng ngàn kilômét trong một giây – tuy nhiên thêm nhiều chất khí vẫn bị tuôn ra khỏi chúng. Hình bên mô tả một thí dụ lý thú về một thiên hà với các chòm tia

lông gió làm liên tưởng tới một tay đua xe đạp có bộ tóc dài chạy thật nhanh trong một buổi chiều nhiều gió. Các vụ nổ siêu tân tinh cũng có tác dụng trong việc xua đuổi chất khí ra khỏi thiên hà.

Việc lấy đi vật chất giữa các sao ra khỏi các thiên hà không chỉ làm tăng lượng chất khí giữa các thiên hà, mà còn làm giảm lượng chất khí trong phạm vi mỗi thiên hà. Khi thời gian trôi qua, các thiên hà có vật liệu ngày càng ít hơn để hình thành các sao mới. Chất khí bị quét ra vẫn còn nóng bởi vì các thiên hà tiếp tục di chuyển qua nó với các tốc độ lên tới hàng ngàn kilômét trong một giây, khuấy động và nung nóng nó.

Hãy lưu ý rằng các ý tưởng này cũng giải thích tại sao các thiên hà xoắn ốc không được tìm thấy trong các trung tâm của các chòm thiên hà phong phú – đơn giản là chúng không thể tồn tại qua các vụ va chạm thường xuyên với cấu trúc



Ảnh vô tuyến của Thiên hà NGC 1265: Thiên hà này được phân bố trong chòm Perseus và đang di chuyển với vận tốc khoảng 2000 km/s qua chất khí nóng ngập tràn khắp chòm sao. Giống như một con thuyền để lại đường rẽ nước trong một con sông, các chòm tia (dài khoảng 60.000 năm ánh sáng) bị quét ra phía sau do sự chuyển động của thiên hà xuyên qua chất khí.

mỏng manh dễ vỡ của chúng mà còn nguyên vẹn. Các vụ va chạm trong các chùm thiên hà phong phú không chỉ xua đuổi chất khí ra khỏi các thiên hà, mà chúng còn có khuynh hướng phá hủy các nhánh xoắn ốc. Cuối cùng, chỉ có những thiên hà tròn và không có nét đặc biệt chứa hầu hết các sao già là còn lại, và thực sự, các thiên hà như thế là tất cả những gì chúng ta nhìn thấy gần các trung tâm của các chùm thiên hà phong phú.

Trong các chùm thiên hà nghèo nàn, mặt khác, các cơ hội va chạm và tốc độ mà các thiên hà di chuyển kém hơn một cách đáng kể. Kết quả là sự lấy đi chất khí diễn ra ít hơn nhiều, và các thiên hà xoắn ốc trong các nhóm thiên hà nhỏ hơn này được tìm thấy nhiều hơn. Ở đây, một lần nữa chúng ta gặp gỡ ý tưởng đã được giới thiệu trong Chương 17 – rằng hình dạng bề ngoài của một thiên hà không chỉ tùy thuộc vào việc nó được ra đời bằng cách nào, mà còn tùy thuộc vào những sự tương tác với các thiên hà khác trong môi trường xung quanh của nó.

Các thiên hà xoắn ốc, chẳng hạn như Dải Ngân Hà và thiên hà Andromeda, đã xoay sở để giữ lại chất khí và bụi của chúng bởi vì chúng nằm trong những khu vực không gian tương đối cô lập, ở đó mật độ của chất khí giữa các thiên hà quá thấp cho nên không quét sạch được. Nói cách khác, chúng ta có được cấu trúc xoắn ốc thanh nhã của chúng ta trong một chừng mực nào đó là nhờ sự kiện rằng chúng ta sống trong một vùng lân cận thưa thớt.

❖ CÁC THIÊN HÀ VA CHẠM: SÁP NHẬP VÀ “TỤC ẼN THỊT ĐỒNG LOẠI”

Chúng ta đã thấy rằng các sự va chạm giữa các thiên hà đóng một vai trò quan

trọng trong việc xác định các thiên hà tiến hoá như thế nào. Trong suốt hai thập niên, các nhà thiên văn học đã khám phá ra bằng chứng về những sự va chạm như thế ở khắp cả vũ trụ. Chúng ta hãy xem xét những gì xảy ra khi hai thiên hà va chạm.

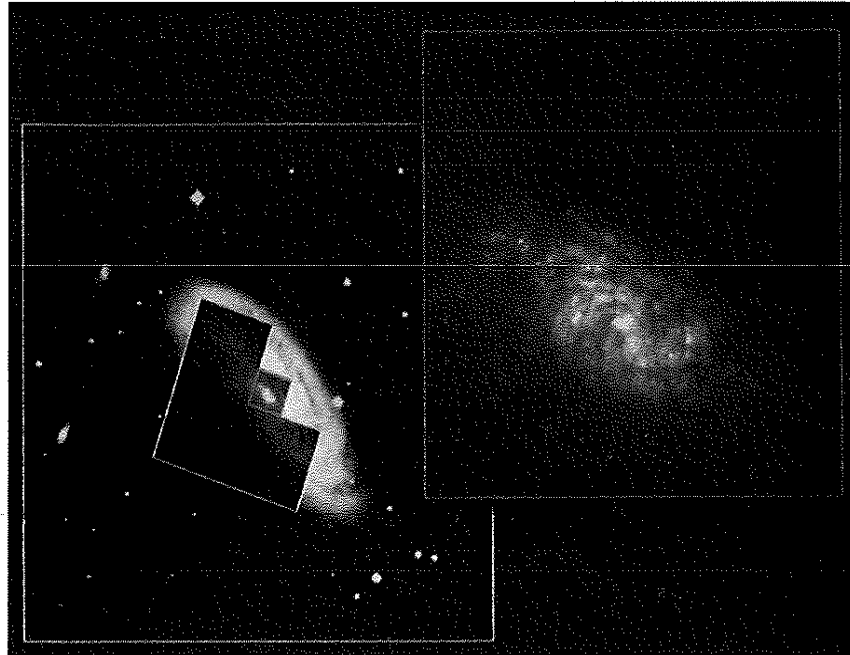
Các sao trong các thiên hà đang va chạm không bị ảnh hưởng nhiều lắm. Bởi vì các ngôi sao cách nhau rất xa, một sự va chạm trực tiếp của hai ngôi sao là rất ít có khả năng, mặc dù các quỹ đạo của chúng chắc chắn bị thay đổi khi các thiên hà di chuyển xuyên qua nhau. Tuy nhiên, vật chất giữa các vì sao bị ảnh hưởng trực tiếp hơn nhiều bởi các sự tương tác của các thiên hà. Các đám mây khí giữa các ngôi sao rất lớn và chắc chắn trải qua tác động trực tiếp với các đám mây khác.

Những sự va chạm dữ dội này nén ép chất khí trong các đám mây, và mật độ tăng lên của chất khí có thể dẫn đến sự hình thành sao được gia tăng một cách đáng kể.

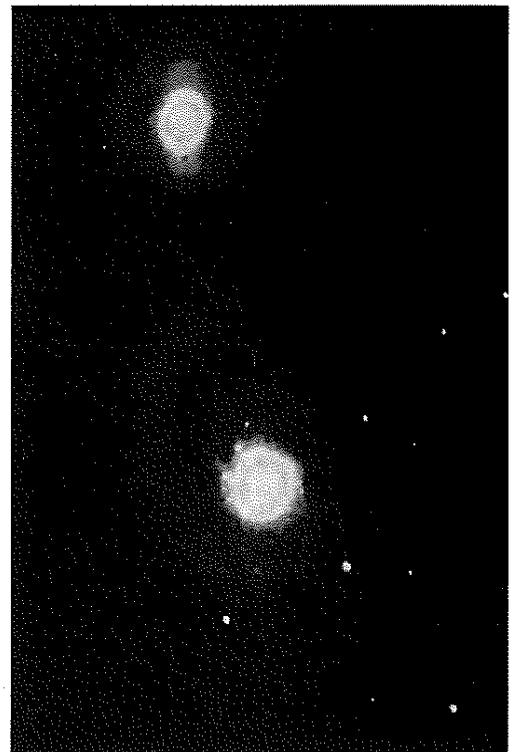
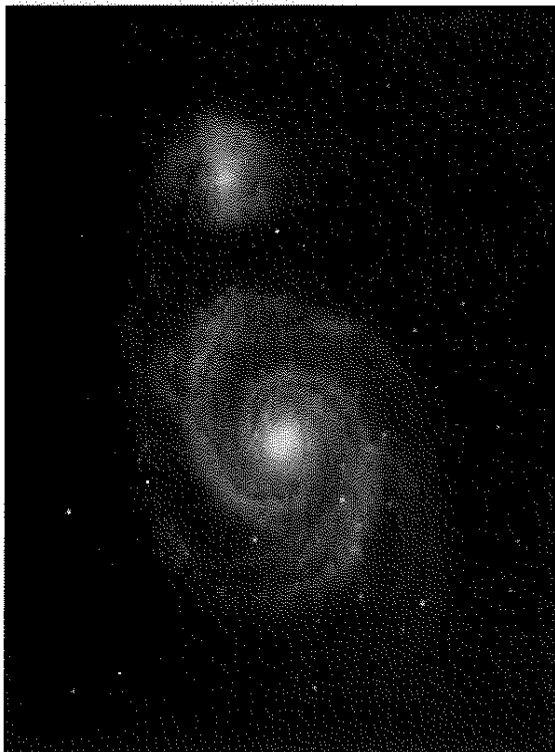
Trong một số thiên hà đang tương tác, sự hình thành sao mạnh mẽ đến nỗi tất cả chất khí có sẵn bị cạn kiệt chỉ trong vài triệu năm; sự bùng nổ về sự hình thành sao rõ ràng chỉ là một hiện tượng tạm thời. Các sự bùng nổ như vậy rất hiếm trong các thiên hà cô lập, nhưng các nhà thiên văn học thường thấy chúng trong các thiên hà đang diễn ra các sự va chạm.

Khi các thiên hà tương tác, hình dạng của chúng có thể thay đổi đáng kể. Các vòng đai vĩ đại, những tua xoắn khổng lồ của các sao và chất khí, và các cấu trúc phức tạp khác hình thành.

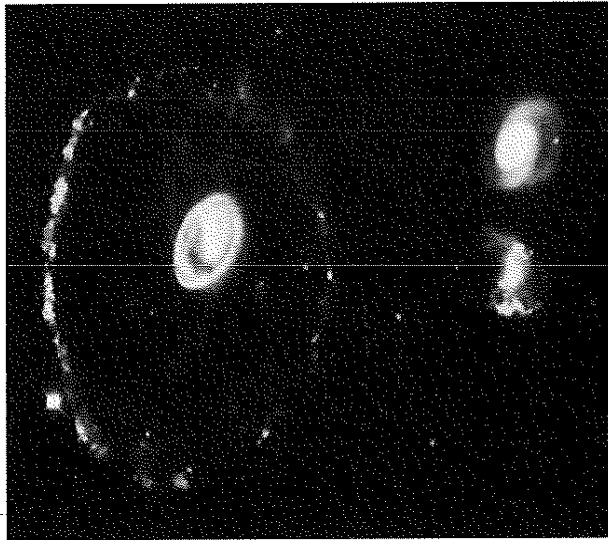
Đa số các thiên hà bất thường (hay không đều) lớn hơn mà chúng ta quan



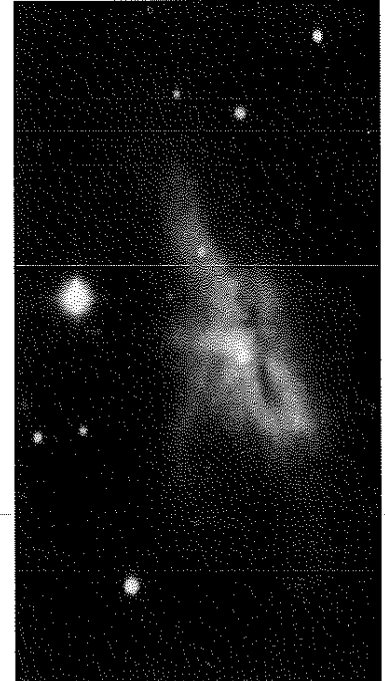
Sự ra đời của một vì sao trong thiên hà xa xôi: Ảnh bên trái là một quang cảnh nhìn từ mặt đất của thiên hà NGC 1808; ảnh lồng là trung tâm của nó, do kính không gian Hubble chụp, có đường kính 35.000 năm ánh sáng. Hình dạng thiên hà xoắn ốc này, với các cuộn bụi và khí ở các nhánh xoắn ốc bên ngoài, gợi ý rằng thiên hà này có thể đã có một cuộc chạm trán gần đây với một thiên hà lân cận (không được mô tả trong hình). Sự va chạm có thể đã kích thích tốc độ hình thành sao, mà chúng ta nhìn thấy gần hơn trong ảnh phải.



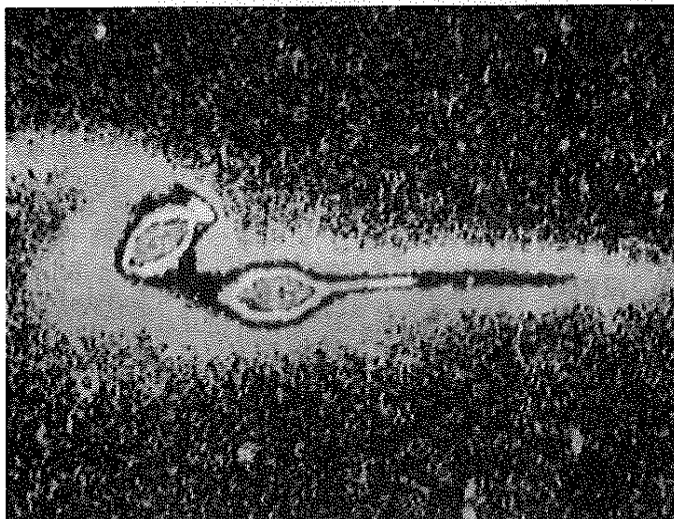
Thiên hà xoáy M51: Ảnh bên trái được chụp bằng ánh sáng thường và ảnh bên phải chụp bằng tia hồng ngoại. Nhánh nằm bên ngoài, vươn tới thiên hà đồng hành, rực rỡ hơn nhiều trong ánh sáng thường so với ánh sáng hồng ngoại. Sự khác biệt về màu sắc này gợi ý rằng hầu hết các sao trong nhánh này là các sao trẻ và nóng, chúng có màu xanh, và rằng sự hình thành của các sao này bị kích thích bởi sự tương tác của hai thiên hà.



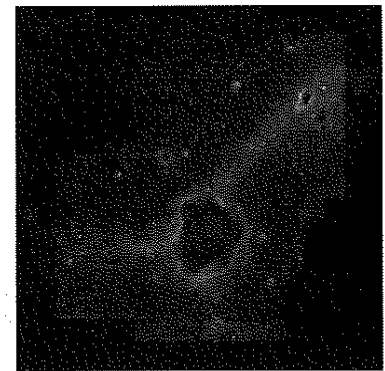
(a)



(c)



(b)



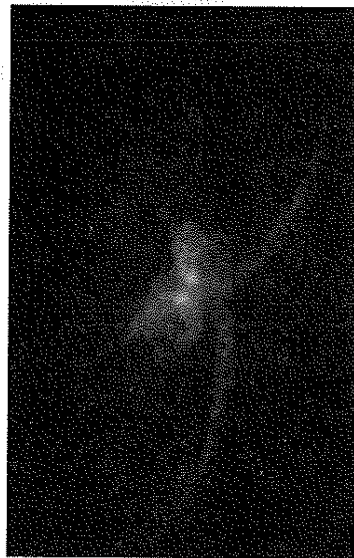
(d)

Một showroom về các thiên hà đang tương tác: (a) Thiên hà Cartwheel (bánh xe bò), được nhìn thấy trong tấm ảnh này của kính không gian Hubble, là kết quả của một vụ va chạm. Thiên hà xoắn ốc ở bên trái đã va chạm với một thiên hà khác (có thể là một trong hai thiên hà được nhìn thấy ở bên phải), đã tạo ra một vòng đai hình thành sao mạnh mẽ. Vòng đai này có đường kính khoảng 150.000 năm ánh sáng và chứa vài tỉ sao mới. (b) Hai thiên hà NGC 4676 A và B có biệt danh là "The Mice" (Con Chuột). Đây là tấm ảnh chụp bằng ánh sáng thường đã được computer xử lý và được mã hoá để mô tả các chi tiết tinh tế trong các cấp độ của ánh sáng. Bạn có thể nhìn thấy các đuôi dài và hẹp của các sao được tạo ra bởi các tương tác của hai thiên hà xoắn ốc. (c) NGC 6240 mô tả hai nhân thiên hà sát bên nhau trong vùng trung tâm, với các cái đuôi vật liệu chứng tỏ rằng hai thiên hà xoắn ốc phải đã tham gia vào một vụ va chạm. Các cuộc quan sát bằng vệ tinh IRAS đã chứng minh rằng cặp thiên hà đang tương tác này sản sinh ra một lượng năng lượng khổng lồ trong tia hồng ngoại. Điều này phù hợp với ý tưởng cho rằng sự hình thành sao mãnh liệt trong trung tâm đang nung nóng lượng bụi khổng lồ (che giấu phần lớn hoạt động này đối với tầm nhìn của chúng ta trong vùng ánh sáng thường của quang phổ). (d) Ảnh này của NGC 7252 kết hợp các quang cảnh bằng ánh sáng thường và vô tuyến của cùng một cặp thiên hà đang va chạm.

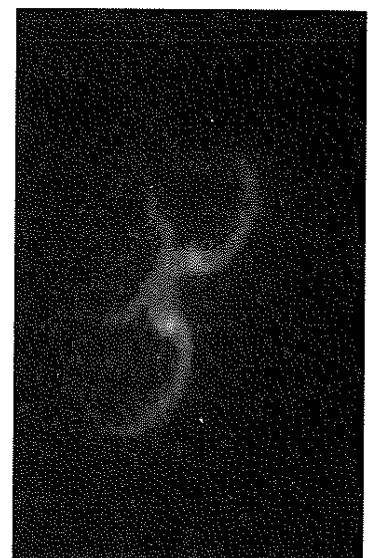
sát có thể có những hình dạng hỗn độn của chúng là do các sự tương tác trong quá khứ. Các chi tiết của các vụ va chạm thiên hà rất phức tạp và được mô phỏng trên một máy tính lớn. Các tính toán này chứng tỏ rằng nếu sự va chạm diễn ra chậm, các thiên hà đang va chạm có thể kết hợp để hình thành một thiên hà duy nhất. Khi hai thiên hà có kích thước bằng nhau bị cuốn hút vào nhau, chúng ta gọi một sự tương tác như thế là một *sự sáp nhập* (thuật ngữ áp dụng trong giới kinh doanh đối với hai công ty tâm cỡ ngang nhau kết hợp). Nhưng các thiên hà nhỏ cũng có thể bị nuốt chửng bởi các thiên hà lớn hơn – một quá trình mà các nhà thiên văn học đã gọi là *sự ăn thịt đồng loại của thiên hà*.

Các thiên hà êlíp thật lớn được tìm thấy trong các vùng trung tâm của các cụm thiên hà phong phú có thể hình thành do

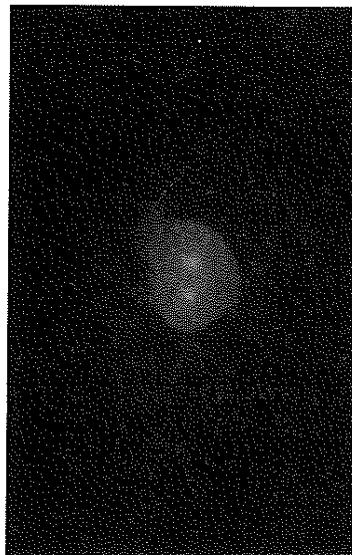
sự ăn thịt đủ loại thiên hà nhỏ hơn trong cụm thiên hà của chúng. Những thiên hà “quái vật” này thường có nhiều hơn một nhân, và có thể đã đạt được các độ trung cao bất thường bằng cách nuốt chửng các thiên hà lân cận. Rất nhiều phần nhân là tàn tích của các nạn nhân của chúng. Các vụ va chạm và sáp nhập chậm chạp cuối cùng có thể làm biến đổi các thiên hà xoắn ốc thành các thiên hà êlíp bằng cách lột bỏ chất khí của chúng và tạo ra các vụ bùng nổ vĩ đại của sự



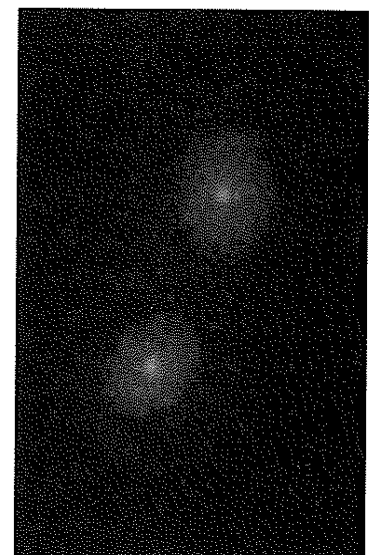
(a)



(b)

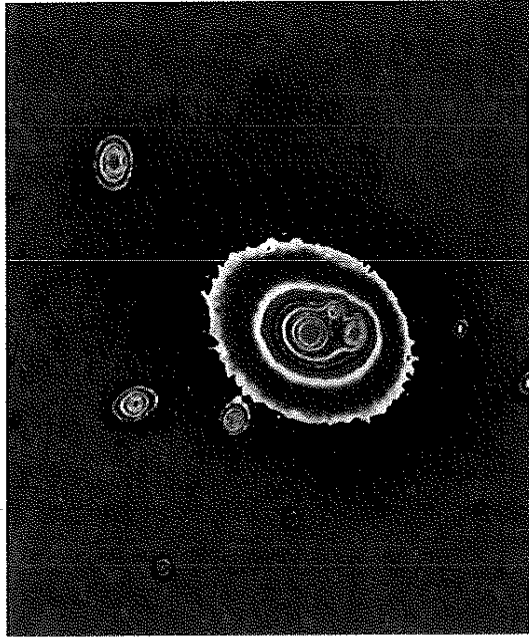


(c)



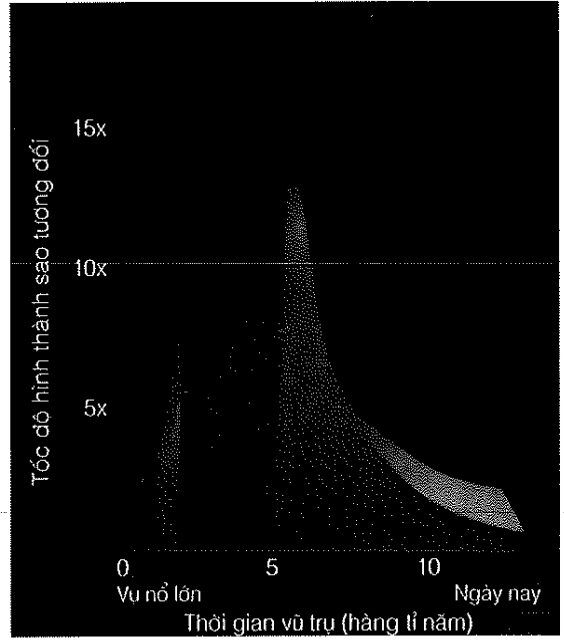
(d)

Sự mô phỏng của máy tính về một vụ va chạm thiên hà: Sự mô phỏng này tạo ra một cấu trúc rất giống với thiên hà NGC 4038/39, cặp thiên hà đang tương tác được mô tả trong hình mở đầu của chương này. Chuỗi hình mô tả các thiên hà với (a) 60 triệu năm, (b) 185 triệu năm, (c) 310 triệu năm, và (d) 435 triệu năm sau khi sự tương tác bắt đầu.



Một thiên hà với nhiều nhân:

Ảnh này mô tả sự phân bố cường độ ánh sáng trong thiên hà NGC 6166 trong chòm sao Hercules. Ba đỉnh trong vùng trung tâm chứng tỏ rằng thiên hà êlip khổng lồ này có thể đã tiêu thụ vài thiên hà đồng hành. NGC 6166 nằm tại trung tâm của một chùm thiên hà, ở đó có nhiều nạn nhân tiềm ẩn.



Tốc độ hình thành sao qua lịch sử của vũ trụ: Đồ thị mô tả lịch sử hình thành sao từ ngay sau khi vũ trụ bắt đầu cách đây khoảng 13 tỉ năm cho tới hiện nay. Tốc độ hình thành sao bắt đầu gia tăng rõ rệt ngay sau khi vũ trụ bắt đầu mở rộng và bắt đầu suy tàn hết sức rõ ràng cách đây khoảng 8 tỉ năm. Vẫn có những sự bấp bênh đáng kể trong các ước tính đối với giai đoạn từ 2 tới 5 tỉ năm sau khi bắt đầu, và do đó chúng ta chưa có một ước tính thật chính xác về việc cái đỉnh của đồ thị này sẽ cao bao nhiêu. Trục thẳng đứng trong đồ thị này đo tốc độ hình thành sao so với tốc độ trong vũ trụ của ngày nay, và dữ liệu ban đầu gợi ý rằng tốc độ đỉnh (cao nhất) có thể đã cao hơn tốc độ ngày nay 15 lần.

hình thành sao biến đổi bất kỳ chất khí nào còn lại trở thành các sao.

✧ LỊCH SỬ ĐỜI SỐNG CỦA CÁC THIÊN HÀ

Hiện nay, các nhà thiên văn học tin rằng nguyên nhân đầu tiên về các sự khác biệt trong các loại thiên hà – các thiên hà êlip và các loại khác nhau của thiên hà xoắn ốc – là chúng có các lịch sử hình thành khác nhau. Tối thiểu thì một số thiên hà êlip đã hình thành trong 1,5 tỉ năm đầu tiên sau khi vũ trụ bắt đầu và biến đổi toàn bộ chất khí và bụi của chúng thành các sao vào thời gian vũ trụ khoảng 3 tỉ năm tuổi. (Vì mục đích chính xác, chúng ta lưu ý rằng các ước tính này giả

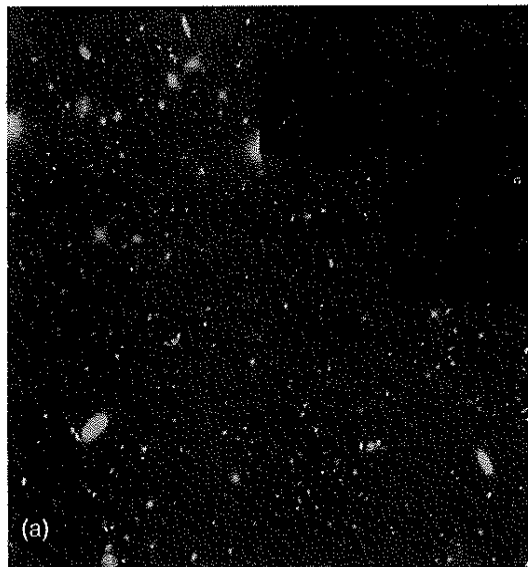
định rằng vũ trụ hiện thời khoảng 13 tỉ năm tuổi). Mặt khác, các thiên hà xoắn ốc đã biến đổi chất khí và bụi thành các sao với một tốc độ chậm hơn nhiều và ngày nay vẫn còn đang tạo ra các vì sao.

Tại sao có sự khác biệt này trong các tốc độ hình thành các ngôi sao? Các nhà thiên văn học vẫn còn đang nghiên cứu về các lý thuyết hình thành thiên hà, và do đó chúng ta chỉ có những câu trả lời từng phần riêng biệt. Các nhân tố chủ yếu dường như là sự quay và mật độ của thiên hà. Các thiên hà êlip quay chậm hơn các thiên hà xoắn ốc và mật độ khối lượng của chúng thì cao – cả hai yếu tố đều tạo thuận lợi cho sự hình thành sao.

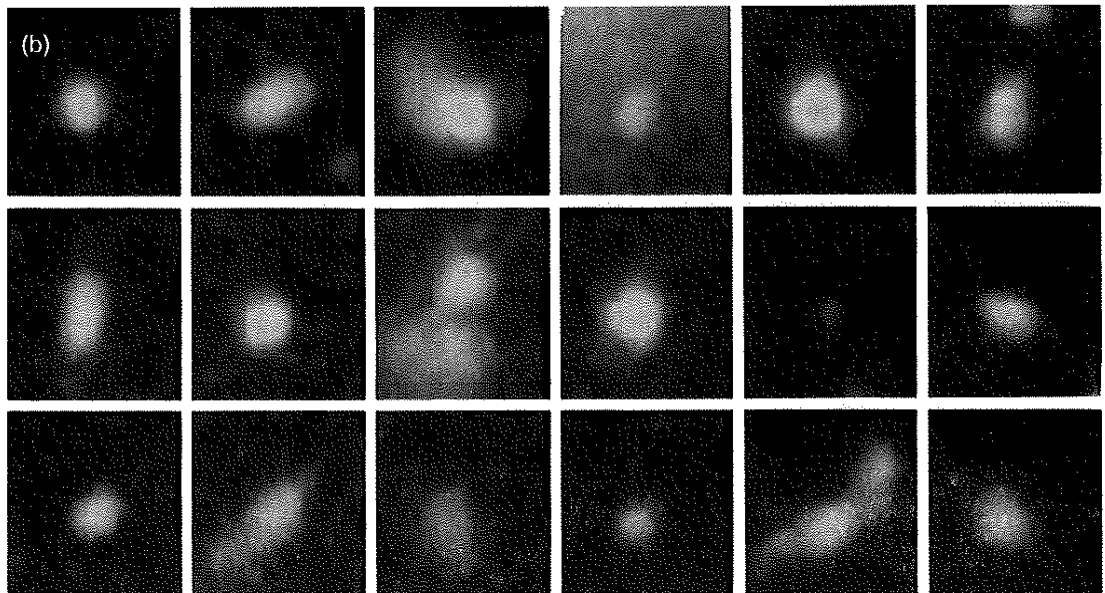
Trong khi một số các thiên hà êlip lớn hơn đã hình thành rất sớm, có chứng cứ cho rằng nhiều thiên hà đã được tập hợp sau đó một chút từ các mảnh nhỏ hơn. Bởi vì cái cách mà chúng ta nhìn thấy các thiên hà là bằng cách dò ra sự bức xạ từ các ngôi sao mà chúng chứa, chúng ta hiểu biết về lịch sử các thiên hà bằng cách nghiên cứu tốc độ theo đó các sao trong chúng hình thành qua thời gian. Sự làm việc với kính không gian Hubble (nhìn ra ngoài không gian và do vậy ngược về thời gian) đã cho phép các

nhà thiên văn học ước tính tốc độ hình thành sao khi vũ trụ già cỗi hơn. Chúng ta nhận thấy rằng tốc độ cực đỉnh của sự hình thành sao xảy ra khi vũ trụ có tuổi khoảng từ 3 tới 6 tỉ năm.

Hình như là chưa tới 20% toàn bộ các sao đã được hình thành trong 3 tỉ năm đầu tiên sau khi vũ trụ bắt đầu – mặc dù kết luận này có thể thay đổi nếu một cuộc là rất nhiều bụi đã được hình thành rất sớm và che khuất tầm nhìn của chúng ta về những gì thật sự đã diễn ra. Các vệ tinh hồng ngoại được phóng đi vào không gian trong thập niên đầu của thế kỷ 21 sẽ có thể xuyên thủng lớp bụi và nhìn thấy nếu như chúng ta đã bỏ sót các thế hệ sao đầu tiên với các cuộc quan sát được tiến hành.



Các khối kiến trúc của các thiên hà: Ảnh trên cùng là từ kính không gian Hubble và bao gồm (trong số nhiều vật thể khác) 18 thiên hà trẻ và nhỏ, được nhìn thấy từ rất xa và do đó cách đây rất lâu. Các ảnh bên dưới ngắn cách mỗi thiên hà trong một cái khung. Các thiên hà như thế được cho là các khối kiến trúc đã được hợp nhất để hình thành các thiên hà lớn hơn mà chúng ta nhìn thấy ngày nay. Mỗi thiên hà với khoảng cách chừng 11 tỉ năm ánh sáng và mỗi thiên hà đều chứa chất khí, bụi, và một vài tỉ ngôi sao.



Hình dạng của thiên hà cũng khác biệt khi vũ trụ có tuổi từ 3 tới 6 tỉ năm. Sau đó, trung bình các thiên hà nhỏ hơn thiên hà tiêu biểu thời nay, và có chứng cứ cho rằng các thiên hà nhỏ này đang hợp nhất với nhau tại thời điểm ấy để hình thành các thiên hà lớn hơn.

Các sự tương tác, các vụ va chạm, và các sự sáp nhập liên tục biến đổi các thiên hà ít nhất cho tới khi vũ trụ gần 8 tỉ năm tuổi (ngẫu nhiên trùng khớp vào khoảng thời gian Mặt Trời được hình thành). Khi vũ trụ khoảng 8 tỉ năm tuổi, các thiên hà xoắn ốc vẫn còn được tìm thấy với số lượng đông đảo trong các vùng trung tâm của các chùm thiên hà dày đặc. Các thiên hà xoắn ốc này có màu thật xanh. Bởi vì một thiên hà xanh phải chứa các sao trẻ, sự khác biệt về màu sắc này chứng tỏ rằng các thiên hà xoắn ốc tích cực hình thành các sao có nhiều hơn bây giờ – một dấu hiệu khác cho rằng tốc độ hình thành sao trung bình đã suy thoái trong 5 tỉ năm vừa qua hay gần như thế.

Hai quá trình đã được đề xuất đối với việc tạo ra một tốc độ cao của sự hình thành sao trong các chùm thiên hà phong phú vào những thời kỳ đầu tiên. Trước hết, các vụ va chạm của các thiên hà có thể nén ép chất khí bên trong chúng và kích thích sự hình thành sao. Một tác nhân khác nữa có thể là chất khí nóng tồn tại trong các chùm thiên hà này. Một thiên hà, khi nó di chuyển trên quỹ đạo của nó qua các chùm thiên hà, đôi khi chạy vào trong một khối dày đặc hơn của chất khí nhiệt độ cao này.

Trong vụ va chạm kế tiếp, các đám mây phân tử lạnh bên trong thiên hà có thể bị nén ép, lại làm gia tăng tốc độ hình thành sao.

Các thiên hà xoắn ốc gần như vắng mặt ở vùng trung tâm của các chùm thiên hà phong phú trong vũ trụ ngày nay. Tuy nhiên chúng ta đã thấy rằng các thiên hà xoắn ốc xanh có thể được tìm thấy trong các chùm thiên hà như thế cách đây hàng tỉ năm. Tại sao hầu hết các thiên hà xoắn ốc xanh đã biến mất khỏi vũ trụ trong 5 tỉ năm vừa qua? Một khả năng là các sự sáp nhập đã giảm đi số lượng thiên hà, do đó làm giảm đi khả năng xảy ra các vụ va chạm và các tốc độ gia tăng của sự hình thành sao mà chúng gây ra. Khả năng khác đó là tốc độ hình thành sao đã chậm lại rõ rệt khi vật chất giữa các vì sao đã bị tận dụng hết trong các thiên hà này. Như là hậu quả của “vật liệu thô sơ bị lấy đi” của chúng, các sao trẻ và nóng đang hình thành trong các thiên hà này càng ít đi, và do đó các thiên hà xoắn ốc rõ ràng mờ nhạt hơn trong kỷ nguyên hiện tại.

19.3 SỰ TIẾN HOÁ CỦA CÁC THIÊN HÀ: CÁC LÝ THUYẾT

Các thiên hà đã hình thành như thế nào trong lịch sử khởi thủy của vũ trụ? Lực hình thành các thiên hà là lực hấp dẫn. Ban đầu, vũ trụ mở rộng hầu như – nhưng không hoàn toàn – suôn sẻ trọn vẹn. Sự “không hoàn toàn” ấy rất quan trọng đối với lịch sử.

Đó đây là các vùng mà mật độ bao giờ cũng hơi cao hơn một chút so với mức trung bình (một số mật độ được gia tăng này có lẽ đã được cung cấp bởi vật chất tối). Như trong trường hợp của sự hình thành sao, số phận của các vùng mật độ cao hơn này tùy thuộc vào sự cân bằng giữa áp suất (sức đẩy ra ngoài của sự mở rộng) và sức hút vào trong của lực hấp dẫn.

Ban đầu, mỗi vùng riêng lẻ đã mở rộng bởi vì toàn bộ vũ trụ đang mở rộng. Tuy nhiên, khi vũ trụ tiếp tục mở rộng, các vùng mật độ cao hơn đòi hỏi nhiều khối lượng hơn bởi vì chúng sinh ra một lực hấp dẫn hơi lớn hơn mức trung bình đối với vật liệu xung quanh. Nếu sức hút vào trong của lực hấp dẫn đã đủ cao, khu vực riêng lẻ cuối cùng ngừng mở rộng. Rồi nó bắt đầu sụp đổ để hình thành một khối cầu có hình dạng không đều. Trong mỗi vùng sụp đổ nhanh chóng hơn về một hướng, và do đó các vùng tập trung vật chất không phải là hình cầu mà giống như những cái bánh kẹp (hay bánh nướng đẹp) khổng lồ.

Những cái “bánh kẹp” này xuất hiện khắp vũ trụ sơ khai, được quay về các hướng khác nhau và sụp đổ với các tốc độ khác nhau. Những cái bánh kẹp đã cung cấp kết cấu cho các cấu trúc giống như sợi và bọt (hay bong bóng) mà chúng ta thấy còn lưu lại trong vũ trụ ngày nay.

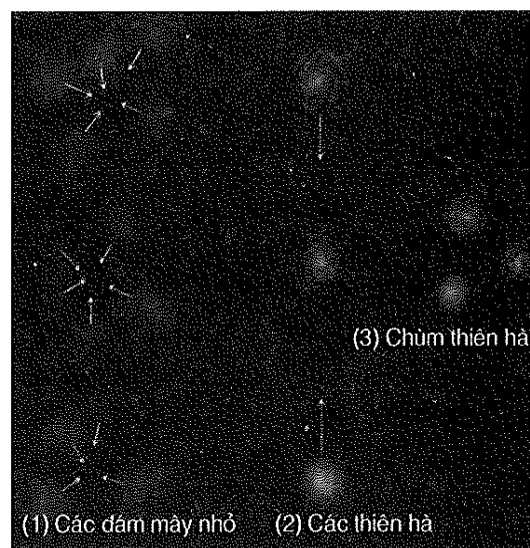
♦ KIỂU KIẾN TRÚC TỪ DƯỚI ĐÁY ĐI LÊN

Các lý thuyết gia đã khai thác hai ý tưởng về những gì đã xảy ra kể đó. Các lý thuyết từ-đỉnh-xuống-đáy (top-down theories) giả định rằng trong phạm vi các cấu trúc giống như những cái bánh kẹp này, các vùng tập trung vật chất có kích cỡ các chòm siêu thiên hà đã hình thành đầu tiên và sau đó tách ra thành từng mảnh để hình thành các thiên hà. Các lý thuyết từ-dưới-đáy-đi-lên (bottom-up theories) giả thiết rằng các cấu trúc nhỏ hơn đã hình thành đầu tiên và sau đó sáp nhập để tạo thành các cấu trúc lớn hơn. Dựa theo bức tranh từ-dưới-đáy-đi-lên, các thiên hà riêng biệt được hình thành đầu tiên và kế đến dần dần tụ hợp để tạo ra các chòm thiên hà và các chòm

siêu thiên hà. Hiện nay các nhà thiên văn học đã tìm thấy chứng cứ cho rằng các đại thiên hà được cấu tạo qua sự sáp nhập các thiên hà nhỏ hơn, và các quan sát củng cố lý thuyết từ-dưới-lên.

Trong mô hình, các thiên hà bắt đầu hình thành trong các vùng mật độ cao nhất – ở đó những cái “bánh kẹp” tương tác với nhau. Giả định chủ yếu của các mô hình từ-dưới-lên là những vùng cô đặc đầu tiên có các khối lượng của các thiên hà hay của những chùm sao lớn. Sự sụp đổ của chúng đã bắt đầu khi vũ trụ chưa nhiều hơn 2% số tuổi hiện thời của nó. Các thiên hà mà ngày nay chúng ta nhìn thấy đã được hình thành từ sự sụp đổ của các đám mây riêng lẻ có kích cỡ thiên hà hay qua sự hợp nhất của một số cấu trúc nhỏ hơn.

Các chùm thiên hà sau đó đã hình thành khi các thiên hà riêng lẻ tụ hợp lại, lôi kéo lẫn nhau bởi lực hút hấp dẫn. Trước tiên, một vài thiên hà cùng nhau hình thành các nhóm, giống như Nhóm



Sự hình thành từ-dưới-đi-lên của các thiên hà: Biểu đồ này mô tả các thiên hà có thể đã hình thành như thế nào nếu các đám mây nhỏ hình thành đầu tiên và kế đó cô đặc để hình thành các thiên hà và rồi các chòm thiên hà.

Cục Bộ (Local Group) của chúng ta. Sau đó các nhóm bắt đầu kết hợp để hình thành các chòm thiên hà và cuối cùng các chòm siêu thiên hà.

Các thiên hà êlip khổng lồ có lẽ đã hình thành qua sự va chạm và sáp nhập của nhiều mảnh nhỏ hơn. Một vụ va chạm của hai hệ khí và sao có khuynh hướng kích động các quỹ đạo của các sao riêng biệt trong mỗi hệ thống, và cũng lột bỏ khỏi các vùng ngoại vi của hệ thống bất kỳ vật chất nào không được giữ chặt bởi lực hấp dẫn cũng như vật liệu bên trong. Cho nên hậu quả của nhiều vụ va chạm là tạo ra các hệ thống hình tròn thiếu các đĩa tròn vươn rộng.

Các thiên hà xoắn ốc, mặt khác, đã hình thành trong các vùng tương đối bị cách ly với một đám mây khí đơn lẻ, đã sụp đổ để hình thành một cái đĩa phẳng. Tuy nhiên, một thiên hà xoắn ốc có thể, qua va chạm với các hệ thống nhỏ hơn, có được một số sao bổ sung cư trú trong quang sáng và cái bầu hạt nhân của nó. Giống như các sao trong các thiên hà êlip, cũng được tạo ra qua các vụ hợp nhất, các sao trong quang sáng và bầu hạt nhân này trong các thiên hà xoắn ốc được phân bố theo kiểu hình cầu.

Đồng thời, khi một đám mây cô lập sụp đổ để hình thành một thiên hà xoắn ốc, nó có thể để lại đằng sau một số mảnh nhỏ có thể trở thành các thiên hà lùn. Nhiều thiên hà xoắn ốc, kể cả Dải Ngân Hà, được bao bọc bởi một đám thiên hà nhỏ. Như chúng ta đã thấy, Dải Ngân Hà vẫn còn đang chụp bắt những thiên hà nhỏ và đem chúng vào quang sáng của nó.

Mô hình từ-dưới-lên dự đoán rất ít thiên hà trẻ trong kỷ nguyên hiện tại, và quả thực các thiên hà lân cận đều có

về chứa tối thiểu một số sao rất già. Mô hình này cũng dự đoán rằng các chòm thiên hà và các chòm siêu thiên hà có lẽ vẫn còn trong quá trình tụ hợp lại với nhau. Thực vậy các cuộc quan sát nêu lên rằng các chòm thiên hà vẫn còn đang tập hợp thành các cụm thiên hà. Trong khi chứng cứ dường như ủng hộ các mô hình từ-dưới-lên, các lý thuyết về sự hình thành thiên hà vẫn còn trong thời kỳ thơ ấu của chúng, và có nhiều chi tiết về việc cấu trúc vũ trụ trở thành như thế nào vẫn còn cần được giải thích đầy đủ.

19.4 VŨ TRỤ CỦA (HẦU NHƯ) VẬT CHẤT TỐI

Cho đến bây giờ chương này đã tập trung hầu như hoàn toàn vào vật chất bức xạ năng lượng điện từ. Nhưng rõ ràng rằng các thiên hà cũng chứa lượng lớn vật chất tối. Thực vậy, có thể vật chất tối có nhiều hơn vật chất mà chúng ta đã phát hiện – điều này có nghĩa sẽ là điên rồ nếu ta không thêm đếm xỉa tới ảnh hưởng của vật liệu này trong các lý thuyết về cấu trúc vũ trụ. Vật chất tối có thể là cực kỳ quan trọng trong việc xác định sự tiến hoá của các thiên hà và của vũ trụ nói chung.

Ý tưởng cho rằng phần lớn vũ trụ được lấp đầy với vật chất tối có lẽ là một khái niệm kỳ lạ, nhưng chúng ta có thể kể ra một thí dụ lịch sử về vật chất tối gần gũi hơn. Vào giữa thế kỷ XIX, các phép đo chứng tỏ rằng Sao Thiên Vương (Uranus) không tuân theo đúng quỹ đạo đã được dự đoán nếu người ta tăng thêm lực hút của tất cả các vật thể đã được biết trong hệ Mặt Trời. Các độ lệch quỹ đạo của nó được quy cho hiệu ứng hấp dẫn của một hành tinh không nhìn thấy

được. Các tính toán chứng minh chỗ mà hành tinh ấy được phân bố, và Sao Hải Vương (Neptune) đã được khám phá ngay gần vị trí được dự đoán.

Cùng một cách như vậy, các nhà thiên văn học đang cố gắng xác định vị trí và lượng vật chất tối trong các thiên hà bằng cách đo đạc các hiệu ứng hấp dẫn lên các vật thể mà chúng ta có thể nhìn thấy. Và, bằng cách đo đạc cách thức mà các thiên hà di chuyển trong các chùm thiên hà, các nhà khoa học đang khám phá ra rằng vật chất tối có lẽ cũng đóng một vai trò quan trọng trong sự tiến hoá của thiên hà. Có vẻ như vật chất tối hình thành tối thiểu 90% toàn bộ vật chất trong vũ trụ.

♦ VẬT CHẤT TỐI TRONG VÙNG LÂN CẬN CỤC BỘ

Vị trí đầu tiên có thể tìm kiếm vật chất tối là trong hệ sao của chúng ta. Các nhà thiên văn học đã nghiên cứu kỹ các quỹ đạo của các hành tinh đã biết và của các con tàu vũ trụ khi chúng du hành tới các hành tinh ngoại vi và xa hơn nữa. Không có sự lệch hướng nào đã được phát hiện từ các quỹ đạo được dự đoán trên cơ sở của các vật thể được khám phá trong hệ mặt trời của chúng ta, và do vậy không có chứng cứ nào tồn tại đối với số lượng lớn của vật chất tối lân cận.

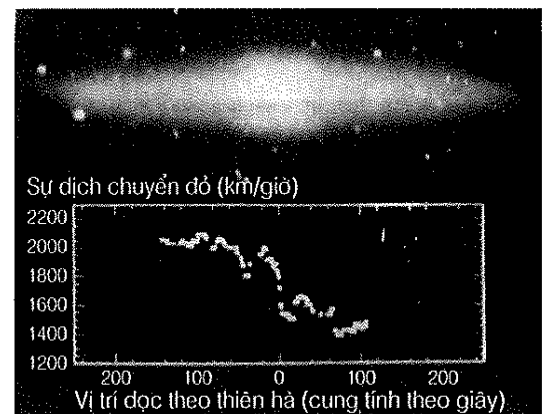
Các nhà thiên văn học cũng đã tìm kiếm chứng cứ về vật chất tối trong khu vực của Dải Ngân Hà nằm trong phạm vi một vài trăm năm ánh sáng tính từ Mặt Trời. Trong vùng phụ cận này hầu hết các sao bị hạn chế trong một cái đĩa mỏng. Việc tính toán cái đĩa phải chứa bao nhiêu khối lượng để giữ các sao không đi lang thang xa ra bên trên hay bên dưới nó là điều có thể thực hiện

được. Tổng số vật chất phải nằm trong cái đĩa chưa tới gấp đôi lượng vật chất chiếu sáng. Điều này có nghĩa là không nhiều hơn phân nửa khối lượng gần Mặt Trời là tối.

♦ VẬT CHẤT TỐI CHUNG QUANH CÁC THIÊN HÀ

Ngược lại với vùng lân cận cục bộ của chúng ta, có chứng cứ nêu lên rằng 90% khối lượng trong toàn bộ Thiên Hà có lẽ ở trong dạng quang sáng của vật chất tối.

Nói cách khác, vật chất tối có thể gấp chín lần nhiều hơn vật chất nhìn thấy được. Các sao trong vùng ngoại vi đang quay rất nhanh chung quanh trung tâm của Dải Ngân Hà – nhanh đến mức khối lượng chứa trong tất cả các sao và tất cả vật chất giữa các sao trong Thiên Hà không thể tạo ra đủ lực hút để giữ các sao xa xôi ấy trong quỹ đạo của chúng. Đối với các thiên hà xoắn ốc khác cũng tìm thấy cùng một kết quả như vậy.



Sự quay biểu thị vật chất tối: Chúng ta thấy thiên hà xoắn ốc NGC 5746 theo chiều nghiêng, cùng với một đồ thị mô tả vận tốc quay với một loạt các vị trí trải qua chiều rộng của thiên hà. Cũng như đối với Dải Ngân Hà, tốc độ quay không suy giảm với khoảng cách tính từ trung tâm, như chúng ta tưởng. Điều này chứng tỏ sự hiện diện của một quang sáng của vật chất tối, dưới ảnh hưởng của nó các vùng ngoại vi di chuyển quanh nhanh hơn vật chất lẻ loi được quan sát có thể giải thích được.

Các sự phân tích toán học về sự quay của các thiên hà xoắn ốc nêu lên rằng vật chất tối được tìm thấy trong một quầng sáng rộng bao quanh các phần chiếu sáng của mỗi thiên hà. Bán kính của quầng sáng này có thể rộng lớn tới 300.000 LY, lớn hơn nhiều so với kích thước nhìn thấy được của các thiên hà.

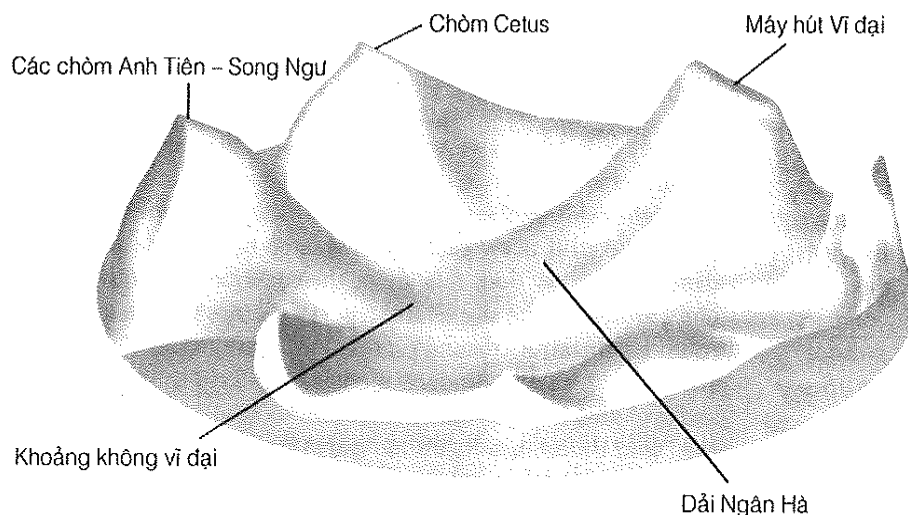
✧ VẬT CHẤT TỐI TRONG CÁC CHÙM THIÊN HÀ

Các thiên hà trong các chùm thiên hà quay chung quanh trung tâm khối lượng của chùm thiên hà. Đi theo một thiên hà quay quanh toàn bộ quỹ đạo của nó đối với chúng ta là điều không thể thực hiện. Thí dụ, trải qua 10 tỉ năm hay hơn nữa để các thiên hà Andromeda và Dải Ngân Hà hoàn tất một vòng quỹ đạo duy nhất chung quanh nhau. Tuy nhiên, có thể đo được các vận tốc qua đó các thiên hà trong một chùm thiên hà đang di chuyển, và sau đó ước tính toàn bộ khối lượng trong chùm thiên hà phải là bao nhiêu để giữ

cho các thiên hà riêng lẻ không bay ra ngoài không gian. Các cuộc quan sát chứng tỏ rằng số lượng tổng cộng của vật chất tối trong các chùm thiên hà có lẽ vượt quá những gì chứa trong bản thân các thiên hà, *chứng tỏ rằng vật chất tối tồn tại giữa các thiên hà cũng như bên trong chúng.*

✧ VẬT CHẤT TỐI TRONG CÁC CHÙM SIÊU THIÊN HÀ

Vũ trụ đang mở rộng, nhưng sự mở rộng không hoàn toàn đồng đều. Một số thiên hà đang di chuyển xa ra chúng ta nhanh hơn một chút so với tốc độ trung bình. Các thiên hà khác đang di chuyển xa ra chậm hơn tốc độ trung bình. Thí dụ, giả sử một thiên hà nằm bên ngoài nhưng tương đối gần với một chùm thiên hà phong phú. Lực hấp dẫn của chùm thiên hà sẽ lôi kéo thiên hà lân cận ấy và làm chậm lại tốc độ qua đó nó di chuyển xa ra khỏi chùm thiên hà do sự mở rộng của vũ trụ.



Sự phân bố khối lượng trong khu vực vũ trụ của chúng ta: Bức vẽ này mô tả những vùng tập trung vật chất trong phạm vi khoảng 150 triệu LY của Dải Ngân Hà, được phân bố tại trung tâm của bức vẽ. Thiên Hà của chúng ta nằm trong vùng ở đó mật độ thì trung bình giữa mật độ của Máy Hút Vĩ Đại và một khoảng trống không. Vùng tập trung khối lượng liên quan tới Máy Hút Vĩ Đại được mô tả bên cạnh phải của bức vẽ. Tất cả các thiên hà, bao gồm các thiên hà trong vùng Perseus-Pisces (Anh Tiên-Song Ngư), đang trôi về phía Máy Hút Vĩ Đại với vận tốc khoảng 425 km/s. Bạn có thể nghĩ về nó như một dòng sông khổng lồ trên bầu trời, chứa hàng ngàn thiên hà.

Như một thí dụ đặc biệt, hãy xét Nhóm Cục Bộ của các thiên hà, đang nằm ở các vùng ngoại vi của chùm siêu thiên hà Virgo (Xử Nữ). Khối lượng được tập trung vào trung tâm của chùm Virgo tạo ra một lực hấp dẫn đối với Nhóm Cục Bộ (Local Group). Kết quả là Nhóm Cục Bộ đang di chuyển xa ra khỏi trung tâm của chùm Virgo với tốc độ một vài trăm kilômét mỗi giây chậm hơn định luật Hubble dự đoán. Bằng cách đo đạc các độ lệch từ một sự mở rộng suôn sẻ, các nhà thiên văn học có thể ước tính tổng số khối lượng chứa trong các chùm đại thiên hà.

Ngày nay các nhà thiên văn học đã đo đạc các khoảng cách và các vận tốc chính xác đối với hàng ngàn thiên hà trong vòng khoảng 150 triệu LY tính từ Dải Ngân Hà. Thêm vào những chuyển động cục bộ hơn nữa chúng ta phát hiện ra một khuynh hướng mới và đầy bất ngờ. Những thiên hà này có khuynh hướng trôi về phía vùng tập trung khổng lồ của khối lượng, mà chúng ta đã chấp nhận gọi là *Máy Hút Vĩ Đại* (Great Attractor).

Khối lượng của Máy hút vĩ đại được ước tính là $3 \times 10^{16} M_{\text{Sun}}$, tương đương với hàng chục ngàn thiên hà. Khối lượng này lớn hơn nhiều lượng vật chất chiếu sáng được nhìn thấy trong hướng này, và do đó hầu hết vật chất trong “Máy hút vĩ đại” phải là tối đen.

✧ TỈ SỐ KHỐI LƯỢNG VỚI ÁNH SÁNG

Mục 17.3 diễn tả công dụng của tỉ số khối lượng – ánh sáng để thể hiện đặc điểm vật chất trong các thiên hà hay các chùm thiên hà. Đối với các hệ thống chứa hầu như các sao già, tỉ số khối lượng – ánh sáng tiêu biểu là 10 tới 20, ở đó khối lượng và ánh sáng được đo bằng các đơn

Tỉ Số Khối Lượng với Ánh Sáng

<i>Loại vật thể</i>	<i>Tỉ số khối lượng với ánh sáng</i>
Mặt Trời	1
Vật chất trong vùng phụ cận của Mặt Trời	2
Khối lượng tổng cộng của Dải Ngân Hà	10
Các nhóm tiểu thiên hà	50–150
Các chùm thiên hà phong phú	250–300

vị của khối lượng và độ trung của Mặt Trời. Các tỉ số khối lượng – ánh sáng của 100 hay nhiều hơn là dấu hiệu cho rằng một lượng lớn vật chất tối đang hiện diện. Bảng trên tóm tắt các kết quả của các phép đo về tỉ số khối lượng – ánh sáng đối với đủ loại cấp hạng của vật thể. Các tỉ số khối lượng – ánh sáng rất lớn được tìm thấy đối với tất cả các hệ thống về kích thước thiên hà và lớn hơn, và kết quả này chứng tỏ rằng vật chất tối có mặt trong tất cả các loại vật thể. Vật chất tối rõ ràng cấu tạo hầu hết toàn bộ khối lượng của vũ trụ. Hiện nay các nhà thiên văn học ước tính rằng hơn 90% vật chất trong vũ trụ là không thể nhìn thấy được!

✧ CUỘC TRUY TÌM VẬT CHẤT TỐI

Giả sử hầu hết vũ trụ thực sự được cấu tạo bằng vật chất tối. Chúng ta làm thế nào về việc phát hiện ra nó? Kỹ thuật tùy thuộc vào thành phần cấu tạo của nó. Còn bây giờ, chúng ta hãy giả sử rằng vật chất tối được cấu tạo từ các hạt thông thường – proton, neutron và electron. Chúng ta đã biết rằng những hạt này không được tập hợp bên trong các ngôi sao đang chiếu sáng, hay chúng

ta sẽ nhìn thấy chúng. Vật chất tối cũng không nằm dưới dạng bụi hay khí, hay một lần nữa, chúng ta có thể phát hiện ra nó.

Tuy nhiên, các proton và neutron có thể ở dưới dạng các lỗ đen, sao lùn nâu, hay sao lùn trắng. Hai loại vật thể sau phát ra một số bức xạ nhưng có các độ trung khá thấp cho nên chúng không thể được nhìn thấy với các khoảng cách lớn hơn một vài ngàn năm ánh sáng. Nếu đây là dạng mà vật chất tối “chấp nhận”, chúng ta sẽ có thể tìm ra những vật thể cô đặc như thế bởi vì chúng tác động như các thấu kính hấp dẫn và làm biến dạng bức xạ được phát ra bởi các vật thể nằm phía sau chúng.

Hai cuộc thí nghiệm đã được thiết kế để tìm kiếm sự bẻ cong ánh sáng do lực hấp dẫn bởi vật chất tối. Thí nghiệm thứ nhất liên quan tới việc nghiên cứu ánh sáng từ các thiên hà xa xôi. Như chúng ta đã thấy trong chương trước, các thiên hà tiền cảnh có thể có tác dụng như một thấu kính hấp dẫn và làm biến dạng các hình ảnh của các thiên hà xa hơn nữa. Các hình ảnh bị biến dạng này sau đó có thể được sử dụng để xác định khối lượng – kể cả vật chất tối – có mặt trong các chùm thiên hà tiền cảnh là bao nhiêu. Các bản đồ từ đó mà ra chứng tỏ rằng các chùm thiên hà tiền cảnh chứa vật chất nhiều hơn gấp mười lần so với thực tế được nhìn thấy trong ánh sáng thường.

Kỹ thuật thứ hai đã được sáng chế để truy tìm các lỗ đen, các sao lùn nâu, và các sao lùn trắng trong quang phổ của Thiên Hà chúng ta. Những vật thể này đã được đặt cho một cái tên kỳ dị là các MACHO (Massive Compact Halo Objects – Những Vật Thể Trong Quang Phổ Cô Đặc Không Lỗ). Nếu một MACHO không

nhìn thấy được (hay vô hình) đi qua ngay giữa một sao xa xôi và Trái Đất, nó có tác dụng như một thấu kính hấp dẫn, hội tụ ánh sáng từ ngôi sao xa xôi và khiến cho nó có vẻ rực sáng hơn qua một khoảng thời gian vài ngày trước khi trở lại độ sáng bình thường của nó.

Các toán nghiên cứu thực hiện các cuộc quan sát hàng triệu ngôi sao trong thiên hà lân cận gọi là Đám mây Magellan Lớn (Large Magellanic Cloud) gần đây đã báo cáo một số thí dụ về chiếu sáng được mong đợi nếu các MACHO có mặt trong quang phổ của Dải Ngân Hà. Từ một số các biến cố như thế, họ có thể ước tính có bao nhiêu MACHO. Hình như các MACHO đóng góp không hơn 50% vật chất tối trong Dải Ngân Hà, và thậm chí nó có thể ít hơn. Khó mà xác định khoảng cách tới vật thể có tác dụng như một thấu kính hấp dẫn bởi vì chúng ta không thể nhìn thấy nó – nếu không thì nó sẽ không phải là vật chất tối. Tuy nhiên, có vẻ như chắc chắn rằng ít nhất một số hiện tượng bẻ cong ánh sáng được tạo ra do các sao khối lượng thấp trong Đám mây Magellan Lớn hơn là do vật chất tối trong quang phổ của Dải Ngân Hà.

Các nhà thiên văn học háo hức xác định vật chất đen là gì, và kết quả đầu tiên này là một điều thất vọng. Thậm chí nếu như hầu hết các MACHO rất cuộc là nằm trong Thiên Hà chúng ta, chúng ta vẫn không biết tối thiểu 50% vật chất tối được cấu tạo bằng gì. Như chúng ta sẽ thấy, có thể rất cuộc là hầu hết vật chất tối được kết hợp từ một loại hạt mới chưa hề được phát hiện trên Trái Đất.

Giải đáp vấn đề vật chất tối là một trong những thử thách trọng đại nhất của các nhà thiên văn học. Nói cho cùng,

chúng ta khó có thể am hiểu được sự tiến hoá của vũ trụ nếu không hiểu được vật chất tối là gì. Thí dụ, một số cuộc quan sát về sự bẻ cong ánh sáng do lực hấp dẫn của các thiên hà xa xôi đang bắt đầu khám phá các vùng tập trung vật chất tối ở đó chúng ta không nhìn thấy bất kỳ thiên hà sáng chói nào. Phải chăng điều này có nghĩa rằng nếu chúng ta chỉ nghiên cứu các thiên hà thì chúng ta đang bỏ sót hầu hết vật chất trong vũ trụ? Vật chất tối đóng vai trò gì trong việc hình thành “các hạt giống” đậm đặc cao hơn dẫn đến sự hình thành của các thiên hà? Và nếu nhiều thiên hà có các quầng sáng lớn được cấu tạo từ vật chất tối, điều này có ảnh hưởng như thế nào tới các sự tương tác lẫn nhau và hình dạng và chủng loại của các thiên hà mà các vụ va chạm của chúng tạo ra? Các nhà thiên văn học được trang bị với đủ loại lý thuyết đang tạo ra các mô hình về cấu trúc và sự tiến hóa của thiên hà chú ý tới vật chất tối theo một đường hướng đúng đắn. Nhưng còn quá sớm để nói “đường hướng đúng” ấy là cái gì.

TÓM LƯỢC

19.1 Số lượng của các thiên hà trong các hướng khác nhau chứng tỏ rằng về mặt vĩ mô vũ trụ là *đồng nhất* (homogeneous) và *đẳng hướng* (isotropic) (giống nhau khắp mọi nơi và mọi hướng ngoài những thay đổi về sự tiến hoá theo thời gian). Sự giống nhau của vũ trụ ở khắp mọi nơi được nói đến như *nguyên lý vũ trụ học* (cosmological principle). Các thiên hà có khuynh hướng tụ hợp với nhau để hình thành các cụm thiên hà. Dải Ngân Hà là một thành viên

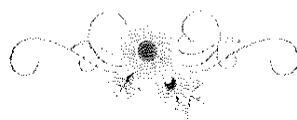
của *Nhóm Cục Bộ* (Local Group), chứa tối thiểu 40 thiên hà thành viên. Các cụm thiên hà phong phú (chẳng hạn như Virgo và Coma) chứa hàng ngàn hay hàng chục ngàn thiên hà. Các *cụm thiên hà* (Galaxy clusters) thường tụ hợp cùng với các cụm thiên hà khác để hình thành các cấu trúc vĩ mô gọi là *các cụm siêu thiên hà* (superclusters) có thể vươn rộng qua các khoảng cách vài trăm triệu năm ánh sáng. Các cụm thiên hà và siêu thiên hà chỉ lấp đầy một phần nhỏ của không gian. Hầu hết không gian bao gồm *các khoảng trống* (voids) nằm giữa các cụm siêu thiên hà, cùng với gần như toàn bộ các thiên hà có phạm vi chưa tới 10% toàn bộ thể tích. Các cụm thiên hà phong phú thường chứa chất khí nóng (10^7 tới 10^8 K), phát xạ tia X, đã bị lấy đi ra khỏi các thiên hà thành viên.

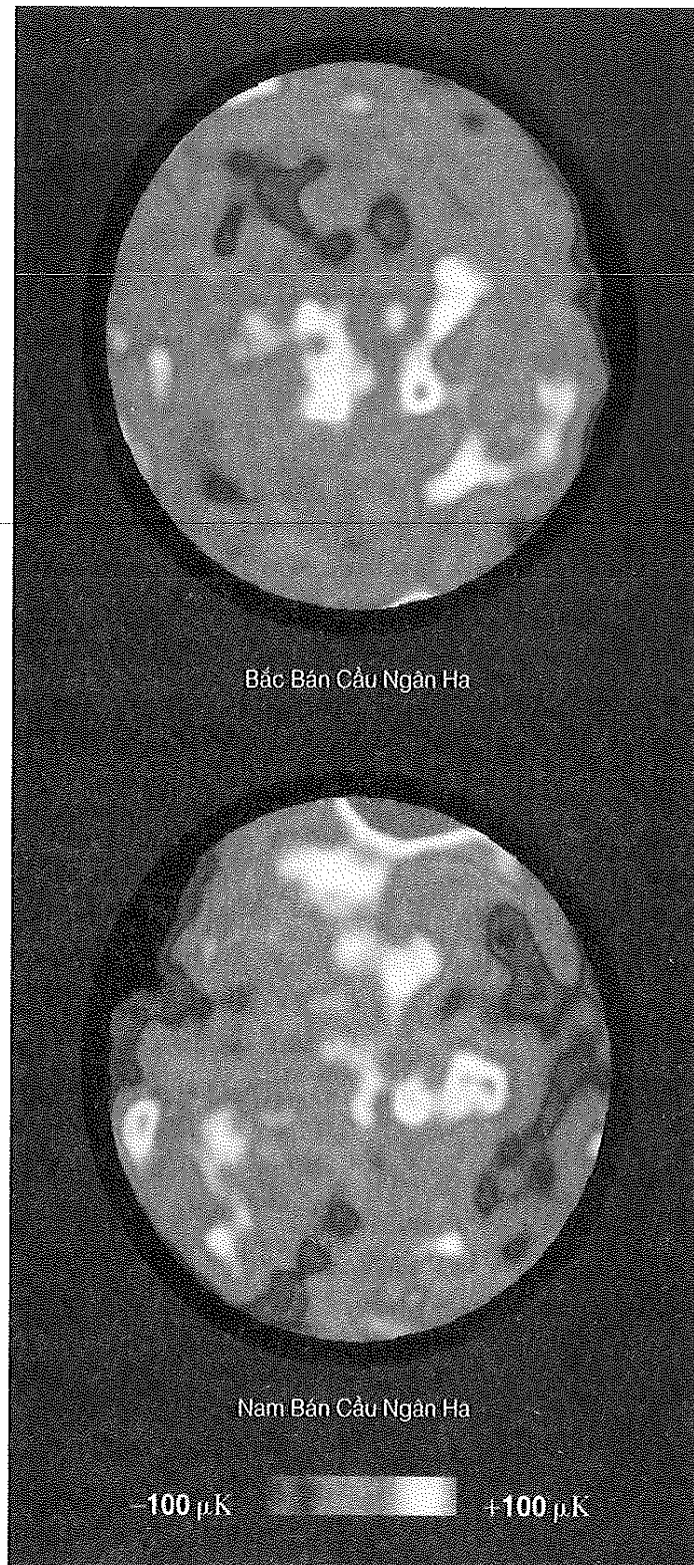
19.2 Các cuộc quan sát nhấn mạnh tầm quan trọng vào các mô hình về sự hình thành thiên hà. Một số thiên hà được hình thành khi vũ trụ không nhiều hơn 1 hay 2 tỉ năm tuổi. Sự hình thành sao trong các thiên hà xoắn ốc cách đây 5 tỉ năm tích cực hơn nhiều so với ngày nay. Cách đây vài tỉ năm có lẽ có nhiều thiên hà hơn bây giờ, với số lượng đang bị giảm đi do các vụ va chạm và sáp nhập. Các thiên hà êlip có khuynh hướng được tìm thấy trong các vùng trung tâm của các cụm thiên hà đậm đặc, trong khi các thiên hà xoắn ốc có khuynh hướng tương đối bị cô lập. Các thiên hà trong các cụm thiên hà đủ gần với nhau để cho các vụ va chạm có khả năng xảy ra. Những vụ va chạm này có thể kích thích sự hình thành sao qua sự nén ép của các đám mây giữa

các vì sao. Khi các thiên hà với kích thước có thể so sánh được với nhau va chạm chúng ta gọi đó là *sự sáp nhập* (merger) nhưng khi một thiên hà nhỏ bị nuốt chửng bởi một thiên hà lớn hơn nhiều, chúng ta sử dụng thuật ngữ *tục ăn thịt đồng loại của thiên hà* (galactic cannibalism).

19.3 Thử thách đối với các lý thuyết hình thành thiên hà là mô tả một sự phân bố suôn sẻ đầu tiên của vật chất có thể phát triển các cấu trúc như thế nào – các thiên hà và các chùm thiên hà – mà chúng ta nhìn thấy ngày nay. Sự cô đặc đầu tiên của vật chất rất có thể đã chứa khối lượng của một thiên hà hay một quần tinh lớn. Các vùng tập trung đầu tiên này của vật chất sau đó tụ hợp để hình thành các thiên hà và các chùm thiên hà. Các cuộc quan sát hiện nay ủng hộ các lý thuyết từ-dưới-lên-trên như thế về sự hình thành sao.

19.4 Vật chất nhìn thấy được trong vũ trụ không sinh ra một lực hấp dẫn đủ lớn để giữ chặt các sao trong các quỹ đạo của chúng bên trong các thiên hà, hay giữ chặt các thiên hà trong các quỹ đạo của chúng chung quanh các thiên hà khác. Tối thiểu phải có vật chất tối nhiều hơn gấp 5 tới 10 lần so với vật chất chiếu sáng. Các nhà thiên văn học vẫn chưa biết liệu vật chất tối được cấu tạo từ vật chất thông thường – thí dụ, proton và neutron – hay từ một loại hạt hoàn toàn mới nào đó chưa được phát hiện trên Trái Đất. Các cuộc quan sát về các hiệu ứng bẻ cong ánh sáng của lực hấp dẫn đối với các vật thể xa xôi đã được sử dụng để truy tìm bất kỳ vật chất tối nào trong vùng ngoại vi của Thiên Hà chúng ta nằm dưới dạng các sao hay xác sao mờ và cô đặc, nhưng những vật thể như thế không thể giải thích được cho toàn bộ vật chất tối.





Các bản đồ của bức xạ nền vi ba của vũ trụ: Bản đồ này mô tả các biến đổi nhỏ bé về nhiệt độ của nền vi ba vũ trụ, bức xạ để lại từ các giai đoạn rất nóng và đầu tiên của vũ trụ. Nó được vẽ từ 4 năm quan sát với vệ tinh COBE (Cosmic Background Explorer) trên quỹ đạo Trái Đất. Bức xạ này đã bị dịch chuyển về phía đỏ bởi sự mở rộng của vũ trụ cho tới ngày nay nó hầu như nằm trong các vùng hồng ngoại và vô tuyến của quang phổ. Các vết trên bản đồ tương ứng với các vùng mật độ lớn hơn và nhỏ hơn trong vũ trụ sơ khai. Chính từ những dao động về mật độ nhỏ bé như thế mà toàn bộ cấu trúc chúng ta hiện nay quan sát trong vũ trụ đã lớn lên.

CHƯƠNG 21

VỤ NỔ LỚN

"Tạo ra một mô hình của vũ trụ giống như cố gắng cắm một cái lều vào một đêm không trăng trong một cơn gió Bắc Cực gào rú dữ dội. Cái lều là lý thuyết. Cơn gió là cuộc thử nghiệm. Sự tiến bộ được tạo ra bất cứ khi nào cái cọc chứng tỏ đủ vững chắc để giữ chặt lều".

Timothy Ferris trong "Minds and Matter" (Tinh thần và Vật Chất),
"The New Yorker", ngày 15/05/1995.

Khi ngày càng nhìn xa hơn ra ngoài vũ trụ, chúng ta ngày càng nhìn xa hơn ngược thời gian. Cái gì nằm ngay lúc khởi đầu của thời gian?

Toàn bộ vũ trụ đã hình thành như thế nào? Nó đã thay đổi như thế nào kể từ khi bắt đầu? Số phận cuối cùng của nó là gì? Trong những thế kỷ vừa qua, những câu hỏi như vậy được coi là thuộc lĩnh vực tôn giáo và triết học. Các phương pháp khoa học có thể không được áp dụng với chúng bởi vì khoa học phụ thuộc vào những cuộc thí nghiệm và quan sát để quyết định trong số những mô hình và lý thuyết khả thi. Chỉ mới gần đây chúng ta có thể tiến hành các loại quan sát và thử nghiệm có thể giúp chúng ta am hiểu quá khứ và tương lai của vũ trụ.

Môn nghiên cứu về vũ trụ nói chung được gọi là *vũ trụ học* (cosmology). Chúng ta hãy bắt đầu bằng cách xem xét một

số khám phá nhờ quan sát về vũ trụ nói chung đã được bao hàm trong cuốn sách này. Thí dụ, chúng ta biết từ các cuộc quan sát về các sự dịch chuyển đỏ và định luật Hubble rằng vũ trụ đang mở rộng. Chúng ta căn cứ trên cuộc quan sát cơ bản này (và các cuộc quan sát khác) để xây dựng một mô hình tối ưu có thể thực hiện về vũ trụ.

20.1 TUỔI CỦA VŨ TRỤ

Điều đáng ngạc nhiên là các nhà khoa học trong những năm 1920 và 1930 đã rất sống sồ khi khám phá ra rằng vũ trụ đang mở rộng. Thực vậy, các lý thuyết về lực hấp dẫn yêu cầu rằng vũ trụ phải là đang mở rộng hay đang co lại. Để mô tả điều này, chúng ta hãy bắt đầu với một vũ trụ có kích thước vô hạn – lấy thí dụ một quả cầu khổng lồ của một ngàn thiên

1. Tất cả các thiên hà chứng tỏ một sự dịch chuyển đỏ tỉ lệ với khoảng cách, ngụ ý rằng vũ trụ đang mở rộng (Chương 17).
2. Sự phân bố các thiên hà trên qui mô lớn nhất là đẳng hướng và đồng nhất (nguyên lý vũ trụ học, Chương 19).
3. Các hàm lượng của vũ trụ tiến hoá theo thời gian: Hydro và helium bị thay đổi thành các nguyên tố nặng hơn bên trong các sao (Chương 7, 13, 14).
4. Lực hấp dẫn làm cong (bẻ cong) cấu trúc của không-thời-gian (Chương 15).

hà. Tất cả các thiên hà này hút lẫn nhau do lực hấp dẫn. Nếu ban đầu chúng đứng yên một chỗ, không chuyển động, chắc chắn chúng sẽ bắt đầu di chuyển lại gần với nhau và cuối cùng va chạm vào nhau. Chúng có thể tránh được sự sụp đổ này chỉ khi nào vì một lý do nào đó, chúng tình cờ đang di chuyển xa ra khỏi nhau với tốc độ cao. Trong cùng một cách như vậy, một hỏa tiễn được phóng đi với tốc độ đủ cao có thể tránh không bị rơi trở lại Trái Đất.

Vấn đề về những gì xảy ra trong một vũ trụ vô tận khó mà giải quyết, nhưng Einstein đã sử dụng lý thuyết tương đối tổng quát để chứng tỏ rằng ngay cả những vũ trụ vô tận vô biên cũng không thể tĩnh tại. Bởi vì các nhà thiên văn học vào thời điểm đó vẫn chưa biết vũ trụ đang mở rộng (và chính Einstein, về phương diện triết học, cũng không muốn chấp nhận một vũ trụ đang chuyển động), ông đã thay đổi các phương trình của mình bằng cách giới thiệu một thuật ngữ mới gọi là *hằng số vũ trụ* (cosmological constant). Nó tượng trưng cho một *lực đẩy giả định* (hypothetical force of

repulsion) có thể cân bằng lực hấp dẫn trên qui mô lớn nhất và cho phép các thiên hà giữ nguyên các khoảng cách cố định với nhau.

Khi Hubble báo cáo rằng vũ trụ đang mở rộng, cho nên lực cân bằng bí ẩn không cần thiết nữa, có người cho là Einstein đã nói rằng sự giới thiệu một hằng số vũ trụ là “điều sai lầm lớn nhất trong cuộc đời tôi”. Tuy nhiên, những cuộc quan sát mới gợi ý rằng sự mở rộng có thể đang *tăng tốc* (accelerating). Nếu các cuộc quan sát ấy được xác nhận, có lẽ cuối cùng thiên tài của Einstein lại đúng.

♦ THỜI GIAN CỦA HUBBLE

Nếu chúng ta có một cuộn phim về vũ trụ đang mở rộng và quay cuộn phim chạy ngược lại, chúng ta sẽ nhìn thấy điều gì? Các thiên hà, thay vì di chuyển ra xa, sẽ di chuyển lại gần nhau và ngày càng gần hơn. Cuối cùng, chúng ta sẽ nhận ra rằng toàn bộ vật chất trước kia đã tập trung vào một thể tích nhỏ xíu. Các nhà thiên văn học phân định thời điểm này với *sự khởi đầu của vũ trụ* (the beginning of the universe). Sự bùng nổ của vũ trụ đã cô đặc, tập trung ấy ngay lúc bắt đầu của thời gian được gọi là *Vụ Nổ Lớn* (Big Bang). Nhưng vụ nổ này xảy ra khi nào?

Chúng ta có thể thực hiện một ước tính hợp lý về thời gian kể từ khi sự mở rộng bắt đầu. Để hiểu các nhà thiên văn học thực hiện việc này như thế nào, chúng ta hãy bắt đầu với một phép loại suy. Giả sử lớp học thiên văn của bạn quyết định tổ chức một bữa tiệc (đại loại một “vụ nổ lớn”) tại nhà một người nào đó để chúc mừng kết thúc học kỳ. Khi mọi người đang ăn mừng, những người láng giềng đi gọi cảnh sát đến và đuổi

mọi người ra ngoài cùng một lúc. Bạn về nhà lúc 2 giờ sáng, vẫn còn một chút khó chịu về cái cách mà bữa tiệc chấm dứt, và nhận ra bạn đã quên nhìn đồng hồ để biết cảnh sát đến đó lúc mấy giờ. Nhưng bạn sử dụng một bản đồ để đo đạc khoảng cách giữa bữa tiệc và nhà bạn là 40 km. Và bạn cũng nhớ lại rằng bạn lái xe một mạch với một tốc độ không đổi là 80 km/h. Cho nên chuyến đi phải mất:

$$\text{Thời gian} = \text{Khoảng cách} / \text{Vận tốc} = 40 \text{ km} / (80 \text{ km/h}) = 0,5 \text{ h}$$

Do đó bữa tiệc đã “bị phá vỡ” vào lúc 1 giờ 30 sáng.

Không có ai chung quanh để nhìn đồng hồ khi vũ trụ bắt đầu, nhưng chúng ta có thể sử dụng cùng một kỹ thuật để ước tính khi các thiên hà bắt đầu di chuyển ra xa lẫn nhau. (Hãy nhớ rằng, trong thực tế, chính không gian đang mở rộng, không phải các thiên hà đang di chuyển bằng cách nào đó). Nếu chúng ta có thể đo được các thiên hà đã tách xa bao nhiêu, và chúng đang di chuyển nhanh như thế nào, thì chúng ta có thể tính toán được nó đã thực hiện chuyến đi bao lâu.

Chúng ta hãy gọi tuổi của vũ trụ đã đo được theo cách này là T_0 . Thời gian cần thiết để một thiên hà di chuyển tới một khoảng cách, d , cách xa khỏi Dải Ngân Hà (hãy nhớ rằng ngay lúc bắt đầu các thiên hà đều tụ hợp với nhau trong một thể tích rất nhỏ bé) là:

$$T_0 = d/v$$

Trong đó, v là vận tốc của thiên hà. Bởi vì các thiên hà riêng lẻ có các chuyển động cục bộ của riêng chúng, chúng ta muốn thực hiện các phép đo không chỉ đối với một thiên hà, nhưng cho một thí dụ tốt về chúng. Nếu có thể đo được

tốc độ qua đó nhiều thiên hà khác nhau đang di chuyển ra xa, và cũng đo được các khoảng cách giữa chúng, chúng ta có thể chứng minh sự mở rộng đã bắt đầu cách đây bao lâu.

Việc thực hiện các phép đo như thế có lẽ rất quen thuộc. Đó chính là những gì mà Hubble và nhiều nhà thiên văn học cần thực hiện để chứng minh định luật Hubble và hằng số Hubble. Chúng ta đã biết được trong Chương 17 rằng khoảng cách của thiên hà và vận tốc của nó trong vũ trụ mở rộng được liên kết bởi:

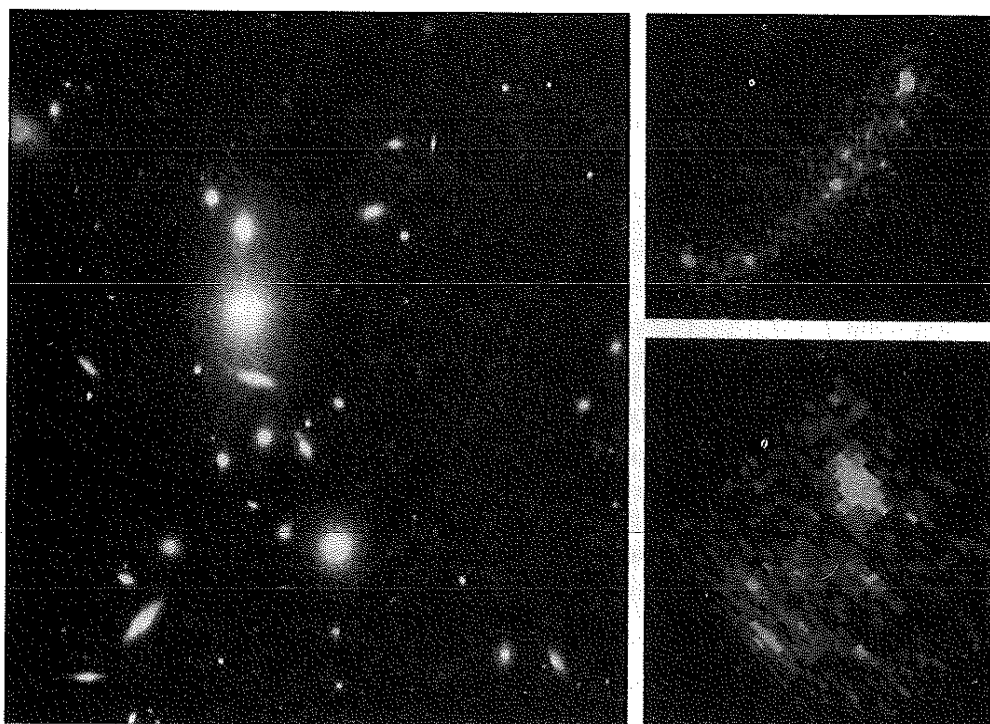
$$v = H.d$$

Trong đó H là hằng số Hubble và dấu. là ký hiệu cho phép nhân. Kết hợp hai biểu thức này cho chúng ta:

$$T_0 = d/v = d/(H.d) = 1/H$$

Sau đó, chúng ta thấy rằng công việc tính toán thời gian này đã được thực hiện đối với chúng ta khi các nhà thiên văn học đã đo được hằng số Hubble. Tuổi của vũ trụ được ước tính theo cách này hoá ra chỉ là *số nghịch đảo của hằng số Hubble* (nghĩa là $1/H$). Sự ước tính tuổi này đôi khi được gọi là *thời gian Hubble* (Hubble time). Đối với hằng số Hubble là 20 km/s trên 1 triệu LY, thời gian Hubble là khoảng 15 tỉ năm.

Hãy nhớ rằng để xác định hằng số Hubble (và do đó phép đo gần đúng của chúng ta về tuổi của vũ trụ), các nhà thiên văn học phải đo được các vận tốc và các khoảng cách của nhiều thiên hà. Chúng ta có thể đo vận tốc bằng cách sử dụng sự dịch chuyển Doppler của các vạch trong quang phổ của thiên hà, nhưng – như chúng ta đã thấy trong Chương 17 – để thu thập được các khoảng cách là điều khó khăn hơn nhiều. Nếu



Các thiên hà mờ nhất từng được chụp ảnh: Bức hình này, được chụp vào tháng 1/1998 bằng ánh sáng hồng ngoại với Kính không gian Hubble, chứa hơn 300 thiên hà với các hình dạng xoắn ốc, êlip, và bất thường (hay không đều). Để chụp được bức ảnh này, Hubble được hướng về cùng một đốm nhỏ trên bầu trời, ngay bên trên chòm Đại Hùng (Big Dipper), trong 36 giờ. Một số vật thể mờ nhất được nhìn thấy ở đây có thể cách xa hơn 12 tỉ năm ánh sáng. Các hình bên phải mô tả những cận ảnh của hai trong số các vật thể mờ nhất. Đã chưa có kính viễn vọng nào được xây dựng đủ lớn để thu được các quang phổ của các vật thể mờ nhạt này và xác định chính xác chúng cách xa bao nhiêu.

các ước tính về khoảng cách bị sai lệch bởi một hệ số hai, thì hằng số Hubble sẽ bị sai bởi một hệ số hai, và sự ước tính về tuổi của vũ trụ cũng sẽ sai bởi một hệ số hai. Vì thế tuổi của vũ trụ và thang khoảng cách ngoại thiên hà được liên kết vô cùng chặt chẽ.

Trong 20 năm vừa qua, các ước tính của hằng số Hubble đã có phạm vi từ khoảng 15 tới 35 km/s trên 1 triệu LY. Bởi vì hằng số Hubble là số nghịch đảo của số tuổi, hằng số càng lớn hơn, vũ trụ mở rộng càng nhanh hơn, và do đó nó phải là càng trẻ hơn. Thời gian Hubble được ngụ ý bởi các trị số này có phạm vi từ 20 tỉ năm đối với đoạn già tới khoảng 10 tỉ năm đối với đoạn trẻ. Trong chỉ có 5 năm vừa qua, một số kỹ thuật mới để

ước tính các khoảng cách đã hoàn toàn hội tụ vào một hằng số Hubble khoảng 20 km/s trên 1 triệu LY, nó hình thành thời gian Hubble khoảng 15 tỉ năm. (Trong các đơn vị được sử dụng bởi các nhà thiên văn học chuyên nghiệp, và thường được nêu ra trong báo chí, 20 km/s trên 1 triệu LY tương ứng với 65 km/s trên 1 triệu parsecs).

♦ VAI TRÒ CỦA SỰ GIẢM TỐC

Thời gian Hubble là số tuổi chính xác đối với vũ trụ chỉ khi nếu tốc độ mở rộng đã không biến đổi qua thời gian kể từ khi sự mở rộng của vũ trụ bắt đầu. Sự tiếp tục với phép loại suy về sự-kết-thúc-bữa-tiệc-cuối-học-kỳ của

chúng ta, điều này tương đương với giả định rằng bạn đi về nhà từ bữa tiệc với một tốc độ không đổi, khi thực ra điều này có thể đã không đúng. Đầu tiên, bạn có thể đã lái xe chạy nhanh, nhưng sau đó khi bình tĩnh lại, bạn có lẽ đã bắt đầu chạy chậm lại cho tới khi lái xe với một tốc độ được chấp nhận hơn (chẳng hạn như 80 km/h). Trong trường hợp này, vì bạn đang lái xe nhanh hơn vào lúc ban đầu, chuyến đi về nhà sẽ mất chưa tới nửa giờ.

Cùng một cách như vậy, trong việc tính toán *thời gian Hubble* (Hubble time), chúng ta đã giả định rằng H đã là hằng số qua suốt toàn bộ thời gian. Điều này có lẽ không phải là một giả định hợp lý. Vật chất tạo ra lực hấp dẫn, nhờ đó tất cả các vật thể thu hút tất cả các vật thể khác. Lực hút tương hỗ này sẽ làm chậm lại sự mở rộng khi thời gian trôi qua, có nghĩa là, nếu lực hấp dẫn là lực duy nhất gây nên tác động (nghĩa là nếu hằng số vũ trụ học bằng không), thì tốc độ mở rộng phải đã nhanh hơn trong quá khứ so với ngày nay. Trong trường hợp này, chúng ta sẽ nói rằng vũ trụ đã *giảm tốc* kể từ khi bắt đầu. Nó đã giảm tốc bao nhiêu điều đó tùy thuộc vào tầm quan trọng của lực hấp dẫn trong việc làm chậm lại sự mở rộng.

Nếu vũ trụ gần như trống rỗng, thì vai trò của lực hấp dẫn sẽ là thứ yếu, không quan trọng. Sự giảm tốc sẽ đi tới bằng không (hay zero) và vũ trụ sẽ mở rộng với một tốc độ không đổi. Nhưng trong một vũ trụ với bất kỳ độ đậm đặc đáng kể nào của vật chất, sự giảm tốc có nghĩa là sự mở rộng hiện nay chậm hơn với nó trước kia. Trong trường hợp này, tuổi của vũ trụ nhỏ hơn sự ước tính trước đây của chúng ta, giả định một tốc độ

mở rộng không đổi. Nếu sử dụng tốc độ mở rộng hiện thời để ước tính phải mất bao lâu các thiên hà mới đạt tới sự tách xa ra hiện nay của chúng, chúng ta sẽ đánh giá quá cao tuổi của vũ trụ – cũng giống như chúng ta có lẽ đã ước tính quá mức thời gian cần thiết để bạn trở về nhà từ bữa tiệc.

✧ MỘT SỰ TĂNG TỐC CỦA VŨ TRỤ?

Nhưng điều gì sẽ xảy ra nếu ý tưởng ban đầu của Einstein là đúng, và nếu quả thực có một hằng số vũ trụ? Gần đây, các nhà thiên văn học đã bắt đầu sử dụng siêu tân tinh loại Ia để thử đo đặc tốc độ mở rộng của vũ trụ. Hãy nhớ rằng loại siêu tân tinh này xuất hiện khi một sao lùn trắng gom đủ vật chất để bị đẩy qua giới hạn Chandrasekhar và bùng nổ. Tất cả các siêu tân tinh này hầu như có cùng một độ sáng với ánh sáng cực đại (và các nhà thiên văn học cách để điều chỉnh các chênh lệch nhỏ bé trong chúng). Các siêu tân tinh như thế có thể được sử dụng như “các bóng đèn tiêu chuẩn” (như đã bàn luận trong chương về các thiên hà).

Nếu phát hiện ra một siêu tân tinh loại Ia trong một thiên hà xa xôi, chúng ta biết được khoảng cách của nó một cách rất chính xác. Từ quang phổ của nó, có thể đo được thiên hà ấy đang di chuyển cách xa ra chúng ta nhanh đến mức nào. Thay thế định luật Hubble, chúng ta có thể có được hằng số Hubble, và theo cách này có thể xác định liệu tốc độ mở rộng của vũ trụ (đó là những gì hằng số Hubble cho chúng ta biết) tại thời điểm sự bùng nổ siêu tân tinh xảy ra có giống như tốc độ ngày nay.

Các siêu tân tinh loại Ia cực kỳ sáng chói, và chúng ta có thể phát hiện ra

chúng tại các khoảng cách vài tỉ LY (năm ánh sáng). Siêu tân tinh xa nhất từng được đo cho tới nay phát xạ ánh sáng khi vũ trụ vào khoảng phân nửa độ tuổi của chúng hiện nay. Hai nhóm thiên văn đã truy tìm các siêu tân tinh này và đã quan sát hơn một trăm siêu tân tinh. Cả hai đều kết luận rằng vũ trụ đang mở rộng ngày nay với tốc độ nhanh hơn so với nó tại thời điểm các vụ nổ siêu tân tinh đã diễn ra. Vũ trụ, theo các kết quả này, *đang tăng tốc* (accelerating). Điều này có nghĩa là một số loại lực “phản-hấp-dẫn” đang đẩy các thiên hà tách xa ra với một tốc độ gia tăng – đúng như hiệu ứng mà hằng số vũ trụ của Einstein thêm vào công thức về vũ trụ.

Năng lượng liên kết với hằng số vũ trụ không do vật chất hay sự bức xạ sở hữu, mà do không gian “trống rỗng” sở hữu. Một cách giải thích là các hạt sơ cấp nhỏ bé xuất hiện và biến mất mang đến cho không gian một sự đàn hồi để đẩy nó tách rời ra. Người ta đã cố gắng tính toán hiệu ứng này lớn đến mức nào, nhưng cho tới nay các dự đoán không phù hợp với sự tăng tốc xuất phát từ việc quan sát các siêu tân tinh.

Việc đẩy mọi vật ra xa với một tốc độ gia tăng đòi hỏi phải có năng lượng. Nếu sự giải thích các quan sát là đúng, khoảng 70% toàn bộ năng lượng trong vũ trụ có liên quan với lực “phản hấp dẫn” – và thậm chí chúng ta không biết nguồn gốc của năng lượng là gì.

Nhiều nhà thiên văn học đang cố gắng tìm hiểu một cách nào khác để giải thích các quan sát. Những gì chúng ta thực sự quan sát được là các siêu tân tinh xa nhất mờ hơn khoảng 20% so với chúng nếu như tốc độ mở rộng không thay đổi. Sự mở rộng tăng tốc cung cấp một lời giải thích

tự nhiên. Nếu vũ trụ đang mở rộng hiện nay nhanh hơn so với trong quá khứ, sự chuyển động của chúng ta xa ra khỏi các siêu tân tinh xa xôi đã tăng tốc kể từ khi ánh sáng rời khỏi chúng, cuốn chúng ta ra xa hơn. Thế thì ánh sáng phải đi qua một khoảng cách dài hơn để tới chúng ta so với nếu như tốc độ mở rộng là bất biến (không thay đổi). Bởi vì lượng bức xạ đi tới chúng ta bằng số bình phương nghịch đảo của khoảng cách, các siêu tân tinh trông mờ hơn so với dự đoán đối với một tốc độ mở rộng bất biến.

Nhưng tới điểm này có lẽ bạn đang thắc mắc, có thể không có những nhân tố khác khiến cho các siêu tân tinh xa xôi trông mờ nhạt hơn mà không phải viện đến một điều gì đó thật mãnh liệt như một vũ trụ đang tăng tốc? Lấy ví dụ, nếu có bụi giữa các siêu tân tinh và chúng ta, ánh sáng sẽ bị hấp thụ bởi bụi, và các siêu tân tinh sẽ trông mờ hơn. Tuy nhiên, các loại bụi chúng ta biết khiến cho các vật thể trông thấy đỏ hơn cũng như mờ hơn, và không có chứng cứ nào về sự ửng đỏ của các siêu tân tinh xa xôi.

Một khả năng khác là những vụ nổ siêu tân tinh về bản chất mờ hơn khi vũ trụ còn trẻ. Sau cùng, các thành phần của các sao đang chết có thể từ lâu đã bị khác hơn một chút vì không có đủ thời gian để tạo ra các nguyên tố nặng hơn hydro và helium. Đó là một ý tưởng thú vị; tuy nhiên, các quang phổ của các siêu tân tinh xa xôi – các nhà thiên văn học không thấy có chứng cứ nào đối với sự khác biệt đáng kể về thành phần cấu tạo.

Các nhà khoa học đang tìm kiếm các khả năng khác về sự mờ đi ánh sáng của các siêu tân tinh xa xôi. Bởi vì kết quả này rất quan trọng – ấy là chúng ta không biết nguồn gốc của 70% năng

lượng trong vũ trụ – rất nhiều nỗ lực đang được mở ra về việc cố gắng phát hiện liệu có bất kỳ sai sót nào với các quan sát hay sự giải thích. Tuy nhiên, cho tới nay không một ai đã tìm thấy một thử thách thuyết phục về chứng cứ cho rằng sự mở rộng đang tăng tốc.

Khả năng cho rằng vũ trụ đang tăng tốc khiến cho các ước tính của chúng ta về độ tuổi của vũ trụ khá là không chắc chắn. Nếu không có sự tăng tốc hay giảm tốc nào cả, đối với hằng số Hubble là 20km/s trên 1 triệu LY, tuổi của vũ trụ là 15 tỉ năm. Nếu vũ trụ đang giảm tốc – ngày nay di chuyển chậm hơn so với nó lúc bắt đầu – vũ trụ còn trẻ hơn nữa. Nếu sự mở rộng đang tăng tốc, nó già hơn 15 tỉ năm. Còn bây giờ, chúng ta sẽ sử dụng 15 tỉ năm như một ước tính hợp lý, với độ bất định không nhiều hơn khoảng 5 tỉ năm với cả hai chiều hướng.

♦ SO SÁNH CÁC ĐỘ TUỔI

Chúng ta có thể ước tính tuổi của vũ trụ theo cách thức nào khác nữa ngoài việc đo tốc độ qua đó nó mở rộng chẳng?



Một quần tinh cầu phong phú: Các quần tinh cầu, chẳng hạn như 47 Tucanae được nhìn thấy ở đây, nằm trong số các vật thể già nhất trong Thiên Hà của chúng ta và có thể được sử dụng để ước tính tuổi của nó. Bức ảnh này được chụp bằng kính viễn vọng Schmidt 1 mét tại La Silla ở Chile.

Một phương thức là tìm ra những vật thể già nhất mà tuổi của chúng chúng ta có thể đo được. Nói cho cùng, vũ trụ ít nhất phải là già bằng các vật thể già nhất trong nó. Trong Thiên Hà của chúng ta và các thiên hà khác, các sao già nhất được tìm thấy trong các quần tinh cầu, chúng được xác định niên đại bằng cách sử dụng các phương pháp mô tả trong Mục 13.3.

Các mô hình tối ưu của chúng ta chứng tỏ rằng một số quần tinh cầu tối thiểu là 13 tỉ năm tuổi, và điều này có vẻ như phù hợp ít ra tương đương với độ tuổi được ước tính từ sự mở rộng. Chúng ta hy vọng rằng phải mất 1 tỉ năm hay gần như thế sau khi sự mở rộng bắt đầu để các sao đầu tiên hình thành, và do đó các sao già nhất có lẽ hơi trẻ hơn độ tuổi được suy ra từ tốc độ mở rộng.

Các nhà thiên văn học đã băn khoăn rằng các sao trong các quần tinh cầu có vẻ tối thiểu là 18 tỉ năm tuổi – già hơn các ước tính của chúng ta về độ tuổi của chính bản thân vũ trụ. Tuy nhiên, các ước tính cải tiến về các khoảng cách sao từ vệ tinh Hipparcos và các mô hình cải tiến về việc các sao tiến hoá như thế nào đã hạ thấp ước tính về độ tuổi của các sao trong quần tinh cầu. Và ước tính mới của hằng số Hubble làm gia tăng độ tuổi đã được ước tính của vũ trụ. Sự phối hợp các thay đổi này theo cách mà, trong biên độ bất định của các ước tính, tuổi của các sao già nhất và tuổi của vũ trụ được ước tính từ tỉ lệ mở rộng hiện nay là khá ổn định.

20.2 HÌNH HỌC VỀ KHÔNG-THỜI-GIAN

Bây giờ chúng ta quay trở lại một điểm khác trong số các đặc điểm cơ bản

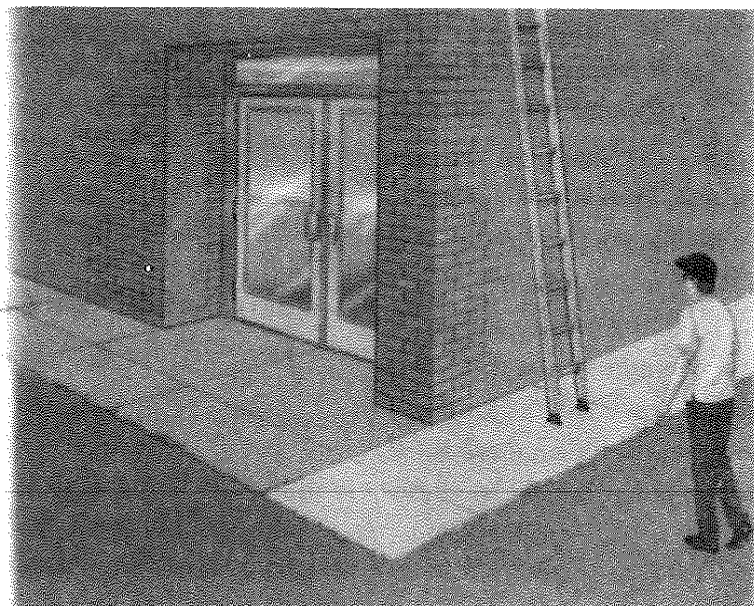
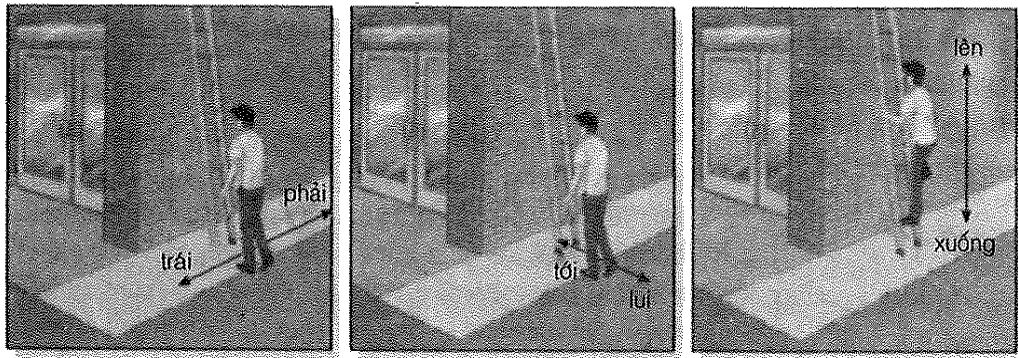
được quan sát của vũ trụ, mà chúng ta phải kể đến như một thành phần đầu tiên trong công thức lập mô hình. Như chúng ta đã thấy trong Chương 15, ảnh hưởng của lực hấp dẫn là bẻ cong hay làm cong cấu trúc của không gian và thời gian. Chúng ta đã quan sát được rằng hiệu ứng này khó mà đo được trên Trái Đất, nhưng nó trở thành quá mạnh khi chúng ta tiến gần tới chân trời biến cố của một lỗ đen.

Các phương trình về thuyết tương đối tổng quát của Einstein mô tả mối quan hệ giữa lực hấp dẫn và không-thời-gian đối với bất kỳ hệ thống nào, kể cả toàn

thể vũ trụ. Các dự đoán của thuyết tương đối tổng quát là cực kỳ dị thường.

♦ ĐUA VUI VỚI CÁC CHIỀU

Để đánh giá những gì xảy ra khi lực hấp dẫn của toàn bộ vật chất trong vũ trụ ảnh hưởng đến độ cong của không-thời-gian đối với toàn thể vũ trụ, trước hết chúng ta phải bàn luận về khái niệm của các chiều hướng. Chiều có thể được định nghĩa như một sự lựa chọn độc lập để di chuyển. Thí dụ, nếu bạn đang đứng tại chân của một bức tường với cái thang nằm trên nó, bạn có ba sự lựa chọn độc



Hình dung các chiều: Trong thế giới ba chiều, có ba sự lựa chọn độc lập để di chuyển: tới-lui, trái-phải, và lên-xuống.

lập để di chuyển. Bạn có thể đi qua bên trái hay qua bên phải; bạn có thể bước tới hay bước lui; và bạn có thể leo lên hay leo xuống. Mỗi chuyển động là độc lập (hay riêng biệt), theo nghĩa rằng bạn có thể thực hiện một chuyển động này mà không buộc thực hiện bất cứ chuyển động nào khác. Tuy nhiên, trong hầu hết các tình huống trong cuộc sống, bạn kết hợp cả ba: Thí dụ, bạn có thể leo lên một cầu thang cong lớn bằng cách di chuyển lên trên, đi tới, và qua bên phải trong cùng một lúc.

Chúng ta sống trong một thế giới ba chiều và chấp nhận chúng là điều hiển nhiên. Với một cố gắng tối thiểu chúng ta có thể di chuyển trong bất cứ chiều nào, và mọi thứ từ cơ thể chúng ta cho tới các thiên hà xa nhất vươn ra trong cả ba chiều. Những gì mà thuyết tương đối tổng quát nêu ra (được diễn dịch thành ngôn ngữ thường nhật) là lực hấp dẫn có thể làm cong hay bẻ cong không-thời-gian – một khái niệm đòi hỏi sự quan tâm của chúng ta tới một *chiều thứ tư*.

Một chiều như thế không thể hình dung ra được trong trí của bạn (mặc dù hiện nay có các chương trình máy tính rất thú vị có thể mô tả các lát cắt ba-chiều của các vật thể bốn-chiều – giống như một bức vẽ của một kiến trúc sư mô tả các lát cắt hai-chiều xuyên qua một ngôi nhà ba-chiều). Bởi vì không một ai có thể nghĩ ra bốn chiều, chúng ta hãy thử tìm hiểu các đặc tính của một vũ trụ như thế bằng cách giảm các chiều của nó. Chúng ta sẽ khảo sát một vũ trụ hai chiều có thể có bị bẻ cong trong chiều thứ ba.

✧ PHÉP LOẠI SUY VỀ QUẢ BÓNG

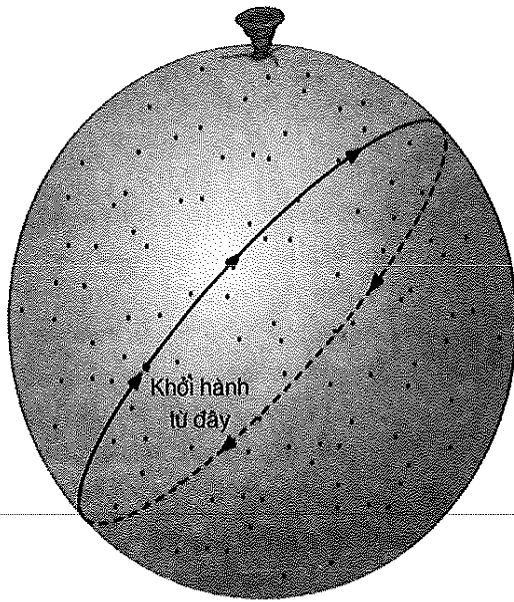
Hãy hình dung rằng “vũ trụ” mà chúng ta quan tâm là vỏ ngoài của một

quả bóng hình cầu to lớn. Chúng ta có thể tượng trưng các thiên hà bằng cách dán các hạt cát lên trên cái vỏ này. Nếu chúng ta bị hạn chế chỉ di chuyển trên *bề mặt* của quả bóng – mà không phải bên trong hay bên trên nó – thế thì chúng ta đang xử lý với một thế giới hai-chiều. (Hãy kiểm tra điều này bằng cách đếm số lựa chọn để di chuyển: Bạn có thể đi tới-lui hay trái-phải, nhưng bạn không thể di chuyển lên-xuống và vẫn còn trong thế giới của cái vỏ). Nhưng vũ trụ hai-chiều của bề mặt quả bóng bị uốn cong trong chiều thứ ba – nó bị bẻ cong chung quanh không gian bên trong quả bóng.

Chúng ta hãy khảo sát các đặc tính của thế giới hai-chiều của cái vỏ quả bóng. Chúng ta tưởng tượng rằng bản thân chúng ta là những hạt bụi nhỏ hai-chiều sống trong thế giới này.

Nếu di chuyển chung quanh, chúng ta có thể xác định một số đặc điểm:

- Nếu bạn cứ đi mãi theo một đường thẳng (thí dụ luôn đi tới), cuối cùng bạn trở về nơi bạn đã bắt đầu. Thế giới của cái vỏ quả bóng không có rìa mép (edge).
- Bởi vì bạn có thể đi vòng quanh theo bất cứ hướng nào, không có vị trí nào trong thế giới này có thể được coi là trung tâm (center). Tất cả các vị trí trên vỏ cũng đều có thể là trung tâm; không có vị trí nào đặc biệt hơn bất kỳ vị trí nào.
- Nếu bơm căng quả bóng lên, những hạt cát được dán trên vỏ di chuyển xa ra nhau. Mỗi phần của vỏ quả bóng đều giãn ra bằng nhau. Tất cả hạt cát di chuyển xa ra nhau, nhưng khi nhìn những hạt cát khác, chúng thấy một điều gì đó rất thú vị. Phần quả bóng



Một vũ trụ hình quả bóng: Một "vũ trụ" bao gồm chỉ có bề mặt của một quả bóng (với những hạt cát được dán lên vỏ) không có tâm cũng không có rìa mép. Nếu bạn di chuyển thẳng tới trước theo một chiều, cuối cùng bạn quay trở lại nơi bạn đã bắt đầu. Nếu bạn bơm căng một quả bóng như thế, tất cả các hạt cát đều di chuyển xa ra với nhau.

càng lớn giữa hai hạt cát, chúng có vẻ di chuyển xa ra nhau càng nhanh hơn. Đây là định luật Hubble! (Chúng ta đã thấy một điều giống như vậy với các bánh mì nho trong Chương 17).

- Khi quả bóng đã được bơm căng, bề mặt của nó ngày càng lớn hơn. Bề mặt mới này xuất phát từ đâu? Nó đang bị căng giãn ra từ vỏ quả bóng hiện có. Và sự chuyển động của các hạt bụi được gây ra bởi sự giãn ra này (không phải bởi bất cứ điều gì mà tự bản thân những hạt bụi đang thực hiện).

Nếu là một trong những hạt bụi hai-chiều đang sống trên vỏ quả bóng, chúng ta sẽ nhận thấy thế giới của chúng ta hết sức lạ lùng! Một thế giới không có trung tâm, không có gờ mép, và những đường thẳng quay trở lại với chính nó

– tất cả các đặc tính của nó sẽ đi ngược lại trực giác hai-chiều của chúng ta. Tuy thế, với tư cách một nhà thiên văn học ba-chiều, bạn có thể không nhận thấy tình huống kỳ quặc chút nào. Nói cho cùng, bề mặt của Trái Đất đúng là loại của "thế giới" này. Bề mặt của hành tinh chúng ta không có trung tâm và gờ mép, và nếu bạn cứ đi thẳng tới trước trên nó, bạn sẽ trở lại nơi bạn đã bắt đầu.

Một hạt bụi cũng có thể thắc mắc, trong thế giới của bề mặt quả bóng sự mở rộng đã bắt đầu ở đâu? Câu trả lời thích hợp duy nhất là thế giới của vỏ quả bóng đã bắt đầu mở rộng khắp mọi nơi cùng một lúc. Không có hạt cát nào, không có vết đốm nào của vỏ quả bóng là vị trí độc nhất của sự mở rộng ban đầu. Khi không khí tràn vào đầy quả bóng, tất cả các điểm trên vỏ của nó di chuyển ra xa đối với tất cả các điểm khác cùng một lúc.

Sự khác biệt giữa bạn và hạt bụi hai-chiều là bạn có thể hình dung những gì đang xảy ra trong một chiều nữa mà các hạt bụi thì không thể. Bề mặt của quả bóng (hay Trái Đất) có các "đặc tính kỳ lạ" mà chúng ta đã phác họa bởi vì nó bị cong ở theo một chiều khác nữa (thứ ba) – một chiều mà hạt bụi không thể hình dung được.

Loại vũ trụ cong mà chúng ta đang mô tả trong phép loại suy được gọi là một *vũ trụ khép kín* bởi vì khi bạn đi tới, cuối cùng sẽ quay trở lại nơi bạn đã bắt đầu. Chân trời biến cố của một lỗ đen bao gồm loại "vũ trụ túi" này. Chúng ta chỉ ra rằng đây không phải là loại độ cong duy nhất có thể tồn tại. Trong một *vũ trụ mở rộng*, điều ngược lại xuất hiện: Khi bạn di chuyển ra ngoài, càng nhiều không gian hơn mà bạn hy vọng mở rộng ra phía trước. Một vũ trụ mở rộng uốn

cong ra xa khỏi nơi bạn đã bắt đầu theo mọi hướng. Điều đó khó hình dung hơn nhiều, song nó cũng không có trung tâm và rìa mép.

✧ ĐỘ CONG CỦA VŨ TRỤ

Bây giờ chúng ta hãy áp dụng vào vũ trụ thực những gì đã tìm hiểu trong phép loại suy. Lực hấp dẫn của tất cả mọi vật chất trong vũ trụ đưa đến một không-thời-gian cong – thế giới bốn chiều. Trong một thế giới như vậy, chúng ta – giống như những hạt bụi trên vỏ của quả bóng – có thể khám phá một số điều kỳ quặc bằng trực giác. Thí dụ, sẽ không có trung tâm hay rìa mép đối với vũ trụ. Mỗi thiên hà sẽ có quyền như nhau để gọi chính bản thân nó là trung tâm hay để yêu cầu rằng không có thiên hà nào được coi là trung tâm.

Sự mở rộng của vũ trụ có nghĩa không gian kéo dài ra, với nhiều không gian hơn nữa xuất hiện từ không gian hiện hữu. Các thiên hà di chuyển xa ra bởi vì không gian đang kéo giãn ra và mang chúng tách xa nhau. Các thiên hà càng xa, có càng nhiều không gian giữa chúng và chúng ta, kéo giãn ra xa nhất, cho chúng ta định luật Hubble.

Và nếu một hướng dẫn viên du lịch muốn bắt đầu chuyến đi tới chỗ mà sự mở rộng đã bắt đầu, nỗ lực này sẽ phải chịu số phận bi đát là thất bại. Sự mở rộng của vũ trụ đã bắt đầu ở *mọi nơi cùng một lúc* (everywhere at once) khắp vũ trụ mà chúng ta có thể nhìn thấy. Theo quan điểm hiện đại, vụ nổ lớn không phải là một vụ nổ của vật chất và năng lượng bên trong không gian – ngược lại, nó là một vụ nổ của không-thời-gian, với vật chất và năng lượng tham gia một cách thụ động.

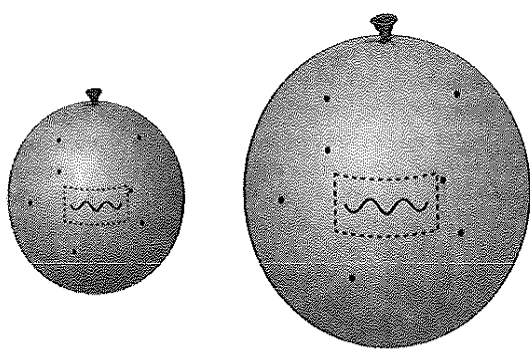
Giống như một hạt bụi hai-chiều không thể tìm hiểu ý tưởng rằng có thể có một chiều thứ ba trong đó thế giới của nó bị uốn cong, chúng ta, những sinh vật ba-chiều chống lại ý tưởng về một chiều khác nữa – chiều mà chúng ta không thể nhận thức qua các giác quan. Nhưng hãy nhớ rằng, trong khoa học, không phải một mô hình hay một lý thuyết nào, dễ thương hay đơn giản là đáng kể; mà đánh giá cuối cùng phải là các cuộc thí nghiệm có ủng hộ lý thuyết đó hay không.

Chúng ta có chứng cứ nào chứng tỏ rằng lực hấp dẫn có thể bẻ cong hay uốn cong không-thời-gian? Chúng ta đã có một số thí nghiệm xác nhận quan điểm này trong các Chương 15 và 18, kể cả độ lệch của ánh sáng và sự tiến tới điểm cận nhật của Sao Thủy (Mercury), cũng như sự tồn tại của các thấu kính hấp dẫn trong thế giới của các thiên hà. Ngày nay, các nhà khoa học đã chấp nhận độ cong của không-thời-gian và sự bất lực của họ không thể hình dung ra nó.

✧ KHẢO SÁT LẠI SỰ DỊCH CHUYỂN ĐỎ

Nếu chính là không gian đang giãn rộng ra, và không phải các thiên hà đang di chuyển qua không gian, tại sao các thiên hà lại thể hiện các sự dịch chuyển đỏ trong quang phổ của chúng?

Một quan điểm chính xác hơn về các sự dịch chuyển đỏ của các thiên hà là các làn sóng bị kéo giãn ra bởi sự kéo dài của không gian chúng di chuyển qua. Hãy nghĩ về ánh sáng từ một thiên hà xa xôi. Khi nó di chuyển ra xa khỏi nguồn của nó, ánh sáng phải di chuyển qua không gian. Nếu không gian đang kéo giãn ra trong suốt thời gian ánh sáng đang di chuyển, các sóng ánh sáng cũng sẽ bị kéo dài ra. Như chúng ta đã thấy



Quả bóng đang trương nở và sự dịch chuyển đỏ: Khi bề mặt của quả bóng đang trương nở, một làn sóng trên bề mặt của nó kéo dài ra. Đối với các sóng ánh sáng, sự gia tăng về bước sóng sẽ được nhìn thấy như một sự dịch chuyển đỏ.

trong Chương 4, một sự dịch chuyển đỏ là sự kéo dài của các sóng – bước sóng của mỗi một làn sóng gia tăng. (Tiếp tục với phép loại suy về quả bóng, nếu chúng ta vẽ những đường gợn sóng, mỏng trên vỏ quả bóng đang trương nở để tượng trưng cho các sóng ánh sáng, đỉnh của các sóng này sẽ ngày càng xa ra hơn khi quả bóng bị căng ra). Ánh sáng từ các thiên hà xa hơn bị kéo giãn ra nhiều hơn so với ánh sáng từ các thiên hà gần hơn và do vậy thể hiện một sự dịch chuyển đỏ lớn hơn.

20.3 CÁC MÔ HÌNH VŨ TRỤ

Đã khảo sát một vài ý tưởng then chốt về vũ trụ học một cách chi tiết hơn, giờ đây chúng ta sẵn sàng xem xét những ý tưởng này có thể được áp dụng như thế nào để mô tả vũ trụ nói chung. Chúng ta sẽ khảo sát những mô hình có và không có hằng số vũ trụ. Những mô hình trong đó hằng số vũ trụ học bằng không (hay zero) bị chi phối bởi lực hấp dẫn. Tất cả các mô hình của chúng ta bắt đầu với các sự kiện được phác họa trong bảng về các đặc điểm

được quan sát của vũ trụ. Sau đó chúng tiếp diễn để đưa ra những dự đoán về việc làm cách nào vũ trụ đã tiến hoá cho tới nay và những gì sẽ xảy ra với nó trong tương lai.

✧ VŨ TRỤ ĐANG MỞ RỘNG

Mỗi mô hình của vũ trụ phải bao gồm sự mở rộng mà chúng ta quan sát được. Hơn nữa, nguyên lý vũ trụ học nói rằng vũ trụ là đồng nhất. Kết quả là tốc độ mở rộng phải là đồng bộ (giống nhau ở mọi nơi trong bất kỳ giai đoạn nào của thời gian vũ trụ). Nếu đúng như vậy, chúng ta không cần suy nghĩ về toàn bộ vũ trụ khi nghĩ về sự mở rộng, mà có thể chỉ xem xét một phần của nó.

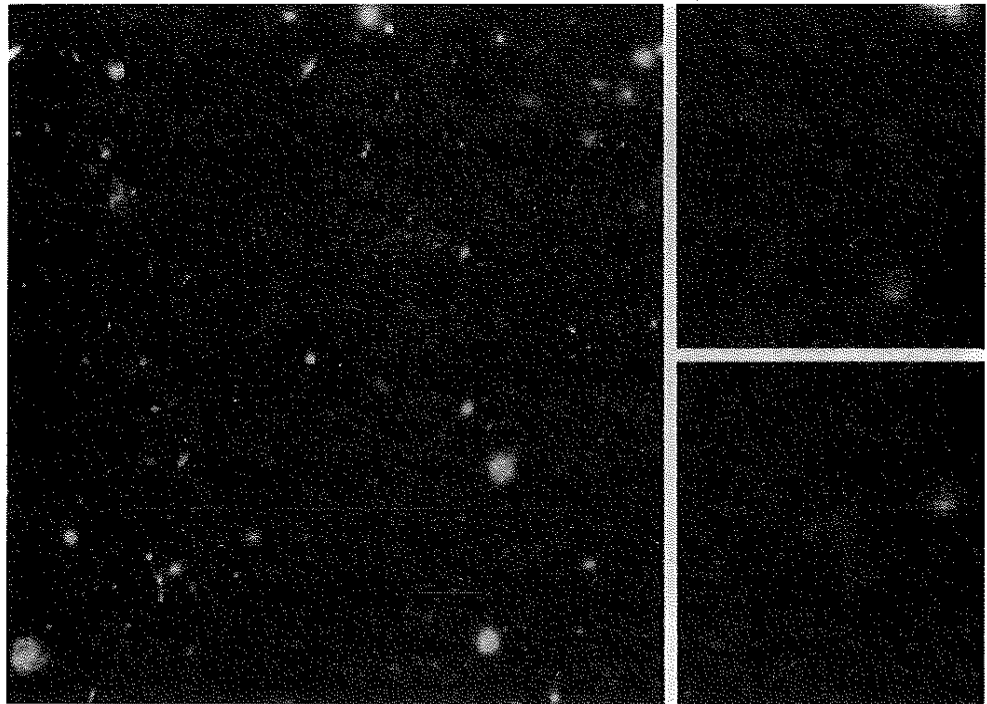
Các nhà thiên văn học nói rằng sự mở rộng khiến cho vũ trụ trải qua một sự thay đổi đồng bộ về qui mô (scale) qua thời gian. Theo qui mô mà chúng ta muốn nói, thí dụ, khoảng cách giữa hai chòm thiên hà. Thông thường tượng trưng cho qui mô bằng một hệ số tỉ lệ R ; nếu R tăng gấp đôi, khoảng cách giữa các chòm thiên hà đã tăng gấp đôi. Bởi vì vũ trụ đang mở rộng với cùng một tốc độ ở mọi nơi, sự thay đổi về R cho chúng ta biết nó đã mở rộng (hay đã co thắt) bao nhiêu ở bất kỳ thời điểm nào. Đối với một vũ trụ tĩnh tại (hay đứng yên), R sẽ là bất biến khi thời gian trôi đi. Trong một vũ trụ đang mở rộng, R gia tăng với thời gian.

Kịch bản đơn giản nhất của một vũ trụ mở rộng sẽ là một vũ trụ trong đó R gia tăng đồng bộ cùng với thời gian. Nhưng tư duy xa hơn nữa chúng tỏ trường hợp này không chắc chắn lắm. Vũ trụ chứa vô số vật chất và lực hấp dẫn của nó làm giảm tốc sự mở rộng – theo mức độ rộng lớn nếu vũ trụ chứa thật nhiều

vật chất, hay theo mức độ không đáng kể nếu vũ trụ gần như trống rỗng. Kể đến là vấn đề về một lực có thể liên quan với hằng số vũ trụ, sẽ tạo ra sự gia tốc của sự mở rộng.

Chúng ta có thể tạo ra nhiều mô hình khác nhau đối với các lượng vật chất và đối với các trị số khác nhau của hằng số vũ trụ. Trong một số mô hình – như chúng ta sẽ thấy – vũ trụ mở rộng mãi mãi. Trong một số mô hình khác, nó ngừng mở rộng và bắt đầu co lại. Nếu chúng ta có thể đo được mức độ chính xác qua đó tốc độ mở rộng đang thay đổi, chúng ta có thể chọn lựa mô hình chính xác.

Nhưng để ước tính tốc độ mở rộng có thay đổi với thời gian hay không và bằng cách thức nào là điều rất khó. Một phương pháp có thể là đo các khoảng cách và tốc độ của các thiên hà rất xa. Chúng ta đang nhìn thấy những thiên hà này khi chúng cách đây rất lâu và do đó chúng ta có thể thấy chúng đang di chuyển nhanh hơn đến mức nào (hay chậm hơn) khi vũ trụ còn trẻ. Tuy nhiên, hãy nghĩ về việc bằng cách nào chúng ta thực sự đo được khoảng cách tới các nhóm thiên hà vô cùng xa xôi. Chúng ta sử dụng định luật Hubble, nó cho phép duy nhất một tốc độ mở rộng, không cho phép đối với một tốc độ thay đổi theo



Một thiên hà rất xa: Sự bẻ cong ánh sáng của lực hấp dẫn khiến cho các vật thể xa xôi trông sáng hơn. Ảnh bên trái, chụp bằng kính không gian Hubble, mô tả một hình lưỡi liềm ở thấp hơn bên phải của trung tâm. Đây là ảnh của một thiên hà chỉ vào khoảng 7 phần trăm tuổi hiện tại của nó – chỉ vào khoảng 1 tỉ năm tuổi. Chùm thiên hà tiền cảnh, có liên quan với sự bẻ cong ánh sáng, nằm ở khoảng cách chừng 5 tỉ năm ánh sáng. Ảnh của thiên hà xa xôi đã được chiếu sáng, phóng đại, và nhòe mờ thành một hình cánh cung bởi ảnh hưởng hấp dẫn của chùm thiên hà xen vào giữa, có tác dụng như một thấu kính khổng lồ. Ảnh trên bên phải là một cận ảnh của thiên hà bị bẻ cong ánh sáng. Ảnh dưới bên phải mô tả một sự tính toán về việc thiên hà sẽ trông như thế nào nếu ảnh của nó không bị biến dạng. Các chấm sáng là các khu vực của sự hình thành tích cực trong thiên hà rất trẻ. Hiệu ứng bẻ cong ánh sáng cho phép chúng ta nhìn thấy loại chi tiết mà nếu không thì chúng ta có thể không bao giờ nhận ra.

thời gian. Do vậy khi sử dụng phương pháp này để ước tính các thiên hà cách xa chúng ta bao nhiêu, chúng ta đang giả định rằng chúng ta sống trong một vũ trụ đang mở rộng một cách đồng bộ.

Để kiểm tra về việc tốc độ mở rộng đang thay đổi bao nhiêu, chúng ta cần một phương thức *độc lập* của việc đo khoảng cách. Thí dụ, nếu một loại thiên hà nào đó là một bóng đèn tiêu chuẩn (xem Chương 19), thì chúng ta có thể sử dụng độ sáng biểu kiến của nó để biết mỗi thiên hà cách xa bao nhiêu. Nhưng không chỉ các thiên hà không phải là các bóng đèn tiêu chuẩn vào bất kỳ thời gian *nhất định* nào trong lịch sử, mà chúng ta cũng biết rằng độ sáng biểu kiến của chúng có thể thay đổi qua thời gian. Các thiên hà tiến hoá, trải qua các vụ va chạm và sáp nhập, và đôi khi chịu đựng các vụ nổ của sự hình thành sao khiến cho chúng trở nên sáng chói bất thường trong vài triệu năm.

Mặc dù không thể sử dụng toàn bộ các thiên hà như các bóng đèn tiêu chuẩn, nhưng chúng ta đã thấy rằng các siêu tân tinh loại I nằm trong các thiên hà đã đóng một vai trò như thế. Chúng có thể được nhìn xa tới các khoảng cách của một vài tỉ năm ánh sáng, và chúng cung cấp phương pháp tối ưu để ước tính liệu tốc độ mở rộng có thay đổi với thời gian hay không. Các phép đo về siêu tân tinh dường như chứng tỏ rằng vũ trụ đang tăng tốc, do vậy loại bỏ bất cứ mô hình nào chỉ có lực hấp dẫn. Tuy nhiên, dấu cho các cuộc quan sát các siêu tân tinh là đúng (và vẫn còn có nhiều công việc phải thực hiện trong việc kiểm tra chúng), vẫn còn là điều thú vị để ước tính lực hấp dẫn có ảnh hưởng bao nhiêu đối với tốc độ mở rộng.

✧ TRÒ CHƠI KÉO CO CỦA VŨ TRỤ

Chúng ta có thể nói rằng có một trò chơi kéo co đang diễn ra giữa sự mở rộng của vũ trụ (kể cả hiệu ứng phản hấp dẫn có thể có của hằng số vũ trụ học), đẩy mọi vật tách ra xa, và lực hấp dẫn, kéo mọi vật lại với nhau. Một trong số các vấn đề lớn lao của thiên văn học hiện đại là ai sẽ thắng trong cuộc kéo co này; câu trả lời có thể cho chúng ta biết số phận cuối cùng của vũ trụ sẽ là gì.

Chúng ta có thể ước tính liệu lực hấp dẫn có làm chậm lại tốc độ mở rộng một cách đáng kể hay không bằng cách ước tính vũ trụ chứa đựng bao nhiêu vật chất và lực hấp dẫn nào được tạo ra do vật chất ấy. Đây là chỗ nguyên lý vũ trụ học thực sự có ích. Bởi vì vũ trụ giống nhau ở khắp mọi nơi, chúng ta chỉ cần đo được có bao nhiêu vật chất tồn tại trong một mẫu đại diện của nó. Những gì các nhà thiên văn học xem xét là *mật độ trung bình* của vũ trụ.

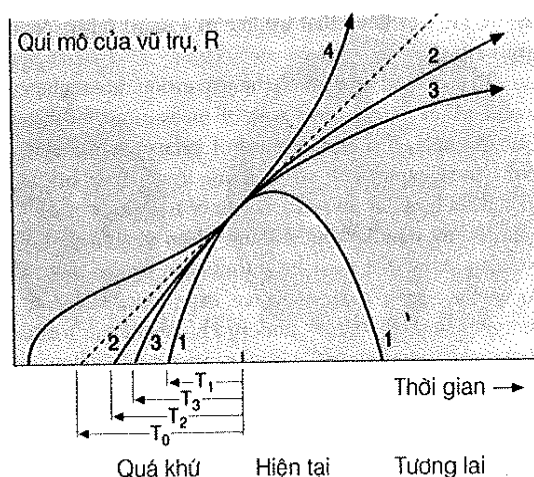
Theo mật độ trung bình mà chúng ta muốn nói rằng khối lượng vật chất (kể cả khối lượng tương đương của năng lượng)⁽¹⁾ sẽ được chứa trong mỗi đơn vị thể tích (thí dụ, 1cm^3) nếu tất cả các ngôi sao, các thiên hà, và các vật thể khác bị tách xa ra, thành từng nguyên tử một, và nếu tất cả các hạt này, cùng với ánh sáng và năng lượng khác, được phân bố khắp không gian vũ trụ với sự đồng đều tuyệt đối. Nếu mật độ trung bình thấp, vũ trụ sẽ không giãn tốc nhiều lắm và có thể mở rộng mãi mãi. Mặt khác, mật độ trung bình cao, có nghĩa là thật nhiều lực hút đang kéo các thiên hà lại

⁽¹⁾ Bằng khối lượng tương đương, điều gì sẽ đưa tới nếu năng lượng được chuyển đổi thành khối lượng khi sử dụng công thức của Einstein, $E = mc^2$.

với nhau, và do đó sự mở rộng cuối cùng sẽ dừng lại.

Biết các thiên hà đang di chuyển xa ra với nhau nhanh đến mức nào, chúng ta có thể tính toán được *mật độ tới hạn* (critical density) đối với vũ trụ – khối lượng trên một đơn vị thể tích sẽ chỉ đủ làm chậm sự mở rộng tới zero (bằng không) vào một thời điểm nào đó rất xa trong tương lai. Nếu mật độ thực tế cao hơn mật độ tới hạn này, thì sự mở rộng cuối cùng sẽ đảo ngược và vũ trụ sẽ bắt đầu co lại. Nếu mật độ thực tế thấp hơn, vũ trụ sẽ mở rộng mãi mãi.

Những khả năng khác nhau này được mô tả trong hình dưới. Thời gian gia tăng về phía phải, và qui mô, R gia tăng về phía trên trong hình. Ngày nay, tại điểm đánh dấu “hiện tại” dọc theo trục



Các mô hình vũ trụ: Một đồ thị của R , qui mô của vũ trụ, dựa vào thời gian đối với nhiều mô hình vũ trụ khác nhau. Đường cong 1 biểu thị một vũ trụ khép kín (ở đó mật độ lớn hơn trị số tới hạn), đường cong 2 tượng trưng cho một vũ trụ mở rộng, và đường cong 3 là một vũ trụ với mật độ tới hạn. Đường cong 4 biểu thị một vũ trụ với một hằng số vũ trụ dương và một mật độ khối lượng kém hơn mật độ tới hạn. Đường gạch nối dành cho một vũ trụ trống rỗng, vũ trụ mà trong đó sự mở rộng không bị chậm lại bởi lực hấp dẫn hay được tăng tốc bởi hằng số vũ trụ. Lưu ý rằng tuổi của vũ trụ ngang bằng với thời điểm Hubble chỉ đối với khả năng (không chắc chắn) này.

thời gian, R đang gia tăng trong mỗi mô hình. Chúng ta vẫn còn “sớm” trong lịch sử của vũ trụ, do đó các thiên hà đang mở rộng cho dù mô hình nào là đúng. (Cùng một tình huống như cầm quả bóng chày ném lên cao vào không trung. Trong khi có thể cuối cùng nó rơi trở xuống, ngay lúc bắt đầu ném, nó di chuyển lên trên). Đường thẳng gạch nối liên quan tới vũ trụ trống rỗng không có sự giảm tốc; nó cắt trục thời gian tại một thời điểm, T_0 (thời điểm Hubble), trong quá khứ. Các đường cong bên dưới đường gạch nối tượng trưng các mô hình không có hằng số vũ trụ và với các mức độ biến đổi của sự giảm tốc, bắt đầu từ vụ nổ lớn tại các thời gian ngắn hơn trong quá khứ. Đường cong bên trên đường gạch nối thể hiện những gì xảy ra nếu có một hằng số vũ trụ học dương và sự mở rộng đang tăng tốc. Chúng ta hãy nhìn về tương lai theo các mô hình khác nhau.

♦ ĐỐI MẶT VỚI TƯƠNG LAI KHÉP KÍN

Một trong số những điều chúng ta biết được từ thuyết tương đối tổng quát là tương lai của sự mở rộng và hình học về không-thời gian có quan hệ mật thiết với nhau. Các vũ trụ cong khác nhau mà chúng ta đã khảo sát ngắn gọn trong Mục 20.2 liên quan tới các tương lai khác nhau. Thí dụ, chúng ta hãy lấy đường cong 1 trong hình bên. Trong trường hợp này, mật độ thực tế của vũ trụ cao hơn mật độ tới hạn. Vũ trụ sẽ ngừng mở rộng vào thời điểm nào đó trong tương lai và bắt đầu co lại. Cuối cùng, qui mô hạ xuống tới zero (hay bằng không), có nghĩa là không gian sẽ co lại tới kích thước vô cùng nhỏ.

Nhà vật lý học nổi tiếng John A. Wheeler (người đã cho các lỗ đen cái tên

Căn cứ vào sức mạnh hủy diệt của các tiểu hành tinh đang va chạm, các sao khổng lồ đỏ đang trương nở, và các siêu tân tinh lân cận, giống loài của chúng ta có lẽ không có mặt quanh đây trong tương lai xa xôi. Vì thế cho nên bạn có thể suy luận về chuyện đời sống sẽ như thế nào trong một vũ trụ già hơn nhiều.

Tương lai xa trong một vũ trụ khép kín sẽ thật hấp dẫn nhưng không có lợi cho các sinh vật đang sống. Khi không gian co lại (R ngày càng nhỏ hơn), các thiên hà sẽ nhìn thấy ánh sáng dịch chuyển về phía xanh của nhau chứ không phải là dịch chuyển về phía đỏ; nghĩa là, sức ép của không gian sẽ nén ép các làn sóng. Nhưng các làn sóng ngắn hơn có năng lượng nhiều hơn; do đó nhiệt độ của bức xạ nền (background radiation) (xem Mục 20.4) sẽ gia tăng cùng với thời gian.

Khi vũ trụ trở thành nhỏ hơn, nó sẽ trở nên dễ dàng đi giáp vòng hơn. Dĩ nhiên các tia sáng có thể làm cho nó đi vòng quanh vũ trụ và trở lại nơi chúng đã bắt đầu. Theo lý thuyết, bạn có thể nhìn thấy một vì sao chết đi ở một hướng và sau đó nhìn thấy ánh sáng của sự ra đời của nó đi vòng quanh từ hướng khác. Các “thiên hà ma” (ghost galaxies) – hình ảnh của các thiên hà mà ánh sáng của chúng đã đi vòng quanh vũ trụ một cách trọn vẹn – sẽ trở nên có thể nhìn thấy được, thêm vào số thiên hà chúng ta đã quan sát.

Cuối cùng, khi không gian co lại và nhiệt độ của bức xạ nền gia tăng, nhiệt độ của không gian sẽ trở nên cao hơn nhiệt độ của bất cứ hành tinh nào. Sức nóng kế đó sẽ lưu chuyển từ không gian tới một hành tinh, thay vì đi vòng quanh bằng cách khác.

Khi một hành tinh bị nung nóng lên, bất kỳ dạng sự sống nào trên bề mặt của nó cũng sẽ bị “nấu chín” bởi sức nóng của không gian. Khi bức xạ của không gian thậm chí cũng nóng hơn, sức nóng sẽ lưu chuyển từ không gian vào trong các sao, phá vỡ chúng ra từng mảnh. Tuy nhiên sự kết thúc của chúng có thể chỉ là đáng thương tiếc trong chốc lát, bởi vì chẳng bao lâu sau tất

cả vật chất và năng lượng sẽ bị hủy diệt do sự khép lại của không-thời gian.

Tình huống vũ trụ mở rộng là đáng lo trong một cách thức hoàn toàn khác hẳn. Trong trường hợp này, vũ trụ sẽ mở rộng mãi mãi (R sẽ cứ gia tăng) và các chùm thiên hà sẽ trải rộng ra xa hơn mãi với thời gian. Khi các thời đại trôi qua, vũ trụ sẽ trở nên lạnh hơn, và tối hơn.

Bên trong mỗi thiên hà, các vì sao sẽ tiếp tục trải qua đời sống của chúng, cuối cùng trở thành các sao lùn trắng, các sao neutron, và các lỗ đen. Các sao có khối lượng thấp có thể mất một thời gian dài để hoàn tất sự tiến hoá của chúng, nhưng trong mô hình này rõ ràng chúng ta sẽ có toàn bộ thời gian trong thế giới! Sau cùng ngay cả các sao lùn trắng cũng sẽ lạnh đi để trở thành các sao lùn đen; bất kỳ sao neutron mới nào cũng tự để lộ chúng như các pulsar cũng sẽ ngừng quay; các lỗ đen với các đĩa bồi sẽ kết thúc các “bữa ăn” của chúng. Trạng thái cuối cùng của các ngôi sao sẽ tối đen.

Vì thế, ánh sáng hiện nay của các thiên hà cuối cùng sẽ đi mất. Thậm chí nếu một túi vật liệu thô sơ nhỏ bé còn sót lại trong một góc không được thừa nhận của thiên hà, sẵn sàng được biến đổi thành một chùm sao mới, chúng ta cũng chỉ phải chờ đợi cho tới thời điểm mà sự tiến hoá của chúng được hoàn tất. Và thời gian là điều mà mô hình này có rất nhiều. Chấn chấn sẽ đi tới một thời điểm mà tất cả các sao tắt đi, các thiên hà cũng tối đen như không gian, và không có nguồn sức nóng nào còn lại. Rồi các thiên hà không có sự sống sẽ tiếp tục di chuyển ra xa nhau trong vương quốc không ánh sáng của chúng.

Nếu những quan điểm về tương lai này dường như gây chán nản thất vọng (đối với viễn cảnh của nhân loại), bạn có thể lạc quan là các mô hình tối ưu của chúng ta trong một trăm năm hay một ngàn năm nữa cũng sẽ dường như khá ngây ngô non trẻ và sẽ có những nhân tố khác quyết định số phận cuối cùng của vũ trụ mà chúng ta vẫn hoàn toàn chưa biết rõ.

của chúng) gọi điều này là “sự nghiền nát lớn” (big crunch), bởi vì vật chất, năng lượng, không gian và thời gian, tất cả đều sẽ bị nghiền nát. Lưu ý rằng sự nghiền nát lớn đối nghịch với vụ nổ lớn (big bang) – đó là một sự khép lại chứ không phải là một sự bùng nổ.

Tình huống này tương ứng với hình học khép kín được bàn luận trước đây và do đó được gọi là vũ trụ khép kín. Nó bị khép kín ở hai chiều hướng: Thứ nhất, không-thời-gian cong để nếu một chùm ánh sáng có thể cứ đi tới mãi, cuối cùng nó sẽ quay lại chỗ nó đã bắt đầu (giống như trên một quả bóng hay bề mặt của Trái Đất, nếu bạn cứ đi thẳng tới phía trước, bề mặt cong mang bạn trở lại điểm xuất phát). Vũ trụ cũng bị khép kín theo chiều hướng mà, tại giai đoạn kết thúc của thời gian, không gian tự nó thu hẹp lại.

Thật gay cấn để biện luận rằng một vụ nổ lớn khác có thể tiếp theo vụ nghiền nát lớn, nổi lên tới một giai đoạn mở rộng mới, và kể đó một sự co lại khác nữa – có lẽ dao động giữa những vụ nổ lớn kế tiếp bất tận trong quá khứ và tương lai. Sự suy luận như thế đôi khi được nói đến như một lý thuyết dao động (oscillating theory) của vũ trụ, nhưng nó không thực sự là một lý thuyết bởi vì chúng ta không biết cơ chế nào có thể tạo ra một vụ nổ lớn khác. Ngược lại, thuyết tương đối dự đoán rằng với sự nghiền nát lớn, vũ trụ sẽ sụp đổ thành một lỗ đen khổng lồ.

Mô hình dao động là một ý tưởng triết học hơn là một ý tưởng khoa học; các giả thuyết khoa học, nói cho cùng, phải được kiểm chứng bằng thực nghiệm. Không có cách nào để kiểm chứng liệu một chu kỳ khác nữa của vũ trụ có thể nảy sinh từ giai đoạn kết thúc của vũ trụ

khép kín bởi vì chẳng có cái gì – không có vật chất, không có năng lượng, không có không gian, không có thời gian – có thể tồn tại với sự nghiền nát lớn.

✧ ĐỐI MẶT VỚI TƯƠNG LAI MỞ

Nếu mật độ của vũ trụ kém hơn mật độ tới hạn (đường cong 2 trong hình), lực hấp dẫn không bao giờ đủ lớn để ngừng sự mở rộng lại, và do đó vũ trụ mở rộng mãi mãi. Điều này tương ứng với hình học mở rộng (khó hình dung hơn) đã được bàn luận trước đây và do đó được gọi là một vũ trụ mở rộng (open universe). Một vũ trụ như thế là bất tận và lúc nào cũng có chỗ trống trong nó nhiều hơn so với những gì các quan sát viên ba-chiều mong đợi. Trong trường hợp này, thời gian và không gian bắt đầu với vụ nổ lớn, nhưng chúng không có sự kết thúc; vũ trụ liên tục mở rộng, luôn chậm hơn một chút khi thời gian trôi đi. Các nhóm thiên hà cuối cùng trở thành cách nhau thật xa đến nỗi sẽ là một điều khó khăn để các quan sát viên trong bất cứ thiên hà nào đó nhìn thấy được những thiên hà còn lại.

Tại mật độ tới hạn (đường cong 3) vũ trụ có thể chỉ mở rộng mãi mãi. Vũ trụ có mật độ tới hạn có độ tuổi chính xác bằng hai phần ba T_0 , ở đó T_0 là tuổi của vũ trụ trống rỗng. Thử ví thay, mô hình này (gọi là *vũ trụ phẳng* – flat universe) có độ cong zero (hay bằng không) và giống vũ trụ ba-chiều mà bạn có thể đã mong đợi. Các vũ trụ mà một ngày nào đó bắt đầu co lại có các độ tuổi ít hơn hai phần ba T_0 .

Đường cong 4 tương ứng với một vũ trụ có hằng số vũ trụ dương (một sự mở rộng gia tốc) và mật độ vật chất thấp hơn mật độ tới hạn. Đường cong có hình

Bảng Sơ Đồ Hình Vũ Trụ		
Loại vũ trụ (mô hình)	Tuổi (tỷ năm) ^(*)	Số phần cuối cùng của vũ trụ
Khép kín	Ít hơn 10	Ngừng mở rộng và co lại
Phẳng	10	Chỉ mở rộng mãi mãi
Mở rộng	10 tới 15	Mở rộng mãi mãi
Với hằng số vũ trụ học	Lớn hơn 15	Mở rộng mãi mãi với một tốc độ gia tăng

(*) Các con số ở đây giả định hằng số Hubble là 20 km/s trên một triệu LY. Nếu hằng số Hubble nhỏ hơn số này, các độ tuổi gia tăng. Nếu nó lớn hơn, chúng sẽ giảm xuống.

dạng phức tạp bởi vì, ngay lúc bắt đầu, khi vật chất đều rất gần nhau, tốc độ mở rộng bị ảnh hưởng nhiều nhất bởi lực hấp dẫn. Áp suất hay lực phản hấp dẫn được biểu thị bởi hằng số vũ trụ chỉ có tác dụng đối với các qui mô lớn và trở nên lớn hơn so với lực hấp dẫn khi vũ trụ phát triển rộng hơn và vật chất bắt đầu thưa thớt. Nếu hằng số vũ trụ là dương và mật độ vật chất thấp hơn mật độ tới hạn, sự mở rộng sẽ tiếp tục mãi mãi. Đây là cái già nhất trong tất cả các mô hình vũ trụ được mô tả. Thậm chí nó già hơn vũ trụ phẳng và đã bắt đầu cách đây lâu hơn T_0 . Các mô hình khác nhau chúng ta đã mô tả được tóm tắt trong bảng bên trên.

❖ AI CHIẾN THẮNG TRONG TRẬN KÉO CO NÀY?

Chúng ta sống trong loại vũ trụ nào? Số khối lượng lớn hơn hay nhỏ hơn mật độ tới hạn? Mật độ tới hạn phụ thuộc vào H_0 . Nếu hằng số Hubble là 20 km/s trên 1 triệu LY, mật độ tới hạn là khoảng 10^{-29} g/cm³. Điều này so sánh với mật độ thực tế của vũ trụ thì như thế nào?

Có vài phương pháp qua đó chúng ta có thể thử xác định mật độ trung bình

của vật chất trong không gian. Một cách thức là đếm tất cả các thiên hà tới một khoảng cách nhất định và sử dụng các ước tính về khối lượng của chúng, kể cả vật chất tối, để tính ra mật độ trung bình. Những ước tính như thế chứng tỏ một mật độ khoảng 1 tới 2×10^{-30} g/cm³ (10 tới 20% của tới hạn) và gợi ý rằng vũ trụ là mở rộng. Tuy nhiên, chúng ta có thể đã đánh giá quá thấp lượng vật chất tối trong các chùm thiên hà, và cũng có thể có nhiều vật chất tối giữa các chùm thiên hà (kể cả trong các khoảng trống vĩ đại) ở đó chúng ta không thể phát hiện ra nó. Về mặt cơ bản của riêng phép đo này, thực sự không thể chắc chắn rằng chúng ta đang sống trong một vũ trụ mở rộng.

Tuổi của các sao cũng nêu lên rằng chúng ta đang sống trong một vũ trụ mở rộng. Chúng ta đã thấy rằng ước lượng tối ưu của H_0 là 20 km/s trên 1 triệu LY, điều đó tương ứng với một thời điểm của Hubble là 15 tỷ năm. Nếu chúng ta đã sống trong một vũ trụ có mật độ tới hạn (hoặc phẳng), tuổi thực tế sẽ chỉ là hai phần ba của 15 tỷ năm, đó là 10 tỷ năm. Dường như rất không chắc chắn rằng các mô hình của chúng ta về việc các sao tiến

hóa như thế nào, cung cấp các độ tuổi tối thiểu 13 tỉ năm đối với các sao già nhất, là không đủ chính xác để cho ra độ tuổi của các sao bị sai lệch do số lượng này. Các sao được phát hiện là càng già hơn, thời gian cần thiết để sụp đổ kể từ khi vụ nổ lớn càng nhiều hơn, và do vậy vũ trụ phải ít đậm đặc hơn.

Nhưng giờ đây hãy giả sử các cuộc quan sát về các siêu tân tinh là chính xác và sự mở rộng thực sự đang tăng tốc. Nếu đúng như thế, vũ trụ sẽ không chỉ tiếp tục mở rộng mãi mãi mà còn sẽ mở rộng như thế với một tốc độ gia tăng, nghĩa là vũ trụ sẽ ngày càng lạnh hơn và vắng vẻ hơn sẽ tới sớm hơn.

♦ NHÌN NGƯỢC VỀ THỜI GIAN

Trong Chương 17 chúng ta đã bàn luận về việc có thể sử dụng định luật Hubble như thế nào để đo đạc khoảng cách tới một thiên hà. Phương pháp của định luật Hubble chỉ có tác dụng với các thiên hà không di chuyển quá nhanh (nghĩa là, không quá cách xa). Một khi đạt tới các khoảng cách lớn, chúng ta đang ngắm nhìn, từ trước cho tới bây giờ, vào quá khứ mà chúng ta phải tính đến sự thay đổi về tốc độ mở rộng của vũ trụ.

Bởi không biết những sự thay đổi này lớn đến mức nào, chúng ta phải giả định một trong số các mô hình vũ trụ có khả năng biến đổi các sự dịch chuyển đỏ rộng lớn thành các khoảng cách.

Đây là lý do tại sao các nhà thiên văn học tỏ ra lúng túng khi được hỏi về một quasar hay một thiên hà xa xôi mới được phát hiện thì cách xa chính xác là bao nhiêu. Chúng ta thực sự không thể đưa ra một câu trả lời mà trước tiên

Nhìn Ngược Về Thời Gian Đối Với Các Sự Dịch Chuyển Đỏ

<i>Dịch chuyển đỏ</i>	<i>Phần trăm độ tuổi hiện tại của vũ trụ khi ánh sáng được phát xạ^(*)</i>
0	100% (hiện nay)
0,5	55%
1,0	35%
2,0	19%
3,0	12%
4,0	9%
4,5	8%
4,9	7%
Vô hạn	0%

(*) Giả định một vũ trụ với mật độ bằng với mật độ tới hạn.

không có lời giải thích về mô hình vũ trụ mà chúng ta đang giả định trong việc tính toán.

Một khi giả định mô hình nào đó, chúng ta có thể sử dụng nó để tính toán thời gian nhìn lại (lookback time) đối với một vật thể – đơn vị đo ánh sáng mà chúng ta thấy đã được phát ra cách đây bao lâu. Bảng ở trên liệt kê các thời gian nhìn lại như là những phân số của độ tuổi hiện tại của vũ trụ (giả sử một mô hình trong đó vũ trụ có mật độ tới hạn). Cột đầu tiên trong bảng là sự dịch chuyển đỏ, được cho bởi công thức $Z = (\lambda - \lambda_0)/\lambda_0$ và là đơn vị đo về việc bước sóng ánh sáng đã bị kéo dài bao nhiêu bởi sự mở rộng của vũ trụ trên cuộc hành trình dài của nó tới chúng ta. Những con số không quan trọng lắm, nhưng chú ý rằng khi nhận thấy các vật thể với sự dịch chuyển đỏ ngày càng cao hơn, chúng ta đang nhìn ngược lại các phân số rất nhỏ của độ tuổi của vũ trụ.

Chúng ta đã am hiểu một số điều quan trọng bằng cách quan sát các vật thể với các sự dịch chuyển đỏ rộng lớn. Thí dụ, chúng ta đã thấy rằng các quasar dồi dào nhất khi vũ trụ khoảng chừng 20% độ tuổi của nó. Tại một thời điểm thậm chí còn sớm hơn, các quasar cực kỳ hiếm hoi. Có lẽ các thiên hà vẫn đã chưa hình thành, hay đã hình thành chỉ mới đây thôi và chưa có thời gian để tạo ra các lỗ đen khổng lồ. Các quan sát cung cấp chứng cứ rõ ràng rằng vũ trụ của chúng ta đang tiến hoá cùng với thời gian.

20.4 SỰ BẮT ĐẦU CỦA VŨ TRỤ

Khi nhìn ngược lại ngày càng xa hơn, chúng ta thấy các thiên hà và các quasar thưa thớt đi, và chúng tiến tới thời đại mà vật chất vẫn chưa lắng đọng thành những cấu trúc mà chúng ta quan sát ngày nay. Các sự vật giống như thế nào khi mà vũ trụ còn non trẻ và không gian chưa bị kéo dài ra quá lớn? Nói cách khác, nó như thế nào ngay sau vụ nổ lớn?

✧ LỊCH SỬ CỦA Ý TƯỞNG

Nói rằng vũ trụ có một sự khởi đầu (như các phương trình của thuyết tương đối ngụ ý) là một chuyện và mô tả sự bắt đầu ấy lại hoàn toàn là một chuyện khác. Linh mục và nhà vũ trụ học người Bỉ Georges Lemaitre (1894–1966) có lẽ là người đầu tiên đề nghị một mô hình đặc biệt dành cho vụ nổ lớn. Ông hình dung tất cả vật chất của vũ trụ bắt đầu trong một đồng vĩ đại mà ông gọi là *nguyên tử sơ khai* (primeval atom), sau đó vỡ ra thành vô số mảnh. Mỗi mảnh này tiếp tục vỡ ra thêm nữa cho tới khi

chúng trở thành các nguyên tử hiện tại của vũ trụ, được hình thành trong một sự phân rã hạt nhân bao la. Trong một bài tường thuật phổ biến về lý thuyết của mình, Lemaitre đã viết, “Sự tiến hoá của thế giới có thể được so sánh với một màn trình diễn pháo hoa vừa mới chấm dứt – một vài cuộn lửa đỏ, tro tàn và khói. Đứng trên lớp than cháy dở đã nguội đi nhiều, chúng ta nhìn thấy sự mờ nhạt dần của các mặt trời và chúng ta cố gắng hồi tưởng sự rực rỡ huy hoàng đã tan biến của cội nguồn các thế giới”.

Ngày nay các nhà vật lý hiểu biết hơn rất nhiều về vật lý hạt nhân so với những năm 1920 và đã chứng minh rằng mô hình phân hạch sơ khai không thể nào chính xác được. Tuy nhiên, tưởng tượng của Lemaitre ở một số phương diện nào đó hoàn toàn mang tính tiên tri. Chúng ta vẫn tin rằng mọi vật ở cùng với nhau lúc ban đầu; điều đó không nằm trong dạng vật chất như chúng ta biết ngày nay.

Vào những năm 1940, nhà vật lý học người Mỹ George Gamow nêu ra một vũ trụ với một loại khởi đầu mới – liên quan tới sự tổng hợp hạt nhân thay vì sự phân hạch. Ông đã nghĩ ra các chi tiết cùng với Ralph Alpher, và họ đã công bố các kết quả vào năm 1948. (Gamow, có tính hài hước, vào phút chót quyết định thêm tên của nhà vật lý học Hans Bethe vào luận án của họ, để cho các đồng tác giả sẽ là Alpher, Bethe và Gamow, một sự chơi chữ đối với ba chữ đầu của bảng chữ cái Hy Lạp: alpha, beta, và gamma).

Vũ trụ của Gamow đã bắt đầu với các hạt cơ bản hình thành các nguyên tố nặng bằng sự tổng hợp trong vụ nổ lớn.

Các ý tưởng của ông gần gũi với quan điểm hiện đại của chúng ta, ngoại trừ



Georges Gamow: Ảnh ghép này thể hiện Georges Gamow nhỏ lên như một vị thần từ trong một cái chai đựng chất "ylem", một thuật ngữ Hy Lạp dành cho chất liệu nguyên sinh từ đó thế giới đã hình thành. Gamow làm sống lại thuật ngữ này để mô tả vật liệu của Vụ Nổ Lớn nóng bức. Hai bên ông là Robert Herman (trái) và Ralph Alpher, những người ông đã cộng tác trong việc nghiên cứu về Vụ Nổ Lớn. Nhà soạn nhạc hiện đại Karlheinz Stockhausen đã cảm hứng từ các ý tưởng của Gamow để viết một nhạc phẩm gọi là "Ylem", trong đó các nhạc công thực sự di chuyển xa ra khỏi sân khấu khi họ trình diễn, mô phỏng sự mở rộng của vũ trụ.

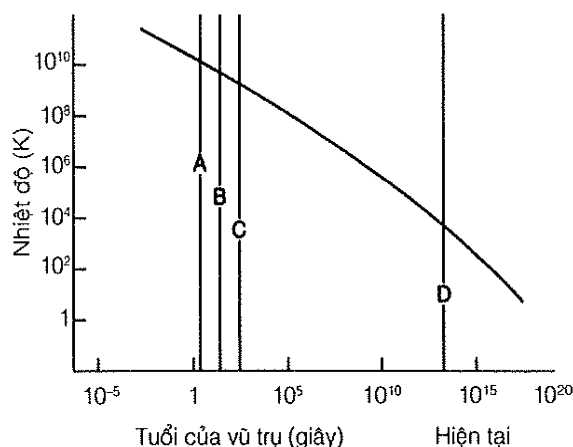
ngày nay chúng ta biết rằng chỉ có ba nguyên tố nhẹ nhất – hydro, helium và một lượng nhỏ lithium – đã được hình thành thành dồi dào đáng kể ngay lúc ban đầu. Các nguyên tố nặng hơn đã hình thành sau đó trong các vì sao. Kể từ những năm 1940, nhiều nhà vật lý đã nghiên cứu chi tiết hơn về lý thuyết những gì đã xảy ra trong các giai đoạn đầu tiên của vũ trụ. Kết quả của những nỗ lực của họ ngày nay được gọi là *mô hình tiêu chuẩn* (standard model) của "Big Bang" (Vụ Nổ Lớn).

✧ MÔ HÌNH TIÊU CHUẨN

Ba ý tưởng cơ bản giữ vị trí then chốt để theo dõi các thay đổi đã diễn ra trong vài phút giây đầu tiên sau khi vũ trụ bắt đầu. Thứ nhất là vũ trụ lạnh đi khi nó mở rộng, giống như chất khí lạnh đi

khi được phun ra khỏi một bình xịt. Sơ đồ bên dưới mô tả nhiệt độ thay đổi ra sao cùng với sự trôi qua của thời gian. Trong phần tử đầu tiên của một giây, vũ trụ nóng bức không thể tưởng. Vào thời điểm 0,01 giây đã trôi qua, nhiệt độ đã hạ xuống tới 100 tỉ (10^{11})K. Sau khoảng 3 phút, nó đã tụt xuống tới khoảng 1 tỉ (10^9)K, vẫn còn chừng 70 lần nóng hơn phần bên trong của Mặt Trời. Sau một vài trăm ngàn năm, nhiệt độ hạ xuống tới đúng 3000K, và vũ trụ đã tiếp tục nguội lạnh kể từ thời điểm đó.

Tất cả các nhiệt độ này chỉ có cái cuối cùng là xuất phát từ tính toán lý thuyết, bởi vì (rõ ràng) không một ai ở đó để đo chúng. Tuy nhiên, thực ra chúng ta đã theo dõi sự tỏa sáng mờ mờ của bức xạ được phát xạ tại một thời điểm khi



Nhiệt độ của vũ trụ: Sơ đồ này mô tả nhiệt độ của vũ trụ thay đổi ra sao theo với thời gian như được dự đoán bởi mô hình tiêu chuẩn của vụ nổ lớn. Lưu ý rằng nhiệt độ (trục tung) và thời gian bằng giây (trục hoành) thay đổi qua các tỉ lệ rộng lớn trên sơ đồ được nén lại này. Vạch thẳng đứng được đặt tên là A biểu thị một cách gần đúng thời điểm tại đó các neutrino ngừng tương tác với vật chất. Vạch B biểu thị thời điểm tại đó nhiệt độ trở nên quá lạnh đối với các positron và electron mới để hình thành từ sự bức xạ. Sự tổng hợp helium xảy ra tại thời điểm C, và vũ trụ trở nên trong suốt với bức xạ tại thời điểm D. Vạch mô tả sự hạ thấp về nhiệt độ kết thúc tại một điểm trong thời gian được đặt tên là "hiện tại".

vũ trụ đã già một vài trăm ngàn năm. Thực vậy, sự kiện mà chúng ta đã thực hiện như thế là một trong những lập luận mạnh mẽ nhất trong việc ủng hộ mô hình “Big Bang”.

Bước thứ hai trong việc tìm hiểu sự tiến hoá của vũ trụ là nhận thức rằng vào những thời điểm đầu tiên nó đã rất nóng đến nỗi nó chứa hầu hết là bức xạ (và không phải là vật chất mà chúng ta nhận thấy chiếm ưu thế ngày nay). Các photon – các gói năng lượng điện từ thuần nhất được mô tả trong Chương 4 – đã tràn ngập vũ trụ có thể va chạm và tạo ra các hạt vật liệu; nghĩa là, ngay sau Vụ Nổ Lớn, năng lượng có thể chuyển đổi thành vật chất (và vật chất có thể chuyển đổi thành năng lượng). Chúng ta có thể tính toán khối lượng đã được tạo ra bao nhiêu từ một lượng năng lượng nhất định bằng cách dùng công thức của Einstein $E = mc^2$ (xem Chương 7).

Ý tưởng cho rằng năng lượng có thể biến đổi thành vật chất là một ý tưởng mới bởi vì nó không phải là một phần trong kinh nghiệm hàng ngày của chúng ta. Đó là bởi vì khi so sánh vũ trụ ngày nay với những gì mà nó trông giống ngay sau vụ nổ lớn, chúng ta đang sống trong các thời điểm lạnh giá, khắc nghiệt! Các photon trong vũ trụ ngày nay tiêu biểu có năng lượng ít hơn nhiều so với lượng cần thiết để tạo ra vật chất mới.

Trong Chương 7 chúng ta đã đề cập ngắn gọn rằng, khi các hạt hạ nguyên tử của vật chất và *phản vật chất* (anti-matter) va chạm nhau, chúng biến đổi thành năng lượng thuần nhất. Nhưng thực sự có phải đúng là năng lượng có thể biến đổi thành vật chất (như lý thuyết dự đoán) hay không? Quá trình này trên thực tế đã được quan sát trong

các *máy gia tốc hạt* (particle accelerators). Nếu chúng ta có đủ năng lượng, dưới các điều kiện chính xác, các hạt mới của vật chất (và phản vật chất) quả thực đã được tạo ra.

Điểm mấu chốt thứ ba là vũ trụ càng nóng hơn, các photon nhiều năng lượng hơn có sẵn để hình thành vật chất (và phản vật chất). Lấy một thí dụ cụ thể, với nhiệt độ 6 tỉ (6×10^9) K, sự va chạm của hai photon tiêu biểu có thể tạo ra một electron và một hạt phản vật chất giống hệt nó, một positron. Proton lớn hơn nhiều chỉ có thể được hình thành trong một môi trường cùng với nhiệt độ vượt qua 10^{14} K.

✧ SỰ TIẾN HOÁ CỦA VŨ TRỤ BAN ĐẦU

Nhớ kỹ ba ý tưởng này trong trí, chúng ta có thể theo dõi sự tiến hoá của vũ trụ từ thời điểm nó vào khoảng 0,01 s (giây) tuổi và có nhiệt độ khoảng 100 tỉ K. Tại sao không bắt đầu ngay lúc bắt đầu? Bởi vì chưa có lý thuyết nào cho phép chúng ta thâm nhập tới thời điểm trước khoảng 10^{-43} s. Khi vũ trụ còn trẻ như thế, mật độ của nó cao đến nỗi thuyết tương đối tổng quát không thích hợp để mô tả nó, và ngay cả khái niệm về thời gian cũng vỡ tan. Hiện tại, chúng ta không có lý thuyết nào có thể xử lý được các điều kiện tốt cùng như vậy.

Các nhà khoa học đã thành công hơn một chút trong việc mô tả vũ trụ khi nó già hơn 10^{-43} s nhưng vẫn chưa tới 0,01 s tuổi. Trong thời gian ấy, vũ trụ bị tràn ngập năng lượng và các hạt hạ nguyên tử đang tương tác mạnh mẽ. Dù cho lý thuyết về các hạt này khó lý giải, rất gần đây, các nhà vật lý lý thuyết đã bắt đầu suy luận về những sự vật có thể là như thế nào trong thời điểm đầu tiên này.

Khoảng thời gian vũ trụ được 0,01 giây tuổi, nó bị tràn ngập các bức xạ và các loại vật chất vẫn còn hiện diện trong thế giới của chúng ta ngày nay. Tại thời điểm đó, vũ trụ bao gồm một thứ “súp” vật chất và bức xạ; vật chất gồm có các proton và neutron, các chất còn sót lại từ một vũ trụ thậm chí trẻ hơn và nóng hơn. Mỗi hạt nhanh chóng va chạm với các hạt khác. Nhiệt độ không còn đủ cao để cho phép các photon đang va chạm để tạo ra các neutron hay proton, nhưng nó đủ sức đối với sự sản sinh ra các electron và positron. Có lẽ cũng có một đại dương các hạt hạ nguyên tử kỳ lạ mà sau này sẽ đóng một vai trò như vật chất tối. Tất cả các hạt dao động theo cách riêng, vũ trụ vẫn còn quá nóng khiến cho các proton và neutron không kết hợp được để hình thành các nhân của nguyên tử.

Bức tranh ở đây là một cái vạc sôi sùng sục, với các photon đang va chạm và trao đổi năng lượng với nhau, đôi khi bị phá hủy để tạo ra một cặp hạt. Các hạt trong vũ trụ cũng va chạm lẫn nhau. Thông thường, một hạt vật chất và một hạt phản vật chất gặp nhau và chuyển đổi lẫn nhau thành một vụ nổ của bức xạ gamma.

Trong số các hạt được tạo ra trong các giai đoạn đầu tiên của vũ trụ là các hạt neutrino ẩn hiện như “ma” (xem Chương 7), mà ngày nay chỉ tương tác hết sức hiếm hoi với vật chất. Tuy nhiên, trong các điều kiện chen chúc của vũ trụ ngay lúc khởi đầu các hạt neutrino đụng phải rất nhiều electron và positron đến nỗi chúng trải qua các sự tương tác thường xuyên bất kể các đặc tính “phản xã hội” của chúng.

Khoảng thời gian vũ trụ hơn 1 giây tuổi một chút, mật độ đã tụt xuống tới

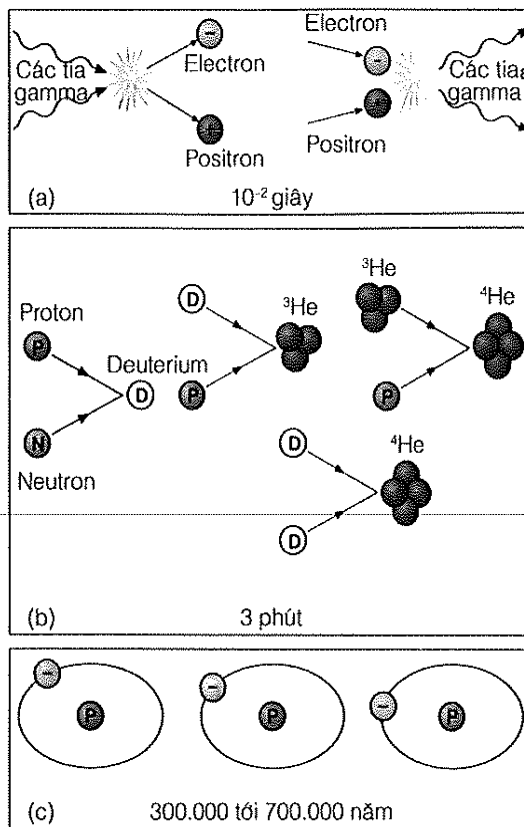
một điểm nơi đó các neutrino không còn tương tác với vật chất, nhưng đơn thuần di chuyển tự do qua không gian. Trên thực tế, ngày nay các hạt neutrino này lẽ ra ở khắp chung quanh chúng ta. Bởi vì chúng đã di chuyển qua không gian không bị ngăn trở (và do đó không thay đổi) kể từ khi vũ trụ được 1 giây tuổi, phép đo về các đặc tính của chúng sẽ cung cấp một trong những sự kiểm chứng tốt nhất về mô hình “big bang”.

Chính đặc tính làm cho chúng trở thành hữu dụng như vậy – sự kiện chúng tương tác rất yếu với vật chất đến nỗi chúng đã tồn tại không thay đổi đối với tất cả trừ giây phút đầu tiên của thời gian – cũng làm cho chúng trở nên “bí ẩn”.

✧ CÁC NGUYÊN TỬ HÌNH THÀNH

Khi vũ trụ được khoảng 3 phút tuổi và nhiệt độ của nó hạ xuống tới khoảng 900 triệu K, các proton và neutron có thể kết hợp mà không bị phá vỡ ngay lập tức bởi các photon năng lượng cao. Chúng bắt đầu hình thành các nhân ổn định đơn giản nhất – deuterium (hydro nặng), helium và lithium. Với các nhiệt độ cao hơn, các nhân nguyên tử này lập tức bị vỡ tung ra bởi các tương tác với các photon, và do đó có thể không tồn tại được. Nhưng với các nhiệt độ và mật độ đạt tới giữa 3 và 4 phút sau lúc bắt đầu, deuterium kéo dài đủ lâu để các sự va chạm có thể biến đổi một số trong nó thành helium, bao gồm hai proton và hai neutron. Về thực chất, toàn bộ vũ trụ đang hoạt động theo cách thức mà các trung tâm của các sao hiện đang hoạt động – hợp nhất các nguyên tố mới từ các thành phần đơn giản hơn.

Tuy nhiên, sự bùng nổ hợp nhất của vũ trụ chỉ là một giai đoạn ngắn ngủi. Vũ



Các tương tác hạt trong vũ trụ ban đầu: (a) Trong các phần tử đầu tiên của một giây, khi vũ trụ còn rất nóng, năng lượng được chuyển đổi thành các hạt và phản hạt. Phản ứng nghịch đảo cũng diễn ra: một hạt và một phản hạt có thể va chạm nhau và tạo ra năng lượng. (b) Khi nhiệt độ của vũ trụ giảm đi, năng lượng của các photon tiêu biểu trở thành quá thấp cho nên không thể tạo ra vật chất được. Trái lại, các hạt đang hiện hữu hợp nhất lại để tạo ra các hạt nhân như deuterium và helium chẳng hạn. (c) Sau đó, nó trở nên đủ mát để cho các electron ổn định với các hạt nhân và hình thành các nguyên tử trung hòa. Hầu hết vũ trụ vẫn còn là hydro.

trụ đang mở rộng và nguội dần, không một nguyên tố nào ngoài lithium có thể hình thành (nó trở nên nguội rất nhanh), và ngay cả các nguyên tố nhẹ cũng ngừng hình thành sau một vài phút. Trong vũ trụ nguội chúng ta biết ngày nay, sự tổng hợp các nguyên tố mới bị hạn chế trong trung tâm của các ngôi sao và các vụ nổ siêu tân tinh.

Tuy nhiên, sự kiện mô hình “Big Bang” cho phép tạo ra thật nhiều chất

helium là câu trả lời đối với sự bí ẩn dai dẳng trong thiên văn học. Nói một cách đơn giản, có quá nhiều helium trong vũ trụ được giải thích bởi những gì xảy ra bên trong các sao. Tất cả các thế hệ sao đã tạo ra helium trong vùng trung tâm của chúng kể từ Vụ Nổ Lớn không thể giải thích số lượng helium chúng ta quan sát được. Hơn nữa, ngay cả những sao già nhất và những thiên hà xa xôi nhất cũng thể hiện các lượng đáng kể chất helium. Các cuộc quan sát này tìm ra một sự giải thích tự nhiên về sự tổng hợp helium do chính vụ nổ lớn trong vài phút giây đầu tiên của thời gian. Chúng ta ước tính rằng, trong ba phút đầu tiên của vũ trụ, helium được tạo ra nhiều hơn gấp mười lần so với tất cả các thế hệ sao trong suốt 10 tới 15 tỉ năm kế tiếp.

✧ TÌM HIỂU VỀ DEUTERIUM

Thậm chí còn có nhiều điều chúng ta có thể học hỏi từ cách thức vũ trụ đầu tiên đã tạo ra các nhân nguyên tử. Rốt cuộc là tất cả deuterium trong vũ trụ đã được hình thành trong 3 phút đầu tiên. Trong các sao, bất cứ vùng nóng nào đủ hợp nhất hai proton để hình thành một nhân deuterium thì cũng đủ nóng để làm thay đổi nó thêm nữa – hoặc bằng cách hủy diệt nó qua một sự va chạm với một photon nhiều năng lượng, hay bằng cách biến đổi nó thành helium qua các phản ứng hạt nhân.

Lượng deuterium được tạo ra trong 3 phút đầu tiên của sự sáng tạo tùy thuộc vào mật độ của vũ trụ vào thời điểm deuterium hình thành. Nếu mật độ cao, hầu như tất cả chất deuterium sẽ bị biến đổi thành helium qua các tương tác với các proton, giống như trong các ngôi sao. Nếu mật độ thấp, kể đó vũ trụ mở

rộng và mỏng thưa ra nhanh chóng đủ để cho một số deuterium tồn tại. Lượng deuterium chúng ta thấy ngày nay, cho chúng ta một mẩu chốt về mật độ của vũ trụ khi nó khoảng 3 phút tuổi. Các mô hình lý thuyết có thể liên kết mật độ lúc đó với mật độ hiện nay; do vậy các phép đo về sự dồi dào của deuterium ngày nay có thể cung cấp một ước tính về mật độ hiện thời của vũ trụ.

Các phép đo về deuterium chứng tỏ rằng mật độ hiện nay vào khoảng $5 \times 10^{-31} \text{ g/cm}^3$, cũng gợi ý rằng vũ trụ sẽ mở rộng mãi mãi. Tuy nhiên có một sơ hở. Sự dồi dào deuterium được xác định bởi mật độ của các proton và neutron bởi vì đây là các hạt tương tác với nhau để hình thành ra nó. Từ sự dồi dào deuterium, chúng ta biết rằng các proton và neutron có mặt không đủ, khoảng một hệ số tối thiểu là 20, để tạo một vũ trụ có mật độ tối hạn. Tuy nhiên, nếu có các hạt vật chất tối của một số loại khác đã không được tính đến trong phản ứng hạt nhân, mật độ có thể cao hơn những gì được dự đoán đối với chỉ riêng các neutron và proton. Có chứng cứ cho rằng vật chất tối có thể được tạo ra từ một số loại hạt xa lạ, không được biết tới, và không phải từ các sự kết hợp của các proton và neutron.

♦ VŨ TRỤ TRỞ NÊN TRONG SUỐT

Mặc dù sự tổng hợp đã ngừng lại sau một vài phút, nhưng vũ trụ tiếp tục giống như phần bên trong của một ngôi sao trong một vài trăm ngàn năm. Nó vẫn còn nóng và đục, với bức xạ được rải rác từ hạt này sang hạt khác. Nó vẫn còn quá nóng làm cho các electron không thể “ổn định” và trở thành liên kết với một nhân nguyên tử riêng biệt. Và các electron đặc biệt có tác dụng với các photon phân tán,

do vậy bảo đảm rằng không có bức xạ nào đi quá xa trong vũ trụ ban đầu mà không thay đổi đường đi. Về một phương diện, vũ trụ giống như một đám đông khổng lồ ngay sau một buổi hoà nhạc đại chúng, nếu bạn bị tách ra khỏi một người bạn, cho dù anh ta đang đeo một cái nút áo chói sáng, cũng không thể nhìn thấy qua đám đông dày đặc để nhận ra anh ta. Chỉ sau khi đám đông tan biến mới có một con đường để cho ánh sáng từ nút áo của anh ta đi tới bạn.

Mãi cho tới một vài trăm ngàn năm sau Vụ Nổ Lớn, khi mà nhiệt độ đã hạ xuống khoảng 3000 K và mật độ của nhân nguyên tử vào khoảng 1000 cm^{-3} , thì các electron và nhân nguyên tử mới hình thành các nguyên tử hydro và helium bền vững. Cùng với việc chẳng có electron tự do nào để phân tán các photon, vũ trụ trở nên trong suốt trong thời gian đầu tiên trong lịch sử vũ trụ. Từ thời điểm này trở đi, vật chất và bức xạ đã tương tác ít thường xuyên hơn; chúng đã tách rời nhau và tiến hoá một cách riêng rẽ. Nếu chúng ta dò ra được bức xạ của vũ trụ đầu tiên, nó sẽ xuất phát từ thời điểm tách rời này khi mà bức xạ lần đầu tiên được phép di chuyển qua các khoảng cách đáng kể.

Một tỉ năm sau Vụ Nổ Lớn, các sao và thiên hà bắt đầu hình thành. Sâu bên trong các sao, vật chất bị đun nóng, các phản ứng hạt nhân được kích thích, và sự tổng hợp các nguyên tố nặng hơn bắt đầu nhiều hơn. Trong lúc đó, sự bức xạ từ thời điểm tách rời tiếp tục nguội khi không gian kéo dài ra và tất cả các bức xạ trở thành dịch chuyển về phía đỏ (do đó chuyển tải năng lượng ngày càng ít hơn). Khi hàng tỉ năm trôi qua, ánh hồng rực rỡ của Vụ Nổ Lớn mờ nhạt đi.

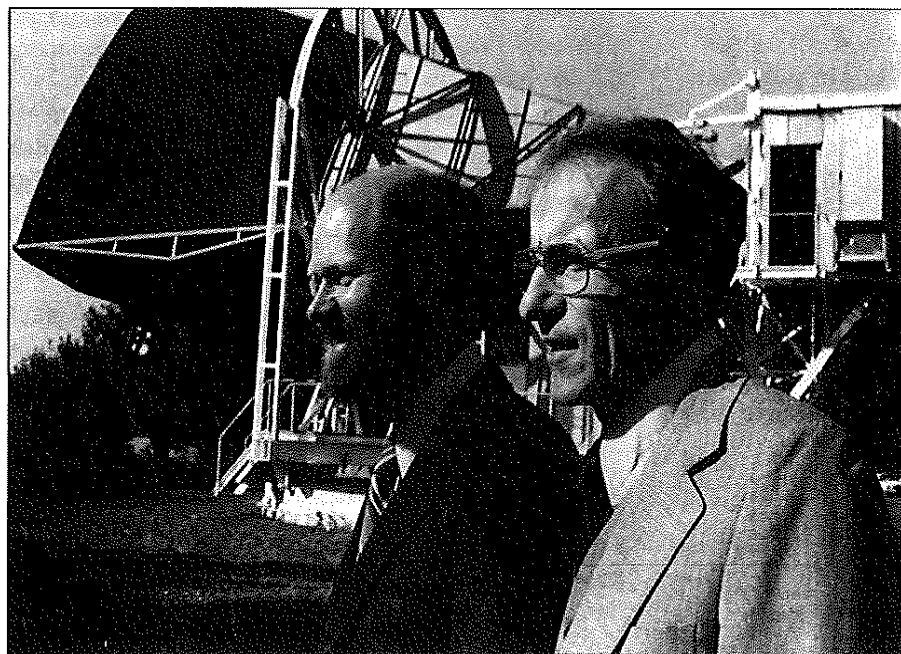
Bạn đừng nghĩ về Vụ Nổ Lớn “Big Bang” như là một vụ nổ trong *không gian bị khu vực hóa* – giống như một siêu sao đang bùng nổ. Không hề có ranh giới và địa điểm của vụ bùng nổ. Nó là một vụ bùng nổ của không gian (và vật chất và năng lượng) đã xảy ra khắp mọi nơi trong vũ trụ. Toàn bộ vật chất và năng lượng tồn tại đến ngày nay, kể cả các hạt từ đó bạn được tạo ra, bắt nguồn từ vụ nổ lớn. Chúng ta đã, và vẫn còn đang ở trong Vụ Nổ Lớn; nó ở khắp chung quanh chúng ta.

♦ KHÁM PHÁ RA BỨC XẠ NỀN CỦA VŨ TRỤ

Vào cuối những năm 1940, Ralph Alpher và Robert Herman nhận ra rằng ngay trước khi vũ trụ trở nên trong suốt, nó phải đang bức xạ giống như một vật thể đen với nhiệt độ 3000 K (xem Chương 4). Nếu chúng ta có thể nhìn thấy được bức xạ ấy ngay sau khi các nguyên tử

trung hoà đã hình thành, nó sẽ giống như bức xạ từ một ngôi sao màu đỏ. Nó là như thể một quả cầu lửa khổng lồ lấp đầy cả vũ trụ.

Nhưng điều đó cách đây đã hơn 10 tỉ năm, và trong khi đó, qui mô của vũ trụ đã gia tăng lên một ngàn lần. Sự mở rộng này đã gia tăng bước sóng của bức xạ theo hệ số 1000, và theo định luật Wien, đã hạ thấp một cách tương ứng nhiệt độ theo hệ số 1000 (xem Mục 4.2). Alpher và Herman đã dự đoán rằng sự toả sáng từ quả cầu lửa hiện nay là với các bước sóng vô tuyến và có lẽ giống như bức xạ từ một vật thể đen với nhiệt độ chỉ có một vài độ trên số không tuyệt đối. Bởi vì quả cầu lửa ở khắp nơi qua vũ trụ, bức xạ còn sót lại từ nó cũng ở khắp nơi. Nếu đôi mắt chúng ta nhạy cảm với các bước sóng vô tuyến, toàn thể bầu trời sẽ có vẻ tỏa sáng mờ nhạt. Tuy nhiên, đôi mắt chúng ta không nhạy cảm với các bước sóng này, và tại thời điểm Alpher



Robert Wilson (phải) và Arno Penzias: Hai nhà khoa học đang đứng trước một ăng-ten hình loa kèn mà với nó họ đã khám phá ra bức xạ nền của vũ trụ. Bức ảnh được chụp vào năm 1978, ngay sau khi họ nhận giải Nobel về vật lý học.

và Herman tiến hành tìm kiếm, không có thiết bị nào có thể phát hiện sự tỏa sáng. Trải qua nhiều năm, dự đoán của họ bị lãng quên.

Vào giữa những năm 1960 ở Holmdel, bang New Jersey, Arno Penzias và Robert Wilson của phòng thí nghiệm AT & T's Bell Laboratories sử dụng một ăng-ten vi-ba tinh vi để đo cường độ của bức xạ vô tuyến khắp chung quanh bầu trời (để dò tìm các nguồn bức xạ khả dĩ có thể gây nhiễu cho các vệ tinh viễn thông). Họ bị quấy rầy bằng một số tiếng ồn nền không mong đợi, giống như sự nhiễu tĩnh điện đối với một radio, mà họ không thể tổng khứ. Vấn đề khó xử về bức xạ này là nó dường như xuất phát từ mọi hướng cùng một lúc. Đây là điều rất lạ thường trong thiên văn học; nói cho cùng, hầu hết bức xạ có một hướng riêng biệt ở đó nó mạnh nhất – thí dụ, hướng của Mặt Trời, hay một xác siêu tân tinh, hay cái đĩa của Dải Ngân Hà.

Penzias và Wilson ban đầu nghĩ rằng bất kỳ bức xạ nào cũng có vẻ xuất phát từ mọi hướng phải xuất phát từ bên trong kính viễn vọng của họ, do đó họ tách mọi thứ ra để tìm kiếm nguồn của tiếng ồn. Thậm chí họ đã phát hiện một số chim bồ câu đã đậu bên trong nhánh ăng-ten lớn hình loa kèn và đã để lại (như Penzias diễn tả nó một cách tinh tế) “một lớp chất điện môi màu trắng, nhầy nhụa phủ bên trong ăng-ten”. Tuy nhiên, các nhà khoa học không có cách nào có thể làm giảm bức xạ nền xuống tới zero, và họ đã ngần ngại chấp nhận rằng nó phải có thật, và bắt nguồn từ không gian.

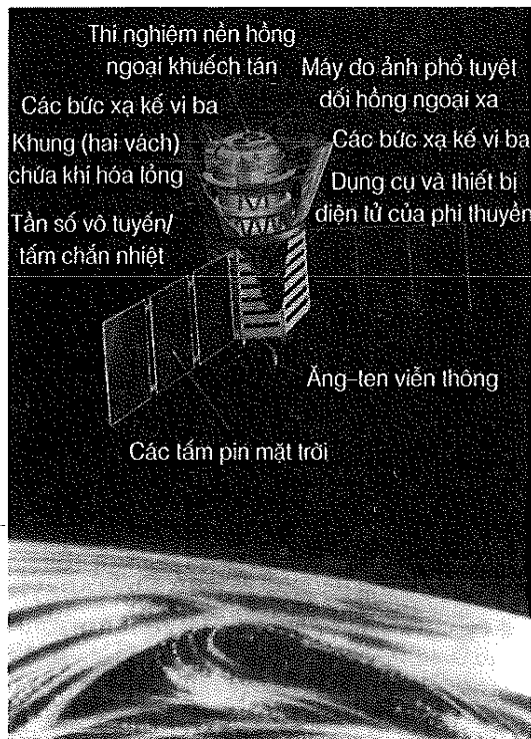
Penzias và Wilson không phải là những nhà vũ trụ học, nhưng khi họ bắt đầu bàn luận về khám phá gây hoang

mang của họ với các nhà khoa học khác, họ đã nhanh chóng tiếp xúc với một nhóm các nhà thiên văn học và vật lý học tại Đại học Princeton (chỉ cách một đoạn lái xe ngắn). Các nhà thiên văn học này – ngẫu nhiên – đã làm lại các tính toán của nhóm Gamow từ những năm 1940 và nhận ra rằng bức xạ từ thời điểm tách rời sẽ có thể được phát hiện như một sự tỏa sáng sau mờ yếu của các sóng vô tuyến. Công trình của họ đã dự đoán rằng nhiệt độ tương ứng với bức xạ nền của vũ trụ (cosmic background radiation: CBR) này sẽ vào khoảng 3 K; Penzias và Wilson nhận thấy cường độ của bức xạ mà họ đã khám phá tương xứng với một vật thể đen cùng nhiệt độ ấy.

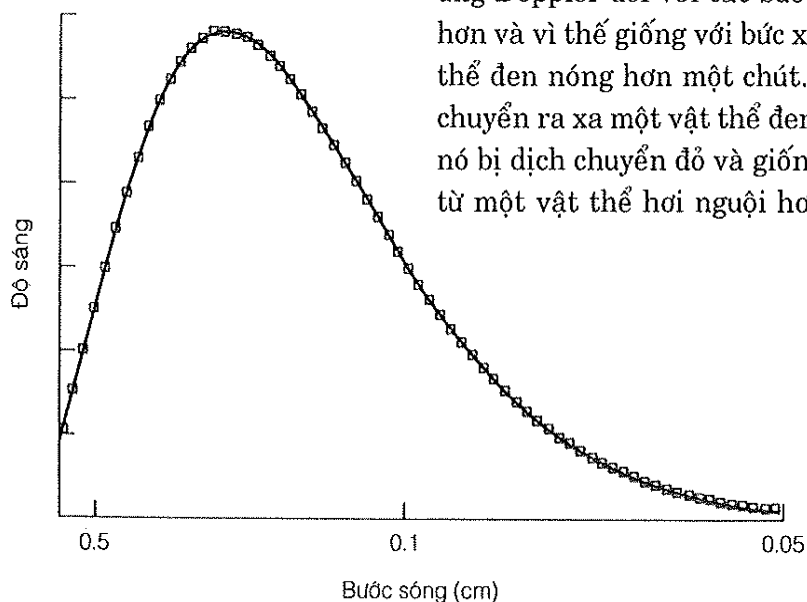
Nhiều cuộc thí nghiệm khác nữa trên Trái Đất và trong không gian đã xác nhận sự khám phá này. Quả thực bức xạ đang đi tới từ mọi hướng (nó là đẳng hướng) và tương xứng với các dự đoán của lý thuyết “Big Bang” với sự chính xác rõ rệt. Penzias và Wilson đã tình cờ quan sát sự tỏa sáng từ quả cầu lửa đầu tiên. Họ nhận được giải Nobel dành cho công trình này vào năm 1978. Và ngay trước khi chết vào năm 1966, Lemaitre hiểu rằng “sự rục rở chói lọi bị tan biến” của mình đã được khám phá và xác định.

♦ CÁC ĐẶC TÍNH CỦA BỨC XẠ NỀN

Các phép đo chính xác đầu tiên của CBR (bức xạ nền của vũ trụ) được thực hiện với một vệ tinh quay chung quanh Trái Đất. Được đặt tên là Cosmic Background Explorer (COBE) (Người thám hiểm nền vũ trụ), vệ tinh này được NASA phóng đi vào ngày 18/11/1989. Dữ liệu nó nhận được nhanh chóng chứng tỏ rằng CBR rất tương xứng với những gì được mong đợi từ một vật thể đen với



Người thám hiểm nền vũ trụ: COBE, vệ tinh được thiết kế để khảo sát bức xạ nền vũ trụ với các bước sóng hồng ngoại và vi ba. Đủ loại thiết bị trên tàu thăm dò được ghi chú.



Bức xạ nền vũ trụ: Vạch liên tục mô tả cường độ của bức xạ sẽ thay đổi ra sao với bước sóng đối với một vật thể đen với nhiệt độ 2,73 K. Các khung mô tả cường độ của bức xạ nền vũ trụ khi được đo với đủ loại bước sóng bởi các thiết bị của COBE. Sự ăn khớp là hoàn hảo. Khi sơ đồ này lần đầu tiên được trình bày tại một hội nghị của các nhà thiên văn học, nó đã được hoan nghênh nhiệt liệt.

hiệt độ 2,73 K. Đây chính xác là kết quả được mong đợi nếu CBR thực sự là bức xạ được dịch chuyển về phía đỏ, được phát xạ bởi một chất khí nóng đã lấp đầy toàn bộ không gian ngay sau khi vũ trụ bắt đầu.

Vì thế kết luận quan trọng đầu tiên từ các phép đo về CBR là vũ trụ mà chúng ta có ngày nay đã tiến hoá từ một trạng thái nóng đồng đều. Sự quan sát này cũng cung cấp sự ủng hộ trực tiếp đối với ý tưởng cho rằng chúng ta sống trong một vũ trụ đang tiến hoá.

Một kết quả thứ nhì (được nhìn thấy với các thiết bị khác và hiện được COBE xác nhận) là CBR có vẻ như hơi nóng hơn ở một hướng so với hướng đối nghịch chính xác trên bầu trời. Sự khác biệt này xảy ra do sự chuyển động của chính chúng ta qua không gian. Nếu bạn đi tới gần một vật thể đen, bức xạ của nó hơi bị dịch chuyển một chút vì hiệu ứng Doppler đối với các bước sóng ngắn hơn và vì thế giống với bức xạ từ một vật thể đen nóng hơn một chút. Nếu bạn di chuyển ra xa một vật thể đen, bức xạ của nó bị dịch chuyển đỏ và giống với bức xạ từ một vật thể hơi nguội hơn một chút.

Bởi vì CBR lấp đầy vũ trụ, có thể xác định chúng ta đang di chuyển như thế nào bằng cách chú ý những hướng trong đó nó bị dịch chuyển về phía đỏ và dịch chuyển về phía xanh (nguội hơn và nóng hơn), và mức độ của sự dịch chuyển.

Sự chênh lệch nhỏ về nhiệt độ của CBR chứng tỏ rằng Mặt Trời, Dải Ngân Hà, và toàn bộ Nhóm Cục Bộ (Local Group) của các thiên hà đang di chuyển với tốc độ khoảng 500 km/s trong hướng thông thường của chòm sao Hydra. Lưu ý rằng chuyển động này bổ sung cho sự chuyển động của các thiên hà, là kết quả từ sự mở rộng toàn bộ của vũ trụ. Như chúng ta đã thấy trong Chương 19, sự chuyển động phụ thêm có lẽ được tạo ra bởi lực hấp dẫn của một vùng tập trung dày đặc bất thường của hầu hết là vật chất tối (Máy Hút Vĩ Đại – Great Attractor), thu hút Nhóm Cục Bộ về phía Hydra.

Kết luận thứ ba từ các cuộc quan sát của COBE rằng vũ trụ ban sơ là một chốn yên tĩnh. Cường độ của CBR (bức xạ nền vũ trụ) đi theo một đường cong của vật thể đen mà không có bức xạ thừa nào với bất kỳ bước sóng nào. Nếu đã có hàng loạt biến cố dữ dội khi vũ trụ còn rất trẻ, các biến cố này có lẽ đã làm biến dạng đường cong trơn tru suôn sẻ được mô tả trong hình trang trước.

Thậm chí người ta được biết trước khi phóng phi thuyền COBE rằng CBR là *đẳng hướng* tốt độ. Trong thực tế, sự đồng bộ của nó là một trong những sự xác nhận tối ưu về nguyên lý vũ trụ học. Các phép đo được tiến hành trên mặt đất chứng tỏ rằng nếu chúng ta nhìn ngắm các vị trí trên bầu trời chênh lệch về hướng khoảng chừng chưa tới một độ, thì bất kỳ sự dao động nào về cường

độ của CBR cũng chưa tới một vài phần mười ngàn.

Nhưng theo lý thuyết, nhiệt độ có thể đã không đồng nhất *hoàn toàn* khi CBR được phát xạ. Nói cho cùng, CBR là bức xạ đang phân tán từ các hạt trong vũ trụ tại thời điểm tách rời. Nếu bức xạ hoàn toàn suôn sẻ, tất cả các hạt ấy phải được phân bố qua không gian tuyệt đối đồng đều. Tuy nhiên, chính những hạt ấy đã trở thành toàn thể các thiên hà và các ngôi sao hiện nay trong vũ trụ. Nếu chúng đã được phân bố hoàn toàn suôn sẻ, thì chúng đã không thể hình thành tất cả các cấu trúc hiện nay có mặt trong vũ trụ – các chùm thiên hà và các chùm siêu thiên hà.

Vũ trụ sơ khai đã có các dao động nhỏ bé về cường độ, từ đó các cấu trúc như thế có thể tiến triển. Các vùng có mật độ cao hơn trung bình sẽ thu hút thêm vật chất và phát triển thành các thiên hà và các chùm thiên hà mà chúng ta thấy ngày nay. Đối với chúng ta, những vùng này dường như sẽ có các nhiệt độ cao hơn trung bình, (là do một vùng đậm đặc hơn có nhiều lực hút hơn và do đó dịch chuyển bức xạ về phía đỏ, khiến cho nó trông như mát hơn một chút). Vì thế, nếu các hạt giống của các thiên hà ngày nay đã tồn tại vào thời gian CBR được phát xạ, chúng ta sẽ thấy một số thay đổi nhỏ về nhiệt độ của CBR khi chúng ta nhìn về các hướng khác nhau trong bầu trời.

Các nhà khoa học làm việc với dữ liệu từ vệ tinh COBE đã thực sự phát hiện những chênh lệch nhiệt độ rất nhỏ hiện diện trong CBR. Các biến đổi nhiệt độ tiêu biểu chỉ là 16 phần triệu của một độ K. Những vùng có nhiệt độ thấp hơn trung bình xảy ra ở đủ loại kích thước, nhưng ngay cả cái nhỏ nhất của các khu

vực lạnh được COBE dò ra quá rộng lớn đến nỗi không thể là tiền thân của một thiên hà riêng lẻ, hay thậm chí một chùm siêu thiên hà.

Các thí nghiệm gần đây hơn đã nhận thấy dao động về nhiệt độ của CBR trên các tỉ lệ khoảng một cung 20 phút, tương ứng với kích thước của một chùm siêu thiên hà. Các thiết bị trên Mặt Đất và trong không gian cố gắng tìm ra thậm chí những biến đổi nhỏ hơn. Tuy nhiên, các quan sát này hoá ra là, hiện nay chúng ta có thể nhìn thấy các giai đoạn đầu tiên về sự ra đời của cấu trúc vũ trụ.

20.5 VŨ TRỤ CĂNG PHỒNG

♦ CÁC VẤN ĐỀ VỚI MÔ HÌNH “BIG BANG” TIÊU CHUẨN

Mô hình “Big Bang” nóng bức mà chúng ta đã mô tả là thành công đáng kể. Nó giải thích sự mở rộng của vũ trụ, giải thích các cuộc quan sát về CBR, và dự đoán chính xác sự dồi dào của các nguyên tố nhẹ. Và mô hình này cũng dự đoán rằng sẽ có chính xác ba loại neutrino trong tự nhiên, dự đoán này đã được xác nhận bởi các cuộc thí nghiệm với các máy gia tốc năng lượng cao.

Tuy nhiên lý thuyết không trọn vẹn. Mô hình “Big Bang” tiêu chuẩn không giải thích được tại sao có nhiều vật chất hơn phản vật chất trong vũ trụ, cũng không giải thích được nguồn gốc của những dao động về mật độ phát triển thành các thiên hà. Nó cũng không giải thích được sự đồng nhất (uniformity) rõ rệt của vũ trụ. Bức xạ nền của vũ trụ (CBR) giống nhau, bất kể chúng ta nhìn về hướng nào, với một độ chính xác khoảng 1 phần 100.000. Sự giống nhau này có thể được

kỳ vọng nếu tất cả các khu vực của vũ trụ nhìn thấy được tiếp xúc tại một vị trí nào đó và có thời gian để đi tới cùng một nhiệt độ. Cùng một cách như vậy, nếu chúng ta bỏ vài cục nước đá vào một ly nước và chờ đợi một hồi, nước đá sẽ tan và nước sẽ mát lạnh cho tới khi chúng có cùng một nhiệt độ.

Tuy nhiên, nếu chúng ta chấp nhận mô hình “Big Bang” tiêu chuẩn, tất cả các bộ phận của vũ trụ nhìn thấy được sẽ không tiếp xúc tại bất kỳ thời điểm nào. Cái nhanh nhất mà thông tin có thể đi từ một vị trí này tới một vị trí khác là tốc độ của ánh sáng. Có một khoảng cách tối đa mà ánh sáng có thể đã di chuyển từ bất kỳ điểm nào kể từ thời điểm vũ trụ bắt đầu. Khoảng cách này được gọi là *khoảng cách chân trời* (horizon distance) của điểm đó, bởi vì bất cứ thứ gì càng xa hơn nữa là “ở dưới chân trời của nó” – không thể tiếp xúc với nó. Một vùng của không gian bị tách biệt bởi nhiều hơn khoảng cách chân trời đối với vùng không gian khác đã bị cô lập hoàn toàn với nó qua toàn bộ lịch sử vũ trụ.

Nếu đo bức xạ nền vũ trụ ở hai hướng đối nghịch nhau trên bầu trời, chúng ta đang quan sát các vùng vượt xa hơn đáng kể khoảng cách chân trời của chúng với nhau tại thời điểm bức xạ nền vũ trụ được phát ra. Chúng ta có thể nhìn thấy cả hai vùng, nhưng chúng có thể chẳng bao giờ nhìn thấy nhau! Thế thì, tại sao các nhiệt độ của chúng lại giống nhau một cách chính xác như vậy? Theo mô hình “big bang” tiêu chuẩn, chúng đã không bao giờ có thể trao đổi thông tin, và không có nguyên do gì chúng có các nhiệt độ giống hệt nhau. Cách giải thích duy nhất đơn giản là bằng cách nào đó vũ trụ đã *khởi sự* (started out) đồng dạng tuyệt đối, các

nhà khoa học luôn không cảm thấy thoải mái khi họ phải viện đến một tập hợp đặc biệt các điều kiện ban đầu để giải thích cho những gì họ nhìn thấy.

Một vấn đề khác với mô hình “big bang” tiêu chuẩn là nó không giải thích được lý do tại sao mật độ của vật chất trong vũ trụ là quá gần với mật độ tới hạn. Nói cho cùng, mật độ có thể đã quá thấp và sự mở rộng quá nhanh đến nỗi không một thiên hà nào được hình thành cả. Hay là, có thể có quá nhiều vật chất đến nỗi vũ trụ sẽ sẵn sàng bắt đầu co lại trước đây đã lâu. Trái lại, lượng vật chất có mặt dường như nằm trong vòng một hệ số 10 hay như thế về trị số tương ứng với sự cân bằng chính xác giữa hai tình thế này. Mô hình “Big Bang” tiêu chuẩn không cung cấp sự giải thích lý do tại sao điều này là như vậy.

Để hiểu một số ý tưởng mới cố gắng giải thích những đặc điểm này của vũ trụ, trước hết chúng ta phải nói về các lực tác động lên các hạt hạ nguyên tử. Kế đó chúng ta sẽ quay trở lại bức tranh tổng quát về việc vũ trụ có thể đã tiến hoá như thế nào.

♦ CÁC LÝ THUYẾT HỢP NHẤT TỔNG QUÁT

Trong khoa học vật lý, thuật ngữ “lực” (force) (xem Chương 2) được dùng để diễn tả bất kỳ thứ gì có thể làm thay đổi sự

chuyển động của một hạt hay một vật thể. Một trong những khám phá nổi bật của khoa học hiện đại là tất cả các quá trình vật lý được biết có thể được mô tả qua sự tác động của bốn lực: lực hấp dẫn, lực điện từ, lực hạt nhân mạnh, và lực hạt nhân yếu.

Mặc dù lực hấp dẫn có lẽ là quen thuộc nhất với bạn, và nhất định tỏ ra mạnh mẽ nếu bạn nhảy xuống từ một toà nhà cao tầng, lực hấp dẫn giữa hai hạt sơ cấp – thí dụ, hai proton – là lực yếu nhất vượt xa các lực khác trong bốn lực. Lực điện từ, bao gồm cả điện và từ, giữ chặt các nguyên tử với nhau và tạo ra bức xạ điện từ mà chúng ta sử dụng để nghiên cứu vũ trụ. Lực hạt nhân yếu thì chỉ yếu khi so sánh với “người anh em họ” mạnh mẽ của nó, nhưng trong thực tế mạnh hơn lực hấp dẫn nhiều.

Cả hai lực hạt nhân yếu và mạnh khác biệt với hai lực đầu tiên bởi vì chúng chỉ tác động qua các cự ly rất nhỏ – các cự ly này có thể so sánh với kích thước của các hạt nhân nguyên tử hay nhỏ hơn. Lực hạt nhân yếu được tính đến trong sự phân rã phóng xạ và các phản ứng dẫn đến các hạt neutrino. Lực hạt nhân mạnh giữ chặt các proton và neutron với nhau trong nhân nguyên tử.

Các nhà vật lý đã tự hỏi tại sao lại có bốn lực trong vũ trụ – tại sao không

Các Lực Của Tự Nhiên			
Lực	Cường độ tương đối ngay nay	Giới hạn	Các ứng dụng quan trọng
Hấp dẫn	1	Toàn bộ vũ trụ	Các chuyển động của các hành tinh, sao, thiên hà
Điện từ	10^{36}	Toàn bộ vũ trụ	Nguyên tử, phân tử, điện, từ trường
Hạt nhân yếu	10^{33}	10^{-17} m	Sự phân rã phóng xạ
Hạt nhân mạnh	10^{38}	10^{-15} m	Sự tồn tại của các nhân nguyên tử

phải là 300 hay có thể chỉ là một? Một gợi ý quan trọng bắt nguồn từ cái tên lực *điện từ* (electromagnetic). Trong một thời gian dài, các nhà khoa học đã nghĩ rằng các lực của điện và của từ là riêng biệt, nhưng James Clerk Maxwell (xem Chương 4) đã có thể *hợp nhất* (unify) các lực này lại – để chứng tỏ rằng chúng là các khía cạnh của cùng một hiện tượng. Trong cùng một cách như vậy, nhiều nhà khoa học (kể cả Einstein) đã tự hỏi giá như bốn lực mà ngày nay chúng ta biết đến cũng có thể được hợp nhất. Các nhà vật lý đã phát triển các mô hình, gọi là *các lý thuyết hợp nhất tổng quát* (GUTs: grand unified theories), hợp nhất ba trong số bốn lực này.

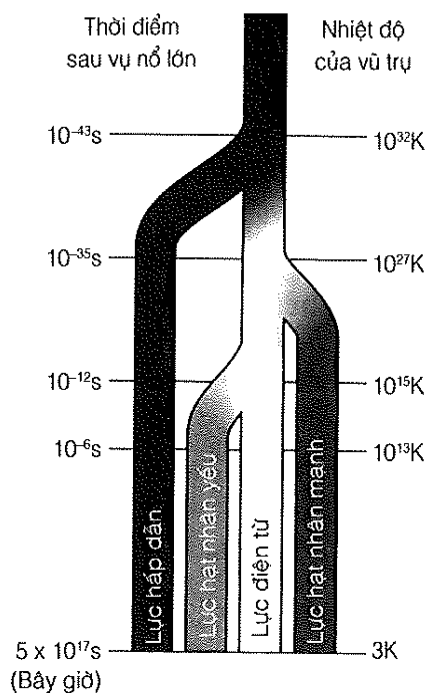
Trong lý thuyết, các lực hạt nhân mạnh, hạt nhân yếu, và lực điện từ

không phải là ba lực độc lập, nhưng trái lại là các biểu hiện, hay các phương diện khác nhau của cái mà, trong thực tế, là một lực duy nhất. Các lý thuyết dự đoán rằng với các nhiệt độ đủ cao sẽ chỉ có một lực duy nhất. Tuy nhiên, với các nhiệt độ thấp hơn (giống như các nhiệt độ trong vũ trụ ngày nay), lực duy nhất này đã thay đổi thành ba lực khác nhau. Giống như các chất khí khác nhau đông lạnh ở các nhiệt độ khác nhau, chúng ta có thể nói rằng các lực khác nhau “tan ra” từ lực hợp nhất tại các nhiệt độ khác nhau. Nhưng ở nhiệt độ tại đó ba lực là một thì cao đến mức không thể đạt được trong bất kỳ phòng thí nghiệm nào trên mặt đất. Chỉ có vũ trụ ban đầu, tại các thời điểm trước 10^{-35} s, là đủ nóng để hợp nhất các lực này. (Nhiều nhà vật lý nghĩ rằng lực hấp dẫn cũng được hợp nhất với các lực kia ở các nhiệt độ còn cao hơn).

♦ GIẢ THUYẾT CĂNG PHỒNG

Một số hình thức của các lý thuyết hợp nhất tổng quát (GUTs) dự đoán rằng một biến cố đáng kể đã xảy ra khi vũ trụ được khoảng 10^{-35} s tuổi và các lực đang bắt đầu tách biệt ra.

Các phương trình của thuyết tương đối tổng quát, kết hợp với trạng thái đặc biệt của vật chất tại thời điểm đó, dự đoán rằng lực hấp dẫn tóm lại có thể đã là một lực đẩy (repulsive force). Trong thời đại của chúng ta, lực hấp dẫn là một lực hút (attractive force) làm chậm lại sự mở rộng của vũ trụ, nhưng trong một khoảnh khắc phút ngắn ngủi gần 10^{-35} s sau khi sự mở rộng bắt đầu, lực hấp dẫn thực ra có thể đã làm tăng tốc sự mở rộng. Chuyện dường như thế là, hằng số vũ trụ học, trong một phút chốc



Bốn lực chi phối vũ trụ: Cường độ bốn lực tùy thuộc vào nhiệt độ của vũ trụ. Sơ đồ này (được cảm hứng bởi một số Lý Thuyết Hợp Nhất Tổng Quát) chứng tỏ rằng tại các thời điểm đầu tiên khi nhiệt độ của vũ trụ còn rất cao, tất cả bốn lực đều giống nhau và không thể phân biệt được. Khi vũ trụ nguội đi, các lực tách biệt ra và mang các đặc điểm rõ rệt.

ngắn ngủi, đã rất to lớn và tạo ra một lực đẩy khổng lồ trong vũ trụ.

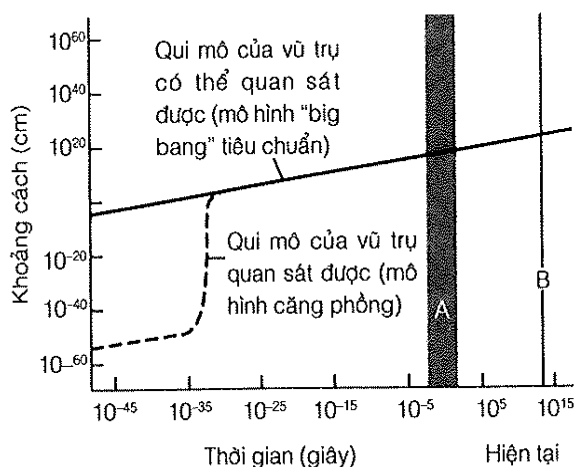
Một vũ trụ mô hình trong đó sự mở rộng đầu tiên và nhanh chóng này xảy ra được gọi là vũ trụ căng phồng (inflationary universe). Vũ trụ căng phồng giống hệt với vũ trụ của vụ nổ lớn hay vũ trụ "big bang" trong suốt thời gian sau 10^{-30} s đầu tiên. Trước thời điểm đó, có một giai đoạn ngắn ngủi của sự mở rộng hay sự căng phồng cực nhanh trong đó qui mô của vũ trụ đã gia tăng theo hệ số khoảng 10^{50} lần nhiều hơn so với được dự đoán bởi các mô hình "big bang" tiêu chuẩn. Khi vũ trụ đã mở rộng, nhiệt độ của nó hạ xuống dưới trị số tới hạn tại đó tất cả ba thứ lực ứng xử theo một kiểu đối xứng (sym-metrical fashion). Trong vũ trụ đối xứng, nguội hơn, các lực hạt nhân đã lấn át lực điện từ; chúng tiếp tục

tác động như vậy trong thế giới chúng ta ngày nay.

Trước khi có sự căng phồng, tất cả các bộ phận của vũ trụ mà chúng ta có thể nhìn thấy hiện nay quá nhỏ và quá gần với nhau đến độ chúng có thể trao đổi thông tin; nghĩa là khoảng cách chân trời bao gồm toàn thể vũ trụ mà chúng ta ngày nay có thể quan sát. Trước khi sự căng phồng diễn ra, có một thời gian thích hợp để vũ trụ có thể quan sát được tự đồng nhất hoá và đi tới cùng một nhiệt độ. Kể đó sự căng phồng mở rộng các vùng này vô cùng to lớn, để cho nhiều vùng của vũ trụ ngày nay vượt xa hơn chân trời của chúng với nhau.

Một nét hấp dẫn khác về mô hình căng phồng là dự đoán rằng mật độ của vũ trụ sẽ chính xác ngang bằng với mật độ tới hạn. Để hiểu lý do tại sao, hãy nhớ rằng mật độ của vũ trụ có liên hệ mật thiết với độ cong của không gian. Thí dụ, một vũ trụ mật độ cao sẽ có hình dạng khép kín (giống như bề mặt của quả bóng mà chúng ta đã bàn luận). Nhưng giai đoạn của sự căng phồng tương tự với sự bơm căng quả bóng lên tới một kích thước khổng lồ. Vũ trụ trở thành quá lớn đến mức từ vị trí thuận lợi của chúng ta, không có độ cong nào có thể được nhìn thấy. (Cùng một cách như vậy, bề mặt của Trái Đất lớn đến nỗi trông nó bằng phẳng đối với chúng ta ở bất kỳ địa điểm nào).

Nếu vũ trụ được căng phồng lên để trông thấy hoàn toàn bằng phẳng về phương diện cục bộ, mật độ của vật chất là bao nhiêu để phù hợp với hình dạng phẳng của không-thời-gian? Hãy nhớ lại rằng đó là mật độ tới hạn. Do đó, một vũ trụ trông thấy phẳng sẽ có mật độ



Sự mở rộng của vũ trụ: Sơ đồ này mô tả hệ số qui mô của vũ trụ có thể quan sát được thay đổi với thời gian đối với mô hình "big bang" tiêu chuẩn (vạch liền) và đối với mô hình căng phồng (vạch đứt khúc). (Lưu ý rằng thang thời gian ở dưới đây bị nén ép tối đa). Trong khi căng phồng, các vùng còn rất nhỏ và tiếp xúc lẫn nhau bất ngờ bị thổi phồng lên lớn hơn nhiều và ra ngoài khoảng cách chân trời lẫn nhau. Hai mô hình giống nhau trong mọi thời điểm sau 10^{-30} s. Các electron, positron, và các hạt nhân nguyên tử nhẹ nhất được hình thành trong khoảng thời gian được đặt tên là A. Vũ trụ trở nên trong suốt với sự bức xạ tại thời điểm được chỉ định là B. "Hiện tại" nằm ngay lẽ phải của bức hình.

trung bình chính xác để cho chúng ta trị số tới hạn. Dự đoán này là một con dao hai lưỡi. Nó giải thích lý do tại sao vũ trụ quá gần với mật độ tới hạn. Nhưng nếu như vũ trụ không phải ở mật độ tới hạn, nó sẽ là một tai họa nghiêm trọng đối với mô hình căng phẳng.

Vậy thì mật độ của vũ trụ là bao nhiêu? Bảng dưới tóm tắt về lượng vật chất được ước tính là có mặt trong đủ các loại thiên thể khác nhau. Vật chất tỏa sáng trong các thiên hà đóng góp chưa tới 1% khối lượng cần thiết để đạt tới mật độ tới hạn.

Sự dồi dào của deuterium chứng tỏ rằng các proton và neutron có số lượng không nhiều hơn khoảng 5% mật độ tới hạn.

Sự chênh lệch giữa hai con số này khiến cho các nhà thiên văn học tự hỏi rằng 4% còn lại kia của proton và neutron có thể ở đâu nếu chúng không nằm trong các thiên hà. Một ý tưởng gần đây là có một chất khí nóng giữa các thiên hà với nhiệt độ một triệu độ; một vệ tinh tia X mới gọi là Chandra (được đặt tên theo nhà thiên văn học S. Chandrasekhar – xem Chương 14) sẽ tìm kiếm chất khí nóng này để xem liệu đề xuất có đúng hay không.

Trong phần nói về vật chất tối, có bằng chứng là vẫn còn nhiều vật chất trong các chùm thiên hà. Nếu nghiên cứu tương tác của lực hấp dẫn của các thiên hà trong các chùm và hiệu ứng bẻ cong ánh sáng của lực hấp dẫn đối với các thiên hà xa xôi, chúng ta tìm thấy chúng cứ dành cho vật chất của một số loại có thể thêm vào khoảng gần 30% của mật độ tới hạn. Nhưng chúng ta không biết vật chất này là gì bởi vì nó không hề bức xạ năng lượng.

Do vậy, tất cả vật chất mà chúng ta có thể phát hiện trực tiếp không đủ để đạt mật độ tới hạn. Đối mặt với mâu thuẫn, các lý thuyết gia tạo ra một số kịch bản mới về các mô hình vũ trụ căng phẳng mà không đòi hỏi vũ trụ phải ở mật độ tới hạn. Liệu có bất cứ cái nào trong các mô hình mới này thực sự đúng?

Tuy nhiên, một lần nữa, hằng số vũ trụ có thể cứu nguy. Hãy nhớ rằng năng lượng và khối lượng là tương đương, và vì vậy năng lượng kết hợp với lực đẩy, đang tạo ra sự gia tốc của vũ trụ, có một khối lượng tương đương (mà chúng ta có thể tính toán bằng công thức $E = mc^2$). Hoá ra dữ liệu tối ưu từ trước cho đến nay từ các cuộc quan sát về siêu tân tinh chứng tỏ rằng khối lượng tương đương này là

Các loại vật thể khác nhau đóng góp những gì vào mật độ của vũ trụ

<i>Vật thể</i>	<i>Mật độ (phần trăm của mật độ tới hạn)</i>
Vật chất tỏa sáng (các sao,...).	Chưa tới 1%
Các neutron và proton	Không hơn 5% (một số có thể nằm trong dạng của khí nóng giữa các thiên hà)
Toàn bộ vật chất, sáng và tối, trong các chùm đại thiên hà	20 – 30%
Mật độ khối lượng tương đương của hằng số vũ trụ học rút ra từ các siêu tân tinh	70%

vào khoảng 70% mật độ tới hạn. Nếu thêm nó vào khối lượng của vật chất tối và sáng, chúng ta kết thúc với một trị số rất gần với mật độ tới hạn, và trong trường hợp này quả thực chúng ta sống trong một vũ trụ phẳng.

Rất nhiều nhà thiên văn học nhận thấy kết quả từ các siêu tân tinh là sự ủng hộ vô cùng mạnh mẽ mô hình căng phẳng và đề nghị có một mô hình vũ trụ học giải thích được hầu như mọi thứ. Nhưng vấn đề là phải giải thích tại sao các siêu tân tinh xa xôi lại mờ nhạt hơn so với mong đợi và sau đó hãy tìm cho ra một số vật chất tối!

✧ CÁC KHẢ NĂNG VỀ VẬT CHẤT TỐI

Các nhà thiên văn học tìm kiếm vật chất tối bằng cách nào? Các kỹ thuật tùy thuộc vào việc chúng ta nghĩ nó có thể được cấu tạo từ thứ gì.

Một khả năng là vật chất tối được hình thành từ neutrino với khối lượng đủ để tạo ra một vũ trụ có mật độ tới hạn. Các phép đo trong phòng thí nghiệm (và các cuộc quan sát về các neutrino thuộc Siêu tân tinh 1987A, được bàn luận trong Chương 14) cho chúng ta biết rằng khối lượng của neutrino phải là rất nhỏ. Tuy nhiên, một số chứng cứ thử nghiệm gợi ý rằng nó thực sự không phải là zero (xem Chương 7). Các cuộc thử nghiệm hiện nay đang được tiến hành với các máy gia tốc năng lượng cao để đo khối lượng của neutrino bằng cách theo dõi sự thay đổi về *động lượng* (momentum) hay năng lượng neutrino của một loại hạt khác va chạm với nó. Chỉ sau khi khối lượng neutrino được xác định thì mới có thể tính toán được khối lượng tổng cộng của các neutrino trong vũ trụ. Tuy vậy, căn cứ vào các kết quả sơ bộ cho đến nay,

đa số các chuyên gia ước đoán rằng các neutrino sẽ không đủ lớn để giải thích cho phần lớn lực hấp dẫn mà chúng ta quy cho vật chất tối.

Một dạng khác mà vật chất tối có thể mang là một số loại hạt sơ cấp mà chúng ta vẫn chưa phát hiện ra trên Trái Đất – một hạt có khối lượng và tồn tại đủ dồi dào để đạt tới mật độ tới hạn. Các lý thuyết hợp nhất tổng quát dự đoán về sự tồn tại của các loại hạt như thế. Một nhóm hạt đã được đặt tên là WIMPs (*các hạt khổng lồ tương tác yếu*), viết tắt cho chữ “weakly interacting massive particles”. Bởi vì các hạt này không tham gia vào các phản ứng hạt nhân dẫn đến việc sản sinh ra deuterium, sự dồi dào về deuterium không đặt ra một giới hạn nào về việc sẽ có bao nhiêu hạt khổng lồ tương tác yếu trong vũ trụ. (Một số các hạt kỳ lạ khác cũng đã được đề nghị như là những phần tử đầu tiên của vật chất tối, nhưng chúng ta sẽ hạn chế cuộc bàn luận về WIMPs như là một thí dụ hữu dụng).

Nếu các lượng lớn của hạt WIMPs quả thực tồn tại, một số trong chúng sẽ đi xuyên qua các phòng thí nghiệm. Bằng cách nào chụp bắt được chúng?

Theo định nghĩa, chúng chỉ tương tác một cách yếu ớt (không thường xuyên) với vật chất khác, các cơ hội mà chúng sẽ có một hiệu ứng có thể đo lường được là rất nhỏ bé. Chúng ta cũng không biết bất cứ điều gì về các hạt này, và do đó không thể dự đoán loại hiệu ứng nào chúng có thể tạo ra. Tuy thế, hơn 20 cuộc thí nghiệm đã được thực hiện để cố gắng xác định liệu các hạt WIMPs khó nắm bắt này thực sự có tồn tại hay không.

Một loại máy dò được căn cứ trên ý tưởng rằng một hạt WIMP có thể va

chạm với một nhân nguyên tử và khiến cho nó di chuyển. Sự chuyển động sau đó sẽ được truyền sang các hạt khác trong máy dò, gây ra một sự thay đổi rất nhỏ về nhiệt độ. Các ước tính cho rằng sự thay đổi có thể là khoảng một phần triệu độ, có thể được đo nếu máy dò ở một nhiệt độ rất gần với zero tuyệt đối. Một phương pháp khác là chế tạo ra một máy dò tìm vật liệu phát xạ một tia sáng loé lên (rất yếu) khi một trong số hạt nhân hay electron của nó dội lại vì bị va chạm bởi một hạt khác. Một ý tưởng khác là tìm kiếm những dấu vết cực nhỏ của sự phá hủy khi một hạt WIMP di chuyển qua một miếng mica. Chúng ta có các miếng mica có tuổi hơn một tỉ năm. Trải qua khoảng thời gian đó sẽ có ít nhất một vài cơ hội khi một hạt WIMP đã va chạm với hạt nhân của một nguyên tử, đánh bật nó ra khỏi chỗ đủ để đẩy nguyên tử láng giềng khác ra khỏi vị trí, để lại một vạch của sự tổn hại có thể dò ra được.

Nếu quả thực đúng là hầu hết vật chất trong vũ trụ được cấu tạo từ một số loại hạt mà chúng ta vẫn chưa khám phá ra, chúng ta phải chấp nhận thử thách để cố gắng phát hiện ra nó. Công cuộc tìm kiếm vẫn tiếp diễn – trong các máy gia tốc khổng lồ, trong các phòng thí nghiệm, và trong các hầm mỏ sâu dưới mặt đất, ở đó các nhà khoa học đang cố gắng tìm các hạt vật chất tối hay lẫn tránh giống như trước kia họ đã thành công trong việc chộp bắt các hạt neutrino.

♦ VẬT CHẤT TỐI VÀ SỰ HÌNH THÀNH CÁC THIÊN HÀ

Có thể là trong vũ trụ hiện thời, các thiên hà có lẽ sẽ không bao giờ hình thành nếu không có vật chất tối. Như

chúng ta đã thấy, các thiên hà phát triển từ các dao động về mật độ trong vũ trụ sơ khai. Các quan sát với vệ tinh COBE cung cấp thông tin về kích thước của các dao động này. Rốt cuộc là các biến đổi về mật độ là quá nhỏ, ít nhất theo các lý thuyết hiện nay, cho nên đã không thể hình thành các thiên hà trong 1 tỉ năm đầu tiên hay như thế sau vụ nổ lớn. Tuy thế, các cuộc quan sát chứng tỏ rằng các thiên hà quả thực đã được hình thành vào thời kỳ đầu tiên ấy.

Dữ liệu vệ tinh COBE cung cấp cho chúng ta thông tin về các dao động của mật độ chỉ riêng cho loại vật chất có tương tác với bức xạ. Giả sử có một loại vật chất không tương tác với ánh sáng một chút nào cả – cụ thể là vật chất tối. Vật chất này có thể có những sự biến đổi lớn hơn nhiều về mật độ, mà chúng ta không thể dò ra bởi vì vật chất tối không ảnh hưởng tới cường độ của bức xạ được vệ tinh COBE đo được. Vật chất tối này có thể hình thành một loại bẫy hấp dẫn có thể đã bắt đầu thu hút vật chất thông thường ngay lập tức sau khi vũ trụ trở nên trong suốt. Khi vật chất thông thường trở nên ngày càng tập trung hơn, nó có thể đã biến đổi thành các thiên hà nhanh chóng hơn nhờ các bẫy này.

Hãy hình dung một đại lộ với các ngọn đèn giao thông cứ mỗi nửa dặm. Giả sử bạn là thành phần của một đoàn xe được cảnh sát hộ tống, dẫn bạn đi qua từng ngọn đèn, đầu là đèn đỏ. Cũng như thế, khi vũ trụ ban đầu bị mờ đục, bức xạ mang đi vật chất thông thường cùng với nó, quét ngang qua những vùng tập trung của vật chất đen. Bây giờ giả sử cảnh sát rời bỏ đoàn xe, và các ngọn đèn đều chuyển qua màu đỏ cùng một lúc. Các ngọn đèn đỏ có tác dụng như

các bầy giao thông; những chiếc xe hơi đang chạy tới giờ đây phải dừng, và do đó chúng dồn lại. Tương tự, sau khi vũ trụ ban đầu trở nên trong suốt, vật chất thông thường chỉ thỉnh thoảng tương tác với bức xạ và do đó có thể rơi vào các bầy vật chất tối.

Kích thước của các bầy hấp dẫn này tùy thuộc vào bản chất của vật chất tối. Giả sử nó đang di chuyển gần với tốc độ của ánh sáng – các nhà thiên văn học gọi đây là *vật chất tối nóng* (hot dark matter). Nếu các neutrino thực sự cũng có khối lượng, chúng sẽ là một thí dụ về vật chất tối nóng. Trong trường hợp này, các dao động về mật độ vi mô được diễn ra suôn sẻ bởi các hạt tuôn chảy nhanh chóng khi chúng di chuyển từ các vùng mật độ cao tới các vùng mật độ thấp. Trong trường hợp này, cấu trúc vi mô sẽ hình thành đầu tiên. Mặt khác, nếu vật chất tối chuyển động chậm chạp – chúng ta gọi đây là *vật chất tối lạnh* (cold dark matter) – các hạt không có thời gian để di chuyển đủ xa để dàn xếp ổn thỏa các dao động về mật độ vi mô. Trong trường hợp này, các cấu trúc tương đối nhỏ, kích thước của các quần tinh cầu hay các thiên hà riêng lẻ, có nhiều khả năng hình thành trước tiên.

20.6 NGUYÊN LÝ NHÂN HÌNH

Bức tranh mà chúng ta đã phát triển về sự tiến hoá của vũ trụ là một bức tranh đặc biệt. Với các kính viễn vọng mới, chúng ta đã bắt đầu thu thập đủ chứng cứ quan sát để có thể mô tả cách thức vũ trụ tiến triển từ một phần của một giây sau khi sự mở rộng bắt đầu. Mặc dù đây là một thành quả đầy ấn tượng, nhưng có một số đặc điểm của vũ trụ mà

chúng ta không thể giải thích được – và tuy nhiên, nếu các đặc điểm này khác biệt hơn chút nữa, chúng ta sẽ không có mặt ở đây để thắc mắc về chúng. Chúng ta hãy xem xét một số “sự cố may mắn”, bắt đầu với các cuộc quan sát về bức xạ nền của vũ trụ (CBR).

✧ CÁC SỰ CỐ MAY MẮN

Như chúng ta đã mô tả trong chương này, bức xạ nền vũ trụ (CBR) đã được phát xạ khi vũ trụ có tuổi một vài trăm ngàn năm. Các quan sát chứng tỏ rằng nhiệt độ của bức xạ biến đổi từ vùng này sang vùng khác vào khoảng 16 phần triệu của một độ, và các chênh lệch về nhiệt độ báo hiệu các chênh lệch nhỏ về mật độ. Nhưng giả sử các dao động về mật độ nhỏ bé hơn nhiều. Kể đến các tính toán chứng tỏ rằng lực hấp dẫn sẽ nhỏ đến mức không bao giờ có thiên hà nào sẽ hình thành? Điều gì sẽ xảy ra nếu các dao động về mật độ đã cao hơn nhiều? Có thể là các vùng rất đậm đặc sẽ ngưng tụ, và các vùng này sẽ đơn thuần sụp đổ một cách trực tiếp thành các lỗ đen mà không hình thành các thiên hà và các ngôi sao. Dẫu cho các thiên hà đã có thể hình thành, không gian sẽ được lấp đầy với các tia X mạnh và các tia gamma, và điều đó sẽ gây khó khăn cho các dạng sự sống phát triển và sinh tồn. Mật độ sao trong các thiên hà sẽ cao đến độ các tương tác và các vụ va chạm sẽ trở nên thường xuyên. Trong một vũ trụ như thế, các hệ hành tinh có thể không tồn tại đủ lâu để sự sống phát triển.

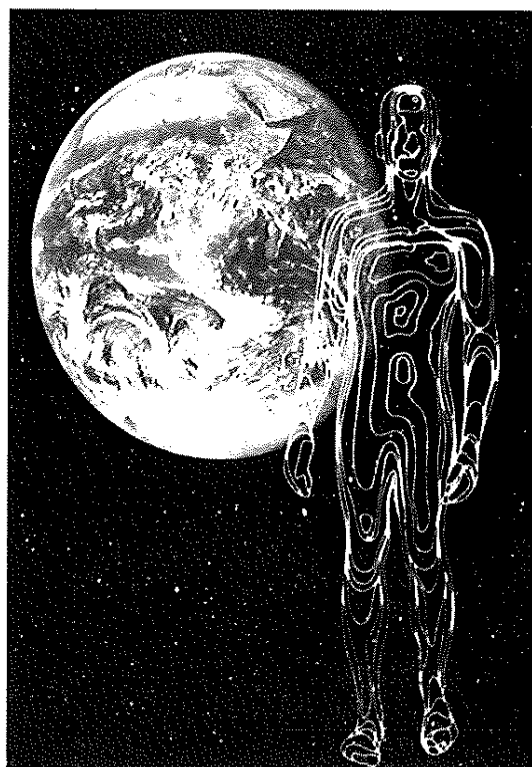
Một sự cố may mắn khác nữa là vũ trụ có sự cân bằng rất tinh vi giữa mở rộng và co rút. Nó đang mở rộng, nhưng rất chậm. Nếu sự mở rộng ở tốc độ cao hơn nhiều, tất cả vật chất sẽ thừa mỏng

ra trước khi các thiên hà có thể hình thành. Nếu nó đã ở một tốc độ chậm hơn nhiều, thì sự mở rộng sẽ đảo ngược và toàn bộ vật chất sẽ sụp đổ, có lẽ vào trong một lỗ đen – một lần nữa, không có ngôi sao, không có hành tinh, không có sự sống.

Sự phát triển về các hình thức của sự sống trên Trái Đất tùy thuộc vào các sự trùng hợp còn may mắn hơn nữa. Nếu vật chất và phản vật chất ban đầu đã có mặt theo các tỉ lệ bằng nhau một cách chính xác, toàn bộ vật chất sẽ bị hủy diệt và biến đổi thành năng lượng thuần túy. Chúng ta sinh tồn là nhờ sự kiện có nhiều vật chất hơn phản vật chất một chút. (Sau khi hầu hết vật chất đã tiếp xúc với một lượng ngang bằng của phản vật chất, biến đổi thành năng lượng, một số lượng nhỏ bé của vật chất bổ sung đã có mặt. Chúng ta đều là hậu duệ của một chút vật chất “không cân bằng” đó).

Nếu các phản ứng hạt nhân đã diễn ra với một tốc độ hơi nhanh hơn một chút so với chúng thực sự xảy ra, thì ngay thời điểm của quả cầu lửa đầu tiên, toàn bộ vật chất sẽ bị biến đổi bởi các phản ứng tổng hợp thành sắt (hạt nhân bền vững nhất). Điều đó sẽ có nghĩa là không có sao nào sẽ hình thành, bởi vì sự hiện hữu của các sao tùy thuộc vào việc có các nguyên tố nhẹ, các nguyên tố này có thể trải qua sự tổng hợp và làm cho các sao cháy sáng. Ngoài ra, cấu trúc của các nhân nguyên tử phải rất hợp lý để tạo thuận lợi cho ba nguyên tử helium kết hợp với nhau một cách dễ dàng để hình thành carbon, là nền tảng của sự sống. Và phải là khá khó khăn để tổng hợp carbon thành oxy đến nỗi một lượng lớn carbon đã tồn tại hàng tỉ năm.

Các neutrino phải tương tác với vật chất với mức độ chính xác và không thường xuyên. Các vụ nổ siêu tân tinh xảy ra khi các neutrino thoát ra khỏi vùng trung tâm của các sao đang sụp đổ, lắng đọng một số năng lượng của chúng trong phần vỏ sao bao chung quanh, và khiến cho nó nổ tung ra và đi vào không gian. Các nguyên tố nặng bị phún xuất trong các vụ nổ như thế là các thành phần chủ yếu của sự sống trên Trái Đất. Nếu các hạt neutrino đã không tương tác với vật chất một chút nào, chúng sẽ thoát ra khỏi vùng trung tâm của các sao đang sụp đổ mà không hề gây ra sự bùng nổ. Nếu các neutrino đã tương tác mạnh mẽ với vật chất, chúng sẽ vẫn bị vướng lại trong ruột của sao. Trong cả hai trường hợp, các nguyên tố nặng vẫn còn bị chặn lại bên trong ngôi sao đang sụp đổ.



Vũ trụ nhân hình: Theo nguyên lý nhân hình, bất cứ vũ trụ nào trong đó các sinh vật giống như chúng ta tồn tại phải có những quy luật cung cấp đủ thời gian, và các điều kiện thích hợp, để tiến hoá.

Nếu lực hấp dẫn là một lực mạnh hơn nhiều so với chính nó, các sao có thể hình thành để chứa các khối lượng nhỏ hơn nhiều, và tuổi thọ (thời gian sống) của chúng sẽ được đo theo hàng năm chứ không phải là hàng tỉ năm. Các quá trình hóa học, mặt khác, sẽ không bị tăng nhanh lên nếu lực hấp dẫn là một lực mạnh hơn, và do vậy sẽ không có thời gian để cho sự sống phát triển trong khi các sao có đời sống ngắn ngủi như thế. Thậm chí nếu sự sống đã phát triển trong một vũ trụ có lực hấp dẫn mạnh hơn, các dạng sự sống sẽ phải là bé nhỏ hoặc không thể đứng dậy hay di chuyển khắp nơi.

♦ NHỮNG GÌ PHẢI LÀ, PHẢI LÀ...

Nói tóm lại, chỉ có một tập hợp của các điều kiện đặc biệt đã cho phép sự phức tạp và sự sống trên Trái Đất phát triển. Cho đến bây giờ chúng ta chưa có lý thuyết nào giải thích được lý do tại sao tập hợp các điều kiện “hợp lý” này xảy ra. Vì lý do này, nhiều nhà khoa học đang bắt đầu chấp nhận một ý tưởng mà chúng ta gọi là nguyên lý nhân hình (anthropic principle) – cụ thể là các định luật vật lý phải là những gì chúng là một cách chính xác bởi vì đây là những quy luật duy nhất cho phép sự sinh tồn của nhân loại.

Chúng ta biết rằng nếu chúng ta sống trong một vũ trụ căng phồng, thế rồi vũ trụ của chúng ta vươn rộng ra xa ngoài các ranh giới của những gì chúng ta có thể quan sát bất cứ lúc nào. Đơn giản là cần phải mất lâu hơn tuổi của vũ trụ để cho ánh sáng di chuyển ngang qua nó, và vì thế chúng ta có thể không bao giờ thấy những gì nằm xa hơn. Một số nhà khoa học biện luận rằng vũ trụ của chúng

ta chỉ là một trong vô số vũ trụ, mỗi vũ trụ với một tập hợp các quy luật vật lý khác nhau. Một số trong các vũ trụ này có thể bị chết non, đang sụp đổ trước khi bất kỳ cấu trúc nào hình thành. Một số khác có thể mở rộng nhanh đến mức về mặt bản chất chúng vẫn giữ nguyên tình trạng không có đặc điểm gì cùng với việc không hề có các sao và các thiên hà. Nói khác đi, có thể có một vũ trụ rộng lớn hơn nhiều chứa đựng vũ trụ của chúng ta. Vũ trụ lớn hơn này là vô tận và bất diệt; nó sinh ra thật nhiều các vùng căng phồng, mỗi một vùng này tiến triển thành một vũ trụ riêng biệt, có lẽ hoàn toàn không giống như bất cứ cái nào trong số các vũ trụ tách biệt khác. Vũ trụ của chúng ta như vậy, tồn tại theo cách thức nó đang tồn tại, bởi vì đó là cách thức duy nhất nó có thể tồn tại, và có loài người như chúng ta trong đó để khám phá các đặc tính của nó.

Khó mà biết làm cách nào để kiểm chứng các ý tưởng này bởi vì chúng ta không bao giờ có thể tiếp xúc với bất kỳ vũ trụ nào khác. Đối với một số nhà khoa học, cuộc bàn luận của chúng ta trong mục này gần giống như là vấn đề triết học và siêu hình học. Có lẽ một ngày nào đó kiến thức của chúng ta về vật lý học sẽ phát triển tới mức mà chúng ta có thể biết được lý do tại sao hằng số vũ trụ mạnh mẽ như thế, tại sao vũ trụ đang mở rộng một cách chính xác với tốc độ như vậy, và tại sao tất cả những “sự cố may mắn” khác đã xảy ra – tại sao chúng là điều không thể tránh khỏi và không thể là cách nào khác. Rồi thì ý tưởng này sẽ không còn cần thiết nữa. Tuy nhiên, không ai biết được liệu chúng ta sẽ bao giờ có một sự giải thích về lý do tại sao vũ trụ này vận hành như cách nó đang vận hành.

Chúng ta đã đi một chặng đường dài trong cuộc du hành của chúng ta qua vũ trụ. Chúng ta đã am hiểu một số lượng đáng kể về việc *bằng cách nào và khi nào* vũ trụ đã xuất hiện, nhưng câu hỏi về lý do *tại sao* vũ trụ lại tồn tại như cái cách nó đang tồn tại vẫn mãi mãi khó có câu trả lời dứt khoát.

TÓM LƯỢC

20.1 Vũ trụ học (cosmology) là môn nghiên cứu về sự tổ chức và tiến hoá của vũ trụ. Vũ trụ đang mở rộng, và đây là một trong những khởi điểm quan sát then chốt đối với các lý thuyết vũ trụ học hiện đại. Trước khi Hubble chứng minh rằng vũ trụ đang mở rộng, Einstein đã giới thiệu một *hằng số vũ trụ* (cosmological constant) trong các phương trình của mình để tạo ra một áp suất ra phía ngoài để làm đối trọng với lực hấp dẫn. Trong vũ trụ mở rộng, hằng số này đại diện cho một loại năng lượng làm gia tăng sự mở rộng. Từ tốc độ mở rộng của vũ trụ chúng ta có thể ước tính rằng toàn bộ vật chất bên trong nó được tập trung vào một thể tích cực kỳ nhỏ bé cách đây chừng 10 tới 15 tỉ năm, một thời điểm mà chúng ta gọi là *Vụ Nổ Lớn (Big Bang)*. Tuổi của vũ trụ là không chắc chắn bởi vì chúng ta không biết lực hấp dẫn *làm giảm tốc* vũ trụ tới mức nào và hằng số vũ trụ *làm tăng tốc* nó tới mức nào.

20.2 Khối lượng trong vũ trụ bẻ cong cấu trúc không-thời-gian. Một vũ trụ cong không có điểm trung tâm cũng không có rìa mép. Trong một *vũ trụ khép kín* (closed universe),

là hữu hạn, nếu bạn cứ đi thẳng tới phía trước, cuối cùng bạn quay trở lại nơi bạn đã bắt đầu. Trong *vũ trụ mở rộng* (open universe), là vô tận, không những bạn không quay trở lại điểm khởi đầu của mình, mà bạn còn hy vọng mở ra nhiều không gian hơn nữa. Vụ Nổ Lớn – Big Bang – đã xảy ra một lượt khắp mọi nơi trong không gian. Các sự dịch chuyển đỏ của thiên hà là kết quả của sự kéo giãn của không gian.

20.3 Yếu tố kiểm soát số phận tối hậu của vũ trụ là mật độ vật chất (và năng lượng), nó có liên quan tới độ cong. *Mật độ tới hạn* (critical density) của vật chất là mật độ cần thiết để làm ngưng lại sự mở rộng tại một thời điểm vô cùng xa xôi trong tương lai. Một vũ trụ với mật độ tới hạn sẽ có độ cong là zero (hay bằng không); chúng ta gọi mô hình này là *vũ trụ phẳng* (flat universe). Nếu mật độ vật chất cao hơn mật độ tới hạn, thì tốc độ mở rộng sẽ chậm lại và đảo ngược chiều hướng để cho các thiên hà tụ hợp trở lại (một vũ trụ khép kín). Tuy nhiên, các cuộc quan sát chứng tỏ rằng mật độ vật chất thực tế thấp đến độ sự mở rộng sẽ tiếp tục mãi mãi (một vũ trụ mở rộng). Các cuộc nghiên cứu gần đây về các siêu tân tinh gợi ý rằng tốc độ mở rộng thực ra đang tăng nhanh và rằng các thiên hà sẽ tiếp tục di chuyển xa ra với một tốc độ tăng lên mãi.

20.4 Vũ trụ nguội đi khi nó mở rộng. Năng lượng của các photon được xác định bởi nhiệt độ của chúng, và các tính toán chứng tỏ rằng trong một vũ trụ ban đầu, nóng, các photon có nhiều năng lượng đến mức khi chúng

va chạm với nhau chúng có thể tạo ra các hạt vật chất. Khi vũ trụ đã mở rộng và nguội đi, các proton và neutron hình thành trước tiên; kế đến là các electron và positron. Sau đó, các phản ứng tổng hợp tạo ra các hạt nhân deuterium, helium, và lithium. Cuối cùng, vũ trụ trở thành nguội đủ để hình thành các nguyên tử hydro trung hòa. Tại thời điểm *đứt liên kết* hay *tách rời* (decoupling) này vũ trụ trở thành trong suốt đối với bức xạ. Các nhà khoa học đã tìm thấy *bức xạ nền vũ trụ* (CBR: cosmic background radiation) từ vũ trụ khởi thủy. Các phép đo với vệ tinh COBE chứng tỏ rằng CBR có nhiệt độ 2,73K. Các dao động nhỏ xíu trong CBR có thể đang trình bày cho chúng ta thấy nguồn gốc của cấu trúc vĩ mô trong vũ trụ.

20.5 Mô hình “Big Bang” không giải thích được nguyên do tại sao CBR có cùng một nhiệt độ ở tất cả mọi hướng. Nó cũng không giải thích được tại sao lúc

ban đầu có vật chất nhiều hơn phản vật chất, tại sao mật độ của vũ trụ quá gần mật độ tới hạn. Các *lý thuyết hợp nhất tổng quát* (GUTs: grand unified theories), dự đoán về một giai đoạn của sự mở rộng rất nhanh, hay sự căng phồng (inflation), khi vũ trụ có tuổi là 10^{-35} s, đang được triển khai để cố gắng giải thích các quan sát này. Sự xác định về số lượng và thành phần của vật chất tối là chủ yếu trong việc thấu hiểu lịch sử ban sơ của vũ trụ.

20.6 Mới đây, nhiều nhà vũ trụ học đã nhận thấy rằng sự có mặt của nhân loại tùy thuộc vào sự kiện rằng nhiều đặc điểm của vũ trụ – tầm cỡ của các dao động về mật độ trong vũ trụ ban đầu, cường độ của lực hấp dẫn, cấu trúc của các nguyên tử – là rất hợp lý. Ý tưởng cho rằng các định luật vật lý phải như chúng là, bởi vì nếu không thì chúng ta không thể có mặt ở đây để đo đạc chúng, được gọi là nguyên lý nhân hình (Anthropic principle).





Con đường đi tới sự sống trong vũ trụ. Trong bức ảnh lắp ghép tưởng tượng này, chúng ta thấy một bản đồ dẫn đường để khám phá sự sống trong vũ trụ. Hiểu biết hơn nữa về các nguồn gốc và lãnh vực của sự sống trên Trái Đất, chúng ta có thể thám hiểm Sao Hỏa, nó có thể đã có sự sống cách đây hàng tỉ năm khi các điều kiện còn ấm áp hơn. Kế tiếp là vệ tinh Europa của Sao Mộc, mà bên dưới bề mặt băng giá của nó một đại dương chất lỏng có thể chứa đựng một loại sự sống. Con đường uốn lượn lên trên tới các vì sao khác, chúng cũng có thể có các hành tinh chung quanh chúng "hiếu khách" đối với một loại sinh vật nào đó.

PHẦN KẾT

SỰ TIẾN HÓA CỦA VŨ TRỤ VÀ CUỘC TÌM KIẾM SỰ SỐNG Ở NƠI KHÁC

“Chúng ta sẽ không ngừng cuộc thám hiểm và sự kết thúc toàn bộ cuộc thám hiểm của chúng ta, sẽ là đi tới nơi chúng ta đã bắt đầu và biết được vị trí ở thời điểm đầu tiên”.

T.S. Eliot, Little Gidding (from The Four Quartets
in The Collected Poems of T.S. Eliot, 1934, 1936, Harcourt Brace & World)

Giả sử rằng một ngày nào đó chúng ta tiếp nhận được thông điệp từ một nền văn minh ở một vì sao khác. Trong một loạt các hình ảnh được truyền qua không gian, họ cho chúng ta biết một chút về thế giới của họ và chính bản thân họ. Chúng ta có hồi đáp không? Và nếu chúng ta trả lời, thì phải chăng toàn thể nhân loại nói bằng một giọng nói duy nhất, hay chúng ta sẽ gửi đi đủ loại câu trả lời gây hoang mang bối rối?

Các cuộc du hành của chúng ta đã mang chúng ta qua hàng tỉ năm ánh sáng của không gian và hàng tỉ năm của thời gian. Khi chúng ta đã am hiểu nhiều hơn về vũ trụ, tất nhiên chúng ta đã tự hỏi rằng liệu có thể có các dạng sự sống khác ngoài không gian xa kia hay không?

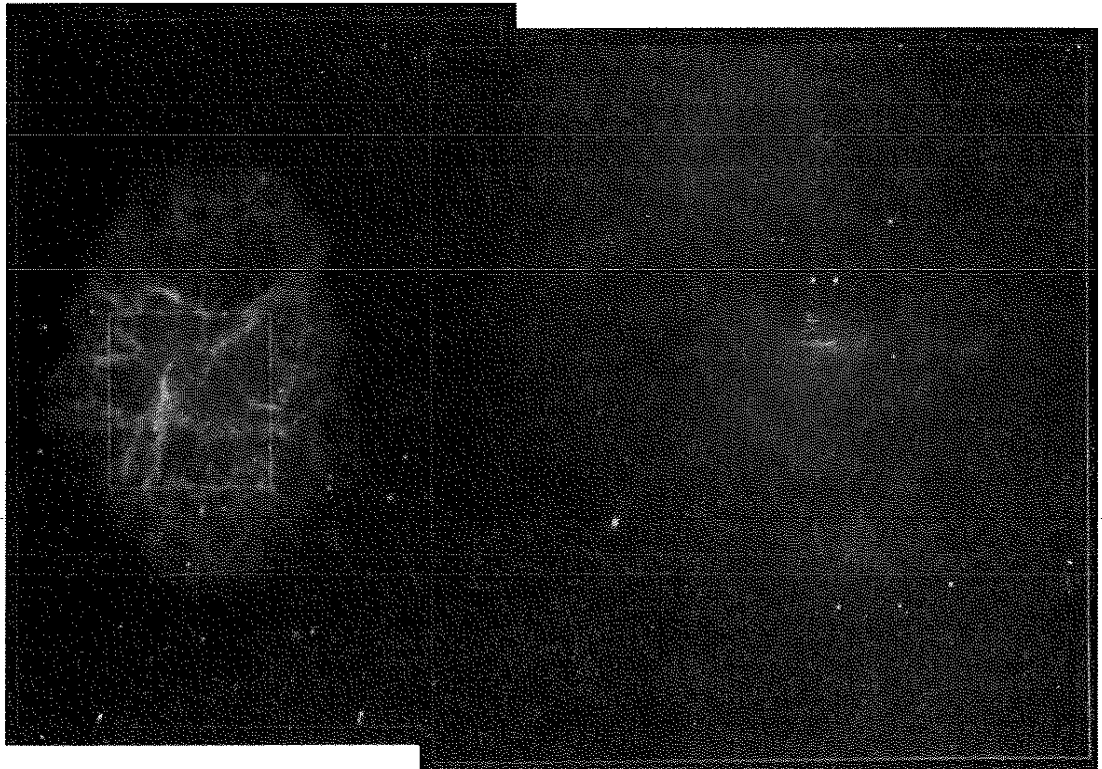
Sự sống trên Trái Đất đã xuất hiện như thế nào (trong bối cảnh vũ trụ), và liệu những quá trình tương tự có thể đã

dẫn tới sự sống trên các thế giới khác hay không?

✧ CÁC NGUYÊN TỬ TRONG CƠ THỂ BẠN ĐÃ Ở ĐÂU CÁCH ĐÂY HÀNG TỈ NĂM?

Giống như tất cả các cuộc du hành lý thú, cuộc du hành này đã nói với bạn về chính bản thân bạn cũng nhiều như về các nơi chốn bạn đã viếng thăm. Chúng ta hãy ôn lại những gì chúng ta đã học về lịch sử của vũ trụ bằng cách xét qua bạn, bắt đầu từ lâu trước khi chúng trở thành một phần của bạn.

Vũ trụ được sinh ra trong vụ “Big Bang” cách đây khoảng 13 tới 15 tỉ năm. Sau khi quả cầu lửa đầu tiên nóng, đậm đặc nguội đi đủ cho các nguyên tử tồn tại, toàn bộ vật chất bao gồm hydro và helium (với một lượng rất nhỏ lithium). Các nguyên tử hydro trong nước (và trong



Một ngôi sao đã bùng nổ: Tinh vân Con Cua (Crab Nebula) là xác của một ngôi sao đang bùng nổ, được nhìn thấy lần đầu tiên vào năm 1054. Hiện nay bề ngang gần 11 LY, vật thể này vẫn còn tỏa sáng với năng lượng khổng lồ trong nhiều dải của quang phổ điện từ. Nó được cung cấp năng lượng ở bên trong do một xác sao đầu tiên đang xoay tròn và bị nén ép, các chùm năng lượng của nó vẫn còn khuấy động và kích thích các nguyên tử bị bắn tung ta bởi vụ bùng nổ. Ảnh bên trái, được chụp bằng một kính viễn vọng đặt trên mặt đất, mô tả đầy đủ tinh vân. Ảnh bên phải, do Kính không gian Hubble chụp, là một cận ảnh của vùng trung tâm của tinh vân Con Cua. Xác sao có thể được nhìn thấy như một thành viên còn sót lại của một cặp sao gần trung tâm của khung hình. Kính Hubble có thể quan sát các dải vật liệu đang tuôn chảy ra khỏi xác sao với tốc độ bằng phân nửa vận tốc ánh sáng! Các ngôi sao đang bùng nổ như thế tái tạo các nguyên tố mới, được hình thành trong đời sống của sao, trở thành nguồn cung cấp vật liệu thô sơ thường xuyên mà từ đó các thế hệ sao và hành tinh mới sau đó hình thành.

các phân tử giàu hydro khác) trong cơ thể bạn đã hình thành tại thời điểm đầu tiên này; chúng là những nguyên tử già nhất, là một phần của bạn. Nhưng để hình thành một sinh vật phức tạp với chỉ ba nguyên tố đầu tiên là điều không thể xảy ra.

Các nguyên tử phức tạp hơn đã được “nấu chín” ở những nơi duy nhất trong vũ trụ đủ nóng để thực hiện công việc này – các vùng trung tâm của các sao. (Chúng ta đã thấy rằng sự hợp nhất lại với nhau các nhân đơn giản hơn để tạo

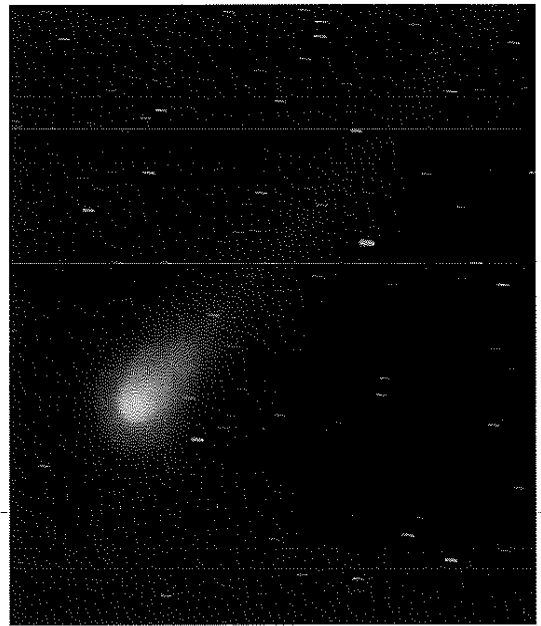
ra các nhân nguyên tử phức tạp hơn là những gì các vì sao “thực hiện vì một cuộc sống” và cũng là cách thức tạo ra năng lượng mà chúng ta thấy xuất phát từ chúng). Do vậy, trước khi một cái gì đó giống như bạn có thể tiến hoá, một số các thế hệ sao đã trải qua các chu kỳ của chúng về sự ra đời, sự sống, và cái chết. Các sao to lớn nhất không chỉ đã tạo ra sự đa dạng phong phú nhất về các nhân nguyên tử mới, mà còn có xu hướng bùng nổ, tung rải các nguyên tử mới được tạo ra vào trong không gian.

Các nhà thiên văn học biết được từ các cuộc quan sát về các khu vực xa xôi của vũ trụ rằng các vì sao đã hình thành, đã sống đời sống của chúng, và đã bùng nổ trong vòng tỉ năm đầu tiên hay như thế, bởi vì các quang phổ của các thiên hà xa xôi (và do đó rất xa xưa) đã chứng tỏ sự hiện diện của một số các nguyên tử nặng hơn. Các thời đại đã trôi qua, các thế hệ sao đã sản sinh ra ngày càng nhiều các nguyên tố nặng hơn.

Trải qua các năm tháng, nhờ vào các vụ nổ siêu tân tinh (và sự mất mát khối lượng trong tất cả các loại sao), chất khí giữa các vì sao trở nên ngày càng phong phú với các nguyên tố nặng hơn.

Trong các lớp bên ngoài nguội hơn của các sao già, các nguyên tử thường xuyên liên kết thành các hạt rắn mà chúng ta gọi là bụi giữa các vì sao. Các thế hệ sao và hành tinh kế tiếp, chứa đựng các nguyên tử carbon, nitro, silicon, sắt, và phần còn lại của các nguyên tố quen thuộc, sau đó hình thành từ các bể chứa dồi dào chất khí và bụi. Một trong những khám phá nổi bật nhất của thiên văn học hiện đại là sự sống trên Trái Đất hầu hết được cấu tạo từ chính các nguyên tố này mà các sao dễ tìm thấy nhất để hình thành.

Cách đây khoảng 5 tỉ năm, một đám mây khí và bụi trong “người láng giềng” vũ trụ này bắt đầu sụp đổ dưới trọng lực của chính nó. Bên ngoài đám mây đã hình thành Mặt Trời và các hành tinh của nó, cùng với tất cả các thiên thể nhỏ hơn, chẳng hạn như các sao chổi, cũng quay quanh Mặt Trời. Hành tinh thứ ba tính từ Mặt Trời, khi đã nguội đi, phát triển một bầu khí quyển dùng để làm dịu bớt nhiệt độ quá cao và cho phép sự hình thành những lượng nước lỏng



Sao chổi Hyakutake bị bắt gặp bởi nhà nhiếp ảnh thiên thể tài tử Robert Provin thuộc Đại học bang California, Northridge, vào năm 1996. Ảnh phơi sáng 12 phút này được chụp vào một đêm trời trong ở sa mạc Mojave bằng một máy ảnh và ống kính tele gắn trên một giá đỡ của kính viễn vọng. Khi sao chổi đang di chuyển được giữ ổn định trong máy ảnh, các sao có vẻ như thành vệt.

to lớn trên bề mặt. Các hoá chất có sẵn trên Trái Đất đang nguội dần có thể đã phong phú thêm bởi sự bổ sung các phân tử phức tạp bị đông lạnh trong các phần nhân của các sao chổi va chạm với hành tinh chúng ta.

Sự dồi dào về hoá chất và các điều kiện ôn hoà trên Trái Đất cuối cùng đã dẫn tới sự hình thành các phân tử tự tái sản sinh và các giai đoạn khởi đầu của sự sống. Qua hàng tỉ năm của lịch sử Trái Đất, sự sống ấy đã tiến hoá một cách chậm chạp và trở thành phức tạp hơn. Quá trình tiến hoá bị ngắt quãng bởi các sự thay đổi không thường xuyên của cả hành tinh, do những sự va chạm với các vật thể nhỏ hơn (hay các mảnh vỡ của nó), đã không được sáp nhập vào Mặt Trời hay một trong số thế giới đồng hành

của nó, gây ra. Các loài động vật có vú có thể sở hữu sự thống trị của chúng trên bề mặt Trái Đất cho tới đúng một sự va chạm như thế cách đây 65 triệu năm.

Trải qua nhiều bước ngoặt, quá trình tiến hoá trên Trái Đất đã tạo ra một sinh vật cùng với sự tự ý thức về bản thân, có thể thắc mắc các vấn đề về nguồn gốc và nơi chốn của chính nó trong vũ trụ. Giống như phần lớn của Trái Đất, sinh vật này được cấu tạo bởi các nguyên tử đã được tôi luyện trong các thế hệ đầu tiên của các sao – trong trường hợp này, đã được lắp ráp một cách thông minh hơn. Chúng ta có thể nói rằng qua các quá trình tư duy của con người, vật chất trong vũ trụ có thể trở nên tự ý thức về bản thân nó.

Các nguyên tử trong cơ thể bạn là vật cho mượn lấy từ thư viện của các nguyên tử đã hình thành một góc vũ trụ cục bộ của chúng ta. Nhiều loại nguyên tử luân chuyển qua cơ thể bạn và sau đó rời khỏi nó cùng với hơi thở mà bạn hít vào và thở ra, và thực phẩm mà bạn ăn vào thải ra. Ngay cả các nguyên tử trú ngụ thường xuyên hơn trong các mô của bạn cũng sẽ không phải là một phần của bạn lâu hơn bao nhiêu so với khi bạn còn sống. Cuối cùng, bạn sẽ trả các nguyên tử của bạn về cho bể chứa bao la của Trái Đất, ở đó chúng sẽ được kết hợp thành các cấu trúc khác và thậm chí các sinh vật khác trong thiên niên kỷ sắp đến.

Bức tranh về sự tiến hoá của vũ trụ này, về nguồn gốc của chúng ta từ các sao, đã có được qua các nỗ lực của các khoa học gia trong nhiều lãnh vực. Một số chi tiết của nó vẫn còn mơ hồ, nhưng chúng ta cảm thấy tin tưởng một cách hợp lý về các đặc điểm chính của nó. Trong lúc chúng ta không đòi hỏi biết được toàn bộ

câu chuyện về việc bằng cách nào vũ trụ và chính bản thân chúng ta đã tiến hoá qua quá trình lịch sử, điều quan trọng là chúng ta đã có khả năng am hiểu nhiều hơn trong một thời gian ngắn với những nghiên cứu về tính chất vật lý của các hành tinh và các vì sao.

✧ NGUYỄN LÝ COPERNICUS

Copernicus và Galileo đã chứng tỏ cho chúng ta thấy rằng Trái Đất không phải là trung tâm của hệ mặt trời, mà chỉ là một trong số các thiên thể quay quanh Mặt Trời. Nghiên cứu của chúng ta về các vì sao đã chứng minh rằng bản thân Mặt Trời là một vì sao khá tầm thường, sống qua giai đoạn dài trong chuỗi sao chính của nó, giống như nhiều tỉ sao khác. Dường như cũng không có gì đặc biệt về vị trí của chúng ta trong Dải Ngân Hà, và không có gì bất ngờ về vị trí của thiên hà chúng ta trong nhóm thiên hà của riêng nó cũng như trong chùm siêu thiên hà của nó.

Khám phá gần đây về các hành tinh chung quanh các vì sao khác xác nhận ý tưởng rằng sự hình thành các hành tinh có lẽ là một hệ quả tất yếu của sự hình thành của nhiều loại sao và có thể xảy ra chung quanh nhiều sao khác. Trong khi các kỹ thuật truy tìm các hành tinh hiện chỉ cho phép chúng ta xác định được các thiên thể có khối lượng cỡ Sao Mộc (Jupiter), không có lý do nào để tin rằng các hệ hành tinh khác không thể chứa các hành tinh giống như Trái Đất.

Các triết gia đôi khi gọi ý tưởng này – rằng không có gì là đặc biệt về vị trí của chúng ta trong vũ trụ – là *nguyên lý Copernicus*. Mặc dù có thể là điều hấp dẫn nếu coi chúng ta là tiêu điểm chính và duy nhất của vũ trụ, không có chứng

cứ nào cho một niềm tin như thế được tìm thấy trong bất kỳ cuộc quan sát nào.

Cho nên hầu hết các khoa học gia sẽ ngạc nhiên nếu như sự sống bị giới hạn trong hành tinh chúng ta và đã không bắt đầu ở một nơi nào khác nữa. Có hàng tỉ sao trong Thiên Hà chúng ta đủ già để cho sự sống đã phát triển trên một hành tinh quay quanh chúng, và cũng có hàng tỉ thiên hà khác. Các nhà thiên văn học và sinh vật học từ lâu đã phỏng đoán rằng một loạt các hiện tượng tương tự với các hiện tượng trên Trái Đất ban sơ có thể dẫn đến các sinh vật đang sống trên các hành tinh chung quanh các sao khác. Và, nơi nào có các điều kiện thích hợp, sự sống như thế có thể cũng đã tiến hoá để trở thành điều mà chúng ta gọi là trí tuệ – nghĩa là, ý thức về lịch sử vũ trụ của chính nó.

Các lập luận như vậy từ nguyên lý Copernicus, tuy chúng có thể được quan tâm đối với các triết gia, nhưng dù sao cũng không đủ đối với các nhà khoa học. Khoa học đòi hỏi các dữ liệu. Chúng ta muốn tìm thấy các chứng cứ thực tế đối với sự hiện hữu về sự sống, và thậm chí về sự sống thông minh, ở nơi khác. Bất kể các tuyên bố gây xúc động mạnh về các vật thể bay không xác định (UFO) trong các phương tiện thông tin đại chúng, những chứng cứ như thế vẫn chưa hề được phát hiện. Nhưng bởi vì nhiều nhà khoa học cảm thấy rằng một khám phá như thế sẽ là giây phút quyết định trong lịch sử nhân loại, một số cuộc tìm kiếm sự sống ngoài Trái Đất đã được thực hiện, và vẫn đang được tiến hành.

✧ SINH HỌC VŨ TRỤ

Trong thập niên sau cùng của thế kỷ XX, nhiều cuộc khám phá trong cả hai

lĩnh vực thiên văn học và sinh vật học đã kích thích sự phát triển một khoa học mới gọi là *sinh học vũ trụ* (astrobiology). Sinh học vũ trụ là môn học nghiên cứu về sự sống trong vũ trụ; nguồn gốc, sự phân bố, và số phận cuối cùng của nó. Nó đưa các nhà thiên văn học, các nhà hoá sinh, các nhà môi trường, và các nhà sinh vật học lại với nhau để nghiên cứu cùng những vấn đề từ các viễn cảnh của riêng họ.

Trong các vấn đề mà họ đang nỗ lực giải đáp có việc xác định các điều kiện để sự sống phát sinh trên Trái Đất và việc tìm hiểu khả năng thích nghi của sự sống trên hành tinh chúng ta. Các nhà sinh học vũ trụ cũng tham gia vào việc lập kế hoạch cho công cuộc tìm kiếm liên tục đối với các chứng cứ về sự sống trên Sao Hỏa (Mars) và vệ tinh Europa của Sao Mộc (Jupiter) và cố gắng tìm hiểu nơi nào các khu vực có thể sống được có thể được phát hiện chung quanh các vì sao khác.

✧ CÁC KHỐI CẤU TRÚC CỦA SỰ SỐNG

Trong khi chưa có chứng cứ rõ ràng nào được phát hiện đối với sự sống ngoài Trái Đất, các khối cấu trúc hoá học của nó đã được tìm thấy trong một phạm vi rộng lớn của các môi trường ngoài trái đất. Thiên thạch, các tảng đá từ không gian rơi xuống Trái Đất, chứa đủ loại acid amino (các khối cấu trúc phân tử của các chất protein) mà các cấu trúc phân tử của chúng thể hiện là có một nguồn gốc ngoài Trái Đất. Khi chúng ta khảo sát khí và bụi chung quanh các sao chổi như sao chổi Halley chẳng hạn, chúng ta cũng tìm thấy một số các *phân tử hữu cơ* (organic molecules) – các phân tử mà trên Trái Đất có liên quan tới sự sống.

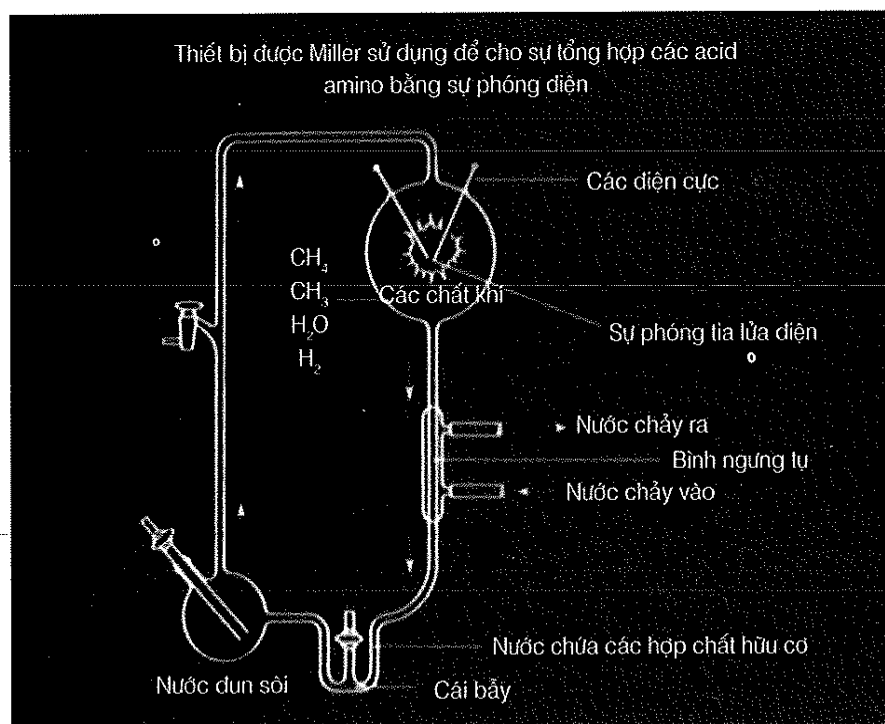


Đám mây khí và bụi trong chòm sao Hổ Cáp hay Thần Nông (Scorpius) là một vùng ở đó các phân tử phức tạp được tìm thấy. Nó cũng là một loại đám mây ở đó các sao mới hình thành từ bề chứa khí và bụi trong đám mây. Bức xạ từ một nhóm sao nóng (ngoài bức hình cho tới đáy bên trái) gọi là Quần Thể OB của Scorpius (Scorpius OB Association) đang "ăn vào" đám mây, quét nó thành một hình dạng thon dài và gây ra một sự tỏa sáng màu đỏ được nhìn thấy ở chóp đầu của nó.

Một trong những kết quả thú vị nhất của thiên văn vô tuyến hiện đại là sự khám phá về các phân tử hữu cơ trong các đám mây khí và bụi khổng lồ giữa các vì sao. Hơn 100 loại phân tử khác nhau đã được xác định trong các bể chứa vật liệu thô sơ của vũ trụ này, kể cả chất formaldehyde ("chất lỏng ướp xác"), rượu ethyl (ethyl alcohol), và các chất khác mà chúng ta biết như là các bàn đạp quan trọng trong sự phát triển của sự sống trên Trái Đất. Sử dụng các kính viễn vọng vô tuyến và phổ kế vô tuyến, các nhà thiên văn học có thể thấy được sự dồi dào của đủ loại hóa chất trong các đám mây này. Chúng ta tìm thấy các phân tử hữu cơ dễ dàng nhất trong các khu vực

ở đó bụi giữa các vì sao là dồi dào nhất, và đây là các vùng mà sự hình thành các ngôi sao (và có lẽ sự hình thành hành tinh) xảy ra dễ dàng nhất.

Khởi sự vào đầu những năm 1950, các nhà khoa học đã cố gắng mô phỏng trong phòng thí nghiệm các lộ trình hoá học dẫn đến sự sống trên hành tinh chúng ta. Trong một loạt thí nghiệm do Stanley Miller và Harold Urey tại Viện đại học Chicago dẫn đầu, các nhà hóa sinh đã mô phỏng các điều kiện trên Trái Đất ban sơ và đã có khả năng tạo ra nhiều khối cấu trúc cơ bản của sự sống, kể cả các khối cấu trúc đi vào việc hình thành các chất protein và acid nucleic. Trong lúc sự thành công của họ còn xa đối với việc



Mô phỏng Trái Đất đầu tiên: Cuộc thí nghiệm của Miller và Urey, được thực hiện vào năm 1953, mô phỏng các điều kiện trên Trái Đất ban đầu. Một "khí quyển" bao gồm khí metan, a-mô-niắc, hơi nước, và hydro đã chịu đựng các tia lửa điện để mô phỏng tia sét. Nước dưới đáy của thiết bị cung cấp một "dại dương" trong đó các vật liệu được tổng hợp trong khí quyển có thể rơi xuống. Khi các hàm lượng của nó được phân tích, "dại dương" được phát hiện có chứa đủ loại acid amino, các khối cấu trúc của các chất protein.

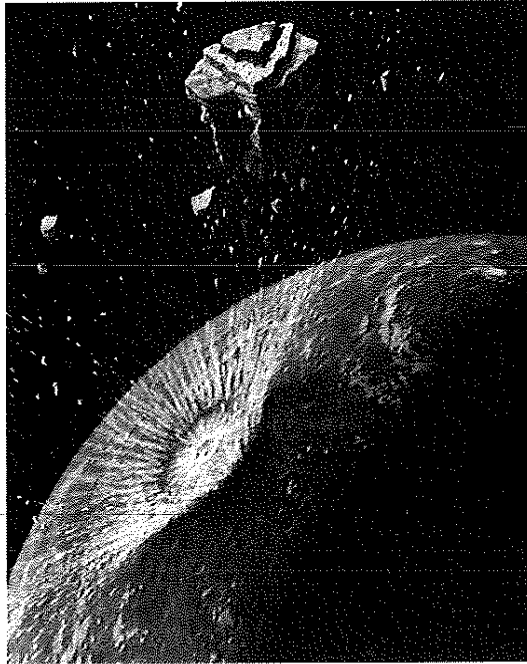
tạo ra sự sống trong phòng thí nghiệm, điều đó chứng tỏ rằng các bước đầu tiên trên con đường dài đi tới sự sống có thể không khó khăn như chúng ta đã nghĩ.

Có thể rồi đây là những tin tốt – rằng các khối cấu trúc dành cho sự sống dường như tương đối dễ dàng tạo ra, kể cả trên Trái Đất và trong không gian. Nhưng đó là một bước đi khổng lồ từ các khối cấu trúc này dẫn tới một tế bào chức năng có thể thu hút năng lượng từ môi trường của nó và tự tái tạo. Ngay cả các phân tử đơn giản nhất của ARN và ADN – vật liệu di truyền chủ yếu cho sự tái tạo và hoạt động hoá học của một tế bào – cũng chứa hàng triệu đơn vị phân tử, mỗi đơn vị phân tử sắp xếp theo một chuỗi chính xác. Sự kiện là, chúng ta không hiểu rõ sự sống

bắt nguồn như thế nào. Chúng ta đưa ra giả thuyết rằng sự sống sẽ nảy sinh bất cứ khi nào các điều kiện trở thành thích hợp. Nhưng giả thuyết này là một hình thức khác của nguyên lý Copernicus – rằng một điều gì đó đã xảy ra trên Trái Đất thì rất có thể đã xảy ra ở nơi khác trong vũ trụ. Cho tới khi nào thực sự tìm ra sự sống ngoài Trái Đất, chúng ta cũng không thể biết được giả thuyết của chúng ta phù hợp với các hoạt động thực tế của thiên nhiên đến mức nào.

♦ SỰ SỐNG TRONG HỆ MẶT TRỜI

Năm 1966, sự chú ý của công chúng và các phương tiện truyền thông được tập trung vào một gợi ý rằng sự sống có thể đã hình thành và phát triển mạnh



Bức tranh này mô tả một tảng đá lớn va chạm với Sao Hỏa có thể đã làm bắn tung ta một số mảnh nhỏ hơn từ hành tinh đỏ như thế nào. Sau hàng triệu năm quay quanh Mặt Trời, một số mảnh giao tiếp với Trái Đất và rơi xuống Nam Cực, ở đó chúng được các nhà khoa học tìm thấy sau này.

mẽ trên hành tinh láng giềng của chúng ta, Sao Hỏa. Đã có các cuộc phân tích tỉ mỉ trong phòng thí nghiệm về một mẫu đá lâu đời của Sao Hỏa được tìm thấy ở Nam Cực (Antarctica), một thiên thạch 4,5 tỉ năm tuổi gọi là ALH 84001. Công trình của họ chứng tỏ rằng miếng chút xíu này của vỏ Sao Hỏa (có lẽ đã bị hất văng vào không gian do một sự va chạm mạnh) đã trải qua các điều kiện ẩm ướt cách đây khoảng 3,5 tỉ năm. Chúng ta biết được vào thời điểm đó, khí quyển của Sao Hỏa khá dày và nước có thể lưu chuyển – để lại các dấu vết của các khoáng chất carbonate và một số hợp chất hữu cơ, được bao bọc trong một hòn đá cỡ củ khoai tây, rơi xuống Trái Đất. Một số nhà khoa học còn cho rằng các cấu trúc bé nhỏ được tìm thấy trong hòn đá với độ phóng đại cực kỳ cao có thể

là những tàn tích hoá thạch của sự sống của vi khuẩn xa xưa.

Nếu quả thực có các hoá thạch trong các tảng đá xa xưa của Sao Hỏa, đây sẽ là một trong những khám phá độc đáo nhất trong lịch sử khoa học. Dường như đối với hầu hết các nhà khoa học thì thiên thạch này bị ô nhiễm với các hoá chất của Trái Đất trong thiên niên kỷ nó nằm kẹt trong băng tuyết của Nam Cực và rằng các “hoá thạch” là quá nhỏ không thể đại diện cho bất kỳ sự sống nào trước kia. Nhưng dấu cho các đặc điểm riêng biệt này rốt cuộc là thuộc về nguồn gốc vô cơ, công trình về ALH 84001 đã chứng minh rằng các điều kiện ẩm ướt, rõ ràng giống như Trái Đất trước kia đã tồn tại trên Sao Hỏa (như các quan sát bằng tàu không gian trước đây đã gợi ý).

Thậm chí trước cuộc tranh cãi về ALH 84001, NASA đã lập kế hoạch cho một cuộc tìm kiếm mới về sự sống trên Sao Hỏa. Một loạt các phi thuyền (gọi là chương trình Thăm Dò Sao Hỏa) đáp xuống bề mặt Sao Hỏa, khảo sát các khu vực hình như trước kia đã có nước lỏng, và cuối cùng đưa về các mẫu để phân tích trong các phòng thí nghiệm trên Trái Đất. Đi trực tiếp đến Trái Đất dưới các điều kiện vô trùng được kiểm soát, chúng sẽ không chịu sự lây nhiễm xảy ra đối với các thiên thạch tự nhiên. Trong khi không một ai hy vọng tìm thấy các vi sinh vật sống trong các tảng đá Hỏa Tinh, chúng sẽ được phân tích rất cẩn thận về các dấu hiệu hoá thạch của sự sống của vi khuẩn xa xưa.

Nếu có chứng cứ từ các tảng đá này hay nơi khác rằng Sao Hỏa trước kia đã có sự sống, thì các nhà khoa học sẽ tìm kiếm các dạng sự sống có thể đã phát triển để đối phó với khí hậu rất xấu của

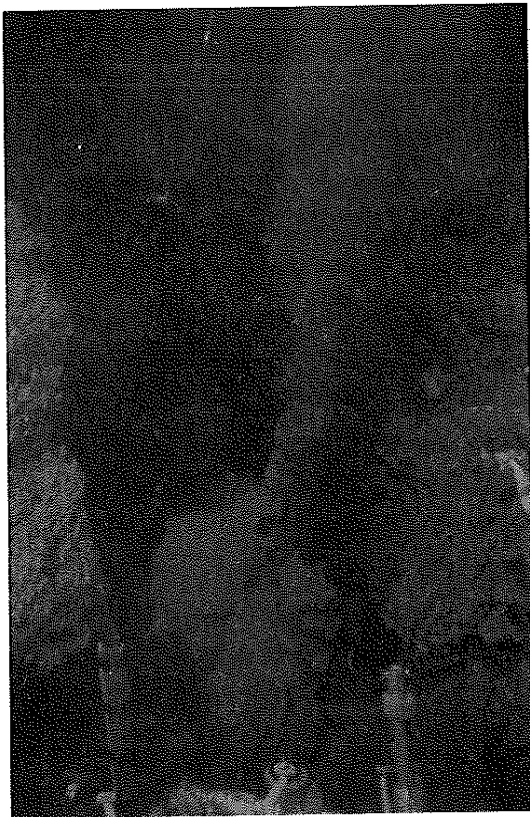
Sao Hỏa, có lẽ bằng cách tìm ra một ốc đảo hay một chỗ trú ẩn nào đó ấm áp hơn và ẩm ướt hơn so với phần lớn bề mặt của Sao Hỏa. Ngày nay nguồn nước lỏng có thể có nhiều nhất trên Sao Hỏa nằm sâu dưới bề mặt, ở đó các *tầng ngầm nước* (aquifer) rộng lớn (các tầng lớp với nước ngầm trong chúng) có thể tồn tại.

Một địa điểm khác rất được các nhà sinh học vũ trụ quan tâm là vệ tinh

Europa của Sao Mộc. Các hình ảnh của phi thuyền Galileo về vệ tinh có kích cỡ Mặt Trăng này chứng tỏ sự hiện diện của một đại dương nước lỏng bao la bên dưới một lớp vỏ băng dày. Với tư cách là một địa điểm duy nhất trong hệ mặt trời ngoài Trái Đất, ở đó có thể có nhiều nước lỏng, Europa vẫy gọi chúng ta khảo sát thêm nữa. Có khả năng tàu không gian tương lai sẽ phát hiện các vi sinh vật trong các vùng biển của Europa, tương tự (về chức năng nếu không phải về cấu trúc phân tử li ti) sự sống phát triển mạnh mẽ gần các suối nước nóng, vọt lên từ các miệng phun trong các đại dương sâu thẳm của Trái Đất.

Bạn có thể thử hỏi tại sao chúng ta tập trung vào sự sống của vi khuẩn và không tập trung vào việc tìm kiếm các loại thực vật và động vật tiến triển hơn. Một nguyên nhân là ngay cả trên Trái Đất, sự sống của vi khuẩn chiếm ưu thế. Hầu hết các chủng loài trên hành tinh chúng ta là vi khuẩn (hay vi sinh vật), và phần lớn lượng vi sinh vật bao gồm các dạng sự sống quá nhỏ mà mắt thường của con người không thể nhìn thấy. Hơn nữa, chính các loài vi khuẩn trên Trái Đất đã thích ứng với các môi trường cực kỳ nhất của hành tinh chúng ta, chẳng hạn như bên trong các tảng đá hay các rìa mép của các suối nước nóng đang sôi và có tính acid. Ngoài ra, các sinh vật đa bào là những loài tương đối mới gia nhập vào bảng phân công về sự sống trên Trái Đất. Trong 3 tỉ năm tồn tại đầu tiên, toàn bộ sự sống trên Trái Đất là vi khuẩn.

Trong khi các cuộc thăm dò của chúng ta vẫn còn bị hạn chế trong các thế giới của hệ mặt trời, điều chắc chắn là chúng ta không muốn giới hạn công cuộc tìm



“Ống khói đen” trên đáy đại dương: Bắt đầu vào năm 1977, các nhà địa chất học và sinh vật học đại dương đã khám phá ra vùng nước cực nóng và giàu khoáng chất từ bên trong Trái Đất có thể phun vọt ra khỏi các miệng phun trên đáy biển. Như bạn có thể nhìn thấy ở đây, khi nước nóng của miệng phun hoà trộn với vùng nước biển lạnh hơn nhiều, các khoáng chất hoà tan có thể rơi ra ngoài dung dịch và hình thành một loại “khói đen”. Các nhà khoa học cảm thấy ngạc nhiên rằng, các vùng chung quanh các ống khói đen này đầy ắp sự sống; hơn 350 chủng loài mới đã được khám phá gần sát bên chúng. Trong tình trạng tối đen như mực của đáy biển, các dạng sự sống này thu hút năng lượng không phải từ tia sáng mặt trời, mà từ sức nóng và các đặc tính hoá học của các miệng phun.

kiếm về sự sống trong các hành tinh láng giềng. Phải chăng chúng ta có thể thu thập các chứng cứ về khả năng của sự sống trong các ngôi sao?

Lần đầu tiên trong lịch sử loài người, chúng ta biết rằng hệ hành tinh của chúng ta không phải là hệ hành tinh độc nhất (xem Chương 12). Căn cứ vào toàn bộ các sự phát triển được bàn luận trong mục này, cũng có thể là sự sống đã phát triển trên một số hành tinh quanh các ngôi sao khác. Nếu thế, tất nhiên chúng ta quan tâm tới việc thắc mắc liệu có bất cứ các dạng sự sống nào ngoài Trái Đất có thể đã tiến hoá trở thành “thông minh” (như chúng ta) hay không. Và chúng ta tự hỏi giá như bất kỳ sinh vật nào như thế có thể quan tâm (như chúng ta) tới việc thông tin liên lạc với các dạng sự sống khác, muốn chia sẻ sự tự ý thức và sự tò mò về vũ trụ. Nếu có một chủng loài thông minh như thế ngoài không gian kia, làm thế nào chúng ta có thể tiếp xúc liên lạc với họ?

✧ CUỘC TÌM KIẾM TRÍ THÔNG MINH NGOÀI TRÁI ĐẤT

Vấn đề này tương tự với việc tiếp xúc với những người sống ở các vùng xa xôi hẻo lánh của Trái Đất. Nếu các sinh viên ở Hoa Kỳ muốn nói chuyện với các sinh viên ở Úc, họ có hai cách lựa chọn. Hoặc nhóm này bước lên một chiếc máy bay và tới gặp gỡ nhóm kia; hoặc họ thông tin liên lạc qua một số phương tiện nào đó (ngày nay, có thể bằng điện thoại, fax, email, hay vô tuyến điện sóng ngắn). Do bởi sự kiện các vé máy bay đắt tiền, hầu hết các sinh viên có lẽ sẽ chọn con đường nhắn tin.

Cùng một cách như vậy, nếu chúng ta muốn tiếp xúc với sự sống thông minh

chung quanh các ngôi sao khác, chúng ta có thể du hành, hay có thể cố gắng trao đổi các thông điệp. Bởi vì các khoảng cách vĩ đại được tính đến, cuộc du hành trong không gian giữa các vì sao hoặc rất chậm hoặc rất đắt. Tàu không gian nhanh nhất mà con người đã chế tạo cho tới nay sẽ mất gần như 80.000 năm mới tới được ngôi sao gần nhất. Để tới được các ngôi sao láng giềng trong chưa đầy quãng thời gian của đời người, chúng ta sẽ phải di chuyển gần với tốc độ của ánh sáng.

✧ CUỘC DU HÀNH GIỮA CÁC VÌ SAO

Bernard Oliver là một kỹ sư với sự quan tâm mạnh mẽ về sự sống ở nơi khác, đã tính toán về các phí tổn của cuộc du hành nhanh chóng qua không gian. Bởi vì chúng ta không biết được loại kỹ thuật nào mà chúng ta (hay nền văn minh khác) có thể phát triển một ngày nào đó, Oliver xét một chuyến đi tới vì sao gần nhất trong một tàu không gian với một “bộ máy hoàn hảo” – một bộ máy sẽ biến đổi nhiên liệu của nó thành năng lượng với hiệu suất 100%. (Không có kỹ thuật tương lai nào có thể thực hiện tốt hơn điều này. Trên thực tế, thiên nhiên không có khả năng tạo ra hiệu suất thậm chí gần với trị số hoàn hảo). Ngay cả với một bộ máy hoàn hảo, chi phí năng lượng của một chuyến đi khứ hồi duy nhất với 70% vận tốc của ánh sáng rồi cuộc là tương đương với cái giá 500.000 năm toàn bộ lượng tiêu thụ điện năng của Hoa Kỳ!

Nếu bạn đang tự hỏi tại sao con số này quá lớn, bạn phải nhớ rằng các nhà du hành không thể phụ thuộc vào việc tìm ra các “trạm xăng” mở cửa tại nơi đến của họ; vì thế họ sẽ phải mang theo

nhiên liệu cho chặng trở về của cuộc hành trình, và việc có được khối lượng nhiên liệu khổng lồ ấy lên tới 70% tốc độ của ánh sáng sẽ rất đắt. Điều quan trọng trong tính toán của Oliver là nó không phụ thuộc vào kỹ thuật hiện nay (bởi vì nó giả định một bộ máy hoàn hảo), mà chỉ phụ thuộc vào các định luật khoa học đã biết. Những gì nó mô tả là bất luận ai thực hiện cuộc du hành, nó đều không thể đi đủ nhanh tới các vì sao trong một đời người.

Đây là một lý do mà các nhà thiên văn học rất hoài nghi về những tuyên bố rằng các vật thể bay không xác định (UFO) là những tàu không gian từ các nền văn minh ngoài Trái Đất. Căn cứ vào khoảng cách và chi phí được tính đến, dường như không thể nói rằng hàng tá các UFO (thậm chí các vụ bắt cóc của UFO) được báo cáo mỗi năm có thể là các khách tham quan từ các vì sao khác bị quyến rũ bởi nền văn minh Trái Đất.

Trong thực tế, một sự đánh giá đúng đắn đối với các báo cáo về UFO thường biến chúng thành IFO (các vật thể bay xác định), hoặc NFO (các vật thể không bay chút nào cả). Trong khi một số là các trò đùa, số khác là các hiện tượng thiên nhiên, chẳng hạn như sét hòn, quả cầu lửa, các hành tinh sáng chói hay thậm chí các đàn chim với những cái bụng phản chiếu ánh sáng. Còn một số khác là máy bay của con người, với một số đèn bị thiếu, hay các phi cơ quân sự được coi là mật. Điều thú vị là chưa hề có một UFO nào để lại bất kỳ chứng cứ cụ thể nào có thể được kiểm chứng trong phòng thí nghiệm chứng tỏ là có nguồn gốc ngoài Trái Đất.

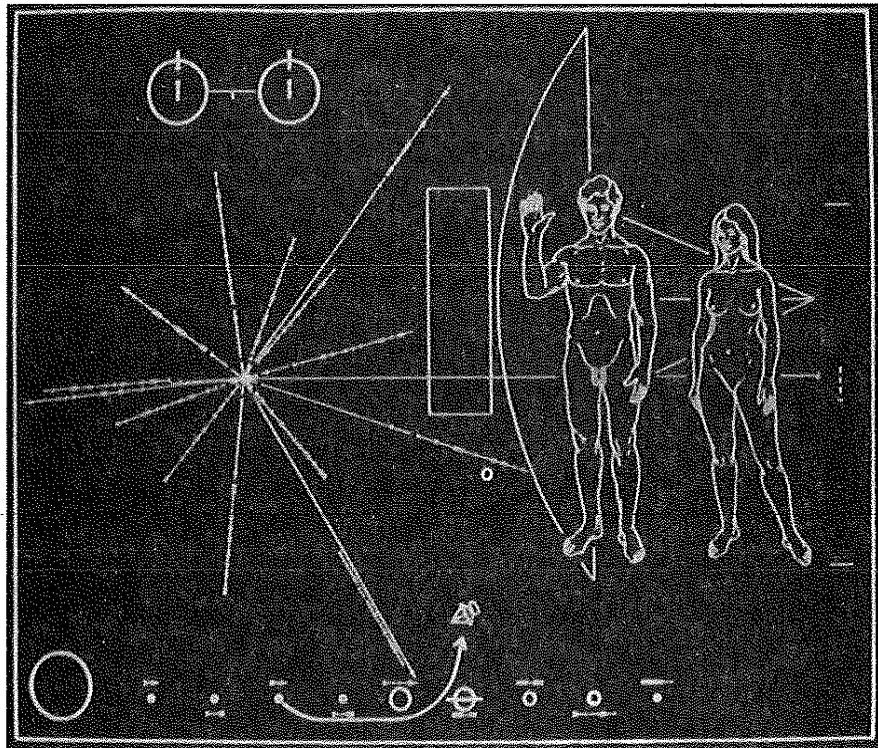
Một số người nhìn xa trông rộng đã gợi ý rằng một ngày nào đó chúng ta có

thể vượt qua đòi hỏi về thời gian dài/năng lượng lớn của cuộc du hành giữa các vì sao bằng cách đào sâu vào các tiểu hành tinh và gửi chúng tới các ngôi sao khác với những đám người trên đó (được trang bị với các lương thực dự trữ cần thiết cho một chuyến đi dài thực sự). Trong khi những người đi định cư đầu tiên sẽ không bao giờ nhìn thấy các vì sao, các thế hệ con cháu tương lai xa xôi có thể tới và bắt đầu định cư trên một hành tinh giống như Trái Đất ở một nơi nào đó. Còn bây giờ, đây chỉ là chất liệu của tiểu thuyết khoa học viễn tưởng.

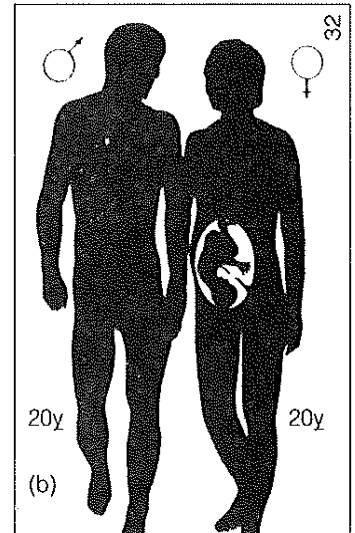
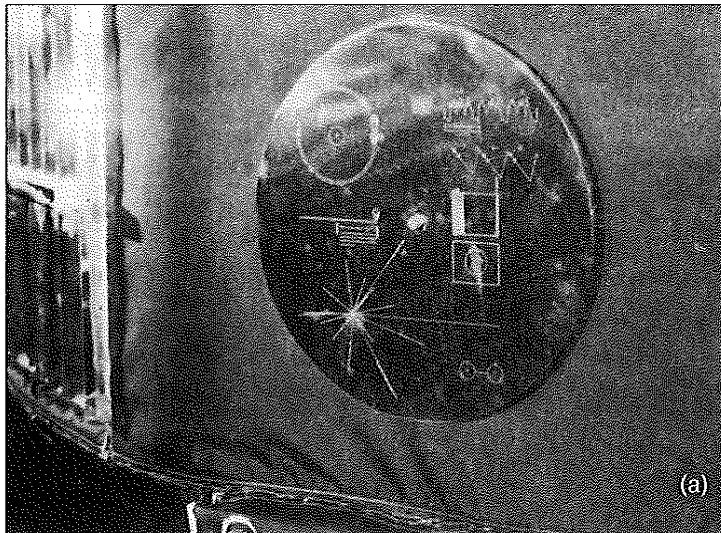
✧ CÁC THÔNG điệp TRÊN TÀU KHÔNG GIAN

Trong thế giới thực, chúng ta có những con tàu không gian thám hiểm hành tinh, đã rời khỏi hệ mặt trời. Chúng sẽ mất hàng trăm ngàn hay hàng triệu năm để tới bất cứ nơi nào gần với một ngôi sao khác. Mặt khác, chúng là những sản phẩm đầu tiên của kỹ thuật của con người để rời khỏi hành tinh quê nhà của chúng ta, và do vậy chúng ta muốn đặt những thông điệp trên tàu để mô tả nơi chúng đã xuất phát.

Mỗi phi thuyền Pioneer mang một tấm kim loại với thông điệp bằng hình ảnh được khắc họa trên một miếng nhôm mạ vàng. Các phi thuyền Voyager, được phóng đi vào năm 1977, có kèm theo các băng ghi hình ảnh và âm thanh, bao gồm hơn 100 hình ảnh và một bộ sưu tập âm nhạc từ khắp nơi trên thế giới. (Được kể đến trong số các trích đoạn từ nhạc của Bach, Beethoven, nhạc đồng quê, các khúc hát bộ lạc,..., là một nhạc phẩm về rock – “Johnny B. Goode” do Chuck Berry sáng tác). Căn cứ vào tầm cỡ của không gian giữa các vì sao trong khu vực Thiên Hà của chúng ta, điều



Thông điệp giữa các vì sao: Đây là ảnh chạm khắc trên các tấm kim loại trên phi thuyền Pioneer 10 và 11. Các hình người được vẽ tương xứng với phi thuyền, được mô tả phía sau họ. Mặt Trời và các hành tinh trong hệ mặt trời có thể được nhìn thấy ở dưới cùng, với hành trình mà phi thuyền đi theo. Các vạch và các dấu hiệu ở phần trung tâm bên trái mô tả các vị trí và các chu kỳ xung động đối với một số pulsar có thể giúp xác định nguồn gốc của phi thuyền.



Đĩa lưu trữ của phi thuyền Voyager: (a) Được mã hóa vào trong một cái đĩa đồng mạ vàng, đĩa lưu trữ của Voyager chứa 118 hình ảnh, 90 phút âm nhạc thuộc khắp nơi trên thế giới, các lời chào mừng bằng 60 ngôn ngữ, và các chất liệu âm thanh khác. Nó là một sự tóm lược về các cảnh tượng và âm thanh của Trái Đất. (b) Một trong những hình ảnh được mã hóa vào đĩa lưu trữ. Ban đầu, nhóm sáng chế ra đĩa ghi muốn gửi một hình ảnh từ một cuốn sách y học về một người đàn ông khỏa thân và một người đàn bà mang thai. Tuy nhiên, cơ quan NASA đã lo ngại về sự xúc phạm một số dân tộc trên Trái Đất, và do đó họa sĩ Jon Lomberg đã vẽ ra một phiên bản bóng mờ, nó cho phép bào thai bên trong người phụ nữ cũng được mô tả.

không thể chắc chắn rằng các thông điệp này sẽ có ngày được bất kỳ ai đó tiếp nhận. Chúng giống như một bức thư ngán trong cái chai do một thủy thủ bị đắm tàu ném xuống biển, mà không có sự mong đợi thực tế nào về việc nó được phát hiện sớm, nhưng với hy vọng mong manh rằng có lẽ một ngày nào đó, bằng cách nào đó, một người nào đó sẽ biết đến số phận của người gửi đi.

✧ THÔNG TIN LIÊN LẠC VỚI CÁC VÌ SAO

Nếu các cuộc viếng thăm trực tiếp tới các vì sao là không thể xảy ra được, thì chúng ta phải chuyển sang phương cách khác để tiến hành sự tiếp xúc – trao đổi các thông điệp. Ở đây, tin tức tốt hơn nhiều. Chúng ta đã biết (và đã học để sử dụng) một sứ giả đưa tin – bức xạ điện từ – di chuyển qua không gian với tốc độ nhanh nhất trong vũ trụ. Di chuyển với tốc độ ánh sáng, bức xạ đi tới vì sao gần nhất chỉ trong 4 năm và thực hiện như thế với một phần nhỏ chi phí để gửi đi các đối tượng cần thiết. Những lợi thế này rõ ràng và cụ thể đến mức chúng ta giả sử rằng chúng sẽ diễn ra với bất cứ loài sinh vật thông minh nào khác đang phát triển về kỹ thuật.

Tuy nhiên, chúng ta đã tiếp cận với một quang phổ rộng của bức xạ điện từ, có phạm vi từ các sóng vô tuyến với bước sóng dài nhất tới các tia gamma với bước sóng ngắn nhất. Cái nào sẽ là tối ưu đối với sự liên lạc thông tin giữa các vì sao? Sẽ không phải là điều thông minh khi chọn một bước sóng dễ dàng bị hấp thụ bởi khí và bụi giữa các vì sao, hay một bước sóng không có khả năng xuyên thủng bầu khí quyển của một hành tinh như hành tinh chúng ta, cũng như chúng ta sẽ không muốn chọn một loại sóng

gây ra cạnh tranh về sự chú ý nơi những người lắng nghe. Thí dụ, sẽ là điều khó khăn khi kết hợp một tín hiệu thuộc nền văn minh của chúng ta vào vùng ánh sáng nhìn thấy được của quang phổ. Làm sao nó có thể cạnh tranh với nguồn ánh sáng cục bộ cực mạnh, Mặt Trời?

Một tiêu chuẩn sau chót làm cho sự lựa chọn trở thành dễ dàng: Chúng ta cần bức xạ không đắt tiền để tạo ra một khối lượng lớn. Khi chúng ta xem xét tất cả các yêu cầu này, các sóng radio thắng thế. Là dải tần số thấp nhất (và năng lượng thấp nhất) của quang phổ, chúng không phải là quá đắt tiền để tạo ra (cho phép chúng ta sử dụng chúng rộng rãi để thông tin liên lạc trên Trái Đất). Chúng không bị bụi và khí giữa các vì sao hấp thụ nhiều. Với một số ngoại lệ, chúng dễ dàng đi xuyên qua bầu khí quyển của Trái Đất, và khí quyển của các hành tinh khác mà chúng ta đã quen thuộc. Và Mặt Trời không sản sinh ra số lượng lớn các sóng radio (vô tuyến), điều đó có nghĩa là một tín hiệu radio có cơ may thực sự để được “nghe” vượt lên trên tiếng ồn cục bộ.

✧ VIỆC “MÒ KIM ĐÁY BIỂN” VŨ TRỤ

Vì những lý do này, nhiều nhà thiên văn học đã quyết định rằng dải sóng vô tuyến có lẽ là vị trí tốt nhất trong quang phổ đối với sự thông tin liên lạc trong số các nền văn minh có trí thông minh. Tuy nhiên, khi đã quyết định như thế, chúng ta vẫn còn có nhiều nghi vấn và một nhiệm vụ gay go phía trước. Phải chăng chúng ta sẽ *gửi đi* một thông điệp, hay cố gắng *tiếp nhận* một thông điệp? Rõ ràng, nếu mỗi nền văn minh quyết định chỉ đơn thuần tiếp nhận, thế rồi sẽ không một thông điệp nào được gửi đi,

và mọi người sẽ bị thất vọng. Mặt khác, có thể là thích hợp với chúng ta để *bắt đầu* bằng cách lắng nghe, bởi vì chúng ta rất có thể thuộc trong số các nền văn minh cổ xưa nhất trong Thiên Hà quan tâm tới việc trao đổi các thông điệp.

Chúng ta không đưa ra lời tuyên bố này để xúc phạm loài người. Trái lại, chúng ta căn cứ trên sự kiện rằng nhân loại đã có khả năng tiếp nhận (hoặc gửi đi) một tín hiệu vô tuyến bằng qua các khoảng cách giữa các vì sao chỉ trong một vài thập niên. So sánh với tuổi của các vì sao và Dải Ngân Hà, điều này chỉ là một khoảnh khắc. Nếu có các nền văn minh ngoài không gian xa kia, họ đã đi trước chúng ta về việc phát triển thậm chí trong một thời gian ngắn (theo ý nghĩa vũ trụ), họ chắc chắn có một sự khởi đầu thuận lợi của nhiều năm. Nếu có các nền văn minh sau chúng ta, có khả năng là họ đủ xa ở phía sau đến nỗi họ vẫn chưa phát triển sự liên lạc thông tin bằng vô tuyến.

Nói khác đi, chúng ta, chỉ mới bắt đầu, có thể thuộc các chủng loài “trẻ nhất” trong Dải Ngân Hà có được khả năng này. Giống như những thành viên trẻ

nhất trong một cộng đồng, thường được bảo ban là phải im lặng và lắng nghe những bậc trưởng lão, trước khi họ nói một điều gì đó, do vậy có thể chúng ta cần bắt đầu sự luyện tập về thông tin liên lạc giữa các vì sao bằng cách lắng nghe.

Tuy nhiên, ngay cả sự hạn chế các hoạt động của chúng ta trong việc lắng nghe, cũng để lại một loạt câu hỏi đầy thách thức. Thí dụ, bạn biết được từ kinh nghiệm riêng bạn đối với sự truyền thông bằng vô tuyến rằng một tín hiệu tiêu biểu chỉ đi tới trên một kênh (điều này có nghĩa là nó được mang đi bởi một dải tần số nhỏ của các sóng vô tuyến). Các chủ nhân của đài phát thanh ưa thích của bạn tin chắc rằng – bởi vì không có nhiều kênh như thế trên mặt số của radio – bạn sẽ tìm ra chúng bất kể điều này (mặc dù một vài kênh thực sự truyền đi trên hai tần số khác nhau, một trên dải tần AM và một trên dải tần FM). Nhiều người trong chúng ta, khi bắt đầu đi vào một thành phố mới, dò tới dò lui dải tần radio cho tới khi tìm ra các đài phát thanh ưa thích, nhưng nếu chúng ta chỉ có một cái radio AM, và các đài phát thanh lại hát loại nhạc ưa chuộng của

THÔNG ĐIỆP CỦA VOYAGER

Một trích đoạn từ đĩa lưu trữ của phi thuyền Voyager:

“Chúng ta gửi thông điệp này vào trong vũ trụ. Nó rất có thể tồn tại một tỉ năm trong tương lai của chúng ta, khi nền văn minh của chúng ta bị thay đổi sâu sắc... Nếu một nền văn minh (khác) bắt gặp phi thuyền Voyager và có thể hiểu được những nội dung được ghi chép này, đây là thông điệp của chúng ta:

Đây là một món quà từ một thế giới nhỏ bé, xa xôi, một bằng chứng về âm thanh, khoa học, hình ảnh, âm nhạc, tư tưởng, và cảm xúc của chúng tôi. Chúng tôi đang cố gắng tồn tại trong thời đại của chúng tôi để may ra có thể sống trong thời đại của các bạn. Một ngày nào đó, chúng tôi hy vọng đã giải quyết được các vấn đề mà chúng tôi đối mặt, để gia nhập vào cộng đồng các nền văn minh của thiên hà. Đĩa lưu trữ này thể hiện niềm hy vọng, sự quyết tâm, và thiện chí của chúng tôi trong một vũ trụ bao la và đáng sợ.

chúng ta đều là FM, có nghĩa là chúng ta thiếu may mắn.

Trong cùng một trường hợp, sẽ là rất đắt tiền (và có lẽ thậm chí quản lý tồi) đối với một nền văn minh ngoài Trái Đất truyền thanh trên thật nhiều kênh. Chắc chắn là họ chọn một hay vài kênh dành cho thông điệp đặc biệt của họ. (Thông tin liên lạc trên một dải kênh hẹp cũng giúp phân biệt được một tín hiệu nhân tạo với sự nhiễu vô tuyến bắt nguồn từ các quá trình tự nhiên của vũ trụ). Nhưng dải vô tuyến của quang phổ điện từ chứa một số lượng lớn kinh khủng các kênh có khả năng. Làm sao chúng ta có thể biết trước kênh nào họ đã chọn, và họ đã mã hoá thông điệp của họ thành các tín hiệu vô tuyến như thế nào?

Có một vấn đề khác có thể gây ra khó khăn cho bạn trong việc tìm ra loại đài phát thanh ưa thích. Nếu radio của bạn có một ăng-ten tồi, nó không thể bắt được tín hiệu từ một đài yếu cách xa một khoảng cách nào đó. Bạn không thể biết được về sự tồn tại của đài đó (và những đài khác giống như nó) cho tới khi bạn mua được thiết bị tốt hơn. Đối với việc

truyền sóng giữa các vì sao cũng thực sự giống như vậy. Nếu tín hiệu của một nền văn minh ngoài Trái Đất là quá yếu đối với các kính viễn vọng vô tuyến hiện nay của chúng ta, chúng có thể đang truyền đi những tâm tư của người xa lạ, nhưng chúng ta sẽ bỏ lỡ nó hoàn toàn.

Bảng dưới tóm lược những điều này và những nhân tố khác mà các nhà khoa học phải nín thở khi cố gắng dò các tín hiệu vô tuyến từ các nền văn minh xa xôi. Bởi vì thành công của họ phụ thuộc vào hoặc dự đoán chính xác về nhiều yếu tố như vậy hoặc tìm kiếm qua tất cả mọi khả năng dành cho mỗi yếu tố, một số nhà khoa học đã so sánh cuộc truy tìm của họ với việc mò kim đáy biển. Do đó, danh sách các yếu tố trong bảng dưới xác định rõ vấn đề “mò kim đáy biển” vũ trụ.

✧ CÁC CUỘC TRUY TÌM SÓNG VÔ TUYẾN

Mặc dù vấn đề “mò kim đáy biển” vũ trụ dường như làm nản chí, nhưng nhiều vấn đề nghiên cứu khác về thiên văn học cũng đòi hỏi sự đầu tư lớn lao về thời gian, thiết bị, và các nỗ lực kiên

Vấn đề “mò kim đáy biển” của vũ trụ: một số câu hỏi sẽ thông điệp ngoài Trái Đất

Thông điệp đang đi tới từ hướng nào (sao nào)?

Tín hiệu (hay thông điệp) đang được truyền đi trên các kênh nào (hay các tần số nào)?

Kênh rộng bao nhiêu về tần số?

Tín hiệu mạnh tới mức nào (các kính viễn vọng vô tuyến của chúng ta có thể dò được nó không)?

Tín hiệu có liên tục không, hay đôi lúc nó lại bị ngắt quãng (thí dụ, như một chùm tia sáng của ngọn hải đăng bị ngắt quãng khi nó quay xa ra chúng ta)?

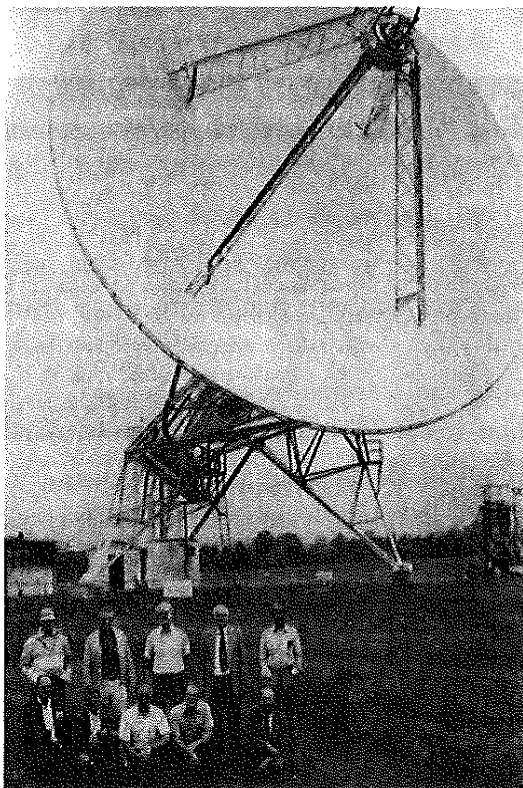
Tín hiệu có thay đổi về tần số hay không do sự chuyển động của nguồn phát và máy thu tương đối thay đổi?

Thông điệp được mã hóa thành tín hiệu như thế nào (chúng ta giải mã nó bằng cách nào)?

Phải chăng chúng ta có thể nhận ra được một thông điệp từ một loài hoàn toàn xa lạ? Phải chăng nó có thể mang một hình dạng mà chúng ta không hề mong đợi?

nhấn. Và, nếu chúng ta không tìm kiếm, chắc chắn chúng ta không tìm thấy bất cứ điều gì. Cho nên, một số nhóm các nhà thiên văn vô tuyến đã tiến hành các cuộc tìm kiếm các thông điệp ngoài Trái Đất trong nhiều thập niên.

Cuộc tìm kiếm đầu tiên về các tín hiệu vô tuyến như thế được nhà thiên văn học Frank Drake thực hiện vào năm 1960, bằng cách sử dụng ăng-ten 85 ft tại Đài thiên văn vô tuyến Quốc gia (National Radio Astronomy Observatory). Gọi là Dự án Ozma, theo tên của hoàng hậu của Vùng Đất Oz kỳ lạ trong các câu chuyện thiếu nhi của L. Frank Baum, cuộc thí nghiệm liên quan tới việc tìm kiếm khoảng 720 kênh và hai vì sao lân



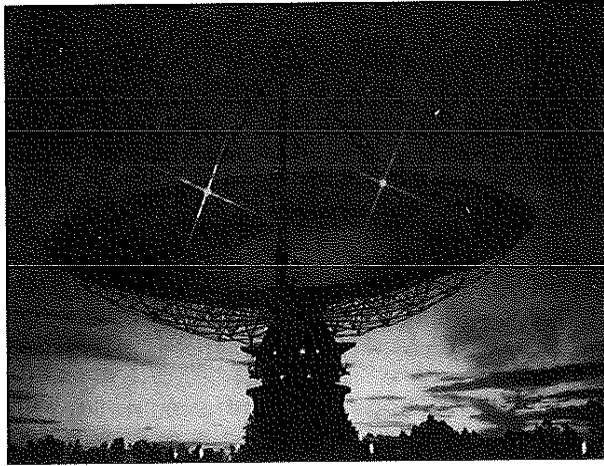
Dự án Ozma: Một bức ảnh chụp ngày kỷ niệm 25 năm của một số thành viên của nhóm thuộc Chương Trình Ozma, đứng trước kính viễn vọng vô tuyến 85 ft, mà cuộc tìm kiếm năm 1960 về các thông điệp ngoài Trái Đất được thực hiện với nó. Frank Drake đứng ở hàng sau, thứ nhì từ bên phải.

cận trải qua một giai đoạn 200 giờ. Mặc dù đã chẳng tìm được gì cả, Drake chứng tỏ sự khả thi của một cuộc tìm kiếm như thế, và chuẩn bị cho nhiều dự án phức tạp hơn tiếp theo sau. (Cần ghi nhận là những gì cần 200 giờ vào năm 1960 có thể được thực hiện với các hệ thống tự động ngày nay trong khoảng một phần ngàn giây).

Kể từ năm 1960, rất nhiều nỗ lực tìm kiếm vô tuyến đã được các nhà khoa học tiến hành trên khắp thế giới, mỗi cuộc tìm kiếm khảo sát một khu vực nhỏ của “đáy biển” vũ trụ. Mặc dù một số tín hiệu thú vị đã được phát hiện, nhưng không một tín hiệu nào thỏa mãn được sự kiểm chứng quyết định về việc được phát hiện nhiều hơn một lần. Các nhà khoa học đang cố gắng cải tiến thiết bị của họ, chống lại những lời dị nghị về sự tìm kiếm cây kim lẩn tránh ấy.

Vào năm 1992, NASA bắt đầu cuộc tìm kiếm toàn diện nhất đối với các tín hiệu vô tuyến. Sử dụng các quỹ quyền góp tư nhân, Tổ chức SETI (Search for Extra-Terrestrial Intelligence) (Cuộc tìm kiếm sự thông minh ngoài Trái Đất) đã tiếp tục cuộc tìm kiếm. Đó là Dự án Phoenix (Project Phoenix), bởi vì chương trình đã tái sinh từ đồng tro tàn của cuộc khủng hoảng tài chính.

Sử dụng các thiết bị điện tử và máy tính hiện đại, hệ thống Phoenix có thể “lắng nghe” mười triệu kênh trong cùng một lúc. Phần mềm của nó truy tìm các tín hiệu đầy triển vọng (chẳng hạn như các sóng hay xung liên tục) và thông báo cho các chuyên gia nếu như một tín hiệu thú vị có dai dẳng trên bất kỳ một kênh nào hay di chuyển giữa các kênh do sự dịch chuyển Doppler. Mục đích của chương trình (được tiếp tục vào năm



Dự án Phoenix: (a) Kính viễn vọng vô tuyến 64 mét ở Parkes, Úc, được sử dụng vào năm 1995 để tìm kiếm các tín hiệu vô tuyến từ các nền văn minh có thể có ngoài Trái Đất quanh 200 vì sao. (b) Các nhà khoa học của Dự án Phoenix, Jill Tarter và Peter Backus, được mô tả tại các thiết bị điều khiển của kính viễn vọng trong hoạt động quan sát của họ.

1995) là tìm kiếm 2 tỉ kênh đối với mỗi sao trong khoảng 1000 sao lân cận. Để đưa nó vào danh sách, một ngôi sao phải đại khái tương tự như Mặt Trời và ít nhất là 3 tỉ năm tuổi. Điều đó có nghĩa là nó có thể có đủ thời gian để cho sự sống thông minh phát triển trên bất cứ hành tinh nào giống như Trái Đất quay quanh nó. Hiện nay, khoảng chừng phân nửa các sao ứng cử viên đã được quan sát. Các chương trình SETI khác chỉ tìm kiếm một dãy các kênh được lựa chọn, nhưng rà soát bầu trời với hy vọng bắt gặp một thông điệp. Cho tới nay, không có tín hiệu nào được phát hiện; cuộc truy tìm sẽ tiếp tục sử dụng các kính viễn vọng vô tuyến lớn khác và các máy thu hoàn thiện hơn.

❖ ĐIỀU GÌ XẢY RA NẾU CHÚNG TA THÀNH CÔNG?

Không một ai có thể dự đoán khi nào hay liệu các cuộc tìm kiếm như thế sẽ thành công hay không. Cũng có thể là về phương diện kỹ thuật, các nền văn minh, đã đi trước nền văn minh của chúng ta

rất xa, sử dụng các hình thức thông tin liên lạc khác mà chúng ta chưa hiểu được. Nói cho cùng, cách đây 150 năm, chúng ta không có một ý niệm mơ hồ nào về các khả năng của sự thông tin liên lạc bằng vô tuyến, trong khi ngày nay rất khó mà hình dung ra nền văn minh của chúng ta nếu không có nó.

Mặt khác, chúng ta không bao giờ cung cấp cho một người mới nhập môn một cuốn sách giống như cuốn sách bạn đang đọc. Các con trẻ của bạn học đọc sẽ được cung cấp những cuốn sách rất đơn giản cho tới khi chúng đã nắm vững các vấn đề căn bản. Chúng ta hy vọng rằng các nền văn minh tiên tiến ghi nhớ tuổi thanh xuân của chính họ và gửi đi các thông điệp mà những người như chúng ta có thể tìm thấy và diễn giải được.

Điều gì sẽ xảy ra nếu chúng ta tìm thấy một tín hiệu vô tuyến mà rõ ràng là sản phẩm của sự thông minh ngoài Trái Đất? Sự tồn tại của tín hiệu tự nó có tầm quan trọng lớn lao, chứng minh rằng chúng ta không cô độc trong vũ trụ. Nhưng trừ phi chúng ta có thể diễn giải

1995 là một năm dành cho Jill Cornell Tarter, một trong các nhà khoa học hàng đầu trong lãnh vực SETI (Truy tìm trí thông minh ngoài trái đất). Tổ chức SETI thông báo rằng bà sẽ là người nhận chức giáo sư đại học đầu tiên được đặt tên để tôn vinh Bernard Oliver. Với tư cách là người phụ nữ duy nhất ở một chức vụ quan trọng như thế trong lãnh vực SETI, bà đã là trung tâm sự chú ý của công chúng. Và với tư cách là một nghiên cứu sinh tại Đại học Cornell, bà chuyên tâm về vật lý công nghệ. Sự đào tạo đó đến đúng lúc trong việc kết hợp các thiết bị phức tạp để rà quét một cách tự động các tín hiệu từ các nền văn minh khác.

Chuyển qua ngành vật lý thiên thể, bà đã viết một luận án tiến sĩ, xem xét sự hình thành các sao yếu dần – những sao mà khối lượng của chúng không đủ cho các phản ứng hạt nhân, cung cấp nguồn lực cho các sao để bắt đầu bên trong chúng. Tarter đặt ra thuật ngữ “brown dwarf” (“sao lùn nâu”) cho các vật thể nhỏ bé, lu mờ này, và nó đã giữ nguyên cái tên mà các nhà thiên văn học sử dụng kể từ ngày đó. Sau này, công trình của bà liên quan tới “vật chất tối”, vật liệu không nhìn thấy được cho tới nay, mà dường như (do lực hấp dẫn của nó) là một thành phần chủ yếu của các thiên hà và các cụm thiên hà. Hiện nay, bà đang làm việc để truy tìm các nền văn minh ngoài Trái Đất, Tarter nói đùa rằng toàn bộ sự nghiệp của bà hình như là dành cho việc tìm kiếm những vật

hay lẫn trốn nhất trong vũ trụ. Stuart Bowyer, một trong các giáo sư Berkeley, đã giao cho bà một cuộc nghiên cứu về các khả năng của SETI (được Bernard Oliver lãnh đạo). Bowyer hỏi bà liệu bà có muốn tham gia vào một cuộc thí nghiệm nhỏ để thu hút một chút bức xạ từ kính viễn vọng vô tuyến, như các nhà thiên văn đã sử dụng nó năm này qua năm khác, và xem liệu có bất kỳ dấu vết gì về một thông điệp vô tuyến được mã hóa một cách thông minh được ẩn giấu trong tiếng ồn của bức xạ hay không. Các kỹ năng lập trình về công nghệ và máy tính của bà trở thành thiết yếu cho dự án, và chẳng bao lâu bà dính chặt vào công cuộc tìm kiếm sự sống ở nơi khác. Những năm sau đó, khi Tarter chỉ đạo Dự Án Phoenix, một ngày nào đó, bà có thể là người đầu tiên trên Trái Đất biết rằng nhân loại không chỉ có một mình trong vũ trụ.



Jill Tarter

được thông điệp, có thể không có nhiều giá trị thực tiễn trong khám phá. Tuy nhiên, cuối cùng nếu chúng ta có thể sáng chế ra một phương pháp liên lạc thông tin hữu hiệu, một vấn đề thú vị sẽ phát sinh: Ai sẽ đại diện phát ngôn cho hành tinh Trái Đất?

Giả sử chúng ta biết rằng xung quanh một ngôi sao cách xa 35 năm ánh sáng có một nền văn minh kỹ thuật, và họ

đã trao cho chúng ta một loại mật mã chúng ta hiểu được. (Một cách thức dễ dàng để bắt đầu tương tác là gửi đi các hình ảnh). Ai quyết định cái gì được gửi đi? Có phải toàn thể hành tinh cố gắng nhất trí về một tập hợp các thông điệp, hoặc có thể bất kỳ cá nhân nào hay nhóm người nào gửi đi thông tin liên lạc riêng rẽ chẳng? Bởi chúng ta hiếm khi nói lên một tiếng nói chung (hay nhất trí

với nhau); nên chẳng chúng ta cố gắng làm như thế trong việc nói chuyện với vũ trụ? Đương đầu với các vấn đề tương tự có lẽ là cuộc thử nghiệm tốt nhất về việc liệu có sự sống thông minh trên Trái Đất hay không.

♦ KẾT LUẬN

Dù cho cuối cùng hóa ra chúng ta là loài thông minh duy nhất trong khu vực thuộc Dải Ngân Hà hay không, cuộc thám hiểm vũ trụ chắc chắn sẽ tiếp tục. Sự đền đáp khiêm tốn về biết bao nhiêu điều chúng ta đã học là một trong những dấu ấn cơ bản của khoa học. Tuy nhiên, điều này sẽ không ngăn cản giác phấn khởi về biết bao nhiêu điều chúng ta đã chuẩn bị để khám phá và tò mò về những điều khác nữa sẽ được phát hiện.

Ai là người, nói cho cùng, có thể dự đoán tất cả những điều gây ngạc nhiên mà các dự án nghiên cứu tương lai sẽ tiết lộ về vũ trụ và sự liên lạc của chúng ta với nó?

TÓM LƯỢC

E.1 Vũ trụ bắt đầu chỉ với các nguyên tố đơn giản nhất. Các nhân nguyên tử phức tạp hơn được tạo ra qua sự tổng hợp hạt nhân tại các vùng trung tâm của các ngôi sao: một số sao bùng nổ ở giai đoạn cuối của đời sống của chúng và do vậy tái sinh những nguyên tố mới được hình thành vào trong không gian. Hệ mặt trời của chúng ta đã hình thành cách đây khoảng 4,5 tỉ năm từ một đám mây khí và bụi được làm phong phú lên bởi một số thế hệ của sự sản sinh nguyên tố nặng hơn trong các vì sao. *Nguyên lý*

Copernicus, đề xuất rằng không có điều gì là đặc biệt về vị trí của chúng ta trong vũ trụ, ngụ ý rằng nếu sự sống có thể phát triển trên Trái Đất, nó cũng sẽ có khả năng phát triển ở những nơi khác nữa.

E.2 Một ngành khoa học mới, gọi là *sinh học vũ trụ* (astrobiology), kết hợp các công cụ của thiên văn học và sinh vật học để tìm hiểu sự sống có thể bắt đầu như thế nào và để phát triển các phương tiện để tìm kiếm nó. Các phân tử hữu cơ, các khối cấu trúc của sự sống, đã được phát hiện trong các thiên thạch, các sao chổi, và những đám mây khí và bụi trong số các sao. Một số các phân tử hữu cơ phức tạp đã được tạo ra trong số các khối cấu trúc hoá học đơn giản hơn trong các cuộc thử nghiệm trong phòng thí nghiệm trên Trái Đất, chứng tỏ rằng các bước đi tới sự sống có thể không khó khăn như chúng ta đã nghĩ trước đây. Vào năm 1996, các nhà khoa học cho rằng họ đã phát hiện các chứng cứ hoá thạch của sự sống trong một tảng đá từ Sao Hỏa rơi xuống Trái Đất. Tuy nhiên, sau khi phân tích kỹ càng hơn, hầu hết các nhà khoa học đều tin rằng các cấu trúc trong thiên thạch không phải là chứng cứ về sự sống. Bởi vì Sao Hỏa trước kia ẩm ướt hơn và ấm hơn, tuy nhiên, chứng cứ như thế có thể chưa trở thành lý lẽ đủ thuyết phục. Europa cũng có thể là một nơi để tìm kiếm sự sống trong hệ mặt trời của chúng ta.

E.3 Bởi vì chúng ở quá xa, việc di chuyển tới các vì sao rất chậm và vô cùng tốn kém (về năng lượng cần thiết). Mặc dù nhiều bản báo cáo về UFO (vật thể bay không xác định) trên phương

tiện thông tin đại chúng, không có chứng cứ nào rằng các báo cáo này có liên hệ tới tàu không gian ngoài Trái Đất. Phi thuyền mà chúng ta đã phóng đi ra ngoài các hành tinh chứa những thông tin về nhân loại, nhưng những vật này không được hy vọng sẽ đi tới bất cứ nơi nào gần một ngôi sao trong hàng triệu năm. Các nhà khoa học đã xác định rằng phương cách tốt nhất để liên lạc với bất kỳ nền văn minh có trí thông minh nào ngoài không gian là bằng các sóng điện từ, và các sóng vô tuyến dường như thích hợp nhất cho

sử mạng. Đã có nhiều chương trình truy tìm các thông điệp vô tuyến từ các nền văn minh chung quanh các sao khác, nhưng chúng ta chỉ mới bắt đầu lòng sự nhiều loại sao có khả năng khác nhau, nhiều tần số, nhiều loại tín hiệu, và các nhân tố khác, chúng hình thành những gì chúng ta gọi là *vấn đề "mò kim đáy bể" vũ trụ* (cosmic haystack problem). Nếu một ngày nào đó chúng ta tìm thấy được một tín hiệu, việc quyết định liệu có nên trả lời hay không và trả lời những gì có thể là hai vấn đề mà nhân loại sẽ phải giải quyết.



PHỤ LỤC 1

TỪ VỰNG ANH NGỮ

Absolute brightness (magnitude) (*độ sáng tuyệt đối [cấp sáng]*): xem độ trung).

Absolute zero (*zero tuyệt đối*): Nhiệt độ ở -273°C (hay 0 K), ở đó, tất cả mọi sự chuyển động phân tử đều ngừng lại.

Absorption spectrum (*quang phổ hấp thụ*): Những vạch tối chồng lên trên một quang phổ liên tục.

Accelerate (*gia tốc*): Thay đổi vận tốc, nhanh lên, chậm lại, hay thay đổi hướng.

Accretion (*sự bồi*): Sự tích lũy dần dần về khối lượng, cũng như vào lúc một hành tinh đang hình thành do sự tích tụ của các hạt đang va chạm trong tinh vân mặt trời hay chất khí rơi vào một lỗ đen.

Accretion disk (*đĩa bồi*): Một đĩa vật chất xoáy tròn về phía một vật thể khổng lồ; dạng hình đĩa là kết quả của sự bảo toàn động lượng góc.

Active galactic nucleus (*nhân thiên hà hoạt động*): Một thiên hà được cho là có một phần nhân hoạt động nếu những biến cố mãnh liệt một cách bất thường đang xảy ra trong trung tâm của nó, phát xạ những lượng lớn bức xạ điện từ. Các thiên hà seyfer và quasar là thí dụ về các thiên hà với các phần nhân hoạt động.

Active region (*vùng hoạt động*): Những khu vực trên Mặt Trời, ở đó các từ trường được tập trung; các vết đen mặt trời, các tai lửa và những tia lóe sáng tất cả đều có khuynh hướng diễn ra trong các vùng hoạt động.

Albedo (*năng suất phản xạ*): Phần nhỏ của ánh sáng mặt trời đi tới mà một hành tinh hay hành tinh nhỏ phản xạ.

Alpha particle (*hạt alpha*): Nhân của nguyên tử helium, bao gồm hai proton và hai neutron.

Amplitude (*biên độ*): Khoảng biến đổi, như trong ánh sáng từ một sao biến quang.

Angular diameter (*đường kính góc*): Góc được tương bởi đường kính của một vật thể.

Angular momentum (*động lượng góc hay momen góc*): Một số đo của động lượng liên quan với sự chuyển động chung quanh một trục hay một điểm cố định.

Antapex (*solar*) (*điểm đối apex [của hệ mặt trời]*): Hướng mà từ đó Mặt Trời đang di chuyển ra xa đối với tiêu chuẩn đứng yên cục bộ.

Antarctic Circle (*Vòng Nam Cực*): Vĩ tuyến $66^{\circ}30'$ Nam tại vĩ độ này độ cao giữa trưa của Mặt Trời là 0° vào ngày hạ chí.

Antimatter (phản vật chất): Chất bao gồm các phản hạt: các phản proton (các proton với điện tích âm thay vì điện tích dương), các positron (các electron mang điện dương), và các phản neutron.

Aperture (khẩu độ): Đường kính của một khe hở, hay của thấu kính sơ cấp hoặc gương của một kính viễn vọng.

Apex (solar) (điểm apoc) (của hệ mặt trời): Hướng mà Mặt Trời đang di chuyển về phía đó đối với tiêu chuẩn đứng yên cục bộ.

Aphelion (viễn nhật điểm): Điểm trong quỹ đạo của nó ở đó một hành tinh (hay thiên thể khác) là xa nhất tính từ Mặt Trời.

Apogee (điểm viễn địa): Điểm trong quỹ đạo của nó ở đó vệ tinh của Trái Đất ở xa nhất từ Trái Đất.

Apparent brightness (độ sáng biểu kiến): Một số đo của ánh sáng quan sát được tiếp nhận từ một vì sao hay vật thể khác tại Trái Đất; tức là một vật thể hiện ra sáng đến mức nào trong bầu trời, coi như trái ngược với độ trung của nó.

Arctic Circle (Vòng Bắc Cực): Vĩ tuyến $66^{\circ}30'$ Bắc; tại vĩ độ này độ cao giữa trưa của Mặt Trời là 0° vào ngày đông chí.

Array (interferometer) (dãy [giao thoa kế]): Một nhóm kính viễn vọng được sử dụng để thực hiện các cuộc quan sát với độ phân giải góc cao độ.

Association (kết tụ sao): Một nhóm sao trẻ rời rạc mà các loại quang phổ, sự chuyển động, hay vị trí của chúng trên bầu trời chứng tỏ chúng có thể có một nguồn gốc chung.

Asterism (chòm sao): Một kiểu sao đặc biệt đáng chú ý trên bầu trời, chẳng hạn như chòm Đại Hùng.

Asteroid (tiểu hành tinh): Một thiên

thể quay quanh Mặt Trời, nhỏ hơn một hành tinh lớn (major planet), nhưng không có chứng cứ về khí quyển hay về các loại hoạt động khác liên quan với sao chổi. Còn gọi là "minor planet".

Asteroid belt (vành đai tiểu hành tinh): Vùng của hệ mặt trời nằm giữa các quỹ đạo của Sao Hỏa và Sao Mộc trong đó hầu hết các tiểu hành tinh được phân bố. Vành đai chính, ở đó các quỹ đạo thông thường ổn định nhất, vươn ra xa từ 2,2 tới 3,3 năm ánh sáng tính từ Mặt Trời.

Astrology (khoa chiêm tinh): Khoa học giả tạo bàn về những ảnh hưởng giả tưởng đối với số phận con người của các hình thể và vị trí trên bầu trời của Mặt Trời, Mặt Trăng và các hành tinh, một hệ thống tín ngưỡng sơ khai có nguồn gốc từ xa xưa.

Astronomical unit (AU) (đơn vị thiên văn) (AU): Ban đầu có nghĩa là nửa trục chính của quỹ đạo Trái Đất; ngày nay được định nghĩa như nửa trục chính của quỹ đạo của một thiên thể giả định với khối lượng và chu kỳ mà Gauss giả sử là Trái Đất. Nửa trục chính của quỹ đạo Trái Đất là 1,000000230 AU.

Atom (nguyên tử): Phần tử nhỏ nhất của một nguyên tố còn giữ nguyên các đặc tính làm nổi bật các đặc điểm của nguyên tố ấy.

Atomic mass unit (đơn vị nguyên tử khối): Hóa học: một phần mười sáu khối lượng trung bình của một nguyên tử oxy. Vật lý: một phần mười hai khối lượng của một nguyên tử của chất đồng vị carbon phổ biến nhất.

Atomic number (số nguyên tử): Số lượng proton trong mỗi nguyên tử của một nguyên tố riêng biệt.

Atomic weight (nguyên tử lượng): Khối lượng trung bình của một nguyên tử của

một nguyên tố riêng biệt theo các đơn vị nguyên tử khối.

Aurora (cực quang): Ánh sáng được bức xạ bởi các nguyên tử và các ion trong tầng điện ly, phần lớn ở các vùng cực từ.

Autumnal equinox (điểm thu phân): Chỗ giao nhau của đường hoàng đạo và thiên xích ở đó Mặt Trời đi qua xích đạo từ bắc tới nam. Một thời điểm khi mà mỗi vị trí trên Trái Đất có 12 giờ ban ngày và 12 giờ ban đêm.

Axis (trục): Một đường tưởng tượng mà một vật thể quay chung quanh nó.

Azimuth (góc phương vị): Góc dọc theo đường chân trời thực, được đo về phía đông từ điểm phía bắc tới chỗ giao nhau của đường chân trời với vòng tròn thẳng đứng đi ngang qua một vật thể.

Balmer lines (các vạch Balmer): Các vạch hấp thụ hay phát xạ trong quang phổ của hydro phát sinh từ những sự chuyển tiếp giữa các trạng thái năng lượng thứ nhì (hay thứ nhất bị kích thích) và cao hơn của nguyên tử hydro.

Bands (in spectra) (các dãy [trong quang phổ]): Các vạch phát xạ hay hấp thụ, thông thường trong các quang phổ của các hợp chất hoá học, đông đảo và cách khoảng rất gần đến nỗi chúng hợp lại thành các dãy phát xạ hay hấp thụ rộng lớn.

Bar (đơn vị áp suất): Một lực 100.000 newtons (N) tác động lên một diện tích bề mặt một mét vuông (m^2) thì ngang bằng với 1 bar. Áp suất trung bình của khí quyển Trái Đất tại mực nước biển thì ngang bằng với 1,013 bar.

Barred spiral galaxy (thiên hà xoắn ốc có vạch): Thiên hà xoắn ốc trong đó các nhánh xoắn ốc bắt đầu từ những đầu

của một vạch chạy ngang qua phần nhân thay vì từ chính bản thân phần nhân.

Barycenter (tâm tỉ cự): Trung tâm của khối lượng của hai thiên thể quay quanh lẫn nhau.

Basalt (đá bazan): Đá lửa, ban đầu được cấu tạo từ silicon, oxy, sắt, nhôm, và magnesium được tạo ra bởi sự nguội đi của dung nham.

Big Bang theory (thuyết Vụ Nổ Lớn): Một lý thuyết về vũ trụ học trong đó sự mở rộng của vũ trụ được cho là đã bắt đầu với một vụ nổ.

Binary star (sao đôi): Hai ngôi sao quay chung quanh lẫn nhau.

Binding energy (năng lượng liên kết): Năng lượng cần thiết để tách ra hoàn toàn các phần cấu thành của một nhân nguyên tử.

Blackbody (vật đen): Một vật bức xạ hoàn hảo giả định, hấp thụ và tái phát xạ tất cả các bức xạ đi tới nó.

Black dwarf (sao lùn đen): Một trạng thái được cho là cuối cùng của sự tiến hoá đối với một sao có khối lượng thấp, trong đó tất cả các nguồn năng lượng của nó bị cạn kiệt và không còn phát xạ ra sự bức xạ đáng kể nào nữa.

Black hole (lỗ đen): Một sao khổng lồ bị sụp đổ (hay một thiên thể khác bị sụp đổ) mà vận tốc thoát đi của nó bằng với hay lớn hơn vận tốc ánh sáng; do đó không có bức xạ nào có thể thoát ra khỏi nó.

Bohr atom (nguyên tử Bohr): Một mô hình đặc biệt của nguyên tử, do Niels Bohr phát minh, trong đó các electron được mô tả như đang quay chung quanh phần nhân trên những quỹ đạo hình tròn.

Brown dwarf (sao lùn nâu): Một vật thể trung gian về kích thước giữa một

hành tinh và một ngôi sao. Phạm vi khối lượng xấp xỉ từ khoảng 1/100 khối lượng của Mặt Trời lên tới giới hạn khối lượng thấp hơn đối với việc tự duy trì các phản ứng hạt nhân, đó là 0,08 khối lượng của Mặt Trời.

Carbonaceous meteorite (thiên thạch có carbon): Một thiên thạch sơ khai được cấu tạo đầu tiên từ các chất silicat nhưng về mặt hoá học thường bao gồm nước liên kết, carbon tự do, và các hợp chất hữu cơ phức tạp. Cũng còn gọi là các thiên thạch (chondrite) có carbon.

Carbon–nitrogen–oxygen (CNO) cycle (chu kỳ carbon–nitro–oxy) (CNO): Một loạt các phản ứng hạt nhân ở những phần bên trong của các sao bao gồm carbon như một chất xúc tác, qua đó hydro được biến đổi thành helium. (13)

Cassegrain focus (tiêu điểm Cassegrain): Một cấu trúc quang học trong một kính viễn vọng phản xạ trong đó ánh sáng được phản chiếu bởi một gương thứ cấp tới một điểm ở phía sau gương sơ cấp.

CBR (xem cosmic background radiation)

CCD (xem charged–coupled device)

CD galaxy (thiên hà cD): Thiên hà êlip siêu khổng lồ thường được tìm thấy tại trung tâm của một cụm thiên hà.

Celestial equator (thiên xích hay xích đạo trời): Vòng tròn lớn nằm trên thiên cầu 90° từ các thiên cực; ở đó thiên cầu giao tiếp với mặt phẳng xích đạo của Trái Đất.

Celestial meridian (kinh độ trời): Đường tưởng tượng trên thiên cầu đi ngang qua các điểm bắc và nam trên chân trời và qua thiên đỉnh.

Celestial poles (thiên cực): Các điểm

mà thiên cầu hình như xoay chung quanh chúng.

Celestial sphere (thiên cầu): Hình cầu biểu kiến của bầu trời; một hình cầu với bán kính rộng lớn có trung tâm là người quan sát. Các hướng của các thiên thể trên bầu trời có thể được biểu thị bởi vị trí của chúng trên thiên cầu.

Center of gravity (trọng tâm): Trung tâm của trọng lượng.

Center of mass (trung tâm của khối lượng hay tâm khối): Vị trí bình quân của các thành phần khối lượng khác nhau của một thiên thể hay một hệ thống, có trọng lực tùy theo các khoảng cách của chúng đối với trung tâm khối lượng ấy; điểm ấy trong một hệ thống cô lập di chuyển với vận tốc không đổi, phụ thuộc vào định luật thứ nhất của Newton về sự chuyển động.

Cepheid variable (sao biến quang cepheid): Một ngôi sao tùy thuộc vào một hạng của các sao xung động siêu khổng lồ. Các sao này biến đổi theo chu kỳ về độ sáng, và mối quan hệ giữa các chu kỳ và độ trung của chúng có ích cho việc suy ra các khoảng cách tới chúng.

Chandrasekhar limit (giới hạn Chandrasekhar): Giới hạn bên trên đối với khối lượng của một sao lùn trắng (bằng 1,4 lần khối lượng của Mặt Trời).

Charge–coupled device (CCD) (bộ ghép nối điện tích hay thiết bị cảm biến hình ảnh): Một dãy các máy dò điện tử về bức xạ điện từ, được sử dụng tại tiêu điểm của kính viễn vọng (hay thấu kính của máy ảnh). Một CCD có tác dụng như một tấm kính ảnh với độ nhạy rất cao.

Chemical condensation sequence (chuỗi ngưng tụ hoá học): Các hợp chất hoá học và các khoáng chất được tính toán sẽ hình

thành ở các nhiệt độ khác nhau trong chất khí đang nguội đi của thành phần vũ trụ; được sử dụng để suy ra thành phần của các hạt đã hình thành trong tinh vân mặt trời tại các khoảng cách khác nhau đối với mặt trời nguyên thủy.

Chromosphere (sắc quyển): Phần của khí quyển mặt trời nằm ngay bên trên các lớp quang quyển.

Circular satellite velocity (vận tốc tròn của vệ tinh): Tốc độ tới hạn mà một vật thể xoay tròn phải có để đi theo một quỹ đạo tròn.

Circumpolar zone (vùng cực khuyên): Những khu vực của thiên cầu nằm gần các thiên cực này thì luôn luôn nằm bên trên hay nằm bên dưới đường chân trời.

Closed universe (vũ trụ khép kín): Một mô hình vũ trụ trong đó độ cong của không gian khiến những đường thẳng cuối cùng tự trở về chính chúng; trong mô hình này, vũ trụ mở rộng từ một vụ nổ lớn, ngừng lại, và kế đó co rút tới một sự nghiền nát lớn.

Cluster of galaxies (chùm thiên hà): Một hệ thống các thiên hà chứa vài thiên hà cho tới hàng ngàn thiên hà thành viên.

Color index (chỉ số màu): Sự chênh lệch giữa các cấp sáng của một sao hay vật thể khác được đo theo ánh sáng của hai vùng quang phổ khác nhau, thí dụ, cấp sáng (hay độ sáng biểu kiến) xanh trừ đi cấp sáng thấy được ($B - V$).

Coma (of comet) (đầu [của sao chổi]): Bộ phận khí khuếch tán của đầu sao chổi; tức là, đám mây của chất khí bay hơi chung quanh phần nhân sao chổi.

Comet (sao chổi): Một vật thể nhỏ của vật chất có nước đá và bụi xoay chung quanh Mặt Trời. Khi một sao chổi tới gần Mặt Trời, hình thành một cái đầu

lớn của chất khí loãng, và thường có một cái đuôi.

Compound (hợp chất): Một chất được cấu tạo từ hai hay nhiều nguyên tố hoá học hơn.

Conduction (sự dẫn truyền): Sự chuyển giao năng lượng bằng cách đưa trực tiếp năng lượng hay các electron từ nguyên tử này sang nguyên tử khác.

Conservation of angular momentum (sự bảo toàn động lượng góc): Định luật cho rằng tổng số động lượng góc trong một hệ thống giữ nguyên như nhau (trong sự vắng mặt của bất kỳ lực nào không được hướng về phía hay ra khỏi điểm hay trục mà chung quanh nó động lượng góc được nói đến).

Constellation (chòm sao): Một trong 88 khu vực trong đó các nhà thiên văn học phân chia thiên cầu; nhiều chòm sao được đặt tên theo một nhóm sao nổi bật trong chúng tượng trưng cho một nhân vật, con thú, hay một sinh vật huyền thoại từ thần thoại cổ xưa.

Continental drift (sự trôi dạt lục địa): Sự di chuyển từ từ của các lục địa trên bề mặt Trái Đất do kiến tạo địa tầng.

Continuous spectrum (quang phổ liên tục): Quang phổ của ánh sáng được cấu tạo từ bức xạ của một dãy liên tục các bước sóng hay các màu sắc thay vì chỉ có một số bước sóng cụ thể nào đó.

Convection (sự đối lưu): Sự chuyển đổi năng lượng bởi các dòng di chuyển trong một chất lỏng.

Core (of a planet) (nhân [của một hành tinh]): Phần trung tâm của một hành tinh, bao gồm các vật liệu có mật độ cao hơn.

Corona (of Galaxy) (quầng sáng [của Ngân Hà]): Một vùng nằm bên trên và bên dưới mặt phẳng của Ngân Hà ra tới

các khoảng cách lớn hơn nhiều so với vật liệu tỏa ra bức xạ điện từ.

Corona (of Sun) (*quầng sáng [của mặt trời]* hay *nhật hoa*): Ngoại tầng khí quyển của Mặt Trời.

Coronal hole (*lỗ nhật hoa*): Một vùng trong ngoại tầng khí quyển của Mặt Trời, ở đó bức xạ nhìn thấy được của nhật hoa bị vắng mặt.

Cosmic background radiation (CBR) (*bức xạ nền của vũ trụ*): Bức xạ vi ba xuất phát từ mọi hướng được cho là sự tỏa sáng bị dịch chuyển đỏ của vụ nổ lớn.

Cosmic rays (*các tia vũ trụ*): Các nhân nguyên tử (hầu hết là proton) được nhìn thấy đập vào khí quyển Trái Đất với các năng lượng cực kỳ lớn.

Cosmological constant (*hằng số vũ trụ*): Một thuật ngữ trong các phương trình của thuyết tương đối tổng quát, tượng trưng cho một lực đẩy trong vũ trụ. Hằng số vũ trụ thường được giả định là zero (hay bằng không).

Cosmological principle (*nguyên lý vũ trụ*): Sự thừa nhận rằng, về mặt vĩ mô, vũ trụ tại bất kỳ thời điểm nào, tại mọi nơi đều như nhau – đẳng hướng và đồng nhất.

Cosmology (*vũ trụ học*): Môn nghiên cứu về sự tổ chức và tiến hoá của vũ trụ.

Crater (*miệng núi lửa* hay *hố thiên thạch*): Một cái lõm hình tròn (thuộc từ ngữ Hy Lạp dành cho cái tách), thông thường là nguồn gốc của một vụ va chạm.

Crescent moon (*trăng lưỡi liềm*): Một trong các pha của Mặt Trăng khi nó hiện ra chưa đầy phân nửa.

Critical density (*mật độ tới hạn*): Trong vũ trụ học, mật độ cung cấp lực hấp dẫn đủ để mang sự mở rộng của vũ trụ đi tới một chỗ dừng sau một thời gian vô tận.

Crust (*vỏ trái đất*): Lớp bên ngoài của hành tinh trái đất.

Dark matter (*vật chất tối*): Khối lượng không chiếu sáng, sự hiện diện của nó có thể được nói đến bởi vì ảnh hưởng hấp dẫn của nó đối với vật chất chiếu sáng. Vật chất tối có thể cấu tạo tới 99% toàn bộ khối lượng trong vũ trụ. Thành phần của vật chất tối chưa được biết.

Dark nebula (*tinh vân tối*): Một đám mây bụi giữa các vì sao che mờ ánh sáng của những sao xa hơn và hiện ra như một tấm màn mờ đục.

Declination (*độ lệch hay độ thiên*): Khoảng cách góc ở phía bắc hay phía nam của thiên xích.

Degenerate gas (*chất khí thoái hóa*): Chất khí trong đó các trạng thái có thể chấp nhận đối với các electron đã được thoả mãn; nó ứng xử theo các định luật khác với các định luật áp dụng cho các chất khí “hoàn hảo” và chống lại sự nén ép thêm nữa.

Density (*mật độ*): Tỷ số của khối lượng của một vật thể với thể tích của nó.

Deuterium: Hình thức nặng “của hydro, trong đó nhân của mỗi nguyên tử gồm có một proton và một neutron.

Differential galactic rotation (*phép quay vi sai của thiên hà*): Sự xoay tròn của Ngân Hà, không như một bánh xe đặc, mà sao cho các bộ phận cận kề với nhau không phải lúc nào cũng ở cạnh nhau.

Differentiation (*geological*) (*phép lấy vi phân*) (*địa chất học*): Sự tách rời trọng lực của các vật liệu với mật độ khác nhau thành các lớp ở bên trong của một hành tinh hay một vệ tinh.

Disk (*of Galaxy*) (*đĩa*) (*của thiên hà*): Mặt phẳng trung tâm hay “bánh xe” của

Thiên hà chúng ta; ở đó hầu hết khối lượng tỏa sáng được tập trung.

Dispersion (sự tán sắc): Sự tách ra, từ ánh sáng trắng, của các bước sóng khác nhau được khúc xạ theo số lượng khác nhau.

Doppler effect (hiệu ứng Doppler): Sự thay đổi biểu kiến về bước sóng của bức xạ từ một nguồn do sự chuyển động tương đối của nó ra xa hay hướng về phía người quan sát.

Earth-approaching asteroid (tiểu hành tinh đang tiến gần Trái Đất): Một tiểu hành tinh với một quỹ đạo đi ngang qua quỹ đạo Trái Đất hay một lúc nào đó sẽ gặp quỹ đạo Trái Đất khi nó xoay tròn theo ảnh hưởng của lực hấp dẫn của các hành tinh. Xem "near-Earth object" (vật thể gần Trái Đất).

Eccentricity (of ellipse) (độ lệch tâm) (của êlip): Tỷ số về khoảng cách giữa tiêu điểm với trục chính.

Eclipse (thiên thực): Sự che bớt một phần hay toàn bộ ánh sáng của một vật thể bởi một vật thể khác, trong khoa học hành tinh, sự đi qua của một vật thể vào trong cái bóng của vật thể khác.

Eclipsing binary star (sao đôi che khuất): Một sao đôi trong đó mặt phẳng xoay tròn của hai sao gần như nằm nghiêng với đường ngắm của chúng ta, đến mức ánh sáng của một sao theo chu kỳ bị giảm đi bởi sao kia đi qua phía trước nó.

Ecliptic (đường hoàng đạo): Đường đi biểu kiến hàng năm của Mặt Trời trên thiên cầu.

Effective temperature (nhiệt độ hiệu dụng): Xem *temperature (effective)*

Ejecta (vật phóng): Vật liệu được khai quật từ một hố gây ra do thiên thạch va chạm, chẳng hạn như lớp vật liệu bao

quanh các miệng núi lửa trên mặt trăng và các tia của miệng núi lửa.

Electromagnetic force (lực điện từ): Một trong bốn lực cơ bản hay bốn tương tác cơ bản của tự nhiên; lực có tác dụng giữa các điện tích và liên kết các nguyên tử và các phân tử lại với nhau.

Electromagnetic radiation (bức xạ điện từ): Bức xạ bao gồm các sóng được truyền đi qua sự tích tụ hay phân tán của các trường điện và từ; các sóng này bao gồm sóng vô tuyến, tia hồng ngoại, ánh sáng thường, tia tử ngoại, các tia X, và các tia gamma.

Electromagnetic spectrum (quang phổ điện từ): Toàn bộ dãy hay họ của các sóng điện từ, từ vô tuyến tới các tia gamma.

Electron (âm điện tử): Một hạt hạ nguyên tử mang điện tích âm thường di chuyển chung quanh nhân của một nguyên tử.

Element (nguyên tố): Một chất không thể tách ra được nữa, thành các chất đơn giản hơn, bằng các phương thức hoá học.

Elementary particle (hạt sơ cấp): Một trong những hạt cơ bản của vật chất. Các hạt sơ cấp quen thuộc nhất là proton, neutron và electron.

Ellipse (hình êlip): Một đường cong mà tổng số của các khoảng cách từ bất kỳ điểm nào trên hình êlip tới hai điểm bên trong (gọi là các tiêu điểm) luôn luôn bằng nhau.

Elliptical galaxy (thiên hà êlip): Thiên hà mà hình dạng bề ngoài của nó giống như một vật rắn được cấu tạo bởi một loạt các hình êlip và chứa vật liệu giữa các vì sao không rõ ràng.

Ellipticity (độ dẹt của êlip): Tỷ số (trong một hình êlip) của trục chính trừ đi trục phụ so với trục chính

Emission line (vạch phát xạ): Vạch sáng rõ rệt trong quang phổ.

Emission nebula (tinh vân phát xạ): Một tinh vân chất khí nhận lấy ánh sáng thấy được của nó từ sự phát huỳnh quang của ánh sáng tử ngoại từ một ngôi sao ở trong hay ở gần tinh vân.

Emission spectrum (quang phổ phát xạ): Một quang phổ bao gồm các vạch phát xạ.

Energy level (mức năng lượng): Một mức độ hay một số lượng riêng biệt, của năng lượng được sở hữu bởi một nguyên tử hay một ion cao hơn năng lượng nó sở hữu trong trạng thái năng lượng tối thiểu của nó; cũng được sử dụng để nói tới các trạng thái năng lượng mà một electron có thể có trong một nguyên tử.

Epicycle (vòng ngoại luân): Một quỹ đạo tròn của một vật thể trong hệ thống của Ptolemy, tâm của vòng này quay quanh một vòng tròn khác (vòng chính đạo).

Equator (xích đạo): Một vòng tròn lớn trên Trái Đất, 90° tính từ (hay cách đều) mỗi cực.

Equinox (điểm phân): Một trong những điểm giao nhau của đường hoàng đạo và xích đạo trời, một trong hai thời điểm trong năm khi độ dài của ngày và đêm bằng nhau.

Equivalence principle (nguyên lý tương đương): Nguyên lý cho rằng lực hấp dẫn và một gia tốc thích hợp không thể phân biệt được trong phạm vi một môi trường cục bộ phù hợp.

Escape velocity (vận tốc vượt thoát hay vận tốc bức phá): Vận tốc mà một vật thể phải đạt tới để thoát ra khỏi lực hút của một vật thể khác và không quay trở lại với nó nữa.

Eucrite meteorite (thiên thạch eucrite): Một trong các loại thiên thạch có đá bazan được cho là có nguồn gốc trên tiểu hành tinh Vesta.

Event horizon (chân trời biến cố): Bề mặt mà một ngôi sao đang sụp đổ diễn ra khi vận tốc thoát đi của nó ngang bằng với tốc độ ánh sáng; nghĩa là, khi ngôi sao trở thành một lỗ đen.

Excitation (sự kích thích): Quá trình truyền đạt tới một nguyên tử hay một ion một mức năng lượng lớn hơn so với nó có trong trạng thái năng lượng tối thiểu hay bình thường.

Exclusion principle (nguyên lý loại trừ): Xem *Pauli exclusion principle*.

Extinction (sự dập tắt): Sự giảm bớt ánh sáng từ một thiên thể do khí quyển Trái Đất, hay do sự hấp thụ giữa các ngôi sao gây ra.

Extragalactic (ngoại thiên hà): Bên ngoài Dải Ngân Hà của chúng ta.

Eyepiece (thị kính): Một thấu kính phóng đại được dùng để quan sát hình ảnh được tạo ra bởi vật kính của kính viễn vọng.

Fall (of meteorites) (sự rơi xuống) (của các thiên thạch): Các thiên thạch được nhìn thấy trên bầu trời và được tìm thấy trên mặt đất.

Fault (phay hay sự đứt đoạn): Trong địa chất học, một vết nứt hay vết gãy trong vỏ của một hành tinh mà dọc theo nó một sự trượt hay di chuyển có thể xảy ra, đi kèm theo hoạt động địa chấn.

Field (trường): Một sự mô tả bằng toán học về ảnh hưởng của các lực, chẳng hạn như lực hấp dẫn, tác động lên các vật thể xa. Thí dụ, một khối lượng nhất định tạo ra một trường hấp dẫn trong không gian bao quanh nó, tạo ra một lực

hấp dẫn đối với các vật thể trong phạm vi không gian ấy.

Find (of meteorites) (sự phát hiện) (về các thiên thạch): Một thiên thạch đã được tìm thấy nhưng không được nhìn thấy khi rơi.

Fireball (quả cầu lửa): Một thiên thạch ngoạn mục, được nhìn thấy lâu hơn một khoảnh khắc trên bầu trời.

Fission (sự phân hạch): Sự phá vỡ một nhân nguyên tử nặng thành hai hay nhiều nhân nguyên tử nhẹ hơn.

Flare (sự loé sáng): Một sự bùng lên bất ngờ và tạm thời của ánh sáng từ một vùng mở rộng của bề mặt Mặt Trời.

Fluorescence (sự phát huỳnh quang): Sự hấp thụ ánh sáng của bước sóng này và sự tái phát xạ của nó với bước sóng khác; đặc biệt sự biến đổi tia tử ngoại thành ánh sáng thường.

Flux (thông lượng): Tốc độ mà năng lượng hay vật chất đi qua một đơn vị diện tích của một bề mặt.

Focal length (tiêu cự): Khoảng cách từ một thấu kính hay gương phản chiếu tới một điểm ở đó ánh sáng được hội tụ qua nó đi tới một tiêu điểm.

Focus (of ellipse) (tiêu điểm) (của hình êlip): Một trong hai vị trí cố định bên trong một hình êlip từ đó tổng số các khoảng cách tới bất kỳ điểm nào trên êlip là một hằng số.

Focus (of telescope) (tiêu điểm) (của kính viễn vọng): Điểm ở đó các tia sáng được hội tụ qua một gương hay thấu kính gặp nhau.

Forbidden lines (những vạch bị cấm): Các vạch phổ thông thường không quan sát được theo điều kiện của phòng thí nghiệm bởi vì chúng là do những sự chuyển đổi nguyên tử không chắc chắn lắm gây ra.

Force (lực): Cái có thể thay đổi động lượng của một vật thể; về mặt số lượng, tốc độ qua đó động lượng của một vật thể thay đổi.

Fraunhofer line (vạch Fraunhofer): Vạch hấp thụ trong quang phổ của Mặt Trời hay của một ngôi sao.

Fraunhofer spectrum (quang phổ Fraunhofer): Dãy các vạch hấp thụ trong quang phổ của Mặt Trời hay của một ngôi sao.

Frequency (tần số): Số dao động trên một đơn vị thời gian; số lần sóng đi qua một điểm nhất định trên một đơn vị thời gian (trong bức xạ).

Fusion (sự hợp nhất hay sự tổng hợp): Sự tích tụ của các nhân nguyên tử nặng hơn từ các nhân nguyên tử nhẹ hơn.

Galactic cannibalism (tính ăn thịt đồng loại của thiên hà): Quá trình qua đó một thiên hà lớn hơn lấy đi vật liệu từ một thiên hà nhỏ hơn.

Galactic cluster (quần tinh của thiên hà): Một chùm sao "mở rộng" được phân bố trong các nhánh xoắn ốc hay đĩa của Ngân Hà.

Galaxy (thiên hà): Một tập hợp lớn các sao; một thiên hà tiêu biểu chứa hàng triệu tới hàng trăm triệu sao.

Galaxy (Ngân Hà): Thiên hà mà Mặt Trời và các sao lân cận của chúng ta phụ thuộc; dải màu trắng sữa là ánh sáng từ các sao xa xôi trong cái đĩa của Ngân Hà.

Gamma rays (các tia gamma): Các photon (của bức xạ điện từ) của năng lượng cao hơn năng lượng của các tia X; dạng năng động nhất của bức xạ điện từ.

General relativity theory (thuyết tương đối tổng quát): Thuyết của Einstein liên quan tới sự gia tốc, sự hấp dẫn, và cấu trúc (hình học của không gian) và thời gian.

Geocentric (địa tâm): Lấy trung tâm là Trái Đất.

Giant (star) (sao khổng lồ): Ngôi sao có độ trung và bán kính lớn.

Giant molecular cloud (đám mây phân tử khổng lồ): Các đám mây, lớn và lạnh, giữa các vì sao, với đường kính hàng chục năm ánh sáng và khối lượng tiêu biểu là 10^3 khối lượng mặt trời; được tìm thấy trong các nhánh xoắn ốc của các thiên hà, các đám mây này là nơi các sao khổng lồ hình thành.

Globular cluster (quần tinh cầu): Một trong khoảng 120 quần tinh hình cầu lớn hình thành một hệ các quần tinh tập trung vào trung tâm của Ngân Hà.

Grand unified theories (GUTs) (các lý thuyết hợp nhất lớn): Các lý thuyết vật lý cố gắng mô tả bốn sự tương tác (lực) của tự nhiên như các biểu hiện khác nhau của một lực duy nhất.

Granite (đá hoa cương): Loại đá lửa có chứa silicat hình thành phần lớn của lớp vỏ lục địa của Trái Đất.

Granulation (sự kết hạt): Cấu trúc giống như hạt gạo của quang quyển của mặt trời; sự kết hạt được tạo ra do các dòng khí đi lên trên, hơi nóng hơn và do vậy sáng hơn những vùng chung quanh đang lưu chuyển vào Mặt Trời.

Gravity (lực hấp dẫn): Lực hút lẫn nhau của các vật thể hay các hạt.

Gravitational energy (năng lượng hấp dẫn): Năng lượng có thể được phóng thích do sự sụp đổ của trọng lực, hay sự sụp đổ từng phần, của một hệ thống; tức là, do các hạt rơi về phía trọng tâm.

Gravitational lens (thấu kính hấp dẫn): Một cấu hình của các thiên thể, một thiên thể trong số chúng cung cấp một hay nhiều hình ảnh hơn của một thiên

thể khác do sự phản xạ ánh sáng của nó do lực hấp dẫn.

Gravitational redshift (sự dịch chuyển đỏ do lực hấp dẫn): Sự dịch chuyển đỏ của bức xạ điện từ do trường hấp dẫn gây ra. Sự đi chậm lại của các đồng hồ trong một trường hấp dẫn.

Great circle (vòng tròn lớn): Vòng tròn trên bề mặt của một hình cầu là đường cong giao tiếp của hình cầu với mặt phẳng đi qua tâm của nó.

Greenhouse effect (hiệu ứng nhà kính): Lớp (hấp thụ) của bức xạ hồng ngoại ở gần bề mặt của một hành tinh, thí dụ, do khí dioxide carbon trong khí quyển của nó.

Ground state (trạng thái cơ bản): Trạng thái năng lượng thấp nhất của một nguyên tử.

H or H_0 (H hay H_0): Xem *Hubble constant*

H I region (vùng H I): Vùng hydro trung hòa trong không gian giữa các vì sao.

H II region (vùng H II): Vùng của khí hydro ion hóa trong không gian giữa các vì sao.

Half-life (chu kỳ bán phân rã): Thời gian cần thiết đối với phân nửa số nguyên tử phóng xạ trong một mẫu để phân rã.

Halo (of galaxy) (quầng [của thiên hà]): Phạm vi ngoài cùng của Thiên Hà chúng ta hay thiên hà khác, chứa một sự phân bố rải rác của các sao và các quần tinh cầu trong một sự phân bố hình cầu nhiều hơn hay ít hơn.

Heavy elements (các nguyên tố nặng): Trong thiên văn học, thông thường các nguyên tố ấy có nguyên tử số lớn hơn helium.

Helio: Tiếp đầu ngữ chỉ Mặt Trời.

Heliocentric (nhật tâm): Lấy tâm là Mặt Trời.

Helium flash (tia lóe helium): Sự bốc cháy gần như bùng nổ của helium trong quá trình alpha tam hợp trong phần nhân đậm đặc của sao khổng lồ đỏ.

Herbig-Haro (HH) object (vật thể Herbig-Haro:HH): Những cụm khí phát sáng trong một khu vực hình thành sao, chúng được bắt đầu tỏa sáng bởi các chùm tia vật liệu từ một sao nguyên thủy.

Herzt: Đơn vị của tần số: một chu kỳ trên giây. Được đặt tên theo Heinrich Hertz, người đầu tiên tạo ra sự bức xạ vô tuyến.

Heztsprung-Russell (H-R) diagram (sơ đồ H-R): Sơ đồ về độ trung dựa vào nhiệt độ bề mặt (hay loại quang phổ) đối với một nhóm sao.

Highlands (lunar) (vùng núi [của mặt trăng]): Lớp vỏ già hơn của Mặt Trăng, bị lõm một cách trầm trọng, bao phủ 83% bề mặt của nó và được cấu tạo bằng phần lớn của đá đầm kết (breccias.)

Homogeneous (đồng nhất): Có một sự phân bố đồng đều và thích hợp về vật chất mà giống nhau ở mọi nơi. (27)

Horizon (astronomical) (chân trời [thuộc thiên văn học]): Một vòng tròn lớn trên thiên cầu 90° tính từ thiên đỉnh; phổ biến hơn, vòng tròn chung quanh chúng ta ở đó vòm trời gặp Trái Đất.

Horoscope (lá số tử vi): Một biểu đồ do các nhà chiêm tinh sử dụng, mô tả các vị trí, dọc theo hoàng đạo và trong bầu trời, của Mặt Trời, Mặt Trăng, và các hành tinh tại một thời điểm nhất định nào đó và được nhìn thấy từ một vị trí riêng biệt trên Trái Đất – thông thường tương ứng với thời gian và vị trí ra đời của một người.

Hubble constant (hằng số Hubble): Hằng số tỉ lệ giữa vận tốc của các thiên hà xa xôi và khoảng cách của chúng. Hằng số Hubble được cho là nằm trong phạm vi từ 15 tới 30 km/s trên một triệu LY (năm ánh sáng).

Hubble law (or the law of the redshifts) (định luật Hubble) (hay định luật của các sự dịch chuyển đỏ): Vận tốc xuyên tâm của các thiên hà xa xôi thì tỉ lệ với khoảng cách của chúng đối với chúng ta.

Hydrostatic equilibrium (sự cân bằng thủy tĩnh): Sự cân bằng giữa các trọng lực của nhiều lớp khác nhau, như trong một ngôi sao hay bầu khí quyển của trái đất, và các áp suất nâng đỡ chúng.

Hypothesis (giả thuyết): Một lý thuyết thăm dò hay một giả định, được đưa ra để giải thích một số sự kiện và hiện tượng nào đó, nó là đối tượng cho những cuộc thử nghiệm và kiểm chứng thêm nữa.

Igneous rock (đá lửa): Bất kỳ loại đá nào được tạo ra do sự nguội đi từ một trạng thái nóng chảy.

Inclination (of an orbit) (độ nghiêng [của một quỹ đạo]): Góc giữa mặt phẳng quỹ đạo của một thiên thể đang quay và một mặt phẳng cơ bản nào đó – thông thường là mặt phẳng của xích đạo trời hay của đường hoàng đạo.

Inertia (quán tính): Đặc tính của vật chất đòi hỏi một lực tác động lên nó để làm thay đổi trạng thái chuyển động của nó; khuynh hướng của các vật thể để tiếp tục thực hiện những gì chúng đang thực hiện trong sự vắng mặt của các lực bên ngoài.

Inertial system (hệ quán tính): Một hệ tọa độ mà chính nó không bị gia tốc, nhưng hoặc là đứng yên hoặc là đang di chuyển với vận tốc không đổi.

Inflationary universe (vũ trụ căng phồng): Một lý thuyết về vũ trụ học trong đó vũ trụ được giả định đã trải qua một giai đoạn mở rộng rất nhanh trong 10^{-30} s đầu tiên. Sau giai đoạn mở rộng nhanh chóng này, các mô hình “Big Bang” và căng phồng là đồng nhất.

Infrared cirrus (mây ti hồng ngoại): Những mảng bụi giữa các vì sao, chúng phát ra bức xạ hồng ngoại và trông giống như các đám mây ti trên các hình ảnh của bầu trời.

Infrared radiation (bức xạ hồng ngoại): Bức xạ điện từ của bước sóng dài hơn các bước sóng (đỏ) dài nhất có thể được tiếp nhận bằng mắt thường, nhưng ngắn hơn các bước sóng vô tuyến.

Interference (sự giao thoa): Hiện tượng các sóng hoà trộn lẫn nhau đến mức các đỉnh và các vùng lõm của chúng có thể lẫn lộn tăng cường và tiêu hủy lẫn nhau.

International date line (đường đổi ngày quốc tế): Một đường bất kỳ trên bề mặt trái đất nằm gần kinh độ 180° mà vượt qua nó ngày tháng thay đổi theo một ngày.

Interstellar dust (bụi giữa các vì sao): Những hạt rắn nhỏ trong không gian giữa các vì sao, được cho là bao gồm một cái lõi vật liệu giống như đá (silicat) hay graphit được bao bọc bởi một lớp băng. Nước, khí mêtan, và amoniac có thể là những thứ băng phong phú nhất.

Interstellar extinction (sự tắt ánh sáng giữa các vì sao): Sự tắt dần hay sự hấp thụ ánh sáng do bụi trong môi trường giữa các vì sao.

Interstellar medium or interstellar matter (môi trường giữa các vì sao hay vật chất giữa các vì sao): Khí và bụi giữa các vì sao.

Inverse-square law (for light) (định luật bình phương nghịch đảo) (đối với ánh sáng): Mức năng lượng (ánh sáng) lưu chuyển qua một diện tích nhất định trong một thời gian nhất định (thông lượng) suy giảm theo tỉ lệ bình phương của khoảng cách tính từ nguồn của năng lượng hay ánh sáng.

Ion (ion): Một nguyên tử đã trở nên tích điện do sự tăng thêm hay mất đi một hay nhiều electron.

Ionization (sự ion hóa): Quá trình qua đó một nguyên tử có thêm hay mất đi các electron.

Ionosphere (tầng điện ly): Vùng thượng tầng của khí quyển trái đất trong đó nhiều nguyên tử bị ion hóa.

Ion tail (of comet) (đuôi ion) (của sao chổi): Xem *plasma*

Irregular galaxy (thiên hà không đều hay bất thường): Một thiên hà không có dạng hình học xoay tròn; không phải là thiên hà xoắn ốc cũng không phải là thiên hà êlip.

Irregular satellite (vệ tinh bất thường): Một vệ tinh của hành tinh với một quỹ đạo đi ngược, hay có độ nghiêng hay độ lệch tâm cao.

Isotope (chất đồng vị): Bất kỳ hai hay nhiều dạng của cùng một nguyên tố, mà các nguyên tử của nó đều có cùng số proton nhưng số neutron khác nhau.

Isotropic (đẳng hướng): Giống nhau trong mọi chiều hướng.

Joule: Đơn vị năng lượng theo hệ mét; công được thực hiện bởi một lực 1 newton (N) tác động qua một khoảng cách 1m.

Jovian planet or giant planet (hành tinh khổng lồ): Bất kỳ hành tinh nào trong số các hành tinh Sao Mộc, Sao Thổ, Sao Thiên Vương, Sao Hải Vương trong hệ

mặt trời chúng ta, hay các hành tinh có khối lượng và thành phần xấp xỉ như thế trong các hệ hành tinh khác.

Kinetic energy (năng lượng động học): Năng lượng liên quan với sự chuyển động.

Kuiper belt (vành đai Kuiper): Một bể chứa vật liệu sao chổi ngay bên ngoài quỹ đạo của Pluto.

Laser: Một từ viết tắt của "light amplification by stimulated emission of radiation" (sự khuếch đại ánh sáng do sự phát xạ bức xạ được kích thích; một thiết bị để khuếch đại một tín hiệu ánh sáng với một bước sóng riêng biệt thành một chùm liên kết).

Latitude (vĩ độ): Tọa độ bắc-nam trên bề mặt của trái đất; khoảng cách góc bắc hay nam của xích đạo được đo dọc theo một kinh tuyến đi ngang qua một vị trí.

Law of areas (định luật về diện tích): Định luật thứ hai của Kepler: Vector bán kính từ Mặt Trời tới bất cứ hành tinh nào quét qua các diện tích bằng nhau trong mặt phẳng quỹ đạo của các hành tinh trong các khoảng thời gian bằng nhau.

Law of the redshifts (định luật về các sự dịch chuyển đỏ): Xem *Hubble law*

Leap year (năm nhuận): Năm dương lịch (hay niên lịch) với 366 ngày, được chèn vào khoảng chừng mỗi bốn năm để hình thành độ dài trung bình của niên lịch gần như ngang bằng với năm nhiệt đới càng nhiều càng tốt.

Light or visible light (ánh sáng hay ánh sáng thấy được): Bức xạ điện từ có thể nhìn thấy được bằng mắt thường.

Light curve (đường cong của ánh sáng): Một đồ thị trình bày sự biến đổi của ánh sáng theo thời gian từ một sao đôi biến quang hay sao đôi che khuất.

Light year (năm ánh sáng): Khoảng cách ánh sáng di chuyển trong chân không trong một năm; 1 LY (năm ánh sáng) = $9,46 \times 10^{12}$ km, hay khoảng 6×10^{12} mi (dặm).

Line broadening (sự mở rộng vạch): Hiện tượng qua đó các vạch phổ không rõ rệt một cách chính xác nhưng mà có các bề rộng hạn định.

Line profile (biên dạng của vạch): Một sơ đồ về cường độ của ánh sáng ngược với bước sóng đi ngang qua một vạch phổ.

Local Group (Nhóm Cục Bộ): Chùm các thiên hà mà Thiên Hà của chúng ta phụ thuộc.

Local standard of rest (tiêu chuẩn đứng yên cục bộ): Một hệ tọa độ chia sẻ sự chuyển động trung bình của Mặt Trời và các sao lân cận của nó chung quanh trung tâm thiên hà.

Local Supercluster (Chùm siêu thiên hà cục bộ): Chùm siêu thiên hà mà Nhóm Cục Bộ phụ thuộc.

Longitude (kinh độ): Một hệ tọa độ đông-tây trên bề mặt trái đất; khoảng cách góc (hay cự giác), được đo từ đông hay tây dọc theo xích đạo, từ kinh tuyến Greenwich tới kinh tuyến đi ngang qua một vị trí.

Luminosity (độ trung): Tốc độ mà một ngôi sao hay một vật thể khác phát xạ năng lượng điện từ vào trong không gian.

Luminosity class (cấp độ trung): Một sự phân loại của một sao tùy theo độ trung của nó nằm trong một hạng phổ nhất định. Mặt Trời của chúng ta, một sao G2V, có cấp độ trung V.

Luminosity function (hàm số độ trung): Số lượng tương đối của các sao (hay các vật thể khác) của các độ trung khác nhau.

Lunar eclipse (nguyệt thực): Một sự che khuất của Mặt Trăng.

Lyman lines (các vạch Lyman): Một dãy các vạch hấp thụ hay phát xạ trong quang phổ của hydro, phát sinh từ các sự chuyển giao tới và từ các trạng thái năng lượng thấp nhất của các nguyên tử hydro.

Magellanic Clouds (các Đám mây Magellan): Hai thiên hà láng giềng có thể nhìn thấy bằng mắt trần từ các vĩ độ phía nam.

Magma (nham thạch): Trạng thái nóng chảy ở nhiệt độ cao và di động của đá, thông thường của thành phần khoáng chất silicat và với các chất khí hoà tan và các chất bay hơi khác.

Magnetic field (từ trường): Vùng không gian gắn với một thiên thể bị từ hoá nằm trong đó các từ lực có thể được dò ra.

Magnetic pole (cực từ): Một trong hai vị trí trên một nam châm (hay Trái Đất) ở đó mật độ lớn nhất của các đường sức từ trời ra. Một cây kim la bàn tự nó đứng dọc theo các đường sức cực bộ trên trái đất và hướng nhiều hơn hay ít hơn về phía các cực từ của Trái Đất.

Magnetosphere (từ quyển): Vùng chung quanh một hành tinh trong đó từ trường nội tại áp đảo từ trường giữa các hành tinh do gió mặt trời mang đi; vì thế cho nên, vùng trong đó các hạt mang điện có thể bị bẫy bởi từ trường của hành tinh.

Magnitude (độ lớn hay cấp sáng): Một đơn vị đo lường về mức độ của thông lượng ánh sáng được tiếp nhận từ một sao hay vật thể chiếu sáng khác.

Main sequence (chuỗi chính thức): Một chuỗi của các sao trên sơ đồ Hertzsprung–Russell, chứa đại đa số các sao,

chạy theo đường chéo từ phía trên bên trái tới phía dưới bên phải.

Major axis (of ellipse) (trục chính) (của hình êlip): Đường kính tối đa của hình êlip.

Mantle (of Earth) (lớp áo) (của Trái Đất): Phần lớn nhất bên trong của Trái Đất, nằm giữa vỏ và nhân.

Mare (pl. maria) (vùng tối phẳng rộng trên mặt trăng): Tiếng Latin dành cho chữ “sea” (biển); tên này áp dụng cho các đặc điểm tối, tương đối phẳng lặng bao phủ 17% Mặt Trăng.

Mass (khối lượng): Một đơn vị đo lường về tổng số vật liệu trong một vật thể; được xác định bởi các đặc điểm quán tính của vật thể hay bởi ảnh hưởng hấp dẫn của nó lên các vật thể khác.

Mass extinction (sự diệt chủng toàn bộ): Sự biến mất đột ngột trong mẫu vật hoá thạch của một số lớn các chủng loài sinh vật, được thay thế bởi những chủng loài mới trong các lớp kế tiếp. Những sự diệt chủng hoàn toàn là những dấu hiệu của những biến đổi tai họa trong môi trường, chẳng hạn như có thể được tạo ra bởi một sự va chạm lớn lao trên Trái Đất.

Mass–light ratio (tỉ số khối lượng – ánh sáng): Tỷ số giữa tổng khối lượng của một thiên hà với toàn bộ độ trung của nó, thường được diễn tả bằng các đơn vị khối lượng mặt trời và độ trung mặt trời. Tỷ số khối lượng – ánh sáng cung cấp một chỉ số gần đúng về các loại sao được chứa đựng trong phạm vi một thiên hà và trong bất cứ trường hợp nào những lượng đáng kể của vật chất tối cũng có mặt.

Mass–luminosity relation (mối quan hệ khối lượng–độ trung): Mối quan hệ do

kinh nghiệm giữa các khối lượng và độ trung của nhiều sao (chủ yếu trong chuỗi sao chính).

Maunder Minimum (*Tiểu Maunder*): Khoảng thời gian từ 1645 tới 1715 khi hoạt động của mặt trời xuống rất thấp.

Mean solar day (*ngày mặt trời trung bình*): Độ dài bình quân của ngày mặt trời biểu kiến.

Merger (of galaxies) (*sự sáp nhập*) (*của các thiên hà*): Khi các thiên hà (với kích cỡ có thể so sánh) va chạm nhau và hình thành một cấu trúc tổng hợp.

Meridian (celestial) (*kinh tuyến*) (*trời*): Vòng tròn lớn trên thiên cầu đi qua thiên đỉnh của người quan sát và thiên cực bắc (hay nam).

Meridian (terrestrial) (*kinh tuyến*) (*đất*): Vòng tròn lớn trên bề mặt Trái Đất đi qua một vị trí riêng biệt và các cực Bắc và Nam của trái đất.

Messier catalog (*bảng mục lục Messier*): Bảng mục lục của các vật thể không phải là sao do Charles Messier biên soạn vào năm 1787 (bao gồm các tinh vân, các quần tinh, và các thiên hà).

Metals (*các kim loại*): Bất kỳ nguyên tố hay hợp chất nào mà cấu trúc electron của nó khiến nó trở thành một chất dẫn điện tốt. Trong thiên văn học, tất cả các nguyên tố ngoại trừ hydro và helium.

Metamorphic rock (*đá biến chất*): Bất cứ loại đá nào được tạo ra do sự biến đổi vật lý và hoá học (mà không tan chảy) của một loại đá khác đã chịu đựng nhiệt độ và áp suất cao.

Metastable level (*mức độ nửa bền*): Mức năng lượng trong một nguyên tử từ đó có một khả năng thấp của một sự chuyển giao nguyên tử được đi kèm bởi sự bức xạ của một photon.

Meteor (*sao băng*): Hiện tượng phát sáng quan sát được khi một mảnh nhỏ của chất rắn đi vào khí quyển của trái đất và bùng cháy; thường gọi là "shooting star".

Meteorite (*thiên thạch*): Một phần nhỏ của một tiểu thiên thể còn sót lại đi qua khí quyển và đọng vào mặt đất.

Meteoroid (*tiểu thiên thể*): Một mảnh nhỏ hay một khúc của vật liệu có đá hay kim loại tiêu biểu trong không gian trước khi chạm trán với Trái Đất.

Meteor shower (*mưa sao băng*): Nhiều sao băng có vẻ như toả ra từ một điểm chung trên bầu trời, được gây ra do sự va chạm của Trái Đất với một đám các mảnh chất rắn, tiêu biểu từ một sao chổi.

Micron: Thuật ngữ cũ của micromét (10^{-6} m).

Microwave (*vi ba*): Các bước sóng vô tuyến của sóng ngắn.

Milky Way (*Dải Ngân Hà*): Dải ánh sáng bao quanh bầu trời, do nhiều ngôi sao và các tinh vân khuếch tán nằm gần mặt phẳng của Thiên Hà. (24)

Minerals (*các khoáng chất*): Các hợp chất rắn (thường trước tiên là silicon và oxy) hình thành các loại đá.

Minor planet (*tiểu hành tinh*). Xem *asteroid*.

Model atmosphere or photosphere (*khí quyển mô hình hay quang quyển*): Kết quả của sự tính toán lý thuyết về sự vận hành của nhiệt độ, áp suất, mật độ, và vân vân..., qua các lớp ngoại vi của Mặt Trời hay một ngôi sao.

Molecule (*phân tử*): Một sự kết hợp của hai hay nhiều nguyên tử dính liền với nhau; phần tử nhỏ nhất của một hợp chất hay chất hoá học thể hiện các đặc tính hoá học của chất ấy.

Momentum (động lượng): Một đơn vị đo lường về quán tính hay trạng thái chuyển động của một vật thể; động lượng của một vật thể là sản phẩm của khối lượng và vận tốc của nó. Trong sự vắng mặt của một lực, động lượng được bảo toàn.

Near-Earth object (NEO) (vật thể gần Trái Đất): Một sao chổi hay tiểu hành tinh mà đường đi của nó giao tiếp với quỹ đạo của Trái Đất.

Nebula (tinh vân): Đám mây khí và bụi giữa các vì sao.

Neutrino (notrino): Một hạt cơ bản có khối lượng nhỏ hay không đứng yên và không mang điện nhưng có động lượng góc riêng và năng lượng. Các hạt neutrino hiếm khi tương tác với vật chất thông thường.

Neutron (notron): Một hạt hạ nguyên tử không có điện tích và có khối lượng xấp xỉ bằng với khối lượng của proton.

Neutron star (sao neutron): Ngôi sao có mật độ cực kỳ cao được cấu tạo gần như toàn bộ bằng các neutron.

Nonthermal radiation (bức xạ không nhiệt): Xem *synchrotron radiation*

Nova (tân tinh): Một ngôi sao trải qua một sự bùng nổ bất ngờ của năng lượng bức xạ, tạm thời gia tăng độ trưng của nó lên hàng trăm tới hàng ngàn lần.

Nuclear (hạt nhân): Phần nhân của nguyên tử.

Nuclear bulge (bầu hạt nhân hay chỗ phình hạt nhân): Vùng trung tâm của thiên hà chúng ta hay thiên hà khác.

Nuclear transformation (sự chuyển đổi hạt nhân): Sự thay đổi của một nhân nguyên tử này thành nhân nguyên tử khác, như trong sự tổng hợp hạt nhân.

Nucleosynthesis (sự tổng hợp hạt nhân): Sự tích tụ các nguyên tố nặng

từ các nguyên tố nhẹ bằng sự tổng hợp hạt nhân.

Nucleus (of atom) (nhân) (của nguyên tử): Phần nặng của một nguyên tử, được cấu tạo phần lớn từ các proton và neutron, và chung quanh nó các electron quay tròn.

Nucleus (of comet) (nhân) (của sao chổi): Khúc đặc rắn của băng và bụi trong đầu của sao chổi.

Nucleus (of galaxy) (nhân) (của thiên hà): Vùng tập trung vật chất chủ yếu ở trung tâm của thiên hà.

Occultation (sự che khuất): Sự đi qua của một vật thể có kích thước góc lớn phía trước một vật thể nhỏ hơn, chẳng hạn như Mặt Trăng đứng phía trước một sao ở xa hay các vành của Sao Thổ phía trước tàu không gian Voyager.

Oort comet cloud (đám mây sao chổi Oort): Vùng hình cầu rộng lớn chung quanh Mặt Trời từ đó hầu hết các sao chổi “mới” đi tới; một bể chứa các vật thể với điểm viễn nhật khoảng 50.000 AU (đơn vị thiên văn), hay vươn rộng ra khoảng một phần ba đường đi tới các sao gần nhất khác.

Opacity (sự mờ đục hay độ chắn sáng): Năng lực hấp thụ; khả năng ngăn chặn sự đi qua của ánh sáng.

Open cluster (quần tinh phân tán hay mở rộng): Một chùm sao tương đối rời rạc hay “mở rộng”, chứa đựng từ một vài chục tới một vài ngàn thành viên, được phân bố trong các nhánh xoắn ốc hay cái đĩa của Thiên Hà chúng ta; đôi khi còn được ám chỉ như một quần tinh của thiên hà.

Open universe (vũ trụ mở rộng): Một mô hình của vũ trụ trong đó lực hấp dẫn không đủ mạnh để mang vũ trụ

tới một chỗ dừng; nó mở rộng mãi mãi. Trong mô hình này, dạng hình học của không-thời-gian là nếu đi theo một đường thẳng, bạn có thể không bao giờ quay trở lại chỗ bạn đã bắt đầu, thậm chí không gian còn mở rộng ra nhiều hơn bạn mong đợi từ hình học Euclide.

Optical (quang học): Trong thiên văn học, liên quan tới dãy ánh sáng thấy được của quang phổ điện từ. Cuộc quan sát quang học là cuộc quan sát được thực hiện với ánh sáng thường.

Optical double star (sao đôi quang học): Hai sao với các khoảng cách khác nhau được nhìn thấy gần như thẳng hàng theo hình chiếu đến mức có vẻ gần nhau, nhưng thực ra không có liên quan về lực hấp dẫn.

Orbit (quỹ đạo): Đường đi của một thiên thể đang quay quanh một thiên thể khác hay một điểm.

Oscillation (sự dao động): Sự chuyển động theo chu kỳ; trong trường hợp của Mặt Trời, một sự mở rộng hay co rút theo chu kỳ hay gần như chu kỳ của toàn bộ Mặt Trời hay một phần nào đó của nó.

Ozone (khí ôzon): Phân tử nặng của oxy chứa ba nguyên tử, không phải là hai nguyên tử như bình thường. Được biểu thị là O_3 .

Parabola (đường parabol): Một tiết diện nón có tâm sai 1,0; đường cong của chỗ giao nhau giữa một hình nón tròn và một mặt phẳng song song với đường thẳng đứng trong bề mặt của hình nón.

Parallax (thị sai): Một sự dịch chuyển biểu kiến của một sao lân cận là do sự chuyển động của Trái Đất chung quanh Mặt Trời; về số lượng, góc được trưng theo 1 AU (đơn vị thiên văn) với khoảng cách của một sao riêng biệt.

Parsec: Đơn vị đo cự ly trong thiên văn học; ngang bằng 3,26 năm ánh sáng. Tại cự ly 1 parsec, một sai của một arcsecond.

Pauli exclusion principle (nguyên lý loại trừ của Pauli): Nguyên lý cơ học về lượng tử, không có hai hạt nào cùng loại có thể có cùng vị trí và động lượng.

Peculiar velocity (vận tốc riêng): Vận tốc của một sao đối với tiêu chuẩn đứng yên cục bộ; nghĩa là, sự chuyển động trong không gian của nó, được hiệu chỉnh vì sự chuyển động của Mặt Trời đối với các sao lân cận.

Penumbra (vùng nửa bóng): Phần bên ngoài, không tối hoàn toàn của một cái bóng; vùng mà từ đó nguồn sáng không bị che khuất trọn vẹn.

Perfect radiator or blackbody (nguồn bức xạ hoàn hảo hay vật đen): Một vật thể hấp thụ và sau đó tái phát xạ tất cả bức xạ đi tới nó.

Periastron (điểm cận tinh): Vị trí trên quỹ đạo của một sao trong một hệ sao đôi ở đó nó nằm gần nhất đối với sao đồng hành.

Perigee (điểm cận địa): Vị trí trên quỹ đạo của một vệ tinh của Trái Đất ở đó nó nằm gần nhất với trung tâm của Trái Đất.

Perihelion (điểm cận nhật): Vị trí trên quỹ đạo của một vật thể quay chung quanh Mặt Trời ở đó nó nằm gần nhất với trung tâm của Mặt Trời.

Period-luminosity relation (quan hệ chu kỳ – độ trung): Mối quan hệ theo kinh nghiệm giữa các chu kỳ và các độ trung của một số sao biến quang.

Perturbation (sự nhiễu loạn): Hiệu ứng gây nhiễu, khi nhỏ bé, đối với sự chuyển động của một thiên thể như được dự đoán

theo một lý thuyết đơn giản, được tạo ra do một thiên thể thứ ba hay tác nhân khác bên ngoài.

Photochemistry (quang hoá học): Những sự biến đổi hóa học gây ra do bức xạ điện từ.

Photometry (trắc quang học): Phép đo về các cường độ của ánh sáng.

Photon (photon): Một đơn vị riêng của năng lượng điện từ.

Photosphere (quang quyển): Vùng của khí quyển mặt trời (hay sao) từ đó sự bức xạ liên tục thoát vào không gian.

Pixel: Một phần tử hình đơn lẻ trong một máy dò; thí dụ, một diode silicon riêng lẻ trong một CCD (máy cảm biến hình ảnh điện tử).

Plage (bãi biển của Mặt Trời): Một vùng sáng của bề mặt Mặt Trời quan sát được trong ánh sáng đơn sắc của một số vạch phổ.

Planck's constant (hằng số Planck): Hằng số về sự tỉ lệ giữa năng lượng của một photon với tần số của nó.

Planet (hành tinh): Bất kỳ cái nào trong số chín thiên thể lớn nhất quay quanh Mặt Trời hay bất kỳ các thiên thể tương tự nào có thể quay quanh các sao khác. Không giống như các ngôi sao, những hành tinh (vì phần lớn) không tỏa ra ánh sáng của riêng chúng, mà chỉ phản chiếu ánh sáng của ngôi sao trung tâm.

Planetarium (cung thiên văn): Một thiết bị quang học dùng để chiếu lên một màn ảnh hay một vòm cong các ngôi sao và hành tinh và các chuyển động biểu kiến của chúng trong bầu trời.

Planetary nebula (tinh vân hành tinh): Một lớp vỏ của chất khí được phún xuất, và mở rộng ra, từ một loại sao cực nóng

nào đó đang ở gần đoạn cuối của cuộc đời nó.

Planetesimals (các hành tinh nhỏ bé): Các vật thể giả định, đường kính từ hàng chục tới hàng trăm kilômét, đã hình thành trong tinh vân mặt trời như là một bước trung gian giữa các hạt nhỏ li ti và các vật thể hành tinh lớn hơn mà chúng ta thấy ngày nay. Các sao chổi và một số tiểu hành tinh (asteroids) có thể là những "planetesimal" còn sót lại.

Plasma: Chất khí nóng bị ion hóa.

Plate tectonics (sự kiến tạo mảng): Sự chuyển động của các phần hay các mảng của lớp bên ngoài của Trái Đất bên trên lớp vỏ trái đất nằm bên dưới.

Polar axis (trục cực): Trục xoay của Trái Đất; ngoài ra, một trục trong giá đỡ của kính viễn vọng nằm song song với trục của Trái Đất.

Population I and II (cư dân loại I và II): Hai hạng sao (và các hệ sao), được phân loại theo các đặc điểm quang phổ, thành phần hóa học, vận tốc xuyên tâm, độ tuổi, và vị trí của chúng trong Thiên Hà.

Positron (hạt positron): Một electron với điện tích dương, không phải là điện tích âm; hạt phản-electron.

Potential energy (thế năng): Năng lượng dự trữ có thể biến đổi thành các dạng khác; đặc biệt năng lượng hấp dẫn.

Precession (of Earth) (sự tiến động (của Trái Đất): Sự chuyển động chậm, hình nón của trục xoay của Trái Đất, chủ yếu được tạo ra do lực hấp dẫn của Mặt Trăng và Mặt Trời lên chỗ phình xích đạo của Trái Đất.

Precession of the equinoxes (sự tiến động của những điểm phân): Sự chuyển động chậm về phía tây của các điểm phân

đọc theo đường hoàng đạo là kết quả do sự tiến động mà ra.

Pressure (áp suất): Lực trên một đơn vị diện tích; được diễn tả bằng các đơn vị atmosphere hay pascal.

Prime focus (tiêu điểm sơ cấp): Điểm trong một kính viễn vọng ở đó vật kính hội tụ ánh sáng.

Prime meridian (kinh tuyến gốc): Kinh tuyến của Trái Đất đi ngang qua địa điểm của Đài thiên văn Royal Greenwich; kinh độ 0° .

Primitive (nguyên thủy hay nguyên sơ): Trong khoa học hành tinh và văn thạch học, một vật thể hay đá bị biến đổi một ít, về mặt hoá học, kể từ khi nó hình thành, và do đó là đại diện của những điều kiện trong tinh vân mặt trời tại thời điểm hình thành của hệ mặt trời. Cũng được dùng để nói đến thành phần hoá học của khí quyển đã không trải qua sự tiến hóa mạnh mẽ về hoá học.

Primitive meteorite (thiên thạch nguyên thủy): Thiên thạch đã không bị biến đổi trầm trọng về mặt hoá học kể từ khi nó ngưng tụ từ tinh vân mặt trời; trong thiên thạch học, gọi là một chondrite (hoặc chondrite bình thường hoặc chondrite có carbon).

Primitive rock (đá nguyên thủy): Bất kỳ loại đá nào không phải chịu đựng nhiệt độ lớn và áp suất cao, và do đó vẫn là đại diện cho phần ngưng tụ đầu tiên từ tinh vân mặt trời – không bao giờ được tìm thấy trên bất cứ vật thể nào đủ lớn đã trải qua sự nóng chảy và sự phân biệt.

Principle of equivalence (nguyên lý tương đương): Nguyên lý cho rằng lực hấp dẫn và một sự gia tốc thích hợp là không thể phân biệt được trong phạm vi một môi trường cục bộ thích đáng.

Prism (lăng kính): Một miếng thủy tinh có dạng hình nêm được sử dụng để tán sắc ánh sáng trắng thành quang phổ.

Prominence (tai lửa): Một hiện tượng trong quang mặt trời thường hiện ra như một ngọn lửa bên trên rìa mép của Mặt Trời.

Proper motion (chuyển động riêng): Sự thay đổi góc hàng năm về hướng của một ngôi sao khi được nhìn thấy từ Mặt Trời.

Proton (hạt proton hay dương điện tử): Một hạt hạ nguyên tử nặng, mang một điện tích dương; một trong số hai thành phần chính của nhân nguyên tử.

Proton-proton cycle (chu kỳ proton-proton): Một loạt các phản ứng nhiệt hạch qua đó các nhân của hydro được tích tụ thành các nhân của helium.

Protoplanet or – star or – galaxy (hành tinh nguyên thủy hay sao nguyên thủy hay thiên hà nguyên thủy): Vật liệu ban đầu từ đó một hành tinh (hay ngôi sao hay thiên hà) đã cô đặc.

Pulsar (pulsar hay sao xung): Một nguồn vô tuyến biến đổi của một cỡ góc nhỏ, phát ra những xung vô tuyến rất nhanh trong các chu kỳ rất đều đặn, có phạm vi từ những phần tử của giây cho tới vài giây.

Pulsating variable (sao biến quang mạch động): Một loại sao biến quang dao động về kích thước và độ trung.

Quantum efficiency (hiệu suất lượng tử): Tỷ số giữa số lượng của photon đi tới một máy dò với số lượng thực tế dò được.

Quantum mechanics (cơ học lượng tử): Ngành vật lý học nghiên cứu về cấu trúc của các nguyên tử, và sự tương tác của chúng với nhau và với sự bức xạ.

Quasar (quaza hay chuẩn tinh): Một vật thể có độ dịch chuyển đỏ rất cao trông như một ngôi sao, được cho là nằm ngoài thiên hà và chiếu sáng mạnh; một nhân thiên hà năng động.

Radar (ra-da): Kỹ thuật để truyền sóng vô tuyến tới một vật thể và sau đó dò ra bức xạ mà vật thể phản xạ trở về máy phát; được sử dụng để đo đặc khoảng cách tới một vật thể mục tiêu và sự chuyển động của nó.

Radial velocity (vận tốc xuyên tâm): Thành phần của vận tốc tương đối nằm trong đường ngắm; sự chuyển động đi tới hay ra xa khỏi người quan sát.

Radial velocity curve (đường cong của vận tốc xuyên tâm): Một sơ đồ về sự biến đổi của vận tốc xuyên tâm với thời gian dành cho sao đôi hay sao biến quang.

Radiant (of meteor shower) (điểm phát xạ [của mưa sao băng]): Vị trí trên bầu trời mà các sao băng thuộc một trận mưa sao băng dường như phát ra từ đó.

Radiation (sự bức xạ): Một cách thức chuyển tải năng lượng qua đó năng lượng được truyền đi qua một khoảng chân không; cũng chỉ chính năng lượng được truyền đi.

Radiation pressure (áp suất bức xạ): Sự chuyển giao động lượng được thực hiện bởi bức xạ điện từ tới một thiên thể mà sự bức xạ chạm tới hay đụng phải.

Radioactive dating (sự xác định phóng xạ): Kỹ thuật để xác định độ tuổi của các loại đá hay các mẫu vật khác bởi lượng phân rã phóng xạ của các nguyên tố phóng xạ nào đó được chứa bên trong.

Radioactivity (radioactive decay) (sự phóng xạ) (sự phân rã phóng xạ): Quá trình qua đó một số loại nhân nguyên tử phân hủy một cách tự nhiên, cùng với sự

phát xạ tự nhiên của các hạt hạ nguyên tử và các tia gamma.

Radio galaxy (thiên hà vô tuyến): Một thiên hà phát ra các lượng bức xạ vô tuyến lớn hơn mức trung bình.

Radio telescope (kính viễn vọng vô tuyến): Kính viễn vọng được thiết kế để tiến hành các cuộc quan sát về các bước sóng vô tuyến.

Reddening (interstellar) (sự ửng đỏ [giữa các vì sao]): Sự ửng đỏ của ánh sáng sao đi qua lớp bụi giữa các vì sao, được tạo ra bởi vì bụi tán xạ ánh sáng xanh hiệu quả hơn ánh sáng đỏ.

Red giant (sao khổng lồ đỏ): Sao lớn, nguội có độ trung cao; sao chiếm cứ phần trên bên phải của sơ đồ Hertzsprung-Russell.

Redshift (sự dịch chuyển đỏ): Sự dịch chuyển tới các bước sóng dài hơn của ánh sáng, tiêu biểu là sự dịch chuyển Doppler được tạo ra do sự chuyển động của nguồn ra xa khỏi người quan sát.

Reducing (sự khử): Trong hoá học, nói đến các điều kiện trong đó hydro chiếm ưu thế hơn hần oxy, để cho hầu hết các nguyên tố khác hình thành các hợp chất với hydro. Trong các điều kiện khử tuyệt đối, hydro tự do (H_2) hiện diện, còn oxy tự do (O_2) không thể tồn tại.

Reflecting telescope (kính viễn vọng phản xạ): Kính viễn vọng với bộ phận quang học chính (vật kính) là một gương lõm.

Reflection nebula (tinh vân phản xạ): Một đám mây bụi tương đối đậm đặc trong không gian giữa các vì sao được chiếu sáng bởi ánh sáng sao bị phản xạ.

Refracting telescope (kính viễn vọng khúc xạ): Kính viễn vọng với bộ phận

quang học chính (vật kính) là một thấu kính hay một hệ thống thấu kính.

Refraction (*sự khúc xạ*): Sự bẻ cong các tia sáng đi qua từ một môi trường trong suốt (hay khoảng chân không) tới một môi trường trong suốt khác.

Relativistic particle (or electron) (*hạt tương đối*) (*hay electron*): Một hạt (electron) di chuyển với tốc độ gần như ánh sáng.

Relativity (*thuyết tương đối*): Một lý thuyết được phát biểu có hệ thống bởi Einstein, mô tả các mối quan hệ giữa các phép đo về các hiện tượng vật lý do hai quan sát viên khác nhau, đang ở trong sự chuyển động tương đối với vận tốc không đổi (thuyết tương đối đặc biệt); hay mô tả một trường hấp dẫn có thể được thay thế bởi một độ cong của không-thời gian (thuyết tương đối tổng quát).

Resolution (*độ phân giải*): Mức độ mà với nó các chi tiết tinh tế trong một hình ảnh được tách biệt ra, hay chi tiết nhỏ nhất có thể được phân biệt trong một hình ảnh.

Resonance (*sự cộng hưởng*): Một điều kiện về quỹ đạo trong đó một vật thể phải chịu các sự nhiễu loạn có chu kỳ của lực hấp dẫn do một vật thể khác, thông thường phần lớn phát sinh khi hai vật thể quay quanh một vật thể thứ ba có các chu kỳ quay đơn thuần là các bội số hay phân số giữa chúng với nhau.

Retrograde (*rotation or revolution*) (*thụt lùi*) (*xoay tròn hay quay tròn*): Giật lùi đối với hướng chuyển động thông thường trong hệ mặt trời; ngược chiều kim đồng hồ khi được quan sát từ phía Bắc, và đi từ đông sang tây thay vì từ tây sang đông.

Retrograde motion (*chuyển động thụt lùi*): Sự chuyển động biểu kiến về hướng

tây của một hành tinh trên thiên cầu hay đối với các vì sao.

Revolution (*sự quay tròn*): Sự chuyển động của một thiên thể chung quanh một thiên thể khác.

Rift zone (*vùng rạn nứt*): Trong địa chất học, một nơi ở đó vỏ trái đất đang bị xé ra từng mảng bởi các lực bên trong, thông thường liên quan với sự phun xuất vật liệu mới từ lớp vỏ Trái Đất và với sự tách ra chậm chạp của các mảng kiến tạo.

Right ascension (*độ xích kinh* hay *tọa độ bầu trời*): Một hệ tọa độ để đo đạc các vị trí đông-tây của các thiên thể; góc đo được về phía đông dọc theo xích đạo trời từ điểm xuân phân tới vòng giờ (hour circle) đi ngang qua một thiên thể.

Rotation (*sự xoay tròn*): Sự xoay của một thiên thể chung quanh một trục chạy xuyên qua nó.

RR Lyrae variable (*sao biến quang RR Lyrae*): Một trong hạng các sao mạch động khổng lồ với các chu kỳ chưa tới một ngày.

Runaway greenhouse effect (*hiệu ứng nhà kính nhanh*): Quá trình qua đó sự nung nóng một hành tinh dẫn tới sự gia tăng về hiệu ứng nhà kính trong khí quyển của nó và do vậy đưa tới sự nung nóng thêm nữa, theo cách đó làm thay đổi nhanh chóng thành phần khí quyển và nhiệt độ bề mặt của nó.

Satellite (*vệ tinh*): Một vật thể quay quanh một hành tinh.

Schwarzschild radius (*bán kính Schwarzschild*): Xem *event horizon*

Scientific method (*phương pháp khoa học*): Qui trình mà các nhà khoa học tuân theo để tìm hiểu thế giới tự nhiên: (1) sự quan sát các hiện tượng hay kết quả của

những cuộc thí nghiệm; (2) sự lập thành công thức của các giả thuyết mô tả các hiện tượng này và phù hợp với khối kiến thức có sẵn; (3) sự thử nghiệm các giả thuyết này bằng cách chú ý xem chúng có dự đoán và mô tả các hiện tượng mới hay kết quả của các thí nghiệm mới một cách hợp lý hay không; (4) sự sửa đổi hay bác bỏ các giả thuyết không được xác nhận bởi các cuộc quan sát hay thí nghiệm. (P)

Sedimentary rock (*đá trầm tích*): Bất kỳ loại đá nào được hình thành do sự lắng đọng và gắn kết từ các hạt vật liệu mịn.

Seeing (*tầm nhìn*): Sự bất ổn định của khí quyển Trái Đất, làm lu mờ các hình ảnh của kính viễn vọng. Tầm nhìn tốt có nghĩa là khí quyển đang ổn định.

Seismic waves (*các sóng địa chấn*): Những sự rung động di chuyển qua phần bên trong Trái Đất là do các trận động đất.

Seismology (solar) (*chấn động học (Mặt Trời)*): Môn học nghiên cứu các thay đổi nhỏ về vận tốc xuyên tâm của Mặt Trời nói chung hay những vùng nhỏ bé trên bề mặt Mặt Trời. Những sự phân tích về các thay đổi vận tốc này có thể được sử dụng để suy ra cấu trúc bên trong của Mặt Trời.

Seismology (terrestrial) (*chấn động học (Trái Đất)*): Môn nghiên cứu về các trận động đất, các điều kiện tạo ra chúng, và cấu trúc bên trong của Trái Đất như được suy ra từ các sự phân tích về các sóng địa chấn.

Semimajor axis (*nửa trục chính*): Phân nửa trục chính của một tiết diện nón, chẳng hạn như một hình êlip.

SETI (*The search for extraterrestrial intelligence*): Cuộc tìm kiếm trí thông

minh ngoài trái đất, thường được áp dụng cho các cuộc truy tìm các tín hiệu vô tuyến từ các nền văn minh khác. (E)

Seyfert galaxy (*thiên hà Seyfert*): Một thiên hà thuộc hạng của các thiên hà với các phần nhân thiên hà năng động; thiên hà mà phần nhân của nó cho thấy các vạch phát xạ sáng; một trong hạng các thiên hà đã được C. Seyfert mô tả trước tiên.

Shepherd satellite (*vệ tinh mục đồng*): Thuật ngữ không chính thức dành cho một vệ tinh được cho là giữ nguyên cấu trúc của một vành đai hành tinh qua ảnh hưởng cận kề của lực hấp dẫn.

Sidereal period (*chu kỳ thiên văn*): Chu kỳ quay của một thiên thể chung quanh một thiên thể khác đã được đo lường đối với các vì sao.

Sidereal time (*giờ thiên văn*): Thời gian trên Trái Đất được đo lường đối với các vì sao, thay vì Mặt Trời; góc giờ cục bộ của điểm xuân phân.

Sidereal year (*năm thiên văn*): Chu kỳ quay của Trái Đất chung quanh Mặt Trời đối với các vì sao.

Sign (of zodiac) (*cung (của hoàng đạo)*): Thuật ngữ của khoa chiêm tinh dành cho bất cứ phần nào trong 12 phần bằng nhau dọc theo đường hoàng đạo, mỗi phần có độ dài là 30°. Do sự tiến động, các cung này ngày nay không còn nằm thẳng hàng với các chòm sao mà từ đó chúng đã được đặt tên.

Singularity (*điểm kỳ dị*): Một điểm lý thuyết của thể tích zero và mật độ vô hạn mà với nó bất kỳ vật thể nào trở thành một lỗ đen cũng phải sụp đổ, theo lý thuyết tương đối tổng quát.

SNC meteorite (*thiên thạch SNC*): Một loại thiên thạch có chứa bazan, hiện nay,

được nhiều nhà khoa học về hành tinh tin là các mảnh vụn bị tung ra từ Sao Hỏa do va chạm.

Solar activity (*sự hoạt động của mặt trời*): Các hiện tượng của khí quyển mặt trời; các vết đen mặt trời, các bão biển, và các hiện tượng có liên quan.

Solar antapex (*điểm đối apex của mặt trời*): Hướng mà Mặt Trời đang di chuyển ra xa khỏi đó đối với tiêu chuẩn đứng yên cục bộ.

Solar apex (*điểm apex của mặt trời*): Hướng mà Mặt Trời đang di chuyển về phía đó đối với tiêu chuẩn đứng yên cục bộ.

Solar eclipse (*nhật thực*): Một sự che khuất Mặt Trời bởi Mặt Trăng, bị gây ra do sự đi qua của Mặt Trăng ở phía trước Mặt Trời. Các hiện tượng nhật thực chỉ có thể xảy ra vào thời gian của trăng non (hay trăng thượng tuần).

Solar motion (*sự chuyển động của mặt trời*): Sự chuyển động của mặt trời, hay vận tốc của Mặt Trời, đối với tiêu chuẩn đứng yên cục bộ.

Solar nebula (*tinh vân mặt trời*): Đám mây khí và bụi mà từ đó hệ mặt trời đã hình thành.

Solar seismology (*địa chấn học mặt trời*): Môn nghiên cứu về các sự xung động hay dao động của Mặt Trời để xác định các đặc điểm của phần bên trong của Mặt Trời.

Solar system (*hệ mặt trời*): Hệ thống của Mặt Trời và các hành tinh, các vệ tinh của chúng, các tiểu hành tinh, các sao chổi, các thiên thạch, và các vật thể khác quay chung quanh Mặt Trời.

Solar time (*giờ mặt trời*): Giờ dựa vào Mặt Trời; thông thường góc giờ của Mặt Trời cộng thêm 12 giờ.

Solar wind (*gió mặt trời*): Một luồng các hạt mang điện, nóng, rời khỏi Mặt Trời.

Solstice (*ngày chí*): Một trong hai vị trí trên thiên cầu ở đó Mặt Trời đạt tới các khoảng cách tối đa của nó ở phía bắc và phía nam của xích đạo trời; thời điểm trong năm khi mà ánh sáng ban ngày là dài nhất và ngắn nhất.

Spacetime (*không-thời-gian*): Hệ thống của một tọa độ thời gian và ba tọa độ không gian, đối với hệ thống này thời gian và vị trí của một biến cố có thể được xác định.

Space velocity or space motion (*vận tốc không gian hay sự chuyển động của không gian*): Vận tốc của một ngôi sao đối với Mặt Trời.

Spectral class (or type) (*lớp phổ*) (*hay phổ loại*): Sự phân loại các sao theo nhiệt độ của chúng sử dụng các đặc điểm của quang phổ của chúng; các loại phổ là O, B, A, F, G, K, M.

Spectral line (*vạch phổ hay phổ vạch*): Sự bức xạ tại một bước sóng riêng biệt của ánh sáng được tạo ra do sự phát xạ hay hấp thụ năng lượng bởi một nguyên tử.

Spectral sequence (*chuỗi quang phổ*): Chuỗi của các lớp quang phổ của các sao được sắp xếp theo thứ tự của nhiệt độ gia tăng của các sao trong các lớp phổ này.

Spectrometer (*phổ kế*): Một dụng cụ để thu được một quang phổ; trong thiên văn học, thông thường được gắn vào kính viễn vọng để ghi nhận quang phổ của một ngôi sao, thiên hà, hay thiên thể khác.

Spectroscopic binary star (*sao đôi quang phổ*): Một sao đôi trong đó các thành phần không được phân giải về mặt quang học, nhưng tính chất cặp đôi của chúng được biểu thị bởi các biến đổi

theo chu kỳ về vận tốc xuyên tâm, chứng tỏ sự chuyển động theo quỹ đạo.

Spectroscopic parallax (thị sai quang phổ): Thị sai (hay cự ly) của một sao được suy ra bằng cách so sánh độ lớn biểu kiến của ngôi sao với độ lớn tuyệt đối của nó cũng như được suy luận từ các đặc điểm quang phổ của nó.

Spectroscopy (quang phổ học): Môn học nghiên cứu về các quang phổ.

Spectrum (quang phổ): Một dãy của các màu sắc hay các bước sóng thu được khi ánh sáng (hay bức xạ khác) từ một nguồn sáng được tán sắc, như trong việc đưa nó đi qua một lăng kính hay con cách (grating).

Speed (tốc độ): Mức độ mà với nó một vật thể di chuyển không có liên quan gì tới chiều chuyển động của nó; trị số số lượng hay trị số tuyệt đối của vận tốc.

Spicule (gai mặt trời): Một chùm tia của vật liệu dâng lên trong sắc quyển của Mặt Trời.

Spiral arms (các nhánh xoắn ốc): Nhánh (hay các vùng dài đậm đặc hơn) của vật liệu giữa các vì sao và các sao trẻ xoắn cuộn theo một mặt phẳng từ phần nhân trung tâm của một thiên hà xoắn ốc.

Spiral density wave (sóng đậm đặc xoắn ốc): Một cơ chế dành cho sự phát sinh của cấu trúc xoắn ốc trong các thiên hà; sóng đậm đặc xoắn ốc tương tác với vật chất giữa các vì sao và kích thích sự hình thành sao. Các sóng đậm đặc xoắn ốc cũng được nhìn thấy trong các vành đai của Sao Thổ (Saturn).

Spiral galaxy (thiên hà xoắn ốc): Một thiên hà phẳng dẹt, xoay tròn với các nhánh giống như vòng pháo hoa của vật liệu giữa các vì sao và các sao trẻ xoáy cuộn từ phần nhân của nó.

Spring tide (triều cường): Mức thủy triều cao nhất trong tháng, được tạo ra khi Mặt Trăng hoặc gần pha tròn đầy hay pha thượng tuần.

Standard bulb (bóng đèn tiêu chuẩn): Một thiên thể với độ trung đã biết; một vật thể như thế có thể được sử dụng để xác định các cự ly.

Star (sao): Một quả cầu khí chiếu sáng bởi năng lượng riêng của nó.

Star cluster (quần tinh hay chùm sao): Một tập hợp các sao giữ chặt với nhau do lực hút hồ tương của chúng.

Stefan-Boltzmann law (định luật Stefan-Boltzmann): Một công thức từ đó mức độ mà một vật đen bức xạ năng lượng có thể được tính toán; mức độ phát xạ năng lượng toàn phần từ một đơn vị diện tích của một vật đen thì tỉ lệ với lũy thừa bốn của nhiệt độ tuyệt đối của nó.

Stellar evolution (sự tiến hoá của sao): Những sự thay đổi xảy ra trong các đặc điểm của các sao khi nó già đi.

Stellar model (mô hình sao): Kết quả của sự tính toán lý thuyết về các điều kiện vật lý trong các lớp khác nhau của phần bên trong của sao.

Stellar parallax (thị sai sao): Xem *parallax*

Stellar wind (gió sao): Sự thoát ra của chất khí từ một ngôi sao, đôi khi với tốc độ cao tới hàng trăm kilômét trên giây.

Stony-iron meteorite (thiên thạch đá-sắt): Một loại thiên thạch là hỗn hợp của các vật liệu nickel-sắt và silicat.

Stony meteorite (thiên thạch đá): Loại thiên thạch được cấu tạo hầu hết từ vật liệu chứa đá.

Stratosphere (tầng bình lưu): Lớp khí quyển của Trái Đất, bên trên tầng đối

lưu (ở đó phần lớn thời tiết diễn ra) và dưới tầng điện ly.

Strong nuclear force or strong interaction (*lực hạt nhân mạnh* hay *sự tương tác mạnh*): Lực kết chặt các phần của nhân nguyên tử với nhau.

Subduction zone (*vùng giảm trừ*): Trong địa chất học trái đất, một vùng ở đó một mảng vỏ trái đất bị ép mạnh dưới một mảng khác, thông thường liên quan tới các trận động đất, hoạt động của núi lửa, và sự hình thành các hố sâu dưới đáy đại dương.

Summer solstice (*ngày hạ chí*): Vị trí trên thiên cầu mà Mặt Trời đạt tới khoảng cách lớn nhất của nó ở phía bắc của xích đạo trời; ngày với lượng ánh sáng ban ngày dài nhất.

Sun (*Mặt Trời*): Ngôi sao mà Trái Đất và các hành tinh khác quay chung quanh.

Sunspot (*vết đen mặt trời*): Một vùng nguội tạm thời trong quang quyển của mặt trời, hiện ra tối do sự tương phản với lớp quang quyển nóng hơn bao quanh.

Sunspot cycle (*chu kỳ vết đen mặt trời*): Chu kỳ bán thường xuyên 11 năm mà với nó tần số của các vết đen mặt trời dao động.

Supercluster (*chùm siêu thiên hà*): Một vùng không gian rộng lớn (bề ngang hơn 100 triệu năm ánh sáng) ở đó các nhóm và các chùm thiên hà được tập trung nhiều hơn; một chùm của những chùm thiên hà.

Supergiant (*sao siêu khổng lồ*): Ngôi sao có độ trung rất cao và nhiệt độ tương đối thấp.

Supernova (*siêu tân tinh*): Một vụ nổ đánh dấu giai đoạn tiến hoá cuối cùng của một ngôi sao. Siêu tân tinh loại I xuất hiện khi một sao lùn trắng phát triển, bồi dần lên đủ vật chất để vượt qua giới

hạn Chandrasekhar, rồi sụp đổ, và bùng nổ. Siêu tân tinh loại II đánh dấu sự sụp đổ cuối cùng của một sao khổng lồ.

Surface gravity (*trọng lực bề mặt*): Trọng lực của một đơn vị khối lượng tại bề mặt của một vật thể.

Synchrotron radiation (*bức xạ sincrôtron*): Bức xạ được tỏa ra bởi các hạt mang điện được gia tốc trong các từ trường và di chuyển với tốc độ gần với tốc độ ánh sáng.

Tail (of a comet) (*đuôi (của sao chổi)*): Xem *dust tail of a comet* và *plasma*

Tangential (transverse) velocity (*vận tốc tiếp tuyến [ngang]*): Thành phần của vận tốc trong không gian của một sao nằm trong mặt phẳng của bầu trời.

Tectonic (*sự kiến tạo*): Các đặc điểm địa chất do từ các ứng suất và áp lực trong vỏ của hành tinh tạo ra. Các lực kiến tạo có thể đưa tới các trận động đất và sự chuyển động của vỏ trái đất.

Temperature (*nhiệt độ*): Đơn vị đo lường về việc các hạt trong một vật thể đang di chuyển hay rung động tại chỗ nhanh tới mức nào; đơn vị đo lường của nhiệt năng trung bình trong một vật thể.

Temperature (Celsius; formerly centigrade) (*nhiệt độ (Celsius; trước đây là xăng-ti-grát)*): Nhiệt độ đo được trên thang đo ở đó nước đông đặc ở 0° và sôi ở 100°.

Temperature (color) (*nhiệt độ (màu sắc)*): Nhiệt độ của một ngôi sao khi được ước tính từ cường độ của bức xạ sao với hai hay nhiều màu hoặc bước sóng.

Temperature (effective) (*nhiệt độ (hiệu dụng)*): Nhiệt độ của một vật thể đen sẽ bức xạ cùng một tổng số năng lượng mà một vật thể riêng biệt phát xạ, chẳng hạn như một ngôi sao.

Temperature (excitation) (nhiệt độ) (sự kích thích): Nhiệt độ của một ngôi sao khi được ước tính từ cường độ tương đối của các vạch trong quang phổ của nó, bắt nguồn từ các nguyên tử trong các giai đoạn kích thích khác nhau.

Temperature (Fahrenheit) (nhiệt độ) (Fahrenheit): Nhiệt độ đo được trên thang đo ở đó nước đông đặc ở 32° và sôi ở 212° .

Temperature (ionization) (nhiệt độ) (sự ion hóa): Nhiệt độ của một sao khi được ước tính từ các cường độ tương đối của các vạch trong quang phổ của nó, xuất phát từ các nguyên tử trong các giai đoạn khác nhau của sự ion hóa.

Temperature (Kelvin) (nhiệt độ) (Kelvin): Nhiệt độ tuyệt đối đo được theo các độ Celsius, với điểm zero ở zero tuyệt đối.

Temperature (radiation) (nhiệt độ) (sự bức xạ): Nhiệt độ của một vật đen bức xạ cùng số năng lượng trong một vùng phổ nhất định như một vật thể riêng biệt bức xạ.

Terrestrial planet (hành tinh địa cầu): Bất cứ hành tinh nào trong các hành tinh Sao Thủy, Sao Kim, Trái Đất hay Sao Hỏa; đôi khi Mặt Trăng hay Pluto được đưa vào trong danh sách.

Theory (lý thuyết): Một tập hợp các giả thuyết và định luật đã được chứng minh đầy đủ để áp dụng cho một phạm vi rộng lớn các hiện tượng liên quan với một vật thể riêng biệt.

Thermal energy (nhiệt năng): Năng lượng liên quan với các chuyển động của phân tử hay nguyên tử trong một chất.

Thermal equilibrium (sự cân bằng nhiệt): Sự cân bằng giữa sự đi vào và thoát ra của nhiệt trong một hệ thống.

Thermal radiation (bức xạ nhiệt): Bức xạ được toả ra bởi bất cứ vật thể hay chất khí nào không phải ở zero tuyệt đối.

Thermonuclear energy (năng lượng nhiệt hạt nhân): Năng lượng liên quan với các phản ứng nhiệt hạt nhân hay có thể được phóng thích qua các phản ứng nhiệt hạt nhân.

Thermonuclear reaction (phản ứng nhiệt hạt nhân): Phản ứng hạt nhân hay sự chuyển giao hạt nhân do từ các sự va chạm giữa các hạt được cung cấp các vận tốc cao (bằng cách nung nóng chúng).

Tidal force (lực thủy triều): Lực hấp dẫn chênh lệch có khuynh hướng làm biến dạng vật thể.

Tidal stability limit (giới hạn ổn định thủy triều): Khoảng cách – xấp xỉ 2,5 bán kính hành tinh tính từ trung tâm – mà trong đó các lực hấp dẫn chênh lệch (hay thủy triều) mạnh hơn lực hút hồ tương giữa hai vật thể quay tròn gần nhau. Trong vòng giới hạn này, các mảnh vỡ chắc chắn không thể bồi dần lên hay tự hợp thành một vật thể lớn hơn. Còn gọi là giới hạn Roche.

Tide (thủy triều): Sự biến dạng của một vật thể bởi lực hấp dẫn chênh lệch được tác động lên nó do một vật thể khác; trên Trái Đất, sự biến dạng của bề mặt đại dương bởi lực hấp dẫn chênh lệch do Mặt Trăng và Mặt Trời gây ra.

Transition region (vùng chuyển tiếp): Vùng trong khí quyển Mặt Trời ở đó nhiệt độ gia tăng rất nhanh từ các nhiệt độ tương đối thấp là đặc điểm của sắc quyển tới nhiệt độ cao của quang mặt trời.

Triple-alpha process (quá trình tam hợp alpha): Một loạt hai phản ứng hạt nhân qua đó ba nhân helium được tích tụ thành một nhân carbon.

Tropical year (năm nhiệt đới): Chu kỳ quay của Trái Đất chung quanh Mặt Trời đối với điểm xuân phân.

Tropic of Cancer (Hạ chí tuyến): Vĩ tuyến (vòng tròn) $23,5^{\circ}$ Bắc

Tropic of Capricorn (Đông chí tuyến): Vĩ tuyến (vòng tròn) $23,5^{\circ}$ Nam.

Troposphere (tầng đối lưu): Tầng thấp nhất của khí quyển Trái Đất, ở đó hầu hết các hiện tượng thời tiết xảy ra.

Turbulence (sự cuộn xoáy): Những chuyển động ngẫu nhiên của các khối khí, như trong khí quyển của một sao.

21-cm line (vạch 21 cm): Một vạch trong quang phổ của hydro trung hòa với bước sóng vô tuyến 21 cm.

Ultraviolet radiation (bức xạ tử ngoại): Bức xạ điện từ của các bước sóng ngắn hơn các bước sóng thấy được ngắn nhất; bức xạ của các bước sóng trong phạm vi từ 10 tới 400 nm.

Umbra (vùng bóng): Phần trung tâm, hoàn toàn tối của một bóng.

Uncertainty principle (nguyên lý bất định): Nguyên lý của Heisenberg. Về cơ bản là không thể thực hiện các phép đo cùng lúc về vị trí và vận tốc với độ chính xác vô hạn của một hạt.

Universe (vũ trụ): Toàn bộ mọi vật chất, bức xạ và không gian; mọi thứ có thể tiếp cận được với các cuộc quan sát.

Variable star (sao biến quang): Một sao thay đổi về độ trung.

Velocity (vận tốc): Tốc độ và hướng mà một vật thể đang di chuyển; thí dụ, 44 km/s về phía cực bắc của thiên hà.

Velocity of escape (vận tốc thoát hay vận tốc bức phá): Tốc độ mà một vật thể phải di chuyển để đi vào một quỹ đạo parabol chung quanh một vật thể

khác (chẳng hạn như Trái Đất), và do đó thường xuyên di chuyển ra xa khỏi vùng lân cận của vật thể đó.

Vernal equinox (điểm xuân phân): Vị trí trên thiên cầu ở đó Mặt Trời gặp phải xích đạo trời đi ngang qua từ nam tới bắc; thời điểm trong năm khi ngày và đêm bằng nhau.

Very-long-baseline interferometry (VLBI) (Dãy giao thoa kế đường dây rất dài): Một kỹ thuật của thiên văn vô tuyến, qua đó các tín hiệu từ các kính viễn vọng cách nhau hàng ngàn cây số, được kết hợp để có được độ phân giải rất cao bằng cách để cho các sóng từ các địa điểm khác nhau giao thoa lẫn nhau.

Visual binary star (sao đôi thấy được): Một sao đôi trong đó hai thành phần được phân giải bằng kính viễn vọng.

Void (chỗ trống hay khoảng không): Một vùng giữa các chùm thiên hà và các chùm siêu thiên hà có vẻ như không có các thiên hà một cách tương đối.

Volatile materials (vật liệu bay hơi): Các vật liệu ở thể khí với nhiệt độ tương đối thấp. Đây là một thuật ngữ tương đối, thường áp dụng cho các chất khí trong các khí quyển hành tinh và cho các loại băng phổ biến (H_2O , CO_2 và vân vân), nhưng đôi khi nó cũng được dùng cho các nguyên tố chẳng hạn như cadmium, kẽm, chì, và rubidium hình thành các chất khí ở nhiệt độ lên tới 1000K. (Những chất này được gọi là các nguyên tố bay hơi, cũng như ngược với các nguyên tố chịu nhiệt [hay chịu lửa]).

Volume (thể tích): Đơn vị đo lường của toàn bộ không gian do một vật thể chiếm cứ.

Watt: Một đơn vị công suất (năng lượng trên một đơn vị thời gian).

Wavelength (*bước sóng* hay *độ dài sóng*): Khoảng cách của các đỉnh hay các vùng lõm của một làn sóng.

Weak nuclear force or weak interaction (*lực hạt nhân yếu* hay *sự tương tác yếu*): Lực hạt nhân liên quan với sự phân rã phóng xạ. Lực yếu này được thể hiện rõ nét bởi tốc độ chậm chạp của một số phản ứng hạt nhân – chẳng hạn như sự phân rã của neutron, xảy ra với chu kỳ bán phân rã 11 phút.

Weight (*trọng lượng*): Đơn vị đo lường lực hấp dẫn.

White dwarf (*sao lùn trắng*): Một ngôi sao đã cạn kiệt hầu hết hay toàn bộ nhiên liệu của nó và đã sụp đổ tới một kích thước rất nhỏ; chẳng hạn như ngôi sao ở gần giai đoạn sau cùng của cuộc đời nó.

Wien's law (*định luật Wien*): Công thức liên hệ giữa nhiệt độ của vật đen với bước sóng mà nó phát ra cường độ bức xạ lớn nhất.

Winter solstice (*ngày đông chí*): Vị trí trên thiên cầu ở đó Mặt Trời đạt tới khoảng cách lớn nhất ở phía nam của xích đạo trời; thời điểm trong năm với lượng ánh sáng ban ngày ngắn nhất.

Wolf-Rayet star (*sao Wolf-Rayet*): Một trong hạng các sao rất nóng phóng ra các lớp vỏ khí với vận tốc rất cao.

X rays (*các tia X*): Các photon với bước sóng trung gian giữa bước sóng của bức

xạ tử ngoại và các tia gamma.

X-rays stars (*các sao tia X*): Các sao (khác hơn Mặt Trời) tỏa ra các lượng bức xạ có thể quan sát được với các tần số của tia X.

Year (*năm*): Chu kỳ quay của Trái Đất chung quanh Mặt Trời.

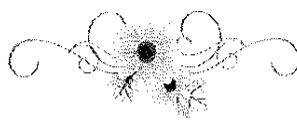
Zeeman effect (*hiệu ứng Zeeman*): Sự tách ra hay mở rộng của các vạch phổ do bởi các từ trường.

Zenith (*thiên đỉnh*): Vị trí trên thiên cầu đối nghịch với hướng của trọng lực; hay hướng đối nghịch với hướng được biểu thị bởi một quả dọi, vị trí ngay bên trên người quan sát.

Zero-age main sequence (*chuỗi sao chính zero tuổi*): Chuỗi sao chính thức trên sơ đồ H – R dành cho một hệ sao đã hoàn tất sự co rút của chúng từ vật chất giữa các vì sao và hiện nay đang nhận lấy toàn bộ năng lượng của chúng từ các phản ứng hạt nhân, nhưng thành phần hoá học của chúng vẫn chưa bị biến đổi bởi các phản ứng hạt nhân.

Zodiac (*hoàng đạo*): Một vành đai chung quanh bầu trời, bề rộng 18° , tập trung trên đường hoàng đạo.

Zone of avoidance (*vùng tránh xa*): Một vùng gần Ngân Hà ở đó sự che khuất do bụi giữa các vì sao quá trầm trọng đến nỗi một vài hay không có thiên hà bên ngoài nào có thể được nhìn thấy.



[illegible]

Thay vào đó, các nhà khoa học đã nhất trí về một loại ký hiệu không chỉ dễ viết hơn, còn làm cho các phép tính nhân và chia của những con số lớn và nhỏ trở nên ít khó khăn hơn. Nếu bạn chưa bao giờ sử dụng ký hiệu lũy thừa của 10 hay ký hiệu khoa học, có thể bỏ ra một chút thời gian để làm quen với nó, nhưng bạn sẽ sớm nhận thấy nó dễ dàng hơn nhiều so với việc viết một dãy những con số zero.

Qui ước về ký hiệu này là thông thường chúng ta chỉ có một con số về

bên trái dấu thập phân. Nếu một con số không ở trong dạng thức này, nó phải được thay đổi. Ví dụ số 6 là trong dạng thức thích hợp, bởi vì đối với các số nguyên, chúng ta hiểu rằng ở đó có một dấu thập phân về bên phải của chúng. Vì vậy số 6 thực sự là 6, và tóm lại chỉ có một con số ở bên trái của dấu thập phân. Nhưng số 165 có ba con số ở bên trái dấu thập phân, và do đó phải được hoán chuyển.

Để thay đổi số 165 thành dạng thích hợp, chúng ta phải làm cho nó trở thành 1,65 và kể đó theo dõi sự thay đổi mà chúng ta đã thực hiện. Chúng ta theo dõi con số của các vị trí mà chúng ta đã di chuyển dấu thập phân bằng cách diễn tả nó như một lũy thừa của 10. Vì thế 165 trở thành $1,65 \times 10^2$ hay 1,65 nhân với 10 lũy thừa hai (second power). Số 2 nhỏ nhô lên cao được gọi là số mũ (exponent), và nó cho chúng ta biết chúng ta đã di chuyển dấu thập phân qua bên trái bao nhiêu lần.

Hãy lưu ý rằng 10^2 cũng biểu thị 10 bình phương hay 10×10 , bằng 100. Và $1,65 \times 100$ chính là 165, con số mà chúng ta đã bắt đầu. Một cách thức khác nữa

để xem xét ký hiệu khoa học là chúng ta tách ra những con số lộn xộn ra phía trước, và để lại các đơn vị sườn sề của 10 để cho số mũ diễn tả. Vì vậy một số như 1.372.568 trở thành 1,372568 lần một triệu (10^6) hay 1,372568 lần 10 nhân với chính nó 6 lần. Chúng ta phải di chuyển dấu thập phân sáu vị trí về bên trái (từ vị trí của nó sau số 8) để có con số nằm trong dạng ở đó chỉ có một con số ở bên trái dấu thập phân.

Lý do chúng ta gọi đây là ký hiệu lũy thừa của 10 vì rằng hệ thống đếm số của chúng ta được dựa trên một sự gia tăng của 10; một vị trí trong hệ thống đánh số của chúng ta là mười lần lớn hơn vị trí về phía bên phải của nó. Điều này đã bắt đầu bởi vì con người có mười ngón tay và

chúng ta đã bắt đầu đếm với chúng. Thật là lý thú để suy luận rằng nếu chúng ta gặp các dạng sự sống thông minh với chỉ tám ngón tay, hệ thống đếm số của họ có thể sẽ là ký hiệu lũy thừa của 8!

Vì thế, trong thí dụ mà chúng ta đã bắt đầu, con số về mét từ Trái Đất tới Mặt Trời là $1,5 \times 10^{11}$. Ở nơi khác trong cuốn sách, chúng ta đề cập rằng một chuỗi dài một năm ánh sáng sẽ quấn quanh xích đạo Trái Đất 236 triệu lần hay 236.000.000 lần. Trong ký hiệu khoa học, con số này sẽ trở thành $2,36 \times 10^8$. Bây giờ nếu diễn tả những sự việc theo hàng triệu, bạn có thể thích viết con số này như 236×10^6 . Tuy nhiên, qui ước thông thường là chỉ có một con số bên trái của dấu thập phân.

PHỤ LỤC 3



VIẾT CÁC CON SỐ NHỎ

Bây giờ hãy lấy một con số chẳng hạn như 0,00347, nó cũng không nằm trong dạng tiêu chuẩn (phù hợp) đối với ký hiệu khoa học. Để đưa nó vào dạng thức ấy, chúng ta phải tiến hành phần trước tiên của nó là 3,47 bằng cách di chuyển dấu thập phân qua bên phải ba vị trí. Lưu ý rằng sự di chuyển này về phía bên phải là đối nghịch với sự di chuyển về phía bên trái mà chúng ta đã nói ở trên. Chúng ta gọi sự thay

đổi này là âm và đặt một dấu trừ vào số mũ. Do đó 0,00347 trở thành $3,47 \times 10^{-3}$.

Trong thí dụ ở lúc đầu, khối lượng của nguyên tử hydro sẽ được viết là $1,67 \times 10^{-27}$ kg. Trong hệ thống này, số một được viết là 10^0 , một phần mười là 10^{-1} , một phần trăm là 10^{-2} , và cứ như thế. Chú ý rằng, bất kỳ số nào, dù lớn hay nhỏ đến đâu đi nữa, cũng có thể được diễn tả theo ký hiệu khoa học.

PHỤ LỤC 4

PHÉP NHÂN VÀ PHÉP CHIA

Ký hiệu lũy thừa của 10 không chỉ là gọn gàng và tiện lợi, nó còn làm đơn giản phép tính. Để nhân hai số được diễn tả như là các lũy thừa của 10, bạn chỉ cần nhân các con số ở ngoài trước và rồi cho thêm các dấu mũ. Nếu không có các số ở ngoài phía trước, như trong 100×100.000 , thì bạn chỉ thêm dấu mũ (trong ký hiệu của chúng ta, $10^2 \times 10^5 = 10^7$). Khi có các con số ở ngoài phía trước, bạn phải nhân chúng, nhưng chúng dễ dàng giải quyết hơn nhiều so với những số có nhiều số zero.

Một vài thí dụ:

$$\begin{aligned} 3 \times 10^5 \times 2 \times 10^9 &= 6 \times 10^{14} \\ 0,04 \times 6.000.000 &= 4 \times 10^{-2} \times 6 \times 10^6 \\ &= 24 \times 10^4 = 2,4 \times 10^5 \end{aligned}$$

Lưu ý trong thí dụ thứ nhì rằng khi chúng ta đã thêm các số mũ, chúng ta

đã xử lý các dấu mũ âm cũng như chúng ta đã làm trong phép tính thông thường (-2 cộng 6 bằng 4). Ngoài ra, chú ý rằng kết quả đầu tiên chúng ta đã có một số 24 trong nó, đó không phải là dạng có thể chấp nhận được, vì có hai vị trí về phía bên trái của dấu thập phân, và do đó chúng ta đã thay đổi nó thành 2,4.

Để làm tính chia, bạn chia các con số ở đằng trước và trừ đi các số mũ. Đây là vài thí dụ:

$$\begin{aligned} 1.000.000: 1000 &= 10^6: 10^3 = 10^{6-3} = 10^3 \\ 9 \times 10^{12}: 2 \times 10^3 &= 4,5 \times 10^9 \\ 2,8 \times 10^2: 6,2 \times 10^5 &= 0,452 \times 10^{-3} \\ &= 4,52 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

Giống như bất kỳ ngôn ngữ mới nào, ban đầu ký hiệu trông phức tạp rắc rối, nhưng dần dần sẽ dễ dàng hơn khi bạn thực hành.

PHỤ LỤC 5

CÁC ĐƠN VỊ DÙNG TRONG KHOA HỌC

Trong hệ thống đo lường của Hoa Kỳ (ban đầu được phát triển ở Anh), các đơn vị căn bản về chiều dài, trọng lượng, và thời gian tuần tự là “foot” (phút) (0,3048 m), “pound” (viết tắt là lb) (pao) (0,454 kg), và “second” (giây). Cũng có những đơn vị lớn hơn và nhỏ hơn, bao gồm “ton” (tấn) (2240 lb) (1000kg), “mile” (dặm) (5280 ft), “rod” (sào) (161/2 ft) (5,0392m), “yard” (bộ) (3 ft) (0,914 m), “inch” (in-sơ) (1/12 ft) (2,54 cm), “ounce” (ao-sơ) (1/16 lb) (28,35 g), và vân vân. Những đơn vị như thế, mà nguồn gốc sự quyết định của chúng là do triều đình Anh hầu hết đã bị quên lãng, hoàn toàn không thuận tiện cho sự hoán đổi và tính toán số học.

Do đó, trong khoa học, thường dùng hệ thống mét hơn, đã được chấp nhận một cách chính thức ở tất cả các quốc gia ngoại trừ Hoa Kỳ. Lợi ích to lớn của nó là mỗi đơn vị gia tăng theo một hệ số 10, thay vì các hệ số lạ lùng trong hệ đo lường của Hoa Kỳ. Các đơn vị căn bản của hệ thống mét là

Chiều dài: 1 mét (m)

Khối lượng: 1 kilôgram (kg)

Thời gian: 1 giây (s)

Ban đầu một mét có khuynh hướng là 1 phần mười triệu của cự ly từ xích đạo tới Cực Bắc dọc theo bề mặt của Trái Đất. Nó là khoảng chừng 1,1 yd (yard). Một kilôgram là khối lượng mà trên Trái Đất là kết quả của một trọng lượng khoảng 2,2 lb. Giây là như nhau trong các đơn vị mét và các đơn vị của Hoa Kỳ.

Các đại lượng được sử dụng phổ biến nhất về chiều dài và khối lượng của hệ mét là như sau:

♦ ĐỘ DÀI:

1 kilômét (km) = 1000 m = 0,6214 mile (dặm)

1 mét (m) = 0,001 km = 1,094 yards (bộ) = 39,37 inches (in-sơ)

1 centimét (cm) = 0,01 m = 0,3937 inch (in-sơ)

1 milimét (mm) = 0,001 m = 0,1 cm

1 micrômét (μm) = 0,000001 m = 0,0001 cm

1 nanômét (nm) = 10^{-9} m = 10^{-7} cm

Để chuyển đổi từ hệ thống của Hoa Kỳ, đây là một vài hệ số hữu ích:

1 mile = 1,6093km; 1 inch = 2,5400cm

♦ KHỐI LƯỢNG:

Mặc dù chúng ta không phân biệt cẩn thận cho lắm trong cuộc sống hàng ngày trên Trái Đất, nói đúng ra kilôgram (kg) là đơn vị của khối lượng (đo bao nhiêu nguyên tử mà một vật thể có) và pao (pound) là đơn vị của trọng lượng (đo trọng lực của Trái Đất hút lên một vật thể mạnh đến mức nào).

1 metric ton (tấn mét) = 10^6 g = 1000 kg (và nó tạo ra một trọng lượng là $2,2046 \times 10^3$ lbs trên Trái Đất)

1 kg = 1000 g (và nó tạo ra một trọng lượng 2,2046 lbs trên Trái Đất)

1 g = 0,0353 oz (ounce) (và trọng lượng tương đương là 0,0022046 lb)

1 mg (miligram) = 0,001 g

Và trọng lượng của 1 lb thì trên Trái Đất tương đương với một khối lượng 0,4536 kg, trong khi trọng lượng của 1 oz được tạo ra bởi một khối lượng 28,3495g.

♦ NHIỆT ĐỘ:

Ba thang nhiệt độ thường được sử dụng:

1. Fahrenheit (F); nước đông đặc ở 32°F và sôi ở 212°F.

2. Celsius hay độ bách phân⁽¹⁾ (C); nước đông đặc ở 0°C và sôi ở 100°C.

3. Kelvin hay độ tuyệt đối (K); nước đông đặc ở 273 K và sôi ở 373 K.

Tất cả sự chuyển động phân tử dừng lại ở $-459^\circ\text{F} = -273^\circ\text{C} = 0\text{ K}$, một nhiệt độ gọi là *zero tuyệt đối* (absolute zero). Nhiệt độ Kelvin được đo từ nhiệt độ thấp nhất có thể có này. Nó là thang nhiệt độ thường sử dụng nhất trong thiên văn học. Các độ Kelvin có cùng trị số như độ bách phân hay độ Celsius, bởi vì sự chênh lệch giữa các điểm đông và sôi của nước là 100 độ trong mỗi độ.

Trên thang Fahrenheit, sự chênh lệch giữa các điểm đông và sôi của nước là 180 độ. Do vậy, để chuyển đổi các độ Celsius hay Kelvin thành Fahrenheit, cần phải nhân với $180/100 = 9/5$. Để chuyển đổi từ Fahrenheit thành các độ Celsius hay Kelvin cần phải nhân với $100/180 = 5/9$.

Các công thức chuyển đổi đầy đủ là:

$$K = ^\circ\text{C} + 273$$

$$^\circ\text{C} = 0,555 \times (^\circ\text{F} - 32)$$

$$^\circ\text{F} = (1,8 \times ^\circ\text{C}) + 32$$

⁽¹⁾ Celsius hiện nay là tên dùng cho nhiệt độ bách phân; nó có sự tiêu chuẩn hóa hiện đại hơn nhưng sai biệt với thang bách phân cũ khoảng chưa đầy 0,1°.

PHỤ LỤC 6

MỘT SỐ HẰNG SỐ THIÊN VĂN

♦ HẰNG SỐ VẬT LÝ

Tốc độ ánh sáng (c) = $2,9979 \times 10^8$ m/s

Hằng số hấp dẫn (G) = $6,672 \times 10^{-11}$ N
m²/kg²

Hằng số Planck (h) = $6,626 \times 10^{-34}$
joule.s

Khối lượng của nguyên tử hydro (m_H)
= $1,673 \times 10^{-27}$ kg

Khối lượng của electron (m_e) = $9,109$
 $\times 10^{-31}$ kg

Hằng số Rydberg (R) = $1,0974 \times 10^7$ /m

Hằng số Stefan-Boltzman (σ) = $5,670$
 $\times 10^{-8}$ joule/(s.m².deg⁴)

Hằng số trong định luật Wien ($\lambda_{\max} T$)
= $2,898 \times 10^{-3}$ m.deg

Electron volt (năng lượng) (eV) =
 $1,602 \times 10^{-19}$ joules

Năng lượng tương đương của 1 tấn
TNT = $4,3 \times 10^9$ joules

♦ HẰNG SỐ THIÊN VĂN

Đơn vị thiên văn (AU) = $1,496 \times 10^{11}$ m

Năm ánh sáng (LY) = $9,461 \times 10^{15}$ m

Parsec (pc) = $3,086 \times 10^{16}$ m = 3,262

LY

Năm thiên văn (yr) = $3,158 \times 10^7$ s

Khối lượng Trái Đất (M_E) = $5,977 \times$
 10^{24} kg

Bán kính xích đạo của trái đất (R_E)
= $6,378 \times 10^6$ m

Độ nghiêng của đường hoàng đạo (ϵ)
= $23^\circ 27'$

Trọng lực bề mặt của trái đất (g) =
 $9,807$ m/s²

Vận tốc thoát của Trái Đất (V_E) =
 $1,119 \times 10^4$ m/s

Khối lượng Mặt Trời (M_{Sun}) = $1,989$
 $\times 10^{30}$ kg

Bán kính xích đạo của mặt trời (R_{Sun})
= $6,960 \times 10^8$ m

Độ trung của mặt trời (L_{Sun}) = $3,83 \times$
 10^{26} watt

Hằng số mặt trời (thông lượng của
năng lượng nhận được ở Trái Đất)

$S = 1,37 \times 10^3$ watt/ m²

Hằng số Hubble (H_0) = xấp xỉ 20 km/s
trên triệu LY.

PHỤ LỤC 7

CÁC HIỆN TƯỢNG THIÊN THỰC (TOÀN PHẦN) GẦN ĐÂY

1. NHẬT THỰC TOÀN PHẦN

NGÀY	THỜI GIAN TOÀN PHẦN (PHÚT)	NƠI CÓ THỂ NHÌN THẤY
21/06/2001	4,9	Nam Phi
04/12/2002	2,1	Nam Phi, Australia
23/11/2003	2,0	Nam Băng Dương
08/04/2005	0,7	Nam Thái Bình Dương
29/03/2006	4,1	Phi Châu, Tiểu Á, Nga
01/08/2008	2,4	Bắc Băng Dương, Sibêri, Trung Quốc
22/07/2009	6,6	Ấn Độ, Trung Quốc, Nam Thái Bình Dương
11/07/2010	5,3	Nam Thái Bình Dương
13/11/2012	4,0	Bắc Úc, Nam Thái Bình Dương
03/11/2013	1,7	Đại Tây Dương, Trung Á
20/03/2015	4,1	Bắc Đại Tây Dương
09/03/2016	4,5	Indonesia, Thái Bình Dương
21/08/2017	2,7	Thái Bình Dương, Hoa Kỳ, Đại Tây Dương
02/07/2019	4,5	Nam Phi, Nam Mỹ
14/12/2020	2,2	Nam Phi, Nam Mỹ, Nam Thái Bình Dương
04/12/2021	1,9	Nam Băng Dương
20/04/2023	1,3	Ấn Độ Dương, Indonesia
08/04/2024	4,5	Nam Thái Bình Dương, Mexico, Đông Hoa Kỳ
12/08/2026	2,3	Bắc Băng Dương, Greenland, Bắc Đại tây Dương, Tây Ban Nha
02/08/2027	6,4	Bắc Phi, Ả Rập, Ấn Độ
22/07/2028	5,1	Dương Ấn Độ Dương, Australia, New Zealand
25/11/2030	3,7	Nam Phi, Ấn Độ Dương, Australia

2. MỘT SỐ NGUYỆT THỰC TOÀN PHẦN

21/01/200009/11/200303/032007

16/07/200004/05/200428/08/2007

09/01/200128/10/200421/02/2008

16/05/2003

PHỤ LỤC 8

CÁC NGÔI SAO GẦN NHẤT

TÊN (SỐ MỤC LỤC)	CỰ LY (LY)	LOẠI PHỔ	VỊ TRÍ ⁽¹⁾		ĐỘ TRUNG (Mặt Trời = 1)
			ĐỘ XÍCH	ĐỘ KINH NGHIÊNG	
Mặt Trời	–	G2V	–	–	1,0
Proxima Centauri	4,2	MSV	14 30	–62 41	6×10^{-6}
Alpha Centauri A	4,4	G2V	14 40	–60 50	1,5
Alpha Centauri B	4,4	K0V	14 40	–60 50	0,5
Sao Barnard (Gliese 699)	6,0	M4V	17 58	+04 42	4×10^{-4}
Wolf 359 (Gliese 699)	7,8	M6V	10 56	+07 03	2×10^{-5}
Lalande 21185 (HD 95735)	8,3	M2V	11 03	+35 58	5×10^{-3}
Sirius A	8,6	A1V	06 45	–16 43	24
Sirius B	8,6	w.d. ⁽²⁾	06 45	–16 43	3×10^{-3}
Luyten 726–8 A (Gliese 65A)	8,7	M5V	01 39	–17 57	6×10^{-5}
Luyten 726–8 B (UV Ceti)	8,7	M6V	01 39	–17 58	4×10^{-5}
Ross 154 (Gliese 729)	9,7	M4V	18 50	–23 50	5×10^{-4}
Ross 248 (Gliese 905)	10,3	M6V	23 42	+44 11	1×10^{-4}
Epsilon Eridani (Gliese 144)	10,5	K2V	03 33	–09 27	0,3
Lacaille 9352 (Gliese 887)	10,7	M1V	23 06	–35 51	1×10^{-2}
Ross 128 (Gliese 447)	10,9	M4V	11 48	+00 48	3×10^{-4}
Luyten 789–6 A (Gliese 866A)	11,3	MSV ⁽³⁾	22 39	–15 48	1×10^{-4}
Luyten 789–6 B	11,3	–	22 39	–15 48	–
Luyten 789–6 C	11,3	–	22 39	–15 48	–
Procyon A	11,4	F51V	07 39	+05 13	7,7
Procyon B	11,4	w.d. ⁽²⁾	07 39	+05 13	6×10^{-4}
61 Cygni A (Gliese 820A)	11,4	K5V	21 07	+38 45	8×10^{-2}
61 Cygni B	11,4	K7V	21 07	+38 45	4×10^{-2}
Gliese 725A	11,5	M3V	18 43	+59 38	3×10^{-3}
Gliese 725B	11,5	M4V	18 43	+59 38	2×10^{-3}

⁽¹⁾ Vị trí (độ xích kinh và độ nghiêng) được cung cấp cho Kỷ Nguyên 2000,0.

⁽²⁾ Sao lùn trắng

⁽³⁾ Các sao trong hệ thống này nằm rất gần với nhau, không thể đo các loại phổ và độ trung của chúng một cách tách biệt.

TÊN (SỐ MỤC LỤC)	CỰ LY (LY)	LOẠI PHỔ	VỊ TRÍ ⁽¹⁾		ĐỘ TRUNG (Mặt Trời = 1)
			ĐỘ XÍCH	ĐỘ KINH NGHIÊNG	
Gliese 15A	11,6	M1V	00 18	+44 01	6×10^{-3}
Gliese 15B	11,6	M3V	00 18	+44 01	4×10^{-4}
Epsilon Indi (Gliese 845)	11,8	M5V	22 03	-56 47	0,1
GJ 1111 (DX Cancri)	11,8	M7V	08 30	+26 47	41×10^{-5}
Tau Ceti (Gliese 71)	11,4	G8V	01 44	-15 56	0,4
GJ 1061	11,9	M5V	03 36	-44 31	58×10^{-5}
Luyten 725-32 (YZ Ceti)	12,1	M5V	01 12	-16 60	3×10^{-4}
Gliese 273 (Sao Luyten)	12,4	M4V	07 27	+05 14	1×10^{-3}
Gliese 191 (Sao Kapteyn)	12,8	M1V	05 12	-45 01	4×10^{-3}
Gliese 825 (AX Microscopium)	12,9	M0V	21 17	-38 52	3×10^{-2}

PHỤ LỤC 9

CÁC NGÔI SAO SÁNG NHẤT

Chú ý: Đây là các sao hiện ra sáng nhất theo cách nhìn bề ngoài, như được nhìn thấy từ vị trí thuận lợi của chúng ta trên Trái Đất. Chúng không nhất thiết là những sao sáng nhất về bản chất.

TÊN ⁽¹⁾	ĐỘ TRUNG (Mặt Trời = 1)	CỰ LY ⁽²⁾ (LY)	LOẠI PHỔ	CHUYỂN ĐỘNG RIÊNG	ĐỘ XÍCH KINH (KỶ NGUYÊN 2000,0)		ĐỘ NGHIÊNG (KỶ NGUYÊN 2000,0)	
					(GIỜ)	(KINH TUYẾN)	(ĐỘ)	(PHÚT)
Sirius (a CMa)	24	9	A1V	1,33	06	45,1	-16	43
Canopus (a Car)	$1,2 \times 10^4$	316	F0I	0,03	06	24,0	-52	42
Alpha Centauri	2	4	G2V	3,68	14	39,6	-60	50
Arcturus (a Boo)	187	37	K2111	2,28	14	15,7	+19	11
Vega (a Lyr)	50	25	A0V	0,35	18	36,9	+38	47
Capella (a Aur)	145	42	G8111	0,44	05	16,7	+46	00
Rigel (b Ori)	6×10^4	773	B81a	0,00	05	15	-08	12
Procyon (a Cmi)	77×10^5	11	F51V-V	1,25	07	39,3	+05	13
Betelgeuse(a Ori)	2800	427	K5111	0,03	05	55,2	+07	24

TÊN ⁽¹⁾	ĐỘ TRUNG (Mặt Trời = 1)	CỰ LY ⁽²⁾ (LY)	LOẠI PHỔ	CHUYỂN ĐỘNG RIÊNG	ĐỘ XÍCH KINH (KỶ NGUYÊN 2000,0)		ĐỘ NGHIÊNG (KỶ NGUYÊN 2000,0)	
					(GIỜ)	(KINH TUYẾN)	(ĐỘ)	(PHÚT)
Achemar (a Eri)	$6,5 \times 10^4$	65	B1V	0,10	01	37,7	-57	14
Beta Centauri (Hadar)	10	525	M11b	0,04	14	03,8	-60	22
Altair (a Aql)	450	17	A71V-V	0,66	19	50,8	+08	52
Aldebaran (a Tau)	$1,2 \times 10^4$	65	K5111	0,20	04	35,9	+16	31
Spica (a Vir)	$8,5 \times 10^5$	262	B1V	0,05	13	25,2	-11	10
Antares (a Sco)	40	604	M11b	0,03	16	29,4	-26	26
Pollux (b Gem)	16	34	K0111	0,62	07	45,3	+28	02
Formalhaut (a PsA)	$2,4 \times 10^5$	25	A3V	0,37	22	57,6	-29	37
Deneb (a Cyg)	$1,6 \times 10^4$	3228	A21a	0,00	20	41,4	+45	17
Beta Crucis	150	352	B0.51V	0,05	12	47,7	-59	41
Regulus (a Leo)		77	B7V	0,25	10	08,3	+11	58

⁽¹⁾ Các sao sáng nhất tiêu biểu có các tên từ cổ xưa (mặc dù hầu hết các sao mờ hơn không được đặt tên, nhưng được chỉ định rõ trong mục lục). Kế bên tên cổ xưa của mỗi sao, chúng ta đặt tên của nó trong hệ thống khởi đầu bởi Bayer. Các chữ viết tắt của các chòm sao được cung cấp trong Phụ Lục 12.

⁽²⁾ Các cự ly của những sao xa xôi hơn được ước tính từ các loại phổ và độ sáng biểu kiến của chúng, và chỉ là xấp xỉ. Các độ trung của các sao xấp xỉ với cùng nhiệt độ.

PHỤ LỤC 10

CÁC THÀNH VIÊN SÁNG NHẤT CỦA NHÓM CỤC BỘ

THIÊN HẠ	LOẠI ⁽¹⁾	ĐỘ XÍCH KINH ⁽²⁾		ĐỘ NGHIÊNG (ĐỘ)	CỰ LY ⁽³⁾ (10^3 LY)	CẤP SÁNG TUYỆT ĐỐI	CẤP SÁNG BIỂU KIẾN	ĐƯỜNG KÍNH (1000 LY)
		(GIỜ)	(KINH TUYẾN)					
Milky Way	S(B)bc	17	46	-29	26	-20,6	-	130
Andromeda (M31, NGC224)	Sb	00	43	+41	2500	-21,2	3,4	200
M33 (NGC598)	Sc	01	34	+31	2600	-18,9	5,8	45
Đám Mây Magellan Lớn	Irr	05	24	-70	160	-18,5	0,4	20
Đám Mây Magellan Nhỏ	Irr	00	53	-73	192	-17,1	2,0	15
IC10	Irr	00	20	+59	2700	-16,7	10,4	6
NGC205	E5pec	00	40	+42	2500	-16,4	8,1	10
M32 (NGC221)	E2	00	43	+41	2500	-16,5	8,1	5

THIÊN HÀ	LOẠI ⁽¹⁾	ĐỘ XÍCH KINH ⁽²⁾		ĐỘ NGHIÊNG (ĐỘ)	CỰ LY ⁽³⁾ (10 ³ LY)	CẤP SÁNG TUYỆT ĐỐI	CẤP SÁNG BIỂU KIẾN	ĐƯỜNG KÍNH (1000 LY)
		(GIỜ)	(KINH TUYẾN)					
NGC6822	Irr	19	45	-15	1630	-16,0	8,5	8
WLM	Irr	00	02	-15	3000	-14,4	10,4	7
NGC185	E3pec	00	39	+48	2150	-15,6	9,1	6
IC1613	Irr	01	05	+02	2360	-15,3	9,1	12
NGC147	E5	00	33	+48	2150	-15,1	9,5	10
Sư Tử A	Irr	09	59	+31	2250	-11,5	12,7	7
Pegasus	Irr	23	29	+15	2500	-12,3	12,6	8
Fornax	E3	02	40	-34	450	-13,1	7,3	3
DDO210	Irr	20	47	-13	3350	-11,3	13,9	4
Sagittarius Dwarf ⁽⁴⁾	DwE	18	50	-32	80	-13,8	?	25
Sagittarius	Irr	19	30	-18	4250	-10,7	14,2	5
Sculptor	E3	00	60	-34	285	-9,8	8,8	1
Andromeda I	E3	00	46	+38	2650	-11,8	12,8	2
Andromeda III	E5	00	35	+36	2500	-10,2	14,2	3
Andromeda II	E2	01	16	+33	1900	-11,8	12,7	2,3
Pisces (LGS3)	Irr	01	03	+22	2640	-10,4	14,3	0,5
Leo I	E3	10	09	+12	800	-11,9	10,2	1
Leo II	E0	11	14	+22	685	-10,1	11,6	0,5
Ursa Minor	E5	15	09	+67	205	-8,5	10,6	1
Draco	E3	17	20	+58	260	-8,6	11,0	0,5
Carina	E4	06	42	-51	325	-9,4	10,6	0,5
Andromeda V	DwE	01	10	+48	2640	-10,5	15,5	-
Phoenix	Irr	01	51	-44	1300	-9,8	-	-
Sextans	DwE	10	13	-02	280	-9,5	10,3	-
Tucana	DwE	22	42	-64	2850	-9,6	15,2	-
Cassiopeia	DwE	23	26	+51	2525	-	15,2	-
Andromeda VI	DwE	23	52	+25	2300	-	13,9	-

⁽¹⁾ S có nghĩa là "spiral" (xoắn ốc), Sb có nghĩa là "barred spiral" (xoắn ốc có vạch), E có nghĩa là "elliptical" (êlip), Irr có nghĩa là "irregular" (bất thường), Dw có nghĩa là "dwarf" (sao lùn), pec có nghĩa là "peculiar"; các con số biểu thị các tiểu nhóm trong đó Hubble và những người khác đã phân chia các loại này.

⁽²⁾ Các tọa độ được cung cấp cho Kỷ Nguyên 2000,0

⁽³⁾ Nhiều cự ly (hay khoảng cách) (và do đó các đường kính được tính toán từ chúng) chỉ là xấp xỉ.

⁽⁴⁾ Thiên hà láng giềng gần gũi này vươn rộng ra trên bầu trời đến nỗi việc đưa ra một cấp sáng sẽ không có ý nghĩa gì cả.

Milky Way: Ngân Hà, Andromeda: chòm Tiên Nữ, Đám mây Magellan Lớn: Large Magellanic Cloud, Đám mây Magellan Nhỏ: Small Magellanic Cloud, Leo: chòm Sư Tử, Sagittarius Dwarf: Sao lùn Nhân Mã, Sagittarius: chòm Nhân Mã, Pisces: chòm Song Ngư, Ursa Minor: chòm Tiểu Hùng, Draco: chòm Thiên Long, Cassiopeia: chòm Thiên Hạc.

PHỤ LỤC 11

CÁC NGUYÊN TỐ HÓA HỌC

NGUYÊN TỐ	KÝ HIỆU	SỐ NGUYÊN TỬ	TRỌNG LƯỢNG NGUYÊN TỬ ⁽¹⁾ (THANG ĐO HÓA HỌC)	SỐ LƯỢNG NGUYÊN TỬ TRÊN 10 ¹² NGUYÊN TỬ HYDRO
Hydrogen	H	1	1,00080	1 × 10 ¹²
Helium	He	2	4,003	8 × 10 ¹⁰
Lithium	Li	3	6,940	2 × 10 ³
Beryllium	Be	4	9,013	3 × 10 ¹
Boron	B	5	10,82	9 × 10 ²
Carbon	C	6	12,011	4,5 × 10 ⁸
Nitrogen	N	7	14,008	9,2 × 10 ⁷
Oxygen	O	8	16,00	7,4 × 10 ⁸
Fluorine	F	9	19,00	3,1 × 10 ⁴
Neon	Ne	10	20,183	1,3 × 10 ⁸
Sodium	Na	11	22,99	2,1 × 10 ⁶
Magnesium	Mg	12	24,32	4,0 × 10 ⁷
Aluminum (nhôm)	Al	13	26,98	3,1 × 10 ⁶
Silicon	Si	14	28,09	3,7 × 10 ⁷
Phosphorus	P	15	30,975	3,8 × 10 ⁵
Sulfur (lưu huỳnh)	S	16	32,066	1,9 × 10 ⁷
Chlorine	Cl	17	35,457	1,9 × 10 ⁵
Argon	Ar(A)	18	39,944	3,8 × 10 ⁶
Potassium (kali)	K	19	39,100	1,4 × 10 ⁵
Calcium	Ca	20	40,08	2,2 × 10 ⁶
Scandium	Sc	21	44,96	1,3 × 10 ³
Titanium	Ti	22	47,90	8,9 × 10 ⁴
Vanadium	V	23	50,95	1,0 × 10 ⁴
Chromium	Cr	24	52,01	5,1 × 10 ⁵
Manganese	Mn	25	54,94	3,5 × 10 ⁵
Iron (sắt)	Fe	26	55,85	3,2 × 10 ⁷
Cobalt	Co	27	58,94	8,3 × 10 ⁴
Nickel (kẽm)	Ni	28	58,71	1,9 × 10 ⁶
Copper (đồng)	Cu	29	63,54	1,9 × 10 ⁴

⁽¹⁾ Nơi nào mà các trọng lượng nguyên tử trung bình không được xác định rõ, những con số nguyên tử khối của các chất đồng vị ổn định nhất được cung cấp trong các dấu ngoặc đơn.

NGUYÊN TỐ	KÝ HIỆU	SỐ NGUYÊN TỬ	TRỌNG LƯỢNG NGUYÊN TỬ ⁽¹⁾ (THANG ĐO HOÁ HỌC)	SỐ LƯỢNG NGUYÊN TỬ TRÊN 10 ¹² NGUYÊN TỬ HYDRO
Zinc (kẽm)	Zn	30	65,38	$4,7 \times 10^1$
Gallium	Ga	31	69,72	$1,4 \times 10^1$
Germanium	Ge	32	72,60	$4,4 \times 10^1$
Arsenic	As	33	74,91	$2,5 \times 10^2$
Selenium	Se	34	78,96	$2,3 \times 10^1$
Bromine	Br	35	79,916	$4,4 \times 10^2$
Krypton	Kr	36	83,80	$1,7 \times 10^1$
Rubidium	Rb	37	85,48	$2,6 \times 10^2$
Strontium	Sr	38	87,63	$8,8 \times 10^2$
Yttrium	Y	39	88,92	$2,5 \times 10^2$
Zirconium	Zr	40	91,22	$4,0 \times 10^2$
Niobium (Columbium)	Nb(Cb)	41	92,91	$2,6 \times 10^1$
Molybdenum	Mo	42	95,95	$9,3 \times 10^1$
Technetium	Tc(Ma)	43	(99)	—
Ruthenium	Ru	44	101,1	68
Rhodium	Rh	45	102,91	13
Palladium	Pd	46	106,4	51
Silver (bạc)	Ag	47	107,880	20
Cadmium	Cd	48	112,41	63
Indium	In	49	114,82	7
Tin (thiếc)	Sn	50	118,70	$1,4 \times 10^2$
Antimony	Sb	51	121,76	13
Tellurium	Te	52	127,61	$1,8 \times 10^2$
Iodine	I(J)	53	126,91	$331,6 \times 10^2$
Xenon	Xe(X)	54	131,30	$141,6 \times 10^2$
Cesium	Cs	55	132,91	17
Barium	Ba	56	137,36	43
Lanthanum	La	57	138,92	6
Cerium	Ce	58	140,13	31
Praseodymium	Pr	59	140,92	—
Neodymium	Nd	60	144,27	10
Promethium	Pm	61	(147)	4
Samarium	Sm(Sa)	62	150,35	13
Europium	Eu	63	152,00	2
Gadolinium	Gd	64	157,26	15
Terbium	Tb	65	158,93	3
Dysprosium	Dy(Ds)	66	162,51	9

NGUYÊN TỐ	KÝ HIỆU	SỐ NGUYÊN TỬ	TRỌNG LƯỢNG NGUYÊN TỬ ⁽¹⁾ (THANG ĐO HOÁ HỌC)	SỐ LƯỢNG NGUYÊN TỬ TRÊN 10 ¹² NGUYÊN TỬ HYDRO
Holmium	Ho	67	164,94	2
Erbium	Er	68	167,27	8
Thulium	Tm(Tu)	69	168,94	2
Ytterbium	Yb	70	173,04	6
Lutecium	Lu(Cp)	71	174,99	1
Hafnium	Hf	72	178,50	5
Tantalum	Ta	73	180,95	2
Tungsten	W	74	183,86	27
Rhenium	Re	75	186,22	24
Osmium	Os	76	190,2	56
Iridium	Ir	77	192,2	6
Platinum	Pt	78	195,09	19
Gold (vàng)	Au	79	197,00	81,2 × 10 ²
Mercury (thủy ngân)	Hg	80	200,61	5
Thallium	Tl	81	204,39	—
Lead (chì)	Pb	82	207,21	—
Bismuth	Bi	83	209,00	—
Polonium	Po	84	(209)	—
Astatine	At	85	(210)	—
Radon	Rn	86	(222)	—
Francium	Fr(Fa)	87	(223)	1
Radium	Ra	88	226,05	—
Actinium	Ac	89	(227)	1
Thorium	Th	90	232,12	—
Protactinium	Pa	91	(231)	—
Uranium	U(Ur)	92	238,07	—
Neptunium	Np	93	(237)	—
Plutonium	Pu	94	(244)	—
Americium	Am	95	(243)	—
Curium	Cm	96	(248)	—
Berkelium	Bk	97	(247)	—
Californium	Cf	98	(251)	—
Einsteinium	E	99	(254)	—
Fermium	Fm	100	(253)	—
Mendeleeveium	Mv	101	(256)	—
Nobelium	No	102	(253)	—
Lawrencium	Lr	103	(262)	—

NGUYÊN TỐ	KÝ HIỆU	SỐ NGUYÊN TỬ	TRỌNG LƯỢNG NGUYÊN TỬ ⁽¹⁾ (THANG ĐO HOÁ HỌC)	SỐ LƯỢNG NGUYÊN TỬ TRÊN 10 ¹² NGUYÊN TỬ HYDRO
Rutherfordium	Rf	104	(261)	—
Dubnium	Db	105	(262)	—
Seaborgium	Sg	106	(263)	—
Bohrium	Bh	107	(262)	—
Hassium	Hs	108	(264)	—
Meitnerium	Mt	109	(266)	—
Ununnilium	Uun	110	(269)	—
Unununium	Uuu	111	(272)	—
Ununbium	Uub	112	(277)	—
Ununquadium	Uuq	114	(285)	—
Ununhexium	Uuh	116	(289)	—
Ununoctium	Uuo	118	(293)	—

PHỤ LỤC 12

CÁC CHÒM SAO

CHÒM SAO (TÊN LATIN)	TÊN CÙNG CỦA CÁCH SỞ HỮU	TÊN TIẾNG ANH HAY DIỄN GIẢI	TÊN TIẾNG VIỆT	VIẾT TẮT	VỊ TRÍ GẦN ĐÚNG	
					α h	δ °
Andromeda	Andromedae	Princess of Ethiopia	Tiên Nữ	And	1	+40
Antila	Antilae	Air pump	Máy bơm hơi	Ant	10	-35
Apus	Apodis	Bird of Paradise	Thiên Ưng	Aps	16	-75
Aquarius	Aquarii	Water bearer	Bảo Bình	Aqr	23	-15
Aquila	Aquilae	Eagle	Đại Bàng	Aql	20	+5
Ara	Arae	Altar		Ara	17	-55
Aries	Arietis	Ram	Bạch Dương	Ari	3	+20
Auriga	Aurigae	Charioteer	Ngự Phu	Aur	6	+40
Boötes	Boötes	Herdsmen	Mục Phu	Boo	15	+30
Caelum	Caeli	Graving tool		Cae	5	-40
Camelopardus	Camelopardis	Giraffe	Lạc Đà	Cam	6	+70
Cancer	Canceri	Crab	Cự Giải	Cnc	9	+20

CHỖM SAO (TÊN LATIN)	TÊN CÙNG CỦA CÁCH SỞ HỮU	TÊN TIẾNG ANH HAY DIỄN GIẢI	TÊN TIẾNG VIỆT	VIẾT TẮT	VỊ TRÍ GẦN ĐÚNG	
					α h	δ o
Canes Venatici	Canum Venaticorum	Hungting dogs	Lạp Khuyển	CVn	13	+40
Canis Major	Canis Majoris	Big dog	Đại Khuyển	CMa	7	-20
Canis Minor	Canis Minoris	Little dog	Tiểu	Cmi	8	+5
Capricornus	Capricorni	Sea goat	Khuyển	Cap	21	-20
Carina *	Carinae	Kell of Argonaut's ship	Ma Kết	Car	9	-60
Cassiopeia	Cassiopeiae	Queen of Ethiopia		Cas	1	+60
Centaurus	Centauri	Centaur	Thiên Hậu	Cen	13	-50
Cepheus	Cephei	King of Ethiopia	Bán Nhân Mã	Cep	22	+70
Cetus	Ceti	Seamonsler (whale)	Thiên Vương	Cet	2	-10
Chamaeleon	Chamaeleontis	Chameleon	Hải Quái	Cha	11	-80
Circinus	Circini	Compasses	Tắc kè	Cir	15	-60
Columba	Columbae	Dove	La Bàn	Col	6	-35
Coma Berenices	Comae Berenices	Berenice's hair	Bồ Câu	Com	13	+20
Corona Australis	Coronae Australis	Southern crown	Nam Miện	CrA	19	-40
Corona Borealis	Coronae Borealis	Northern crown	Bắc Miện	CrB	16	+30
Corvus	Corvi	Crow	Con Quạ	Crv	12	-20
Crater	Crateris	Cup	Cái tách	Crt	11	-15
Crux	Crucis	Cross (southern)	Nam Thập Tự	Cru	12	-60
Cygnus	Cygni	Swan	Thiên Nga	Cyg	21	+40
Delphinus	Delphini	Porpoise	Cá Heo	Del	21	+10
Dorado	Doradus	Swordfish	Cá Lưỡi kiếm	Dor	5	-65
Draco	Draconis	Dragon	Thiên Long	Dra	17	+65
Equuleus	Equulei	Little horse	Tiểu Mã	Equ	21	+10
Bridanus	Bridani	River	Ba Giang	Bri	3	-20
Fornax	Fornacis	Furnace	Lò Rèn	For	3	-30
Gemini	Geminorum	Twins	Song Tử	Gem	7	+20
Grus	Gruis	Crane	Thiên Hạc	Gru	22	-45
Hercules	Herculis	Hercules, son of Zeus	Vũ Tiên	Her	17	+30
Horologium	Horologii	Clock	Đồng Hồ	Hor	3	-60
Hydra	Hydrae	Sea serpent	Hải Xà	Hya	10	-2
Hydrus	Hydri	Water snake	Thủy Xà	Hyi	2	-75
Indus	Indi	Indian	Người Ấn	Ind	21	-55
Lacerta	Lacertae	Lizard	Thằn Lằn	Lac	22	+45
Leo	Leonis	Lion	Sư Tử	Leo	11	+15
Leo Minor	Leonis Minoris	Little lion	Tiểu Sư	Lmi	10	+35
Lepus	Leporis	Hare	Bạch Thố	Lep	6	-20

CHỖM SAO (TÊN LATIN)	TÊN CÙNG CỦA CÁCH SỞ HỮU	TÊN TIẾNG ANH HAY DIỄN GIẢI	TÊN TIẾNG VIỆT	VIẾT TẮT	VỊ TRÍ GẦN ĐÚNG	
					α h	δ o
Libra	Librae	Balance	Thiên	Lib	15	-15
Lupus	Lupi	Wolf	Bình	Lup	15	-45
Lynx	Lyncis	Lynx	Chó Sói	Lyn	8	+45
Lyra	Lyrae	Lyre or harp	Linh Miêu	Lyr	19	+40
Mensa	Mensae	Table Mountain	Thiên	Men	5	-80
Microscopium	Microscopii	Microscope	Cầm	Mic	21	-35
Monoceros	Monocerotis	Unicorn	Vi Khuẩn	Mon	7	-5
Musca	Muscae	Fly	Kỳ Lân	Mus	12	-70
Norma	Normae	Carpenter's level	Con Ruồi	Nor	16	-50
Octans	Octantis	Octant	Góc 45 độ	Oct	22	-85
Ophiuchus	Ophiuchi	Holder of serpent	Xà Phu	Oph	17	0
Orion	Orionis	Orion, the	Lạp Hộ	Ori	5	+5
Pavo	Pavonis	Hunter Peacock	Con Công	Pav	20	-65
Pegasus	Pegasi	Pegasus, the winged horse	Phi Mã	Peg	22	+20
Perseus	Persei	Perseus, hero who saved Andromeda	Anh Tiên	Per	3	+45
Phoenix	Phoenicis	Phoenix	Phượng Hoàng	Phe	1	-50
Pictor	Pictoris	Easel	Giá vẽ	Pic	6	-55
Pisces	Piscium	Fishes	Song Ngư	PSc	1	+15
Piscis Austrinus	Piscis Austrini	Southern fish	Nam Ngư	PsA	22	-30
Puppis*	Puppis	Stern of the Argonaut's ship	Đuôi tàu	Pup	8	-40
Pyxis* (= Malus)	Pyxidis	Compass of the Argonaut's ship	La bàn	Pyx	9	-30
Reticulum	Reticuli	Net	Mất Lưới	Ret	4	-60
Sagitta	Sagittae	Arrow	Mũi Tên	Sge	20	+10
Sagittarius	Sagittarii	Archer	Nhân Mã	Sgr	19	-25
Scorpius	Scorpii	Scorpion	Thần Nông	Sco	17	-40
Sculptor	Sculptoris	Sculptor's tools	Thợ Chạm	Scl	0	-30
Scutum	Scuti	Shield	Cái Khiên	Sct	19	-
Serpens	Serpentis	Serpent	Cự Xà	Ser	17	100
Sextans	Sextantis	Sextant	Kính lục phân	Sex	10	0
Taurus	Tauri	Bull	Kim Ngưu	Tau	4	+15
Telescopium	Telescopii	Telescope	Kính viễn vọng	Tel	19	-50
Triangulum	Trianguli	Triangle	Tam Giác	Tri	2	+30

CHỖM SAO (TÊN LATIN)	TÂN CÙNG CỦA CÁCH SỐ HỮU	TÊN TIẾNG ANH HAY DIỄN GIẢI	TÊN TIẾNG VIỆT	VIẾT TẮT	VỊ TRÍ GẦN ĐÚNG	
					α h	δ o
Triangulum Australe	Trianguli Australis	Southern triangle	Nam	TrA	16	-65
Tucana	Tucanae	Toucan	Tam Giác	Tuc	0	-65
Ursa Major	Ursae Majoris	Big bear	Đại Hùng	UMa	11	+50
Ursa Minor	Ursae Minoris	Little bear	Tiểu Hùng	Umi	15	+70
Vela *	Velorum	Sail of the Argonaut's ship	Thuyền Phàm	Vel	9	-50
Virgo	Virginis	Virgin	Trinh Nữ	Vir	13	0
Volans	Volantis	Flying fish	Phi Ngư	Vol	8	-70
Vulpecula	Vulpeculae	Fox	Con Cáo	Vul	20	+25

PHỤ LỤC 13

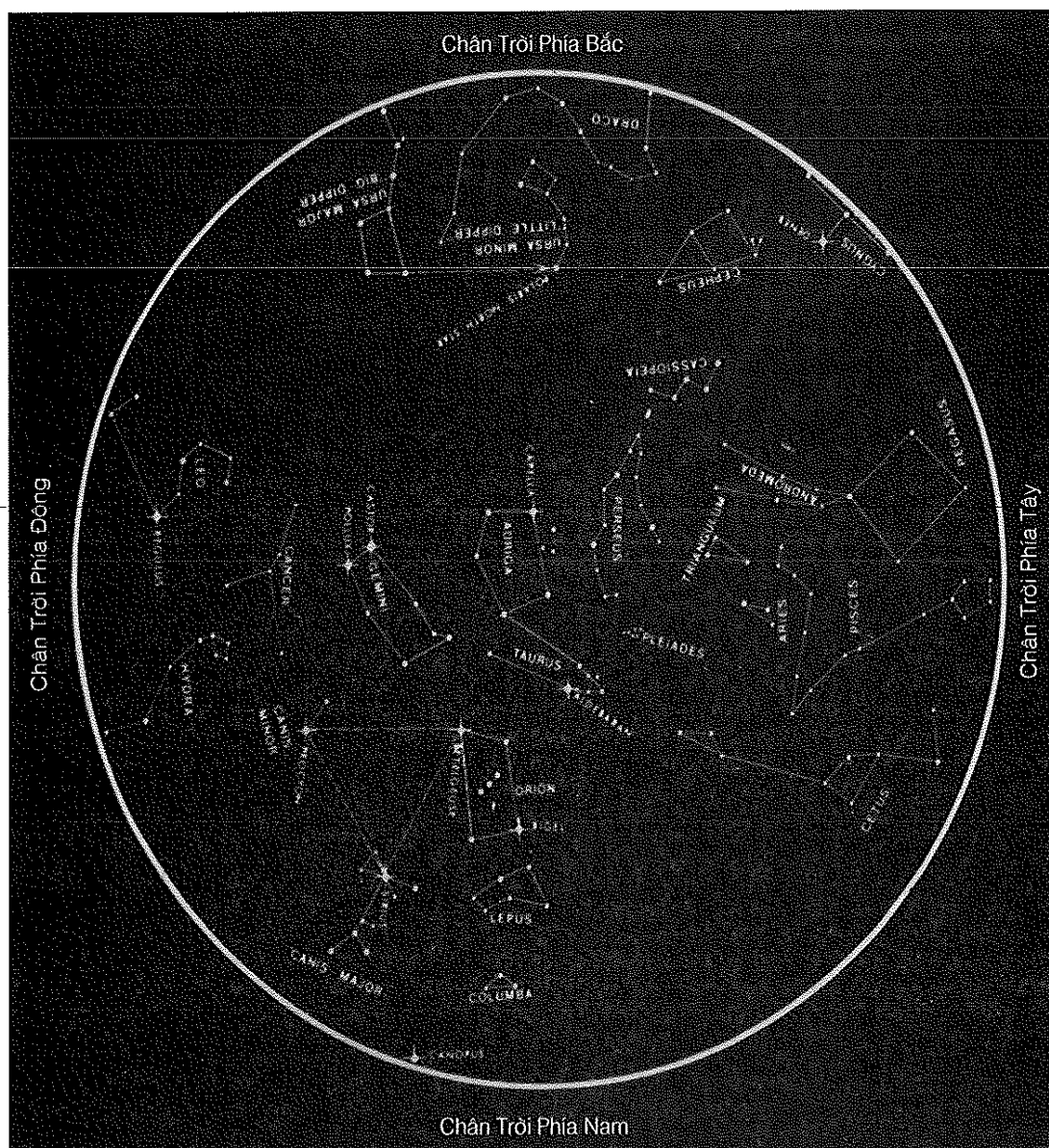
BẢNG MỤC LỤC CỦA MESSIER VỀ CÁC TINH VÂN VÀ QUẦN TINH

M	NGC HAY (IC)	ĐỘ XÍCH KINH (1980)		ĐỘ NGHIÊNG (1980)		ĐỘ SÁNG NHÌN THẤY BIỂU KIẾN	DIỄN GIẢI
		GIỜ	K. TUYẾN	°	'		
1	1952	5	33,3	+22	01	8,4	Tinh vân "Con Cua" trong chòm Kim Ngưu; những tàn tích của SN 1054
2	7089	21	32,4	-0	54	6,4	Quần tinh cầu trong chòm Bảo Bình
3	5272	13	41,2	+28	29	6,3	Quần tinh cầu trong chòm Lạp Khuyển
4	6121	16	22,4	-26	28	6,5	Quần tinh cầu trong chòm Thần Nông
5	5904	15	17,5	+2	10	6,1	Quần tinh cầu trong chòm Cự Xà
6	6405	17	38,8	-32	11	5,5	Quần tinh mở trong chòm Thần Nông
7	6475	17	52,7	-34	48	3,3	Quần tinh mở trong chòm Thần Nông
8	6523	18	02,4	-24	23	5,1	Tinh vân "Lagoon" trong chòm Nhân Mã
9	6333	17	18,1	-18	30	8,0	Quần tinh cầu trong chòm Xà Phu
10	6254	16	56,1	-4	05	6,7	Quần tinh cầu trong chòm Xà Phu
11	6705	18	50,0	-6	18	6,8	Quần tinh mở trong chòm Scutum Sobieskii
12	6218	16	46,3	-1	55	6,6	Quần tinh cầu trong chòm Xà Phu
13	6205	16	41,0	+36	30	5,9	Quần tinh cầu trong chòm Vũ Tiên

M	NGC HAY (IC)	ĐỘ XÍCH KINH (1980)		ĐỘ NGHIÊNG (1980)		ĐỘ SÁNG NHỊN THẤY BIỂU KIẾN	DIỄN GIẢI
		GIỜ	K. TUYẾN	°	'		
14	6402	17	36,6	-3	14	8,0	Quần tinh cầu trong chòm Xà Phu
15	7078	21	28,9	+12	05	6,4	Quần tinh cầu trong chòm Phi Mã
16	6611	18	17,8	-13	47	6,6	Quần tinh mở với mây mù trong chòm Cự Xà
17	6618	18	19,6	-16	11	7,5	Tinh vân "Thiên Nga" hay "Omega" trong chòm Nhân Mã
18	6613	18	18,7	-17	08	7,2	Quần tinh mở trong chòm Nhân Mã
19	6273	17	01,4	-26	14	6,9	Quần tinh cầu trong chòm Xà Phu
20	6514	18	01,2	-23	02	8,5	Tinh vân "Trifid" trong chòm Nhân Mã
21	6531	18	03,4	-22	30	6,5	Quần tinh mở trong chòm Nhân Mã
22	6656	18	35,2	-23	56	5,6	Quần tinh cầu trong chòm Nhân Mã
23	6494	17	55,8	-19	00	5,9	Quần tinh mở trong chòm Nhân Mã
24	6603	18	17,3	-18	26	4,6	Quần tinh mở trong chòm Nhân Mã
25	(4725)	18	30,5	-19	16	6,2	Quần tinh mở trong chòm Nhân Mã
26	6694	18	44,1	-9	25	9,3	Quần tinh mở trong chòm Scutum Sobieskii
27	6853	19	58,8	+22	40	8,2	Tinh vân hành tinh "Dumbbell" trong chòm Vulpecula
28	6626	18	23,2	-24	52	7,6	Quần tinh cầu trong chòm Nhân Mã
29	6913	20	23,3	+38	27	8,0	Quần tinh mở trong chòm Thiên Nga
30	7099	21	39,2	-23	16	7,7	Quần tinh cầu trong chòm Ma Kết
31	224	0	41,6	+41	10	3,5	Thiên hà Tiên Nữ
32	221	0	41,6	+40	46	8,2	Thiên hà êlip; bạn đồng hành với M31
33	598	1	32,7	+30	33	5,8	Thiên hà xoắn ốc trong chòm Tam Giác
34	1039	2	40,7	+42	43	5,8	Quần tinh mở trong chòm Anh Tiên
35	2168	6	07,5	+24	21	5,6	Quần tinh mở trong chòm Song Tử
36	1960	5	35,0	+34	05	6,5	Quần tinh mở trong chòm Ngự Phu
37	2099	5	51,1	+32	33	6,2	Quần tinh mở trong chòm Ngự Phu
38	1912	5	27,3	+35	48	7,0	Quần tinh mở trong chòm Ngự Phu
39	7092	21	31,5	+48	21	5,3	Quần tinh mở trong chòm Thiên Nga
40	-	12	21,0	+59	-	-	Sao đôi gần nhau trong chòm Đại Hùng
41	2287	6	46,2	-20	43	5,0	Quần tinh mở rời rạc trong chòm Tiểu Khuyển
42	1976	5	34,4	-5	24	4,0	Tinh vân Orion (Lạp Hộ)
43	1982	5	34,6	-5	18	9,0	Phần đông bắc của tinh vân Orion
44	2632	8	39,0	+20	04	3,9	Praesepe; quần tinh mở trong chòm Cự Giải
45	-	3	43,6	+24	03	1,6	Nhóm sao Thất Nữ (Pleiades); quần tinh mở trong chòm Kim Ngưu
46	2437	7	40,9	-14	46	6,6	Quần tinh mở trong chòm Puppis
47	2422	7	35,7	-14	26	5,0	Nhóm sao rời rạc trong chòm Puppis

M	NGC HAY (IC)	ĐỘ XÍCH KINH (1980)		ĐỘ NGHIÊNG (1980)		ĐỘ SÁNG NHÌN THẤY BIỂU KIẾN	DIỄN GIẢI
		GIỜ	K. TUYẾN	0	1		
48	2548	8	12,8	-5	44	6,0	"Quần thể của những sao rất nhỏ"
49	4472	12	28,8	+8	06	8,5	Thiên hà êlip trong chòm Trinh Nữ
50	2323	7	02,0	-8	19	6,3	Quần tinh mở rời rạc trong chòm Kỳ Lân
51	5194	13	29,1	+47	18	8,4	Thiên hà xoắn ốc "Xoáy Nước" trong chòm Lạp Khuyển
52	7654	23	23,3	+61	30	8,2	Quần tinh mở rời rạc trong chòm Thiên Hậu
53	5024	13	12,0	+18	16	7,8	Quần tinh cầu trong chòm Coma Berenices
54	6715	18	53,8	-30	30	7,8	Quần tinh cầu trong chòm Nhân Mã
55	6809	19	38,7	-30	59	6,2	Quần tinh cầu trong chòm Nhân Mã
56	6779	19	15,8	+30	08	8,7	Quần tinh cầu trong chòm Thiên Cầm
57	6720	18	52,8	+33	00	9,0	Tinh vân "Vòng Đai"; tinh vân hành tinh trong chòm Thiên Cầm
58	5479	12	36,7	+11	55	9,9	Thiên hà xoắn ốc trong chòm Trinh Nữ
59	6421	12	41,0	+11	46	10,0	Thiên hà xoắn ốc trong chòm Trinh Nữ
60	4649	12	42,6	+11	40	9,0	Thiên hà êlip trong chòm Trinh Nữ
61	4303	12	20,8	+4	35	9,6	Thiên hà xoắn ốc trong chòm Trinh Nữ
62	6266	16	59,9	-30	05	6,6	Quần tinh mở trong chòm Nhân Mã
63	5055	13	14,8	+42	07	8,9	Thiên hà xoắn ốc trong chòm Lạp Khuyển
64	4826	12	55,7	+21	39	8,5	Thiên hà xoắn ốc trong chòm Coma Berenices
65	6323	11	17,9	+13	12	9,4	Thiên hà xoắn ốc trong chòm Sư Tử
66	3627	11	19,2	+13	06	9,0	Thiên hà xoắn ốc trong chòm Sư Tử; bạn đồng hành của M65
67	2682	8	50,0	+11	53	6,1	Quần tinh mở trong chòm Cự Giải
68	4590	12	38,4	-26	39	8,2	Quần tinh cầu trong chòm Hải Xà
69	6637	18	30,1	-32	23	8,0	Quần tinh cầu trong chòm Nhân Mã
70	6681	18	42,0	-32	18	8,1	Quần tinh cầu trong chòm Nhân Mã
71	6838	19	52,8	+18	44	7,6	Quần tinh cầu trong chòm Nhân Mã
72	6981	20	52,3	-12	38	9,3	Quần tinh cầu trong chòm Bảo Bình
73	6994	20	57,8	-12	43	9,1	Quần tinh mở trong chòm Bảo Bình
74	628	1	35,6	+15	41	9,3	Thiên hà xoắn ốc trong chòm Song Ngư
75	6864	20	04,9	-21	59	8,6	Quần tinh cầu trong chòm Nhân Mã
76	650	1	41,0	+51	28	11,4	Tinh vân hành tinh trong chòm Anh Tiên
77	1068	2	41,6	-00	04	8,9	Thiên hà xoắn ốc trong chòm Cetus (Hải Quái)
78	2068	5	45,7	-24	03	8,3	Tinh vân phát xạ nhỏ trong chòm Lạp Hộ
79	1904	5	23,3	-22	32	7,5	Quần tinh cầu trong chòm Thỏ Rừng (Lepus)
80	6093	16	15,8	+69	56	7,5	Quần tinh cầu trong chòm Lạp Hộ
81	3031	9	54,2	+69	09	7,0	Thiên hà xoắn ốc trong chòm Đại Hùng

M	NGC HAY (IC)	ĐỘ XÍCH KINH (1980)		ĐỘ NGHIÊNG (1980)		ĐỘ SÁNG NHÌN THẤY BIỂU KIẾN	DIỄN GIẢI
		GIỜ	K. TUYẾN	°	'		
82	3034	9	54,4	-29	47	8,4	Thiên hà bất thường trong chòm Đại Hùng
83	5236	13	35,4		31	7,6	Thiên hà xoắn ốc trong chòm Thủy Xà
84	4374	12	24,1	+13	00	9,4	Thiên hà êlip trong chòm Trinh Nữ
85	4382	12	24,3	+18	18	9,3	Thiên hà êlip trong chòm Coma Berenices
86	4406	12	25,1	+13	03	9,2	Thiên hà êlip trong chòm Trinh Nữ
87	4486	12	29,7	+12	30	8,7	Thiên hà êlip trong chòm Trinh Nữ
88	4501	12	30,9	+14	32	9,5	Thiên hà xoắn ốc trong chòm Coma Berenices
89	4552	12	34,6	+12	40	10,3	Thiên hà êlip trong chòm Trinh Nữ
90	4569	12	35,8	+13	16	9,6	Thiên hà xoắn ốc trong chòm Trinh Nữ
91	bị sót	-	-	-	-	-	
92	6341	17	16,5	+43	10	6,4	Quần tinh cầu trong chòm Vũ Tiên
93	2447	7	43,7	-23	49	6,5	Quần tinh mở trong chòm Puppis
94	4736	12	50,0	+41	14	8,3	Thiên hà xoắn ốc trong chòm Lạp Khuyển
95	3351	10	42,9	+11	49	9,8	Thiên hà xoắn ốc có vạch trong chòm Sư Tử
96	3368	10	45,7	+11	56	9,3	Thiên hà xoắn ốc trong chòm Sư Tử
97	3587	11	13,7	+55	07	11,1	Tinh vân "Con Cú"; tinh vân hành tinh trong chòm Đại Khuyển
98	4192	12	12,7	+15	01	10,2	Thiên hà xoắn ốc trong chòm Coma Berenices
99	4254	12	17,8	+14	32	9,9	Thiên hà xoắn ốc trong chòm Coma Berenices
100	4321	12	21,9	+15	56	9,4	Thiên hà xoắn ốc trong chòm Coma Berenices
101	5457	14	02,5	+54	27	7,9	Thiên hà xoắn ốc trong chòm Đại Hùng
102	5866 (?)	15	05,9	+54	50	10,5	Thiên hà xoắn ốc (sự nhận dạng còn trong vòng nghi ngờ)
103	581	1	31,9	+60	35	6,9	Quần tinh mở trong chòm Thiên Hậu
104	4594	12	39,0	-11	31	8,3	Thiên hà xoắn ốc trong chòm Trinh Nữ
105*	3379	10	46,8	+12	51	9,7	Thiên hà êlip trong chòm Sư Tử
106*	4258	12	18,0	+47	25	8,4	Thiên hà xoắn ốc trong chòm Lạp Khuyển
107*	6171	16	31,4	-13	01	9,2	Quần tinh cầu trong chòm Xà Phu
108*	3556	11	10,5	+55	47	10,5	Thiên hà xoắn ốc trong chòm Đại Hùng
109*	3992	11	56,6	+53	29	10,0	Thiên hà xoắn ốc trong chòm Đại Hùng
110*	205	0	39,2	+41	35	9,4	Thiên hà êlip; bạn đồng hành với M31



BẦU TRỜI ĐÊM VÀO THÁNG MỘT

Vĩ độ của sơ đồ là 34° Bắc, nhưng nó phổ biến cho khắp lục địa Hoa Kỳ.

Để sử dụng: Hãy cầm sơ đồ thẳng đứng và xoay nó sao cho hướng bạn đang đối diện lộ ra ở dưới cùng.

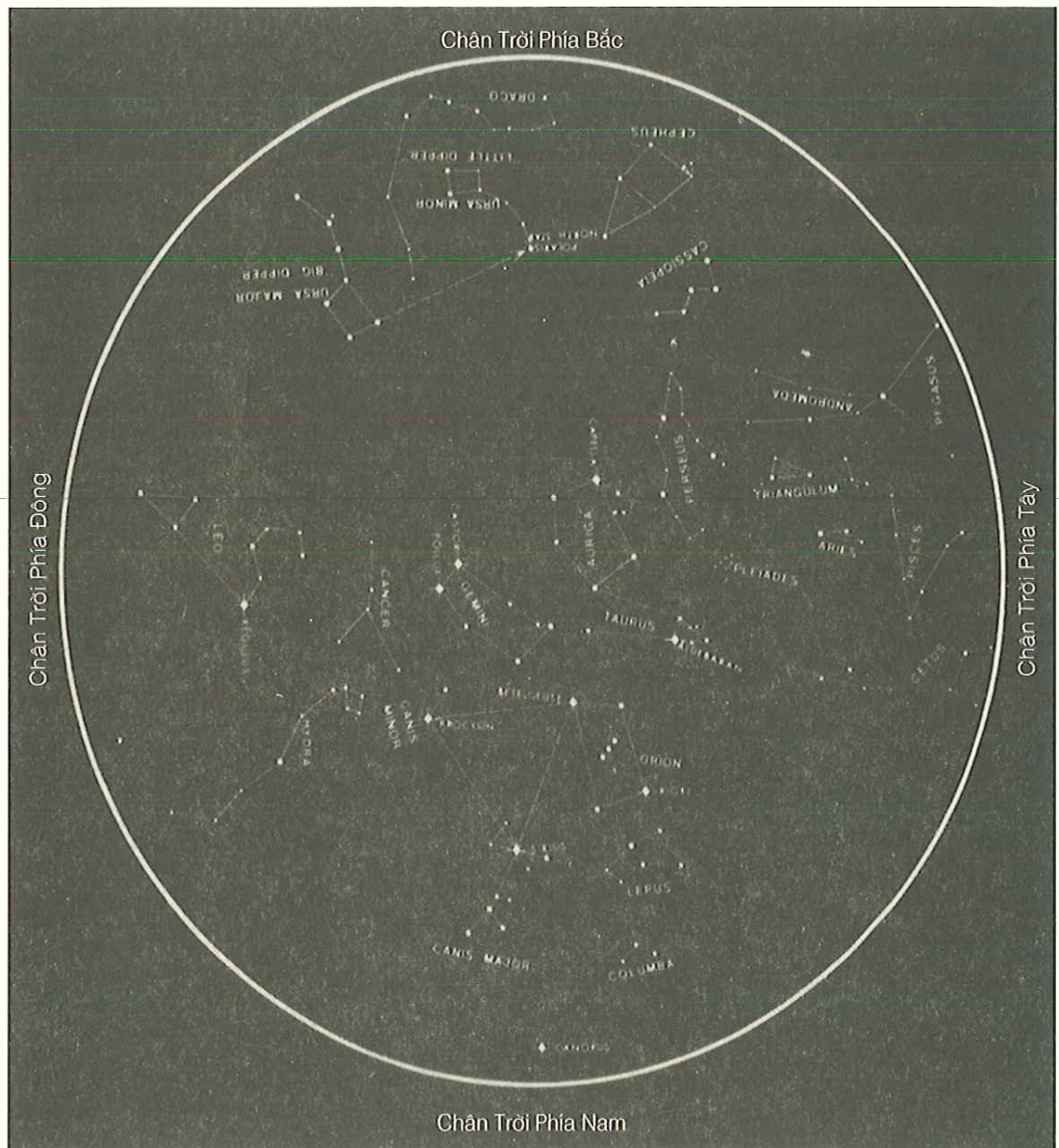
✧ THỜI GIAN CỦA SƠ ĐỒ (TIÊU CHUẨN ĐỊA PHƯƠNG):

10 giờ tối, đầu tháng

9 giờ tối, giữa tháng

8 giờ tối, cuối tháng

Biểu đồ sao thuộc nhà quan sát Griffith, đài thiên văn Griffith, Los Angeles.



BẦU TRỜI ĐÊM VÀO THÁNG HAI

Vĩ độ của sơ đồ là 34° Bắc, nhưng nó phổ biến cho khắp lục địa Hoa Kỳ.

Để sử dụng: Hãy cầm sơ đồ thẳng đứng và xoay nó sao cho hướng bạn đang đối diện lộ ra ở dưới cùng.

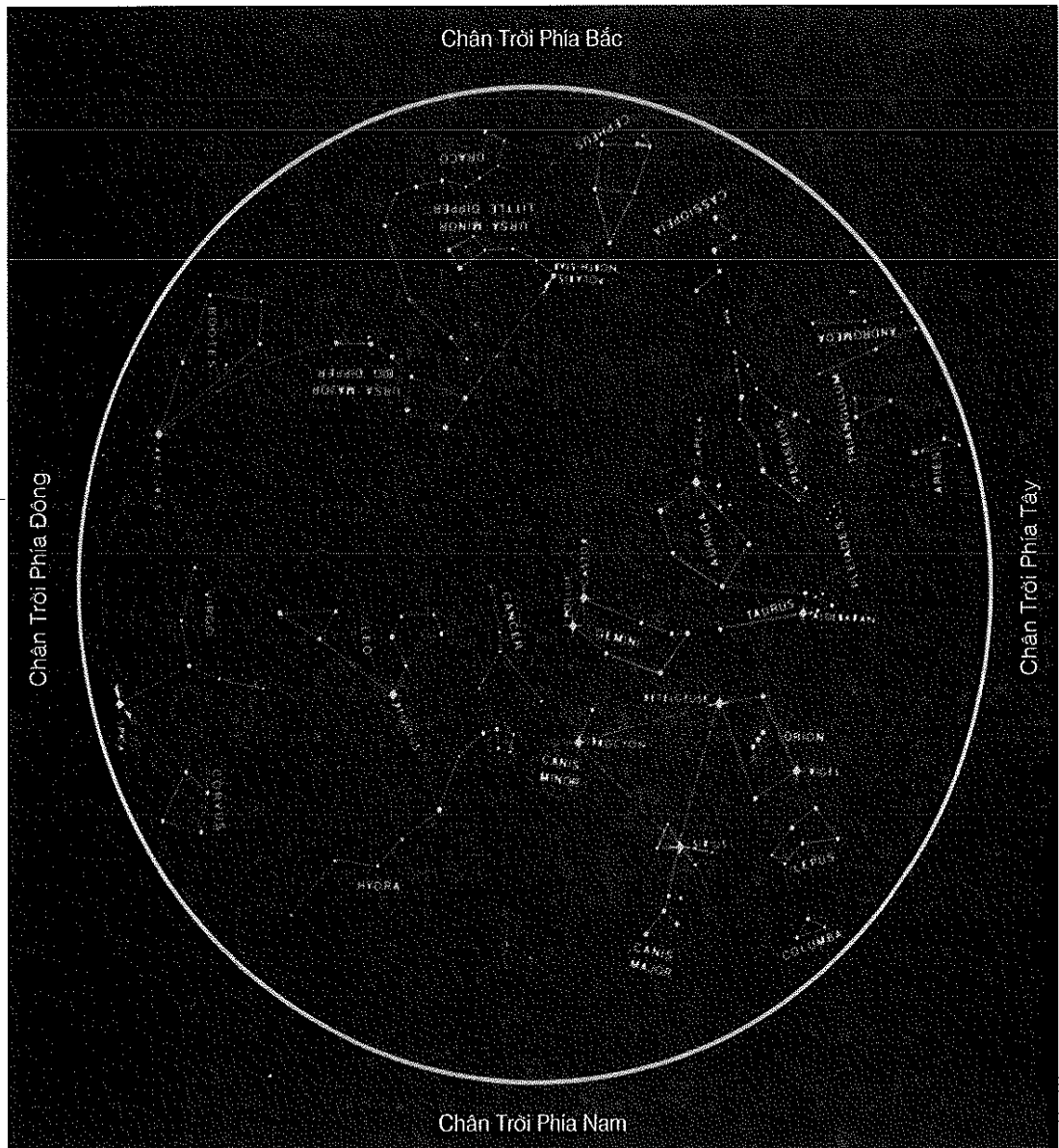
✧ THỜI GIAN CỦA SƠ ĐỒ (TIÊU CHUẨN ĐỊA PHƯƠNG):

10 giờ tối, đầu tháng

9 giờ tối, giữa tháng

8 giờ tối, cuối tháng

Biểu đồ sao thuộc nhà quan sát Griffith, đài thiên văn Griffith, Los Angeles.



BẦU TRỜI ĐÊM VÀO THÁNG BA

Vĩ độ của sơ đồ là 34° Bắc, nhưng nó phổ biến cho khắp lục địa Hoa Kỳ.

Để sử dụng: Hãy cầm sơ đồ thẳng đứng và xoay nó sao cho hướng bạn đang đối diện lộ ra ở dưới cùng.

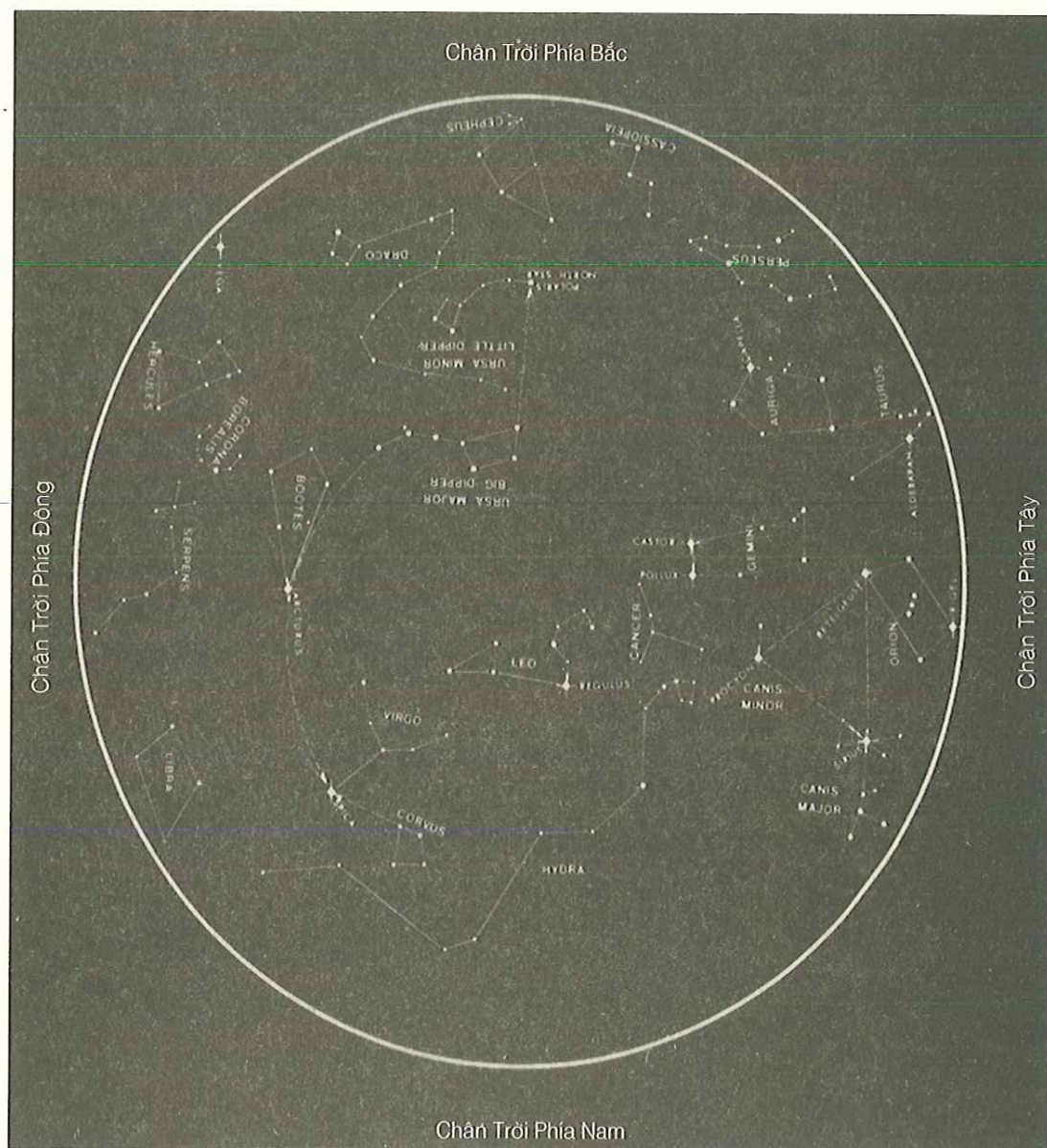
✧ THỜI GIAN CỦA SƠ ĐỒ (TIÊU CHUẨN ĐỊA PHƯƠNG):

10 giờ tối, đầu tháng

9 giờ tối, giữa tháng

8 giờ tối, cuối tháng

Biểu đồ sao thuộc nhà quan sát Griffith, đài thiên văn Griffith, Los Angeles.



BẦU TRỜI ĐÊM VÀO THÁNG TƯ

Vĩ độ của sơ đồ là 34° Bắc, nhưng nó phổ biến cho khắp lục địa Hoa Kỳ.

Để sử dụng: Hãy cầm sơ đồ thẳng đứng và xoay nó sao cho hướng bạn đang đối diện lộ ra ở dưới cùng.

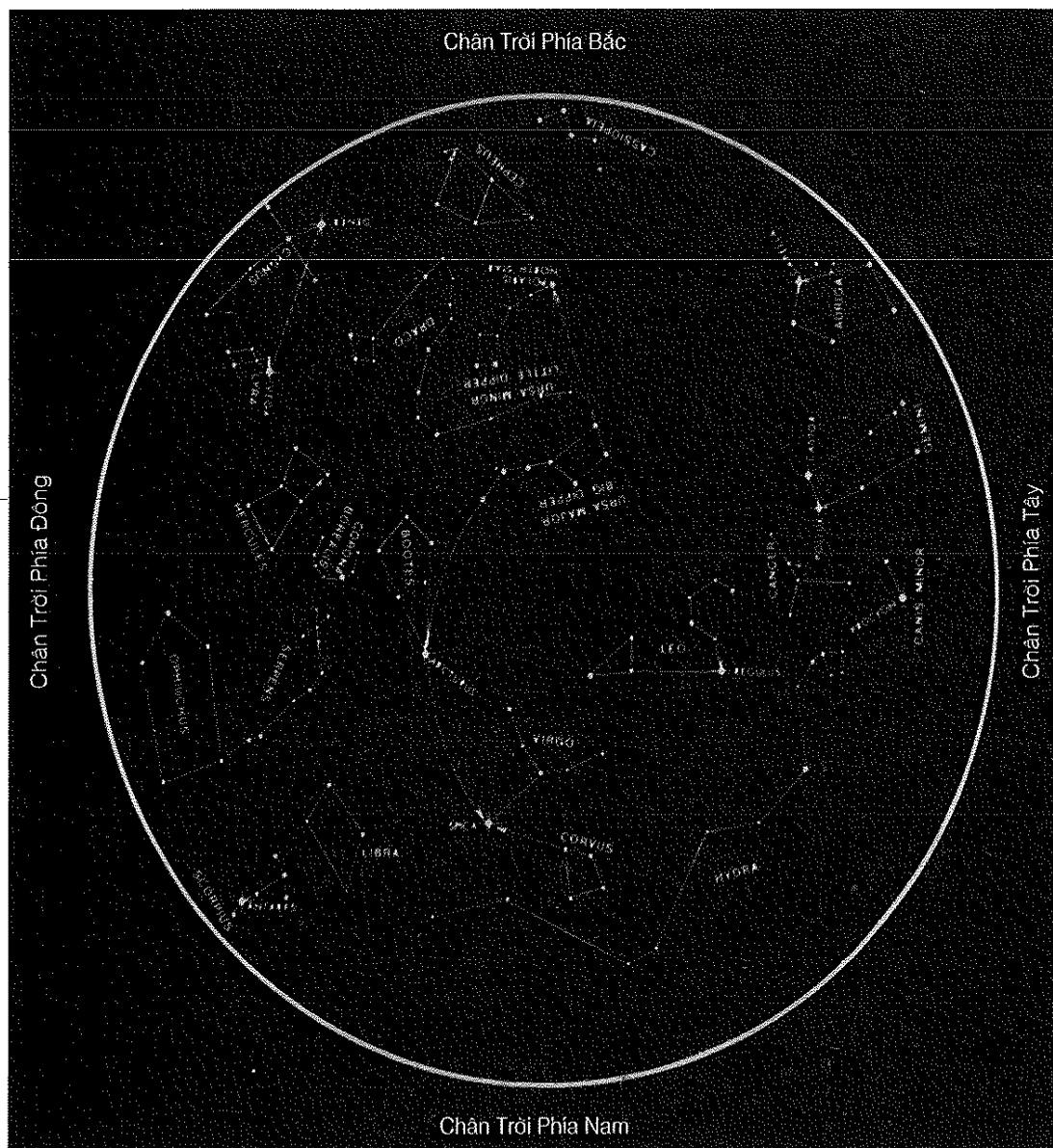
✧ THỜI GIAN CỦA SƠ ĐỒ (TIÊU CHUẨN ĐỊA PHƯƠNG):

10 giờ tối, đầu tháng

9 giờ tối, giữa tháng

8 giờ tối, cuối tháng

Biểu đồ sao thuộc nhà quan sát Griffith, đài thiên văn Griffith, Los Angeles.



BẦU TRỜI ĐÊM VÀO THÁNG NĂM

Vĩ độ của sơ đồ là 34° Bắc, nhưng nó phổ biến cho khắp lục địa Hoa Kỳ.

Để sử dụng: Hãy cầm sơ đồ thẳng đứng và xoay nó sao cho hướng bạn đang đối diện lộ ra ở dưới cùng.

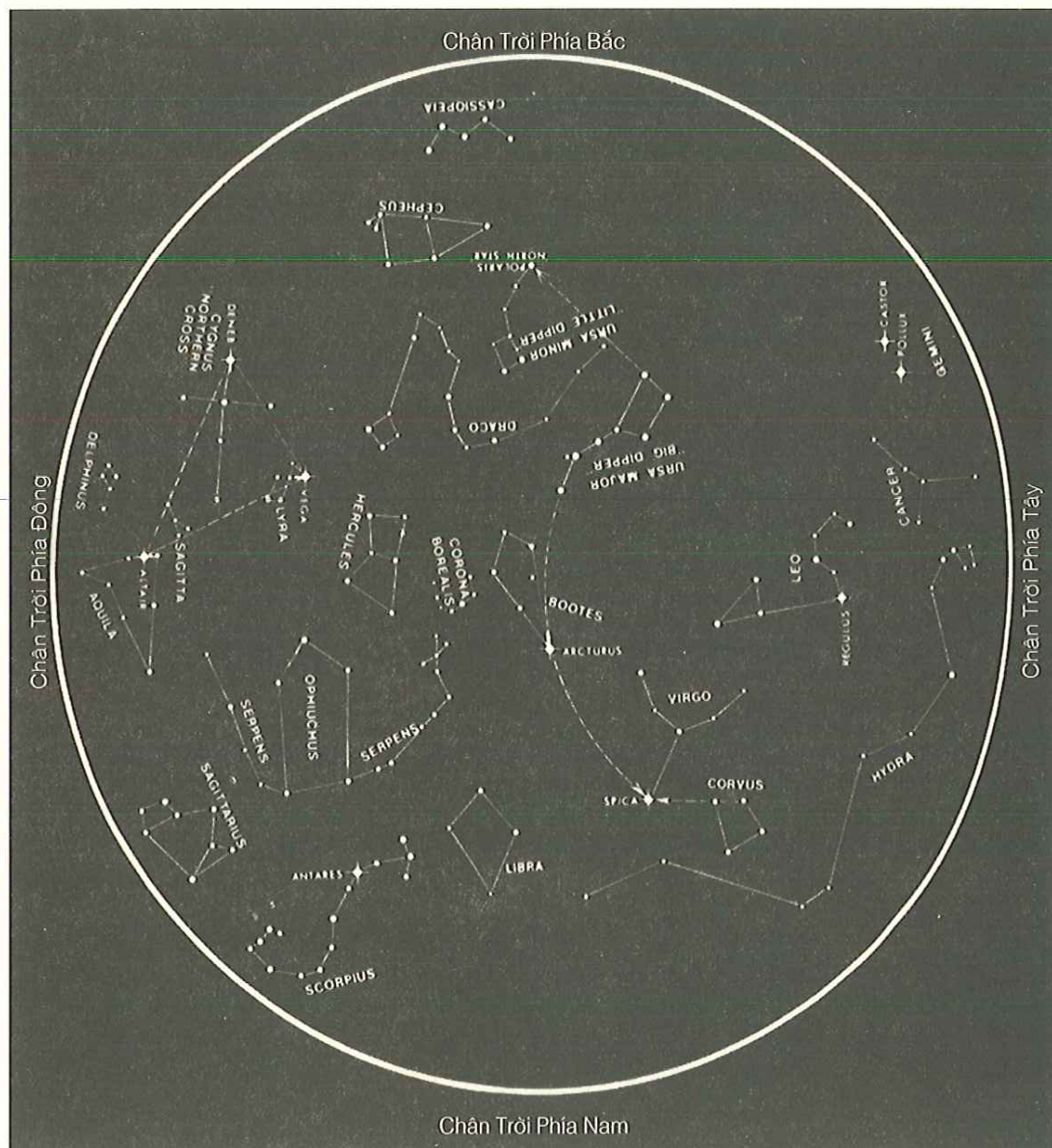
✧ THỜI GIAN CỦA SƠ ĐỒ (TIÊU CHUẨN ĐỊA PHƯƠNG):

10 giờ tối, đầu tháng

9 giờ tối, giữa tháng

8 giờ tối, cuối tháng

Biểu đồ sao thuộc nhà quan sát Griffith, đài thiên văn Griffith, Los Angeles.



BẦU TRỜI ĐÊM VÀO THÁNG SÁU

Vĩ độ của sơ đồ là 34° Bắc, nhưng nó phổ biến cho khắp lục địa Hoa Kỳ.

Để sử dụng: Hãy cầm sơ đồ thẳng đứng và xoay nó sao cho hướng bạn đang đối diện lộ ra ở dưới cùng.

✧ THỜI GIAN CỦA SƠ ĐỒ (TIÊU CHUẨN ĐỊA PHƯƠNG):

10 giờ tối, đầu tháng

9 giờ tối, giữa tháng

8 giờ tối, cuối tháng

Biểu đồ sao thuộc nhà quan sát Griffith, đài thiên văn Griffith, Los Angeles.



BẦU TRỜI ĐÊM VÀO THÁNG BẢY

Vĩ độ của sơ đồ là 34° Bắc, nhưng nó phổ biến cho khắp lục địa Hoa Kỳ.

Để sử dụng: Hãy cầm sơ đồ thẳng đứng và xoay nó sao cho hướng bạn đang đối diện lộ ra ở dưới cùng.

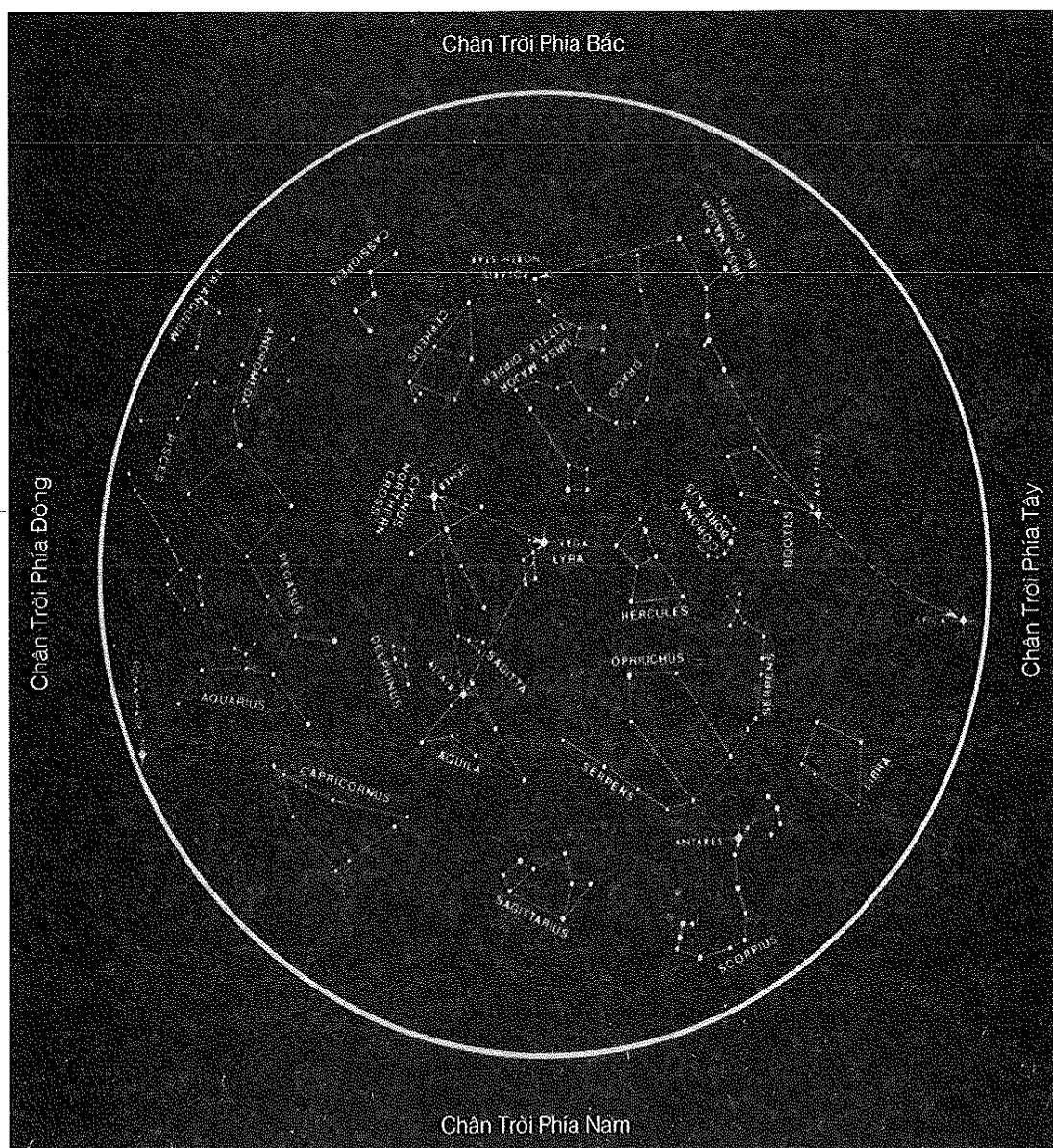
✧ THỜI GIAN CỦA SƠ ĐỒ (TIÊU CHUẨN ĐỊA PHƯƠNG):

10 giờ tối, đầu tháng

9 giờ tối, giữa tháng

8 giờ tối, cuối tháng

Biểu đồ sao thuộc nhà quan sát Griffith, đài thiên văn Griffith, Los Angeles.



BẦU TRỜI ĐÊM VÀO THÁNG TÁM

Vĩ độ của sơ đồ là 34° Bắc, nhưng nó phổ biến cho khắp lục địa Hoa Kỳ.

Để sử dụng: Hãy cầm sơ đồ thẳng đứng và xoay nó sao cho hướng bạn đang đối diện lộ ra ở dưới cùng.

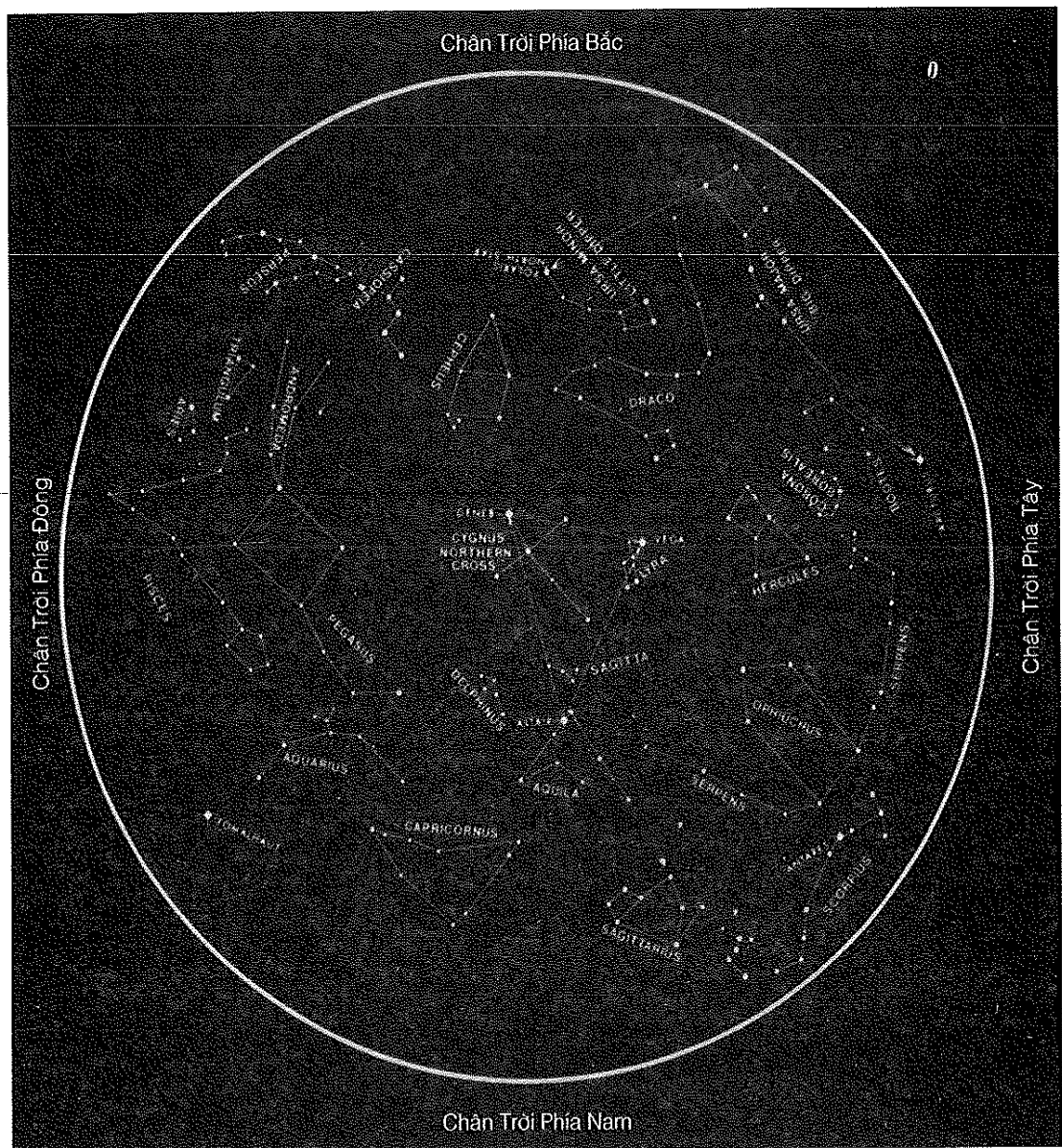
✧ THỜI GIAN CỦA SƠ ĐỒ (TIÊU CHUẨN ĐỊA PHƯƠNG):

10 giờ tối, đầu tháng

9 giờ tối, giữa tháng

8 giờ tối, cuối tháng

Biểu đồ sao thuộc nhà quan sát Griffith, đài thiên văn Griffith, Los Angeles.



BẦU TRỜI ĐÊM VÀO THÁNG CHÍN

Vĩ độ của sơ đồ là 34° Bắc, nhưng nó phổ biến cho khắp lục địa Hoa Kỳ.

Để sử dụng: Hãy cầm sơ đồ thẳng đứng và xoay nó sao cho hướng bạn đang đối diện lộ ra ở dưới cùng.

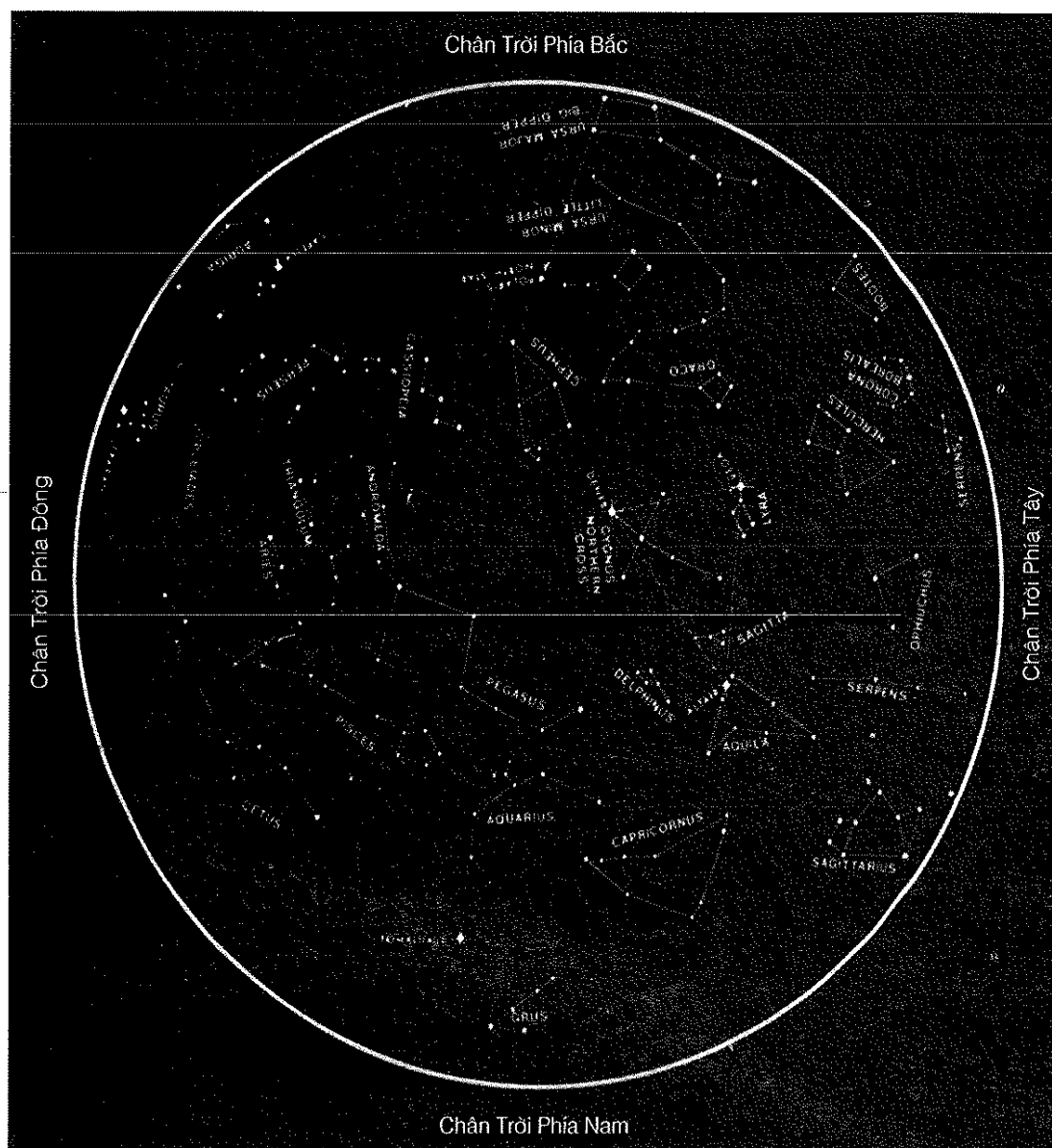
✧ THỜI GIAN CỦA SƠ ĐỒ (TIÊU CHUẨN ĐỊA PHƯƠNG):

10 giờ tối, đầu tháng

9 giờ tối, giữa tháng

8 giờ tối, cuối tháng

Biểu đồ sao thuộc nhà quan sát Griffith, đài thiên văn Griffith, Los Angeles.



BẦU TRỜI ĐÊM VÀO THÁNG MƯỜI

Vĩ độ của sơ đồ là 34° Bắc, nhưng nó phổ biến cho khắp lục địa Hoa Kỳ.

Để sử dụng: Hãy cầm sơ đồ thẳng đứng và xoay nó sao cho hướng bạn đang đối diện lộ ra ở dưới cùng.

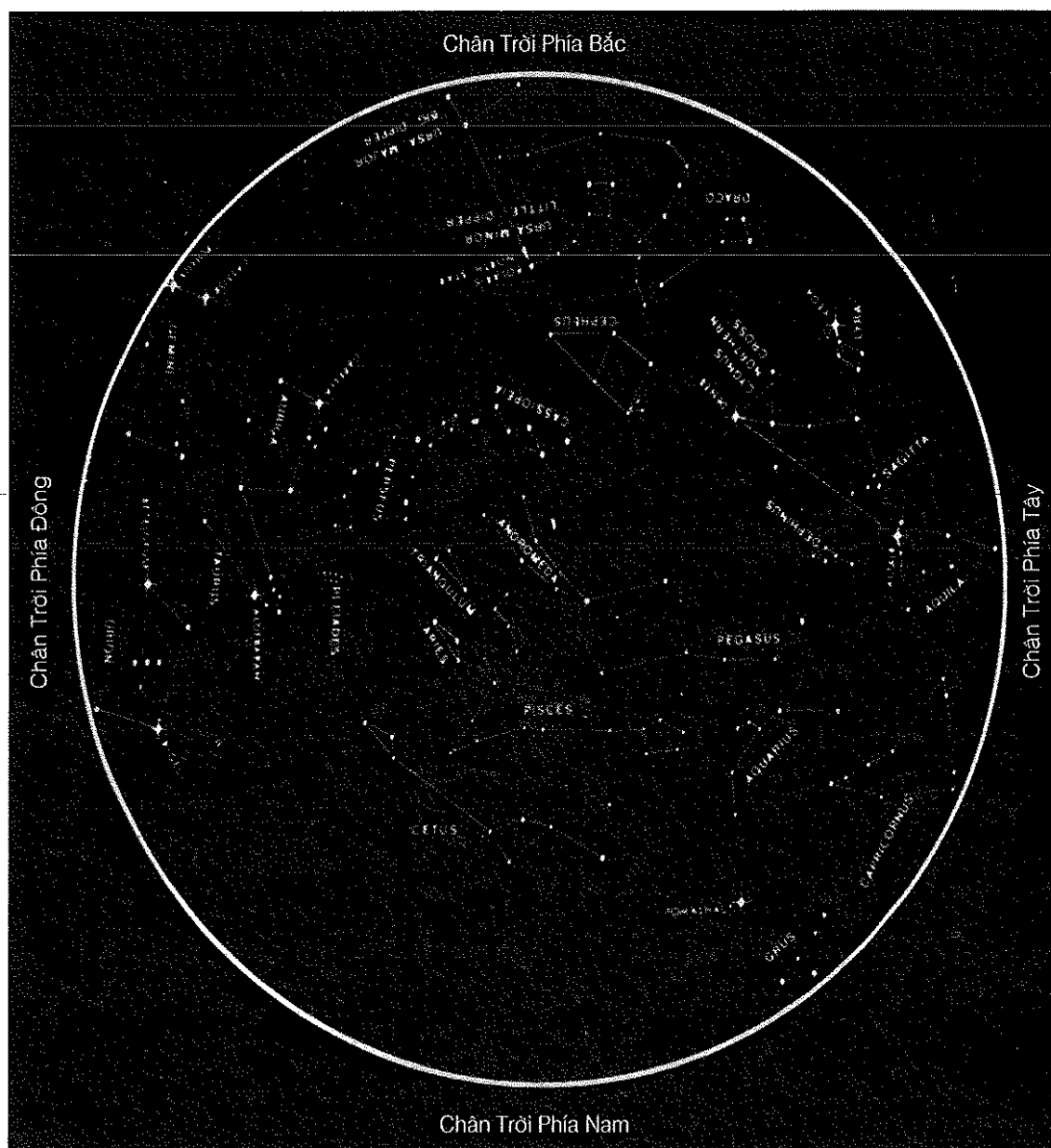
✧ THỜI GIAN CỦA SƠ ĐỒ (TIÊU CHUẨN ĐỊA PHƯƠNG):

10 giờ tối, đầu tháng

9 giờ tối, giữa tháng

8 giờ tối, cuối tháng

Biểu đồ sao thuộc nhà quan sát Griffith, đài thiên văn Griffith, Los Angeles.



BẦU TRỜI ĐÊM VÀO THÁNG MƯỜI MỘT

Vĩ độ của sơ đồ là 34° Bắc, nhưng nó phổ biến cho khắp lục địa Hoa Kỳ.

Để sử dụng: Hãy cầm sơ đồ thẳng đứng và xoay nó sao cho hướng bạn đang đối diện lộ ra ở dưới cùng.

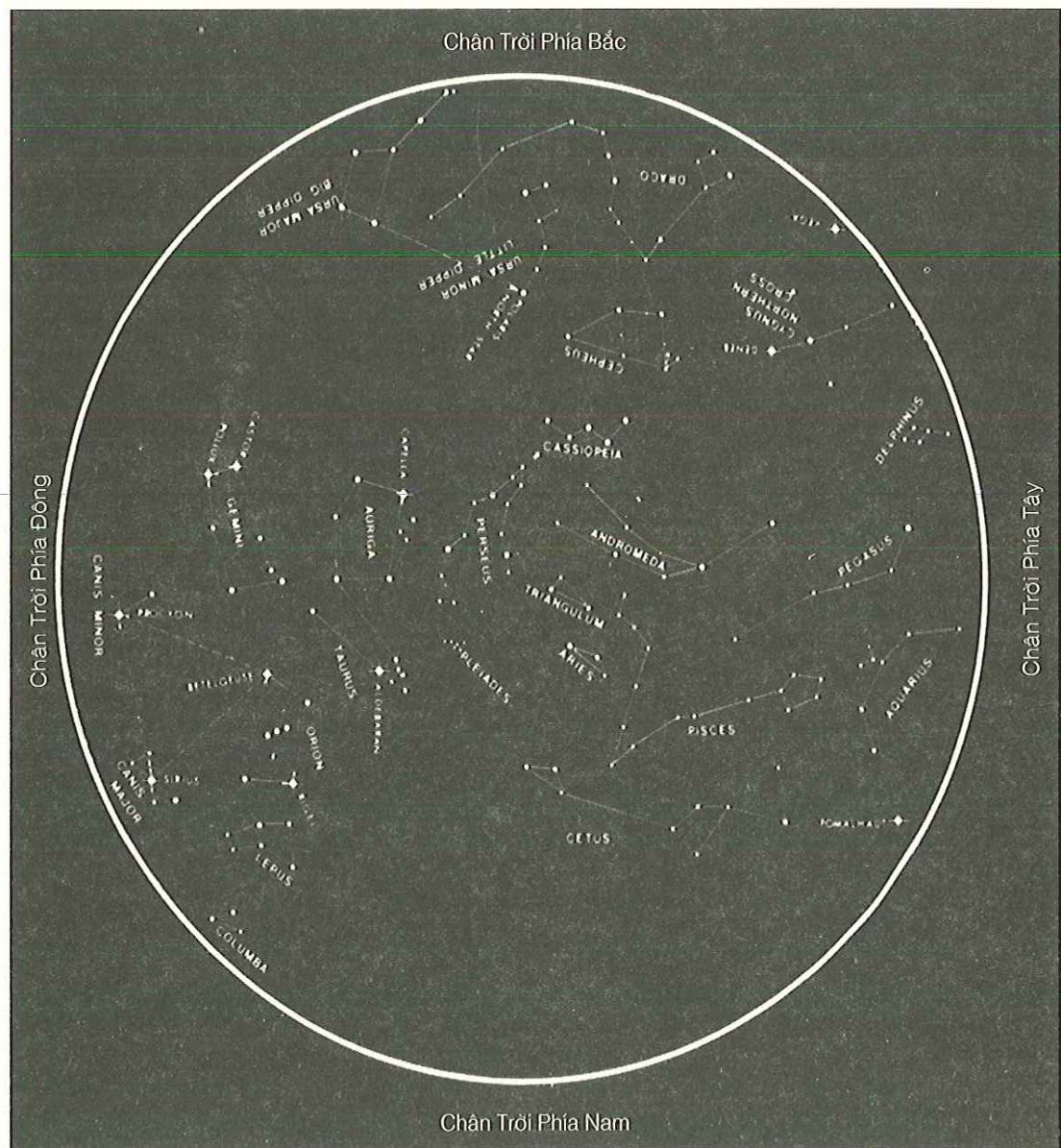
✧ THỜI GIAN CỦA SƠ ĐỒ (TIÊU CHUẨN ĐỊA PHƯƠNG):

10 giờ tối, đầu tháng

9 giờ tối, giữa tháng

8 giờ tối, cuối tháng

Biểu đồ sao thuộc nhà quan sát Griffith, đài thiên văn Griffith, Los Angeles.



BẦU TRỜI ĐÊM VÀO THÁNG MƯỜI HAI

Vĩ độ của sơ đồ là 34° Bắc, nhưng nó phổ biến cho khắp lục địa Hoa Kỳ.

Để sử dụng: Hãy cầm sơ đồ thẳng đứng và xoay nó sao cho hướng bạn đang đối diện lộ ra ở dưới cùng.

✧ THỜI GIAN CỦA SƠ ĐỒ (TIÊU CHUẨN ĐỊA PHƯƠNG):

10 giờ tối, đầu tháng

9 giờ tối, giữa tháng

8 giờ tối, cuối tháng

Biểu đồ sao thuộc nhà quan sát Griffith, đài thiên văn Griffith, Los Angeles.

DU HÀNH TỚI CÁC VÌ SAO VÀ THIÊN HÀ

ANDREW FRAKNOI

DAVID MORRISON

SIDNEY WOFF



NHÀ XUẤT BẢN TỪ ĐIỂN BÁCH KHOA

109 Quán Thánh Ba Đình, Hà Nội

ĐT : 7339279 - Fax : 8438951



Chịu trách nhiệm xuất bản : **TS. TRINH TẮT ĐẠT**

Biên tập : **Đậu Văn Nam**

Biên tập Văn Lang : **Phan Quân**

Trình bày : **Thanh Lan**

Sửa bản in : **Phan Quân**

Vẽ bìa : **Kim Lan**



CÔNG TY CP VĂN HÓA VĂN LANG - NS. VĂN LANG

40-42 Nguyễn Thị Minh Khai, Q.1, TP.HCM

ĐT : 38.242157 - 38.233022 - Fax : 84.38.235079



In 700 cuốn khổ 19x27cm tại Xưởng in Cty CP VH Văn Lang.

KHXB số 485-2012/CXB/04-25/TDBK.

In xong và nộp lưu chiểu quý 2 năm 2012.



DU HÀNH TỚI CÁC VÌ SAO & THIÊN HÀ

Thiên văn học - môn học nghiên cứu về vũ trụ bên ngoài hành tinh chúng ta - là một trong những ngành khoa học hấp dẫn nhất và có tốc độ phát triển nhanh nhất.

Vũ trụ rộng lớn mênh mông, tràn ngập những vật thể khổng lồ và kỳ bí nhưng vô cùng quyến rũ. Khi chúng ta nhìn lên bầu trời vào một đêm trong trẻo, những vì tinh tú lấp lánh như vô vàn hạt kim cương nằm trên một vòm đen sâu thẳm sẽ đưa chúng ta vào một giấc mơ lộng lẫy, cũng là giấc mơ đã dệt nên vô số thần thoại và cổ tích của các dân tộc.

Nhưng thiên văn học không chỉ là những giấc mơ, môn học này là nền tảng cho những tri thức triết học sâu sắc về sự tồn tại của chúng ta trong vũ trụ, về không gian và thời gian và về khả năng tự ý thức của con người... Tất cả những gì thuộc về con người, cả cấu trúc vật chất lẫn đời sống tinh thần, đều có nguồn gốc vũ trụ.

"Du hành tới các vì sao và thiên hà" sẽ dẫn chúng ta đi xa hàng ngàn tỷ cây số để trở về với chính mình.



CTY CP VH VĂN LANG

Nhà sách
VĂN LANG

VPNS 40-42 Ng.T.M.Khai, Q1 * ĐT: 38242157 - 38233022 * Fax: 38235079
STNS 01 Q.Trung, Q.CVáp * ĐT: 39894523 - 39894524 * Fax: 39894522
NS - 9 Phan Đăng Lưu, Q.BT * ĐT: 22437584 - 38413306 * Fax: 38413306
Xln - 6 Ng. Trung Trực, Q.BT * ĐT: 35500331 - 38943783 * Fax: 35500332
Email: vhl@vanlang.vn * Website: www.vanlang.vn

Du hành đến các vì sao và..



Giá: 380.000đ

VĂN LANG - NGUỒN TRI THỨC TOẢ SÁNG