

KHOA HỌC  KHÁM PHÁ

CUỘC CHIẾN LỖ ĐEN

THE BLACK HOLE WAR

CUỘC CHIẾN CỦA TÁC GIẢ VỚI STEPHEN HAWKING
ĐỂ LÀM CHO THẾ GIỚI TRỞ NÊN AN TOÀN ĐỐI VỚI CƠ HỌC LƯỢNG TỬ



LEONARD SUSSKIND



NHÀ XUẤT BẢN TRẺ

CUỘC CHIẾN
LỖ ĐEN
THE BLACK HOLE WAR



Chủ biên: PHẠM VĂN THIỀU
NGUYỄN VĂN LIỄN
VŨ CÔNG LẬP

THE BLACK HOLE WAR.

Copyright © 2006 by Spin Networks, Ltd.

All rights reserved.

Bản tiếng Việt © Nhà xuất bản Trẻ, 2010

BIỂU GHI BIÊN MỤC TRƯỚC XUẤT BẢN ĐƯỢC THỰC HIỆN BỞI THƯ VIỆN KHTH TP.HCM

Susskind, Leonard

Cuộc chiến lỗ đen / Leonard Susskind ; ng.d. Phạm Văn Thiều, Phạm Thu Hằng. - T.P. Hồ Chí Minh : Trẻ, 2010.

530 tr. ; 21 cm. - (Khoa học và khám phá).

Nguyên bản : The black hole war.

1. Hawking, S. W.(Stephen W.). 2. Thuyết lượng tử. 3. Lý thuyết tương đối tổng quát (Vật lý). 4. Lỗ đen (Thiên văn học). 5. Không gian và thời gian. I. Phạm Văn Thiều d. II. Phạm Thu Hằng d. III. Ts: The black hole war.

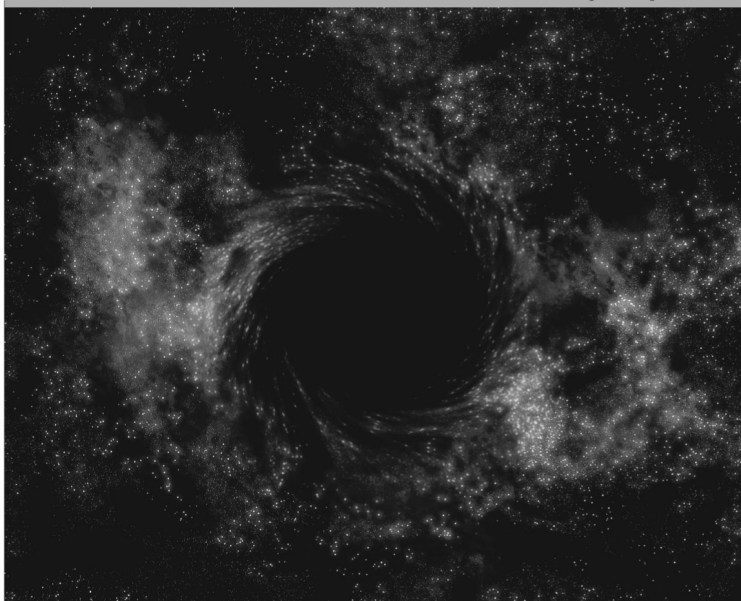
530.12 — dc 22

S964

CUỘC CHIẾN LỖ ĐEN

THE BLACK HOLE WAR

CUỘC CHIẾN CỦA TÁC GIẢ VỚI STEPHEN HAWKING
ĐỂ LÀM CHO THẾ GIỚI TRỞ NÊN AN TOÀN ĐỐI VỚI CƠ HỌC LƯỢNG TỬ



LEONARD SUSSKIND

PHẠM VĂN THIỀU - PHẠM THU HẰNG dịch

NHÀ XUẤT BẢN TRẺ

*Điều gì đã thổi lửa vào các phương trình
và làm cho chúng có thể mô tả được vũ trụ?*

STEPHEN HAWKING

MỤC LỤC

Mở đầu	9
--------	---

Phần I TÍCH BẢO

1. Phát súng đầu tiên	24
2. Sao tối	34
3. Không phải hình học thời ông nội bạn	62
4. “Einstein, đừng có bảo Chúa phải làm gì”	94
5. Planck đã phát minh ra cái thước còn tốt hơn	134
6. Trong một quán bar ở Broadway	141
7. Năng lượng và entropy	152
8. Bạn có thể nhét bao nhiêu thông tin vào một lỗ đen	172
9. Ánh sáng đen	189

Phần II CUỘC TẤN CÔNG BẤT NGỜ

10. Stephen đã để mất các bit của mình và không biết phải tìm chúng ở đâu	214
11. Sự chống trả của người Hà Lan	231
12. Ai quan tâm chứ?	239
13. Sự bế tắc	253
14. Vụ đụng độ ở Aspen	270

Phần III PHẢN CÔNG

15.	Cuộc chiến ở santa barbara	278
16.	Khoan đã! Hãy đảo ngược lại sự thay đổi nhận thức	315
17.	Ahab ở Cambridge	322
18.	Thế giới là bức toàn ảnh	344

Phần IV KẾT THÚC CUỘC ĐẤU

19.	Vũ khí suy luận ra hàng loạt	364
20.	Máy bay của Alice, hay cánh quạt nhìn thấy được cuối cùng	417
21.	Đếm lỗ đen	430
22.	Nam Mỹ đã thắng trong cuộc chiến	465
23.	Vật lý hạt nhân ư? Anh không đùa đấy chứ!	492
24.	Sự khiêm nhường	505
	Vĩ thanh	516
	Thuật ngữ	523

MỞ ĐẦU

*Có thật nhiều thứ để tìm hiểu, nhưng cũng thật ít thứ
đã được hiểu một cách thấu đáo.*

ROBERT A. HEINLEIN

NGƯỜI LẠ TRONG VÙNG ĐẤT LẠ

Ở ĐÂU ĐÓ TRÊN ĐỒNG CỔ ĐÔNG PHI, một con sư tử già đang rình bữa tối mong đợi của nó. Nó ưa những con mồi già và chậm chạp hơn, nhưng con linh dương non tơ và khỏe mạnh là lựa chọn duy nhất của nó lúc này. Đôi mắt cảnh giác ở hai bên đầu của con mồi thật lý tưởng để quét khắp xung quanh nhằm phát hiện những con thú ăn thịt nguy hiểm. Đôi mắt con thú săn mồi nhìn thẳng ra phía trước, thật hoàn hảo để khóa chặt nạn nhân trong tầm nhìn và ước lượng khoảng cách.

Lúc này, cặp mắt quét một góc rộng của con linh dương không phát hiện ra con sư tử và nó thông thả đi vào vùng nguy hiểm. Hai chân sau mạnh mẽ của con sư tử bật mạnh đẩy nó về phía con mồi đang hoảng loạn. Và thế là cuộc đua vô tận lại bắt đầu.

Mặc dù đã nặng nề bởi tuổi tác, con mèo lớn này vẫn là một kẻ chạy nước rút vượt trội. Ban đầu, khoảng cách chỉ là rất nhỏ, nhưng các cơ co giãn nhanh đầy dũng mãnh của con sư tử dần dần

đến sự mất ôxi. Sức chịu đựng tự nhiên của con linh dương nhanh chóng thối nát, và tại thời điểm nào đó thì vận tốc tương đối của con sư tử và con mồi đảo chiều; khoảng cách sát sao lại được nói rộng ra. Cái khoảnh khắc mà nó cảm nhận được sự đảo chiều này của số phận, cũng là lúc Chúa rừng xanh hiểu rằng mình đã thất bại. Nó bèn lẩn trở lại vào một bụi cây thấp.

Năm mươi ngàn năm trước, một người thợ săn mệt mỏi đã phát hiện ra một cái hang mà lối vào bị lấp bởi một tảng đá: quả là một nơi an toàn để nghỉ ngơi nếu anh ta dời được chướng ngại vật nặng đó đi. Không giống như tổ tiên mình là loài khỉ, người thợ săn đã có dáng đi thẳng. Trong tư thế đó, anh ta đẩy mạnh tảng đá nhưng chẳng ăn thua gì. Để có góc đẩy tốt hơn, anh ta đặt chân mình cách xa tảng đá hơn. Và khi cơ thể anh ta gần như nằm ngang, lực tác động bây giờ có thành phần theo hướng đứng lớn hơn nhiều so với khi ở tư thế đứng thẳng. Và tảng đá đã nhúc nhích.

Khoảng cách? Vận tốc? Đảo chiều? Góc đẩy? Lực? Thành phần? Những tính toán phức tạp tới mức khó lòng tin nổi nào đã diễn ra trong bộ não còn hồn nhiên của người thợ săn, chứ đừng nói gì đến con sư tử? Đó là những khái niệm có tính kỹ thuật mà người ta thường gặp lần đầu tiên trong các cuốn sách giáo khoa vật lý ở trường đại học. Vậy thì làm thế nào mà con sư tử biết được cách ước lượng không chỉ vận tốc của con mồi, mà quan trọng hơn, là cả vận tốc tương đối nữa? Phải chăng người thợ săn đã theo học một giáo trình vật lý để biết được khái niệm về lực? Và cả lượng giác để biết tìm sin và cos phục vụ cho việc tính toán các thành phần của lực?

Sự thực, tất nhiên là tất cả những cơ thể sống phức tạp đều sẵn có những khái niệm vật lý bản năng được “thiết đặt” như phần

cứng cố định trong hệ thần kinh nhờ quá trình tiến hóa¹. Nếu thiếu những phần mềm vật lý được lập trình sẵn này, thì không thể nào có thể sống sót được. Sự đột biến và chọn lọc tự nhiên đã biến tất cả chúng ta, và ngay cả động vật, đều trở thành các nhà vật lý. Ở con người, kích thước lớn của não đã cho phép những bản năng này tiến hóa thành các khái niệm mà chúng ta mang ở cấp độ ý thức.

Tự thay đổi hình mẫu nhận thức

Trong thực tế, tất cả chúng ta đều là những *nhà vật lý cổ điển*². Chúng ta cảm nhận được lực, vận tốc và gia tốc ở cấp độ bản năng. Trong tiểu thuyết giả tưởng *Người lạ trong một vùng đất lạ* (1961), Robert Heinlein đã phát minh ra một từ để biểu đạt sự hiểu biết trực giác sâu xa và gần như là bản năng về một hiện tượng: đó là từ *grok*. Tôi *grok* được lực, vận tốc và gia tốc. Tôi *grok* được không gian ba chiều. Tôi *grok* được thời gian và ký hiệu của số 5 trên mặt con xúc xắc. Các quỹ đạo của một viên đá hay một mũi lao đều có thể *grok* được. Nhưng nhận thức sẵn có và bản năng của tôi lại thất bại khi tôi thử áp dụng nó vào không thời gian 10 chiều, hoặc con số 10^{1000} , hoặc thậm chí còn tệ hơn với thế giới của các electron và Nguyên lý bất định của Heisenberg.

¹ Không ai thực sự biết bao nhiêu khái niệm đã sẵn có và bao nhiêu được học từ khi mới ra đời, song sự khác biệt đó ở đây không quan trọng. Vấn đề là theo thời gian, hệ thần kinh của chúng ta trưởng thành lên, có kinh nghiệm, loại cá nhân hay tiến hóa, đều mang lại cho chúng ta nhiều hiểu biết bản năng về sự vận hành của thế giới vật chất. Dù là cài đặt sẵn hay học hỏi được ở độ tuổi còn rất trẻ, thì những kiến thức đó cũng rất khó có thể phai mờ.

² Từ *cổ điển* chỉ vật lý học không bao hàm Cơ học lượng tử.

Vào đầu thế kỷ 20, cảm nhận trực giác đã hoàn toàn thất bại; vật lý học bất ngờ bị lúng túng trước các hiện tượng hoàn toàn khác thường. Ông nội của tôi mới 10 tuổi khi Albert Michelson và Edward Morley khám phá ra rằng chuyển động theo quỹ đạo của Trái Đất trong môi trường ête giả định là không thể phát hiện được¹. Electron vẫn chưa được biết đến cho tới khi ông tôi 20 tuổi; ông 30 tuổi vào năm Albert Einstein công bố Thuyết tương đối hẹp, và ông ở tuổi trung niên khi Heisenberg phát minh ra Nguyên lý bất định. Không có cách nào để áp lực tiến hóa có thể tạo ra được sự nhận thức một cách bản năng về những thế giới hoàn toàn khác biệt đó. Nhưng có điều gì đó trong hệ thần kinh của chúng ta, ít nhất là ở một số trong chúng ta, đã được chuẩn bị sẵn cho một sự thay đổi nhận thức tuyệt vời, cho phép chúng ta không chỉ biết đặt câu hỏi về những hiện tượng còn mù mờ này mà còn đưa ra được những khái niệm toán học trừu tượng – những khái niệm mới, hoàn toàn phi trực giác – để xử lý và giải thích chúng.

Tốc độ đã đặt ra yêu cầu đầu tiên phải thay đổi nhận thức – tốc độ nhanh đến mức nó gần như sánh bằng vận tốc của một tia sáng. Trước thế kỷ 20, không động vật nào di chuyển nhanh hơn 100 dặm một giờ, và ngay cả ngày nay, ánh sáng truyền đi nhanh tới mức mà đối với tất cả, trừ các mục đích khoa học, nó dường như chẳng có truyền đi gì hết: nó xuất hiện ngay tức thời khi ánh sáng được bật lên. Loài người ban đầu không có nhu cầu phải được “lắp sẵn” những nhận thức tương thích với tốc độ siêu cao như tốc độ ánh sáng.

¹ Thí nghiệm nổi tiếng của Michelson và Morley lần đầu tiên cho thấy vận tốc ánh sáng không phụ thuộc vào chuyển động của Trái Đất. Nó dẫn đến những nghịch lý mà cuối cùng Einstein đã giải quyết được trong Thuyết tương đối hẹp của ông.

Việc thay đổi nhận thức do tốc độ đã xảy đến một cách đột ngột. Einstein không phải là một đột biến; ông đã phải vật lộn với sự mù mờ này cả chục năm để thay thế hệ thống Newton cũ. Nhưng đối với các nhà vật lý thời đó thì dường như, trong số họ, phải tự phát xuất hiện một loại người mới – những người có khả năng nhìn thế giới không phải qua không gian ba chiều, mà là qua *không-thời gian* bốn chiều.

Einstein đã phải vật lộn thêm một thập kỷ nữa – lần này theo quan điểm đơn thuần của các nhà vật lý – là để thống nhất cái mà ông gọi là Thuyết tương đối hẹp với Thuyết hấp dẫn của Newton. Kết quả của nó – Thuyết tương đối rộng – đã làm thay đổi một cách sâu sắc tất cả các quan niệm truyền thống về hình học. Không-thời gian trở nên mềm dẻo, có thể uốn cong hoặc cuộn lại. Nó trông giống như một tấm cao su căng bị một vật nặng đè lên. Trước đó, không-thời gian là bị động và các tính chất hình học của nó đều là cố định. Theo Thuyết tương đối rộng thì không-thời gian lại như một người chơi chủ động: nó có thể bị biến dạng bởi các vật thể nặng như các hành tinh, các ngôi sao, nhưng lại không thể nào hình dung được – mặc dù không phải vì thiếu toán học hỗ trợ.

Vào năm 1900, năm năm trước khi Einstein bước lên sân khấu, một sự thay đổi hình mẫu tư duy còn kỳ quặc hơn nhiều đã diễn ra cùng với việc khám phá ra ánh sáng được tạo bởi các hạt được gọi là photon, hay đôi khi còn gọi là lượng tử ánh sáng. Thuyết photon¹ ánh sáng chỉ là một dấu hiệu báo trước một cuộc cách mạng sắp diễn ra; sự rèn luyện trí tuệ bây giờ còn trừu tượng hơn bất kỳ thứ gì được chứng kiến từ trước đến nay. Cơ học lượng tử còn hơn cả một định luật mới của tự nhiên. Nó liên quan đến việc thay đổi các

¹ Thuật ngữ *photon* bắt đầu được sử dụng vào năm 1926, do nhà hóa học Gilbert Lewis đặt ra.

quy tắc của logic cổ điển, những quy tắc thông thường của tư duy mà mọi người có đầu óc tỉnh táo bình thường đều sử dụng để đưa ra các suy luận. Nó dường như còn thật điên rồ. Nhưng dù có điên rồ hay không thì các nhà vật lý vẫn có thể thay đổi được nhận thức của mình theo logic mới gọi là logic lượng tử. Trong Chương 4, tôi sẽ giải thích mọi điều bạn cần biết về Cơ học lượng tử. Hãy chuẩn bị để cho nó làm cho bạn phải hoang mang. Ai cũng đều thế cả.

Thuyết tương đối và Cơ học lượng tử ngay từ đầu đã là hai kẻ đồng hành bất đắc dĩ. Ngay khi chúng bị buộc phải làm đám cưới, thì bạo lực đã nổ ra – toán học ở đây đã đẻ ra những đại lượng vô hạn không kiểm soát nổi cho mọi câu hỏi mà một nhà vật lý có thể đặt ra. Phải mất nửa thế kỷ thì Cơ học lượng tử và Thuyết tương đối hẹp mới com lành canh ngọt với nhau. Vào đầu những năm 1950, Richard Feynman, Julian Schwinger, Sin-Itiro Tomanaga, và Freeman Dyson¹ đã đặt nền móng cho sự kết hợp của Thuyết tương đối hẹp và Cơ học lượng tử, cái được gọi là Lý thuyết trường lượng tử. Song Thuyết tương đối rộng (sự kết hợp giữa Thuyết tương đối hẹp của Einstein và Thuyết hấp dẫn của Newton) và Cơ học lượng tử thì vẫn không thể dung hòa được với nhau, mặc dù đã có rất nhiều công sức được bỏ ra. Feynman, Steven Weinberg, Bryce DeWitt, và John Wheeler đều đã cố gắng “lượng tử hóa” các phương trình hấp dẫn của Einstein, song tất cả đều dẫn đến những kết quả vô giá trị. Có lẽ điều đó cũng không có gì phải ngạc nhiên. Cơ học lượng tử chi phối thế giới của những vật thể rất nhẹ. Ngược lại, hấp dẫn dường như chỉ ảnh hưởng đối với những khối vật chất rất nặng. Sẽ là an toàn khi giả định rằng không có gì là đủ nhẹ để Cơ học lượng

¹ Năm 1965, Schwinger và Tomanaga đã nhận được giải Nobel cho các nghiên cứu của họ. Song trong cách tư duy hiện đại về Lý thuyết trường lượng tử cũng có nhiều công của Dyson cũng như những người khác.

tử là quan trọng đồng thời lại đủ nặng để hấp dẫn cũng có ảnh hưởng. Do đó, nhiều nhà vật lý trong suốt nửa sau thế kỷ 20 đã coi việc theo đuổi một lý thuyết thống nhất vô nghĩa như thế là không đáng, nó chỉ thích hợp với những kẻ lập dị và các triết gia mà thôi.

Nhưng những người khác thì lại coi đây là một quan điểm thiên cặn. Đối với họ, ý tưởng cho rằng hai lý thuyết về tự nhiên không tương thích với nhau – thậm chí trái ngược nhau – là điều không thể dung thứ nổi về mặt trí tuệ. Họ tin rằng hấp dẫn hầu như chắc chắn cũng đóng một vai trò nào đó trong việc quyết định các tính chất của những viên gạch nhỏ bé nhất cấu tạo nên vật chất. Vấn đề là các nhà vật lý chưa thăm dò tới mức đủ sâu. Thực sự thì họ đã đúng: khi đi xuống tới tận đáy của thế giới, nơi mà những khoảng cách là cực nhỏ không thể quan sát được một cách trực tiếp, thì những vật thể nhỏ nhất của tự nhiên lại tác động những lực hấp dẫn mạnh lên nhau.

Ngày nay nhiều người tin rằng hấp dẫn và Cơ học lượng tử sẽ đóng vai trò quan trọng ngang nhau trong việc quyết định đến các định luật của các hạt cơ bản. Nhưng kích thước của các viên gạch cơ bản của tự nhiên nhỏ đến mức khó có thể tưởng tượng nổi, nên sẽ chẳng có ai ngạc nhiên nếu như cần phải có một sự thay đổi nhận thức triệt để mới hiểu được chúng. Nhận thức mới này, dù là gì đi nữa, sẽ được gọi là *hấp dẫn lượng tử*, song ngay cả khi còn chưa biết dạng chi tiết của nó ra sao, chúng ta vẫn có thể nói một cách an toàn rằng hình mẫu tư duy mới này sẽ gắn với những quan niệm rất lạ lẫm về không gian và thời gian. Tính hiện thực khách quan của vị trí không gian và của các thời điểm sẽ trở nên lỗi thời giống như tính đồng thời¹, như quyết

¹ Một trong những điều đầu tiên đi cùng với cuộc cách mạng tương đối vào năm 1905 là ý tưởng cho rằng hai sự kiện có thể xảy ra đồng thời một cách khách quan.

định luận¹ và như loài chim cưu đã tuyệt chủng vậy. Hấp dẫn lượng tử mô tả một thực tại mang tính chủ quan hơn nhiều so với chúng ta tưởng. Như chúng ta sẽ thấy ở Chương 18, đó là một thực tại mà, trên nhiều phương diện, giống như những ảo ảnh ba chiều ma quái được tạo bởi một bức ảnh toàn ký (*hologram*).

Các nhà vật lý lý thuyết đang nỗ lực để giành được chỗ đứng vững chắc trong một vùng đất lạ. Giống như trong quá khứ, những thí nghiệm tưởng tượng đã soi rọi nhiều nghịch lý và mâu thuẫn giữa các nguyên lý cơ bản. Cuốn sách này viết về một cuộc đấu trí chỉ về một thí nghiệm tưởng tượng. Năm 1976, Stephen Hawking đã tưởng tượng ném một mẫu thông tin – một quyển sách, một chiếc máy tính, hay thậm chí một hạt cơ bản – vào một lỗ đen. Hawking tin rằng lỗ đen là những cái bẫy tối hậu và mẫu thông tin đó sẽ bị biến mất vĩnh viễn, không bao giờ có thể truy xuất lại được đối với thế giới bên ngoài. Nhận xét có vẻ ngây thơ này lại hầu như không phải ngây thơ như ta tưởng; nó đe dọa sẽ làm nổ tung và lật nhào toàn bộ tòa nhà vật lý học hiện đại. Có điều gì đó khủng khiếp như một cơn sốt; định luật cơ bản nhất của tự nhiên – sự bảo toàn thông tin – đã bị đe dọa nghiêm trọng. Đối với những ai lưu tâm thì hoặc là Hawking sai hoặc là trung tâm ba trăm năm tuổi của vật lý học đã không còn đứng vững nữa.

Lúc đầu rất ít người quan tâm đến vấn đề này. Trong gần hai thập kỷ, sự tranh cãi diễn ra âm ỉ. Nhà vật lý vĩ đại người Hà Lan Gerard't Hooft và tôi là một đội quân gồm hai người ở một bên chiến tuyến. Còn Stephen Hawking và một nhóm nhỏ các nhà

¹ Quyết định luận là một nguyên lý mà theo nó tương lai hoàn toàn được quyết định bởi quá khứ. Theo Cơ học lượng tử, các định luật vật lý có tính chất thống kê và không gì có thể tiên đoán được một cách chắc chắn.

nguyên cứu thuyết tương đối thì ở chiến tuyến đối nghịch. Phải đến đầu những năm 1990, hầu hết các nhà vật lý lý thuyết – đặc biệt là những nhà lý thuyết dây – mới bừng tỉnh trước sự đe dọa mà Hawking đặt ra, và sau đó họ hầu hết đều cho rằng nhận xét đó là sai. Dù sao thì cũng sai trong một khoảng thời gian.

Cuộc chiến lỗ đen thực sự là một cuộc tranh luận khoa học – nó không có gì giống với những cuộc tranh luận giả hiệu về thiết kế trí tuệ, hay sự tồn tại của sự nóng lên toàn cầu. Những tranh luận giả hiệu kiểu đó, được những nhà vận động chính trị bày đặt ra để làm mù mị công chúng gây thơ, chứ chẳng hề phản ánh bất kỳ một sự khác biệt thực sự nào về mặt khoa học. Ngược lại, sự phân định trong vấn đề lỗ đen là rất hiện thực. Những nhà vật lý lý thuyết kiệt xuất vốn không bao giờ nhất trí với chuyện tin những nguyên lý nào và vứt bỏ những nguyên lý nào của vật lý. Liệu họ theo Hawking, với quan điểm bảo thủ về không-thời gian, hay là theo ‘t Hooft và tôi, với quan điểm bảo thủ của chúng tôi về Cơ học lượng tử? Mọi quan điểm dường như đều chỉ dẫn tới nghịch lý và mâu thuẫn. Hoặc không-thời gian – cái sân khấu nơi các định luật của tự nhiên trình diễn – không thể là những gì mà chúng ta vẫn nghĩ, hoặc các nguyên lý thiêng liêng về entropy và thông tin là sai. Hàng triệu năm tiến hóa về nhận thức và mấy trăm năm kinh nghiệm của vật lý học một lần nữa lại đưa cọt chúng ta và chúng ta tự cảm thấy mình cần phải có những thay đổi về nhận thức.

Cuộc chiến lỗ đen là sự ca tụng trí tuệ loài người và khả năng tuyệt vời của nó trong việc khám phá các định luật của tự nhiên. Đó là sự lý giải về một thế giới ở quá xa các giác quan của chúng ta, còn xa hơn cả Cơ học lượng tử và Thuyết tương đối. Hấp dẫn

lượng tử xem xét các đối tượng nhỏ hơn hàng trăm tỉ tỉ lần so với một proton. Chúng ta chưa bao giờ từng trực tiếp tiếp xúc với những vật nhỏ đến như vậy và có thể sẽ không bao giờ, nhưng sự khéo léo của loài người sẽ cho phép chúng ta suy luận ra sự tồn tại của chúng, và thật đáng kinh ngạc, cổng vào thế giới đó lại chính là những vật thể với kích thước và khối lượng cực lớn: các lỗ đen.

Cuộc chiến lỗ đen cũng là một cuốn biên niên sử về một khám phá. Nguyên lý toàn ảnh là một trong những khái niệm trừu tượng và phi trực giác nhất trong toàn bộ vật lý học. Đó là sự tích tụ của hơn hai thập kỷ đấu trí về số phận của thông tin khi bị rơi vào một lỗ đen. Đó không phải là một cuộc chiến tranh giữa các đối thủ hung hãn, mà thực sự ở đây tất cả những người tham chiến chủ yếu đều là bạn bè. Song đó là một cuộc chiến ác liệt về những ý tưởng giữa những người tôn trọng nhau một cách rất sâu sắc nhưng cũng bất đồng với nhau không kém phần sâu sắc.

Có một quan niệm phổ biến cần phải được xóa bỏ. Hình ảnh chung mà công chúng thường hình dung về các nhà vật lý, đặc biệt là các nhà vật lý lý thuyết, đó là những người trông vụng về, hẹp hòi, những người chỉ quan tâm đến người ngoài hành tinh, không phải con người và hết sức tẻ nhạt. Không gì sai sự thực hơn những điều như thế. Những nhà vật lý vĩ đại mà tôi biết, và rất nhiều người trong số họ, là những người cực kỳ hấp dẫn với những đam mê mãnh liệt và trí tuệ tuyệt vời. Sự phong phú về tính cách và cách thức tư duy của họ thật vô cùng thú vị đối với tôi. Viết về vật lý cho công chúng mà không bao hàm yếu tố con người thì đối với tôi dường như thiếu đi điều gì đó hết sức thú vị. Trong khi viết cuốn sách này, tôi đã cố gắng thể hiện cả khía cạnh cảm xúc của câu chuyện cũng như khía cạnh khoa học của nó.

Ghi chú về những con số rất lớn và rất bé

Xuyên suốt cuốn sách này, bạn sẽ gặp rất nhiều con số rất lớn và rất bé. Não của con người không được cấu tạo để hình dung các con số lớn hơn nhiều so với 100 hoặc nhỏ hơn nhiều so với $1/100$, song chúng ta có thể tự rèn luyện để hình dung được tốt hơn. Chẳng hạn, khi đã rất quen xử lý các con số, tôi có thể hình dung ra con số lớn hơn hoặc nhỏ hơn 1 triệu, nhưng sự khác biệt giữa một ngàn tỉ và một nghìn triệu triệu thì vượt xa khả năng hình dung của tôi. Rất nhiều con số trong cuốn sách này vượt xa hàng ngàn tỉ và nghìn triệu triệu. Làm thế nào để chúng ta có thể nắm bắt được chúng? Câu trả lời liên quan đến một trong những kỳ công thay đổi nhận thức vĩ đại nhất mọi thời đại: *sự phát minh ra số mũ và ký hiệu khoa học*.

Hãy bắt đầu với một con số tương đối lớn. Dân số trên Trái đất vào khoảng 6 tỉ người. Một tỉ là 10 nhân với chính nó 9 lần. Nó cũng có thể được biểu thị bằng số 1 với 9 số 0 đằng sau.

$$\text{Một tỉ} = 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 = 1.000.000.000$$

Một ký hiệu tắt cho 10 nhân với chính nó 9 lần là 10^9 , hay đọc là *mười lũy thừa 9*. Vì vậy, dân số Trái đất có thể được biểu thị một cách ngắn gọn bằng đẳng thức dưới đây:

$$6 \text{ tỉ} = 6 \times 10^9.$$

Trong trường hợp này, 9 được gọi là số mũ.

Còn đây là một con số lớn hơn nhiều: tổng số proton và neutron trên Trái đất. Số proton và neutron trên Trái đất (xấp xỉ) bằng

$$5 \times 10^{51}$$

Con số này rõ ràng lớn hơn rất nhiều so với dân số trên Trái đất. Nhưng lớn hơn nhiều chừng nào? 10 lũy thừa 51 là một tích có 51 thừa số 10, mà 1 tỉ thì chỉ có 9 thừa số như vậy. Do đó, so với 10^9 , 10^{51} có nhiều hơn 42 thừa số 10. Điều này làm cho số các hạt tạo nên hạt nhân trên Trái đất gấp khoảng 10^{42} lần so với dân số. (Hãy lưu ý là tôi đã bỏ qua các nhân tử 5 và 6 ở các phương trình trên. Nhưng 5 và 6 không hơn kém nhau nhiều, vì vậy nếu bạn chỉ muốn có một “đánh giá về bậc độ lớn” thôi, thì bạn có thể bỏ qua chúng).

Hãy lấy hai con số thực sự lớn khác. Tổng số các electron trong phần vũ trụ nhìn thấy được bằng kính viễn vọng mạnh nhất là khoảng 10^{80} . Tổng số photon¹ là khoảng 10^{90} . Giờ thì 10^{90} có vẻ như không lớn hơn nhiều lắm so với 10^{80} , nhưng thực tế không phải như vậy: 10^{90} lớn hơn gấp 10^{10} lần và 10.000.000.000 là một con số rất lớn. Trong thực tế 10^{80} và 10^{81} trông gần như nhau, song con số thứ hai lớn hơn con số thứ nhất 10 lần. Vì vậy một sự thay đổi nhỏ ở số mũ có nghĩa là một sự thay đổi lớn ở con số mà nó biểu thị.

Bây giờ chúng ta hãy xét đến các số rất nhỏ. Kích thước của một nguyên tử là vào khoảng 1 phần 10 tỉ mét. Nếu ký hiệu ở dạng thập phân thì:

Kích thước của nguyên tử = 0,0000000001 mét.

Lưu ý là số 1 ở vị trí thập phân thứ 10. Ký hiệu khoa học cho 1 phần 10 tỉ liên quan đến số mũ âm, tức là -10.

$$0,0000000001 = 10^{-10}$$

¹ Đừng nên nhầm lẫn photon với proton. *Photon* là các hạt ánh sáng, còn *proton* cùng với neutron tạo nên hạt nhân nguyên tử.

Con số với số mũ âm là rất nhỏ và con số với số mũ dương là rất lớn.

Hãy xét một số nhỏ hơn nữa. Các hạt cơ bản, như electron chẳng hạn, rất nhẹ so với các vật thông thường. Một kilôgam bằng khối lượng của 1 lít nước. Khối lượng của một electron nhỏ hơn rất nhiều. Trong thực tế, khối lượng một electron khoảng 9×10^{-31} kg.

Cuối cùng, phép nhân và phép chia sẽ là rất đơn giản khi sử dụng ký hiệu lũy thừa. Tất cả những gì bạn phải làm là cộng hoặc trừ các số mũ. Dưới đây là một số ví dụ.

$$10^{51} = 10^{42} \times 10^9$$

$$10^{81} : 10^{80} = 10$$

$$10^{-31} \times 10^9 = 10^{-22}$$

Số mũ không chỉ là cách ngắn gọn duy nhất được sử dụng để biểu thị các số vô cùng lớn. Một vài con số như vậy còn có tên riêng. Ví dụ, một *googol* là 10^{100} (1 với 100 số 0 đằng sau) và một *googolplex* là 10^{googol} (1 tiếp sau là một googol số 0), một số cực kỳ lớn.

Với những kiến thức cơ bản này, giờ ta hãy chuyển sang thế giới phần nào đó ít trừu tượng hơn – ở đây là San Francisco ba năm thuộc nhiệm kỳ đầu tiên của Tổng thống Ronald Reagan – cuộc chiến tranh lạnh đang ở đỉnh điểm của nó và một cuộc chiến tranh mới sắp sửa bắt đầu.

PHẦN I

Tích bảo

Lịch sử sẽ đối xử tốt với tôi, vì tôi có ý định viết nên nó

WINSTON CHURCHILL¹

¹ Tiêu đề của Phần I và Phần IV trong cuốn sách này được vay mượn từ tên Tập 1 và Tập 4 của cuốn hồi ký *Lịch sử Chiến tranh Thế giới thứ II* của Thủ tướng Anh Churchill.

PHÁT SÚNG ĐẦU TIÊN

San Francisco, 1983

NHỮNG ĐÁM MÂY ĐEN của chiến tranh đã tích tụ hơn 80 năm cho đến khi xảy ra cuộc giao tranh đầu tiên trong căn phòng áp mái tòa biệt thự của Jack Rosenberg ở San Francisco. Jack, còn được biết đến với cái tên Werner Erhard, là một tay thủ lĩnh, một người chào hàng siêu hạng và ít nhiều là một kẻ bịp bợm. Trước đầu những năm 1970, ông ta chỉ đơn giản là Jack Rosenberg, người chuyên chào bán các bộ bách khoa thư. Rồi một hôm, trong lúc đi qua cầu Cổng vàng, ông ta chợt ngộ ra rằng mình có sứ mệnh cứu vớt thế giới và trong khi làm việc đó, ông ta kiếm được một tài sản kếch sù. Tất cả những gì ông ta cần là một cái tên nghe thật kinh điển và một cách chào hàng thật mới mẻ. Tên mới của ông sẽ là Werner (lấy từ Werner Heisenberg) Erhard (từ tên của một chính khách người Đức là Ludwig Erhard); cách chào hàng mới sẽ là Những seminar huấn luyện (*Erhard Seminars Training*), viết tắt là EST. Và ông ta đã thành công, nếu không phải trong việc cứu rỗi thế giới thì ít nhất cũng là phát tài. Hàng ngàn người mắc chứng bất an, hay xấu hổ đã trả hàng trăm đôla cho mỗi lần để được nghe thuyết giảng, bị công kích liên tục và (theo giai thoại)

họ không thể đi toilet trong suốt các cuộc seminar truyền cảm hứng kéo dài tới 16 giờ liền do Werner hay nhiều học trò của ông ta tổ chức. Nó rẻ hơn và nhanh hơn nhiều so với liệu pháp tâm lý, và về một phương diện nào đó, còn hiệu quả hơn. Hay xấu hổ và thiếu tự tin lúc mới vào, những người tham dự dường như trở nên tự tin, mạnh mẽ và thân thiện hơn – giống như Werner – lúc đi ra. Đừng bận tâm rằng đôi khi họ có vẻ như rất giống các rôbot bất tay, vui buồn thất thường. Điều quan trọng là họ đã cảm thấy khá hơn. “Việc đào tạo” thậm chí còn là chủ đề của một bộ phim rất hài hước được gọi là *Semi - Tough* do Burt Reynolds thủ vai chính.

Các fan của EST luôn vây xung quanh Werner. *Nô lệ* thì dứt khoát là một từ nghe quá mạnh; có lẽ gọi họ là các tình nguyện viên thì đúng hơn. Có cả những đầu bếp do EST đào tạo để nấu ăn cho ông ta, tài xế để lái xe đưa ông ta quanh thị trấn và đủ thứ người phục vụ trong nhà đều được bố trí trong ngôi biệt thự của ông ta. Nhưng trớ trêu thay, bản thân Werner cũng lại là một fan – một fan của vật lý học.

Tôi thích Werner. Ông ta thông minh, thú vị và vui tính. Và ông ta lại mê vật lý. Ông muốn trở thành một phần của nó và vì vậy đã tiêu hàng đồng tiền để mời nhóm các nhà vật lý lý thuyết hàng đầu đến biệt thự của mình. Đôi khi chỉ là một vài người bạn thân đặc biệt của ông như Sidney Coleman, David Finkelstein, Dick Feynman, và tôi gặp nhau tại nhà ông ta cùng ăn một bữa tối tuyệt vời do những đầu bếp danh tiếng phục vụ. Nhưng chủ yếu thì Werner thích tổ chức những hội thảo nhỏ, đỉnh cao. Với một phòng hội thảo được trang bị đầy đủ tiện nghi trên tầng áp mái, một đội ngũ tình nguyện viên sẵn sàng phục vụ cho mọi ý thích nảy sinh của chúng tôi, và San Francisco như là một nơi gặp gỡ, giao lưu, các cuộc hội thảo nhỏ đó lúc nào cũng rất vui vẻ. Một số nhà vật lý có vẻ nghi ngại Werner. Họ cho rằng ông ta sử dụng vật lý làm

con đường vòng để quảng cáo cho bản thân, nhưng ông ấy không bao giờ làm vậy. Cho đến giờ tôi có thể nói ông ấy chỉ muốn nghe những ý tưởng mới nhất từ chính những người đang ấp ủ chúng.

Tôi nhớ là cả thầy có ba hay bốn cuộc hội thảo EST, nhưng chỉ có một cuộc là để lại dấu ấn không bao giờ phai mờ trong tôi, và trong nghiên cứu vật lý học của tôi. Đó là năm 1983. Trong số những vị khách trú danh khác, còn có Murray Gell-Mann, Sheldon Glashow, Frank Wilczek, Savas Dimopoulos, và Dave Finkelstein. Nhưng trong câu chuyện này thì những vị khách quan trọng nhất là ba chiến binh chính trong Cuộc chiến lỗ đen, đó là Gerard't Hooft, Stephen Hawking và bản thân tôi.

Mặc dù mới gặp Gerald chỉ vài lần trước năm 1983, nhưng ông ấy đã để lại ấn tượng rất mạnh đối với tôi. Mọi người đều biết rằng ông ấy rất xuất sắc, nhưng tôi cảm giác còn hơn thế rất nhiều. Con người ông dường như có lõi thép và một trí tuệ kiên cường vượt lên trên bất kỳ ai mà tôi đã từng biết, có lẽ chỉ trừ có Dick Feynman. Cả hai đều rất thích tự thể hiện mình. Dick là một người Mỹ nông thôn, luôn có thái độ bất kính và tỏ ra hơn hẳn những người khác. Một lần, giữa một nhóm các nhà vật lý trẻ tuổi ở Caltech¹, ông đã kể một câu chuyện cười mà các nghiên cứu sinh đã chọc ghẹo ông. Ở Pasadena có một hiệu bánh chuyên bán bánh sandwich “những người nổi tiếng”. Bạn có thể mua một chiếc bánh Humphrey Bogart, Marilyn Monroe hay bánh gì đó đại loại như vậy. Các nghiên cứu sinh đã đưa ông tới đó ăn trưa – tôi nghĩ chắc là vào dịp sinh nhật của ông – và lần lượt từng người đã gọi món sandwich Feynman. Họ đã âm mưu với người quản lý cửa hàng từ trước, nên người đứng sau quầy mặt cứ tỉnh bơ.

¹ Tên viết tắt của Viện Công nghệ California – một trường đại học danh tiếng của Mỹ (ND)

Sau khi ông kết thúc câu chuyện, tôi bảo: “Này, Dick, mình tự hỏi có gì khác nhau giữa sandwich Feynman và sandwich Susskind không nhỉ”.

“Ồ, chúng cũng gần như nhau cả thôi”, Dick đáp, “ngoại trừ sandwich Susskind sẽ cần nhiều giảm bông hơn”.

“À phải”, tôi đáp lại, “nhưng chắc là ít những thứ nhắm nhí hơn nhiều”. Đó có lẽ là lần duy nhất tôi đã đánh bại ông ấy trong trò chơi kiểu đó.

Gerald là người Hà Lan. Họ vốn là những người cao lớn nhất ở Châu Âu nhưng Gerald lại thấp lùn và chắc nịch, với hàng ria mép và vẻ ngoài trông như một gã tỉnh lẻ. Giống như Feynman, ‘t Hooft có tính ganh đua rất mạnh, song tôi chắc rằng mình sẽ chẳng bao giờ thắng được ông. Không giống Feynman, ông là một sản phẩm của Châu Âu già cỗi – nhà vật lý Châu Âu vĩ đại cuối cùng, người kế thừa trọng trách của Einstein và Bohr. Tuy ông ấy trẻ hơn tôi đến 6 tuổi, song vào cái năm 1983 đó tôi đã rất kính trọng ông ấy và cũng là hoàn toàn đúng đắn thôi. Năm 1999, Gerald đã được trao giải thưởng Nobel nhờ những công trình dẫn tới Mô hình Chuẩn của các hạt cơ bản.

Nhưng Gerald không phải là người mà tôi nhớ nhất trong căn phòng áp mái của Werner. Mà đó là Stephen Hawking, người mà tôi gặp lần đầu tiên ở đó. Đây cũng chính là nơi Stephen thả quả bom khơi mào cho cuộc chiến tranh lỗ đen.

Stephen cũng là một người thích tự thể hiện mình. Ông nhỏ bé về hình thể – tôi ngờ rằng ông chỉ nặng khoảng 100 pao (cỡ 45kg) – nhưng cái cơ thể nhỏ bé của ông lại chứa đựng một trí tuệ phi thường và một cái tôi cũng ngoại cỡ tương tự. Vào thời gian ấy, Stephen luôn ngồi trong chiếc xe lăn khá bình thường, và ông ấy vẫn còn sử dụng được giọng nói của mình, mặc dù rất khó hiểu

ông nói gì trừ phi bạn phải ngồi thật lâu với ông ấy. Đi đâu ông cũng có một đoàn tùy tùng gồm một y tá và một đồng nghiệp trẻ, người này luôn chăm chú lắng nghe ông rồi sau đó nhắc lại những gì ông ấy nói.

Năm 1983, người phiên dịch của Stephen là Martin Rocek, giờ đã là một nhà vật lý nổi tiếng, một trong những người đi tiên phong trong một lĩnh vực quan trọng được gọi là siêu hấp dẫn. Tuy nhiên, vào lúc dự seminar của EST, Martin vẫn còn rất trẻ và cũng chưa được ai biết đến. Song ngay từ những cuộc gặp gỡ trước đây, tôi đã biết cậu ấy là một nhà vật lý lý thuyết tài năng. Đôi lúc trong cuộc nói chuyện, Stephen (qua Martin) đã nói điều gì đó mà tôi nghĩ là sai. Tôi quay sang Martin và hỏi lại cậu ấy cho rõ ràng hơn về mặt vật lý. Cậu ấy đã nhìn tôi giống như một chú hươu bị choáng bởi đèn pha ô tô. Sau đó thì cậu ấy đã giải thích cho tôi chuyện gì đã xảy ra. Việc dịch lại bài nói của Stephen đòi hỏi sự tập trung cao độ nên thường thì Martin không thể theo kịp cuộc nói chuyện. Cậu ấy gần như không biết chúng tôi đã nói chuyện gì.

Stephen là một hình ảnh không bình thường. Không phải tôi nói về chiếc xe lăn hay sự hạn chế rõ ràng về hình thể của ông. Mặc dù các cơ mặt của ông bất động, song nụ cười nhợt nhạt của ông đúng là có một không hai, vừa như thiên thần vừa như ác quỷ, tạo một cảm giác thích thú rất bí hiểm. Trong suốt buổi seminar ở EST, tôi nhận thấy nói chuyện với Hawking rất khó khăn. Phải rất lâu mới có câu trả lời của ông, và thường thì rất ngắn gọn. Những câu trả lời ngắn này, đôi khi chỉ có một từ, rồi nụ cười cũng như cái trí tuệ kỳ quái của ông làm cho người khác rất khó chịu. Giống như bạn đang giao tiếp với ngôi đền thờ ở Delphi¹ vậy. Khi ai đó

¹ Ngôi đền thiêng ở Hy Lạp cổ đại, nơi phát ra những lời sấm truyền báo trước tương lai (ND).

đặt câu hỏi với Stephen, phản ứng đầu tiên thường là im lặng hoàn toàn, và câu trả lời cuối cùng thường là rất khó hiểu. Nhưng nụ cười đầy vẻ hiểu biết của ông hàm ý, “*Anh* có thể không hiểu những gì tôi nói đâu, nhưng *tôi* thì tôi hiểu, và tôi đúng”.

Thế giới coi Stephen bé nhỏ như một con người vĩ đại, một anh hùng với sự can đảm và sức chịu đựng phi thường. Những người biết ông còn thấy cả những khía cạnh khác nữa của con người ông: Stephen hay bông đùa và Stephen liêu lĩnh. Một buổi tối ở EST, một vài người trong chúng tôi đi dạo trên một trong số những ngọn đồi dốc đứng nổi tiếng ở San Francisco. Stephen đi cùng chúng tôi trên chiếc xe lăn. Khi chúng tôi lên đến đoạn dốc nhất, ông ấy quay lại với nụ cười quái quỷ. Không một chút chần chừ, ông ấy lao thẳng xuống dốc với vận tốc cao nhất khiến tất cả những người còn lại chúng tôi đều giật mình hoảng hốt. Chúng tôi vội vàng đuổi theo, lo sợ điều tồi tệ nhất có thể xảy ra. Khi xuống tới chân đồi, chúng tôi đã thấy ông ấy ngồi đó và mỉm cười. Ông ấy hỏi chúng tôi xem còn ngọn đồi nào dốc hơn nữa không để lao xuống thử. Stephen Hawking: đó còn là một Evel Knievel¹ của vật lý.

Thực tế thì Hawking đúng là một nhà vật lý rất táo bạo. Song có lẽ nước đi táo bạo nhất của ông chính là quả bom mà ông đã thả ở căn phòng áp mái của Werner.

Tôi không thể nhớ bài nói của ông ấy diễn ra như thế nào ở EST. Còn ngày nay thì trong những hội thảo về vật lý do Stephen chủ trì thường là ông ấy ngồi im lặng trong chiếc xe lăn, trong khi giọng nói vô hồn của chiếc máy tính đã được ghi âm từ trước sẽ diễn thuyết. Giọng nói được máy tính hóa này đã trở thành thương hiệu của Stephen; nó đều đều, đầy hài hước và cá tính. Nhưng trở

¹ Evel Knievel là tay đua xe máy mạo hiểm người Mỹ nổi tiếng từ cuối thập niên 1960.

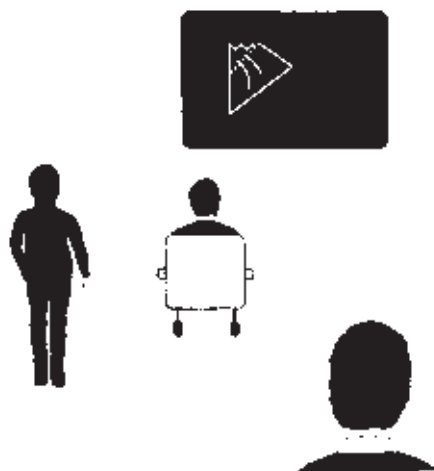
lại hồi năm 1983 đó, có lẽ ông ấy đã nói và Martin dịch lại. Tuy nhiên, điều đó đã xảy ra, quả bom đã rơi với đầy đủ sức nặng của nó xuống Gerald và tôi.

Stephen cho rằng “thông tin bị mất đi trong sự bay hơi của lỗ đen”, và, tôi tệ hơn nữa, dường như ông ấy đã chứng minh được điều đó. Nếu quả đúng như vậy, Gerald và tôi nhận thấy, thì cơ sở của đề tài chúng tôi đang nghiên cứu sẽ bị phá hủy. Nhưng những người còn lại trong căn phòng áp mái của Werner đã tiếp nhận thông tin này như thế nào? Giống như con sói trong bộ phim hoạt hình nổi tiếng *The Coyote and Roadrunner* (Con sói và con gà lôi đuôi dài) luôn chạy quá mép vách đá: mặt đất đã biến mất dưới chân mà chúng vẫn không hề hay biết.

Người ta thường nói về các nhà vũ trụ học rằng họ thường phạm sai lầm nhưng không bao giờ ngờ về chuyện đó. Nếu quả như vậy, thì Stephen chỉ là nhà vũ trụ học một nửa thôi: ông cũng không bao giờ nghi ngờ nhưng rất hiếm khi ông bị sai. Tuy nhiên, lần này thì ông đã sai. Nhưng “sai lầm” của Stephen lại là một trong những điều gây ảnh hưởng nhất trong lịch sử vật lý học và có thể cuối cùng sẽ dẫn tới một sự chuyển đổi hình mẫu sâu sắc nhất về bản chất của không gian, thời gian và vật chất.

Bài nói của Stephen là bài nói cuối cùng của ngày hôm đó. Trong khoảng một giờ đồng hồ sau đó, Gerald vẫn đứng nhìn trừng trừng vào cái sơ đồ trên tấm bảng đen nhà Werner. Những người khác đều đã đi khỏi. Giờ đây tôi vẫn còn có thể thấy rõ vẻ khó chịu trên gương mặt của Gerald và nụ cười khoái trá của Stephen. Hầu như không ai nói câu nào. Đó đúng là một khoảnh khắc như bị điện giật.

Trên tấm bảng đen là *giả đồ Penrose*, một loại hình vẽ biểu diễn lỗ đen. Chân trời (mép của lỗ đen) được vẽ bằng một đường



đứt nét, và điểm kỳ dị ở trung tâm của lỗ đen là đường lờm chờm trông thật góm ghiếc. Những đường hướng vào phía trong qua chân trời biểu thị các bit thông tin bị rơi qua chân trời vào điểm kỳ dị. Không có các đường quay trở ra. Theo Stephen, những thông tin này sẽ bị mất đi không sao cứu vãn nổi. Để làm cho vấn đề trở nên tồi tệ hơn, Stephen còn chứng minh rằng các lỗ đen cuối cùng sẽ bốc hơi và biến mất, không để lại dấu vết nào của những gì đã rơi vào đó.

Lý thuyết của Stephen thậm chí còn đi xa hơn nữa. Ông còn đưa ra một định đề, cho rằng chân không – tức không gian trống rỗng – chứa đầy các lỗ đen “ảo” và chúng xuất hiện rồi biến mất nhanh đến nỗi chúng ta không hề nhận thấy. Tác dụng của các lỗ đen ảo này, theo ông, là xóa sạch các thông tin, ngay cả khi không có lỗ đen “thực” nào ở quanh đó.

Trong Chương 7, bạn sẽ biết chính xác “thông tin” nghĩa là gì và mất nó là có nghĩa như thế nào. Còn bây giờ, hãy nghe tôi: điều đó thực sự là một thảm họa. ‘T Hooft và tôi đã biết vậy, nhưng phản

ứng từ những người khác khi nghe thấy điều đó ngày hôm ấy là “Hừm, thế ra thông tin bị mất trong các lỗ đen”. Bản thân Stephen thì rất lạc quan. Đối với tôi, phần khó khăn nhất khi giao tiếp với Stephen là tôi luôn cảm thấy bị chọc tức bởi tính tự mãn của ông. Sự mất thông tin là một điều gì đó không thể nào là đúng được, nhưng Stephen lại không thấy như thế.

Buổi seminar giải tán và chúng tôi ai về nhà nấy. Đối với Stephen và Gerald thì điều đó có nghĩa là trở về Đại học Cambridge và Utrecht; còn tôi là lái xe 45 phút đồng hồ về phía Nam, trên Đường 101 đến Palo Alto và Đại học Stanford. Thật sự rất khó để tập trung lái xe. Đó là một ngày tháng Giêng lạnh lẽo, và mỗi khi dừng xe hoặc đi chậm lại, tôi lại vẽ cái hình trên tấm bảng đen nhà Werner lên tấm kính chắn gió đã đóng băng.

Trở lại Stanford, tôi kể với một người bạn tên là Tom Banks về tuyên bố của Stephen. Tom và tôi lúc nào cũng nghĩ đến nó. Để cố tìm hiểu thêm, tôi thậm chí còn mời một trong những cựu sinh viên của Stephen đến từ Nam California. Chúng tôi đã rất nghi ngờ về tuyên bố của Stephen, nhưng trong một khoảng thời gian, chúng tôi không biết chắc chắn là tại sao. Có gì tồi tệ trong việc mất các thông tin bên trong một lỗ đen? Sau đó thì mọi chuyện đã dần dần sáng tỏ đối với chúng tôi. Mất thông tin cũng tương tự như sự tạo ra entropy. Và tạo ra entropy có nghĩa là tạo ra nhiệt. Lỗ đen ảo mà Stephen đã bình thản thừa nhận sẽ sản sinh ra nhiệt trong không gian trống rỗng. Chúng tôi cùng với một đồng nghiệp khác, là Michael Peskin, đã thực hiện một đánh giá dựa trên lý thuyết của Stephen. Chúng tôi nhận thấy rằng nếu Stephen đúng thì không gian trống rỗng sẽ nóng lên đến một ngàn tỉ tỉ độ trong một phần nhỏ của giây. Mặc dù biết rằng Stephen đã sai, nhưng

tôi không thể tìm ra sơ hở trong lý luận của ông ấy. Có lẽ chính điều này mới làm tôi bức tức nhất.

Theo đuổi *Cuộc chiến lỗ đen* còn hơn cả một sự tranh cãi giữa các nhà vật lý. Đó cũng là một cuộc chiến giữa các ý tưởng, hay có lẽ là một cuộc chiến giữa các nguyên lý cơ bản. Các nguyên lý của Cơ học lượng tử và của Thuyết tương đối rộng dường như luôn luôn đối chọi nhau, và không rõ cả hai có thể cùng chung sống với nhau được hay không. Hawking là một chuyên gia về Thuyết tương đối rộng, ông đặt niềm tin vào Nguyên lý tương đương của Einstein. ‘T Hooft và tôi là những nhà vật lý lượng tử, những người cảm thấy chắc chắn rằng các định luật của Cơ học lượng tử không thể bị vi phạm mà không phá hủy nền tảng của vật lý học. Trong 3 chương tiếp theo, chúng tôi sẽ dàn cảnh cho cuộc chiến lỗ đen bằng việc giải thích những điều cơ bản về lỗ đen, về Thuyết tương đối rộng và Cơ học lượng tử.

2

SAO TỐI

*Vẫn còn nhiều điều trong trời đất này mà triết học
của cậu chưa với tới được, Horatio ạ.*

WILLIAM SHAKESPEARE, *Hamlet*

Ý NIỆM SỚM NHẤT về một cái gì đó tựa như lỗ đen đã xuất hiện vào cuối thế kỷ 18, khi mà nhà vật lý vĩ đại người Pháp Pierre-Simon de Laplace và một giáo sĩ người Anh tên là John Michell đều có chung một ý tưởng độc đáo. Tất cả các nhà vật lý vào thời đó đều rất quan tâm đến thiên văn học. Những gì mà người ta biết được về một thiên thể đều là nhờ ánh sáng phát ra từ chúng hoặc, trong trường hợp của Mặt trăng và các hành tinh, thì là nhờ ánh sáng mà chúng phản xạ. Vào thời của Michell và Laplace, Isaac Newton, dù đã qua đời gần nửa thế kỷ, nhưng vẫn còn ảnh hưởng mạnh mẽ đến vật lý học. Newton tin rằng ánh sáng được tạo bởi các phần tử rất nhỏ bé – mà ông gọi là các hạt – mà nếu quả như vậy thì tại sao ánh sáng lại không bị ảnh hưởng bởi hấp dẫn? Laplace và Michell đã băn khoăn tự hỏi liệu có thể có những ngôi sao rất nặng và đặc đến mức ánh sáng không thể thoát ra khỏi lực hút hấp dẫn của nó hay không? Và liệu các ngôi sao này, nếu như chúng thật sự tồn tại, có hoàn toàn tối và vì vậy không thể nhìn thấy được hay không?

Một vật được phóng hay ném lên – như một viên đá, viên đạn, hay thậm chí một hạt cơ bản – liệu có thể thoát khỏi lực hấp dẫn của một vật có khối lượng như Trái đất kéo lại hay không? Có thể có mà cũng có thể không. Trường hấp dẫn của một vật có khối lượng không bao giờ kết thúc; nó sẽ tiếp tục mãi, nhưng yếu dần đi khi khoảng cách tăng lên. Vì vậy, một vật được phóng lên không bao giờ hoàn toàn thoát ra khỏi trường hấp dẫn của Trái đất. Nhưng nếu một vật được phóng lên với vận tốc đủ lớn, thì nó sẽ chuyển động ra xa mãi, trong khi đó lực hấp dẫn sẽ giảm dần, rồi trở nên quá yếu để bắt nó phải quay lại và kéo nó trở về bề mặt mà nó đã được phóng lên. Chuyện một vật được phóng lên có thể thoát ra khỏi trường hấp dẫn của Trái đất là theo nghĩa như thế.

Con người khỏe nhất cũng không thể ném được một viên đá ra ngoài không gian. Một cầu thủ ném bóng chày chuyên nghiệp có thể ném theo phương thẳng đứng được 68,5m, tức là khoảng 1/4 chiều cao của Tòa nhà Empire State (ở New York, tòa nhà cao nhất thế giới đến năm 1972, cao 381m). Bỏ qua lực cản của không khí, một khẩu súng lục có thể bắn một viên đạn lên cao khoảng khoảng 4,8km. Nhưng có một vận tốc xác định – thường được gọi là *vận tốc thoát* hay vận tốc vũ trụ cấp II – là vận tốc vừa đủ để đưa một vật lên quỹ đạo đi ra xa Trái đất vĩnh viễn. Khi xuất phát với vận tốc nhỏ hơn vận tốc thoát, vật được phóng lên sẽ quay quanh Trái đất hoặc rơi trở lại mặt đất. Còn với vận tốc lớn hơn, vật đó sẽ thoát ra vô tận. Vận tốc thoát từ bề mặt của Trái đất là cực lớn, khoảng 40.000km/h hay 11,2km/s¹.

Bây giờ ta tạm coi bất kỳ một thiên thể có khối lượng nào đều là một *ngôi sao*, bất kể nó là một hành tinh, một tiểu hành tinh

¹ Vận tốc thoát là một sự lý tưởng hóa khi bỏ qua các tác động khác như lực cản không khí, và điều đó đòi hỏi vật phải có một vận tốc lớn hơn nhiều.

hay là một ngôi sao thực thụ. Trái đất chỉ là một ngôi sao nhỏ, Mặt trăng thậm chí còn nhỏ hơn nữa và v.v.. Theo định luật Newton, ảnh hưởng hấp dẫn của một ngôi sao tỷ lệ thuận với khối lượng của nó, vì vậy hoàn toàn tự nhiên là vận tốc thoát cũng cần phụ thuộc vào khối lượng của ngôi sao. Nhưng khối lượng mới chỉ là một nửa câu chuyện. Nửa còn lại là bán kính của nó. Hãy tưởng tượng bạn đang ở trên bề mặt Trái đất và một lực nào đó bắt đầu nén Trái đất lại, làm cho kích thước của nó trở nên nhỏ hơn, nhưng không làm mất đi một chút khối lượng nào. Nếu bạn đang đứng trên bề mặt của Trái đất, thì sự nén đó sẽ làm cho bạn sát gần hơn với mỗi nguyên tử của Trái đất. Và khi bạn chuyển động tới sát gần hơn khối lượng đó thì tác dụng của lực hấp dẫn sẽ trở nên càng mạnh hơn. Trọng lượng của chính bạn khi đó cũng sẽ tăng lên, và như bạn có thể đoán ra ngay, bạn sẽ lại càng khó để thoát ra khỏi lực kéo lại của Trái đất. Điều này minh họa cho một nguyên lý cơ bản của vật lý học: việc làm cho một ngôi sao co lại (mà không làm mất đi chút khối lượng nào của nó) sẽ làm tăng vận tốc thoát.

Giờ hãy tưởng tượng chính xác tình huống ngược lại. Vì lý do gì đó, Trái đất giãn nở ra, vì vậy, bạn sẽ di chuyển ra xa khối lượng đó. Lực hấp dẫn trên bề mặt trở nên yếu đi và vì vậy sẽ dễ dàng thoát ra hơn. Vấn đề mà Michell và Laplace đặt ra là liệu một ngôi sao nào đó có khối lượng đủ lớn và kích thước nhỏ đến mức vận tốc thoát lớn hơn vận tốc ánh sáng hay không?

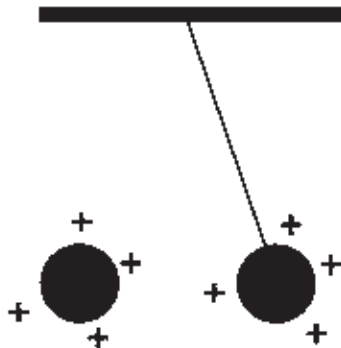
Khi Michell và Laplace lần đầu tiên có ý tưởng mang tính tiên tri này, tốc độ ánh sáng (được biểu thị bằng chữ c) đã được biết hơn một trăm năm trước đó. Nhà thiên văn học người Đan Mạch là Ole Rømer vào năm 1676 đã xác định được c và tìm ra rằng ánh

sáng chuyển động với tốc độ rất lớn cỡ 297600km (hay 7 lần vòng quanh Trái đất) trong một giây.

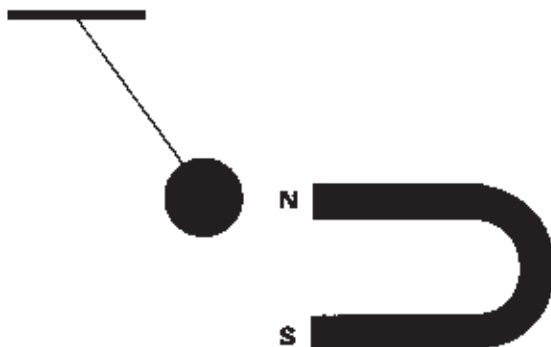
$$c = 297.600 \text{ km/s}$$

Với tốc độ lớn khủng khiếp như thế, phải cần một khối lượng cực lớn hoặc cực kỳ đặc mới có thể bắt giữ được ánh sáng, song không có một lý do rõ ràng nào để điều đó không thể xảy ra. Bài báo của Michell gửi cho Hội Hoàng gia là sự nhắc tới đầu tiên những vật thể mà sau này John Wheeler gọi là *lỗ đen*.

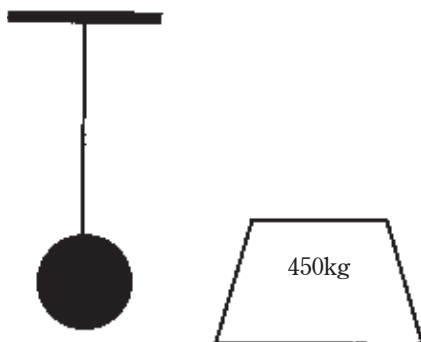
Có thể bạn sẽ ngạc nhiên khi biết rằng khi nói về các lực thì lực hấp dẫn là cực kỳ yếu. Một vận động viên cử tạ hay nhảy cao có thể cảm nhận một cách khác nhau, song một thí nghiệm đơn giản có thể cho thấy lực hấp dẫn yếu như thế nào. Hãy bắt đầu với một vật nhẹ: một quả bóng nhỏ làm bằng một thứ chất dẻo xốp (như styrofoam, chẳng hạn) là đạt yêu cầu. Bằng cách nào đó hãy tích điện cho quả bóng (chẳng hạn, chà xát nó vào áo len của bạn). Giờ thì treo nó lên bằng một sợi dây. Khi nó ngừng đu đưa, sợi chỉ treo sẽ có phương thẳng đứng. Sau đó, mang một vật thứ hai tích điện tương tự lại gần quả bóng treo. Lực tĩnh điện sẽ đẩy quả bóng treo ra xa và sợi dây treo sẽ lệch so với phương thẳng đứng một góc.



Điều tương tự cũng sẽ xảy ra khi dùng một nam châm và nếu vật treo làm bằng sắt.



Giờ thì hãy bỏ điện tích hoặc nam châm đi và thử làm lệch vật treo nhỏ bằng cách đưa lại gần nó một vật rất nặng. Lực hấp dẫn của vật nặng đó sẽ kéo lệch vật treo nhưng tác động là rất nhỏ để ta có thể phát hiện được. Lực hấp dẫn là cực kỳ yếu so với lực điện và lực từ.



Nhưng nếu lực hấp dẫn yếu như vậy thì tại sao chúng ta lại không thể nhảy lên Mặt trăng được? Câu trả lời là vì Trái đất có khối lượng rất lớn, 6×10^{24} kg, dễ dàng bù lại cho sự yếu ớt của lực hấp dẫn. Nhưng ngay cả với khối lượng lớn như vậy thì vận tốc thoát

từ bề mặt Trái đất vẫn nhỏ hơn tốc độ ánh sáng cả vạn lần. Ngôi sao tối trong tưởng tượng của Michell và Laplace sẽ phải cực kỳ nặng và bị nén khủng khiếp nếu vận tốc thoát khỏi nó lớn hơn c .

Để giúp cho bạn cảm nhận được các độ lớn có liên quan, ta hãy xem vận tốc thoát từ một vài thiên thể. Để thoát khỏi bề mặt Trái đất đòi hỏi vận tốc ban đầu khoảng 11km/s. Theo tiêu chuẩn Trái đất thì như vậy đã là rất nhanh, nhưng so với tốc độ của ánh sáng thì đó chỉ là tốc độ của rùa bò.

Bạn sẽ có cơ hội tốt hơn nhiều để thoát ra khỏi một tiểu hành tinh. Một tiểu hành tinh với bán kính khoảng 1,6km có vận tốc thoát vào khoảng 2m/s: một cú nhảy thật dễ dàng. Ngược lại, Mặt trời lớn hơn rất nhiều so với Trái đất, cả về khối lượng lẫn bán kính¹. Hai đại lượng này có ảnh hưởng trái chiều nhau. Khối lượng lớn hơn sẽ khiến việc thoát khỏi bề mặt Mặt trời khó khăn hơn, trong khi bán kính lớn hơn lại làm cho việc đó trở nên dễ dàng hơn. Tất nhiên là khối lượng sẽ thắng, và vận tốc thoát khỏi bề mặt Mặt trời khoảng 40 lần lớn hơn so với Trái đất. Song nó vẫn còn chậm rất nhiều so với tốc độ ánh sáng.

Tuy nhiên, Mặt trời không có số may là sẽ duy trì được mãi kích thước của nó. Cuối cùng, khi một ngôi sao đã cạn kiệt năng lượng, áp lực hướng ra bên ngoài tạo bởi nhiệt bên trong nó sẽ không còn nữa. Giống như một cái ê-tô khổng lồ, lực hấp dẫn bắt đầu nén ép ngôi sao vào một phần nhỏ kích thước ban đầu của nó. Khoảng 5 tỉ năm nữa kể từ bây giờ, Mặt trời sẽ kiệt sức và nó sẽ bị co mạnh lại thành cái gọi là *sao lùn trắng*, với bán kính gần tương tự như

¹ Khối lượng của Mặt trời vào khoảng 2×10^{30} kg, gấp nửa triệu lần khối lượng Trái đất. Bán kính của Mặt trời vào khoảng 700.000 km, lớn gấp hơn một trăm lần bán kính Trái đất.

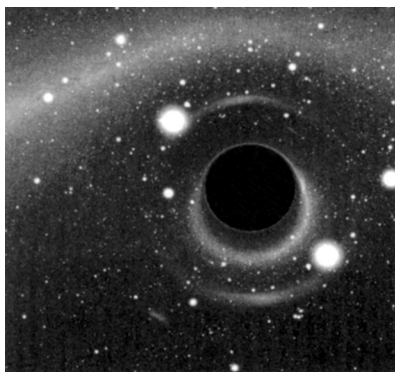
Trái đất. Để thoát khỏi bề mặt của nó lúc ấy sẽ cần một vận tốc khoảng 6400km/s, kể cũng đã nhanh nhưng chỉ mới vào khoảng 2% tốc độ ánh sáng.

Nếu Mặt trời chỉ nặng hơn một chút – khoảng gấp rưỡi khối lượng thực của nó, thì khối lượng tăng thêm đó sẽ nén ép nó vượt ngay qua giai đoạn sao lùn trắng. Các electron trong ngôi sao sẽ bị nén vào các proton để tạo thành một quả cầu tạo bởi các notron đặc một cách không thể tưởng tượng nổi. Một ngôi sao notron đặc đến mức chỉ một thìa cà phê vật chất của nó cũng đã nặng hơn 4,5 tỉ tấn. Nhưng sao notron vẫn chưa phải là một sao tối; vận tốc thoát từ bề mặt của nó chỉ mới gần bằng tốc độ ánh sáng (khoảng 80% c), nghĩa là vẫn chưa đủ.

Nếu ngôi sao bị co mạnh lại còn nặng hơn nữa – chẳng hạn gấp 5 lần khối lượng Mặt trời – thì ngay cả quả cầu đặc tạo bởi các notron cũng không còn trụ được trước sức kéo vào phía trong của lực hấp dẫn. Trong sự co sập lại cuối cùng vào bên trong đó, ngôi sao sẽ bị nén thành một *điểm kỳ dị* – điểm mà tại đó mật độ là vô hạn và có năng lượng lớn khủng khiếp. Vận tốc thoát khỏi cái lõi nhỏ xíu đó vượt xa hơn rất nhiều tốc độ ánh sáng. Và khi đó, một ngôi sao tối – hay như chúng ta gọi ngày nay, một lỗ đen – sẽ được tạo thành.

Einstein không thích lắm ý tưởng về lỗ đen nên ông đã bác bỏ khả năng tồn tại của chúng, khi tuyên bố rằng chúng không bao giờ được hình thành. Nhưng dù Einstein có thích hay không thì các lỗ đen vẫn là có thực. Các nhà thiên văn học hiện nay nghiên cứu chúng hàng ngày, không chỉ ở dưới dạng những ngôi sao đơn lẻ co sập lại mà còn ở trung tâm của các thiên hà, nơi mà hàng triệu và thậm chí hàng tỉ ngôi sao kết thành khối với nhau để trở thành những lỗ đen khổng lồ.

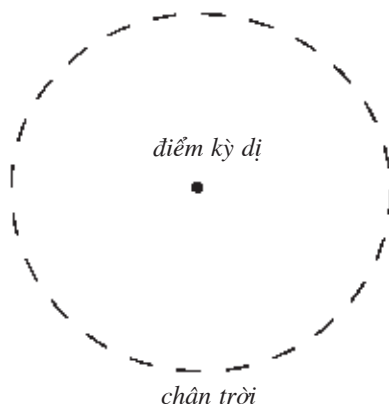
Mặt trời không đủ nặng để tự nén mình thành một lỗ đen, nhưng nếu chúng ta có thể hỗ trợ bằng cách nén nó trong một cái ê-tô khổng lồ cho đến khi bán kính của nó chỉ còn khoảng vài ba kilômét, thì nó sẽ trở thành một lỗ đen. Bạn có thể nghĩ rằng nhờ nó sẽ bật mạnh trở lại bán kính 5,6 km



thì sao, nếu như áp lực nén của ê-tô không còn nữa, nhưng khi đó thì đã quá muộn rồi; vật chất của Mặt trời sẽ theo xu hướng rơi tự do. Bề mặt của nó sẽ nhanh chóng vượt qua ngưỡng 1 kilômét, 1 mét, rồi 1 centimét. Và quá trình này sẽ không dừng lại cho tới khi nó tạo nên một điểm kỳ dị, và sự co sập khủng khiếp đó sẽ không thể đảo ngược được nữa.

Hãy tưởng tượng chúng ta ở gần một lỗ đen, nhưng ở chỗ còn khá xa điểm kỳ dị. Liệu ánh sáng xuất phát từ chỗ đó có thể thoát khỏi lỗ đen hay không? Câu trả lời phụ thuộc cả vào khối lượng của lỗ đen và chính xác chỗ mà ánh sáng bắt đầu hành trình của nó. Một mặt cầu tưởng tượng được gọi là *chân trời* chia vũ trụ làm hai phần. Ánh sáng khởi hành từ phần ở bên trong chân trời sẽ không thể tránh khỏi bị kéo ngược trở lại lỗ đen, nhưng ánh sáng xuất phát từ phần ở bên ngoài chân trời có thể thoát khỏi lực hấp dẫn của lỗ đen. Nếu Mặt trời một lúc nào đó trở thành lỗ đen thì bán kính chân trời của nó sẽ vào khoảng 3km.

Bán kính của chân trời được gọi là *bán kính Schwarzschild*. Nó được mang tên nhà thiên văn học Karl Schwarzschild, người đầu tiên đã nghiên cứu toán học của các lỗ đen. Bán kính Schwarzschild



phụ thuộc vào khối lượng của lỗ đen; và thực tế, nó tỷ lệ thuận với khối lượng đó. Chẳng hạn, nếu khối lượng của Mặt trời được thay bằng khối lượng lớn gấp hàng ngàn lần, thì một tia sáng xuất phát cách lỗ đen từ 3 hoặc 4km sẽ không có cơ hội thoát ra ngoài, vì bán kính của chân trời bây giờ đã tăng lên hàng nghìn lần, tức là tới khoảng 3 ngàn km.

Sự tỷ lệ thuận giữa khối lượng và bán kính Schwarzschild là sự kiện đầu tiên mà một nhà vật lý biết được về lỗ đen. Trái đất nhẹ hơn Mặt trời xấp xỉ một triệu lần, vì vậy bán kính Schwarzschild của nó cũng nhỏ hơn một triệu lần so với của Mặt trời. Nó sẽ phải bị nén lại tới kích thước cỡ quả mận mới trở thành được một sao tối. Ngược lại, ẩn nấp ở ngay trung tâm của thiên hà chúng ta là một lỗ đen siêu khổng lồ với bán kính Schwarzschild vào khoảng hàng trăm triệu kilômét – cỡ kích thước của quỹ đạo Trái đất quay xung quanh Mặt trời. Và ở những nơi khác của vũ trụ, có những con quái vật lỗ đen thậm chí còn lớn hơn nữa.

Không nơi nào ác hiểm như điểm kỳ dị của lỗ đen. Không gì có thể thắng nổi các lực hút vô cùng mạnh của nó. Einstein đã choáng

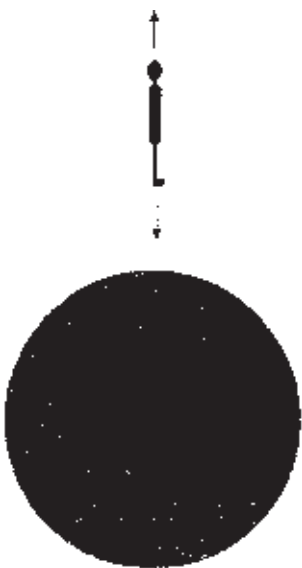
váng trước ý tưởng về điểm kỳ dị mà ông luôn phản đối. Nhưng không có cách nào thoát ra được; nếu đủ khối lượng thì không gì có thể cưỡng lại được lực kéo quá mạnh vào trung tâm của nó.

Thủy triều và Người cao 2.000 dặm

Điều gì khiến cho biển dâng lên và hạ xuống như thể đang hít thở mạnh hai lần một ngày? Tất nhiên, là do Mặt trăng, nhưng nó đã làm điều đó như thế nào và tại sao lại hai lần một ngày? Tôi sẽ giải thích, nhưng trước hết hãy để tôi kể cho các bạn về sự rơi xuống của Người cao 2.000 dặm.

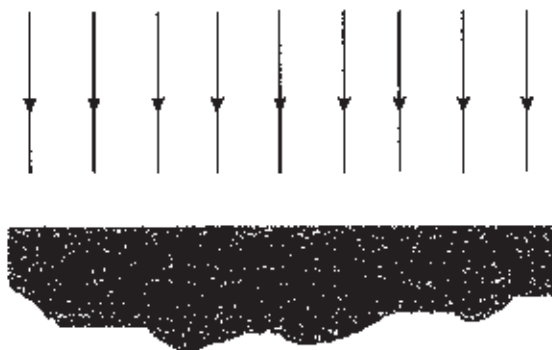
Hãy tưởng tượng về Người cao 2.000 dặm, tức là người khổng lồ có chiều dài tính từ đỉnh đầu tới gót chân là 2000 dặm, khi anh ta rơi từ không gian bên ngoài đến Trái đất, chân anh ta sẽ xuống trước. Ở rất xa bên ngoài không gian, lực hấp dẫn là rất yếu – yếu đến mức anh ta không cảm thấy gì cả. Nhưng khi đến gần Trái đất, một cảm giác khác lạ bỗng xuất hiện trong cơ thể dài ngoẵng của anh ta, cảm giác không phải là sự rơi xuống mà là bị kéo dài ra.

Vấn đề không phải là gia tốc tổng thể của gã khổng lồ hướng về phía Trái đất. Mà nguyên nhân gây ra sự khó chịu của anh ta chính là lực hấp dẫn không phải là đồng nhất trong khắp không gian. Ở xa Trái đất, nó gần như bằng không. Nhưng khi càng lại gần thì lực kéo của hấp dẫn càng tăng. Đối với Người cao 2.000 dặm, điều này gây cho anh ta thật nhiều phiền phức, ngay cả khi anh ta rơi tự do. Người đàn ông tội nghiệp cao đến mức lực kéo ở chân mạnh hơn rất nhiều so với lực kéo ở đầu. Kết quả thực sự là cảm giác rất khó chịu rằng đầu và chân anh ta bị kéo theo hai chiều trái ngược nhau.



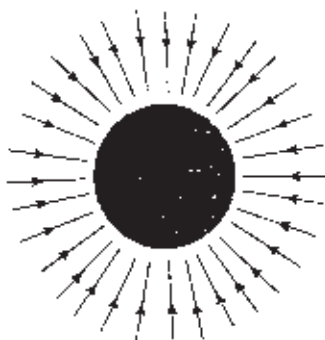
Có lẽ gã sẽ tránh được sự kéo giãn bằng cách rơi theo tư thế nằm ngang, chân và đầu ở cùng một độ cao. Nhưng khi gã khổng lồ thử làm như thế thì anh ta sẽ lại cảm thấy một sự khó chịu mới; cảm giác kéo giãn bị thay thế bởi cảm giác bị nén lại. Anh ta có cảm giác dường như đầu bị ép xuống phía chân.

Để hiểu vì sao lại như vậy, hãy tạm thời hình dung rằng Trái đất là phẳng. Dưới đây là hình vẽ biểu thị điều đó. Các đường thẳng đứng cùng với các mũi tên chỉ hướng của trọng lực – tất nhiên là hướng thẳng xuống dưới. Nhưng hơn thế, cường độ của lực hấp dẫn là hoàn toàn đồng đều. Người cao 2.000 dặm sẽ không gặp phải vấn đề gì trong môi trường này, dù anh ta có rơi thẳng đứng hay nằm ngang, chỉ ít thì cũng cho đến khi hắn chạm đất.

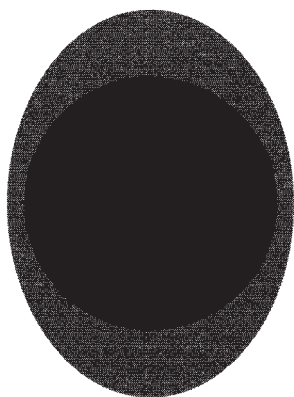


Nhưng khốn nỗi Trái đất lại không phẳng. Cả cường độ và hướng của lực hấp dẫn đều biến thiên. Thay vì kéo theo một hướng duy nhất, lực hấp dẫn kéo thẳng vào tâm hành tinh, như hình dưới đây.

Điều này tạo ra một vấn đề mới đối với gã khổng lồ nếu hần rơi nằm ngang. Lực tác dụng lên đầu và chân sẽ không như nhau, vì lực hấp dẫn, khi nó kéo thẳng về tâm Trái đất, sẽ đẩy đầu anh ta về phía chân, dẫn đến cảm giác lạ lùng như thể bị nén vậy.



Bây giờ hãy trở lại với câu hỏi về thủy triều. Nguyên nhân của việc dâng lên và hạ xuống hai lần mỗi ngày giống hệt như nguyên nhân khiến cho gã khổng lồ cao 2.000 dặm thấy khó chịu: đó là sự không đồng nhất của lực hấp dẫn. Nhưng trong trường hợp này, đó là lực hấp dẫn của Mặt trăng, chứ không phải của Trái đất. Lực kéo của Mặt trăng đối với các đại dương là mạnh nhất ở phía Trái đất đối diện với Mặt trăng và yếu nhất ở phía bên kia. Bạn dễ nghĩ rằng Mặt trăng sẽ tạo ra một chỗ phồng lên trên đại dương ở phía gần hơn, nhưng thực tế không phải như vậy. Cũng giống như lý do mà đầu của gã khổng lồ bị kéo ra xa chân, nước ở cả hai phía của Trái đất – cả gần và xa – đều phồng lên cả. Một cách để giải thích điều này, đó là ở phía gần thì



Mặt trăng kéo nước ra xa Trái đất, còn ở phía xa, nó lại kéo Trái đất ra xa mặt nước. Kết quả là có hai chỗ phồng lên ở hai phía đối nhau của Trái đất, một thì hướng về phía Mặt trăng và ở phía kia thì hướng ra xa. Khi Trái đất xoay hết một vòng dưới hai chỗ phồng lên đó, mỗi điểm sẽ trải qua hai lần thủy triều dâng cao.

Các lực làm biến dạng được gây bởi sự biến thiên về cường độ và về hướng của lực hấp dẫn được gọi là *lực thủy triều*, bất kể chúng là do Mặt trăng, Trái đất, Mặt trời hay bất kỳ một thiên thể nào khác. Liệu loài người với kích thước bình thường có thể cảm nhận được các lực thủy triều không – như khi nhảy xuống từ cầu nhảy, chẳng hạn? Không, chúng ta không thể, nhưng chỉ bởi vì chúng ta nhỏ bé đến nỗi trường hấp dẫn của Trái đất thay đổi không đáng kể dọc theo chiều cao của cơ thể chúng ta mà thôi.



Đi xuống địa ngục

Tôi đã đi vào con đường sâu thẳm và hoang vu

DANTE, *Thần khúc*

Lực thủy triều sẽ không nhẹ nhàng như thế nếu bạn rơi vào một lỗ đen có khối lượng bằng khối lượng Mặt trời. Toàn bộ khối lượng

đó bị nén vào một thể tích nhỏ xíu của lỗ đen không chỉ khiến cho trường hấp dẫn trở nên rất mạnh ở gần chân trời, mà còn làm cho nó trở nên rất không đồng nhất nữa. Còn trước khi bạn đạt tới bán kính Schwarzschild, khi bạn cách lỗ đen hơn 150.000 km, lực thủy triều đã trở nên rất khó chịu rồi. Giống như gã khổng lồ cao 2.000 dặm, giờ đây bạn sẽ trở nên quá lớn đối với sự thay đổi nhanh chóng của trường hấp dẫn của lỗ đen. Và vào lúc bạn đến gần chân trời, bạn sẽ bị làm cho biến dạng, giống như thuốc đánh răng được bóp ra từ tuýp thuốc vậy.

Có hai cách để điều trị lực thủy triều tại chân trời của một lỗ đen: hoặc làm cho bản thân bạn nhỏ đi hoặc làm cho lỗ đen trở nên lớn hơn. Một vi khuẩn không thể nhận ra lực thủy triều tại chân trời của một lỗ đen cỡ khối lượng Mặt trời, nhưng bạn cũng sẽ không nhận thấy lực thủy triều tại chân trời của một lỗ đen có khối lượng bằng một triệu lần khối lượng Mặt trời. Điều này dường như ngược với trực giác, vì ảnh hưởng hấp dẫn của lỗ đen có khối lượng lớn hơn lẽ ra sẽ phải mạnh hơn. Nhưng suy nghĩ đó lại bỏ qua mất một thực tế quan trọng: đó là chân trời của lỗ đen lớn hơn sẽ lớn đến mức nó sẽ gần như là phẳng. Gần chân trời, trường hấp dẫn vẫn rất mạnh nhưng gần như là đồng đều.

Nếu bạn biết đôi chút về trường hấp dẫn theo Newton, bạn có thể tính được lực thủy triều tại chân trời của một ngôi sao tối. Điều mà bạn sẽ phát hiện ra sẽ là ngôi sao tối càng lớn và nặng, thì lực thủy triều của nó tại chân trời càng yếu. Vì lẽ đó, vượt qua được chân trời của một lỗ đen rất lớn sẽ là an toàn, không có chuyện gì xảy ra. Nhưng xét cho cùng, thì cũng không thể thoát khỏi được lực thủy triều, ngay cả đối với những lỗ đen lớn nhất. Kích thước lớn thì sẽ chỉ trì hoãn sự tất yếu đó thôi. Rốt cuộc, sự tiến gần không

thể nào tránh khỏi đến điểm kỳ dị sẽ thật là khủng khiếp, chẳng khác nào những trò tra tấn mà Dante tưởng tượng nơi địa ngục hay Torquemada đã tiến hành trong Tòa án dị giáo Tây Ban Nha¹. Ngay cả con vi khuẩn nhỏ bé nhất cũng sẽ bị xé nát theo trục thẳng đứng và đồng thời bị ép bẹp dí theo trục nằm ngang. Những phân tử nhỏ bé sẽ sống sót lâu hơn vi khuẩn, và các nguyên tử thì thậm chí còn lâu hơn chút nữa. Nhưng sớm hay muộn gì thì điểm kỳ dị cũng sẽ thắng, ngay cả đối với một proton. Tôi không biết là Dante có đúng không khi tuyên bố rằng không kẻ thù ác nào có thể thoát khỏi sự đau đớn nơi địa ngục, nhưng tôi thì hoàn toàn chắc chắn rằng không gì có thể thoát khỏi lực thủy triều khủng khiếp ở điểm kỳ dị của một lỗ đen.

Cho dù điểm kỳ dị có những tính chất kỳ lạ và tàn bạo, nhưng đó lại không phải là nơi ẩn chứa những bí ẩn sâu kín nhất của lỗ đen. Chúng ta đều đã biết điều gì sẽ xảy ra đối với bất kỳ vật thể nào không đủ may mắn để bị kéo lại gần điểm kỳ dị, và điều đó chẳng thú vị gì. Nhưng dù dễ chịu hay không thì điểm kỳ dị cũng gần như không mang tính nghịch lý như là chân trời. Hầu như chẳng có gì trong vật lý học hiện đại lại gây ra sự khó hiểu hơn câu hỏi: Điều gì sẽ xảy ra đối với vật chất khi nó rơi qua chân trời? Bất kể câu trả lời của bạn là gì thì nó đều rất có thể là sai.

Michell và Laplace đã sống trước khi Einstein ra đời rất lâu và không thể dự đoán được hai khám phá mà ông đã đạt được vào năm 1905. Đầu tiên là Thuyết tương đối hẹp, trong đó dựa vào

¹ Giáo sĩ Tomas de Torquemada dòng Dominic được Vua Frenidand và Hoàng hậu Isabelle Tây Ban Nha chỉ định là Tổng Phán quan của Tòa án dị giáo thế kỷ 15 để săn lùng những người “Do Thái bí mật” và những người “Hồi giáo bí mật” – những người bị nghi ngờ là không thành thật cải đạo sang Ki Tô giáo. Hắn trở thành biểu tượng của sự độc ác tôn giáo, hàng ngàn nạn nhân bị tra tấn và ít nhất là 2.000 người đã bị thiêu sống (ND)

nguyên lý cho rằng *không* gì – kể cả ánh sáng hay bất kỳ thứ gì khác – có thể vượt qua tốc độ ánh sáng. Michell và Laplace hiểu rằng ánh sáng không thể thoát khỏi một ngôi sao tối, nhưng họ không nhận ra rằng kể cả những thứ khác cũng thế.

Khám phá thứ hai của Einstein vào năm 1905 đó là ánh sáng thực sự *được* tạo bởi các hạt. Ngay sau khi Michell và Laplace nghiên cứu về sao tối, thuyết hạt ánh sáng của Newton đã không còn được ưa chuộng nữa. Có nhiều bằng chứng cho thấy rằng ánh sáng được tạo bởi các sóng, tương tự như sóng âm hay sóng trên mặt biển. Vào năm 1865, James Clerk Maxwell đã chỉ ra rằng ánh sáng gồm những *trường điện từ* gọn sóng, lan truyền khắp không gian với tốc độ ánh sáng, và khi đó thuyết hạt ánh sáng đã thực sự cáo chung. Và dường như không ai có thể nghĩ rằng sóng điện từ có thể cũng bị hút bởi lực hấp dẫn, và vì vậy sao tối cũng dần bị rơi vào quên lãng.

Đúng là nó đã bị quên lãng cho tới năm 1917, khi nhà thiên văn học Karl Schwarzschild đã giải được các phương trình của Thuyết tương đối rộng của Einstein và tái khám phá ra sao tối¹.

Nguyên lý tương đương

Giống như hầu hết các công trình của Einstein, Thuyết tương đối rộng rất khó và rất tinh vi, nhưng nó lại bắt nguồn từ những quan sát cực kỳ đơn giản. Thực tế, những quan sát đó sơ đẳng đến mức ai cũng có thể làm được, thế nhưng đã không ai làm cả.

¹ Lỗ đen có rất nhiều dạng. Đặc biệt, chúng có thể quay quanh một trục nếu ngôi sao ban đầu cũng quay (ở một chừng mực nào đó, tất cả các ngôi sao đều như vậy), và chúng cũng có thể được tích điện. Khi thả các electron vào một lỗ đen sẽ làm cho nó tích điện. Chỉ các lỗ đen không quay và không tích điện mới được gọi là lỗ đen Schwarzschild.

Phong cách của Einstein chính là rút ra những kết luận có tầm rất xa từ những thí nghiệm tưởng tượng đơn giản nhất. (Cá nhân tôi, tôi luôn ngưỡng mộ cách tư duy này hơn cả). Trong trường hợp Thuyết tương đối rộng, thí nghiệm tưởng tượng này liên quan đến người quan sát trong thang máy. Các sách giáo khoa thường cập nhật bằng cách thay thế thang máy bằng một con tàu vũ trụ, nhưng vào thời Einstein chiếc thang máy đã là một công nghệ mới rất hấp dẫn rồi. Đầu tiên, ông hình dung một thang máy trôi nổi trong không gian vũ trụ, ở rất xa mọi vật

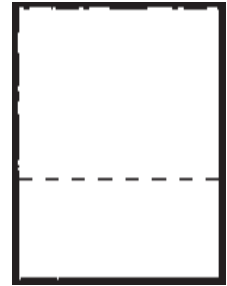


thể có trường hấp dẫn nào. Mọi người trong chiếc thang máy này sẽ cảm thấy trạng thái phi trọng lượng hoàn toàn, và các vật được ném ra sẽ chuyển động theo quỹ đạo thẳng với vận tốc không đổi. Tia sáng cũng sẽ giống y như vậy, chỉ có điều nó chuyển động với tốc độ ánh sáng mà thôi.

Tiếp theo, Einstein cố hình dung điều gì sẽ xảy ra nếu thang máy đó được gia tốc hướng lên trên, có thể bằng một dây cáp nối với một mỏ neo ở xa hoặc bằng một tên lửa gắn bên dưới của thang máy. Khi đó, hành khách sẽ bị ép xuống sàn cabin, và quỹ đạo của các vật ném ra sẽ bị uốn cong hướng xuống dưới, theo đường parabol. Tình hình giống hệt như thể chúng chịu tác dụng của trường hấp dẫn vậy. Mọi người từ thời Galileo cũng đã biết tới điều này, nhưng chỉ đến Einstein mới biến nó từ một thực tế đơn giản thành một nguyên lý vật lý mới có ảnh hưởng rất lớn. Nguyên lý tương đương khẳng định rằng hoàn toàn không có sự khác biệt giữa các hiệu ứng hấp dẫn và các hiệu ứng gia tốc. Không có bất cứ thí nghiệm nào được thực hiện bên trong thang

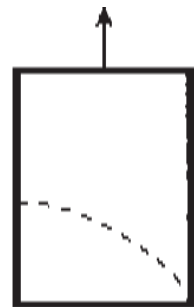
máy có thể phân biệt được thang máy đứng yên trong trường hấp dẫn hay đang được gia tốc trong không gian.

Bản thân điều này không có gì đáng ngạc nhiên, nhưng những hệ quả của nó lại rất quan trọng. Vào lúc mà Einstein đưa ra Nguyên lý tương đương, người ta biết rất ít về ảnh hưởng của hấp dẫn đến các hiện tượng khác, như dòng điện, hành vi của nam châm hay sự truyền của ánh sáng. Phương pháp của Einstein, trước hết, là bắt đầu bằng việc tìm ra gia tốc ảnh hưởng như thế nào đến các hiện tượng này. Điều này thường không liên quan đến bất kỳ điều gì mới mẻ hay chưa biết trong vật lý học. Tất cả những gì ông phải làm là tưởng tượng xem những hiện tượng đã biết sẽ thể hiện như thế nào trong một thang máy đang được gia tốc. Và sau đó Nguyên lý tương đương sẽ cho ông biết những hiệu ứng của hấp dẫn.



Ví dụ đầu tiên liên quan đến hành vi của ánh sáng trong một trường hấp dẫn. Hãy tưởng tượng một chùm sáng chuyển động theo phương ngang, từ trái sang phải, qua cabin thang máy. Nếu thang máy chuyển động tự do, ở rất xa bất kỳ khối lượng có trường hấp dẫn nào, ánh sáng sẽ chuyển động hoàn toàn theo đường thẳng nằm ngang.

Bây giờ hãy cho thang máy gia tốc hướng lên trên. Ánh sáng xuất phát từ bên trái cabin thang máy theo phương ngang, nhưng vì gia tốc của thang máy, nên khi ánh sáng đi đến phía bên kia, nó dường như có thành phần chuyển động hướng xuống dưới. Theo một quan điểm, thì



thang máy được gia tốc hướng lên trên, nhưng đối với một hành khách trong cabin, thì ánh sáng dường như được gia tốc hướng xuống dưới.

Thực tế, đường đi của tia sáng cong như quỹ đạo của một hạt chuyển động rất nhanh. Hiệu ứng này không liên quan gì đến việc ánh sáng được tạo bởi sóng hay hạt; nó chỉ là hiệu ứng của gia tốc hướng lên trên mà thôi. Nhưng, Einstein biện luận, nếu gia tốc khiến cho đường đi của ánh sáng cong đi, thì hấp dẫn cũng phải như vậy. Thực sự thì bạn có thể nói rằng hấp dẫn kéo ánh sáng và làm cho nó đi xuống. Điều này chính xác như những gì mà Michell và Laplace đã dự đoán.

Tuy nhiên, cũng còn có mặt khác của đồng xu: nếu gia tốc có thể mô phỏng hiệu ứng của hấp dẫn thì cũng có thể triệt tiêu nó. Hãy hình dung cũng thang máy đó nhưng bây giờ không còn ở vô cùng xa bên ngoài không gian vũ trụ nữa, mà ở trên đỉnh một tòa nhà chọc trời. Nếu nó đứng yên, hành khách cảm nhận được đầy đủ hiệu ứng của hấp dẫn, kể cả sự cong đi của tia sáng giống như những tia đi ngang qua thang máy. Nhưng sau đó bỗng dây cáp thang máy đứt, và thang máy bắt đầu được gia tốc hướng xuống phía mặt đất. Trong khoảnh khắc ngắn ngủi rơi tự do, lực hấp dẫn bên trong thay máy dường như hoàn toàn bị triệt tiêu¹. Hành khách lơ lửng trong cabin không có cảm giác mình đi lên hay đi xuống nữa. Các hạt và tia sáng hoàn toàn đi thẳng. Đó chính là khía cạnh khác của Nguyên lý tương đương.

¹ Tôi giả định rằng thang máy vừa đủ nhỏ để có thể bỏ qua lực thủy triều.

Lỗ rò, lỗ câm và lỗ đen

Tất cả những ai thử mô tả vật lý hiện đại mà không sử dụng các công thức toán học đều biết sự tương tự hữu dụng như thế nào. Chẳng hạn, nó rất hữu ích khi coi một nguyên tử giống như một hệ mặt trời thu nhỏ và việc sử dụng cơ học Newton thông thường để mô tả một sao tối có thể sẽ giúp cho những ai chưa sẵn sàng dấn thân vào thứ toán học cao siêu của Thuyết tương đối rộng. Nhưng sự tương tự cũng có những hạn chế của nó, và sự tương tự giữa một ngôi sao tối và lỗ đen sẽ bộc lộ những sai lệch khi chúng ta cố đẩy nó đi quá xa. Có một sự tương tự khác tốt hơn. Tôi đã học được nó từ một trong những người đi tiên phong trong lĩnh vực Cơ học lượng tử của lỗ đen, đó là Bill Unruh. Có lẽ tôi đặc biệt thích nó là vì nghề nghiệp đầu tiên của tôi là thợ sửa ống nước.

Hãy tưởng tượng một hồ nước nông và rộng vô hạn. Nó chỉ sâu chừng vài mét nhưng kéo dài bát ngát theo các phương nằm ngang. Một loài nòng nọc mù sống cả đời trong hồ, không hề biết đến ánh sáng nhưng chúng lại rất giỏi sử dụng âm thanh để định vị các vật và để liên lạc với nhau. Ở đây có một nguyên tắc bất di bất dịch, đó là: không gì được phép di chuyển trong nước nhanh hơn tốc độ âm thanh. Đối với phần lớn các mục đích thì giới hạn tốc độ đó là không quan trọng, vì nòng nọc di chuyển chậm hơn nhiều so với âm thanh.

Trong hồ nước này có một mối nguy hiểm. Nhiều con nòng nọc phát hiện ra rằng đã quá muộn để tự cứu sống mình, và không con nào có thể quay lại để cảnh báo cho những con khác. Ở trung tâm của hồ có một lỗ thoát nước. Nước chảy qua lỗ này vào một cái hang ở bên dưới, và đổ xuống những lớp đá nhọn hoắt chết người.



Nếu bạn nhìn xuống mặt hồ từ bên trên, bạn có thể thấy nước chảy về phía lỗ thoát nước. Ở xa lỗ này, vận tốc nước rất chậm, nhưng càng gần lỗ rò, nước càng tăng tốc. Giả định rằng lỗ làm thoát nước nhanh đến mức ở một khoảng cách nào đó, vận tốc của nước ngang bằng với tốc độ âm thanh. Thậm chí ở gần lỗ hơn thì dòng chảy trở nên siêu thanh (tức có vận tốc lớn hơn âm thanh). Giờ thì chúng ra có một lỗ rò cực kỳ nguy hiểm.

Nòng nọc bơi trong nước, chỉ cảm nhận được môi trường lỏng của chúng, chứ không hề biết chúng di chuyển nhanh chậm như thế nào; mọi thứ ở vùng lân cận chúng lướt qua với cùng một tốc độ. Nguy hiểm lớn là chúng có thể bị cuốn vào lỗ rò và sau đó sẽ bị chết bởi những lớp đá sắc nhọn bên dưới. Thực tế, một khi con nòng nọc vượt quá bán kính mà ở đó vận tốc nước hướng vào lỗ vượt quá tốc độ âm thanh, thì đời nó coi như là tàn. Khi vượt qua điểm không thể quay lui này, nó sẽ không thể bơi ngược dòng hay gửi tín hiệu cảnh báo cho bất kỳ ai ở trong vùng an toàn được nữa (không tín hiệu nghe thấy nào trong môi trường nước chảy nhanh hơn tốc độ âm thanh). Unruh gọi lỗ thoát nước và điểm không thể quay lui của nó là *lỗ câm* – câm theo nghĩa là im lặng – vì không một âm thanh nào thoát được ra khỏi nó.

Một trong những điều thú vị nhất về điểm không thể quay lui là một người quan sát bất cần, khi trôi qua nó, ban đầu sẽ không cảm nhận thấy điều gì khác thường cả. Không biển báo hay còi báo động, cũng không có vật cản khiến anh ta phải dừng lại, tóm lại là không gì cảnh báo trước cho anh ta về mối hiểm họa sắp đến gần. Khoảnh khắc trước đó thôi mọi chuyện đều ổn cả, khoảnh khắc tiếp sau mọi thứ cũng vẫn bình thường. Vượt qua điểm không thể quay lui hoàn toàn không phải là một sự kiện.

Một con nòng nọc, hãy gọi nó là Alice, bơi tự do về phía lỗ rò hát gọi bạn của mình là Bob, đang ở rất xa. Giống như người bạn mù lòa của mình, vốn liếng ca hát của Alice rất ít. Nó chỉ xướng được một nốt là nốt đô trung, với tần số là 262 Hz. Trong khi Alice vẫn còn xa lỗ thoát, chuyển động của nó hầu như là không thể cảm nhận được. Bob lắng nghe giọng của Alice và nghe thấy nốt đô trung. Nhưng khi Alice tăng tốc, âm đó nghe trầm hơn, ít nhất là với tai của Bob; đô hạ xuống xi rồi xuống la. Nguyên nhân chính là sự *dịch tần số* do *hiệu ứng Doppler* quen thuộc, giống như con tàu tốc hành kéo còi vượt qua chỗ bạn đứng. Khi đoàn tàu tiến lại gần bạn, tiếng còi tàu nghe sẽ cao hơn (tức là có tần số cao hơn) so với người ở trên tàu. Và khi tàu đi qua và xa dần, tiếng còi của nó nghe sẽ trầm hơn. Mỗi dao động kế tiếp phải đi một khoảng xa hơn chút ít so với dao động trước đó và nó sẽ tới tai bạn hơi trễ hơn. Thời gian giữa những dao động kế tiếp nhau bị kéo dài ra và bạn sẽ nghe thấy tiếng còi có tần số thấp hơn. Hơn nữa, nếu đoàn tàu tăng tốc khi nó chạy ra xa bạn thì tần số thu được mỗi lúc sẽ thấp hơn.

Điều tương tự cũng xảy ra với nốt nhạc của Alice khi nó chuyển động về phía điểm không thể quay lui. Đầu tiên, Bob nghe thấy nốt ở tần số 262 Hz. Sau đó nó dịch về 200 Hz, rồi 100 Hz, 50 Hz và cứ tiếp tục như vậy. Một âm thanh được phát ra ở rất gần điểm

không thể quay lui sẽ phải mất một khoảng thời gian cực kỳ dài mới thoát ra được; chuyển động của nước gần như đã triệt tiêu chuyển động hướng ra ngoài của âm thanh, khiến nó chậm dần rồi gần như dừng hẳn lại. Và ngay khi âm thanh có tần số trở nên thấp tới mức nếu không có thiết bị hỗ trợ đặc biệt, thì Bob không còn có thể nghe được nó nữa.

Bob có thể có những thiết bị đặc biệt giúp nó hội tụ các sóng âm thanh và dựng nên những hình ảnh của Alice khi nó gần tiến tới điểm không thể quay lui. Nhưng những sóng âm thanh kế tiếp ngày càng mất nhiều thời gian hơn mới tới được Bob, điều này làm cho mọi thông tin về Alice mỗi lúc đến một chậm hơn. Giọng của Alice cứ trầm xuống dần, nhưng không chỉ có thế; sự quấy đuôi của nó chậm gần như là ngừng hẳn. Sóng cuối cùng mà Bob nhận được dường như phải chờ đến vô tận. Thực tế, dường như với Bob sẽ là cả một thiên thu Alice mới tiến đến điểm không thể quay lui.

Trong khi đó, Alice lại chẳng hề nhận thấy có điều gì lạ lùng cả. Nó vẫn vui vẻ trôi qua điểm không thể quay lui mà chưa có bất kỳ cảm giác nào về sự chậm lại hay nhanh lên. Chỉ sau đó, khi nó bị cuốn tới những lớp đá chết người, nó mới nhận ra sự nguy hiểm. Ở đây, chúng ta thấy một trong những đặc điểm chính của một lỗ đen: những người quan sát khác nhau có những cảm nhận trái ngược nhau về cùng một sự kiện. Với Bob, ít nhất xét về âm thanh mà nó nghe thấy, thì phải mất một thời gian dài vô tận Alice mới tới được điểm không thể quay lui, nhưng với Alice thì điều đó chẳng qua chỉ như một cái chớp mắt.

Lúc này thì chắc bạn đã đoán được rằng điểm không thể quay lui là tương tự với chân trời của lỗ đen. Thay thế ánh sáng bằng âm thanh (hãy nhớ rằng không gì có thể vượt được tốc độ ánh sáng), và bạn sẽ có một bức tranh tương đối chính xác về tính chất của

lỗ đen Schwarzschild. Như trong trường hợp lỗ thoát nước, bất kỳ thứ gì vượt qua chân trời đều không có khả năng quay trở lại, hay thậm chí đứng yên. Trong lỗ đen, nguy hiểm không phải là những tảng đá sắc nhọn mà là điểm kỳ dị ở trung tâm. Mọi vật chất bên trong chân trời sẽ bị kéo về phía điểm kỳ dị, nơi mà nó sẽ bị nén đến áp suất và mật độ vô hạn.

Khi chúng ta được trang bị sự tương tự là một lỗ câm, rất nhiều điều nghịch lý về lỗ đen sẽ trở nên sáng tỏ. Chẳng hạn, hãy xét Bob, bây giờ không còn là một con nòng nọc nữa mà là một phi hành gia trên một trạm không gian quay xung quanh một lỗ đen ở một khoảng cách an toàn. Trong khi đó, Alice đang rơi về phía chân trời, cô không phải hát – làm gì có không khí trong không gian bên ngoài để truyền đi giọng hát của cô – mà thay vào đó là phát tín hiệu bằng một đèn nháy màu xanh. Khi cô rơi, Bob có thể nhìn thấy ánh sáng dịch tần số từ xanh đến đỏ rồi hồng ngoại đến vi sóng và cuối cùng là sóng vô tuyến. Bản thân Alice dường như mỗi lúc một bơ phờ, chuyển động chậm chạp gần như là đứng yên. Bob không bao giờ thấy cô rơi qua chân trời; với anh, phải mất một thời gian dài như vô tận để Alice tiến đến điểm không thể quay lui đó. Nhưng trong hệ quy chiếu của Alice, thì cô rơi thẳng qua chân trời và bắt đầu cảm thấy thú vị chỉ khi cô tiến đến điểm kỳ dị.

Chân trời của lỗ đen Schwarzschild ở tại bán kính Schwarzschild. Alice có thể lĩnh án tử hình khi vượt qua chân trời, nhưng giống như con nòng nọc, cô vẫn còn thời gian trước khi bị xé tan tành tại điểm kỳ dị. Vậy cô sẽ còn bao nhiêu thời gian? Điều đó tùy thuộc vào kích thước, hoặc khối lượng của lỗ đen. Khối lượng càng lớn, bán kính Schwarzschild càng lớn thì Alice càng có nhiều thời gian. Với một lỗ đen với khối lượng cỡ Mặt trời, Alice sẽ chỉ có khoảng 10 micro giây. Với một lỗ đen ở tâm một thiên hà, có thể nặng

tới hàng tỉ khối lượng Mặt trời, Alice sẽ có hàng tỉ micro giây, hay khoảng gần nửa giờ. Người ta thậm chí có thể hình dung những lỗ đen còn lớn hơn nhiều mà ở đó, Alice có thể sống cả đời và thậm chí có thể vài thế hệ con cháu của Alice sống và chết ở đó, trước khi điểm kỳ dị tiêu diệt họ.

Tất nhiên, theo những quan sát của Bob, Alice sẽ không bao giờ đến được chân trời. Vậy thì ai đúng đây? Cô ấy sẽ đến hay không đến được chân trời? Điều gì thực sự sẽ xảy ra? Và có gì là *thực sự* không? Xét cho cùng, vật lý học là một môn khoa học quan sát và thực nghiệm, vì vậy người ta cần phải tin vào những quan sát của Bob với những căn cứ vững chắc riêng của chúng, mặc dù chúng dường như mâu thuẫn với những mô tả các sự kiện của Alice. (Chúng ta sẽ quay trở lại với Bob và Alice ở các chương sau, sau khi đã bàn về các tính chất lượng tử đầy kinh ngạc của lỗ đen được khám phá bởi Jacob Bekenstein và Stephen Hawking).

Sự tương tự với lỗ thoát nước là một mô phỏng tốt đối với nhiều mục tiêu, nhưng giống như mọi sự tương tự, nó cũng có những hạn chế. Chẳng hạn, khi một vật thể rơi qua chân trời, khối lượng của nó làm tăng thêm khối lượng của lỗ đen. Sự tăng thêm về khối lượng sẽ đồng nghĩa với việc chân trời cũng tăng. Tất nhiên, chúng ta có thể mô phỏng điều này trong mô hình tương tự lỗ thoát nước bằng cách lắp thêm một cái bơm vào ống thoát để điều khiển dòng chảy. Mỗi khi có gì đó rơi vào lỗ thoát nước, bơm sẽ được quay một chút, làm tăng tốc dòng chảy và đẩy điểm không thể quay lui ra xa hơn. Nhưng khi đó mô hình sẽ nhanh chóng mất đi sự đơn giản của nó¹.

¹ Giáo sư George Ellis đã nhắc tôi về một điều rất tinh tế khi dòng chảy biến đổi. Trong trường hợp đó, điểm không thể quay lui không trùng khớp chính xác với điểm mà tại đó vận tốc nước đạt tới tốc độ âm thanh. Trong trường hợp các lỗ đen, điều tinh tế tương tự là sự khác nhau giữa một chân trời biểu kiến và một chân trời thực.

Một tính chất khác của lỗ đen là bản thân chúng là những vật thể chuyển động. Nếu bạn đặt một lỗ đen trong trường hấp dẫn của một khối lượng khác, nó sẽ được gia tốc, giống như mọi khối lượng bất kỳ nào khác. Nó thậm chí có thể bị rơi vào một lỗ đen lớn hơn. Nếu chúng ta thử biểu thị tất cả các đặc tính này của lỗ đen thực, thì mô hình lỗ thoát nước sẽ phức tạp hơn cả toán học mà chúng ta muốn tránh. Nhưng mặc dù có những hạn chế của nó, song mô hình lỗ thoát nước là một bức tranh rất hữu ích cho phép chúng ta hiểu được những đặc tính cơ bản của lỗ đen mà không cần nắm vững các phương trình của Thuyết tương đối rộng.

Một vài công thức dành cho những ai quan tâm

Tôi viết cuốn sách này dành cho những bạn đọc ít có thiên hướng về toán học, nhưng với những ai ưa thích một chút toán, thì đây là một vài công thức và ý nghĩa của chúng. Nếu bạn không thích, thì hãy chuyển luôn sang chương tiếp theo. Đây không phải là một bài kiểm tra.

Theo định luật vạn vật hấp dẫn của Newton, mọi vật thể trong vũ trụ đều hút lẫn nhau, với một lực hấp dẫn tỷ lệ thuận với tích khối lượng của chúng và tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa chúng:

$$F = \frac{mMG}{D^2}$$

Đây là một trong những phương trình nổi tiếng nhất trong vật lý học, gần như ngang ngửa với phương trình $E = mc^2$ (phương trình nổi tiếng của Einstein liên hệ năng lượng E với khối lượng m và tốc độ c của ánh sáng). Vế trái của phương trình trên là lực hấp dẫn F

giữa hai khối lượng, chẳng hạn như Mặt trăng và Trái đất, hay Trái đất và Mặt trời. Ở về phải, khối lượng lớn hơn là M và khối lượng nhỏ hơn là m . Ví dụ, khối lượng Trái đất là $6 \times 10^{24} \text{kg}$, và Mặt trăng là $7 \times 10^{22} \text{kg}$. Khoảng cách giữa các khối lượng này được biểu thị bằng D . Từ Trái đất lên Mặt trăng, khoảng cách vào khoảng 4×10^8 mét.

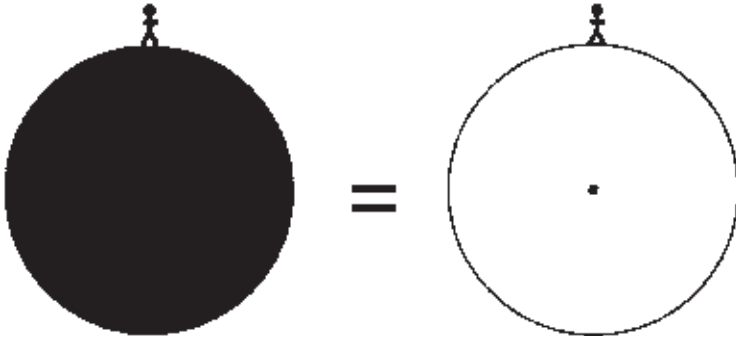
Ký hiệu cuối cùng trong phương trình là G , đó là một hằng số được gọi là *hằng số Newton* hay hằng số hấp dẫn. Hằng số Newton không phải là thứ có thể được suy luận từ toán học thuần túy. Để tìm ra giá trị của nó, người ta cần phải đo lực hấp dẫn giữa hai khối lượng đã biết đặt cách nhau ở một khoảng cách đã biết. Một khi đã làm được điều đó, bạn có thể tính được lực giữa hai khối lượng bất kỳ ở những khoảng cách bất kỳ. Trớ trêu thay là chính Newton lại chưa bao giờ biết được giá trị hằng số của chính mình. Vì lực hấp dẫn yếu như vậy, do đó G rất nhỏ, nên mãi đến cuối thế kỷ 18 người ta mới đo được nó. Vào thời đó, một nhà vật lý người Anh tên là Henry Cavendish đã tìm ra một cách rất thông minh để đo những lực vô cùng bé. Ông đã nhận thấy rằng lực giữa hai khối lượng 1kg đặt cách nhau 1 mét xấp xỉ bằng $6,7 \times 10^{-11} \text{ N}$. Do vậy, giá trị của hằng số Newton, theo hệ đơn vị SI (đơn vị quốc tế), là:

$$G = 6,7 \times 10^{-11} \text{Nm}^2/\text{kg}^2$$

Newton đã có một bước đột phá may mắn khi tính ra những hệ quả của lý thuyết của mình: đó là các tính chất toán học đặc biệt của định luật tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách. Khi bạn tự cân mình, một phần lực hấp dẫn đã kéo bạn về phía Trái đất là do khối lượng ở ngay dưới chân bạn, một phần do khối lượng ở sâu bên trong lòng Trái đất, và một phần từ khối lượng ở điểm đối kính (tức đầu kia của đường kính đi qua chỗ đứng của bạn) ở cách bạn 8 ngàn dặm. Nhưng do sự thần kỳ của toán học, bạn có

thể coi như toàn bộ khối lượng được tập trung vào một điểm duy nhất, đó là tâm của hành tinh.

Sự thực thuận tiện này đã cho phép Newton tính được vận tốc thoát ra khỏi một vật thể lớn bằng cách thay khối lượng lớn bằng một chất điểm. Và đây là kết quả.



Lực hấp dẫn của một quả cầu có khối lượng đúng bằng lực hấp dẫn khi toàn bộ khối lượng đó được tập trung tại tâm quả cầu.

$$\text{Vận tốc thoát} = \sqrt{2MG/R}$$

Công thức cho thấy rõ ràng rằng khối lượng càng lớn và bán kính R càng nhỏ, thì vận tốc thoát càng lớn.

Giờ thì việc tính bán kính Schwarzschild, R_s , chỉ còn là một bài tập đơn giản. Tất cả những gì phải làm là thay tốc độ ánh sáng cho vận tốc thoát và giải phương trình để tìm bán kính:

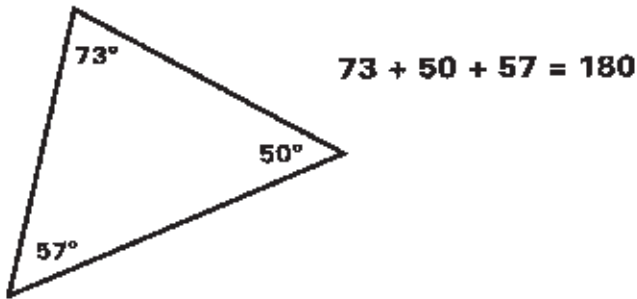
$$R_s = \frac{2MG}{c^2}$$

Cần lưu ý một thực tế quan trọng là bán kính Schwarzschild tỷ lệ thuận với khối lượng.

Đó là tất cả những gì chúng ta có về sao tối – ít nhất là ở cấp độ mà Michell và Laplace có thể hiểu được.

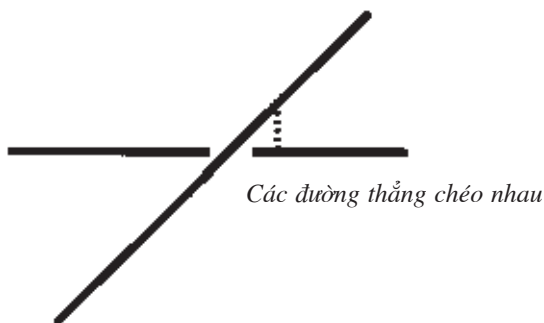
KHÔNG PHẢI HÌNH HỌC THỜI ÔNG NỘI BẠN

VÀO NHỮNG NGÀY XA XUA, trước khi bị các nhà toán học như Gauss, Bolyai, Lobachevski, và Riemann¹ làm cho rối tung lên, thì nói tới hình học có nghĩa là hình học Euclid – thứ hình học mà tất cả chúng ta đều đã học qua ở trường phổ thông. Ban đầu là hình học phẳng – tức là hình học trên một bề mặt hai chiều, phẳng tuyệt đối. Các khái niệm cơ bản ở đây là các điểm, đường thẳng và góc. Chúng ta đã được dạy rằng ba điểm tạo nên một tam giác, trừ phi chúng cùng nằm trên cùng một đường thẳng; rồi các đường thẳng song song không bao giờ cắt nhau; và tổng các góc của một tam giác là 180 độ.



¹ Carl Friedrich Gauss (1777-1855); Janos Bolyai (1802-1860); Nikolai Lobachevski (1792-1856), và Georg Friedrich Bernhard Riemann (1826-1866).

Sau đó, nếu bạn cũng cùng học giống như tôi, chắc bạn cũng đã được mở rộng năng lực hình dung của bạn ra ba chiều không gian. Một số điều vẫn giống như trong không gian hai chiều, nhưng số khác thì phải thay đổi, nếu không, sẽ chẳng có sự khác biệt nào giữa hai chiều và ba chiều cả. Chẳng hạn, có những đường thẳng trong không gian ba chiều không bao giờ cắt nhau nhưng chúng lại không song song với nhau; chúng được gọi là những đường thẳng chéo nhau.



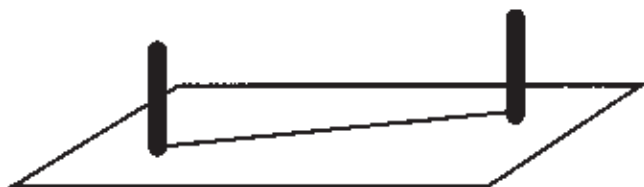
Dù là hai chiều hay ba chiều thì các quy tắc hình học vẫn giữ nguyên như Euclid đã đặt ra vào khoảng năm 300 trước công nguyên. Tuy nhiên, một số loại hình học khác – hình học với các tiên đề khác – vẫn có thể tồn tại ngay cả trong không gian hai chiều.

Từ *hình học* (geometry) nghĩa đen là “đo đạc Trái đất”. Thật trớ trêu là nếu như Euclid cất công đo đạc các tam giác trên bề mặt Trái đất, thì chắc là ông đã khám phá ra rằng hình học Euclid không còn áp dụng ở đây được nữa. Nguyên nhân là ở chỗ bề mặt Trái đất, là mặt cầu¹, chứ không phải là mặt phẳng. Hình học cầu chắc chắn cũng có các điểm và các góc, nhưng không rõ ràng là có chứa những thứ mà chúng ta gọi là đường thẳng. Hãy xem liệu

¹ Tất nhiên ở đây tôi muốn nói đến một Trái đất lý tưởng hóa, một hình cầu hoàn hảo.

chúng ta có thể làm cho cụm từ “đường thẳng trên một mặt cầu” có một ý nghĩa nào đó hay không.

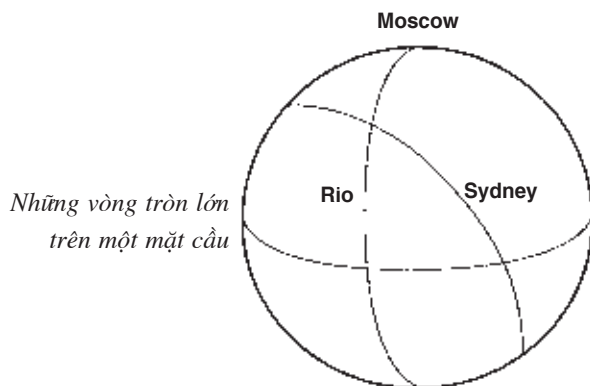
Một cách mô tả quen thuộc đường thẳng trong hình học Euclid là xem nó là con đường ngắn nhất giữa hai điểm. Nếu tôi muốn dựng một đường thẳng trên một sân bóng, tôi sẽ trồng hai cái cọc trên mặt đất và sau đó kéo một sợi dây giữa chúng căng hết mức có thể. Kéo sợi dây căng như thế sẽ đảm bảo cho đường nối này giữa hai cọc là ngắn nhất có thể.



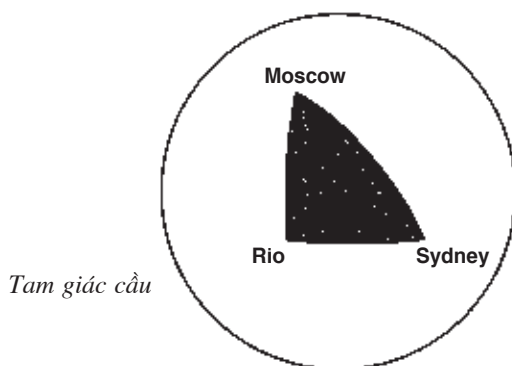
Khái niệm con đường ngắn nhất giữa hai điểm có thể dễ dàng mở rộng ra đối với một mặt cầu. Giả sử mục tiêu của chúng ta là tìm đường ngắn nhất có thể giữa Moscow và Rio de Janeiro. Chúng ta cần một quả địa cầu, hai cái đinh ghim và một sợi dây. Ghim đinh tại Moscow và Rio de Janeiro, chúng ta có thể căng sợi dây giữa hai đinh ghim này, vắt ngang bề mặt quả địa cầu và xác định con đường ngắn nhất. Những con đường ngắn nhất này được gọi là các *vòng tròn lớn*, như đường xích đạo hay các đường kinh tuyến, chẳng hạn. Liệu sẽ có ý nghĩa không, nếu ta gọi chúng là những đường thẳng của hình học cầu? Việc chúng ta gọi chúng là gì chẳng thành vấn đề. Điều quan trọng là mối quan hệ logic giữa các điểm, các góc và các đường.

Là con đường ngắn nhất giữa hai điểm nên các đường này, theo một nghĩa nào đó, là những đường thẳng nhất có thể trên một

mặt cầu. Tên gọi toán học chính xác của chúng là *đường trắc địa*. Trong khi các đường trắc địa trên mặt phẳng là các đường thẳng thông thường, thì các đường trắc địa trên mặt cầu lại là những vòng tròn lớn.

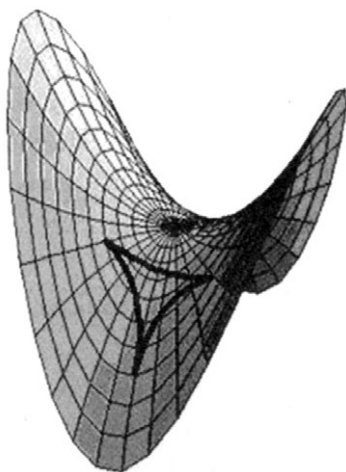


Khi đã có thứ thay thế cho các đường thẳng trên mặt cầu, chúng ta có thể tiến hành dựng các tam giác. Đánh dấu ba điểm trên mặt cầu – giả sử là Moscow, Rio và Sydney, vẽ ba đường trắc địa nối từng cặp điểm: Moscow-Rio, Rio-Sydney, và cuối cùng là Sydney-Moscow. Kết quả là ta có một *tam giác cầu*.



Trong hình học phẳng, nếu chúng ta cộng các góc của bất kỳ tam giác nào cũng đều cho kết quả chính xác là 180 độ. Nhưng hãy quan sát thật kỹ một tam giác cầu, chúng ta có thể thấy các cạnh của nó cong ra phía ngoài và làm cho các góc dường như có phần nào đó lớn hơn so với ở trên mặt phẳng. Kết quả là tổng các góc của một tam giác cầu luôn lớn hơn 180 độ. Một bề mặt mà các tam giác của nó có tính chất như vậy được gọi là mặt có độ *cong dương*.

Liệu có bề mặt nào có tính chất ngược lại, tức là tổng các góc của một tam giác lại nhỏ hơn 180 độ hay không? Một ví dụ về bề mặt loại này là cái yên ngựa. Bề mặt dạng yên ngựa là mặt có độ *cong âm*; thay vì cong ra ngoài, các đường trắc địa tạo nên một tam giác trên bề mặt có độ cong âm bị bó vào trong.



Như vậy, bất kể bộ não còn hạn chế của chúng ta có hình dung được một không gian cong ba chiều hay không thì chúng ta cũng vẫn biết cách kiểm tra bằng thực nghiệm độ cong của nó. Chìa khóa ở đây chính là các tam giác. Đánh dấu ba điểm bất kỳ trong không gian và căng các sợi dây hết mức có thể để tạo một tam giác trong không

gian ba chiều. Nếu các góc cộng lại bằng 180 độ với mọi tam giác thì không gian đó là phẳng. Nếu không, thì nó là không gian cong.

Có những hình học còn phức tạp hơn nhiều so với hình cầu hay yên ngựa, đó là hình học với những ngọn đồi và thung lũng bất bình thường chứa những vùng có cả độ cong dương lẫn độ cong âm. Nhưng quy tắc dựng các đường trắc địa thì trong mọi trường hợp đều là đơn giản. Hãy tưởng tượng bạn đang bò trên một bề mặt và luôn hướng mũi về phía trước, không bao giờ quay đầu lại. Cũng không nhìn xung quanh; không bận tâm về chuyện bạn đến từ đâu và sẽ đi đến đâu; chỉ biết bò thẳng về phía trước như một người cặn thị. Khi đó con đường bạn vừa đi chính là một đường trắc địa.

Hãy tưởng tượng một người đàn ông ngồi trong một chiếc xe lăn đang cố gắng vượt qua một sa mạc đầy những đụn cát. Do chỉ còn lại một ít nước, anh ta phải nhanh chóng thoát khỏi đó. Những ngọn đồi tròn, những con đèo hình yên ngựa và những thung lũng sâu xác định một vùng đất có cả độ cong dương lẫn độ cong âm, và hoàn toàn không rõ là làm thế nào để lái chiếc xe lăn tốt nhất. Người đàn ông lầy lý do là đồi cao và thung lũng sâu sẽ làm giảm tốc độ của mình nên ban đầu anh ta đi vòng qua chúng. Cơ chế lái rất đơn giản, nếu anh ta giảm tốc của bánh xe này đối với bánh xe kia thì chiếc xe sẽ ngoặt sang hướng đó.

Nhưng sau vài giờ, anh ta bắt đầu ngờ rằng mình đang đi qua những chỗ có địa hình giống như lúc trước. Như vậy chủ động lái xe sẽ dẫn anh ta vào những đường đi ngẫu nhiên nguy hiểm. Giờ thì anh ta nhận ra rằng chiến lược tốt nhất là cứ tiến thẳng về phía trước, không rẽ trái cũng chẳng rẽ phải. “Hãy chỉ đi theo sau cái mũi của mình”, anh ta tự nhủ. Nhưng làm thế nào để đảm bảo chắc chắn rằng anh ta không đi chệch sang bên này hoặc sang bên kia?

Câu trả lời sẽ nhanh chóng trở nên rõ ràng. Bánh xe có một cơ chế là khóa hai bánh lại với nhau, sao cho chúng quay như một quả tạ cứng. Khóa các bánh xe theo cách này, người đàn ông sẽ đi thẳng tới mép của sa mạc.



Tại mọi điểm dọc đường đi, người lữ khách dường như đi trên một đường thẳng, nhưng nhìn lại một cách tổng thể, đường đi của anh ta là một đường cong uốn khúc phức tạp. Tuy nhiên, nó đúng là thẳng và ngắn nhất có thể.

Phải đến thế kỷ XIX thì các nhà toán học mới bắt đầu nghiên cứu những dạng hình học mới với những tiên đề khác. Một số, như Georg Friedrich Bernhard Riemann, ấp ủ ý tưởng cho rằng hình học “thực” – tức hình học của không gian thực – có thể không chính xác là hình học Euclid. Nhưng Einstein mới là người đầu tiên xem xét ý tưởng đó một cách nghiêm túc. Trong Thuyết tương đối rộng, hình học của không gian (hay chính xác hơn là của không-thời gian) trở thành một câu hỏi đối với các nhà thực nghiệm, chứ không phải đối với các nhà triết học hay thậm chí toán học. Các nhà toán học có thể cho bạn biết loại hình học nào có thể tồn tại, nhưng chỉ có sự đo đạc mới có thể xác định được hình học “thực” của không gian.

Trong khi xây dựng Thuyết tương đối rộng, Einstein đã dựa trên các công trình toán học của Riemann, người đã hình dung hình học

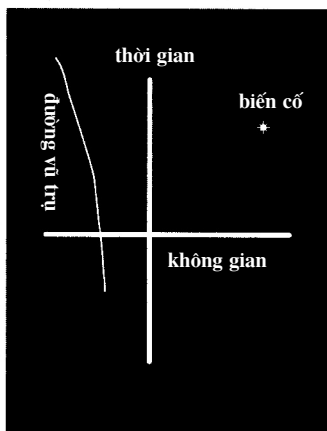
vượt ra ngoài những mặt cầu và mặt yên ngựa: đó là những không gian với những chỗ lồi lõm; một số nơi thì có độ cong dương, chỗ khác lại có độ cong âm với các đường trắc địa uốn lượn lên trên và ở giữa những gò đồi ấy theo những đường cong bất thường. Riemann chỉ mới nghĩ đến không gian ba chiều, nhưng Einstein và một người cùng thời với ông là nhà toán học Hermann Minkowski đã đưa ra một điều thật mới mẻ: thời gian là *chiều thứ tư*. (Hãy thử hình dung điều đó xem. Nếu bạn làm được thì bạn quả là người có một bộ óc khác thường đấy).

Thuyết tương đối hẹp

Trước khi Einstein bắt đầu suy nghĩ về không gian cong, Minkowski đã có ý tưởng rằng thời gian và không gian cần được kết hợp lại để tạo thành không-thời gian bốn chiều, khi ông tuyên bố khá văn hoa mặc dù có phần phô trương rằng: “Từ giờ trở đi, không gian tự thân và thời gian tự thân phải an phận lui vào bóng tối, và chỉ có một dạng thống nhất của cả hai mới duy trì được một thực tại độc lập”¹. Phiên bản không-thời gian cong hay phẳng của Minkowski đã trở thành cái gọi là *không gian Minkowski*.

Trong bài diễn văn tại Hội nghị các nhà vật lý và khoa học tự nhiên Đức lần thứ 80 năm 1908, Minkowski đã biểu diễn thời gian là trục thẳng đứng, còn trục nằm ngang duy nhất biểu diễn chung cho cả ba chiều của không gian. Các thính giả đã phải vận dụng tới một chút trí tưởng tượng.

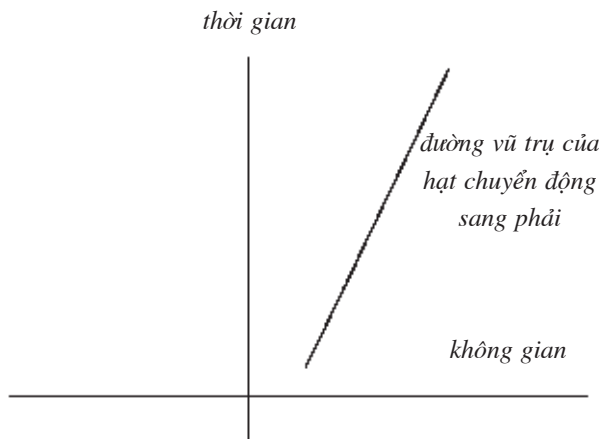
¹ Minkowski là người đầu tiên nhận thấy rằng hình học bốn chiều mới là khuôn khổ phù hợp với Thuyết tương đối hẹp của Einstein. Đoạn trích ở trên lấy từ “*Không gian và thời gian*”, một bài diễn văn được ông trình bày tại Hội nghị các nhà vật lý và khoa học tự nhiên Đức lần thứ 80 vào ngày 21/9/1908.



Minkowski đã gọi các điểm của không-thời gian là các *biến cố*. Ý nghĩa thường dùng của từ *biến cố* không chỉ hàm ý thời gian và địa điểm mà còn có cả điều gì đó xảy ra ở đấy nữa. Chẳng hạn: “Một biến cố vô cùng quan trọng diễn ra vào lúc 5 giờ 29 phút 45 giây sáng ngày 16 tháng Bảy năm 1945, tại Trinity, bang New Mexico, là vũ khí nguyên tử đầu tiên đã được thử nghiệm”. Nhưng Minkowski lại có ý định dùng từ *biến cố* với ít hàm ý hơn. Ông chỉ muốn nói tới thời gian và địa điểm cụ thể, chứ không chú ý tới điều gì đó thực sự xảy ra ở đấy. Điều ông thực sự muốn nói là *một địa điểm và thời gian mà ở đó một biến cố có thể xảy ra hoặc không xảy ra*, nhưng đó chỉ là một phần nhỏ của cả vấn đề, nên ông vẫn gọi đó là một biến cố.

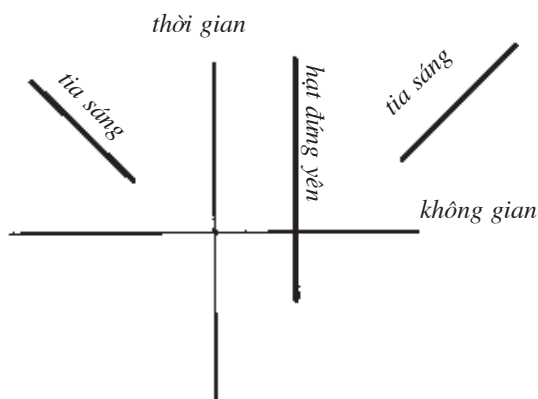
Các đường thẳng hoặc cong qua không-thời gian đóng một vai trò đặc biệt trong công trình của Minkowski. Một điểm trong không gian biểu thị vị trí của một hạt. Nhưng để vẽ chuyển động của một hạt qua không-thời gian, người ta vẽ một đường thẳng hoặc cong vạch nên một quỹ đạo gọi là *đường vũ trụ* của hạt.

Không thể nào tránh khỏi chuyển động. Ngay cả nếu hạt hoàn toàn đứng yên, thì nó cũng vẫn di chuyển qua thời gian. Quỹ đạo của một hạt đứng yên như vậy sẽ là một đường thẳng đứng. Quỹ đạo của một hạt di chuyển sang bên phải sẽ là một đường vũ trụ nghiêng sang bên phải.



Tương tự như vậy, đường vũ trụ nghiêng sang phía trái sẽ mô tả hạt chuyển động sang trái. Độ nghiêng so với trục thẳng đứng càng lớn thì hạt chuyển động càng nhanh. Minkowski biểu diễn chuyển động của các tia sáng – chuyển động nhanh nhất của mọi đối tượng – là những đường với góc nghiêng là 45 độ. Vì không có hạt nào chuyển động nhanh hơn ánh sáng nên quỹ đạo của một vật thể thực không thể nghiêng quá 45 độ so với đường thẳng đứng.

Minkowski đã gọi đường vũ trụ của một hạt chuyển động chậm hơn ánh sáng là *loại (hay đồng dạng) thời gian*, vì chúng gần với đường thẳng đứng, còn ông gọi quỹ đạo của các tia sáng nghiêng 45 độ là *loại (hay đồng dạng) ánh sáng*.



Thời gian riêng

Khoảng cách là một khái niệm khá dễ nắm bắt đối với bộ não của con người, và đặc biệt dễ khi khoảng cách được đo theo một đường thẳng. Để đo nó, bạn chỉ cần có một cái thước kẻ thông thường. Đo khoảng cách theo đường cong có khó hơn một chút, nhưng không phải là khó lắm. Chỉ cần thay chiếc thước kẻ bằng cái thước dây. Tuy nhiên, các khoảng cách trong không-thời gian thì tinh tế hơn và làm thế nào để đo được chúng không phải là rõ ràng ngay lập tức. Thực tế, khái niệm này chưa hề tồn tại trước khi Minkowski phát minh ra chúng.

Minkowski đặc biệt quan tâm đến việc định nghĩa khái niệm về khoảng cách dọc theo một đường vũ trụ. Chẳng hạn, xét đường vũ trụ của một hạt đứng yên. Vì quỹ đạo này không chứa khoảng cách về không gian, nên thước kẻ hay thước dây đều không phải là những công cụ thích hợp để đo nó. Nhưng như Minkowski đã nhận thấy, ngay cả một vật thể tuyệt đối đứng yên cũng vẫn phải

di chuyển qua thời gian. Cách đúng đắn để đo đường vũ trụ của nó không phải là thước mà là đồng hồ. Ông gọi thước đo mới đối với khoảng cách theo đường vũ trụ này là *thời gian riêng*.

Hãy hình dung mọi vật, bất kể đi đâu, đều mang theo một chiếc đồng hồ nhỏ giống như một người luôn mang theo chiếc đồng hồ bỏ túi vậy. Thời gian riêng giữa hai biến cố dọc theo một đường vũ trụ chính là khoảng thời gian giữa hai biến cố đó được đo bởi đồng hồ cũng chuyển động dọc theo đường vũ trụ ấy. Tiếng tích tắc của đồng hồ cũng tương tự như những vạch đánh dấu centimét trên chiếc thước dây vậy, nhưng thay vì đo khoảng cách thông thường, nó đo thời gian riêng Minkowski.

Dưới đây là một ví dụ cụ thể. Rùa và Thỏ chạy thi qua Công viên trung tâm. Các vị giám khảo đứng yên tại mỗi đầu đường đua với các đồng hồ đã được đồng bộ một cách chính xác, do vậy họ có thể đo được thời gian của người thắng cuộc. Các tay đua bắt đầu xuất phát vào đúng 12 giờ trưa, nhưng khi chạy được nửa đường, Thỏ đã dẫn trước khá xa nên nó quyết định ngủ một lúc trước khi chạy tiếp. Nhưng cậu ta đã ngủ quên và tỉnh dậy vừa đúng lúc thấy Rùa đã tiến gần đến đích. Liều lĩnh vì không muốn thua cuộc, Thỏ bèn chạy vụt đi như chớp và chỉ bắt kịp Rùa vừa đúng lúc cả hai vượt qua vạch đích.

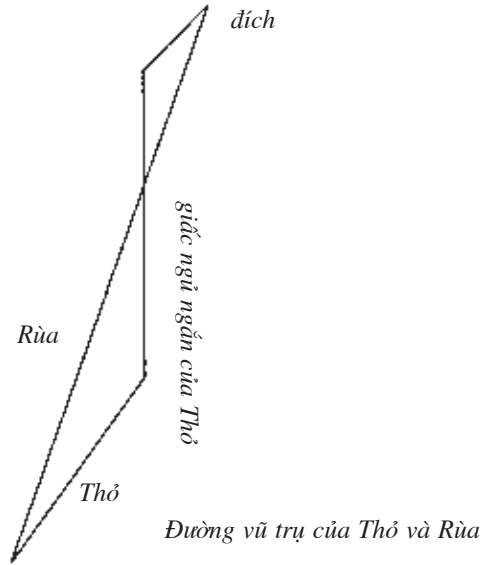
Rùa lấy chiếc đồng hồ bỏ túi có độ chính xác cao của mình ra và tự hào giong cho đám đông đang chờ đợi thấy rằng thời gian riêng, theo phân đoạn đường vũ trụ của cậu ta từ điểm xuất phát đến điểm đích, là 2 giờ và 56 phút. Nhưng tại sao lại phải đưa thêm cái khái niệm *thời gian riêng* vào làm gì? Tại sao Rùa không nói thẳng là thời gian cậu ta chạy từ nơi xuất phát đến đích là 2 giờ và 56 phút? Lẽ nào thời gian lại không chỉ là thời gian thôi hay sao?

Newton chắc hẳn là cũng đã nghĩ như vậy. Ông tin rằng chiếc đồng hồ chủ của Chúa đã xác định dòng thời gian của cả vũ trụ và mọi đồng hồ đều có thể được đồng bộ theo nó. Hãy hình dung thời gian toàn vũ trụ của Newton bằng cách tưởng tượng rằng không gian chứa đầy những chiếc đồng hồ nhỏ và tất cả đều đã được đồng bộ với nhau. Tất cả những đồng hồ này đều tốt, đều có độ tin cậy cao và đều chạy với một tốc độ hoàn toàn như nhau, vì vậy một khi chúng đã được đồng bộ với nhau thì chúng sẽ còn là đồng bộ mãi mãi. Bất kể Rùa hay Thỏ có ở đâu đi nữa, nó đều có thể kiểm tra thời gian bằng cách xem đồng hồ ở nơi gần nhất. Hoặc nó có thể xem ngay chiếc đồng hồ bỏ túi của mình. Đối với Newton thì điều hiển nhiên như một tiên đề, đó là bất kể bạn đi đâu với tốc độ như thế nào, theo một quỹ đạo thẳng hay cong, thì đồng hồ bỏ túi của bạn – giả định là nó cũng tốt và tin cậy – cũng sẽ trùng khớp với đồng hồ tại chỗ ở gần nơi bạn đang đứng. Thời gian theo Newton là một thực tại có tính tuyệt đối; không có gì là tương đối về nó cả.

Nhưng vào năm 1905, Einstein đã phá tan thời gian tuyệt đối của Newton. Theo Thuyết tương đối hẹp, tốc độ chạy của các đồng hồ phụ thuộc vào việc chúng chuyển động như thế nào, ngay cả khi chúng là những bản sao hoàn hảo của nhau. Trong những tình huống thông thường, hiệu ứng này là không thể cảm nhận được, nhưng khi các đồng hồ chuyển động với tốc độ gần bằng vận tốc ánh sáng thì hiệu ứng đó trở nên rất đáng kể. Theo Einstein, mỗi đồng hồ chuyển động theo đường vũ trụ của mình sẽ chạy với một tốc độ riêng của nó. Chính điều đó đã dẫn Minkowski đi tới chỗ đưa ra một khái niệm mới, khái niệm thời gian riêng.

Để minh họa cho ý tưởng này, khi Thỏ lấy đồng hồ của mình ra (cũng là một chiếc đồng hồ tốt và tin cậy), thì thời gian riêng của

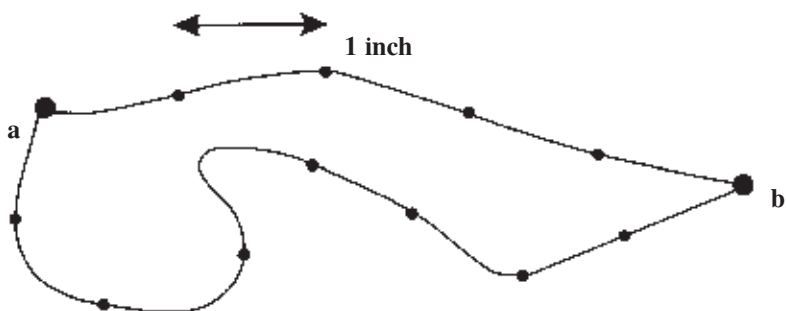
đường vũ trụ của nó là 1 giờ 36 phút¹. Mặc dù chúng bắt đầu và kết thúc ở cùng một điểm không-thời gian, song đường vũ trụ của Thở và Rùa lại có thời gian riêng hoàn toàn khác nhau.



Trước khi bàn xa hơn nữa về thời gian riêng, sẽ là rất bổ ích nếu ta nghĩ thêm một chút về khoảng cách thông thường được đo dọc theo một đường cong bằng chiếc thước dây. Lấy hai điểm bất kỳ trong không gian và vẽ một đường cong giữa chúng. Hai điểm này sẽ cách nhau bao xa dọc theo đường cong ấy? Câu trả lời rõ ràng là phụ thuộc vào đường cong. Hai đường cong dưới đây nối cùng hai điểm (a và b) nhưng rõ ràng là có chiều dài hoàn toàn khác nhau. Theo đường cong phía trên, khoảng cách giữa a và b là 5 inch², còn theo đường cong phía dưới, nó là 8 inch.

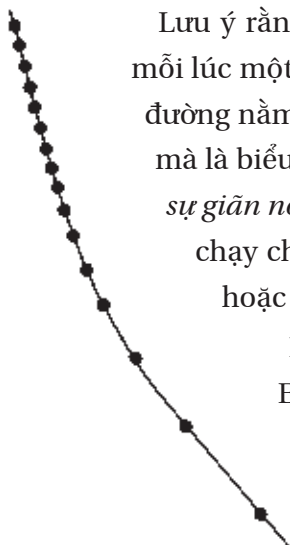
¹ Ở đây đã phóng đại quá lên, vì điều này đòi hỏi Thở sẽ phải chạy với tốc độ gần bằng vận tốc ánh sáng.

² 1 inch = 2,54 cm.



Tất nhiên, hoàn toàn chẳng có gì đáng ngạc nhiên trước thực tế là các đường cong khác nhau nối hai điểm a và b lại có độ dài khác nhau.

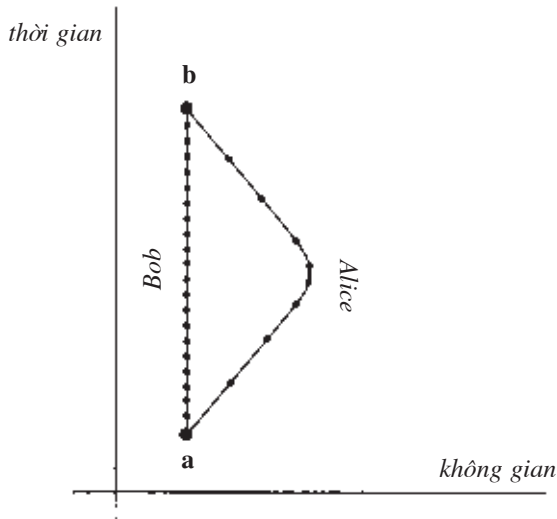
Bây giờ ta sẽ quay trở lại vấn đề đo đường vũ trụ trong không-thời gian. Dưới đây là hình vẽ một đường vũ trụ điển hình. Lưu ý rằng đường vũ trụ này là cong. Điều đó có nghĩa là vận tốc dọc quỹ đạo này không phải là đều. Trong ví dụ này, một hạt chuyển động nhanh đang chậm dần lại. Các chấm trên hình vẽ biểu thị nhịp (hay tiếng tíc-tắc) của đồng hồ. Mỗi khoảng biểu thị một giây.



Lưu ý rằng các giây để điểm tiếng tíc-tắc dường như mỗi lúc một chậm hơn ở đoạn của đường vũ trụ gần với đường nằm ngang hơn. Đó không phải là sự nhầm lẫn, mà là biểu thị một khám phá nổi tiếng của Einstein về *sự giãn nở của thời gian*: đồng hồ chuyển động nhanh chạy chậm hơn so với đồng hồ chuyển động chậm hoặc đứng yên.

Hãy xét hai đường vũ trụ cong nối hai biến cố. Einstein, vốn là người chuyên đưa ra những thí nghiệm tưởng tượng, đã hình dung hai anh em sinh đôi – ta sẽ gọi họ là Alice và Bob – được sinh ra đồng thời. Biến cố họ

được sinh ra ta đánh dấu là a. Vào thời điểm sinh, hai người bắt đầu tách nhau ra khỏi nhau; Bob vẫn ở lại nhà còn Alice được đưa đi rất nhanh với vận tốc cực kỳ lớn. Sau một thời gian, Einstein cho Alice quay lại và trở về nhà. Cuối cùng thì Bob và Alice gặp lại nhau tại b.



Khi hai đứa trẻ được sinh ra, Einstein đưa cho mỗi đứa một cái đồng hồ giống hệt nhau và đồng bộ với nhau một cách hoàn hảo. Khi, cuối cùng, Bob và Alice gặp lại nhau, chúng so sánh hai đồng hồ và phát hiện ra điều mà chắc Newton sẽ phải kinh ngạc. Trước hết, Bob có ria mép hoa râu, trong khi Alice mới còn đang ở tuổi thiếu niên. Theo đồng hồ của họ thì thời gian riêng theo đường vũ trụ của Alice nhỏ hơn nhiều so với Bob. Giống như khoảng cách thông thường giữa hai điểm phụ thuộc vào đường cong nối hai điểm đó, thời gian riêng giữa hai biến cố cũng phụ thuộc vào đường vũ trụ nối hai biến cố đó.

Liệu Alice có nhận thấy đồng hồ của mình chạy chậm trong suốt hành trình của mình hay không? Hoàn toàn không. Đồng hồ của cô không phải là thứ duy nhất chạy chậm mà cả nhịp tim, chức năng của não, và toàn bộ sự chuyển hóa trong cơ thể cô cũng như thế. Trong suốt hành trình, Alice không có gì để so sánh với đồng hồ của mình, nhưng cuối cùng khi gặp lại Bob lần thứ hai, cô nhận ra rằng cô trẻ hơn đáng kể so với anh mình. “Nghịch lý anh em sinh đôi” này đã làm đau đầu các sinh viên vật lý hơn một trăm năm nay.

Có một điều lạ mà bạn có thể tự khám phá ra. Bob du hành qua không-thời gian theo một đường thẳng đứng, trong khi Alice thì lại theo một đường cong. Do vậy, thời gian riêng theo quỹ đạo của Alice nhỏ hơn thời gian riêng của Bob. Đây là ví dụ về một thực tế trái ngược với trực giác về hình học của không gian Minkowski: một đường vũ trụ thẳng lại có thời gian riêng *dài nhất* giữa hai biến cố. Hãy bổ sung điều đó vào hành trang thay đổi nhận thức của bạn.

Thuyết tương đối rộng

Giống như Riemann, Einstein tin rằng hình học (không chỉ không gian mà là không-thời gian) là cong và biến đổi. Ở đây ông muốn nói tới không chỉ là không gian mà là hình học của không-thời gian. Theo Minkowski, Einstein để một trục biểu thị thời gian và trục còn lại cho cả ba chiều không gian, song thay vì vẽ không-thời gian như là một mặt phẳng, ông hình dung nó như một bề mặt bị uốn cong với những chỗ phồng và chỗ lõm. Các hạt bây giờ vẫn chuyển động theo đường vũ trụ, và đồng hồ vẫn tích-tắc điểm thời gian riêng, song hình học của không-thời gian thì bất thường hơn rất nhiều.

thời gian



không gian

Các định luật của Einstein

Thật ngạc nhiên là trên nhiều phương diện, các định luật vật lý trong không-thời gian cong lại đơn giản hơn so với vật lý Newton. Chẳng hạn, xét chuyển động của các hạt. Định luật Newton bắt đầu với nguyên lý quán tính:

Nếu không có ngoại lực tác dụng, mọi vật sẽ giữ nguyên trạng thái chuyển động thẳng đều.

Quy tắc nghe có vẻ như đơn giản này, với cụm từ “chuyển động thẳng đều”, lại ẩn giấu hai ý tưởng riêng biệt. Thứ nhất, chuyển động đều có nghĩa là chuyển động theo một đường thẳng trong không gian. Nhưng Newton còn hàm ý một điều mạnh hơn: đó là chuyển động đều cũng có nghĩa là với vận tốc là hằng số, không thay đổi – tức là không có gia tốc¹.

¹ Khái niệm *gia tốc* hàm ý bất kỳ sự thay đổi nào về vận tốc, trong đó bao gồm cả sự chuyển động chậm lại, mà chúng ta thường gọi là giảm tốc. Đối với một nhà vật lý, giảm tốc chỉ đơn thuần là gia tốc âm mà thôi.

Nhưng còn lực hấp dẫn thì sao? Newton bổ sung thêm một định luật thứ 2 – định luật về chuyển động không đều – phát biểu rằng lực bằng khối lượng nhân với gia tốc, hay diễn đạt theo một cách khác là:

Gia tốc của một vật bằng lực tác dụng lên vật chia cho khối lượng của nó.

Quy tắc thứ ba áp dụng khi lực là lực hấp dẫn:

Lực hấp dẫn tác dụng lên mọi vật tỷ lệ thuận với khối lượng của nó.

Minkowski đã đơn giản hóa quan niệm của Newton về chuyển động đều với một sự sáng suốt thông minh đã tóm tắt được cả hai điều kiện:

Nếu không có ngoại lực tác dụng, mọi vật sẽ chuyển động qua không-thời gian theo một đường vũ trụ thẳng.

Tính thẳng của đường vũ trụ hàm ý không chỉ là sự thẳng trong không gian mà cả vận tốc không đổi nữa.

Giả thuyết đường vũ trụ thẳng của Minkowski là một sự tổng hợp đẹp đẽ hai khía cạnh của chuyển động đều, song nó chỉ áp dụng được trong điều kiện hoàn toàn không có ngoại lực tác dụng. Einstein đã nâng ý tưởng của Minkowski lên một cấp độ khác khi ông áp dụng nó vào không-thời gian cong.

Định luật mới về chuyển động của Einstein đơn giản một cách đáng kinh ngạc. Ở mọi điểm dọc theo đường vũ trụ của nó, một hạt làm điều đơn giản nhất có thể: đó là nó đi thẳng về phía trước (trong

không-thời gian). Nếu không-thời gian là phẳng, thì định luật của Einstein chính là định luật Minkowski, song nếu không-thời gian là cong – ở những vùng mà các vật thể có khối lượng lớn làm biến dạng và uốn cong không-thời gian – thì định luật mới chỉ thị cho các hạt phải chuyển động dọc theo đường trắc địa của không-thời gian.

Như Minkowski đã giải thích, một đường vũ trụ cong chỉ ra rằng có một lực đang tác dụng lên một vật. Theo định luật mới của Einstein, các hạt trong không-thời gian cong chuyển động thẳng đến mức chúng có thể, nhưng các đường trắc địa không tránh khỏi bị cong và uốn lượn để phù hợp với địa hình tại chỗ của không-thời gian. Các phương trình toán học của Einstein chứng tỏ rằng một đường trắc địa trong không-thời gian cong hành xử chính xác như một đường vũ trụ cong của một hạt chuyển động qua một trường hấp dẫn. Vì vậy lực hấp dẫn không gì khác hơn chính là mức độ cong của các đường trắc địa trong không-thời gian cong.

Trong một định luật gần như đơn giản đến nực cười, Einstein đã kết hợp được các định luật về chuyển động của Newton với giả thuyết về đường vũ trụ của Minkowski và đã giải thích được hấp dẫn tác dụng như thế nào lên vạn vật. Điều mà Newton đã coi là một thực tế không thể giải thích nổi của tự nhiên – tức là lực hấp dẫn – thì Einstein đã giải thích nó như là một hiệu ứng của hình học phi Euclid của không-thời gian.

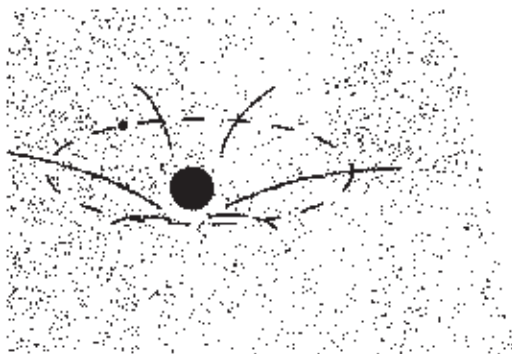
Nguyên lý quy định các hạt chuyển động theo đường trắc địa đã cung cấp một cách thức mới đủ mạnh để suy nghĩ về hấp dẫn, song lại không cho biết gì về *nguyên nhân* gây ra độ cong này. Để hoàn tất lý thuyết của mình, Einstein phải giải thích được điều gì đã chi phối những chỗ phồng bị uốn cong và nhiều điều bất thường khác của không-thời gian. Trong lý thuyết Newton cũ, nguồn

gốc của trường hấp dẫn là khối lượng: sự hiện diện của một khối lượng như Mặt trời tạo nên một trường hấp dẫn bao quanh nó, và đến lượt mình, trường này sẽ ảnh hưởng đến chuyển động của các hành tinh. Do đó sẽ là thật tự nhiên nếu Einstein phỏng đoán rằng sự hiện diện của khối lượng – hay, cũng tương đương thế là năng lượng – sẽ làm cho không-thời gian bị uốn cong hay cuộn lại. John Wheeler, một trong những nhà tiên phong và nhà giáo vĩ đại về thuyết tương đối hiện đại, đã tóm gọn lại trong một câu khẩu hiệu cực kỳ súc tích: “Không gian hướng dẫn cho các vật thể phải chuyển động như thế nào và các vật thể chỉ dẫn cho không gian biết phải uốn cong ra sao”. (Thực ra chữ không gian mà ông dùng ở đây có nghĩa là không-thời gian).

Ý tưởng mới của Einstein là không-thời gian không thụ động; nó có các tính chất như độ cong, để đáp ứng lại sự hiện diện của khối lượng. Có thể nói không-thời gian gần như là một loại vật liệu đàn hồi hoặc thậm chí là một chất lưu có thể chịu ảnh hưởng của các vật thể chuyển động qua nó.

Sự kết nối giữa vật thể có khối lượng, hấp dẫn, độ cong và chuyển động của các hạt đôi khi được mô tả bởi một mô hình tương tự mà tôi có những cảm xúc lẫn lộn về nó. Ý tưởng ở đây là hình dung không gian như một miếng cao su nằm ngang, hay như một tấm bạt lò xo. Khi không có khối lượng nào làm biến dạng nó, tấm cao su là phẳng. Nhưng khi đặt một khối lượng nặng lên nó, chẳng hạn như một quả bóng bowling, thì khối lượng của quả bóng sẽ làm cho nó biến dạng. Giờ nếu đặt tiếp một khối lượng nhỏ hơn nhiều – một viên bi sẽ là rất thích hợp – thì ta sẽ thấy viên bi lăn về phía quả bóng bowling. Cũng có thể cung cấp cho viên bi một vận tốc tiếp tuyến nào đó để nó quay xung quanh quả bóng bowling,

giống như Trái đất quay xung quanh Mặt trời. Chỗ lún trên bề mặt giữ cho khối lượng nhỏ hơn không lăn đi mất, giống hệt như lực hấp dẫn của Mặt trời trói chặt Trái đất lại.



Có một vài điều rất dễ hiểu nhằm về sự tương tự này. Thứ nhất là sự cong của tấm cao su chỉ là sự cong về không gian, chứ không phải sự cong của không-thời gian. Mô hình tương tự này sẽ thất bại khi phải giải thích những hiệu ứng khác thường mà khối lượng gây ra đối với các đồng hồ ở gần đó (chúng ta sẽ thấy những hiệu ứng này trong chương tiếp theo). Thậm chí còn tệ hơn nữa là mô hình này sử dụng hấp dẫn để giải thích hấp dẫn. Chính lực hút của Trái đất thực đối với quả bóng bowling đã gây ra sự lõm xuống của mặt cao su. Theo bất kỳ ý nghĩa chuyên môn nào, thì mô hình tấm cao su là hoàn toàn sai.

Tuy nhiên, sự tương tự này cũng nắm bắt được một số tinh thần của Thuyết tương đối rộng. Không-thời gian là có thể biến dạng, và khối lượng lớn sẽ làm biến dạng nó. Chuyển động của các vật thể nhỏ bị ảnh hưởng bởi độ cong tạo ra bởi các vật thể nặng. Và tấm cao su bị lún trông khá giống những biểu đồ nhúng toán học mà tôi sắp giải thích ngay sau đây. Hãy sử dụng sự tương tự nếu

nó hữu ích, nhưng hãy luôn ghi nhớ rằng đó chẳng qua cũng chỉ là sự tương tự mà thôi.

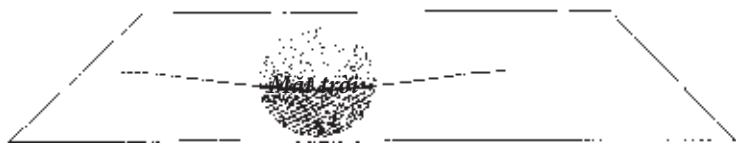
Lỗ đen

Lấy một quả táo và cắt nó ngang qua trung tâm. Quả táo vốn có ba chiều, song mặt cắt hay tiết diện vừa lộ ra thì chỉ có hai chiều. Nếu bạn xếp chồng các tiết diện hai chiều nhận được bằng cách cắt quả táo thành các lát mỏng, thì bạn có thể sẽ tái tạo lại nó. Và người ta nói rằng mỗi lát cắt mỏng đó được *nhúng* trong chồng các lát cắt có số chiều cao hơn.

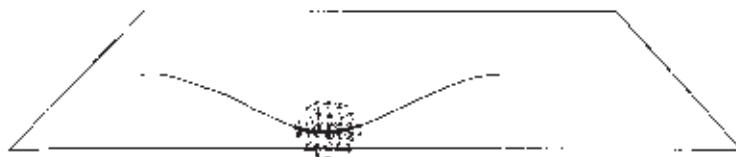


Không-thời gian là bốn chiều, song bằng cách cắt nó thành các lát, chúng ta có thể làm lộ ra các lát cắt không gian ba chiều. Và không-thời gian bây giờ có thể hình dung như chồng các lát cắt mỏng, mỗi lát cắt biểu diễn không gian ba chiều tại mỗi thời điểm. Việc hình dung ba chiều dễ dàng hơn nhiều so với hình dung bốn chiều. Hình ảnh của các lát cắt được gọi là *giản đồ nhúng*, và chúng sẽ giúp cho ta một bức tranh trực giác về hình học cong.

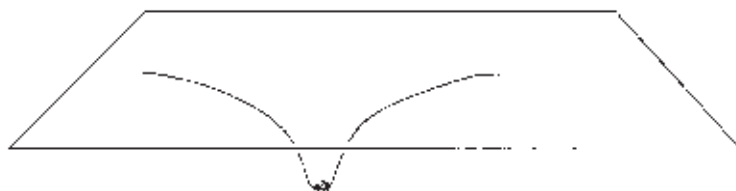
Hãy xét trường hợp hình học được tạo bởi khối lượng của Mặt trời. Ta hãy tạm thời bỏ qua thời gian và tập trung hình dung không gian cong trong vùng lân cận của Mặt trời. Giản đồ nhúng trông như một chỗ lún nhẹ trên một tấm cao su, có tâm tại Mặt trời, ít nhiều tương tự như tấm bạt lò xo với quả bóng bowling nằm trên nó.



Sự biến dạng ở gần Mặt trời sẽ trở nên rõ rệt hơn nếu cùng khối lượng đó nhưng được tập trung vào một kích thước nhỏ hơn.

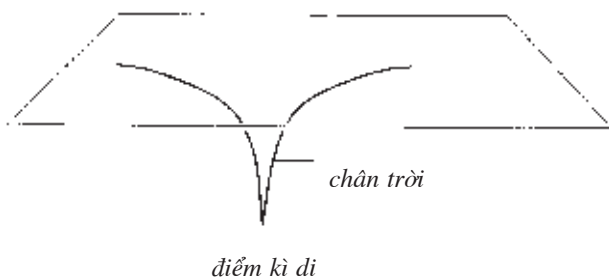


Hình học ở gần một sao lùn trắng hay một sao neutron thậm chí còn cong hơn, dù vẫn còn tròn.



Như chúng ta đã biết ở phần trước, nếu ngôi sao co sập lại và trở nên đủ nhỏ để được chứa trong bán kính Schwarzschild của nó (khoảng 3km đối với Mặt trời), thì cũng giống như những con nòng nọc bị bẫy vào lỗ thoát nước, các hạt của Mặt trời sẽ không thể cưỡng nổi bị kéo vào phía trong, nghĩa là sẽ tiếp tục co mạnh lại cho đến khi chúng tạo nên một điểm kì dị – một điểm có độ cong vô hạn¹.

¹ Lưu ý với những nhà chuyên môn: biểu đồ những dưới đây không nằm trong thời gian Schwarzschild bất biến. Nó nhận được bằng cách dùng các tọa độ Kruskal và lựa chọn bề mặt $T = 1$.



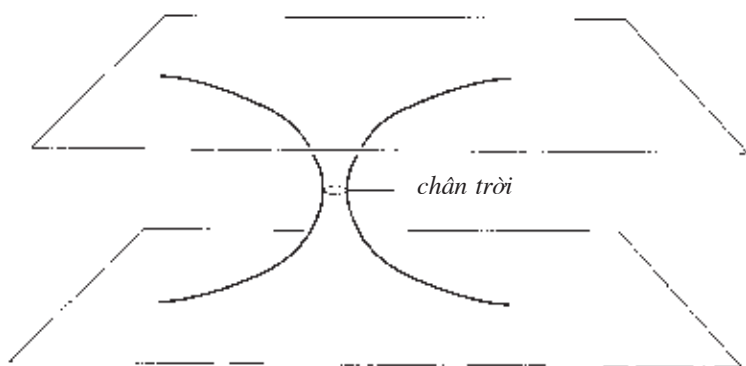
Điều gì không phải là lỗ đen

Tôi chờ đợi rằng mục này rồi sẽ khiến mình nhận được những lá thư đầy giận dữ từ bạn đọc mà những hiểu biết về lỗ đen của họ chỉ có được từ bộ phim *Lỗ đen* của Disney. Tôi không muốn mình là một kẻ phá bình – Chúa biết rằng lỗ đen là những thiên thể rất hấp dẫn – nhưng lỗ đen không phải là những cánh cửa dẫn tới thiên đường và địa ngục hay tới những vũ trụ khác, hay thậm chí là những đường hầm dẫn quay trở lại vũ trụ của chúng ta. Vì mọi người đều bình đẳng trong tình yêu, chiến tranh, và khoa học viễn tưởng, nên tôi hoàn toàn không phản đối nếu các nhà làm phim có tạo ra một chuyến viễn du đến xứ sở la-la land¹. Nhưng hiểu về lỗ đen đòi hỏi nhiều hơn là nghiên cứu kỹ lưỡng những bộ phim hạng hai như vậy.

Tiền đề của phim *Lỗ đen* thực sự bắt nguồn từ những công trình của Einstein và một cộng sự của ông là Nathan Rosen, và sau này được đại chúng hóa bởi John Wheeler. Einstein và Rosen đã suy đoán rằng vùng bên trong một lỗ đen có thể nối với một nơi ở rất

¹ Xứ sở được xem là nơi hạnh phúc, là nơi mơ ước riêng của mỗi người. Cũng là tên bài hát nổi tiếng của Demi Lovato.

xa, qua cái mà Wheeler sau này gọi là *lỗ giun đào*. Ý tưởng cho rằng hai lỗ đen, có thể ở xa nhau hàng tỉ năm ánh sáng, có thể được nối liền với nhau ở chân trời của chúng, tạo nên một con đường tắt tuyệt vời trong vũ trụ. Thay vì giãn đồ nhúng của lỗ đen kết thúc tại một điểm kỳ dị lõm chỏm, một khi đã vượt qua chân trời, nó sẽ mở ra một vùng không-thời gian mới thật rộng lớn.



Cầu nối Einstein-Rosen

Đi vào một đầu và đi ra ở một đầu khác cũng giống như đi vào một đường hầm ở New York và sau không hơn một vài dặm, sẽ đi ra ở Bắc Kinh, hoặc thậm chí ở Hỏa tinh. Lỗ giun đào của Wheeler dựa trên các nghiệm toán học đích thực của Thuyết tương đối rộng.

Đó cũng chính là nguồn gốc của những câu chuyện huyền tưởng cho rằng lỗ đen là những đường hầm dẫn tới những thế giới khác. Song có hai điều sai trong sự hoang tưởng này. Thứ nhất là lỗ giun đào của Wheeler có thể mở chỉ trong một khoảng thời gian ngắn, và sau đó thì khép chặt lại. Lỗ giun đào mở và đóng nhanh tới mức không thể cho bất cứ một thứ gì đi qua nó, kể cả ánh sáng. Điều này cũng giống như đường hầm đi tắt đến Bắc Kinh sẽ đổ sập trước

khi bất kỳ ai có thể đi qua. Một số nhà vật lý đã tư biện rằng Cơ học lượng tử có thể bằng cách nào đó tạo được sự ổn định cho các lỗ giun đào, song không có bằng chứng nào chứng minh cho điều đó.

Thêm vào đó, Einstein và Rosen đã nghiên cứu một “lỗ đen vĩnh cửu” – tức là lỗ đen tồn tại không chỉ trong tương lai vô hạn mà còn cả trong quá khứ vô hạn nữa. Nhưng ngay cả vũ trụ cũng không thể già vô hạn được. Lỗ đen thực sự gần như chắc chắn là bắt nguồn từ sự co sập lại của các ngôi sao (hay những thiên thể có khối lượng lớn khác), xảy ra một thời gian dài sau Big Bang. Khi các phương trình của Einstein được áp dụng cho sự hình thành của lỗ đen, thì các lỗ đen hoàn toàn không có các lỗ giun đào gắn liền với chúng. Giản đồ nhúng trông giống như biểu đồ ở trang 86.

Giờ thì tôi đã làm hỏng một ngày của bạn rồi. Tôi khuyên bạn nên đi thuê một bộ phim về xem và thật vui vẻ nhé.

Làm thế nào để chế tạo một cỗ máy thời gian

Tương lai không phải là những gì mà nó đã từng là.

YOGI BERRA

Thế còn về cỗ máy thời gian, một chiêu bài quảng cáo nhằm chán và cũ rích của khoa học viễn tưởng và là đề tài của vô số sách, sô truyền hình và phim ảnh thì sao? Cá nhân tôi, tôi cũng rất thích có một cái máy như thế. Tôi rất tò mò muốn biết tương lai nhìn sẽ như thế nào. Liệu loài người có còn tồn tại sau một triệu năm nữa hay không? Liệu họ có chinh phục được không gian không? Liệu tình dục có còn là một phương thức được ưa thích để duy trì

nòi giống? Tôi rất muốn biết và vì vậy, tôi ngờ rằng bạn chắc cũng muốn như thế.

Nhưng hãy thận trọng với cái mà bạn mong ước đó. Có một số mặt trái khi du hành vào tương lai. Tất cả bạn bè và gia đình bạn đều chết từ lâu. Quần áo của bạn trông thật kỳ quặc. Ngôn ngữ của bạn cũng sẽ vô dụng. Nói tóm lại, bạn sẽ như một kẻ quái dị. Một chuyến đi một chiều tới tương lai nghe ra thật đáng thất vọng, nếu không muốn nói là bi thảm.

Nhưng không sao. Chỉ cần leo lên máy thời gian của bạn rồi cài đặt để trở về hiện tại. Nhưng nhờ bộ truyền lực trong máy thời gian của bạn không có số lùi thì sao? Chuyện gì sẽ xảy ra nếu bạn chỉ có thể chuyển động về phía tương lai? Dù có thể nào bạn vẫn sẽ ra đi chứ? Bạn có thể nghĩ rằng đây là một câu hỏi không đâu; ai chả biết rằng máy thời gian chỉ là chuyện khoa học viễn tưởng. Song điều đó thực sự là không đúng.

Cỗ máy thời gian một chiều đến tương lai là hoàn toàn có thể, ít nhất là về nguyên lý. Trong bộ phim *Người ngủ* của Woody Allen, nhân vật chính được đưa đến tương lai 200 năm sau bằng một kỹ thuật hoàn toàn là khả thi ngày hôm nay. Đơn giản là anh ta để cho mình bị làm cho đông lạnh ở trạng thái hôn mê, mà người ta đã làm thành công với chó và lợn trong một vài giờ. Khi anh ta tỉnh dậy từ trạng thái đông lạnh đó thì anh ta đang ở tương lai rồi.

Tất nhiên, kỹ thuật này không thực sự là một cỗ máy thời gian. Nó có thể làm chậm lại sự trao đổi chất của một người, nhưng nó không làm chậm lại chuyển động của các nguyên tử và các quá trình vật lý khác. Nhưng chúng ta có thể làm tốt hơn. Bạn có còn nhớ cặp song sinh, Bob và Alice, những người đã bị tách ra xa nhau khi mới sinh không? Khi Alice trở về từ chuyến du hành vào không

gian, thì cô thấy rằng cả thế giới đã già hơn mình rất nhiều. Vì vậy, một chuyến du hành khứ hồi trên một tàu không gian cực nhanh là một ví dụ về du hành theo thời gian.

Một lỗ đen lớn cũng sẽ là một máy thời gian thuận tiện khác. Và đây là cách vận hành của nó. Trước tiên, bạn cần đến một trạm không gian vệ tinh và một sợi dây cáp đủ dài để đưa bạn xuống vùng lân cận của chân trời lỗ đen. Bạn sẽ không nên đến quá gần, và chắc chắn là bạn không muốn rơi qua chân trời, vì vậy dây cáp phải thật chắc. Một cái tời trên trạm không gian sẽ đưa bạn xuống và sau một thời gian nhất định, nó sẽ lại quấn dây kéo bạn lên.

Giả sử bạn muốn đi đến tương lai sau một ngàn năm và bạn sẵn lòng chịu bị treo lơ lửng trên dây cáp một năm mà không bị quá khó chịu và phiền phức bởi gia tốc hấp dẫn. Được thôi, nhưng bạn sẽ phải cần một lỗ đen với chân trời lớn cỡ thiên hà của chúng ta. Nếu bạn không bận tâm đến những khó chịu, bạn có thể làm điều đó với một lỗ đen nhỏ hơn ở ngay trung tâm của thiên hà chúng ta. Mặt trái của nó là bạn sẽ cảm thấy như mình nặng đến 4,5 triệu tấn trong suốt một năm ở gần chân trời. Sau một năm trên dây cáp, bạn sẽ được kéo lên để nhìn thấy một thiên niên kỷ đã trôi qua. Ít nhất là về nguyên tắc, các lỗ đen thực sự chính là cỗ máy thời gian đi tới tương lai.

Nhưng thế còn quay trở lại thì sao? Để làm được điều đó, bạn cần phải có một cỗ máy thời gian quay về quá khứ. Lạy Chúa, quay trở lại theo thời gian có lẽ là điều bất khả thi. Đôi khi các nhà vật lý tư biện về chuyện du hành qua thời gian về quá khứ bằng cách đi qua các lỗ giun đào lượng tử, nhưng trở lại theo thời gian luôn dẫn tới những mâu thuẫn về logic. Phỏng đoán của tôi là bạn sẽ bị kẹt lại ở tương lai mà bạn sẽ chẳng thể làm gì được hết.

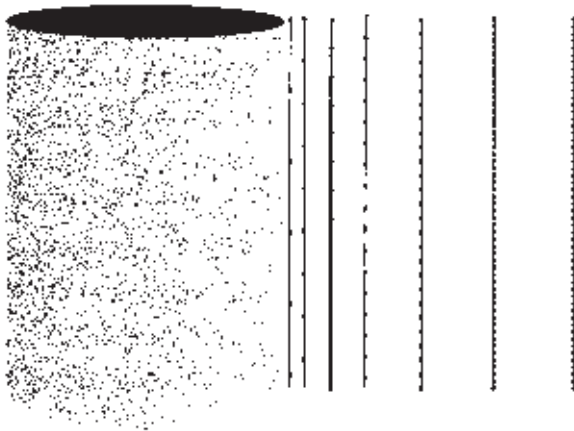
Sự chậm lại của đồng hồ do hấp dẫn

Điều gì ở lỗ đen đã khiến chúng trở thành cỗ máy thời gian? Câu trả lời là sự biến dạng rất mạnh của hình học không-thời gian do chúng gây ra. Sự biến dạng này ảnh hưởng tới dòng chảy của thời gian riêng dọc theo đường vũ trụ bằng nhiều cách khác nhau, tùy thuộc vào vị trí của đường vũ trụ. Ở rất xa một lỗ đen, ảnh hưởng của nó là rất yếu và dòng chảy của thời gian riêng hầu như không bị ảnh hưởng bởi sự hiện diện của nó. Nhưng một đồng hồ treo lơ lửng trên một sợi dây cáp ngay phía trên chân trời sẽ chạy chậm lại đáng kể bởi sự biến dạng của không-thời gian. Thực tế, tất cả các đồng hồ, kể cả nhịp tim của bạn, sự trao đổi chất và ngay cả những chuyển động bên trong của các nguyên tử cũng sẽ chậm lại. Bạn sẽ không nhận ra điều đó chút nào, song khi bạn trở về trạm không gian và so sánh đồng hồ của mình với đồng hồ ở trên tàu, bạn sẽ nhận thấy ngay sự khác biệt. Nhiều thời gian đã trôi qua ở trên trạm không gian hơn đồng hồ của bạn.

Thực sự thì không cần thiết phải trở lại trạm không gian mới thấy những ảnh hưởng của lỗ đen lên thời gian. Nếu bạn lơ lửng gần chân trời và tôi, trên trạm không gian, có kính viễn vọng, chúng ta có thể nhìn thấy nhau. Tôi sẽ thấy bạn và đồng hồ của bạn đang chuyển động chậm dần, trong khi bạn sẽ thấy tôi tăng tốc như trong một bộ phim của Keystone Kops cũ (sêri phim hài châm về một nhóm cảnh sát bất tài của Hãng phim Keystone vào giữa những năm 1912 và 1917). Sự chậm lại tương đối về thời gian ở gần một khối lượng lớn này được gọi là *sự dịch chuyển về phía đỏ do hấp dẫn*. Được Einstein khám phá như là một hệ quả của Thuyết tương đối rộng, điều này không xảy ra trong thuyết hấp dẫn

của Newton, trong đó các đồng hồ đều chạy với cùng một nhịp chính xác như nhau.

Bức tranh không-thời gian dưới đây minh họa cho sự dịch chuyển về phía đỏ do hấp dẫn ở gần chân trời một lỗ đen. Vật ở bên trái là lỗ đen. Hãy nhớ rằng bức tranh biểu thị không-thời gian với trục thẳng đứng là thời gian. Bề mặt màu ghi xám là chân trời, và các đường thẳng đứng ở những khoảng cách khác nhau so với chân trời biểu thị một nhóm các đồng hồ đứng yên giống hệt nhau. Các chấm biểu thị dòng thời gian riêng dọc theo đường vũ trụ. Đơn vị ở đây không quan trọng, chúng có thể là 1 giây, 1 nano giây hoặc 1 năm. Đồng hồ càng gần với lỗ đen thì càng chạy chậm. Ngay tại chân trời, thời gian gần như là đứng yên hoàn toàn đối với những đồng hồ ở bên ngoài lỗ đen.



Sự chạy chậm lại của đồng hồ do hấp dẫn xảy ra cả trong những hoàn cảnh ít kỳ lạ hơn so với khi ở gần chân trời của lỗ đen. Một dạng êm nhẹ hơn xảy ra trên bề mặt của Mặt trời. Các nguyên tử cũng chính là các đồng hồ thu nhỏ. Các electron chạy vào vào

xung quanh hạt nhân giống như các kim đồng hồ. Khi quan sát từ Trái đất, các nguyên tử trên Mặt trời dường như chạy chậm hơn đôi chút.

Sự mất tính đồng thời, nghịch lý anh em sinh đôi, không-thời gian cong, lỗ đen, máy thời gian, khá nhiều ý tưởng xa vời và còn kỳ lạ hơn cả khoa học viễn tưởng, nhưng chúng là những ý tưởng xác thực, là những khái niệm không gây tranh cãi mà tất cả các nhà vật lý đều nhất trí. Phải có một sự thay đổi nhận thức đầy gian khó – nào là hình học vi phân, phép tính tenxơ, nào là metric không-thời gian, các dạng vi phân – mới có thể hiểu được vật lý học mới về không-thời gian. Nhưng ngay cả sự chuyển đổi đầy khó khăn sang vương quốc lượng tử của Alice ở xứ sở thần kỳ cũng không là gì khi so sánh với những khó khăn về khái niệm mà giờ đây chúng ta đang phải đối mặt khi cố gắng dung hòa Thuyết tương đối rộng với Cơ học lượng tử. Trước đây, có vẻ như Cơ học lượng tử không thể cùng tồn tại với lý thuyết hấp dẫn của Einstein và sẽ phải bị vứt bỏ. Nhưng có lẽ người ta có thể nói rằng Cuộc chiến lỗ đen là “Cuộc chiến làm cho Thế giới an toàn đối với Cơ học lượng tử”.

Trong chương tiếp theo, tôi sẽ cố gắng thực hiện một nhiệm vụ hào hiệp nhưng khó khăn là thay đổi nhận thức của bạn về Cơ học lượng tử mà hầu như không dùng một phương trình nào cả. Những công cụ thực sự cho việc thấu hiểu bằng trực giác (*grok*) vũ trụ lượng tử là những trừu tượng hóa toán học: không gian Hilbert vô số chiều, toán tử chiếu, các ma trận unita, và rất nhiều những nguyên lý cao cấp khác phải mất hàng năm để học nó. Nhưng hãy xem chúng ta sẽ làm như thế nào chỉ trong một vài trang.

“EINSTEIN, ĐỪNG CÓ BẢO CHÚA PHẢI LÀM GÌ”



Đặt tách trà xuống bàn, cô rụt rè hỏi
 “Ánh sáng được tạo bởi các sóng hay các hạt?”

Có một chiếc bàn được bày biện dưới một tán cây ngay trước ngôi nhà. Cả Thỏ rừng và Người bán mũ đều đang uống trà ở đó: một con Chuột sóc đang ngồi giữa, ngủ gà ngủ gật trên bàn, còn Thỏ rừng và Người bán mũ đều đang chống cả tay lên bàn và nói chuyện qua đầu Chuột sóc. “Thật là tội cho chú Chuột sóc”, Alice nghĩ, “cũng may mà nó đang ngủ, nên chắc nó không để ý đến chuyện đó”¹.

¹ Lewis Carroll, *Cuộc phiêu lưu của Alice ở xứ sở thần kỳ*, được minh họa bởi John Tenniel (London: Macmillan và Company, 1865).

Ngay từ buổi học về khoa học lần trước, Alice đã thấy có một số điều rất khó hiểu, và cô bé hy vọng một trong những người bạn mới của mình có thể giúp cô tháo gỡ những bối rối đó. Đặt tách trà xuống bàn, cô rút rè hỏi: “Ánh sáng được tạo bởi các sóng hay các hạt?”. “Ừ, đúng là như thế đấy”, Người bán mũ điên trả lời. Alice hỏi lại với giọng mạnh mẽ hơn, có phần hơi nóng nảy: “Câu trả lời kiểu gì vậy? Tôi xin nhắc lại câu hỏi: Ánh sáng được tạo bởi các sóng hay các hạt?”. “Đúng là thế đấy”, Người bán mũ điên nói.

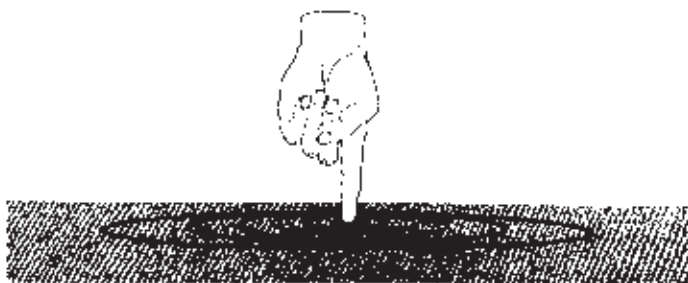
Chào mừng các bạn đến với ngôi nhà vui vẻ – cái thế giới điên rồ, lộn tung phèo hết cả lên của Cơ học lượng tử, nơi mà sự bất định chi phối và chẳng làm sao có thể hiểu được.

Trả lời cho câu hỏi của Alice, nhưng chỉ phần nào

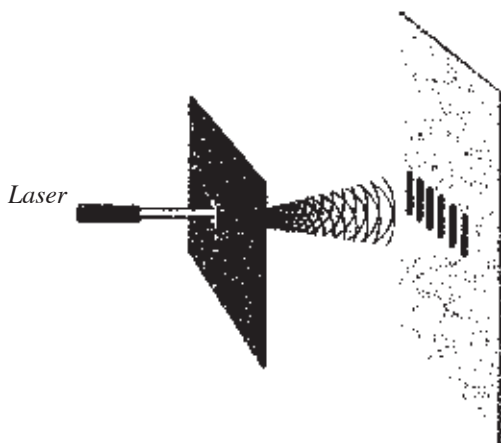
Newton tin rằng tia sáng là một dòng các hạt bé xíu, tựa như những viên đạn nhỏ được bắn ra từ một khẩu súng máy tốc độ cao. Mặc dù lý thuyết này gần như hoàn toàn sai, song ông đã đưa ra được những cách lý giải khá thông minh cho rất nhiều tính chất của ánh sáng. Vào năm 1865, một nhà toán học và vật lý người Scotland là James Clerk Maxwell đã bác bỏ một cách triệt để thuyết viên đạn của Newton. Maxwell cho rằng ánh sáng tạo bởi các sóng, đó là *sóng điện từ*. Những công trình của Maxwell đã được khẳng định một cách áp đảo và nhanh chóng trở thành lý thuyết được chấp nhận rộng rãi.

Maxwell chỉ ra rằng khi một điện tích chuyển động – ví dụ như khi các electron dao động trong một dây dẫn – thì nó sẽ tạo ra

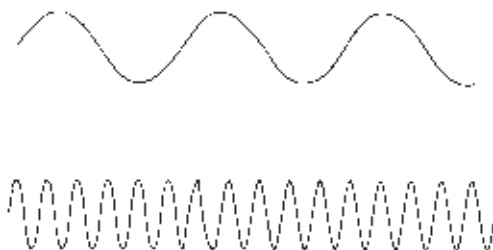
những nhiễu động tựa như sóng, rất giống như khi ta khuấy một ngón tay xuống hồ nước và tạo ra sóng trên bề mặt.



Sóng ánh sáng được tạo bởi điện trường và từ trường – chính là các trường ở xung quanh các hạt tích điện, các dòng điện trong dây dẫn, và các nam châm thông thường. Khi các điện tích và dòng điện này dao động, chúng sẽ tạo nên các sóng, lan truyền ra khắp không gian trống rỗng với tốc độ ánh sáng. Thực vậy, nếu bạn chiếu một chùm sáng qua hai khe hẹp, bạn có thể thấy một hình ảnh giao thoa rõ nét do các sóng chồng lên nhau tạo ra.



Lý thuyết của Maxwell thậm chí còn giải thích được ánh sáng có thể xuất hiện với những màu sắc khác nhau như thế nào. Các sóng được đặc trưng bởi bước sóng của chúng, tức là khoảng cách từ đỉnh sóng này đến đỉnh sóng kế tiếp. Dưới đây là hai loại sóng, loại thứ nhất có bước sóng dài hơn loại thứ hai.



Hãy tưởng tượng hai sóng di chuyển ngay trước mặt bạn với tốc độ ánh sáng. Khi chúng đi qua, sóng dao động từ cực đại đến cực tiểu rồi trở lại cực đại và cứ tiếp tục như vậy: sóng với bước sóng càng ngắn thì tốc độ dao động càng lớn. Số các chu kỳ trọn vẹn (từ cực đại đến cực tiểu rồi lại đến cực đại) trong một giây được gọi là tần số, và rõ ràng là tần số sẽ lớn hơn với sóng có bước sóng ngắn hơn.

Khi ánh sáng đi vào mắt ta, những tần số khác nhau sẽ tác động đến các dây thần kinh hình nón và hình que trong võng mạc theo những cách khác nhau. Một tín hiệu được truyền tới não bộ sẽ cho biết nó là đỏ, cam, vàng, lục, lam hay tím, tùy thuộc vào tần số (hay bước sóng). Đầu màu đỏ của quang phổ bao gồm những sóng dài hơn (tần số thấp hơn) so với màu lam hay đầu màu tím: bước sóng của ánh sáng đỏ vào khoảng 700 nanomét, trong khi bước sóng của ánh sáng màu tím chỉ bằng khoảng một nửa. Vì ánh sáng truyền nhanh như vậy nên tần số của dao động là cực lớn. Ánh sáng màu lam dao động khoảng một triệu tỉ (10^{15}) lần trong một

giây, còn ánh sáng đỏ dao động khoảng bằng một nửa số đó. Nói theo thuật ngữ vật lý thì tần số của ánh sáng màu lam là 10^{15} Hz.

Bước sóng của ánh sáng có thể dài hơn 700 hay ngắn hơn 400 nanomét không? Có thể, nhưng khi đó thì nó không còn được gọi là ánh sáng nữa, vì mắt thường không nhạy cảm với những bước sóng này. Tia cực tím (hay còn gọi là tia tử ngoại) và tia X có bước sóng ngắn hơn sóng màu tím, và tia có bước sóng ngắn nhất trong tất cả các tia được gọi là tia gamma. Về phía bước sóng dài hơn, chúng ta có tia hồng ngoại, viba và sóng vô tuyến. Toàn bộ quang phổ, từ tia gamma cho tới sóng vô tuyến, được gọi là *bức xạ điện từ*.

Vì vậy, câu trả lời cho câu hỏi của Alice là ánh sáng đứt khoát được tạo bởi các sóng.

Nhưng hãy khoan chút đã, đừng có vội. Giữa năm 1900 và 1905, một chuyện bất ngờ đã làm đảo lộn nền tảng của vật lý học và làm cho nó rơi vào tình trạng hoàn toàn bối rối trong hơn 20 năm (một số người nói rằng nó vẫn còn như thế đến tận ngày nay). Xây dựng dựa trên các công trình của Max Planck, Einstein đã hoàn toàn “phá vỡ hình mẫu thống trị” ở thời đó. Chúng ta không có thời gian hay không gian cho câu chuyện ông đã làm thế nào để đạt được điều đó, chỉ biết rằng vào năm 1905, Einstein đã bị thuyết phục hoàn toàn rằng ánh sáng được tạo bởi các hạt mà ông gọi là *các lượng tử*. Và sau này, chúng được gọi là các *photon*. Để rút gọn lại về điểm cốt lõi của câu chuyện hấp dẫn này, thì khi ánh sáng vô cùng mờ và yếu, nó hành xử giống như các hạt, cụ thể là nó tới một hạt một lần tựa như thể chúng là những viên đạn rời rạc vậy. Trở lại thí nghiệm trong đó ánh sáng đi qua hai khe hẹp, rồi cuối cùng đến một màn ảnh. Hãy tưởng tượng ta làm mờ nguồn sáng tới mức tối thiểu có thể. Một nhà vật lý theo lý thuyết sóng mong đợi sẽ nhận được một

hình ảnh sóng rất mờ, chỉ vừa đủ nhìn thấy hoặc có thể là hoàn toàn không nhìn thấy. Nhưng dù là nhìn thấy hay không nhìn thấy thì hình ảnh mong đợi vẫn sẽ phải là giống như sóng.

Đó không phải là điều Einstein dự đoán, và như thường lệ, ông đã đúng. Thay vì độ sáng là liên tục, lý thuyết của ông dự đoán rằng sẽ có những điểm lóe sáng bất ngờ. Điểm lóe sáng đầu tiên sẽ xuất hiện ngẫu nhiên ở một vị trí không đoán trước được trên màn ảnh.

Một điểm lóe sáng khác sẽ xuất hiện ngẫu nhiên tại đâu đó, rồi lại điểm khác nữa. Nếu các chấm sáng này được chụp ảnh và chồng lên nhau thì một hình mẫu sẽ bắt đầu xuất hiện từ những chấm sáng ngẫu nhiên đó, và thật bất ngờ, chúng lại có hình mẫu giống như sóng.

Vậy ánh sáng là một hạt hay một sóng? Câu trả lời tùy thuộc vào thí nghiệm và câu hỏi mà bạn đặt ra. Nếu thí nghiệm có liên quan đến ánh sáng mờ đến nỗi dòng các photon đi qua một hạt một lần thì ánh sáng dường như là các photon đến một cách ngẫu nhiên và không thể tiên đoán trước được. Thế nhưng nếu có đủ photon để chúng tạo nên một hình mẫu thì ánh sáng hành xử như các sóng. Nhà vật lý vĩ đại Niels Bohr đã mô tả tình huống bối rối này khi nói rằng lý thuyết sóng và lý thuyết hạt của ánh sáng là *bổ sung cho nhau*.

Einstein lập luận rằng các photon phải có năng lượng. Có những bằng chứng chắc chắn cho điều này. Ánh sáng mặt trời, cũng tức



là các photon phóng ra từ Mặt trời, làm nóng Trái đất. Các tấm pin mặt trời chuyển các photon đó thành điện. Điện này có thể được sử dụng để chạy một động cơ và nâng một vật nặng. Và nếu ánh sáng có năng lượng thì các photon cũng phải có mới tạo nên năng lượng của ánh sáng.

Rõ ràng là một hạt photon đơn lẻ chỉ có một lượng năng lượng rất nhỏ, nhưng chính xác là bao nhiêu? Bao nhiêu photon mới có thể làm sôi một tách trà hay chạy một động cơ 100W trong một giờ? Câu trả lời tùy thuộc vào bước sóng của bức xạ. Các photon có bước sóng dài thì ít năng lượng hơn photon có bước sóng ngắn. Như vậy, cần phải có nhiều photon bước sóng dài hơn để hoàn thành một việc đã cho. Một công thức rất nổi tiếng, tuy không nổi tiếng bằng $E = mc^2$, nhưng vẫn rất nổi tiếng, biểu thị năng lượng của một photon đơn lẻ qua tần số của nó¹.

$$E = hf$$

Vế trái của phương trình là E , biểu thị năng lượng của photon, được đo bằng jun (viết tắt là J). Ở vế phải f là tần số. Với ánh sáng màu lam thì tần số là 10^{15}Hz . Còn lại h là hằng số Planck nổi tiếng, nó được Max Planck đưa vào năm 1900. Hằng số Planck là một con số cực nhỏ, nhưng nó là một trong những hằng số quan trọng nhất của tự nhiên, nó chi phối tất cả các hiện tượng lượng tử. Nó được xếp ngang hàng với tốc độ ánh sáng c và hằng số hấp dẫn G của Newton.

$$h = 6,62 \times 10^{-34}\text{J.s}$$

Vì hằng số Planck nhỏ như vậy nên năng lượng của một photon đơn lẻ là rất nhỏ. Để tính toán năng lượng của một photon ánh

¹ Công thức này được Max Planck đưa ra vào năm 1900. Tuy nhiên, chính Einstein mới là người hiểu rằng ánh sáng được tạo bởi các lượng tử giống như hạt và công thức này áp dụng cho năng lượng của một photon đơn lẻ.

sáng màu lam, hãy nhân hằng số Planck với tần số của nó là 10^{15} Hz, và bạn sẽ được kết quả là $6,62 \times 10^{-19}$ J. Đường như đó không phải là nhiều năng lượng lắm và quả đúng là như thế. Sẽ phải mất khoảng 10^{39} photon ánh sáng màu lam mới đủ làm sôi tách trà của bạn. Bạn sẽ cần khoảng gấp đôi số photon ánh sáng đỏ để làm việc đó. Ngược lại, với các tia gama năng lượng cao đã được phát hiện, thì để đun sôi một tách trà chỉ cần 10^{18} photon.

Ngoài tất cả các công thức và con số này ra, tôi muốn bạn chỉ cần nhớ một điều: bước sóng của một tia sáng càng ngắn thì năng lượng của một photon đơn lẻ càng cao. Năng lượng cao có nghĩa là bước sóng ngắn; năng lượng thấp nghĩa là bước sóng dài. Hãy nhắc đi nhắc lại điều đó vài lần và ghi nó ra giấy. Nào, giờ thì hãy nói lại một lần nữa: năng lượng cao có nghĩa là bước sóng ngắn; năng lượng thấp có nghĩa là bước sóng dài.

Tiên đoán tương lai

Einstein đã tuyên bố một cách hơi khoa trương rằng, “Chúa không chơi trò xúc xắc”¹. Niels Bohr đã đáp lại rất sắc sảo: “Einstein, đừng có bảo Chúa phải làm gì.” Cả hai nhà vật lý đều gần như là những người vô thần; và chắc cũng không có ai trong hai người dự tính sẽ làm một vị thần ngồi trên mây cố gieo xúc xắc để giành lấy phần thắng. Nhưng cả Bohr và Einstein đều đang vật lộn với điều gì đó hoàn toàn mới mẻ trong vật lý học, điều mà Einstein đơn giản là không thể chấp nhận: đó là sự không thể tiên đoán được, một hệ quả của những quy tắc mới lạ trong Cơ học lượng tử. Trí tuệ của Einstein nổi loạn chống lại ý tưởng về yếu tố ngẫu nhiên, không kiểm soát

¹ Thư gửi cho Max Born, ngày 12 tháng 12 năm 1926

được trong các quy luật của tự nhiên. Ý tưởng này cho rằng sự đến của một photon thực sự là một biến cố không thể tiên đoán được là trái với ý muốn của ông. Bohr, thì ngược lại, có thể thích hoặc không thích ý tưởng này, song ông đã chấp nhận nó. Ông cũng hiểu rằng các nhà vật lý tương lai sẽ phải thay đổi hình mẫu nhận thức của chính họ vì Cơ học lượng tử, và một phần của sự thay đổi đó cần phải bao hàm cả việc không thể tiên đoán được mà Einstein rất kinh sợ.

Không phải Bohr hình dung tốt hơn về các hiện tượng lượng tử, hay ông thấy dễ chịu hơn với nó. “Bất kỳ ai không bị sốc bởi lý thuyết lượng tử thì đều chưa hiểu được nó”, ông đã từng tuyên bố như vậy. Rất nhiều năm sau, Richard Feynman đã phát biểu rằng: “Tôi nghĩ, sẽ là an toàn nếu nói không ai hiểu được Cơ học lượng tử cả”. Ông còn nói thêm, “Càng thấy Tự nhiên hành xử một cách kỳ lạ như thế nào, càng khó để xây dựng một mô hình để giải thích sự vận hành của ngay cả những hiện tượng đơn giản nhất. Vì vậy mà vật lý lý thuyết đã từ bỏ điều đó”. Tôi không nghĩ Feynman thực sự muốn nói rằng các nhà vật lý học nên từ bỏ việc giải thích các hiện tượng lượng tử; vì xét cho cùng thì ông vẫn thường xuyên làm chuyện đó. Điều ông muốn nói ở đây là người ta không thể giải thích các hiện tượng lượng tử thông qua những cái mà đầu óc con người có thể hình dung với sự nhận thức thông thường. Feynman, cũng như những người khác, đều phải dùng tới toán học trừu tượng. Rõ ràng là đọc một chương trong một cuốn sách không có phương trình nào không thể giúp bạn thay đổi nhận thức được, song với một chút kiên nhẫn, tôi nghĩ bạn có thể sẽ nắm bắt được những điểm then chốt.

Điều thứ nhất mà các nhà vật lý phải tự giải phóng họ – và cũng là điều mà Einstein rất nâng niu, đó là quan niệm cho rằng các quy luật của tự nhiên là tất định. Tất định hay quyết định luận có

nghĩa là tương lai phải có thể tiên đoán được nếu biết đủ thông tin về hiện tại. Cơ học Newton, cũng như mọi hệ quả của nó, tất cả đều là tiên đoán tương lai. Pierre de Laplace – chính là người đã tưởng tượng ra các ngôi sao tối – đã tin chắc rằng tự nhiên là có thể tiên đoán được. Đây là những gì ông đã viết:

Chúng ta có thể coi trạng thái hiện tại của vũ trụ như là hậu quả của quá khứ của nó và là nguyên nhân của tương lai. Một trí tuệ ở thời điểm nào đó biết mọi lực tạo ra chuyển động của tự nhiên, và mọi vị trí của tất cả các cấu phần của nó, và nếu trí tuệ này đủ sức chứa để dung nạp các dữ liệu này để phân tích, thì những chuyển động của các vật thể lớn nhất cũng như của các nguyên tử nhỏ bé nhất trong vũ trụ sẽ được thu tóm trọn vẹn trong một công thức duy nhất; đối với một trí tuệ như vậy không có gì là bất định và tương lai giống như quá khứ sẽ hiện diện trước mắt nó.

Laplace chỉ đơn giản là trình bày những hệ quả của các định luật Newton về chuyển động. Thực tế, quan điểm về tự nhiên của Newton-Laplace là dạng thuần túy nhất của *quyết định luận*. Để tiên đoán tương lai, tất cả những gì bạn cần biết là vị trí và vận tốc của mọi hạt trong vũ trụ tại thời điểm ban đầu nào đó. Đúng như thế, nhưng còn một điều nữa: bạn cũng cần phải biết hết các lực tác dụng lên mọi hạt. Lưu ý rằng biết vị trí của các hạt thôi thì chưa đủ để biết vị trí tại một thời điểm bất kỳ, vì bạn không biết ở thời điểm tiếp theo nó sẽ đi về đâu. Nhưng nếu bạn biết cả vận tốc nữa¹ – tức là biết cả độ lớn và hướng của nó – thì bạn có thể nói tiếp sau nó sẽ ở đâu. Các nhà vật lý gọi những dữ liệu đó là *các*

¹ Khái niệm *vận tốc* có nghĩa không chỉ một vật chuyển động nhanh như thế nào mà còn cả hướng chuyển động của nó nữa. Ví dụ, con số 60km/h không phải là thông tin đầy đủ về vận tốc; 60km/h theo hướng Bắc Tây Bắc mới là đầy đủ.

điều kiện ban đầu, đó là tất cả những gì bạn cần biết tại một thời điểm để tiên đoán chuyển động tương lai của một hệ.

Để hiểu quyết định luận nghĩa là thế nào, hãy tưởng tượng một thế giới đơn giản nhất có thể – đơn giản tới mức nó chỉ có hai trạng thái tồn tại mà thôi. Đồng xu là một mô hình tốt, hai trạng thái tồn tại của nó là ngửa và sấp. Chúng ta cũng cần xác định một luật quy định các sự vật thay đổi từ thời điểm này đến thời điểm khác như thế nào. Dưới đây là hai khả năng cho một quy luật kiểu như vậy:

- Ví dụ đầu tiên này rất buồn tẻ. Quy luật là: không có gì xảy ra cả. Nếu đồng xu ngửa (H) tại một thời điểm, nó sẽ là ngửa ở thời điểm tiếp theo (giả sử là một nano giây sau). Tương tự như vậy, nếu nó sấp (T) tại một thời điểm, nó sẽ sấp ở thời điểm tiếp theo. Quy luật này có thể được cô đúc lại thành một cặp “công thức” đơn giản sau:

$$H \rightarrow H$$

$$T \rightarrow T$$

Lịch sử của thế giới khi này sẽ hoặc là H H H H H... hoặc là T T T T T..., và cứ lặp đi lặp lại vô tận như vậy.

- Nếu quy luật đầu tiên là buồn tẻ, thì quy luật sau đây cũng chỉ khá hơn chút xíu: bất kể trạng thái tại một thời điểm là gì đi chăng nữa thì một nano giây sau nó sẽ lật sang trạng thái ngược lại. Quy luật này có thể được diễn tả bằng ký hiệu như sau:

$$H \rightarrow T$$

$$T \rightarrow H$$

Khi này lịch sử thế giới sẽ có dạng: H T H T H T H THT... hay T H T H T H T HTH...

Cả hai quy luật đều là tất định, có nghĩa là tương lai hoàn toàn được quyết định bởi điểm xuất phát. Trong mỗi trường hợp, nếu bạn biết điều kiện ban đầu, bạn có thể tiên đoán một cách chắc chắn điều gì sẽ xảy ra sau bất kỳ độ dài thời gian nào.

Các quy luật tất định không phải là khả năng duy nhất. Các quy luật ngẫu nhiên cũng là một khả năng có thể. Quy luật ngẫu nhiên đơn giản nhất sẽ là bất kể trạng thái ban đầu như thế nào thì ở thời điểm tiếp theo, đồng xu sẽ ngửa hoặc sấp một cách ngẫu nhiên. Một lịch sử khả dĩ, bắt đầu bằng trạng thái sấp, sẽ là T T T H H H T T H H T H H T T... Nhưng T T H T H H T H H H T T... cũng có thể là một khả năng. Thực tế thì bất kỳ chuỗi nào cũng đều là khả dĩ cả. Bạn có thể nghĩ về một thế giới không có quy luật nào hay một thế giới trong đó quy luật là sự cập nhật điều kiện ban đầu một cách ngẫu nhiên.

Quy luật không nhất thiết phải là hoàn toàn tất định hoặc hoàn toàn ngẫu nhiên. Đó là hai thái cực. Một quy luật hầu như là tất định, với chỉ một chút ngẫu nhiên thôi, cũng là hoàn toàn khả dĩ. Quy luật có thể phát biểu rằng với xác suất 90 % là trạng thái không đổi, và chỉ với xác suất 10% là nó bị lật ngược lại. Một lịch sử điển hình kiểu đó nhìn sẽ như thế này:

H H H H H H T T T T T T T T T T T T H H H H H H H H H H
H H T T T T T...

Trong trường hợp này, một người đánh bạc có thể có dự đoán khá tốt về tương lai gần nhất: trạng thái tiếp theo sẽ gần như chắc chắn là giống với trạng thái hiện tại. Anh ta thậm chí có thể táo bạo hơn một chút và phỏng đoán rằng hai trạng thái tiếp theo cũng sẽ giống như hiện tại. Cơ hội đoán đúng của anh ta là cao, miễn là anh ta không đi quá xa. Nếu anh ta cố đoán một tương lai quá xa, thì số lần đoán đúng của anh ta sẽ không tốt hơn nhiều so với số lần đoán sai. Khả năng không thể tiên đoán này chính xác là những gì mà Einstein phản đối khi ông nói Chúa không chơi trò xúc xắc.

Bạn có thể hơi cảm thấy khó hiểu ở một điểm: một chuỗi sắp ngửa của đồng xu thực sự giống với quy luật hoàn toàn ngẫu nhiên hơn là quy luật tất định. Ngẫu nhiên dường như là đặc điểm rất phổ biến của thế giới tự nhiên. Ai cần Cơ học lượng tử để làm cho thế giới trở nên không thể tiên đoán được? Nhưng lý do để sự rơi sắp ngửa của một đồng xu thông thường là không thể tiên đoán được, ngay cả khi không có Cơ học lượng tử, hoàn toàn chỉ là sự thiếu cân trọng. Bạn không thể bám sát mọi chi tiết có liên quan. Một đồng xu không phải là một thế giới độc lập. Các chi tiết của cơ bắp điều khiển bàn tay tung đồng xu; dòng không khí trong phòng; các dao động nhiệt của các phân tử trong cả đồng xu lẫn không khí, tất cả những thứ đó đều liên quan đến kết cục, và trong hầu hết các trường hợp, tất cả những thông tin này đều rất khó nắm bắt. Hãy nhớ rằng, Laplace đã nói là phải biết “*mọi* lực tạo nên sự chuyển động của tự nhiên, và *mọi* vị trí của tất cả các cấu phần của nó”. Chỉ một sai sót nhỏ nhất về vị trí của một phân tử cũng có thể làm tiêu tan khả năng tiên đoán tương lai. Nhưng loại ngẫu nhiên thông thường này không phải là điều làm Einstein phải bận tâm. Nói Chúa chơi trò xúc xắc, là Einstein muốn ngụ ý rằng các quy luật sâu sắc nhất của tự nhiên có một yếu tố ngẫu nhiên không thể tránh khỏi mà ta không bao giờ có thể vượt qua, ngay cả nếu mọi chi tiết cần phải biết thì đã biết.

Thông tin không bao giờ chết

Một lý do thuyết phục để không cho phép có yếu tố ngẫu nhiên là ở chỗ trong hầu hết các trường hợp, nó sẽ vi phạm *định luật bảo toàn năng lượng* (xem Chương 7). Định luật này phát biểu rằng

dù năng lượng xuất hiện dưới nhiều dạng và có thể chuyển đổi từ dạng này sang dạng khác, nhưng tổng năng lượng là không thay đổi. Sự bảo toàn năng lượng là một trong những thực tế được xác nhận một cách chính xác nhất của tự nhiên, và không còn chỗ để có thể can thiệp vào đó. Sự tác động ngẫu nhiên sẽ làm thay đổi năng lượng của một vật bằng cách làm tăng hay giảm tốc độ của nó.

Có một quy luật vật lý rất tinh tế khác, thậm chí có thể còn cơ bản hơn cả định luật bảo toàn năng lượng. Nó đôi khi được gọi là tính thuận nghịch, nhưng chúng ta sẽ gọi nó là *định luật bảo toàn thông tin*. Sự bảo toàn thông tin ngụ ý rằng nếu bạn biết hiện tại với một độ chính xác hoàn hảo, thì bạn có thể tiên đoán được tương lai ở mọi thời điểm. Nhưng đó mới chỉ là một nửa của vấn đề. Định luật này còn nói rằng nếu bạn biết hiện tại, bạn có thể biết một cách hoàn toàn chắc chắn về quá khứ. Nghĩa là đúng theo cả hai chiều.

Trong thế giới sắp-ngửa của một đồng xu, một quy luật thuần túy tất định sẽ đảm bảo thông tin được bảo toàn tuyệt đối. Chẳng hạn, nếu quy luật là:

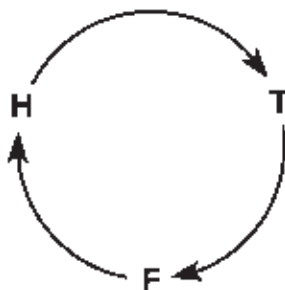
$$H \rightarrow T \qquad T \rightarrow H$$

thì cả quá khứ và tương lai đều có thể hoàn toàn tiên đoán được. Nhưng ngay cả một yếu tố ngẫu nhiên nhỏ nhất cũng có thể phá hỏng khả năng tiên đoán hoàn hảo này.

Tôi xin đưa ra một ví dụ khác, lần này là một đồng xu ảo ba mặt (xúc xắc là một đồng xu sáu mặt). Gọi ba mặt của nó là ngửa, sấp và đứng hay là H, T và F. Và đây là một định luật tất định hoàn hảo:

$$H \rightarrow T \qquad T \rightarrow F \qquad F \rightarrow H$$

Để hình dung quy luật này, ta sẽ biểu diễn nó dưới dạng biểu đồ.

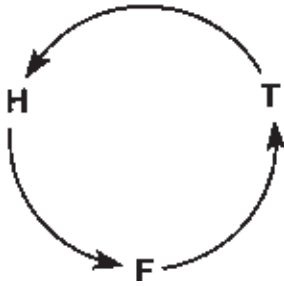


Với quy luật này, lịch sử của thế giới, bắt đầu từ H, nhìn sẽ như thế này:

H T F H T F H T F H T F H T F H T F H T F H T F...

Liệu có cách nào để kiểm chứng bằng thực nghiệm định luật bảo toàn thông tin hay không? Thực tế, có nhiều cách, một số khả thi và số khác thì không. Nếu bạn có thể kiểm soát được định luật và thay đổi nó theo ý muốn của mình, thì sẽ có một cách rất đơn giản để kiểm chứng điều đó. Trong trường hợp đồng xu ba mặt, cách tiến hành như sau. Hãy bắt đầu với đồng xu ở một trong ba trạng thái của nó và để cho nó hoạt động trong một khoảng thời gian xác định. Giả sử rằng cứ sau mỗi nano giây, trạng thái của đồng xu sẽ lật từ H sang T rồi F, và cứ quay vòng trong ba khả năng đó. Cuối mỗi khoảng thời gian lại thay đổi quy luật. Quy luật mới chỉ là quy luật cũ nhưng đảo chiều lại – cụ thể là ngược chiều kim đồng hồ thay vì thuận chiều.

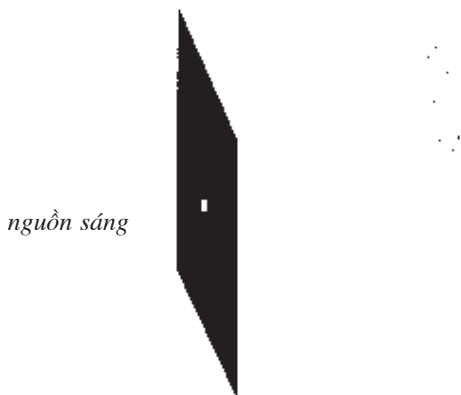
Bây giờ hãy cho hệ chạy theo chiều ngược lại trong khoảng thời gian chính xác như lúc trước. Lịch sử ban đầu sẽ được lần dở ngược lại và đồng xu sẽ quay trở lại điểm khởi đầu. Bất kể là bạn chờ bao lâu, quy luật tất định này vẫn sẽ duy trì bộ nhớ hoàn hảo và luôn



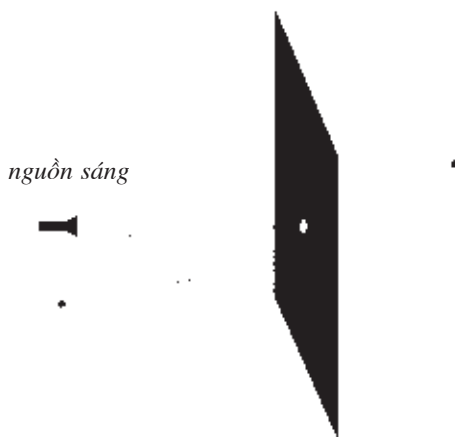
quay trở lại đúng điều kiện ban đầu. Để kiểm tra sự bảo toàn thông tin, chừng nào bạn còn biết đảo ngược nó như thế nào, thì thậm chí không cần phải biết quy luật chính xác. Thực nghiệm kiểm chứng sẽ luôn thành công chừng nào quy luật là tất định. Nhưng nó sẽ thất bại nếu có bất kỳ sự ngẫu nhiên nào – trừ phi sự ngẫu nhiên đó thuộc loại rất tinh tế.

Bây giờ thì hãy quay trở lại với Einstein, Bohr, Chúa trời (tức các định luật vật lý) và Cơ học lượng tử. Một câu nói nổi tiếng khác của Einstein là “Chúa trời rất tinh tế, nhưng lại không hiểm độc”. Tôi không biết điều gì đã khiến ông nghĩ rằng các định luật của vật lý không hiểm độc. Cá nhân tôi đôi khi nhận thấy định luật hấp dẫn là rất hiểm độc, đặc biệt là khi tôi già đi. Nhưng Einstein đã đúng về sự tinh tế. Các định luật của Cơ học lượng tử là rất tinh tế – tinh tế đến mức chúng cho phép ngẫu nhiên cùng tồn tại với bảo toàn năng lượng và bảo toàn thông tin.

Hãy xét một hạt, bất kỳ hạt nào cũng được, song photon là một lựa chọn tốt. Photon được tạo ra bởi một nguồn ánh sáng nào đó – như tia laser chẳng hạn – và được hướng vào một tấm chắn sáng làm bằng kim loại với một lỗ nhỏ trên đó. Phía sau lỗ là một màn huỳnh quang, màn sẽ lóe sáng khi có photon đập vào nó.



Sau một khoảng thời gian nào đó, photon có thể sẽ đi qua lỗ nhỏ hoặc nó không đi qua mà bị màn chắn hắt ngược trở lại. Nếu đi qua được lỗ nhỏ, photon sẽ đập vào màn huỳnh quang, nhưng không nhất thiết ở chỗ đối diện thẳng với lỗ. Thay vì đi theo một đường thẳng, photon có thể nhận được một xung lực ngẫu nhiên khi nó đi qua lỗ. Như vậy, vị trí cuối cùng của chấm sáng là không thể tiên đoán được.



Giờ ta hãy bỏ màn huỳnh quang đi và làm lại thí nghiệm. Sau một thời gian ngắn, photon hoặc là sẽ đập vào tấm chắn kim loại

và bật ngược trở lại, hoặc nó sẽ đi qua lỗ và nhận được một tác động ngẫu nhiên. Không có gì để phát hiện photon, nên không thể nói được là nó đang ở đâu và đang di chuyển theo hướng nào.

Nhưng hãy tưởng tượng rằng chúng ta can thiệp và làm đảo ngược quy luật chuyển động của photon¹. Chúng ta sẽ mong đợi điều gì nếu cho photon này vận hành theo chiều ngược lại với cùng một khoảng thời gian? Kết quả rõ ràng là sự ngẫu nhiên (ngẫu nhiên khi đảo ngược vẫn là ngẫu nhiên) sẽ làm tan vỡ hy vọng rằng photon sẽ trở về đúng vị trí ban đầu của nó. Sự ngẫu nhiên của nửa sau thí nghiệm kết hợp với sự ngẫu nhiên của nửa đầu làm cho chuyển động của photon thậm chí còn khó tiên đoán hơn.

Nhưng câu trả lời còn tinh tế hơn nhiều. Trước khi giải thích, chúng ta hãy trở lại một chút với thí nghiệm liên quan đến đồng xu ba mặt. Trong ví dụ này, chúng ta cũng đã vận hành một quy luật theo một hướng và sau đó cho đảo ngược lại. Có một chi tiết của thí nghiệm mà tôi đã bỏ sót: Liệu có ai đó đã nhìn đồng xu ngay trước khi chúng ta đảo ngược quy luật hay không? Có gì khác nếu như có ai đó đã nhìn? Sẽ không có gì khác, chừng nào việc nhìn đồng xu không làm cho nó lật sang một trạng thái mới. Điều này dường như không phải là một điều kiện nghiêm ngặt; tôi chưa từng nhìn thấy đồng xu nào nhảy vào không khí và đảo mặt chỉ vì có ai đó đã nhìn vào nó. Nhưng trong thế giới tinh tế của Cơ học Lượng tử, không thể nhìn vào cái gì đó mà lại không làm nhiễu động nó.

¹ Các chuyên gia trong số bạn đọc chắc sẽ băn khoăn không biết liệu ta có thực sự can thiệp và làm đảo ngược được một định luật hay không. Trên thực tế, thường là không thể, nhưng đối với một số hệ đơn giản, điều đó không phải là khó khăn lắm. Trong mọi trường hợp, với tư cách là một thí nghiệm tưởng tượng hay một bài tập toán học, thì điều đó là hoàn toàn làm được.

Lấy ví dụ photon, chẳng hạn. Khi chúng ta cho photon chạy ngược lại, liệu nó sẽ xuất hiện trở lại ở vị trí ban đầu, hay sự ngẫu nhiên của Cơ học lượng tử sẽ phá hủy sự bảo toàn thông tin? Câu trả lời thật lạ lùng: tất cả phụ thuộc vào việc chúng ta có nhìn photon đó khi chúng ta can thiệp hay không. Với cụm từ “nhìn photon”, tôi muốn nói ở đây rằng đó là sự kiểm tra xem nó đang ở đâu hay nó đang chuyển động theo hướng nào. Nếu chúng ta thực sự nhìn, thì kết quả cuối cùng (sau khi chạy ngược lại) sẽ là ngẫu nhiên, và sự bảo toàn thông tin sẽ bị phá vỡ. Nhưng nếu chúng ta lờ đi, không đếm xỉa gì đến vị trí của photon – tức là hoàn toàn không làm gì hết để xác định vị trí hay hướng chuyển động của nó – và chỉ đảo ngược quy luật mà thôi, thì, như có phép lạ, photon sẽ trở lại vị trí ban đầu sau một khoảng thời gian cho trước. Nói cách khác, Cơ học lượng tử vẫn tôn trọng sự bảo toàn thông tin, bất chấp khả năng không thể tiên đoán được của nó. Dù Chúa trời có là ác tâm hay không nhưng chắc chắn Ngài là người rất tinh tế.

Cho các quy luật vật lý vận hành ngược lại là hoàn toàn có thể thực hiện được, về mặt toán học. Nhưng liệu có thực sự làm được điều đó không? Tôi rất nghi ngờ rằng có ai đó sẽ làm đảo ngược được, ngoại trừ những hệ đơn giản nhất. Tuy nhiên, dù chúng ta có thể thực hiện được điều đó trong thực tế hay không, thì tính thuận nghịch về mặt toán học của Cơ học lượng tử (mà các nhà vật lý gọi nó là *tính unita*) là rất quan trọng đối với sự nhất quán của nó. Nếu không có nó, logic lượng tử sẽ không còn gắn kết với nhau nữa.

Vậy tại sao Hawking lại nghĩ rằng thông tin sẽ bị phá hủy khi kết hợp lý thuyết lượng tử với hấp dẫn? Những lập luận chung quy rút lại về câu này:

Thông tin rơi vào một lỗ đen sẽ là thông tin bị mất

Nói cách khác, quy luật này không bao giờ có thể đảo ngược được vì không gì có thể quay trở lại từ bên trong chân trời của một lỗ đen.

Nếu Hawking đã đúng thì các quy luật của tự nhiên sẽ có sự gia tăng yếu tố ngẫu nhiên và toàn bộ nền tảng của vật lý học sẽ bị sụp đổ. Nhưng chúng ta sẽ trở lại điều này sau.

Nguyên lý bất định

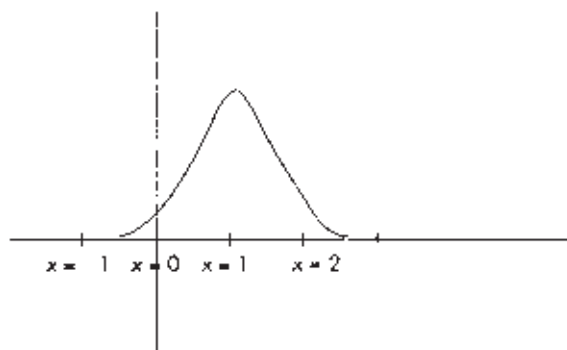
Laplace đã tin rằng ông có thể tiên đoán được tương lai miễn là biết đủ về hiện tại. Thật không may cho tất cả những ai là thầy bói trên thế giới này là người ta lại không thể biết đồng thời cả vị trí lẫn vận tốc của một vật. Khi tôi nói không thể là ý tôi muốn nói rằng không phải là nó rất khó khăn hoặc công nghệ hiện tại chưa đủ khả năng để thực hiện nhiệm vụ này. Không công nghệ nào tuân theo các định luật vật lý *lại có* khả năng đó, cũng như không có một công nghệ tiên tiến hơn nào có thể cho phép chuyển động nhanh hơn ánh sáng. Bất kỳ thí nghiệm nào được thiết lập để đo đồng thời vị trí và vận tốc của một hạt cũng đều sẽ vấp phải Nguyên lý bất định của Heisenberg.

Nguyên lý bất định là vạch ngăn cách lớn phân chia vật lý học thành kỷ nguyên *cổ điển* tiền lượng tử và kỷ nguyên hậu hiện đại của những “sự kỳ quái” lượng tử. Vật lý học cổ điển bao gồm mọi thứ trước Cơ học lượng tử, trong đó có lý thuyết về chuyển động của Newton, lý thuyết về ánh sáng của Maxwell và thuyết tương đối của Einstein. Vật lý học cổ điển là tất định; còn vật lý học lượng tử chứa đầy sự bất định.

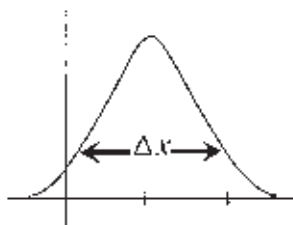
Nguyên lý bất định là một tuyên bố táo bạo và lạ lùng do Werner Heisenberg, lúc đó mới 26 tuổi, đưa ra vào năm 1927, một thời gian ngắn sau khi ông và Erwin Schrödinger khám phá ra bộ máy toán học của Cơ học lượng tử. Ngay cả trong kỷ nguyên nhan nhản những ý tưởng kỳ lạ này thì Nguyên lý bất định vẫn nổi lên như một sự kỳ quặc đặc biệt. Heisenberg không tuyên bố rằng có một giới hạn đối với độ chính xác trong việc đo vị trí của một vật. Tọa độ xác định vị trí của một hạt trong không gian có thể được xác định với độ chính xác tùy ý. Ông cũng không đặt ra giới hạn nào cho độ chính xác của phép đo vận tốc của một vật. Điều mà ông tuyên bố là không có một thí nghiệm nào, dù có được thiết kế tinh xảo hay tài tình thế nào đi nữa, cũng không có thể đo được đồng thời chính xác cả vị trí lẫn vận tốc. Có vẻ như Chúa của Einstein đã đảm bảo chắc chắn rằng không ai có thể biết đủ để tiên đoán được tương lai.

Nguyên lý bất định nói về tất cả những thứ mờ nhòe, nhưng nghịch lý là ở chỗ bản thân nó lại không mờ hồ một chút nào. Bất định là một khái niệm chính xác liên quan đến các phép đo xác suất, đến phép tính tích phân, và nhiều lĩnh vực toán học kỳ lạ khác. Nhưng nói theo một châm ngôn nổi tiếng thì một bức tranh đáng giá bằng cả ngàn phương trình. Vậy ta hãy bắt đầu từ ý tưởng về phân bố xác suất. Giả sử rằng một số lượng lớn các hạt – như một tỉ tỉ hạt, chẳng hạn – được nghiên cứu bằng cách đo vị trí của chúng dọc theo trục hoành, thường gọi là trục x . Hạt đầu tiên được tìm thấy ở vị trí $x = 1,3257$, hạt thứ hai ở $x = 0,9134$ và cứ tiếp tục như vậy. Chúng ta có thể lập một danh sách dài về vị trí của mỗi hạt. Không may là danh sách này sẽ choán đầy khoảng 10 triệu cuốn sách dày như cuốn sách này, và dù vì mục đích gì đi nữa thì chúng ta cũng sẽ không thấy hứng thú với một danh sách dài

dạng đặc như vậy. Sẽ dễ hình dung hơn nếu có một đồ thị thống kê biểu thị tỉ phần các hạt được tìm thấy tại mỗi giá trị của x . Đồ thị đó có thể trông giống như thế này:



Nhìn qua đồ thị ta thấy rằng hầu hết các hạt được tìm thấy ở gần giá trị $x = 1$. Đối với một số mục đích thì điều đó có thể đã là đủ. Song chỉ cần quan sát kỹ đồ thị, chúng ta có thể đánh giá chính xác hơn. Khoảng 90% các hạt nằm giữa $x = 0$ và $x = 2$. Nếu chúng ta phải đánh cược một hạt cụ thể nào đó sẽ được tìm thấy ở đâu thì phỏng đoán tốt nhất sẽ là $x = 1$, nhưng độ bất định – một thước đo toán học cho biết đường cong rộng đến mức nào – sẽ là vào khoảng 2 đơn vị¹. Chữ cái Δ (đọc là đenta) trong tiếng Hy Lạp là ký hiệu toán học chuẩn cho độ bất định. Trong ví dụ này thì Δx biểu thị độ bất định đối với tọa độ x của các hạt.

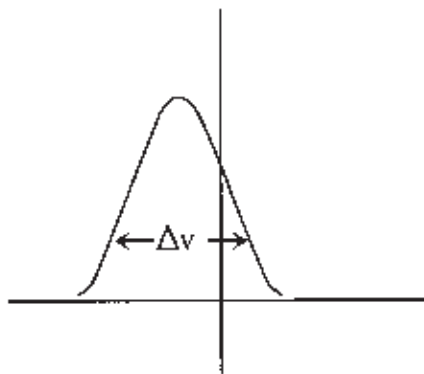


¹ Tất nhiên đường cong hình chuông còn mở rộng ra ngoài hai đầu mũi tên trong đồ thị bên dưới, và như vậy vẫn có khả năng tìm thấy các hạt ở vùng xa bên ngoài. Độ bất định toán học cho ta biết phạm vi của các giá trị *có nhiều khả năng xảy ra*.

Hãy tiến hành một thí nghiệm tưởng tượng khác. Thay vì đo vị trí của các hạt, chúng ta đo vận tốc của chúng, tính là *duang* nếu hạt chuyển động sang phải và là *âm* nếu nó chuyển động sang trái. Lần này, trục hoành biểu thị cho vận tốc v .

Từ đồ thị bạn có thể thấy hầu hết các hạt chuyển động về bên trái, và bạn cũng có thể có được một ý niệm tốt về độ bất định Δv của vận tốc.

Nói một cách nôm na thì Nguyên lý bất định phát biểu rằng bất kỳ cố gắng nào nhằm làm giảm độ bất định về vị trí thì rốt cuộc sẽ lại làm gia tăng độ bất định của vận tốc. Chẳng hạn, chúng ta có thể chủ định lựa chọn những hạt trong phạm vi hẹp của x – giả sử



trong khoảng từ $x = 0,9$ đến $x = 1,1$ – và bỏ qua tất cả phần còn lại. Với nhóm nhỏ các hạt được lựa chọn chính xác hơn này thì độ bất định sẽ chỉ là 0,2, nghĩa là nhỏ hơn 10 lần so với Δx ban đầu. Chúng ta có thể hy vọng rằng với cách làm này có thể đánh bại Nguyên lý bất định, song hóa ra là chẳng ăn thua gì.

Nếu chúng ta lấy cùng nhóm nhỏ các hạt đó và đo vận tốc của chúng, thì chúng ta sẽ thấy vận tốc phân bố tản mát hơn nhiều so với mẫu ban đầu. Bạn có thể tự hỏi tại sao lại như vậy, nhưng tôi e rằng đó chỉ là một trong những thực tế lượng tử khó hiểu, không thể giải thích được bằng cách cổ điển – một trong những điều mà vì chúng Feynman đã nói: “Vậy nên vật lý lý thuyết đã từ bỏ (việc giải thích) nó”.

Mặc dù là không thể hiểu được, nhưng thực tế mọi nỗ lực của chúng ta nhằm làm giảm Δx thì cuối cùng đều gây nên một sự gia tăng Δv – đó là một sự thật thực nghiệm. Tương tự như vậy, mọi nỗ lực làm giảm Δv thì đều làm tăng Δx . Càng trói chặt vị trí của một hạt thì chúng ta càng làm cho vận tốc của nó trở nên bất định hơn và ngược lại.

Đó mới chỉ là một ý tưởng thô sơ, song Heisenberg đã có thể làm cho Nguyên lý bất định của mình trở nên định lượng một cách chính xác hơn. Nguyên lý bất định khẳng định rằng tích số của Δv , Δx và khối lượng m của hạt sẽ luôn lớn hơn hằng số Planck h .

$$m \cdot \Delta v \cdot \Delta x > h$$

Giờ ta hãy xem hệ thức trên có ý nghĩa gì. Giả sử chúng ta chuẩn bị một cách cẩn thận để tạo ra chùm hạt sao cho Δx cực nhỏ. Điều đó buộc Δv phải đủ lớn để sao cho tích số của chúng lớn hơn h . Δx càng nhỏ thì Δv phải càng lớn.

Nhưng tại sao chúng ta lại không nhận thấy Nguyên lý bất định trong cuộc sống hàng ngày? Khi đang lái xe, đã có khi nào bạn cảm thấy sự mờ nhòe về vị trí gia tăng khi bạn quá chú ý đến đồng hồ đo tốc độ không? Hay là thấy đồng hồ tốc độ chạy loạn xạ khi bạn đang kiểm tra bản đồ để biết mình đang ở đâu hay không? Tất nhiên là không rồi. Nhưng tại sao lại không? Xét cho cùng thì Nguyên lý bất định không chừa một ai, nó áp dụng cho mọi thứ, kể cả bạn và chiếc xe hơi của bạn, cũng như các electron. Câu trả lời liên quan đến khối lượng xuất hiện trong công thức ở trên và sự nhỏ bé của hằng số Planck. Với một electron, khối lượng cực kỳ nhỏ bé của nó có xu hướng làm triệt tiêu sự nhỏ bé của h và vì vậy sự kết hợp của các độ bất định Δv và Δx sẽ phải tương đối lớn. Nhưng khối

lượng của một chiếc xe ô tô là lớn so với hằng số Planck. Vì lý do đó mà cả Δv và Δx đều có thể nhỏ tới mức không thể đo được mà vẫn không vi phạm Nguyên lý bất định. Giờ thì bạn có thể hiểu ra rằng tại sao tự nhiên đã không chuẩn bị sẵn sàng bộ não của chúng ta để cảm nhận sự bất định lượng tử. Điều đó là không cần thiết, vì trong cuộc sống hàng ngày, chúng ta không bao giờ bắt gặp vật thể nào đủ nhẹ để Nguyên lý bất định là có ý nghĩa.

Như vậy, Nguyên lý bất định của Heisenberg, một tình huống loại catch-22 tối hậu¹, bảo đảm rằng không ai có thể biết đủ để tiên đoán được tương lai. Chúng ta sẽ gặp lại Nguyên lý bất định trong Chương 15.

Chuyển động điểm zêrô và những thăng giáng lượng tử

Một chiếc bình nhỏ, kích thước cỡ 1 centimét, chứa đầy các nguyên tử – giả sử là nguyên tử heli, một loại khí trơ – và sau đó làm cho nó nóng lên đến nhiệt độ cao. Nhờ có nhiệt, các hạt chuyển động hỗn loạn, liên tục va chạm vào nhau và vào thành bình. Sự bắn phá không ngớt đó tạo nên áp suất trên các thành bình.

Theo các tiêu chuẩn thông thường thì các nguyên tử chuyển động khá nhanh: vận tốc trung bình khoảng 1500 m/s. Tiếp sau đó, khí bị nguội dần. Khi lấy nhiệt đi, năng lượng giảm dần và các nguyên tử chuyển động chậm lại. Cuối cùng, nếu chúng ta tiếp tục lấy nhiệt đi thì khí sẽ lạnh đi đến nhiệt độ thấp nhất có thể là

¹ *Catch-22* là một khái niệm xuất phát từ cuốn tiểu thuyết của Joseph Heller, mang nghĩa một tình huống trong đó một người phải thực hiện hai hành động mà cả hai đều đòi hỏi phải được hoàn thành trước. (ND)

0 độ tuyệt đối (0K). Các nguyên tử, do mất đi năng lượng, sẽ dừng chuyển động và áp suất trên thành bình sẽ biến mất.

Ít nhất thì đó là những gì chúng ta *cho là* sẽ xảy ra. Nhưng lập luận đó hoàn toàn sai khi áp dụng Nguyên lý bất định.

Hãy xem xét điều này: chúng ta biết gì về vị trí của một nguyên tử thuộc khối khí đang xét? Thực sự thì biết rất nhiều: các nguyên tử này đều ở bên trong bình và bình thì chỉ có kích thước 1 centimét. Rõ ràng độ bất định Δx về vị trí nhỏ hơn một centimét. Giả sử tại một thời điểm, tất cả các nguyên tử đều thực sự đứng yên khi toàn bộ nhiệt đã lấy ra hết. Mọi nguyên tử sẽ có vận tốc 0 mà không có độ bất định nào. Nói cách khác, Δv bằng 0. Nhưng điều đó là không thể. Vì nếu đúng là như vậy thì có nghĩa là tích số $m \cdot \Delta v \cdot \Delta x$ cũng sẽ bằng 0, và 0 rõ ràng là nhỏ hơn hằng số Planck. Hay có thể nói, nếu vận tốc mỗi nguyên tử là 0, thì vị trí của chúng sẽ vô cùng bất định. Nhưng không thể như vậy. Vì các nguyên tử vẫn ở trong bình. Do vậy, ngay cả ở 0 độ tuyệt đối, thì các nguyên tử cũng không thể hoàn toàn ngừng chuyển động; chúng vẫn sẽ tiếp tục va đập vào thành bình và gây ra áp suất. Đó là một trong những tính chất kỳ quặc không ngờ của Cơ học lượng tử.

Khi một hệ bị thất thoát năng lượng nhiều nhất có thể (tức là khi có nhiệt độ là 0 độ tuyệt đối), thì các nhà vật lý nói rằng hệ ở *trạng thái cơ bản*. Chuyển động thăng giáng còn dư trong trạng thái cơ bản thường được gọi là *chuyển động điểm zêrô*, song nhà vật lý Brian Greene đã đặt cho nó cái tên bình dân và gọi tả hơn nhiều. Ông gọi đó là “những thăng giáng lượng tử”.

Vị trí của các hạt không phải là thứ thăng giáng duy nhất. Theo Cơ học lượng tử, mọi thứ có thể thăng giáng đều thăng giáng cả. Một ví dụ khác là điện trường và từ trường trong không gian trống rỗng.

Điện trường và từ trường dao động xung quanh chúng ta, choán đầy không gian dưới dạng sóng ánh sáng. Ngay cả trong một phòng tối, trường điện từ cũng dao động dưới dạng sóng hồng ngoại, vi sóng và sóng vô tuyến. Nhưng tình hình sẽ như thế nào nếu ta làm tối căn phòng đến mức tối đa mà khoa học cho phép, tức là bằng cách loại bỏ tất cả các photon? Khi đó điện trường và từ trường vẫn tạo ra những thăng giáng lượng tử. Như vậy, không gian “trống rỗng” vẫn là một môi trường dao động và thăng giáng dữ dội mà không bao giờ yên tĩnh cả.

Trước khi biết về Cơ học lượng tử, người ta đã biết về “những thăng giáng nhiệt”, cái làm cho mọi thứ thăng giáng. Chẳng hạn, làm nóng một chất khí sẽ khiến cho chuyển động ngẫu nhiên của các phân tử tăng lên. Ngay cả khi không gian trống rỗng được làm nóng thì nó cũng chứa đầy điện trường và từ trường thăng giáng. Điều này không liên quan gì đến Cơ học lượng tử cả và đã được biết đến từ thế kỷ 19.

Sự thăng giáng lượng tử và thăng giáng nhiệt giống nhau ở một số khía cạnh nhưng ở những khía cạnh khác thì không. Sự thăng giáng nhiệt thì rất dễ nhận thấy. Thăng giáng nhiệt của các phân tử và của điện và từ trường sẽ kích thích vào các đầu dây thần kinh của bạn và khiến bạn cảm thấy ấm áp hơn. Chúng cũng có thể rất có hại. Chẳng hạn, năng lượng thăng giáng nhiệt của trường điện từ có thể được truyền cho các electron trong nguyên tử. Nếu nhiệt độ đủ cao thì các electron có thể bị văng ra khỏi nguyên tử. Cùng năng lượng đó có thể đốt cháy hoặc thậm chí làm cho bạn bốc hơi. Trái lại, mặc dù sự thăng giáng lượng tử có thể mạnh mẽ lạ thường, song chúng không hề gây đau đớn cho bạn. Chúng không kích thích các đầu dây thần kinh của bạn hay phá hủy các nguyên

tử. Tại sao? Để ion hóa một nguyên tử (đánh bật các electron ra khỏi nguyên tử) hay kích thích các đầu dây thần kinh của bạn thì cần phải có năng lượng. Nhưng không có cách nào để mượn năng lượng từ trạng thái cơ bản cả. Sự thăng giáng lượng tử là những gì còn lại khi một hệ thống có năng lượng vô cùng bé. Mặc dù mạnh mẽ khác thường, song những thăng giáng lượng tử không có tác dụng phá hoại nào như những thăng giáng nhiệt vì năng lượng của chúng là “không khả dụng”.

Ma thuật đèn

Đối với tôi thì điều kỳ quặc nhất của ma thuật trong Cơ học lượng tử là *sự giao thoa*. Hãy trở lại thí nghiệm hai khe mà tôi đã mô tả ở đầu chương này. Nó có ba yếu tố: một nguồn sáng, một tấm chắn phẳng với hai khe, và một màn huỳnh quang sẽ lóe sáng khi có photon chạm vào nó.

Hãy bắt đầu thí nghiệm này bằng cách bịt khe bên trái. Kết quả là một đốm sáng không có nét gì đặc biệt trên màn hình. Nếu chúng ta giảm cường độ sáng xuống, chúng ta nhận thấy đốm sáng thực sự là một tập hợp các điểm sáng ngẫu nhiên tạo bởi từng photon đơn lẻ. Các điểm sáng này là không dự đoán trước được, song khi có đủ thì một hình mẫu đốm sáng sẽ hiện ra.

Nếu chúng ta mở khe bên trái và bịt khe bên phải thì hình mẫu chung trên màn hình hầu như không thay đổi, ngoại trừ hơi bị dịch một chút sang bên trái.





Điều ngạc nhiên xuất hiện khi chúng ta mở cả hai khe. Thay vì chỉ thêm các photon từ khe bên trái vào các photon ở khe bên phải, và tạo nên một đốm sáng mạnh hơn nhưng vẫn sẽ chẳng có hình thù gì đặc biệt, thì hành động mở cả hai khe của chúng ta lại tạo nên một hình mẫu mới gồm các vạch sọc như ngựa vằn vậy.

Một điều rất kỳ lạ về hình mẫu mới này là có các sọc tối nơi mà không có photon nào chạm tới, *mặc dù chính ở khu vực đó đã từng có các điểm sáng khi chỉ một khe được mở ra*. Xét điểm được đánh dấu X ở trung tâm của sọc tối. Các photon dễ dàng đi qua một trong hai khe đến đập vào X, khi chỉ có một khe được mở. Bạn chắc sẽ cho rằng khi cả hai khe đều mở thì sẽ có nhiều photon tới đập vào X hơn. Nhưng khi mở cả hai khe lại có hiệu ứng ngược lại là chặn dòng photon đến X. Vậy tại sao mở hai khe cùng một lúc thì lại làm giảm khả năng photon đến vị trí X?

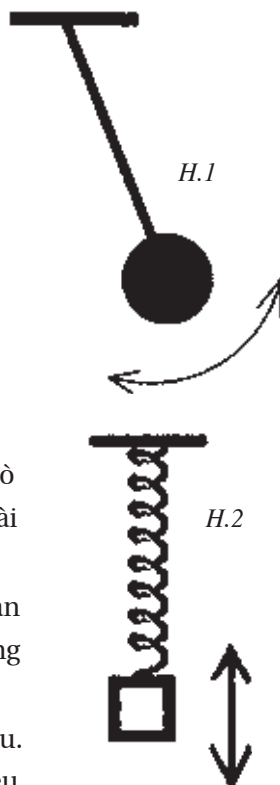
Hãy tưởng tượng một nhóm các tù nhân say rượu loạn choạng đi lại trong ngục có hai cửa mở ra bên ngoài. Cai ngục rất thận trọng không bao giờ để một cửa mở vì một số tù nhân vì say có thể vô tình sẽ tìm thấy đường ra. Nhưng ông ta lại không hề e ngại khi để cả hai cửa đều mở. Một sự kỳ diệu bí ẩn nào đó đã ngăn không cho những người say thoát ra khi cả hai cửa đều mở. Tất nhiên, điều đó không xảy ra với các tù nhân thực, song đó lại là một trong những điều mà Cơ học lượng tử đôi khi dự đoán được, không chỉ với các photon mà với tất cả các hạt.

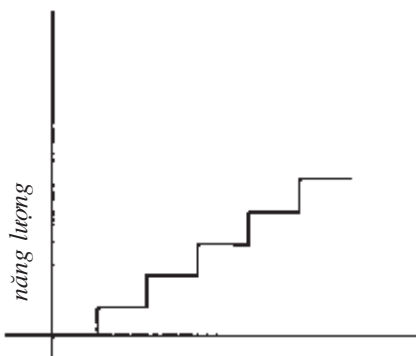
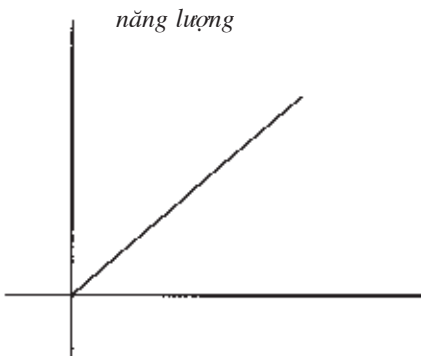
Hiệu ứng này dường như là bí ẩn khi ánh sáng được coi là các hạt, song nó lại là bình thường với các sóng. Hai sóng, được phát ra từ hai khe, có thể tăng cường lẫn nhau ở một số điểm nhưng lại triệt tiêu nhau ở các điểm khác. Trong thuyết sóng ánh sáng, các vân tối chính là sự triệt tiêu, hay còn được gọi là *giao thoa hủy nhau*. Vấn đề duy nhất ở đây là đôi khi ánh sáng lại thực sự trình hiện như là các hạt.

Lượng tử trong Cơ học lượng tử

Một sóng điện từ là một ví dụ về sự dao động. Điện trường và từ trường tại mọi điểm trong không gian dao động với tần số phụ thuộc vào màu sắc của bức xạ. Có nhiều dạng dao động khác trong tự nhiên. Dưới đây là một vài ví dụ thường gặp:

- ♦ Con lắc đồng hồ. Con lắc đu đưa qua lại, với một dao động trọn vẹn sẽ mất khoảng một giây. Tần số của một con lắc như vậy là 1Hz. (H.1)
- ♦ Một quả cân treo trên trần nhà bằng một lò xo. Nếu lò xo rất cứng thì tần số có thể là vài Hz. (H.2)
- ♦ Một âm thoa dao động hay một dây đàn violông. Mỗi loại đều có thể đạt tần số khoảng vài trăm Hz.
- ♦ Dòng điện trong một mạch điện xoay chiều. Nó có thể dao động với tần số cao hơn nhiều.





Sẽ chẳng có gì ngạc nhiên khi các hệ dao động được gọi là *các dao động tử*. Tất cả các dao động tử đều có năng lượng, ít nhất là nếu chúng đang dao động, và trong vật lý học cổ điển, năng lượng đó có thể nhận bất kỳ giá trị nào. Ý tôi muốn nói là bạn có thể biến đổi năng lượng liên tục hay dần dần, nếu bạn muốn, đến bất kỳ giá trị nào. Một đồ thị biểu thị năng lượng tăng lên như thế nào khi bạn biến đổi nó nhìn sẽ giống như hình bên.

Nhưng trong Cơ học lượng tử, hóa ra năng lượng lại thay đổi từng bước nhỏ và không thể

phân chia được. Khi bạn cố gắng tăng dần năng lượng của một dao động tử, kết quả bạn sẽ nhận được một đường bậc thang thay vì một đường dốc trơn. Năng lượng chỉ có thể tăng theo các bội số của một đơn vị được gọi là *lượng tử năng lượng*.

Vậy giá trị của đơn vị lượng tử là bao nhiêu? Điều đó tùy thuộc vào tần số của dao động. Quy luật ở đây cũng giống hệt như Planck và Einstein đã khám phá đối với lượng tử ánh sáng: lượng tử năng lượng E , bằng tần số f của dao động tử nhân với hằng số Planck h :

$$E = hf$$

Đối với các dao động tử thông thường như con lắc, tần số là không lớn, và độ cao của bậc thang (lượng tử năng lượng) là vô

cùng nhỏ. Trong trường hợp đó thì đồ thị bậc thang được tạo bởi các bậc nhỏ tới mức trông như một đường dốc trơn tru. Chính vì vậy mà bạn không nhận ra sự *lượng tử hóa năng lượng* trong cuộc sống thường nhật. Nhưng sóng điện từ có thể có tần số rất lớn, trong trường hợp đó thì bậc thang có thể là rất cao. Thực tế thì như bạn có thể ước đoán, việc tăng năng lượng của một sóng điện từ lên một bậc thang chính là thêm một photon vào một chùm sáng.

Đối với một bộ não với nhận thức cổ điển, thì thực tế trong đó năng lượng có thể được thêm vào theo những lượng tử không thể phân chia được có vẻ như là phi logic, nhưng đó chính là điều mà Cơ học lượng tử ngụ ý.

Lý thuyết trường lượng tử

Hình dung của Laplace ở thế kỷ 18 về thế giới quả là đơn điệu: các hạt, không gì ngoài các hạt, chuyển động theo những quỹ đạo không thể thay đổi, được quyết định bởi các phương trình đầy tính chuyên chế của Newton. Tôi mong muốn là mình đã có thể tuyên bố rằng vật lý ngày nay mang lại những hình ảnh ấm áp hơn, mờ nhòe hơn về thực tại, nhưng lại e ngại rằng không phải như vậy. Vẫn chỉ là các hạt, nhưng với sự phát triển hiện đại hơn mà thôi. Quy luật sắt về tính tất định đã phải nhường chỗ cho những quy luật đầy phóng túng của tính ngẫu nhiên lượng tử.

Khuôn khổ toán học mới thay thế cho các định luật về chuyển động của Newton được gọi là Lý thuyết trường lượng tử. Theo lý thuyết này thì toàn bộ thế giới tự nhiên bao gồm các hạt cơ bản chuyển động từ điểm này đến điểm khác, va chạm với nhau, phân rã và tái hợp. Đó là một hệ thống lớn các đường vũ trụ kết nối các

biến cố (các điểm không-thời gian). Toán học của cái mạng nhện khổng lồ của các đường và điểm này không dễ dàng giải thích được bằng ngôn ngữ thông thường, song những điểm cốt yếu của nó thì cũng không mấy khó hiểu.



Trong vật lý học cổ điển, các hạt chuyển động từ một điểm trong không-thời gian đến một điểm khác dọc theo những quỹ đạo xác định. Cơ học lượng tử đưa vào sự bất định trong chuyển động của chúng. Tuy nhiên, chúng ta vẫn có thể cho rằng các hạt chuyển động giữa các điểm không-thời gian, nhưng theo những quỹ đạo bất định. Những quỹ đạo mờ nhòe này được gọi là các *hàm truyền* (*propagator*). Chúng ta thường biểu thị mỗi hàm truyền như là một đường nối giữa các biến cố trong không-thời gian, song đó chỉ là vì chúng ta không có cách nào để vẽ sự chuyển động bất định của các hạt lượng tử thực.

Tiếp sau là những tương tác, chúng cho chúng ta biết các hạt sẽ xử sự như thế nào khi chúng gặp nhau. Quá trình tương tác cơ bản được gọi là một *đỉnh*. Một đỉnh giống như ngã ba đường; một hạt di chuyển dọc theo đường vũ trụ của nó cho đến khi nó đến ngã ba, song sau đó, thay vì lựa chọn một trong hai ngã, hạt tách đôi thành hai hạt, mỗi hạt đi theo một nhánh. Ví dụ thông dụng nhất của một đỉnh là sự phát xạ một photon bởi một hạt tích điện. Một electron đơn lẻ, một cách tự phát, không hề báo trước, đột ngột phân thành một electron và một photon¹. (Đường vũ trụ của

¹ Một cách trực giác, chúng ta hình dung rằng khi một thứ gì đó phân ra làm hai, thì mỗi phần sẽ nhỏ hơn so với vật ban đầu. Đây là một ý tưởng xuất phát từ kinh nghiệm hàng ngày. Sự phân rã một electron thành một electron khác và một photon cho thấy trực giác có thể dẫn ta đến sai lầm như thế nào.

photon, theo truyền thống được biểu diễn bằng một đường lượn sóng hay một đường đứt nét).

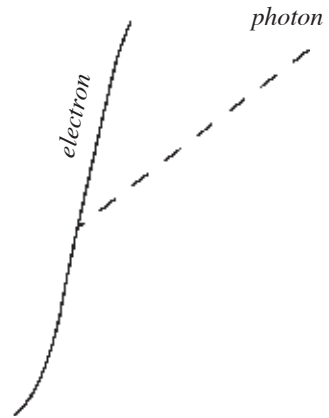
Đây là quá trình cơ bản tạo ra ánh sáng: các electron thắng giáng phát ra các photon.

Còn có nhiều các loại đỉnh khác liên quan đến các hạt khác nữa. Cũng có các hạt gọi là *gluon*, được tìm thấy trong hạt nhân nguyên tử. Một hạt gluon có khả năng tách ra thành hai gluon.

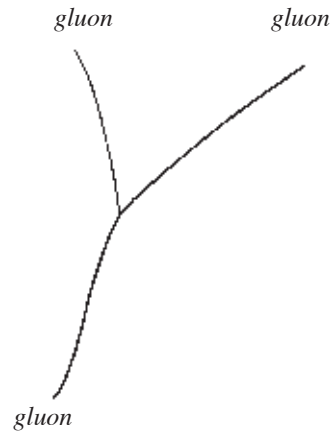
Bất kỳ điều gì có thể xảy ra theo hướng về tương lai cũng có thể xảy ra theo chiều ngược lại. Điều đó có nghĩa là các hạt có thể đi đến gần nhau và hợp nhất với nhau. Chẳng hạn, hai gluon có thể lại gần nhau và nhập lại thành một gluon.

Richard Feynman đã dạy chúng ta cách làm thế nào để kết hợp các hàm truyền và các đỉnh để tạo nên các quá trình phức tạp hơn. Chẳng hạn, có một giản đồ Feynman biểu diễn một photon đi từ electron này đến electron khác, và bằng cách đó mô tả các electron va chạm và tán xạ như thế nào.

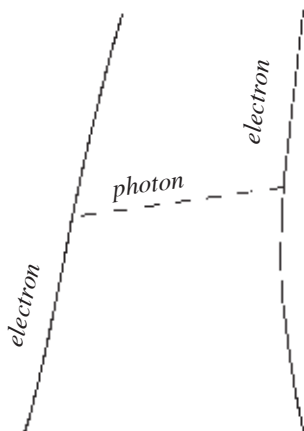
Một giản đồ khác cho thấy các gluon tạo nên một loại vật liệu phức tạp, kết dính, và có dạng sợi có tác dụng gắn kết các hạt quark với nhau trong hạt nhân.



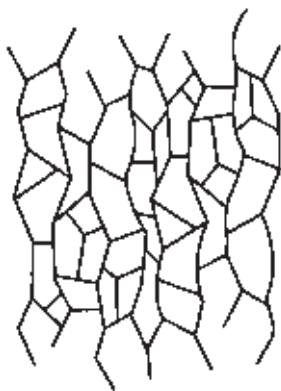
Đỉnh phát xạ photon



Đỉnh gluon



Cơ học Newton tìm kiếm câu trả lời cho câu hỏi đã có từ lâu đời về việc tiên đoán tương lai với điểm xuất phát ban đầu đã cho, bao gồm vị trí và vận tốc của một tập hợp các hạt. Lý thuyết trường lượng tử đặt ra một câu hỏi hoàn toàn khác: với một tập hợp ban đầu đã cho của các hạt di chuyển theo một cách nào đó, thì xác suất của các kết cục khác nhau sẽ là bao nhiêu?



Nhưng nói một cách đơn giản rằng tự nhiên chỉ là xác suất (thay vì tất định) thì là chưa đầy đủ. Laplace, mặc dù không thích

ý tưởng này, nhưng chắc cũng đã hiểu một thế giới với một chút ngẫu nhiên. Ông có thể đã lập luận như thế này: hành vi của các hạt không phải là tất định, thay vì có một xác suất dương¹ cho mỗi con đường riêng biệt dẫn từ quá khứ (hai electron) đến tương lai (hai electron cộng với một photon). Sau đó, theo các quy tắc thông thường của lý thuyết xác suất, Laplace sẽ cộng tất cả các xác suất khác nhau lại để nhận được xác suất tổng cộng cuối cùng. Sự suy luận như vậy là hoàn toàn hợp lý với bộ óc theo những hình mẫu cổ điển của Laplace, song đó không phải cách mà mọi thứ thực sự vận hành. Toa thuốc đúng lại thật kỳ lạ: không nên cố hiểu nó một cách thấu đáo, mà chỉ nên chấp nhận nó.

Quy tắc đúng là một trong những hệ quả của thứ “logic lượng tử” mới mẻ và kỳ lạ được nhà vật lý vĩ đại người Anh Paul Dirac phát minh ngay sau những công trình của Heisenberg và Schrôdinger. Đi theo sự dẫn dắt của Dirac, Feynman đã đưa ra quy tắc toán học cho phép tính được *biên độ xác suất* cho mỗi giản đồ Feynman. Hơn nữa, khi bạn cộng các biên độ xác suất cho tất cả các giản đồ Feynman, nhưng lại không nhận được xác suất cuối cùng. Thực tế, biên độ xác suất không nhất thiết phải là số dương. Chúng có thể dương, có thể âm hoặc thậm chí là một số phức².

Nhưng biên độ xác suất không phải là xác suất. Để nhận được xác suất tổng – chẳng hạn, để hai electron trở thành hai electron cộng với một photon – trước tiên bạn cần lấy tổng các biên độ xác suất của

¹ Theo lý thuyết xác suất thông thường, các xác suất luôn là số dương. Thật khó mà hình dung một xác suất âm nghĩa là như thế nào. Hãy thử tìm hiểu câu nói sau đây: “Nếu tôi tung đồng xu, xác suất xuất hiện mặt ngửa là âm 1/3”. Điều đó rõ ràng là vô nghĩa.

² Một số phức là số có chứa số ảo i , một ký hiệu toán học trừu tượng biểu thị căn bậc hai của -1.

tất cả các giản đồ Feynman. Sau đó, theo logic lượng tử trừu tượng của Dirac, bạn lấy kết quả thu được và *bình phương nó lên!* Kết quả luôn luôn là một số dương, và đó là xác suất của một kết cục cụ thể.

Đó là quy tắc lạ thường nằm ở ngay trung tâm của sự kỳ quái lượng tử. Laplace chắc sẽ cho rằng điều đó là vô lý, và ngay cả Einstein cũng không nghĩ rằng nó có ý nghĩa. Song Lý thuyết trường lượng tử đã giải thích được mọi thứ mà chúng ta đã biết về các hạt cơ bản với một sự chính xác đến kinh ngạc, kể cả cách thức mà chúng kết hợp với nhau để tạo nên hạt nhân, nguyên tử và phân tử. Như tôi đã nói ở phần giới thiệu, các nhà vật lý lượng tử đã phải tự thay đổi những hình mẫu nhận thức của chính họ theo các quy tắc logic mới mẻ này¹.

Trước khi khép lại chương này, tôi muốn quay trở lại điều đã làm Einstein vô cùng bối rối. Tôi không biết chắc chắn lắm, song tôi ngờ rằng nó liên quan đến bản chất vô nghĩa tối hậu của các phát biểu có tính xác suất. Tôi luôn cảm thấy hoang mang bởi những gì chúng ta thực sự nói về thế giới. Tôi có thể nói rằng chúng không nói bất kỳ thứ gì một cách xác định cả. Tôi đã từng viết một truyện rất ngắn dưới đây, ban đầu được đưa vào cuốn sách *Điều mà chúng ta tin nhưng không chứng minh được* của John Brockman, vì nó có thể minh họa cho vấn đề này. “Đối thoại với một sinh viên chậm hiểu” là câu chuyện về một cuộc thảo luận giữa một giáo sư vật lý và một sinh viên chưa hiểu vấn đề. Khi tôi viết câu chuyện này, tôi tự xem mình là một sinh viên, chứ không phải là một giáo sư.

¹ Tôi không thực sự kỳ vọng người đọc không có chuyên môn có thể hiểu được toàn bộ quy tắc hay thậm chí tại sao nó lại lạ lùng như vậy. Tuy nhiên, tôi hy vọng nó sẽ mang lại một chút hứng thú nào đó về cách vận hành của các quy tắc của Cơ học lượng tử.

Sinh viên: Chào thầy ạ. Em có một vấn đề. Em đã quyết định làm một thí nghiệm nhỏ về xác suất – như thầy biết đấy, là tung đồng xu ấy mà – và kiểm tra lại một số điều mà thầy đã từng giảng cho chúng em. Nhưng nó không thành công.

*Giáo sư:*Ồ, tôi rất vui là em đã quan tâm. Vậy em đã làm gì nào?

Sinh viên: Em đã tung đồng xu này 1000 lần. Thầy nhớ không, thầy đã giảng là xác suất để xuất hiện mặt ngửa là $1/2$. Em hiểu rằng như vậy có nghĩa là nếu tung 1000 lần thì em sẽ được 500 lần xuất hiện mặt ngửa. Nhưng thực tế không phải vậy. Em nhận được 513 lần. Liệu có gì sai sót ở đây chăng?

*Giáo sư:*À, nhưng em đã quên mất giới hạn sai số rồi. Nếu em tung một số lần nhất định thì giới hạn sai số là cỡ căn bậc hai của số lần tung. Ở đây, tung 1000 lần thì giới hạn sai số sẽ là khoảng 30. Vậy số lần nhận được mặt ngửa của em là đã nằm trong phạm vi sai số.

*Sinh viên:*À, giờ thì em đã hiểu rồi. Cứ tung 1000 lần, em sẽ luôn nhận được số mặt ngửa nằm trong khoảng giữa 470 và 530, có phải vậy không ạ.Ồ, giờ thì em đã biết rồi.

Giáo sư: Không, không! Tôi chỉ muốn nói *nhiều phần chắc* là em sẽ nhận được con số nằm giữa 470 và 530 mà thôi.

Sinh viên: Ý thầy là em vẫn có thể nhận được 200 lần mặt ngửa? Hay 850 lần? Hay thậm chí tất cả đều ngửa?

Giáo sư: Chắc hẳn là không.

Sinh viên: Có thể vấn đề là em chưa tung đủ số lần. Hay em về nhà và thử tung 1.000.000 lần hả thầy? Liệu nó có thành công hơn không?

Giáo sư: Chắc là có.

*Sinh viên:*Ồ, thôi nào thầy. Hãy nói điều gì đó mà em có thể tin tưởng đi. Nãy giờ thầy toàn nói *chắc* là với *nhiều phần chắc* là

thôi. Nói cho em biết xác suất là gì mà không phải sử dụng từ chắc là nữa đi thầy.

Giáo sư: Hừm, thôi được, thế này vậy: Điều đó có nghĩa là tôi sẽ rất ngạc nhiên nếu đáp số nằm ở ngoài giới hạn đó.

Sinh viên: Chúa ơi! Ý thầy là mọi điều thầy giảng cho chúng em về Cơ học thống kê, về Cơ học lượng tử và xác suất toán học: tất cả đều có nghĩa là cá nhân thầy sẽ ngạc nhiên nếu nó không đúng ạ?

Giáo sư: À, ừ...

Nếu tôi tung đồng xu một triệu lần, tôi chắc chắn tin rằng tôi sẽ không nhận được tất cả đều là mặt ngửa. Tôi không phải là một người ưa cá độ, song tôi tin chắc đến mức tôi có thể đánh cược bằng cả mạng sống hay linh hồn của mình. Tôi thậm chí có thể đi đến cùng và đánh cược bằng lương cả một năm của tôi. Tôi hoàn toàn chắc chắn rằng quy luật các số lớn – tức lý thuyết xác suất – sẽ phát huy tác dụng và bảo vệ tôi. Tất cả các khoa học đều dựa trên cơ sở đó. Nhưng, tôi không thể chứng minh được điều ấy và tôi thực sự không hiểu tại sao nó lại hiệu quả đến như thế. Đó có thể chính là lý do vì sao Einstein đã nói, “Chúa không chơi trò xúc xắc”. Rất có thể là như vậy đấy.

Thi thoảng, chúng ta lại nghe các nhà vật lý tuyên bố rằng Einstein không hiểu Cơ học lượng tử và vì vậy ông đã bỏ phí thời gian của mình cho những lý thuyết cổ điển ngây thơ. Tôi rất nghi ngờ tính chân thực của điều đó. Những lập luận của ông chống lại Cơ học lượng tử là vô cùng tinh tế, và đạt đến cực điểm ở một trong những bài báo sâu sắc và được trích dẫn nhiều nhất trong vật lý học¹.

¹ A. Einstein, B. Podolsky, và N. Rosen. “Liệu sự mô tả thực tại vật lý bằng cơ học lượng tử có thể được xem là đầy đủ hay không?” *Physical Review* 47 (1935) trang 777-80

Tôi đoán rằng Einstein cũng bị dẫn vật bởi cùng một vấn đề đã khiến các sinh viên chậm hiểu phải bối rối. Làm sao mà một lý thuyết tối hậu về thực tại lại không thể nói được gì chính xác hơn là độ ngạc nhiên của chính chúng ta về kết cục của một thí nghiệm?

Tôi đã trình bày với các bạn một vài điều nghịch lý, hầu hết đều phi logic, về Cơ học lượng tử buộc chúng ta phải thay đổi hình mẫu nhận thức cổ điển trong bộ não của mình. Nhưng tôi ngờ rằng bạn vẫn chưa hoàn toàn hài lòng. Thực sự thì tôi cũng hy vọng là bạn chưa. Nếu bạn vẫn còn mơ hồ thì cũng không sao. Phương thuốc thực sự duy nhất là một liều toán học giải tích và chìm đắm trong một cuốn sách giáo khoa tốt về Cơ học lượng tử trong một vài tháng. Chỉ có một sự đột biến rất khác thường hoặc một người xuất thân từ một gia đình cực kỳ đặc biệt mới có thể thay đổi nhận thức một cách tự nhiên để hiểu được Cơ học lượng tử. Hãy nhớ rằng, xét cho cùng, thì ngay cả Einstein cũng không thể thấu hiểu (*grok*) được nó.

PLANCK ĐÃ PHÁT MINH RA CÁI THUỐC CÒN TỐT HƠN

MỘT NGÀY NỌ tại một quán ăn tự phục vụ ở Stanford, tôi nhận ra một số sinh viên trong lớp “vật lý cho sinh viên y dự bị” đang ngồi học thuộc lòng một cái bảng. “Các cậu đang xem cái gì vậy?” Tôi hỏi. Câu trả lời khiến tôi thật ngạc nhiên. Họ đang học thuộc một bảng các hằng số, đủ đến số thập phân cuối cùng, được liệt kê trên bìa của một cuốn sách giáo khoa. Bảng này gồm các hằng số dưới đây, ngoài ra còn có khoảng 20 hằng số khác nữa:

- ♦ h (hằng số Planck) = $6,626068 \cdot 10^{-34} \text{ m}^2\text{kg/s}$
- ♦ Số Avogadro = $6,0221415 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- ♦ Điện tích của electron = $1,60217646 \cdot 10^{-19} \text{ culông}$
- ♦ c (tốc độ ánh sáng) = $299.792.458 \text{ m/s}$
- ♦ Đường kính của proton = $1,724 \cdot 10^{-15} \text{ m}$
- ♦ G (hằng số hấp dẫn) = $6,6742 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3\text{s}^{-2}\text{kg}^{-1}$

Các sinh viên y dự bị được luyện tập để ghi nhớ một khối lượng lớn tư liệu ở các môn khoa học khác nữa. Họ là những sinh viên vật lý giỏi, song họ học vật lý theo cách chẳng khác gì học môn sinh lý học. Sự thật là vật lý học đòi hỏi việc ghi nhớ rất ít. Tôi không tin là có rất nhiều nhà vật lý có thể nói cho bạn biết nhiều hơn thứ tự về cỡ độ lớn của các hằng số này.

Điều đó gọi lên một câu hỏi thú vị: tại sao các hằng số của tự nhiên lại là các con số kỳ quặc như vậy? Tại sao chúng không thể là các con số đơn giản hơn, chẳng hạn như 2 hoặc 5 hay thậm chí là 1? Tại sao chúng lại luôn là quá nhỏ (như hằng số Planck, điện tích của electron) hoặc quá lớn (như số Avogadro, tốc độ ánh sáng)? Câu trả lời rất ít liên quan đến vật lý nhưng lại liên quan rất nhiều đến sinh học. Hãy thử xét số Avogadro. Nó biểu thị số các phân tử trong một lượng khí nhất định. Bao nhiêu khí? Câu trả lời là một lượng khí mà các nhà hóa học đầu thế kỷ 19 đã dễ dàng làm thí nghiệm với nó; nói cách khác, một lượng khí có thể được chứa trong một cái cốc ở phòng thí nghiệm hay các bình chứa khác không lớn hơn kích thước của con người. Trị số thực của số Avogadro liên quan đến số các phân tử trong một con người hơn là đến bất kỳ nguyên lý sâu xa nào của vật lý học¹.

Một ví dụ khác là đường kính của proton – tại sao nó lại nhỏ như vậy? Một lần nữa, chìa khóa lại chính là sinh lý học của con người. Trị số cho trong bảng là theo đơn vị mét, nhưng mét là gì? Một mét là một phiên bản của đơn vị *yard* trong hệ thống đo lường của Anh quốc, có thể coi nó như khoảng cách từ mũi một người đến đầu ngón tay duỗi thẳng của anh ta. Hoàn toàn chắc chắn nó là một đơn vị hữu dụng để đo quần áo hay sợi dây. Bài học rút ra từ sự nhỏ bé của các proton chỉ là phải mất nhiều proton để tạo nên cánh tay của một con người. Trên quan điểm của vật lý học cơ bản, thì con số đó chẳng có gì là đặc biệt cả.

¹ Vậy tại sao con người lại có nhiều phân tử đến vậy? Một lần nữa, nó lại liên quan với bản chất của sự sống có trí tuệ, chứ không phải với vật lý học cơ bản. Nó cần nhiều phân tử để tạo nên một bộ máy đủ phức tạp để có thể tư duy và biết đặt ra các câu hỏi về hóa học.

Vậy tại sao chúng ta không thay đổi các đơn vị để làm cho các con số dễ nhớ hơn? Thực sự thì chúng ta thường làm như thế. Chẳng hạn, trong thiên văn học, năm-ánh sáng được sử dụng để đo độ dài. (Tôi rất ghét khi nghe ai đó sử dụng sai năm-ánh sáng làm đơn vị đo thời gian, kiểu như “Này, để phải đến hàng năm-ánh sáng tôi mới thấy anh đấy”). Tốc độ ánh sáng không quá lớn khi biểu thị theo đơn vị năm-ánh sáng trên giây. Trong thực tế thì nó còn rất nhỏ nữa là khác, chỉ cỡ $3 \cdot 10^{-8}$. Nhưng sẽ là thế nào nếu chúng ta cũng đổi đơn vị đo thời gian từ giây sang năm? Vì ánh sáng phải mất đúng 1 năm để đi hết một năm-ánh sáng, nên tốc độ ánh sáng sẽ là một năm-ánh sáng trên một năm.

Tốc độ ánh sáng là một trong những đại lượng cơ bản nhất trong vật lý học, vì vậy thật dễ hiểu khi sử dụng hệ đơn vị mà trong đó c bằng 1 đơn vị. Nhưng những đại lượng như bán kính của proton lại không cơ bản lắm. Các proton là những hạt phức tạp, chúng được tạo bởi các hạt quark và các hạt khác, vì vậy chẳng có lý do gì phải cho chúng một vị trí danh dự cả. Sẽ là có ý nghĩa hơn, nếu chọn các hằng số chi phối những định luật sâu xa và phổ quát nhất của vật lý học. Không có gì phải bàn cãi, đó là các định luật:

- ♦ Vận tốc lớn nhất của *mọi* vật trong vũ trụ chính là vận tốc c của ánh sáng. Giới hạn vận tốc này không chỉ là một định luật về ánh sáng mà còn về *mọi thứ* trong tự nhiên.
- ♦ *Mọi* vật trong vũ trụ đều hút nhau bởi một lực bằng tích số khối lượng của chúng với hằng số hấp dẫn G . *Mọi* vật có nghĩa là *tất cả*, không có ngoại lệ.
- ♦ Với *mọi* vật trong vũ trụ, tích của khối lượng với độ bất định về vị trí và vận tốc không bao giờ nhỏ hơn hằng số Planck h .

Những chữ in nghiêng là nhằm nhấn mạnh đặc tính phổ quát tất cả của các định luật này. Chúng áp dụng cho *mọi* và *tất cả* mọi thứ. Ba định luật này của tự nhiên thực sự đáng được coi là phổ quát, hơn rất nhiều so với các định luật của vật lý hạt nhân hay các tính chất của bất kỳ hạt cụ thể nào như proton. Có vẻ như là tầm thường, nhưng một trong những sự thấu hiểu sâu sắc nhất về cấu trúc của tự nhiên đã xuất hiện vào năm 1900 khi Max Planck nhận thấy rằng các đơn vị đặc biệt để đo chiều dài, khối lượng và thời gian có thể được chọn để tạo nên ba hằng số cơ bản – c , G và h – tất cả đều bằng một đơn vị.

Thước đo cơ bản là đơn vị chiều dài Planck. Chiều dài Planck nhỏ hơn rất nhiều so với mét hoặc thậm chí so với đường kính của một proton. Thực tế, nó nhỏ hơn một proton khoảng 100 tỉ tỉ lần (tính theo mét thì nó cỡ 10^{-35}). Ngay cả nếu proton được phóng to bằng kích thước của một hệ mặt trời thì chiều dài Planck cũng không lớn hơn một con virút. Nhờ có lòng tin bất tận của mình mà Planck đã nhận ra rằng những kích thước bé đến mức không thể đạt được như vậy lại đóng một vai trò cơ bản trong mọi lý thuyết tối hậu về thế giới vật lý. Ông không biết vai trò đó là gì, song có lẽ ông đã đoán ra rằng những viên gạch nhỏ nhất của vật chất phải ở “kích thước Planck”.

Đơn vị thời gian mà Planck cần để làm cho c , G và h trở nên bằng đơn vị cũng nhỏ không thể tưởng tượng nổi – cụ thể là 10^{-42} giây, đó chính là thời gian mà ánh sáng cần để đi hết một chiều dài Planck.

Cuối cùng là đơn vị khối lượng của Planck. Với chiều dài và thời gian Planck nhỏ đến mức không thể tin được như vậy (nếu tính theo các đơn vị thông thường liên quan đến sinh học), thì sẽ là tự nhiên khi cho rằng đơn vị khối lượng Planck cũng sẽ nhỏ hơn

nhiều so với khối lượng của bất kỳ vật thông thường nào. Nhưng bạn đã nhầm. Hóa ra đơn vị khối lượng cơ bản nhất trong vật lý học lại không quá nhỏ ở thang sinh học: nó xấp xỉ khối lượng của khoảng mười triệu con vi khuẩn, tương đương với khối lượng của những vật nhỏ nhất có thể nhìn thấy bằng mắt thường – như một hạt bụi chẳng hạn.

Các đơn vị này – chiều dài, thời gian và khối lượng Planck – có ý nghĩa rất đặc biệt: chúng là kích thước, là nửa thời gian sống và là khối lượng của một lỗ đen nhỏ nhất khả dĩ. Chúng ta sẽ trở lại vấn đề này ở các chương sau.

$$E = mc^2$$

Lấy một cái bình, đổ đầy những viên nước đá hình lập phương, rồi gắn kín bình lại và cân nó bằng một cái cân nhà bếp. Sau đó đặt chiếc bình lên bếp để làm tan đá, và biến nó thành nước nóng. Rồi cân lại lần nữa. Nếu bạn làm thận trọng, đảm bảo chắc chắn không có gì xâm nhập vào hoặc thoát ra khỏi bình thì khối lượng cuối cùng sẽ giống như lúc ban đầu, ít nhất là với độ chính xác rất cao. Nhưng nếu bạn có thể đo với độ chính xác cỡ 1 phần nghìn tỉ, bạn sẽ nhận thấy có sự khác biệt; nước nóng sẽ nặng hơn một chút so với nước đá. Nói một cách khác, nhiệt đã làm tăng thêm khối lượng một vài phần nghìn tỉ kilogram.

Vậy điều gì đã diễn ra ở đây? Nhiệt là năng lượng. Nhưng theo Einstein, năng lượng cũng là khối lượng, vì vậy tăng nhiệt đối với bình sẽ làm tăng khối lượng của nó. Phương trình nổi tiếng của Einstein $E = mc^2$ biểu thị thực tế là khối lượng và năng lượng là cùng một thứ, chỉ có điều chúng được đo bằng các đơn vị khác nhau mà thôi. Về một ý nghĩa nào đó thì cũng giống như đối từ

dặm sang kilômét; khoảng cách tính theo kilômét lớn hơn 1,61 lần so với khoảng cách tính theo dặm. Trong trường hợp khối lượng và năng lượng, hệ số chuyển đổi là bình phương của tốc độ ánh sáng.

Đơn vị năng lượng chuẩn của nhà vật lý là jun (J). Một trăm jun là năng lượng cần để thắp sáng một bóng đèn công suất 100W trong một giây. Một jun là động năng của một quả cân nặng 2 kg chuyển động với vận tốc 1m/s. Thức ăn hàng ngày của bạn cung cấp khoảng 10 triệu jun năng lượng. Trong khi đó, đơn vị khối lượng chuẩn quốc tế là kilôgam – cơ khối lượng của một lít nước.

Điều mà công thức $E = mc^2$ cho chúng ta biết, đó là khối lượng và năng lượng là những khái niệm có thể hoán đổi cho nhau. Nếu làm cho một chút ít khối lượng bị biến mất thì nó sẽ chuyển hóa thành năng lượng, thường là dưới dạng nhiệt, nhưng cũng không nhất thiết là như vậy. Hãy tưởng tượng một kg khối lượng biến mất và bị thay thế bởi nhiệt. Để xem lượng nhiệt đó là bao nhiêu, ta nhân khối lượng với một số rất lớn là c^2 . Kết quả là 10^{17} jun. Bạn có thể sống với năng lượng đó trong 30 triệu năm, hoặc bạn cũng có thể tạo ra được một vũ khí hạt nhân rất mạnh. Thật may mắn là rất khó chuyển đổi khối lượng thành các dạng năng lượng khác, nhưng như dự án Manhattan¹ đã chứng tỏ, điều đó là có thể thực hiện được.

Với một nhà vật lý, khái niệm khối lượng và năng lượng trở nên gần như đồng nhất đến mức chúng ta hiếm khi phải bận tâm phân biệt chúng. Chẳng hạn, khối lượng của electron thường được gán cho một con số *electron vôn* nào đó, đây là một đơn vị năng lượng thường được các nhà vật lý nguyên tử sử dụng.

¹ Dự án chế tạo bom nguyên tử của Mỹ được triển khai ở Los Alamos, bang New Mexico, trong suốt Thế chiến thứ II.

Với những hiểu biết đó, chúng ta hãy trở lại với khối lượng Planck – khối lượng của một hạt bụi – mà chúng ta còn có thể gọi là năng lượng Planck. Hãy tưởng tượng hạt bụi được chuyển thành năng lượng nhiệt nhờ một khám phá mới nào đó. Năng lượng đó sẽ gần xấp xỉ như một bình đầy xăng. Bạn có thể lái xe qua nước Mỹ với mười khối lượng Planck.

Sự nhỏ bé đến mức không thể tưởng tượng được của các vật có kích thước Planck và những khó khăn rất lớn trong việc quan sát chúng một cách trực tiếp là những nguyên nhân gây nên sự thất vọng sâu sắc cho các nhà vật lý lý thuyết. Chỉ có thực tế là chúng ta đã biết đủ để đặt ra được những câu hỏi này đã là thắng lợi vĩ đại của trí tưởng tượng của con người. Nhưng khốn nỗi cái thế giới xa vời đó lại chính là nơi chúng ta phải khám phá để tìm ra chiếc chìa khóa nhằm giải thích các nghịch lý về lỗ đen, bởi chính các *bit thông tin* ở kích thước Planck đã “phủ” kín chân trời của một lỗ đen. Thực tế thì chân trời lỗ đen là một dạng thông tin tập trung nhất mà các định luật của vật lý cho phép. Sau này, chúng ta sẽ nghiên cứu ý nghĩa của thuật ngữ *thông tin* và khái niệm sinh đôi với nó là *entropy*. Và khi đó, chúng ta mới có một vị thế tốt để hiểu được thực chất của Cuộc chiến Lỗ đen là như thế nào. Nhưng trước tiên tôi muốn giải thích tại sao Cơ học lượng tử lại phá hủy một trong những kết luận vững chắc nhất của Thuyết tương đối rộng: đó là bản chất vĩnh cửu của lỗ đen.

TRONG MỘT QUÁN BAR Ở BROADWAY

LẦN NÓI CHUYỆN ĐẦU TIÊN CỦA TÔI với Richard Feynman là tại quán cà phê West End ở Broadway, vùng thượng Manhattan. Đó là năm 1972, tôi mới 32 tuổi, vẫn còn là một nhà vật lý chưa có tiếng tăm gì; Feynman lúc đó đã 53 tuổi. Ngay cả khi không còn ở đỉnh cao danh vọng nữa thì con sư tử già này vẫn là một nhân vật tuyệt vời. Feynman đến Đại học Columbia để thuyết trình về một lý thuyết mới của ông, Lý thuyết parton. *Parton* là một thuật ngữ của Feynman dùng để chỉ các cấu phần (hay các phần - *part*) giả thuyết tạo nên các hạt nội hạt nhân như proton, notron và meson. Ngày nay chúng ta gọi chúng là các quark và gluon.

Vào thời đó, thành phố New York là trung tâm chủ yếu của vật lý năng lượng cao. Tiêu điểm là Khoa Vật lý của Đại học Columbia. Vật lý học ở Columbia có một lịch sử đặc biệt và rất rực rỡ. I.I. Rabi, một nhà tiên phong của nền vật lý Mỹ, đã xây dựng Columbia như là một trong những viện vật lý uy tín nhất trên thế giới, song đến năm 1972, danh tiếng của Columbia đã phai nhạt đi nhiều. Chương trình vật lý lý thuyết tại Trường sau đại học Belfer về khoa học thuộc Đại học Yeshiva nơi tôi đang là giáo sư, ít nhất thì cũng khá tốt, nhưng Columbia vẫn là Columbia, và Belfer thì vẫn kém danh giá hơn nhiều.

Bài giảng của Feynman được dự liệu là sẽ cực kỳ hứng thú. Ông có vị trí rất đặc biệt trong tâm trí của rất nhiều nhà vật lý. Không chỉ là một trong những nhà vật lý lý thuyết vĩ đại nhất mọi thời đại mà ông còn là một người hùng đối với nhiều người. Là diễn viên, hài kịch gia, nghệ sĩ chơi trống, là chàng trai lãng tử, người báng bổ những tín ngưỡng lâu đời, một trí tuệ phi thường, ông đã làm được tất cả một cách thật dễ dàng. Những người khác sẽ phải vật lộn nhiều giờ với những tính toán phức tạp để giải một bài toán vật lý nào đó, nhưng Feynman sẽ chỉ giải thích trong vòng vài chục giây nhưng lại cực kỳ rõ ràng mạch lạc.

Cá tính của Feynman thật mạnh mẽ, nhưng ông rất cởi mở và vui vẻ với những người xung quanh. Ít năm sau, ông và tôi đã trở thành bạn bè tốt, nhưng năm 1972, ông đã là một người nổi tiếng, còn tôi chỉ là một anh chàng ở hậu trường đang muốn nổi danh, sống ở phía bắc của khu phố số 181. Tôi đến Columbia bằng tàu điện ngầm 2 giờ trước khi buổi thuyết trình bắt đầu, hy vọng có thể nói vài lời với người đàn ông vĩ đại này.

Bộ môn vật lý lý thuyết nằm trên tầng chín của toà nhà Pupin. Tôi đoán là Feynman đang loanh quanh ở đó. Người đầu tiên tôi gặp là T.D. Lee¹, một nhân vật có vai vế về vật lý ở Columbia. Tôi hỏi ông ấy là có thấy Feynman đâu không. “Ông có việc gì?”, Lee hỏi một cách thân thiện. “À, tôi muốn hỏi ông ấy một câu hỏi về parton”. “Ông ấy đang bận rồi”, và cuộc nói chuyện chấm dứt.

Chắc câu chuyện sẽ kết thúc ở đấy nếu như không có trời đất xui khiến. Khi tôi vào toilet nam thì thấy Dick đang đứng trước chỗ đi vệ sinh. Tôi lên đi đến bên cạnh và nói, “Giáo sư Feynman, tôi có

¹ Lý Chính Đạo, nhà vật lý nổi tiếng, gốc Trung Quốc, người đoạt giải Nobel về vật lý năm 1956. (ND)

thể hỏi ông một câu được không?” “Được thôi, nhưng để tôi xong việc này cái đã, rồi chúng ta sẽ tới văn phòng họ đã bố trí cho tôi. Câu hỏi về cái gì vậy?”. Ngay lúc đó, tôi nhận ra là mình thực sự không có câu hỏi nào về parton cả, nhưng tôi có thể bịa ra một câu hỏi gì đó về lỗ đen. Thuật ngữ *lỗ đen* đã được John Wheeler đặt ra bốn năm trước. Wheeler là người hướng dẫn luận án của Feynman, nhưng Feynman nói với tôi rằng ông hầu như không biết gì về lỗ đen cả. Bản thân tôi, những điều vô cùng ít ỏi mà tôi biết được là học từ một người bạn tên là David Finkelstein, một trong những người đi tiên phong trong ngành vật lý lỗ đen. Năm 1958, Dave đã viết một bài báo quan trọng giải thích rằng chân trời một lỗ đen là điểm không thể quay lui. Theo những điều mà tôi biết thì lỗ đen có một điểm kỳ dị tại tâm của nó và một chân trời bao quanh điểm kỳ dị đó. Dave cũng giải thích cho tôi tại sao không gì có thể thoát ra từ phía sau chân trời. Điều cuối cùng mà tôi biết, mặc dù tôi không thể nhớ tại sao mình lại biết, đó là một khi một lỗ đen được hình thành thì nó không thể bị chia tách hay biến mất. Hai hay nhiều lỗ đen có thể sáp nhập và tạo nên một lỗ đen lớn hơn, nhưng không gì có thể khiến cho một lỗ đen bị chia tách làm hai hay nhiều lỗ đen. Nói cách khác, một khi lỗ đen được tạo thành thì không có cách nào xóa bỏ được nó.

Vào khoảng thời gian này thì Stephen Hawking vẫn còn trẻ, đang làm một cuộc cách mạng đối với lý thuyết cổ điển về lỗ đen. Trong số những phát hiện quan trọng nhất của ông có một phát hiện là diện tích chân trời của một lỗ đen không bao giờ giảm. Stephen và các cộng sự của mình là James Bardeen và Brandon Carter đã sử dụng Thuyết tương đối rộng và rút ra một tập hợp các định luật chi phối hành vi của lỗ đen. Các định luật mới này có

một sự liên hệ kỳ lạ với các định luật của nhiệt động lực học, mặc dù sự tương đồng này có vẻ chỉ là trùng hợp ngẫu nhiên. Quy tắc về diện tích không bao giờ giảm này tương tự như nguyên lý thứ hai của nhiệt động lực học, nguyên lý phát biểu rằng entropy của một hệ không giảm (chỉ tăng hoặc không đổi). Tôi không chắc là mình đã biết về công trình này hoặc thậm chí cả cái tên Stephen Hawking vào lúc diễn ra buổi thuyết trình của Feynman, nhưng các định luật của Stephen về động lực học lỗ đen cuối cùng cũng đã có những ảnh hưởng quan trọng đối với nghiên cứu của tôi trong hơn hai mươi năm.

Dù thế nào đi nữa thì câu hỏi mà tôi muốn đặt ra với Feynman là liệu Cơ học lượng tử có thể gây ra sự phân rã của một lỗ đen bằng cách phá vỡ nó thành những lỗ đen nhỏ hơn hay không. Tôi hình dung nó cũng tương tự như sự phân rã của một hạt nhân rất lớn thành các hạt nhân nhỏ hơn. Tôi vội vã giải thích với Feynman tại sao tôi lại nghĩ điều đó cần phải xảy ra.

Feynman nói rằng ông chưa bao giờ nghĩ tới điều đó. Vả lại, ông cũng không thích lắm đề tài về hấp dẫn lượng tử. Những hiệu ứng của Cơ học lượng tử đối với hấp dẫn, hay hấp dẫn đối với Cơ học lượng tử, đều quá bé nhỏ, không thể đo đạc được. Không phải ông nghĩ rằng đề tài này thực chất là không thú vị, song không có các hiệu ứng thí nghiệm có thể đo đạc được để dẫn dắt lý thuyết thì việc phỏng đoán lý thuyết thực sự sẽ vận hành như thế nào là điều hoàn toàn vô vọng. Ông nói rằng ông đã nghĩ về nó hàng năm trước và không muốn bắt đầu nghĩ lại về nó nữa. Ông đoán rằng có thể phải mất 500 năm nữa thì hấp dẫn lượng tử mới có thể được hiểu một cách thấu đáo. Dù sao thì, ông nói, một tiếng nữa ông sẽ phải thuyết trình và ông cần được nghỉ ngơi.

Bài thuyết trình đúng là hoàn toàn theo phong cách Feynman. Sự hiện diện của ông đã hoàn toàn chiếm lĩnh sân khấu – một cá tính hơi khoa trương với giọng Brooklyn đặc sệt và ngôn ngữ cơ thể minh họa cho mỗi vấn đề. Thính giả bị ông làm cho mê hoặc. Ông cho chúng tôi thấy làm thế nào để suy nghĩ về những vấn đề khó của Lý thuyết trường lượng tử theo một cách đơn giản và trực giác. Hầu như mọi người đều đang sử dụng một phương pháp khác, cũ hơn để phân tích những vấn đề mà ông đang nói đến. Phương pháp cũ hơn thì khó khăn hơn, nhưng ông đã tìm ra một thủ thuật để làm cho tất cả trở nên dễ dàng – thủ thuật parton. Feynman vẫy cây đũa thần của mình và tất cả các câu trả lời hiện ra. Trớ trêu thay, phương pháp cũ hơn đó lại dựa trên chính các giản đồ Feynman!

Đối với tôi, phần hay nhất của bài giảng là khi T.D. Lee cất ngang bằng một câu hỏi – hay chính xác hơn là đưa ra một phát biểu được ngụ ý như một câu hỏi. Feynman đã tuyên bố rằng một loại giản đồ nào đó không bao giờ hiện diện trong phương pháp mới của ông, và điều đó làm cho mọi thứ đơn giản hơn. Nó được gọi là giản đồ Z. Lee hỏi, “Có thật là trong một số lý thuyết với các trường véctor và spinor, giản đồ Z không phải lúc nào cũng cho kết quả 0? Nhưng tôi tin là điều đó có thể sửa được”. Cả hội trường lặng phắc như hầm mộ trong nhà thờ. Feynman nhìn Lee trong khoảng năm giây, rồi nói: “Vậy ông hãy sửa đi”. Rồi ông tiếp tục thuyết trình.

Kết thúc buổi thuyết trình, Feynman tiến lại gần tôi và hỏi, “Này, anh tên là gì nhỉ?” Ông bảo ông đã nghĩ về câu hỏi của tôi và muốn nói chuyện về điều đó và hỏi tôi có biết chỗ nào có thể gặp nhau sau đó hay không. Đấy chính là lý do vì sao chúng tôi gặp nhau ở quán cà phê West End.

Chúng ta sẽ trở lại câu chuyện ở quán cà phê này, nhưng trước hết tôi cần phải cung cấp thêm cho bạn một số điểm về trường hấp dẫn và Cơ học lượng tử.

Câu hỏi mà tôi muốn thảo luận có liên quan đến những hiệu ứng của Cơ học lượng tử đối với lỗ đen. Thuyết tương đối rộng là một lý thuyết cổ điển về hấp dẫn. Khi một nhà vật lý sử dụng thuật ngữ *cổ điển* thì không có ý nói rằng nó có từ thời Hy Lạp cổ đại. Điều đó chỉ có nghĩa rằng lý thuyết này không bao hàm các hiệu ứng của Cơ học lượng tử. Người ta mới hiểu được rất ít về những ảnh hưởng của lý thuyết lượng tử đến trường hấp dẫn, nhưng những điều ít ỏi đã biết lại có liên quan đến những nhiễu động nhỏ lan truyền khắp không gian như *các sóng hấp dẫn*. Feynman đã đóng góp hầu hết những gì chúng ta đã biết về lý thuyết lượng tử của những nhiễu động này.

Trong Chương 4, chúng ta đã biết rằng Chúa dường như phớt lờ Einstein về chuyện chơi xúc xắc. Tất nhiên, vấn đề là những điều chắc chắn trong vật lý cổ điển giờ trở nên bất định trong vật lý lượng tử. Cơ học lượng tử không bao giờ cho chúng ta biết điều gì sẽ xảy ra, mà chỉ cho ta biết xác suất để điều này hoặc điều kia sẽ xảy ra mà thôi. Trong khi không thể tiên đoán một cách chính xác khi nào một nguyên tử phóng xạ sẽ phân rã thì Cơ học lượng tử lại có thể cho chúng ta biết rất có thể nó sẽ phân rã trong 10 giây nữa.

Nhà vật lý đoạt giải Nobel là Murray Gell-Mann đã mượn khẩu hiệu “Mọi thứ không bị cấm thì đều là bắt buộc cả” từ cuốn *Nhà vua một thời và tương lai* của T.H. White. Đặc biệt, có nhiều sự kiện trong vật lý cổ điển không thể xảy ra. Tuy nhiên, trong hầu hết các trường hợp, cũng các sự kiện đó lại có thể xảy ra trong

lý thuyết lượng tử. Thay vì là không thể, các sự kiện này chỉ là không chắc chắn xảy ra lắm thôi. Nhưng cho dù không chắc chắn như thế nào đi nữa, nếu bạn đợi đủ lâu thì cuối cùng chúng vẫn sẽ xảy ra. Vậy nên mọi thứ không bị cấm thì đều là bất buộc cả.

Một ví dụ điển hình là hiện tượng được gọi *hiệu ứng đường hầm*. Hãy tưởng tượng một chiếc ô tô đỗ trên một ngọn đồi có một chỗ trũng.



Hãy bỏ qua tất cả những thứ không liên quan như ma sát và lực cản của không khí. Chúng ta cũng giả sử rằng người lái xe thả lỏng tay phanh để cho chiếc xe tự do lăn. Rõ ràng là nếu ô tô đỗ ở đáy của chỗ trũng, thì nó sẽ không tự nhiên đột ngột chuyển động. Dù xe có chuyển động theo hướng nào thì nó cũng sẽ phải đi lên dốc tới đỉnh đồi, và nếu chiếc xe ban đầu đứng yên thì nó sẽ không có năng lượng để đi lên. Nếu chúng ta sau đó nhận thấy chiếc xe lăn xuống đồi đi xa dần đỉnh của nó, thì chúng ta sẽ cho rằng hoặc là có ai đó đã đẩy nó hoặc nó đã có năng lượng để lên đến đỉnh đồi theo một cách nào đó khác. Việc tự nhiên nhảy lên đỉnh đồi là chuyện không thể có trong cơ học cổ điển.

Nhưng hãy nhớ rằng, mọi thứ không bị cấm thì đều là bắt buộc. Nếu chiếc xe ô tô là một đối tượng lượng tử (như mọi chiếc xe khác) thì không gì có thể ngăn nó không xuất hiện đột ngột ở phía bên kia của đỉnh đồi. Điều đó có thể là rất không chắc chắn – và đối với một vật thể lớn và nặng như một chiếc ô tô thì nó sẽ là *rất, rất* không chắc chắn – nhưng nó không phải là không thể. Vì vậy, với thời gian đủ dài, nó sẽ là bắt buộc xảy ra. Hiện tượng này được gọi là hiệu ứng đường hầm vì nó sẽ là như vậy nếu chiếc xe ô tô đi qua dưới đỉnh đồi theo một đường hầm.

Với một vật thể lớn như ô tô, khả năng nó xuyên hầm là rất nhỏ vì nó sẽ cần một khoảng thời gian cực lớn (về trung bình) để tự nhiên xuất hiện ở phía bên kia của đỉnh đồi. Để viết một con số lớn đủ để biểu thị lượng thời gian này đòi hỏi phải có nhiều chữ số đến mức mà ngay cả nếu mỗi chữ số không lớn hơn một proton và chúng được gói chặt lại thì các chữ số ấy cũng sẽ choán đầy một thể tích còn lớn hơn cả vũ trụ. Tuy nhiên, chính hiệu ứng này đã cho phép một hạt anpha (tạo bởi hai proton và hai neutron) xuyên hầm ra khỏi một hạt nhân, hay một electron xuyên hầm qua một khe bên trong mạch điện.

Điều mà tôi tưởng tượng vào ngày hôm đó của năm 1972 là mặc dù lỗ đen cổ điển có một hình dạng cố định, song các thăng giáng lượng tử có thể làm cho nó dao động nhẹ. Thường thì dạng của một lỗ đen không quay là một hình cầu hoàn hảo, nhưng những thăng giáng lượng tử có thể làm biến dạng nó trong một thời gian ngắn thành dẹt đi hoặc thon dài. Hơn nữa, rất nhiều khi một thăng giáng có thể lớn tới mức làm cho lỗ đen biến dạng gần như thành một cặp hình cầu gắn với nhau bằng một đường nối mảnh. Từ đó nó sẽ dễ dàng bị phân chia làm hai. Hạt nhân nặng cũng tự phát



Ý tưởng của tôi về việc lỗ đen phân rã như thế nào

phân chia theo cách này, vậy tại sao lỗ đen lại không? Xét một cách cổ điển thì điều đó không thể xảy ra, cũng giống như chiếc xe ô tô không thể tự nhiên nhảy phắt qua đỉnh đồi. Nhưng liệu có phải điều đó hoàn toàn không được phép xảy ra hay không? Tôi nhận thấy là không có lý do gì để nó phải như vậy cả. Tôi suy luận rằng khi đợi đủ lâu thì rồi lỗ đen cũng sẽ phân chia thành hai lỗ đen nhỏ hơn.

Giờ thì chúng ta hãy quay trở lại quán cà phê West End. Gọi một ly bia, tôi đợi Feynman ở đó khoảng nửa giờ đồng hồ. Càng nghĩ về nó tôi thấy ý tưởng đó lại càng có vẻ hợp lý hơn. Lỗ đen có thể bị phân chia bằng sự xuyên hầm lượng tử, đầu tiên là thành hai mảnh, sau đó thành bốn, tám và rồi cuối cùng là một số lượng lớn các cấu phần cực nhỏ. Dưới ánh sáng của Cơ học lượng tử, sẽ rất không hợp lý, nếu tin rằng lỗ đen tồn tại vĩnh cửu.

Feynman bước vào quán cà phê sớm hơn một hay hai phút và tiến lại chỗ tôi ngồi. Tôi đang trong tâm trạng như mình là một nhân vật quan trọng nên đã gọi hai ly bia. Trước khi kịp có cơ hội thanh toán thì ông đã rút ví và đưa số tiền phải trả. Tôi không biết là ông có để lại tiền bo hay không. Tôi nhăm nháp ly bia của mình nhưng tôi nhận thấy ly của Feynman vẫn ở nguyên trên bàn.

Tôi bắt đầu bằng việc điểm lại những suy luận của mình và rồi nói rằng tôi nghĩ lỗ đen cuối cùng sẽ phải phân chia thành những phần nhỏ bé hơn. Nhưng những phần nhỏ bé đó có thể là gì nhỉ? Mặc dù không nói ra, nhưng chỉ có câu trả lời hợp lý ở đây là các hạt cơ bản như photon, electron và phản electron.

Feynman đồng ý là không có gì ngăn được điều này xảy ra, nhưng ông nghĩ là tôi đã có một bức tranh không đúng. Tôi đã hình dung lỗ đen phân chia thành những mảnh gần như bằng nhau. Mỗi mảnh sẽ lại phân chia làm hai cho đến khi các mảnh trở nên cực kỳ nhỏ bé.

Vấn đề là một lỗ đen lớn khi phân chia làm hai đòi hỏi phải có sự thăng giáng lượng tử khổng lồ. Feynman cảm thấy rằng bức tranh sẽ hợp lý hơn nếu chân trời phân chia thành một mảnh gần như bằng chân trời ban đầu và một mảnh cực nhỏ thứ hai bay ra ngoài. Khi quá trình này lặp lại, lỗ đen lớn sẽ dần dần thu nhỏ lại cho đến khi không còn gì nữa. Điều này xem ra có vẻ đúng. Một mảnh nhỏ của chân trời vắng ra dường như sẽ là chắc chắn hơn so với trường hợp lỗ đen phân chia thành hai mảnh lớn.



Ý tưởng của Feynman về sự phân rã của lỗ đen

Cuộc nói chuyện của chúng tôi kéo dài khoảng một giờ. Tôi không nhớ mình có chào tạm biệt hay không, và chúng tôi cũng không có kế hoạch theo đuổi ý tưởng này. Tôi đã gặp một người danh tiếng và ông ấy cũng không hề thất vọng về tôi.

Nếu nghĩ sâu hơn về vấn đề này, chúng ta có thể nhận thấy rằng trường hấp dẫn hầu như chắc chắn sẽ kéo những mảnh nhỏ trở lại chân trời. Một số mảnh văng ra có thể sẽ va chạm vào các mảnh rơi xuống. Vùng ở ngay bên trên chân trời sẽ là một vùng hỗn độn phức tạp với các mảnh va chạm nhau và có thể bị nóng lên nhờ các va chạm liên tục diễn ra. Thậm chí có thể nhận thấy rằng vùng ngay bên trên chân trời sẽ là nơi tập trung sôi sục các hạt tạo nên một khí quyển nóng. Và chúng ta cũng có thể thấy rằng khối bị đốt nóng này sẽ hành xử như bất kỳ vật thể bị nung nóng nào khác, nó sẽ phát ra năng lượng dưới dạng bức xạ nhiệt. Nhưng chúng tôi đã không làm như vậy. Feynman trở về với các *parton* của ông, còn tôi thì lại trở về với vấn đề điều gì đã giữ các hạt quark bị cầm tù ở bên trong các proton.

Giờ đã đến lúc tôi phải trình bày với các bạn *thông tin* chính xác có nghĩa là gì. Thông tin, entropy và năng lượng – ba khái niệm không thể tách rời sẽ là chủ đề của chương tiếp theo.

NĂNG LƯỢNG VÀ ENTROPY

Năng lượng

Năng lượng là một kẻ biến hình. Giống như những kẻ biến hình trong thần thoại có thể biến từ con người thành động vật, cây cỏ và đất đá, năng lượng cũng có thể biến đổi từ dạng này sang dạng khác. Động năng, thế năng, hóa năng, điện năng, năng lượng hạt nhân và nhiệt năng là một số trong nhiều dạng mà năng lượng có thể tồn tại. Nó thường xuyên biến hóa từ dạng này sang dạng khác, nhưng có một điều bất biến: đó là năng lượng được bảo toàn; tổng của tất cả các dạng năng lượng là không đổi.

Dưới đây là một vài ví dụ về sự chuyển hóa năng lượng:

- ♦ Sisypheus đang cạn năng lượng¹. Vì vậy, trước khi đẩy tảng đá của mình lên đỉnh dốc không biết là lần thứ bao nhiêu, anh ta phải nghỉ để lấy lại sức nhờ một chút mật ong. Khi tảng đá lên đến đỉnh, người đàn ông bị trừng phạt đứng nhìn trong khi lực hấp dẫn kéo tảng đá lăn xuống chân đồi không biết là bao nhiêu lần.

¹ Theo Thần thoại Hy Lạp, Sisypheus báo cho cha của Asopus là thần Zeus đã bắt cóc con gái ông là Aegina. Zeus cho đó là một hành động chống đối lại quyền lực của thần linh nên đã ra lệnh đẩy Sisypheus xuống âm phủ. Ngày qua ngày, Sisypheus phải lăn một tảng đá nặng lên một triền dốc dài. Mỗi khi tảng đá được lăn đến đỉnh, nó lại lăn xuống, và Sisypheus lại phải bắt đầu lại từ đầu.

Sisyphus tội nghiệp bị đày đoạ vĩnh viễn phải thực hiện việc chuyển đổi hóa năng (mật ong) thành thế năng và sau đó là động năng. Nhưng hãy khoan, vậy điều gì đã xảy ra với động năng của tảng đá khi nó lăn xuống và nằm im dưới chân đồi? Nó được chuyển hóa thành nhiệt. Một phần nhiệt tỏa ra không khí và một phần truyền vào đất. Ngay cả Sisyphus cũng bị nóng lên vì đã nỗ lực đẩy tảng đá lên. Chu trình chuyển hóa năng lượng của Sisyphus như sau:

hóa năng $\rightarrow$ thế năng $\rightarrow$ động năng $\rightarrow$ nhiệt năng

- ♦ Nước chảy trên Thác Niagara và tăng tốc độ khi đổ xuống. Dòng nước mang động năng, được hướng vào miệng một tuabin, ở đó nó sẽ làm quay rôto. Điện sẽ được tạo ra và chạy qua dây dẫn vào lưới điện. Bạn có thể phác họa sơ đồ biểu thị sự chuyển hóa năng lượng này không? Nó sẽ như dưới đây:

thế năng $\rightarrow$ động năng $\rightarrow$ điện năng

Ngoài ra, một phần năng lượng được chuyển hóa thành nhiệt một cách vô ích: nước đi ra khỏi tuabin ấm hơn so với nước lúc chảy vào.

- ♦ Einstein tuyên bố rằng khối lượng là năng lượng. Điều mà Einstein muốn hàm ý khi nói $E = mc^2$ là mọi vật đều tiềm tàng một năng lượng nhất định, năng lượng này có thể giải phóng nếu bằng cách nào đó làm cho khối lượng của nó bị biến đổi. Chẳng hạn, một hạt nhân urani thế nào rồi cũng bị phân rã thành hạt nhân thori và hạt nhân hêli. Tổng khối lượng của thori và hêli nhỏ hơn một chút so với khối lượng urani ban đầu. Phần khối lượng thừa ra đó sẽ biến thành động năng của các hạt nhân thori và hêli và một vài photon nữa. Khi các nguyên tử này trở về trạng thái đứng yên và các photon bị hấp thụ, thì phần năng lượng thừa đó biến thành nhiệt năng.

Trong số tất cả các dạng năng lượng thường dùng thì nhiệt năng là bí ẩn nhất. Vậy nhiệt năng là gì? Liệu nó có là một chất giống như nước, hay là một thứ gì đó phù du hơn? Trước khi có lý thuyết phân tử hiện đại về nhiệt, ban đầu các nhà vật lý và hóa học đều nghĩ rằng nó là một chất và hành xử giống như một chất lưu (lỏng hoặc khí). Họ gọi nó là *chất nhiệt* (*phlogiston*) và cho rằng nó chảy từ vật nóng sang vật lạnh, làm nguội vật nóng và làm ấm vật lạnh. Thực tế, chúng ta vẫn thường nói về dòng nhiệt.

Nhưng nhiệt không phải là một chất mới; nó là một dạng năng lượng. Hãy thu nhỏ người bạn tới kích thước của một phân tử và quan sát nước nóng bên trong bồn tắm. Bạn có thể thấy các phân tử di chuyển ngẫu nhiên và va chạm vào nhau theo một điệu nhảy hỗn loạn và hối hả. Để cho nước nguội đi và quan sát lần nữa: bây giờ các phân tử chuyển động chậm hơn. Làm nguội nước đến điểm đóng băng, và các phân tử sẽ bị mắc kẹt trong một tinh thể rắn – nước đá. Nhưng ngay cả khi thành đá rồi, các phân tử vẫn tiếp tục dao động. Chúng ngừng chuyển động (bỏ qua chuyển động điểm zêrô lượng tử) chỉ khi tất cả năng lượng đã bị thoát ra hết. Tại điểm này, khi nước ở 0 độ tuyệt đối, nhiệt độ không thể thấp hơn được nữa. Mọi phân tử bị khóa chặt ở một vị trí, trong một mạng tinh thể hoàn hảo. Tất cả các chuyển động ngẫu nhiên và hỗn loạn đều ngừng lại.

Sự bảo toàn năng lượng khi nó chuyển đổi từ nhiệt sang các dạng năng lượng khác được gọi là *Nguyên lý thứ nhất của nhiệt động lực học*.

Entropy

Sẽ là một ý tưởng tồi nếu bạn bỏ mặc chiếc BMW của mình trong khu rừng nhiệt đới suốt 500 năm. Khi quay trở lại, bạn sẽ chỉ thấy một đồng sắt gỉ. Đó là entropy tăng. Nếu bạn để một đồng sắt gỉ thêm 500 năm nữa, bạn có thể định ninh rằng nó sẽ không biến trở lại thành chiếc BMW có thể chạy được. Nói tóm lại, đó là *Nguyên lý thứ hai của nhiệt động học*: entropy tăng. Mọi người đều nói về entropy – kể cả các thi sĩ, các triết gia, các chuyên viên máy tính – nhưng nó thực sự là gì? Để trả lời câu hỏi này, hãy xem xét sự khác nhau giữa chiếc BMW và đồng sắt gỉ một cách kỹ lưỡng hơn. Cả hai đều là tập hợp của khoảng 10^{28} nguyên tử, hầu hết là sắt (và trong trường hợp đồng sắt gỉ thì còn có cả ôxi nữa). Hãy tưởng tượng rằng bạn lấy các nguyên tử đó ra và ném chúng vào nhau một cách ngẫu nhiên. Liệu có khả năng chúng sẽ tập hợp lại với nhau để tạo nên một chiếc ô tô có thể hoạt động được hay không? Cần phải có rất nhiều kiến thức chuyên môn mới nói được điều đó ít khả năng xảy ra đến mức nào, nhưng tôi thì tôi nghĩ tất cả chúng ta đều nhất trí rằng điều đó là cực kỳ ít khả năng xảy ra. Rõ ràng, khả năng bạn sẽ nhận được một đồng sắt gỉ sẽ lớn hơn rất nhiều khả năng bạn nhận được một chiếc ô tô mới coóng. Hoặc thậm chí là một đồng sắt gỉ cũ. Nếu bạn lấy các nguyên tử ra và ném chúng lại vào nhau một lần nữa và lần nữa, rồi lại lần nữa và cứ tiếp tục như thế, thì rồi cuối cùng bạn cũng sẽ nhận được một chiếc ô tô nhưng đồng thời bạn cũng sẽ có thêm nhiều đồng sắt vụn nữa. Tại sao lại như vậy? Có điều gì đặc biệt về chiếc xe ô tô – hay đồng sắt gỉ?

Nếu bạn hình dung được tất cả các khả năng khả dĩ mà bạn có thể lắp ráp các nguyên tử, thì phần rất lớn trong số những cách sắp xếp đó sẽ giống như đồng sắt gỉ. Chỉ một tỉ phần rất nhỏ sẽ lắp ráp

Có bao nhiêu thông báo khác nhau viết bằng mã Morse được tạo nên từ 65 dấu chấm và/hoặc gạch? Tất cả những gì bạn cần phải làm là nhân 2 với chính nó 65 lần và được 2^{65} , tức là khoảng 10 tỉ tỉ thông báo.

Khi thông tin được mã hóa bằng hai ký hiệu – chúng có thể là chấm và gạch, là 1 và 0, hoặc bất kỳ cặp ký hiệu nào khác – thì ký hiệu đó được gọi là *bit*. Vì vậy, dưới dạng mã Morse, câu “King Canute had warts on his chin” là một thông báo 65 bit. Nếu bạn còn có ý định đọc tiếp phần còn lại của cuốn sách, thì nên nhớ định nghĩa này của thuật ngữ *bit*. Ý nghĩa của nó không giống như khi bạn nói “Tôi sẽ cho một ít (*bit*) kem vào ly cà phê”¹. Bit là một đơn vị thông tin, tối giản, giống như dấu chấm và gạch trong mã Morse.

Nhưng tại sao chúng ta cứ phải rắc rối rút gọn thông tin về các dấu chấm và gạch, hay 0 và 1? Sao không sử dụng các chuỗi gồm các con số 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9, hay tốt hơn nữa, là dùng các chữ cái trong bảng chữ cái? Thông tin sẽ dễ đọc hơn nhiều và chúng sẽ chiếm ít chỗ hơn.

Vấn đề là bảng chữ cái (hay 10 chữ số) là một cấu trúc do con người tạo ra để chúng ta học nhận biết và lưu giữ trong bộ nhớ của chúng ta. Nhưng mỗi chữ cái hoặc chữ số thực sự chứa nhiều thông tin – chẳng hạn, trong sự khác nhau phức tạp giữa chữ cái A và B hay giữa chữ số 5 và 8. Các nhân viên điện báo và các nhà khoa học máy tính, những người chỉ dựa vào các quy tắc toán học đơn giản nhất, thích – mà thực tế hầu như họ bị bắt buộc – sử dụng *mã nhị phân* với dấu chấm và dấu gạch hay số 0 và 1 hơn. Thực sự thì khi Carl Sagan thiết lập một hệ thống để gửi thông tin cho các nền văn minh không phải con người, sống ở các hệ Mặt trời xa xôi, ông đã sử dụng mã nhị phân.

¹ Đây là trò chơi chữ của tác giả, không thể dịch ra tiếng Việt được (ND).

Trở lại câu chuyện với Vua Canute. Có bao nhiêu thông báo gồm 65 bit là những câu *có nghĩa*? Tôi thực sự không biết – có thể là một vài tỉ. Nhưng dù con số đó là bao nhiêu đi nữa thì nó cũng chỉ chiếm một tỉ phần rất nhỏ của 2^{65} . Vì vậy gần như chắc chắn là nếu bạn sử dụng 65 bit, hay 27 chữ cái trong câu “King Canute had warts on his chin” và trộn lẫn chúng với nhau, thì kết quả sẽ là những câu lộn xộn vô nghĩa. Bỏ qua các dấu cách, dưới đây là những gì tôi nhận được khi đảo lộn các miếng ghép:

H T K I D G E N C U O N N H T S R N I S A W A C H A I

Giả sử bạn chỉ trộn các chữ cái chút ít mỗi lần. Câu này sẽ dần mất đi sự mạch lạc của nó. Ví dụ, câu “King Canute ehad warts o his chin” vẫn còn có thể nhận ra được. Hay câu “Knig Canute ehad warts o his chin” cũng như vậy. Nhưng dần dần các chữ cái sẽ trở nên một tập hợp lộn xộn vô nghĩa. Sẽ ngày càng có nhiều tổ hợp vô nghĩa đến mức xu hướng dẫn đến các câu vô nghĩa là không thể tránh khỏi.

Giờ tôi đã có thể trình bày với các bạn định nghĩa của entropy. *Entropy là thước đo số các cách sắp xếp theo một tiêu chí có thể nhận biết cụ thể nào đó.* Nếu tiêu chí là có 65 bit, thì số các cách sắp xếp là 2^{65} .

Nhưng entropy *không* phải là số các cách sắp xếp, mà trong trường hợp này là 2^{65} . Nó chỉ là 65 thôi – tức số lần bạn nhân số 2 với chính nó để có được số cách sắp xếp. Thuật ngữ toán học để gọi số lần nhân 2 với chính nó để được một số đã cho là *logarit*¹.

¹ Nói một cách chặt chẽ thì đây là *logarit cơ số 2*. Còn có những định nghĩa khác về logarit. Chẳng hạn, thay vì số 2, ta có thể lấy các số 10 nhân với nhau để tạo thành số đã cho. Nó được gọi là *logarit cơ số 10*. Không phải nói thì bạn cũng hiểu là cần ít số 10 hơn số 2 để thu được số đã cho.

Định nghĩa chính thức về entropy trong vật lý học là số lần bạn phải nhân số toán học e . Con số này xấp xỉ bằng 2,71828183. Nói cách khác, entropy là *logarit cơ số e*

Như vậy, 65 là logarit của 2^{65} . Chính vì vậy entropy là logarit của số các cách sắp xếp.

Trong số 2^{65} khả năng thì chỉ có một tỉ phần rất nhỏ thực sự là các câu có ý nghĩa. Chúng ta có thể đoán chừng là vào khoảng một tỉ. Để có được 1 tỉ, bạn phải nhân 2 với chính nó khoảng 30 lần. Nói cách khác, 1 tỉ là cỡ 2^{30} , hay 30 là logarit của 1 tỉ. Như vậy thì entropy của các câu có ý nghĩa chỉ vào khoảng 30, tức là ít hơn nhiều so với 65. Mớ lộn xộn vô nghĩa của các ký hiệu rõ ràng là có entropy lớn hơn sự kết hợp tạo thành các câu mạch lạc. Không có gì phải ngạc nhiên là entropy sẽ tăng lên khi bạn xáo trộn lung tung các chữ cái.

Giả sử công ty BMW cải tiến chất lượng của nó đến mức mọi chiếc xe sản xuất từ dây chuyền đều giống y hệt nhau. Nói cách khác, giả sử rằng có một và chỉ một cách sắp xếp các nguyên tử được chấp nhận là một chiếc BMW thực thụ. Vậy thì khi đó entropy của nó sẽ là bao nhiêu? Câu trả lời là 0. Sẽ không có sự bất định dù là về bất kỳ chi tiết nào khi một chiếc BMW được xuất ra từ dây chuyền sản xuất. Bất cứ khi nào xác định chỉ có một cách sắp xếp duy nhất thì sẽ hoàn toàn không có entropy.

Nguyên lý thứ hai của nhiệt động lực học, trong đó phát biểu rằng entropy luôn tăng, chỉ là một cách để nói rằng theo thời gian, chúng ta có xu hướng mất dần dấu vết của các chi tiết. Hãy tưởng tượng chúng ta rỏ một giọt mực nhỏ vào một bồn đầy nước nóng. Ban đầu, chúng ta biết chính xác vị trí của giọt mực. Số các cấu hình có thể của giọt mực là không quá lớn. Nhưng khi chúng ta

hay còn gọi là *logarit tự nhiên*, trong khi số các bit (là 65 trong trường hợp ví dụ ở trên) là *logarit cơ số 2*. Logarit tự nhiên nhỏ hơn so với số các bit là 0,7 lần. Như vậy, entropy của một thông báo 65 bit sẽ là $0,7 \times 65 = 45$. Trong cuốn sách này, tôi bỏ qua sự khác biệt giữa số bit và entropy.

quan sát mực tan dần vào nước, chúng ta bắt đầu biết ngày càng ít về vị trí của từng phân tử mực. Số các cách sắp xếp tương ứng với những gì chúng ta thấy – chính là một bồn nước đồng nhất màu ghi – trở nên vô cùng lớn. Chúng ta có thể đợi và đợi hoài nhưng không thấy mực sắp xếp trở lại thành một giọt nguyên vẹn như cũ. Entropy đã tăng lên. Đó chính là Nguyên lý thứ hai của nhiệt động lực học. Các vật luôn có xu hướng trở nên đồng nhất và đơn điệu.

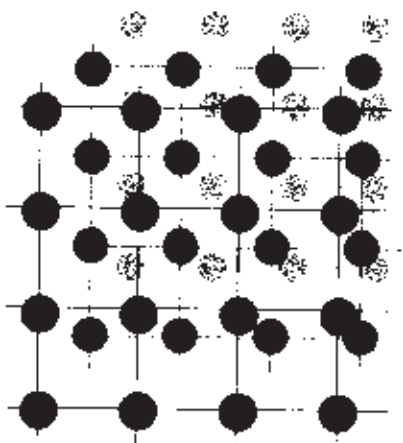
Và đây là một ví dụ nữa: một bồn tắm đầy nước nóng. Chúng ta biết được bao nhiêu về nước ở trong bồn? Giả sử rằng nước đã ở trong bồn đủ lâu cho đến khi không còn chuyển động nào có thể nhận biết được nữa. Chúng ta có thể đo được lượng nước trong bồn (200 lít), và nhiệt độ của nó (50°C). Nhưng bồn chứa đầy các phân tử nước và rõ ràng là số cách sắp xếp các phân tử là rất lớn tương ứng với điều kiện đã cho – tức là 200 lít nước ở nhiệt độ 50°C . Chúng ta sẽ biết nhiều hơn nếu ta có thể đo được từng phân tử một cách chính xác.

Entropy là thước đo có bao nhiêu thông tin được ẩn giấu trong các chi tiết – các chi tiết mà vì lý do này hay khác quá khó để có thể quan sát được. Vì vậy, *entropy là thông tin ẩn giấu*. Trong mọi trường hợp, thông tin bị ẩn giấu là vì nó liên quan đến những thứ quá nhỏ bé để có thể nhìn thấy và quá nhiều để có thể theo dõi được hết. Trong trường hợp bồn nước tắm, những thứ này chính là những chi tiết vi mô của các phân tử nước, đó là vị trí và chuyển động của mỗi phân tử nước trong số hàng tỉ tỉ phân tử trong bồn.

Vậy điều gì sẽ xảy ra với entropy nếu nước được làm nguội đến 0 độ tuyệt đối? Nếu chúng ta loại bỏ hết năng lượng khỏi nước, các phân tử sẽ tự sắp xếp thành một tổ hợp duy nhất, đó là mạng

đóng băng tạo nên một tinh thể nước đá hoàn hảo.

Ngay cả nếu các phân tử là quá nhỏ để có thể nhìn thấy, nhưng nếu bạn đã quen với các tính chất của tinh thể, bạn cũng có thể dự đoán được vị trí của mỗi phân tử. Một tinh thể hoàn hảo, giống như một chiếc BMW hoàn hảo, không có entropy.



Mạng tinh thể

Bạn có thể nhét bao nhiêu bit vào một thư viện?

Sự mơ hồ và sắc thái tinh tế trong việc sử dụng ngôn ngữ thường được đánh giá cao. Thực tế nếu các từ đều có nghĩa cực kỳ chính xác và có thể được lập trình vào máy tính, thì ngôn ngữ và văn chương sẽ bị nghèo nàn đi rất nhiều. Nhưng sự chính xác trong khoa học lại đòi hỏi cấp độ chính xác cao về ngôn ngữ. Từ *thông tin* có thể mang nhiều nghĩa. “Tôi nghĩ là thông tin của bạn sai rồi”. “Cho bạn thông tin nhé, Hỏa tinh có hai mặt trăng”. “Tôi có bằng thạc sĩ về khoa học thông tin”. “Bạn có thể tìm thông tin ở Thư viện của Quốc hội”. Trong mỗi câu này thì từ *thông tin* được sử dụng theo những cách khác nhau. Chỉ có từ thông tin trong câu cuối là có ý nghĩa khi hỏi “Vị trí của thông tin ở đâu?”

Chúng ta hãy theo đuổi ý tưởng về vị trí này. Nếu tôi nói với bạn rằng Grant được mai táng ở Mộ của Grant, chúng ta sẽ không ngần ngại mà đồng ý rằng tôi đã cung cấp cho bạn một chút thông tin. Nhưng thông tin đó ở đâu? Trong đầu bạn? Trong đầu tôi? Liệu nó

có hơi quá trừu tượng để có một vị trí không? Liệu nó có khuếch tán ra khắp vũ trụ cho ai đó, ở đâu đó sử dụng không?

Và đây là một câu trả lời rất cụ thể: thông tin ở trên trang giấy, được lưu giữ dưới dạng các chữ cái cấu tạo bởi các phân tử cacbon và các phân tử khác. Theo nghĩa này, thông tin là một điều gì đó cụ thể, gần như là một chất. Nó cụ thể đến mức thông tin trong sách của bạn và trong sách của tôi là những thông tin khác nhau. Trong cuốn sách của bạn, nó nói rằng Grant được mai táng ở Mộ của Grant. Bạn có thể cho rằng cuốn sách của tôi cũng nói đúng như thế, nhưng bạn không biết một cách chắc chắn. Có thể cuốn sách của tôi nói rằng Grant được mai táng ở Đại Kim tự tháp Giza. Thực tế, không cuốn sách nào chứa thông tin đó cả. Thông tin Grant mai táng ở Mộ của Grant là ở chính trong Mộ của Grant.

Theo nghĩa mà các nhà vật lý sử dụng từ này thì thông tin được tạo bởi vật chất¹, và nó được tìm thấy ở một nơi nào đó. Thông tin trong cuốn sách này (tức cuốn sách gốc - ND) nằm trong một hình khối chữ nhật kích thước 25,4cm, 15,2cm và 2,5cm, tức là $25,4 \times 15,2 \times 2,5$ hay $965,2\text{cm}^3$. Có bao nhiêu bit thông tin ẩn chứa bên trong bìa của cuốn sách này? Trong một dòng, có chỗ cho khoảng 70 ký tự – chữ cái, dấu câu và dấu cách. Với 37 dòng mỗi trang và 350 trang, thì có khoảng một triệu ký tự.

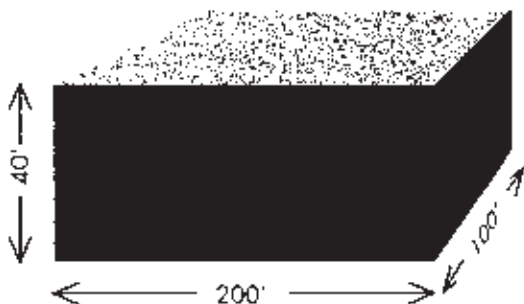
Bàn phím máy tính của tôi có khoảng 100 ký hiệu, kể cả các chữ cái in thường và in hoa, các chữ số và các dấu câu. Điều đó có nghĩa là số các thông báo khác biệt có thể chứa đựng trong cuốn sách này là khoảng 100 nhân với chính nó một triệu lần – nói cách khác, là 100 lũy thừa một triệu. Số lượng đó, một con số rất lớn

¹ Khi các nhà vật lý sử dụng từ *vật chất*, họ không chỉ hàm ý những vật được tạo bởi các nguyên tử. Các hạt cơ bản khác, như photon, neutrino, và graviton, cũng được coi như là vật chất.

tương đương với 2 nhân với chính nó 7 triệu lần. Tức cuốn sách chứa khoảng 7 triệu bit thông tin. Nói cách khác, nếu tôi viết cuốn sách này bằng mã Morse, nó sẽ dùng tới khoảng 7 triệu các dấu chấm và gạch. Chia con số đó cho thể tích của cuốn sách, chúng ta có được 7252 bit trên một centimét khối. Đó chính là mật độ thông tin trong thể tích này của các trang in.

Tôi từng đọc ở đâu đó rằng thư viện lớn ở Alexandria chứa một nghìn tỉ bit thông tin trước khi nó bị đốt cháy. Tuy không phải là một trong Bảy kỳ quan thế giới, song dù sao thì thư viện này cũng là một trong những di tích cổ xưa kỳ diệu nhất. Được xây dựng trong suốt triều đại của Ptolemy II, nó được cho là chứa bản sao của mọi tài liệu quan trọng đã từng được viết dưới dạng một nửa triệu cuộn giấy da. Không ai biết ai đã đốt cháy nó, song chúng ta có thể chắc chắn là rất nhiều thông tin vô giá đã bị biến mất. Nhưng cụ thể là bao nhiêu? Tôi đoán rằng một cuộn giấy da tương đương với khoảng 50 trang giấy in hiện đại. Nếu các trang này giống như các trang bạn đang đọc, thì một cuộn giấy da chứa khoảng một triệu bit, với sai số khoảng vài trăm ngàn. Với tỷ lệ đó thì thư viện của Ptolemy chứa khoảng một nửa ngàn tỉ (1 ngàn tỉ = 10^{12}) bit – gần như tất cả những gì tôi đã đọc.

Sự mất mát đó là một trong những bất hạnh lớn của nhân loại vì nếu không, những học giả của thế giới cổ đại sẽ còn sống mãi tới ngày hôm nay. Nhưng cũng có thể còn tồi tệ hơn. Sẽ là như thế nào nếu khắp mọi góc ngách, mọi khoảng trống đều được lấp đầy sách như cuốn sách này? Tôi không biết chính xác thư viện vĩ đại đó lớn chừng nào, nhưng cứ giả sử nó có kích thước 200×100×40 mét hay 800.000 mét khối – cỡ kích thước của một tòa nhà công khá lớn ngày nay.



Với những hiểu biết đó, thật dễ dàng ước tính được có thể nhét được bao nhiêu bit vào trong toà nhà đó. Với 7252 bit trong một centimét khối, tổng số bit sẽ là 28×10^{14} . Một con số lớn khủng khiếp.

Nhưng tại sao lại dừng ở những cuốn sách? Nếu mỗi cuốn sách thu nhỏ lại bằng 1 phần 10 thể tích của nó thì có thể nhồi thêm 10 lần số bit nữa. Nếu biến chúng thành vi phim thì có thể còn lưu trữ được nhiều hơn. Và sự số hóa các cuốn sách thậm chí có thể còn cho phép lưu trữ được nhiều hơn nữa.

Liệu có một giới hạn vật lý nào đối với khoảng không gian cần để chứa 1 bit không? Kích thước vật lý của một bit dữ liệu thực lớn hơn một nguyên tử, một hạt nhân hay một hạt quark? Liệu chúng ta có thể chia nhỏ không gian một cách vô tận và nhét vào nó một lượng vô tận thông tin hay không? Hay là có một giới hạn – không phải là giới hạn công nghệ thực tế, – mà là hệ quả của một quy luật sâu sắc của tự nhiên?

Bit nhỏ bé nhất

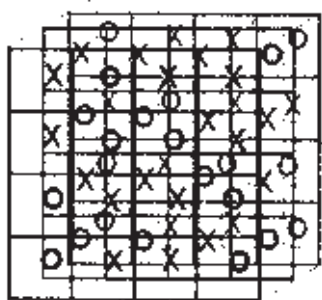
Nhỏ hơn cả một nguyên tử, một hạt quark, hay thậm chí nhỏ hơn cả một hạt neutrino, bit có thể là viên gạch cơ bản nhất. Không có

bất kỳ một cấu trúc nào, bit chỉ đơn giản là ở đó hoặc không. John Wheeler tin rằng tất cả các vật thể vật chất đều được cấu tạo từ các bit thông tin và ông biểu thị ý tưởng của mình bằng khẩu hiệu sau: “*Nó tạo bởi bit*”.

John hình dung rằng một bit, cái cơ bản nhất của vạn vật, nhỏ bằng kích thước nhỏ nhất có thể – đó là lượng tử cơ bản của khoảng cách được Max Planck khám phá hơn một thế kỷ trước. Một bức tranh thô sơ mà hầu hết các nhà vật lý có trong đầu, đó là không gian có thể được chia nhỏ thành các ô kích thước Planck, tương tự như một bàn cờ ba chiều. Một bit thông tin có thể được chứa trong mỗi ô. Bit có thể được hình dung như là một hạt rất đơn giản. Mỗi ô có thể chứa một hạt hoặc không. Một cách khác để hình dung các ô, đó là chúng tạo nên một bàn cờ carô lớn ba chiều.

Theo triết lý “*Nó tạo bởi bit*” của Wheeler, các điều kiện vật lý của thế giới tại thời điểm đã cho có thể được biểu thị bởi một “*thông báo*” như vậy. Nếu chúng ta biết cách làm thế nào để đọc được mật mã đó, chúng ta sẽ biết chính xác điều gì đang diễn ra trong mẫu không gian ấy. Chẳng hạn, đó có phải chính là cái mà chúng ta thường gọi là không gian trống rỗng – chân không – hay là một miếng sắt hay là bên trong một hạt nhân?

Vì mọi thứ trong thế giới thay đổi theo thời gian – hành tinh chuyển động theo quỹ đạo, các hạt phân rã, con người sinh ra và chết đi – các thông báo trong các ô O hay X cũng thay đổi. Tại một thời điểm, bức tranh có thể nhìn giống như hình vẽ trên. Giấy lát sau, nó đã có thể bị sắp xếp lại.



Trong thế giới thông tin của Wheeler, các định luật vật lý bao hàm các quy tắc cho biết cấu hình của các bit được cập nhật từ thời điểm này sang thời điểm khác như thế nào. Những quy tắc như vậy, nếu xây dựng một cách đúng đắn, sẽ cho phép các sóng O và $\times$ truyền đi khắp mạng lưới các ô và biểu thị sóng ánh sáng. Một nhóm lớn dày đặc các ô O có thể sẽ làm nhiễu loạn sự phân bố của các $\times$ và O ở khu vực lân cận, và trường hấp dẫn của một vật nặng có thể được biểu diễn theo cách đó.

Giờ chúng ta hãy quay trở lại câu hỏi bao nhiêu thông tin có thể được nhét trong thư viện Alexandria. Tất cả những gì chúng ta phải làm là chia thể tích của thư viện – 8.10^{11} centimét khối – thành các ô kích thước Planck. Câu trả lời là khoảng 10^{122} bit.

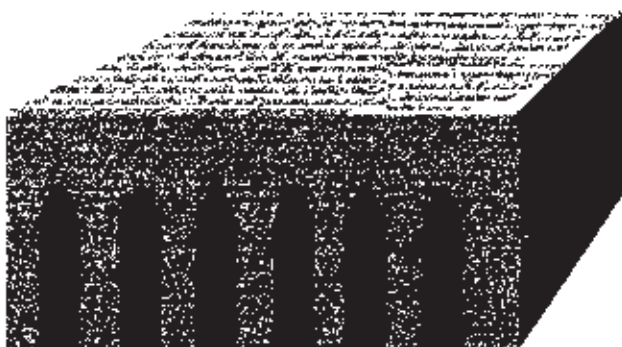
Đó là một con số cực lớn: lớn hơn nhiều so với toàn bộ hệ thống Internet và tất cả các quyển sách, ổ cứng, đĩa CD trên thế giới lưu trữ – thực sự thì có thể coi là vô cùng lớn. Để có thể hình dung được 10^{122} bit thông tin là bao nhiêu, hãy tưởng tượng phải cần có bao nhiêu cuốn sách để lưu giữ nó. Câu trả lời là lớn hơn rất nhiều số sách mà chúng ta có thể chất vào vũ trụ quan sát được.

Triết lý “Nó tạo bởi bit”, mô tả một thế giới “nhiều ngăn” được chất đầy các bit thông tin kích thước Planck, là một triết lý hấp dẫn. Nó ảnh hưởng đến các nhà vật lý trên nhiều cấp độ. Richard Feynman là một người ủng hộ mạnh mẽ cho triết lý này. Ông đã dành rất nhiều thời gian cho việc xây dựng những thế giới được đơn giản hóa tạo bởi các bit chất đầy không gian. Nhưng nó không đúng. Rồi chúng ta sẽ thấy, Ptolemy sẽ phải thất vọng khi biết rằng thư viện vĩ đại của mình cũng không bao giờ có thể chứa nổi quá 10^{74} bit¹.

¹ Thật tình cờ, đó chính là số các bit có thể được chứa trong một vũ trụ đầy những cuốn sách in.

Tôi có thể hình dung khá rõ một triệu nghĩa là thế nào: một hình lập phương có độ dài mỗi cạnh là một mét có thể chứa được một triệu chiếc kẹo gôm. Nhưng còn một tỉ hay một ngàn tỉ? Khó mà có thể hình dung ra sự khác biệt, dù một ngàn tỉ lớn hơn một tỉ tới một ngàn lần. Và các con số như 10^{74} và 10^{122} là quá lớn để lĩnh hội được, ngoại trừ việc nói rằng 10^{122} lớn hơn rất nhiều so với 10^{74} . Thực sự thì 10^{74} – số các bit thực sự có thể chất đầy thư viện Alexandria – chiếm một tỷ phần vô cùng nhỏ của 10^{122} bit mà chúng ta đã ước tính. Vậy tại sao lại có một sự khác nhau lớn đến như vậy? Đó là câu chuyện của một chương sau này, nhưng tôi sẽ đưa ra cho bạn một đầu mối ngay bây giờ.

Nỗi sợ hãi và chứng hoang tưởng của các vua chúa là một chủ đề quá phổ biến của lịch sử. Tôi không biết liệu Ptolemy có phải chịu đựng điều đó không, nhưng hãy thử tưởng tượng ông đã phản ứng như thế nào với một tin đồn của kẻ thù rằng thông tin bí mật đang được giấu trong thư viện của ông. Ông có thể đã cảm thấy có lý do chính đáng để thông qua một đạo luật khắc nghiệt là cấm bất kỳ một thông tin bị che giấu nào. Trong trường hợp thư viện Alexandria, đạo luật tưởng tượng của Ptolemy là sẽ yêu cầu mọi bit thông tin phải được nhìn thấy từ bên ngoài tòa nhà. Để thỏa mãn đạo luật, tất cả các thông tin phải được viết trên tường bên ngoài của thư viện. Các thủ thư bị cấm không được giấu một chút thông tin nào ở bên trong. Chữ viết tượng hình cổ Ai Cập trên tường bên ngoài – được phép. Chữ Latinh, Hy Lạp, Ả Rập viết trên tường – được phép. Nhưng các cuộn giấy da mang vào bên trong thì cấm. Đó quả là một sự lãng phí không gian! Nhưng đó là luật. Trong bối cảnh như vậy, số bit tối đa mà Ptolemy có thể lưu trữ trong thư viện của mình sẽ là bao nhiêu?



Để tìm ra câu trả lời, Ptolemy yêu cầu những người hầu của mình đo đạc một cách thận trọng các chiều bên ngoài của tòa nhà và tính toán diện tích của các bức tường bên ngoài và mái (ngoại trừ các vòm và sàn nhà). Họ sẽ được $(200 \times 40) + (200 \times 40) + (100 \times 40) + (100 \times 40) + (200 \times 100) = 44.000$ mét vuông. Hãy lưu ý lần này đơn vị là mét *vuông* chứ không phải mét *khối*.

Nhưng nhà vua lại muốn diện tích được đo bằng đơn vị Planck chứ không phải là mét vuông. Tôi sẽ tính giùm bạn. Số các bit mà ông có thể trát lên tường và mái nhà là khoảng 10^{74} .

Một trong những khám phá gây ngạc nhiên và lạ lùng nhất của vật lý học hiện đại là trong thế giới thực, không cần phải có đạo luật của Ptolemy. Tự nhiên đã cung cấp một đạo luật như vậy và ngay cả các đức vua cũng không thể phá vỡ được nó. Một trong những quy luật sâu sắc nhất của tự nhiên mà chúng ta đã khám phá ra: đó là *lượng thông tin tối đa có thể nhét vào một vùng không gian bằng diện tích của biên vùng không gian đó, chứ không phải thể tích*. Sự hạn chế kỳ lạ này về việc lấp đầy không gian bằng thông tin sẽ là chủ đề của Chương 18.

Entropy và nhiệt

Nhiệt là năng lượng của sự chuyển động hỗn loạn ngẫu nhiên, và entropy là lượng các thông tin vi mô bị che giấu. Xét một bồn nước giờ đã nguội đến nhiệt độ thấp nhất có thể – tức là 0 độ tuyệt đối – nhiệt độ mà tại đó mọi phân tử đều bị cố định vào một vị trí nhất định trong tinh thể nước đá. Sự mờ nhòe về vị trí của mỗi phân tử là rất nhỏ. Trong thực tế, bất kỳ ai biết về lý thuyết các tinh thể nước đá đều có thể nói chính xác vị trí của mỗi nguyên tử nằm ở đâu, ngay cả khi không có kính hiển vi. Nghĩa là không có thông tin nào bị che giấu cả. Năng lượng, nhiệt độ, và cả entropy nữa, tất cả đều bằng 0.

Giờ hãy thêm một chút nhiệt bằng cách làm nóng nước đá. Các phân tử bắt đầu lúc lắc nhẹ, nhưng chỉ một chút thôi. Một lượng thông tin nhỏ đã bị mất; chúng ta mất dấu vết về các chi tiết, nhưng cũng chỉ một chút thôi. Số các cấu hình mà chúng ta có thể dễ nhầm lẫn với nhau là lớn hơn trước. Vì vậy, một chút nhiệt làm tăng entropy, và tình hình sẽ càng tồi tệ hơn khi càng cung cấp thêm nhiệt. Tinh thể tiến dần đến điểm nóng chảy, và các phân tử bắt đầu hòa trộn vào nhau. Việc theo sát các chi tiết nhanh chóng trở nên khó khăn. Nói cách khác, khi năng lượng tăng thì entropy cũng tăng lên.

Năng lượng và entropy không phải là cùng một thứ. Năng lượng có nhiều dạng khác nhau, nhưng một trong các dạng đó, là nhiệt, lại có mối liên hệ không thể tách rời với entropy.

Nói thêm về Nguyên lý thứ hai

Nguyên lý thứ nhất của nhiệt động lực học chính là định luật bảo toàn năng lượng: bạn không thể sinh ra năng lượng cũng như không thể tiêu hủy nó; tất cả những gì bạn có thể làm là thay đổi dạng của nó. Nguyên lý thứ hai còn làm nản lòng hơn: sự không biết luôn luôn tăng.

Hãy hình dung một cảnh tượng trong đó một vận động viên nhảy cầu lao mình xuống bể bơi từ cầu nhảy:

thế năng $\rightarrow$ động năng $\rightarrow$ nhiệt

Do sức cản của nước, anh ta nhanh chóng dừng lại, và thế năng ban đầu đã được chuyển hóa thành sự gia tăng nhẹ nhiệt năng của nước. Với sự tăng nhẹ đó, thì entropy cũng tăng nhẹ theo.

Vận động viên nhảy cầu này muốn thực hiện lại bài biểu diễn, nhưng anh ta hơi lười và không muốn trèo lên cầu thang để đi lên cầu nhảy một lần nữa. Anh ta biết rằng năng lượng không bao giờ tự nhiên biến mất, vì vậy tại sao không đợi cho đến khi một phần nhiệt trong bể bơi chuyển hóa ngược trở lại thành thế năng – thế năng của *chính anh ta*? Không gì liên quan đến bảo toàn năng lượng lại cản trở anh ta được đẩy vọt lên cầu nhảy trong khi bể bơi thì lạnh đi một chút: quá trình ngược với khi nhảy. Không chỉ có việc anh ta sẽ được đẩy lên cầu nhảy mà entropy của bể bơi cũng sẽ giảm, biểu thị sự không hiểu biết cũng giảm đi một cách đáng kinh ngạc.

Không may là, người bạn ướt nhẹp của chúng ta chỉ hoàn thành được nửa vòng nhiệt động học của mình – nửa đầu tiên. Ở nửa sau, anh ta sẽ phải học điều mà tất cả chúng ta đều biết: Entropy *luôn* tăng. Năng lượng *luôn* suy biến. Sự thay đổi của thế năng,

động năng, hóa năng và các dạng năng lượng khác thành nhiệt luôn thiên vị làm tăng nhiệt và giảm các dạng năng lượng không hỗn độn và có trật tự khác. Đó chính là nguyên lý thứ hai: tổng entropy của thế giới luôn tăng.

Đó cũng chính là lý do mà một chiếc xe ô tô sẽ đứng kít lại khi người ta nhấn phanh, nhưng khi nhấn phanh một chiếc xe đang đứng yên thì sẽ không làm cho nó chuyển động. Nhiệt ngẫu nhiên của mặt đất và không khí không thể tự chuyển hoá thành động năng có trật tự hơn của một chiếc xe đang chuyển động. Đó cũng là lý do vì sao không thể thu nhiệt của nước biển để giải quyết vấn đề năng lượng của thế giới. Nói chung thì năng lượng có trật tự sẽ bị suy biến thành nhiệt chứ không có chiều ngược lại.

Nhiệt, entropy, thông tin – những khái niệm rất thực dụng và thực tiễn này có liên quan gì đến lỗ đen và nền tảng của vật lý học? Câu trả lời là mọi thứ. Trong chương tiếp theo, chúng ta sẽ thấy rằng các lỗ đen về cơ bản là nơi tích trữ những thông tin ẩn giấu. Thực tế thì chúng là những chỗ lưu trữ thông tin được gói ghém chặt nhất trong tự nhiên. Và đó có lẽ là định nghĩa tốt nhất của một lỗ đen. Chúng ta hãy cùng tìm hiểu xem Jacob Bekenstein và Stephen Hawking đã phát hiện ra sự thật quan trọng này như thế nào.

BẠN CÓ THỂ NHẾT BAO NHIÊU THÔNG TIN VÀO MỘT LỖ ĐEN

NĂM 1972, KHI TÔI ĐANG NÓI CHUYỆN với Richard Feynman trong quán cà phê West End thì một nghiên cứu sinh ở Princeton tên là Jacob Bekenstein đã tự đặt ra cho mình câu hỏi sau đây: nhiệt, entropy và thông tin có liên quan gì đến lỗ đen? Vào lúc đó, Princeton là trung tâm của thế giới chuyên nghiên cứu về vật lý hấp dẫn. Điều này có thể liên quan đến thực tế là Einstein đã sống ở đó hơn hai thập kỷ, mặc dù vào năm 1972 thì ông đã mất được 17 năm. Người đã lôi cuốn được rất nhiều nhà vật lý trẻ xuất sắc nghiên cứu hấp dẫn và suy ngẫm về lỗ đen là giáo sư Archibald Wheeler của Đại học Princeton – một trong những người có tầm nhìn xa vĩ đại nhất của vật lý học hiện đại. Trong số nhiều nhà vật lý nổi tiếng chịu ảnh hưởng sâu sắc từ Wheeler trong suốt thời kỳ này có Charles Misner, Kip Thorne, Claudio Teitelboim, và Jacob Bekenstein. Wheeler trước đây đã từng là người hướng dẫn luận án tiến sĩ của Feynman và là một môn đệ của Einstein. Giống như người đàn ông vĩ đại đó, Wheeler tin rằng chìa khóa để mở ra các quy luật của tự nhiên nằm ở lý thuyết hấp dẫn. Nhưng không giống Einstein, Wheeler, người đã từng làm việc với Niels Bohr, cũng còn là một tín đồ của Cơ học lượng tử. Vì vậy, Princeton là

một trung tâm nghiên cứu không chỉ về hấp dẫn mà còn về hấp dẫn lượng tử nữa.

Vào thời đó, lý thuyết hấp dẫn đã là một dòng nước ngược tương đối lỗi thời trong vật lý lý thuyết. Các nhà vật lý hạt cơ bản đã có những bước tiến khổng lồ trong cuộc hành trình quy giản luận tiến đến những cấu trúc ngày càng nhỏ bé hơn. Nguyên tử sau một thời gian dài đã nhường chỗ cho hạt nhân, và rồi hạt nhân lại nhường chỗ cho các quark. Neutrino lúc đó đang tìm cho mình một vai trò đúng đắn là những đối tác bình đẳng với các electron, và các hạt mới như quark duyên được tiên đoán tồn tại và trong vòng một vài năm đã được phát hiện bằng thực nghiệm. Sự phóng xạ của các hạt nhân cuối cùng cũng đã được hiểu rõ, và Mô hình chuẩn của các hạt cơ bản chuẩn bị được công bố. Các nhà vật lý hạt cơ bản, trong đó có cả tôi, cho rằng họ có những công việc tốt để làm, thay vì lãng phí thời gian cho hấp dẫn. Cũng có những ngoại lệ, như Steven Weinberg, nhưng hầu hết đều xem đề tài đó là phù phiếm.

Hồi tưởng lại thời đó, thì sự coi thường đối với hấp dẫn là một quan điểm rất thiếu cận. Tại sao những người dẫn đầu năng nổ của vật lý học – những người tiên phong dũng cảm của lĩnh vực này – lại không quan tâm đến hấp dẫn như vậy? Câu trả lời là, có lẽ, họ tuyệt nhiên không nhận thấy sự ảnh hưởng của hấp dẫn đến cách thức tương tác giữa các hạt cơ bản. Hãy tưởng tượng rằng chúng ta có một công tắc cho phép tắt lực điện giữa hạt nhân nguyên tử và các electron, do đó chỉ còn lại tương tác hấp dẫn giữ các electron trên quỹ đạo. Điều gì sẽ xảy ra với một nguyên tử khi chúng ta bật công tắc về phía tắt? Nguyên tử sẽ ngay lập tức giãn nở, vì lực giữ các cấu phần của nó lại với nhau đã giảm. Vậy một nguyên tử điển

hình có thể trở nên lớn đến mức nào? Nó sẽ lớn hơn nhiều so với toàn bộ vũ trụ quan sát được!

Và điều gì sẽ xảy ra nếu như chúng ta bật lực điện nhưng tắt lực hấp dẫn? Khi đó Trái đất sẽ bay ra xa khỏi Mặt trời, nhưng sự thay đổi trong mỗi nguyên tử thì quá nhỏ nên hầu như không gây ra bất kỳ sự khác biệt nào. Về mặt định lượng, lực hấp dẫn giữa hai electron trong một nguyên tử yếu hơn xấp xỉ một triệu tỉ tỉ lần so với lực điện.

Đó chính là bối cảnh tri thức khi John Wheeler dừng cảm bắt tay vào thăm dò cả một đại dương mênh mông những điều chưa biết ngăn cách thế giới thông thường của các hạt cơ bản với lý thuyết hấp dẫn của Einstein. Bản thân Wheeler đã là một bí ẩn sống. Ông có vẻ ngoài trông như một thương gia bảo thủ. Ông có thể dễ dàng thoải mái trong phòng họp ban giám đốc của các tập đoàn bảo thủ nhất nước Mỹ. Thực tế thì những quan điểm chính trị của ông cũng khá bảo thủ. Chiến tranh lạnh đã qua từ lâu, nhưng John vẫn là một người chống cộng trung thành. Nhưng trong suốt những năm 1960 và 1970, vào thời kỳ hoạt động sôi nổi chưa từng có tại các khu đại học, ông đã được các sinh viên rất yêu quý. Claudio Teitelboim, người mà ngày hôm nay đã trở thành một nhà vật lý xuất sắc nhất Mỹ Latinh, đã từng là một trong những sinh viên của Wheeler¹. Claudio, hậu duệ của một gia đình chính trị cánh tả nổi tiếng của Chilê, là một trong nhiều môn đệ của John mà sau này đã trở nên danh tiếng.

¹ Cuộc đời của Claudio chứa đầy những sự kiện kịch tính. Một trong những cuộc phiêu lưu hấp dẫn nhất của ông xảy ra cách đây 2 năm, khi ông phát hiện ra cha của mình là Álvaro Bunster, tộc trưởng của một gia đình có truyền thống chống phát xít anh hùng. Như cái tit giạt trong một tờ báo lớn của Chilê : “Nhà vật lý học nổi tiếng của Chilê, người đi tìm nguồn gốc của vũ trụ đã tìm ra nguồn gốc của chính mình”. Chính vì thế mà Claudio đã thay đổi họ của mình thành Bunster.

Gia đình ông về mặt chính trị là đồng minh với Salvador Allende, còn bản thân Claudio là kẻ thù can đảm và công khai đối với chế độ độc tài Pinochet. Mặc dù có sự khác nhau về quan điểm chính trị, nhưng John và Claudio vẫn có một tình bạn khác thường, dựa trên tình yêu và sự tôn trọng lẫn nhau đối với quan điểm của mỗi bên.

Lần đầu tiên tôi gặp Wheeler là vào năm 1961. Tôi là sinh viên chưa tốt nghiệp của trường City College, New York, với một lý lịch khoa học phần nào không được chính thống lắm. Một trong những người hướng dẫn tôi, Harry Soodak – vị giáo sư kỳ quặc, luôn nhai xigà, xuất thân từ giai cấp công nhân Do Thái cánh tả giống như tôi – đã dẫn tôi xuống Princeton để gặp Wheeler. Hy vọng rằng Wheeler sẽ có ấn tượng và nhận tôi làm nghiên cứu sinh, mặc dù tôi vẫn chưa có bằng tốt nghiệp. Lúc đó, tôi đang làm việc cho một cửa hàng sửa ống nước ở Nam Bronx, và mẹ tôi nghĩ rằng tôi phải ăn mặc cho xứng với cuộc gặp mặt này. Đối với mẹ tôi thì như thế có nghĩa là tôi phải bày tỏ tình đoàn kết với thành phần xã hội của mình và nên mặc bộ quần áo lao động. Ngày nay, người sửa ống nước của tôi ở Palo Alto ăn mặc cũng chẳng khác gì tôi khi giảng bài ở Đại học Stanford. Nhưng vào năm 1961 thì trang phục sửa ống nước của tôi cũng giống như của bố tôi và tất cả những người bạn sửa ống nước của ông ở Nam Bronx nói chung, là một áo somi bằng vải flanen xanh, và đôi giày lao động mũi bằng thép khá nặng nề. Tôi cũng chung một cái mũ len đan màu xanh sẫm để giữ cho tóc khỏi bị bụi bẩn.

Khi Harry tới đón tôi để cùng đến Princeton, ông đứng sững một lúc, điếu xigà rớt xuống khỏi miệng, rồi ông bảo tôi phải lên gác thay đồ ngay. Ông bảo John Wheeler không phải típ người như vậy.

Khi bước chân vào văn phòng của vị giáo sư nổi tiếng ấy, tôi đã thấy ngay điều mà Harry muốn nói. Chỉ có một cách miêu tả người

đang chào đón tôi lúc đó là trông ông như một người cộng hòa chính hiệu. Tôi đang làm cái quái quỷ gì ở sào huyệt của người da trắng theo đạo tin lành của một trường đại học cơ chứ?

Hai giờ sau, tôi đã hoàn toàn bị mê hoặc. John mô tả một cách hào hứng hình dung của ông về không gian và thời gian sẽ trở thành một thế giới sủi bọt, hoang dại của những thăng giáng lượng tử khi được nhìn qua một kính hiển vi cực mạnh. Ông nói với tôi rằng vấn đề sâu sắc và hứng thú nhất của vật lý đó là thống nhất hai lý thuyết vĩ đại của Einstein – Thuyết tương đối rộng và Cơ học lượng tử. Ông còn giải thích rằng chỉ ở khoảng cách Planck thì các hạt cơ bản mới bộc lộ hết bản chất tự nhiên của chúng, và tất cả đều là hình học – hình học lượng tử. Với một nhà vật lý trẻ tuổi đầy khao khát thì vẻ ngoài của vị thương gia bảo thủ này đã biến thành một người nhìn xa trông rộng lý tưởng. Hơn bất kỳ điều gì khác, tôi muốn được theo con người này tham gia vào trận chiến.

John Wheeler có thực sự bảo thủ như vẻ ngoài của ông không? Tôi thực sự không biết. Nhưng chắc chắn ông không phải là người làm ra vẻ đạo đức kiểu cách. Một lần, khi John cùng Anne, vợ tôi, và tôi đang uống nước ở quán cà phê Valparaiso trên bờ biển, ông chợt đứng dậy nói là để đi dạo và muốn xem các cô gái Nam Mỹ mặc bikini trông thế nào. Lúc đó, ông ấy đã ngoài 80 tuổi.

Dù sao tôi cũng không bao giờ trở thành học trò của Wheeler; Princeton đã không nhận tôi. Vì vậy tôi trở lại Cornell, nơi mà vật lý học tẻ nhạt hơn rất nhiều. Phải mất nhiều năm tôi mới lại có cảm giác xúc động như hồi năm 1961.

Vào khoảng năm 1967, Wheeler đã tỏ ra rất quan tâm đến những thiên thể bị co sập lại do hấp dẫn mà Karl Schwarzschild đã mô tả từ năm 1917. Lúc đó, chúng được gọi là các sao đen hay sao tối.

Nhưng cái tên đó không thể hiện được bản chất của các thiên thể đó – thực tế thì chúng là những cái lỗ sâu trong không gian mà lực hút hấp dẫn của chúng là không thể cưỡng lại được. Wheeler bắt đầu gọi chúng là các lỗ đen. Đầu tiên cái tên này bị phản đối bởi ban biên tập của tạp chí *Physical Review* – một tạp chí vật lý hàng đầu của Mỹ. Ngày nay, lý do mà tạp chí đó đưa ra nghe có vẻ khá buồn cười: thuật ngữ *lỗ đen* được cho là tục tĩu! Nhưng John đã đấu tranh kiên quyết với ban biên tập và thế là cái tên lỗ đen ra đời¹.

Buồn cười hơn nữa là câu nói sau đó của John: “Lỗ đen không có tóc”. Tôi không biết liệu *Physical Review* có giận dữ lần nữa không, nhưng thuật ngữ này không được phổ biến lắm. Wheeler không phải cố chọc tức ban biên tập. Mà là ông muốn nêu một điểm quan trọng trong tính chất của chân trời lỗ đen. Từ “tóc” ở đây là ông muốn ám chỉ các đặc tính có thể quan sát được, có thể là các chỗ lồi lõm hoặc các bất thường khác. Wheeler đã chỉ ra rằng chân trời của một lỗ đen trơn nhẵn và không có nét gì đặc biệt, giống như cái đầu hói nhẵn thín vậy – thực sự thì nó còn trơn nhẵn hơn nhiều. Khi một lỗ đen được hình thành – chẳng hạn một ngôi sao bị co sập lại – chân trời nhanh chóng hình thành nên một mặt cầu vô cùng bình thường và không có nét gì đặc biệt hết. Ngoài khối lượng và tốc độ quay ra, mọi lỗ đen đều giống hệt nhau. Hay chí ít là người ta nghĩ như vậy.

Jacob Bekenstein, người Israel, là một người đàn ông ít lời và nhỏ bé. Nhưng cái vẻ ngoài nho nhã và hiền lành của ông khiến người ta dễ hiểu nhầm, không thấy được sự táo bạo về trí tuệ của ông. Năm 1972, ông là một trong những nghiên cứu sinh của Wheeler, rất quan tâm đến lỗ đen. Nhưng ông không quan tâm tới những đối tượng đó

¹ Lần đầu tiên tôi được nghe câu chuyện này là từ nhà nghiên cứu thuyết tương đối rộng nổi tiếng Werner Israel.

như những thiên thể mà một ngày nào đó có thể nhìn thấy bằng kính thiên văn. Sự say mê của ông chính là nền tảng của vật lý học – tức những nguyên lý cơ bản còn ẩn giấu – và ông đã có cảm giác rằng lỗ đen chứa đựng điều gì đó sâu sắc liên quan đến các quy luật của tự nhiên. Ông đặc biệt quan tâm đến vấn đề các lỗ đen có thể tương thích như thế nào với các nguyên lý của Cơ học lượng tử và Nhiệt động lực học, những điều mà chính Einstein đã từng trăn trở. Thực tế, cách thức nghiên cứu vật lý của Bekenstein rất giống của Einstein – cả hai đều là những bậc thầy của thí nghiệm tưởng tượng. Với rất ít toán học, nhưng rất nhiều tư duy sâu sắc về những nguyên lý của vật lý học, cũng như về cách áp dụng chúng cho những tình huống vật lý tưởng tượng (nhưng khả dĩ), cả hai người đều đưa ra được những kết luận có ảnh hưởng sâu rộng đến tương lai của vật lý học.

Dưới đây là tóm tắt câu hỏi của Bekenstein. Hãy tưởng tượng chính bạn đang quay xung quanh một lỗ đen. Bạn có một bình chứa khí nóng, tức khí với rất nhiều entropy. Bạn ném bình chứa entropy này vào lỗ đen. Theo suy xét thông thường, thì bình chứa đơn giản là sẽ biến mất sau chân trời. Đối với tất cả những mục đích thực tiễn thì lượng entropy này sẽ hoàn toàn biến mất khỏi vùng vũ trụ quan sát được. Theo quan điểm đang thịnh hành thì chân trời trơn nhẵn không thể che giấu bất kỳ thông tin nào. Vì vậy có nghĩa là tổng entropy của thế giới sẽ giảm, nhưng theo Nguyên lý thứ hai của Nhiệt động học thì entropy lại không bao giờ giảm. Liệu có thể dễ dàng vi phạm một nguyên lý sâu sắc như Nguyên lý thứ hai này hay không? Nếu còn sống thì chắc là Einstein sẽ rất kinh hoàng.

Bekenstein kết luận rằng Nguyên lý thứ hai đã bất rã quá sâu trong các quy tắc của vật lý đến mức không thể dễ dàng vi phạm nó như thế được. Thay vào đó, ông đã đưa ra một đề xuất mới rất

triệt để: bản thân lỗ đen cũng phải có entropy. Ông lập luận rằng khi tính tổng mọi entropy trong vũ trụ – thông tin bị mất trong các ngôi sao, khí giữa các sao, khí quyển của các hành tinh và tất cả các bồn nước nóng – bạn phải cộng cả một lượng entropy nhất định của mỗi lỗ đen. Hơn nữa, lỗ đen càng lớn thì entropy của nó càng lớn. Với ý tưởng đó, Bekenstein đã cứu được Nguyên lý thứ hai. Điều này thì chắc chắn Einstein cũng sẽ đồng ý.

Dưới đây là cách suy luận của Bekenstein. Entropy luôn đi cùng với năng lượng. Entropy có liên quan đến các cách sắp xếp của một cái gì đó, và cái gì đó, trong mọi trường hợp, đều có năng lượng. Ngay cả mực trên một trang giấy cũng được tạo bởi nhiều nguyên tử có khối lượng, mà theo Einstein thì điều đó có nghĩa là chúng có năng lượng, vì khối lượng là một dạng của năng lượng. Người ta có thể nói rằng entropy là số các cách sắp xếp khả dĩ của các bit năng lượng.

Khi Bekenstein, trong trí tưởng tượng của mình, ném một bình chứa khí nóng vào một lỗ đen, nghĩa là ông đã làm tăng thêm năng lượng của nó. Đến lượt mình, điều đó có nghĩa là tăng thêm khối lượng và kích thước của lỗ đen. Theo suy đoán của Bekenstein, nếu các lỗ đen có entropy và entropy này tăng lên cùng với khối lượng của nó, thì có cơ may cứu được Nguyên lý thứ hai. Entropy của lỗ đen sẽ tăng nhiều hơn đủ để bù đắp cho những gì đã mất đi.

Trước khi giải thích làm thế nào mà Bekenstein đã đoán được công thức cho entropy của lỗ đen, tôi sẽ giải thích tại sao đó lại là một ý tưởng gây sốc đến như vậy, sốc đến mức mà theo Stephen Hawking thì thoát đầu ông đã gạt bỏ nó như là một điều nhảm nhí¹.

¹ Bạn có thể đọc những chỉ trích ban đầu của ông trong cuốn *Lược sử thời gian*, bản dịch của Cao Chi và Phạm Văn Thiều, Nxb Trẻ, 2008.

Entropy đếm số cách sắp xếp khác nhau, nhưng là sắp xếp của cái gì? Nếu một chân trời lỗ đen cũng không có gì đặc biệt như cái đầu hói tron nhẵn nhất có thể tưởng tượng được thì nó đếm cái gì ở đó? Theo logic này thì một lỗ đen không thể có entropy. Tuyên bố của John Wheeler “lỗ đen không có tóc” có vẻ như phủ nhận trực tiếp lý thuyết của Jacob Bekenstein.

Làm thế nào để dung hòa được thầy với trò đây? Tôi xin đưa ra một ví dụ để giúp bạn hiểu được vấn đề này. Bản in trên một trang giấy được trang trí với các bóng màu xám khác nhau, thực sự được tạo bởi những chấm trắng và đen nhỏ xíu. Hãy giả sử rằng chúng ta có một triệu chấm đen và một triệu chấm trắng trộn với nhau. Một mẫu hình khả dĩ là chia trang giấy làm hai nửa, theo chiều dọc hoặc chiều ngang. Chúng ta có thể làm cho một nửa là màu đen và nửa kia là màu trắng. Chỉ có bốn cách để làm điều đó.



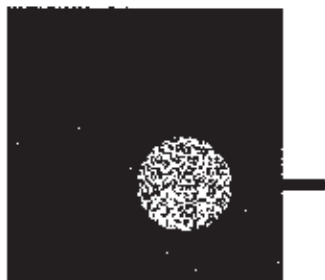
Chúng ta thấy ở đây một hình mẫu rõ ràng với sự khác biệt sắc nét, nhưng chỉ có rất ít cách sắp xếp như vậy. Những hình mẫu này rõ ràng có entropy nhỏ.

Nhưng giờ ta hãy xét một trường hợp cực đoan khác là sự pha trộn cũng của số điểm trắng và đen đó một cách ngẫu nhiên trên cùng một hình vuông như trước. Điều mà chúng ta nhận thấy là một màu ghi hầu như đồng đều. Nếu các điểm màu thực sự là nhỏ

thì màu ghi nhìn sẽ cực kỳ đồng đều. Có một số cực lớn các cách sắp xếp khác nhau các chấm trắng và đen mà chúng ta không thể nào nhận ra nếu không có kính lúp.

Trong trường hợp này, chúng ta thấy rằng entropy lớn thường đi cùng với vẻ ngoài đồng nhất và “trọc lốc”.

Sự kết hợp giữa tính đồng nhất bề ngoài và entropy lớn biểu thị điều gì đó rất quan trọng. Nó ngụ ý rằng hệ thống – dù là gì đi nữa – phải được tạo bởi số rất lớn các vật cực bé sao cho (a) chúng quá nhỏ khiến ta không nhìn thấy được và (b) có thể được sắp xếp theo rất nhiều cách khác nhau mà không làm thay đổi một cách căn bản vẻ bên ngoài của hệ đó.



Làm thế nào mà Bekenstein tính toán được entropy của một lỗ đen

Nhận xét của Bekenstein cho rằng lỗ đen phải có entropy – nói cách khác, mặc dù vẻ ngoài trơn nhẵn, nhưng các lỗ đen vẫn chứa những thông tin ẩn giấu – là một trong những nhận xét đơn giản nhưng sâu sắc mà ngay tức khắc đã làm thay đổi tiến trình của vật lý học. Khi bắt đầu viết những cuốn sách phổ biến khoa học, tôi đã được nhiều người khuyên một cách mạnh mẽ rằng chỉ nên giữ lại một phương trình duy nhất: đó là $E = mc^2$. Tôi đã được thông báo rằng cứ thêm vào một phương trình là số lượng sách được bán sẽ giảm đi 10 ngàn cuốn. Thực lòng thì điều đó trái ngược với kinh nghiệm của tôi. Con người ta thích thử thách, họ không muốn bị

nhằm chán. Vì vậy sau nhiều lần tự vấn lương tâm, tôi quyết định mạo hiểm. Suy luận của Bekenstein là cực kỳ đơn giản và đẹp tới mức tôi cảm thấy nếu không đưa nó vào cuốn sách này sẽ là một sự mất mát đáng buồn. Tuy nhiên, tôi sẽ cố gắng giải thích các kết quả, vì vậy những bạn đọc ít có thiên hướng toán học có thể an tâm bỏ qua một vài phương trình đơn giản mà không mất đi bản chất của vấn đề.

Bekenstein không hỏi một cách trực tiếp có bao nhiêu bit có thể được chứa trong một lỗ đen với kích thước đã cho. Thay vì thế, ông hỏi kích thước một lỗ đen sẽ thay đổi như thế nào nếu một bit thông tin rơi vào trong nó. Điều này cũng tương tự như khi hỏi lượng nước trong bồn dâng lên bao nhiêu nếu thêm một giọt nước vào nó. Hay tốt hơn nữa là mực nước sẽ dâng lên bao nhiêu nếu thêm vào đó một nguyên tử.

Điều này gợi ra một câu hỏi khác: làm thế nào để thêm vào chỉ một bit? Bekenstein sẽ ném vào một dấu chấm in trên một mẫu giấy? Tất nhiên là không; dấu chấm đó được tạo bởi một số lượng lớn các nguyên tử và mẫu giấy cũng vậy. Có nhiều thông tin chứa trong dấu chấm đó hơn một bit. Chiến lược tốt nhất là ném vào đó một hạt cơ bản.

Chẳng hạn, giả sử rằng một photon đơn lẻ rơi vào lỗ đen. Ngay cả một photon cũng có thể mang thông tin nhiều hơn một bit. Cụ thể là có một lượng lớn thông tin cho biết chính xác vị trí photon khi đi vào chân trời. Ở đây Bekenstein đã tận dụng một cách thông minh khái niệm *bất định* của Heisenberg. Ông lập luận rằng vị trí của photon sẽ là bất định nhất có thể, miễn là nó đi vào lỗ đen. Sự tồn tại của một “photon bất định” như vậy sẽ chỉ mang một bit thông tin duy nhất – đó là nó ở đây, đâu đó trong lỗ đen.

Như đã nói trong Chương 4, năng suất phân giải của một tia sáng không thể tốt hơn bước sóng của nó. Nhưng bây giờ, trong trường hợp cụ thể này thì Bekenstein không muốn phân giải chấm sáng trên chân trời lỗ đen, ông muốn nó càng mờ nhòe càng tốt. Mẹo ở đây là sử dụng một photon với bước sóng dài tới mức nó trải rộng trên toàn bộ chân trời. Hay nói một cách khác, nếu chân trời có bán kính Schwarzschild R_s , thì photon cũng phải có bước sóng dài như thế. Thậm chí các bước sóng dài hơn cũng có thể là một lựa chọn, song chúng sẽ văng ra khỏi lỗ đen mà không bị giữ lại ở đó.

Bekenstein ngờ rằng nếu thêm một bit vào lỗ đen sẽ khiến cho nó lớn thêm với một sự gia tăng rất nhỏ, tương tự như khi thêm một phân tử cao su vào quả bóng sẽ làm tăng kích thước của nó. Nhưng để tính toán được sự tăng lên đó đòi hỏi phải có một vài bước trung gian. Trước hết tôi sẽ nêu vắn tắt các bước đó.

1. Để bắt đầu, chúng ta cần phải biết năng lượng của lỗ đen tăng lên bao nhiêu khi ta thêm vào nó một bit thông tin. Tất nhiên, lượng tăng thêm đó chính là năng lượng của photon chứa bit. Vì vậy xác định năng lượng của photon là bước đầu tiên.
2. Tiếp theo, chúng ta cần phải xác định khối lượng lỗ đen thay đổi thế nào khi thêm vào một bit. Để làm điều này, chúng ta nhớ lại phương trình nổi tiếng của Einstein:

$$E = mc^2$$

Nhưng chúng ta dùng nó theo hướng ngược lại. Nó cho chúng ta biết sự thay đổi về khối lượng khi năng lượng được bổ sung thêm.

3. Một khi sự thay đổi khối lượng đã biết, chúng ta có thể tính được sự thay đổi của bán kính Schwarzschild, bằng cách sử dụng công thức mà Mitchell Laplace và Schwarzschild đã tìm ra (xem Chương 2):

$$R_s = 2mG/c^2$$

4. Cuối cùng, chúng ta phải xác định độ tăng diện tích của chân trời. Để làm điều đó, chúng ta cần biết công thức tính diện tích của hình cầu:

$$\text{Diện tích chân trời} = 4\pi R_s^2$$

Trước hết, chúng ta hãy bắt đầu với năng lượng của photon một bit. Như tôi đã giải thích ở trên, photon phải có bước sóng đủ dài để vị trí của nó là bất định bên trong lỗ đen. Điều đó có nghĩa là bước sóng của nó phải là R_s . Theo Einstein, một photon với bước sóng R_s sẽ có năng lượng E được tính bằng công thức sau¹:

$$E = hc/R_s$$

Trong công thức này, h là hằng số Planck, và c là tốc độ ánh sáng. Từ đó suy ra, thêm một bit thông tin vào lỗ đen sẽ làm tăng năng lượng một lượng bằng hc/R_s .

Bước tiếp theo là tính toán xem khối lượng của lỗ đen sẽ thay đổi bao nhiêu. Để đổi năng lượng ra khối lượng, bạn phải chia nó cho c^2 , tức là khối lượng của lỗ đen sẽ tăng một lượng bằng h/R_sc .

$$\text{Khối lượng thay đổi một lượng} = h/R_sc$$

Bây giờ hãy thay trị số của các đại lượng trong công thức trên để thấy khi thêm một bit vào thì khối lượng của một lỗ đen nặng cỡ Mặt trời sẽ thay đổi một lượng bằng bao nhiêu. Ta đã biết:

Hằng số Planck h	$6,6 \times 10^{-34} \text{J.s}$
Bán kính Schwarzschild R_s của lỗ đen	3.000 mét
Tốc độ ánh sáng c	$3 \times 10^8 \text{m/s}$
Hằng số hấp dẫn G	$6,7 \times 10^{-11} \text{Nm}^2/\text{kg}^2$

¹ Tần số f của photon với bước sóng R_s bằng c/R_s . Sử dụng công thức Einstein-Planck $E = hf$ sẽ cho ta năng lượng của photon là hc/R_s .

Như vậy, một bit thông tin thêm vào lỗ đen có khối lượng cỡ Mặt trời sẽ làm cho khối lượng của nó tăng một lượng nhỏ đến kinh ngạc:

$$\text{Khối lượng tăng thêm} = 10^{-45} \text{ kg.}$$

Nhưng dù sao, như người ta nói, “điều đó không phải là không can hệ gì”.

Hãy tiếp tục bước thứ ba, tức là sử dụng mối liên hệ giữa khối lượng và bán kính để tính sự thay đổi của R_s . Theo ký hiệu đại số thì đáp số là:

$$\text{Sự thay đổi của } R_s = 2hG/(R_s c^3)$$

Đối với lỗ đen có khối lượng cỡ như Mặt trời, R_s vào khoảng 3.000 mét. Nếu thay các trị số đã biết vào, chúng ta sẽ nhận được sự thay đổi của bán kính vào khoảng 10^{-72} mét. Con số này không chỉ nhỏ hơn nhiều so với một photon mà còn nhỏ hơn rất nhiều so với độ dài Planck (10^{-35} mét). Với sự thay đổi quá nhỏ như vậy, bạn có thể tự hỏi tại sao chúng ta lại phải bận tâm tính toán làm gì, nhưng sẽ là một sai lầm nếu bạn bỏ qua nó.

Bước cuối cùng là tính toán xem diện tích của chân trời sẽ thay đổi như thế nào. Đối với lỗ đen có khối lượng cỡ Mặt trời, sự tăng lên của diện tích chân trời vào khoảng 10^{-70} mét vuông. Nó rất nhỏ, nhưng một lần nữa, “điều đó không phải là không can hệ gì”. Và không chỉ có can hệ mà còn có một điểm rất đặc biệt: 10^{-70} mét vuông lại chính là *một đơn vị Planck vuông*.

Liệu đó có phải là một sự tình cờ không? Điều gì sẽ xảy ra nếu chúng ta thử với một lỗ đen có khối lượng cỡ Trái đất (một lỗ đen to bằng một quả mận) hay một lỗ đen có khối lượng lớn gấp 1 tỉ lần khối lượng Mặt trời? Bạn hãy thử tính xem, với các con số hoặc

các phương trình. Và bạn sẽ nhận thấy bất kể kích thước ban đầu của lỗ đen là bao nhiêu đi nữa thì đây là quy tắc:

Thêm vào một bit thông tin sẽ làm cho diện tích của chân trời của lỗ đen bất kỳ tăng thêm một đơn vị Planck diện tích, hay một đơn vị Planck vuông.

Bằng cách nào đó, ẩn giấu bên trong các nguyên lý của Cơ học lượng tử và Thuyết tương đối rộng có một mối liên hệ bí ẩn giữa các bit thông tin không thể chia nhỏ và các bit diện tích kích thước Planck.

Khi tôi giải thích tất cả điều này trước lớp vật lý dự bị y học của tôi ở Stanford, có ai đó ở phía cuối lớp đã huýt sáo thật dài và thốt lên “Tuyệt thật”. Nó *thật* tuyệt, nhưng cũng thật sâu sắc và có thể nó giữ cái chìa khóa để giải đáp câu đố về hấp dẫn lượng tử cũng nên.

Giờ hãy tưởng tượng chúng ta dựng nên một lỗ đen bằng từng bit một, y như khi bạn chất đầy bồn tắm bằng từng nguyên tử nước một. Mỗi lần bạn thêm vào một bit thông tin, diện tích của chân trời sẽ tăng lên một đơn vị diện tích Planck. Cho đến khi lỗ đen hoàn thành, diện tích của chân trời sẽ tương đương với tổng số các bit thông tin ẩn chứa bên trong lỗ đen ấy. Đó chính là thành tựu vĩ đại của Bekenstein, tất cả được tóm tắt trong câu khẩu hiệu sau:

Entropy của lỗ đen, được đo bằng bit, tỷ lệ với diện tích chân trời của nó, được đo bằng đơn vị diện tích Planck.

Hay cô đọng hơn:

Thông tin bằng diện tích.

Có vẻ hầu như là chân trời được phủ dày đặc bởi các bit thông tin không nén lại được, gần giống như một mặt bàn phủ kín bởi các đồng xu.

Thêm vào một đồng xu nữa sẽ làm tăng diện tích một lượng bằng diện tích của một đồng xu. Bit, đồng xu, đều có cùng một nguyên lý như nhau.



Chỉ có một vấn đề duy nhất với bức tranh này là không có đồng xu nào ở chân trời, nếu có, Alice hẳn sẽ phát hiện ra khi cô rơi vào lỗ đen. Theo Thuyết tương đối rộng, với Alice đang rơi tự do, chân trời là một điểm không thể quay lui vô hình. Khả năng mà cô sẽ bắt gặp bất kỳ vật gì như một cái bàn đầy đồng xu là mâu thuẫn trực tiếp với Nguyên lý tương đương của Einstein.

Sự căng thẳng này – tức mâu thuẫn bề ngoài giữa *chân trời được xem như là một bề mặt, phủ dày đặc bởi các bit vật chất* và *chân trời được xem đơn giản như là điểm không thể quay lui* – chính là biến cố khai mào cho Cuộc chiến lỗ đen.

Một điểm khác làm rối trí các nhà vật lý vì khám phá của Bekenstein, đó là tại sao entropy lại tỷ lệ với diện tích của chân trời chứ không phải với thể tích bên trong của lỗ đen? Có vẻ như có sự lãng phí rất lớn không gian bên trong. Thực tế, một lỗ đen xem ra giống một cách kỳ lạ với thư viện của Ptolemy. Chúng ta sẽ trở lại vấn đề này ở Chương 18, ở đó ta sẽ thấy rằng toàn bộ thế giới là một bức toàn ảnh (*hologram*).

Mặc dù Bekenstein đã có ý tưởng đúng – entropy của lỗ đen thực sự tỷ lệ với diện tích – song lập luận của ông chưa hoàn toàn

chính xác và ông biết điều đó. Ông đã không nói rằng entropy *đúng bằng* diện tích được đo bởi đơn vị Planck. Do có một vài bất định trong tính toán của mình nên tất cả những gì ông có thể nói là entropy của một lỗ đen *gần bằng* (hay tỷ lệ với) diện tích. Trong vật lý, *gần bằng* là một từ khá mơ hồ. Nó gấp đôi hay bằng 1/4 diện tích? Những lập luận của Bekenstein, dù rất tuyệt vời, song vẫn chưa đủ mạnh để xác định thừa số tỷ lệ một cách chính xác.

Trong chương sau, chúng ta sẽ thấy khám phá của Bekenstein về entropy của lỗ đen đã dẫn Stephen Hawking đến sự thấu hiểu vĩ đại nhất: lỗ đen không chỉ có entropy, như Bekenstein đã phỏng đoán chính xác, mà chúng còn có cả nhiệt độ nữa. Chúng không phải là những vật thể chết, vô cùng lạnh lẽo như các nhà vật lý đã nghĩ. Lỗ đen nóng rực với hơi ấm bên trong, nhưng rồi cuối cùng chính cái hơi ấm đó sẽ dẫn nó tới sự hủy diệt.

ÁNH SÁNG ĐEN

NHỮNG CON GIÓ MÙA ĐÔNG là ác nghiệt nhất trong những thành phố lớn. Nó lừa dọc theo các hành lang dài giữa các tòa nhà có bề mặt phẳng lý, thốc mạnh quanh các góc và quất một cách tàn nhẫn vào những khách bộ hành không may. Một ngày rất khó chịu năm 1974, tôi đã chạy một chặng đường dài dọc theo các đường phố băng giá của vùng bắc Manhattan, những mảng mồ hôi đóng băng bám đầy mái tóc dài của tôi. Sau 15 dặm, tôi đã mệt lử, nhưng tiếc rằng tôi ở cách xa văn phòng ấm áp của tôi những hai dặm. Không có ví, tôi thậm chí không có cả 20 cent cần thiết để đi tàu điện ngầm quay trở lại. Nhưng may mắn đã mỉm cười với tôi. Khi bước xuống vỉa hè đầu đó quanh đường Dyckman, một chiếc xe ô tô đỗ xịch ngay cạnh tôi và Aage Peterson thò đầu ra cửa xe. Aage là một gã yêu tinh vui tính người Đan Mạch, đã từng là trợ lý của Niels Bohr ở Copenhagen trước khi đến Mỹ. Ông ta rất yêu Cơ học lượng tử, sống và hít thở bằng triết lý của Bohr.

Khi đã ở trong xe, Aage hỏi tôi có phải đang trên đường đến buổi thuyết trình của Dennis Sciama ở trường Belfer hay không. Tôi không đến đó. Thực ra, tôi không hề biết gì về Sciama hay buổi thuyết trình của ông ta cả. Thay vì, tôi đang nghĩ tới một tô súp nóng ở quán ăn của trường. Aage đã gặp Sciama ở Anh và bảo

tôi rằng ông ta là một người Anh rất vui tính, làm việc ở Đại học Cambridge, người được coi là có rất nhiều chuyện vui thú vị. Aage cho tôi biết rằng bài thuyết trình hình như có liên quan gì đó đến lỗ đen – công trình mà một sinh viên của Sciama đã hoàn thành và khiến cả trường Cambridge phải xôn xao. Tôi hứa với Aage là sẽ đến dự.

Quán ăn của Đại học Yeshiva không phải là nơi ưa thích của tôi. Thức ăn không tệ – món súp đúng tiêu chuẩn của người Do Thái (điều mà tôi không thể không quan tâm) và nóng (điều đó rất quan trọng), nhưng cuộc chuyện trò của đám sinh viên đã làm tôi bức mình: hầu như lúc nào cũng là về luật. Không phải luật liên bang, hay bang hay thành phố, hay các định luật khoa học; mà là những chuyện vụn vặt cỡ sợi tóc làm tư của luật Talmud (Luật và truyền thống Do Thái) đã khiến đám sinh viên trẻ của Yeshiva bàn luận sôi nổi: “Pepsi liệu có trở thành món ăn kiêng nếu nó được sản xuất trong nhà máy trên nền trại chăn nuôi lợn trước đây?” “Thế nếu đất được phủ bằng gỗ dán trước khi xây nhà máy thì sao?” Đại loại là những chuyện tầm phào như vậy. Nhưng súp nóng và thời tiết lạnh giá bên ngoài đã khuyến khích tôi lãng phí thời gian ngồi nghe lỏm mấy câu sinh viên ngồi bàn bên. Lúc này đề tài của cuộc chuyện trò đã là vấn đề mà ngay cả tôi cũng quan tâm – giấy vệ sinh! Cuộc tranh luận dữ dội về Talmud đã chuyển qua vấn đề quan trọng là liệu ống lắp các cuộn giấy vệ sinh có được bổ sung thêm trong lễ Sabbath (kỳ nghỉ thờ phụng Chúa của người Do Thái) hay người ta phải sử dụng giấy trực tiếp từ những cuộn giấy không lồng vào ống. Từ những đoạn khác nhau trong các tác phẩm của Giáo sĩ Akiva, một nhóm đã phỏng đoán rằng chúa vĩ đại sẽ đòi hỏi phải tuân thủ nghiêm ngặt các luật nhất định, theo

đó cấm không được lắp các cuộn giấy vệ sinh. Nhóm khác lại tin rằng Rambam¹ vô song đã khẳng định rất rõ ràng trong *Chỉ dẫn cho người rỗi trí* rằng một số những nhiệm vụ cần thiết được miễn trừ khỏi những huấn thị Talmud này, và sự phân tích logic thiên về quan điểm cho rằng việc lắp các cuộn giấy vệ sinh cũng là một trong các nhiệm vụ đó. Sau nửa giờ, cuộc tranh luận vẫn rất dữ dội. Vài chàng trai trẻ sắp trở thành giáo sĩ mới đến cũng nhảy vào tranh luận với những lập luận thông minh, chủ yếu là toán học, và cuối cùng tôi cũng thấy mệt với trò cãi vã của họ.

Bạn có thể băn khoăn tự hỏi điều này thì có liên quan gì đến lỗ đen, chủ đề của cuốn sách này. Chỉ thế này thôi: sự rề rà của tôi ở quán ăn đã khiến tôi bỏ lỡ 40 phút đầu tiên của buổi thuyết trình xuất sắc của Dennis Sciama.

Đại học Cambridge, nơi Sciama là giáo sư dạy môn vũ trụ học và thiên văn học, là một trong ba nơi (bên cạnh Princeton và Mátxcova²) có “những người xuất sắc và giỏi giang nhất” đang thách thức trí tuệ của họ trước những câu đố hết sức sâu sắc về hấp dẫn. Và cũng giống như ở Princeton, những chiến binh trí tuệ trẻ tuổi của Cambridge được dẫn dắt bởi một nhà lãnh đạo có uy tín và biết khơi gợi cảm hứng. Sinh viên của Sciama là một nhóm những ngôi sao sáng bao gồm những nhà vật lý trẻ xuất sắc, trong đó có Brandon Carter, người đã phát biểu Nguyên lý vị nhân trong vũ trụ học; rồi Ngài Martin Rees, nhà thiên văn học Hoàng gia Anh,

¹ “Rambam” là biệt hiệu của Giáo sĩ Moses Ben Maimon, người nổi tiếng hơn trong thế giới phi Do Thái với cái tên Maimonides (1135-1204, giáo sĩ, nhà vật lý, nhà triết học ở Tây Ban Nha, Maroc và Ai cập thời Trung cổ. Các tác phẩm và quan điểm của ông ngày nay được xem như là nền tảng tư tưởng và nghiên cứu của người Do Thái).

² Trung tâm nghiên cứu hấp dẫn lớn nhất ở Mátxcova được dẫn dắt bởi nhà vật lý thiên văn và vũ trụ học huyền thoại người Nga, Yakov B. Zeldovich.

hiện đang giữ chiếc ghế trước đây thuộc Ngài Edmond Halley (được đặt tên cho sao chổi nổi tiếng); Philip Candelas, người thế vị Giáo sư toán học Rouse Ball tại Oxford (Walter William Rouse Ball 1850-1925; là nhà toán học, luật sư và uỷ viên Ban giám đốc trường Trinity College, Cambridge); David Deutsch, một trong những người sáng chế ra máy tính lượng tử; John Barrow, nhà thiên văn xuất sắc của Cambridge, và George Ellis, nhà vũ trụ học nổi tiếng. Và tất nhiên, còn có cả Stephen Hawking, người hiện giờ đang ngồi chiếc ghế của Isaac Newton ở Cambridge. Thực ra thì nội dung được Dennis thuyết trình vào cái ngày mùa đông lạnh giá năm 1974 ấy chính là công trình của Stephen, nhưng vào lúc đó, cái tên Stephen Hawking chẳng có ý nghĩa gì với tôi cả.

Vào lúc tôi tới, thì hai phần ba thời lượng buổi thuyết trình của Sciama đã trôi qua. Tôi ngay lập tức xin lỗi rằng mình đã không thể tới sớm hơn. Chỉ vì một lý do là tôi không muốn lại đi ra ngoài trời mưa tuyết lạnh giá với bộ quần áo tập chạy của tôi. Trời đã tối và chắc chắn là sẽ còn lạnh hơn nữa khi Dennis kết thúc. Nhưng còn hơn cả nỗi sợ sự lạnh cóng khiến tôi cầu mong Siama mới chỉ bắt đầu. Đúng như Aage đã nói, Dennis là một diễn giả vô cùng thú vị. Những câu chuyện đùa của ông thật sự sắc sảo, nhưng cái cuốn hút tôi hơn cả là một phương trình duy nhất trên bảng đen.

Thường thì sau khi kết thúc một bài thuyết trình về vật lý lý thuyết, chiếc bảng đen sẽ chỉ chít những ký hiệu toán học. Nhưng Sciama là một người đàn ông rất ít dùng các phương trình. Khi tôi tới, tám bảng đen trông gần giống như hình trang 193.

Trong vòng 5 phút, tôi đã giải mã ra ngay các ký hiệu biểu thị cái gì. Thực tế, chúng đều là những ký hiệu chuẩn của các đại lượng quen thuộc trong vật lý. Nhưng tôi không biết bối cảnh



$$\tau = \frac{hc^3}{16\pi^2 G M k}$$

của nó – tức công thức này mô tả cái gì – mặc dù tôi có thể nói rằng hoặc là nó rất sâu sắc hoặc là nó thật ngu ngốc. Nó chỉ gồm những hằng số cơ bản nhất của tự nhiên: hằng số hấp dẫn G , chi phối lực hấp dẫn, nằm dưới mẫu số – thật kỳ lạ khi thấy nó ở đó; c là tốc độ ánh sáng, điều này chỉ ra rằng công thức có liên quan đến Thuyết tương đối hẹp; hằng số Planck h , thậm chí về Cơ học lượng tử; và sau đó là k , hằng số Boltzmann. Đường như hằng số cuối cùng này xuất hiện không đúng chỗ lắm. Nó làm cái quái gì ở đây nhỉ? Hằng số Boltzmann có liên quan đến nhiệt và nguồn gốc vi mô của entropy. Nhiệt và entropy thì đóng vai trò gì trong công thức hấp dẫn lượng tử?

Và còn con số 16 và π^2 thì sao? Đó là các con số toán học xuất hiện trong mọi loại phương trình. Không có ẩn ý gì ở đây cả. M thì quen thuộc rồi và những lời của Sciama càng khẳng định ấn tượng của tôi về ý nghĩa của nó. M chính là khối lượng. Trong vài phút, tôi có thể nói rằng đây là khối lượng của một lỗ đen.

Ô kê, lỗ đen, hấp dẫn, và thuyết tương đối. Điều đó có thể hiểu được, nhưng thêm Cơ học lượng tử nữa thì có vẻ hơi kỳ quặc. Lỗ đen vô cùng nặng – nặng bằng những ngôi sao tạo nên chúng.

Nhưng Cơ học lượng tử lại dành cho những thứ bé nhỏ: nguyên tử, electron và photon. Điều gì đưa Cơ học lượng tử vào cuộc thảo luận về một thứ gì đó nặng như một ngôi sao này?

Điều rối trí nhất là bên trái của phương trình biểu thị nhiệt độ T. Vậy nhiệt độ này là của cái gì?

15 hay 16 phút cuối cùng trong bài thuyết trình của Sciamma cũng đủ để ghép nối các mảnh rời rạc lại với nhau. Một trong những sinh viên của Dennis đã khám phá ra điều gì đó thật kỳ lạ: Cơ học lượng tử đã cho các lỗ đen những tính chất nhiệt và cùng với nhiệt là nhiệt độ. Phương trình trên bảng đen chính là một công thức để tính nhiệt độ của một lỗ đen.

Thật kỳ lạ, tôi nghĩ. Điều gì đã khiến Sciamma lại có một ý tưởng gàn dở rằng một ngôi sao chết, một ngôi sao hoàn toàn không còn nhiên liệu, lại có nhiệt độ không phải là 0 độ tuyệt đối.

Nhìn vào công thức kích thích sự tò mò này, tôi thấy có một sự tương quan thú vị: nhiệt độ của một lỗ đen tỷ lệ nghịch với khối lượng; khối lượng càng lớn thì nhiệt độ càng nhỏ. Một lỗ đen vô cùng lớn, lớn như một ngôi sao, sẽ có nhiệt độ cực nhỏ, nó lạnh hơn nhiều so với bất kỳ vật thể nào trong bất kỳ phòng thí nghiệm nào trên Trái đất. Nhưng điều thực sự đáng ngạc nhiên, khiến tôi phải ngồi thẳng người trên ghế, là các lỗ đen cực bé, nếu chúng tồn tại, sẽ là cực kỳ nóng – nóng hơn bất kỳ thứ gì chúng ta có thể tưởng tượng được.

Nhưng Sciamma còn có một điều ngạc nhiên lớn hơn nhiều: lỗ đen bốc hơi! Các nhà vật lý đến lúc đó vẫn tin rằng lỗ đen, giống như kim cương, sẽ tồn tại vĩnh viễn. Một khi đã hình thành thì không có một cơ chế vật lý nào đã từng được biết đến có thể phá hủy hay loại bỏ một lỗ đen. Khoảng trống tối đen được tạo bởi một ngôi sao chết sẽ tiếp tục tồn tại – vô cùng lạnh, vô cùng yên lặng – đến thiên thu.

Nhưng Sciama nói với chúng tôi rằng, giống như một giọt nước biến mất dưới ánh nắng Mặt trời, từng chút từng chút một, lỗ đen cũng bốc hơi và cuối cùng biến mất. Như ông giải thích, bức xạ nhiệt điện từ sẽ mang đi khối lượng của một lỗ đen.

Để giải thích tại sao Dennis và cậu sinh viên của ông nghĩ ra điều này, tôi cần phải nói với bạn đôi điều về nhiệt và bức xạ nhiệt. Tôi sẽ trở lại câu chuyện về lỗ đen, nhưng trước tiên hãy lạc đề một chút.

Nhiệt và Nhiệt độ

Nhiệt và nhiệt độ thuộc số những khái niệm quen thuộc nhất trong vật lý học. Trong cơ thể của tất cả chúng ta đều có sẵn nhiệt kế và máy điều nhiệt. Sự tiến hóa đã giúp chúng ta có cảm giác về nóng và lạnh.

Ấm là nhiệt và lạnh là sự thiếu vắng nhiệt. Nhưng thứ được gọi là nhiệt đó chính xác là gì? Điều gì diễn ra bên trong một bồn tắm nước nóng khi nước tắm nguội đi? Nếu bạn quan sát thật kỹ qua kính hiển vi những hạt bụi nhỏ hoặc hạt phấn hoa lơ lửng trong nước ấm, bạn sẽ thấy các hạt này chuyển động ngẫu nhiên như những thủy thủ say rượu. Nước càng nóng thì các hạt này có vẻ như càng hỗn loạn hơn. Chính Albert Einstein¹, vào năm 1905, lần đầu tiên đã giải thích rằng chuyển động hỗn loạn (hay thường gọi là chuyển động Brown) của các hạt là do chúng liên tục bị bắn phá

¹ Năm 1905, Einstein đã khởi đầu hai cuộc cách mạng trong vật lý và đã hoàn tất cuộc cách mạng thứ ba. Hai cuộc cách mạng mới, tất nhiên là Thuyết tương đối hẹp và Thuyết lượng tử (hay thuyết photon) về ánh sáng. Cùng năm đó, Einstein đã đưa ra bằng chứng xác định đầu tiên cho thuyết phân tử của vật chất trong một bài báo của ông về chuyển động Brown. Các nhà vật lý như James Clerk Maxwell và Ludwig Boltzmann đã từ lâu ngờ rằng nhiệt là sự chuyển động ngẫu nhiên của các phân tử giả thuyết của vật chất, nhưng chính Einstein mới là người cung cấp được bằng chứng xác thực.

bởi các phân tử chuyển động nhanh và có năng lượng lớn. Nước, giống như mọi vật chất khác, được tạo bởi các phân tử chuyển động hỗn loạn, chúng va đập vào nhau, vào thành bình chứa và vào bất kỳ ngoại vật nào. Khi chuyển động đó là ngẫu nhiên và hỗn loạn, chúng ta gọi đó là nhiệt. Đối với những vật thể thông thường, khi bạn bổ sung cho nó năng lượng dưới dạng nhiệt, bạn sẽ làm tăng động năng chuyển động ngẫu nhiên của các phân tử.

Nhiệt độ có liên quan đến nhiệt, tất nhiên rồi. Khi các phân tử chạy hỗn loạn đập vào da bạn, chúng sẽ kích thích các đầu dây thần kinh, và làm cho bạn cảm nhận được nhiệt độ. Năng lượng của mỗi phân tử đơn lẻ càng lớn thì các đầu dây thần kinh của bạn càng bị tác động mạnh hơn và bạn càng cảm thấy nóng hơn. Da bạn chỉ là một trong số nhiều loại nhiệt kế có thể cảm thấy và ghi nhận chuyển động hỗn loạn của các phân tử.

Vì vậy, nói đại thể thì nhiệt độ của một vật là thước đo năng lượng của các phân tử đơn lẻ của nó. Khi một vật nguội đi, năng lượng bị mất mát và các phân tử chuyển động chậm dần. Cuối cùng, khi càng nhiều năng lượng bị mất mát, các phân tử đạt tới trạng thái năng lượng thấp nhất có thể. Nếu không tính đến Cơ học lượng tử, thì điều này sẽ xảy ra khi chuyển động của các phân tử ngừng hoàn toàn. Tại điểm đó, sẽ không còn năng lượng thoát ra nữa, vật sẽ ở 0 độ tuyệt đối và nhiệt độ không còn có thể thấp hơn thế được nữa.

Lỗ đen là một vật đen

Hầu hết các vật đều phản xạ chỉ ít là một chút ánh sáng. Lý do sơn có màu đỏ là do nó phản xạ ánh sáng đỏ. Chính xác hơn là nó phản xạ một tổ hợp nhất định các bước sóng mà mắt và não

bộ cảm nhận là màu đỏ. Tương tự như vậy, sơn màu xanh phản xạ một tổ hợp mà chúng ta cảm nhận là màu xanh. Tuyết có màu trắng là vì bề mặt các tinh thể băng phản xạ như nhau đối với tất cả các màu nhìn thấy được. (Sự khác biệt duy nhất giữa tuyết và một miếng băng giống như gương là cấu trúc hạt của tuyết làm tán xạ ánh sáng theo mọi hướng và phá vỡ hình ảnh phản xạ thành hàng ngàn mảnh li ti). Nhưng một số bề mặt hầu như không phản xạ ánh sáng. Ánh sáng nào chạm vào bề mặt đầy nhọ nôi của một chiếc chảo màu đen đều bị hấp thụ vào lớp nhọ nôi, làm nóng cả mặt ngoài đen kịt và cuối cùng cả chính lớp gang bên trong. Đó là những vật thể mà não của chúng ta cảm nhận là có màu đen.



Thuật ngữ mà các nhà vật lý dùng để gọi các vật hấp thụ hoàn toàn ánh sáng là *vật đen*. Vào thời điểm mà Sciamia thuyết trình tại trường đại học của tôi ở New York, các nhà vật lý đã biết từ lâu rằng lỗ đen là các vật đen. Laplace và Mitchell cũng đã ngò như vậy vào thế kỷ 18 và lời giải của Schwarzschild cho các phương trình của Einstein đã chứng minh điều đó. Ánh sáng, khi chạm đến chân trời của một lỗ đen, hoàn toàn bị hấp thụ. Chân trời lỗ đen là đen nhất.

Nhưng điều mà không ai biết trước khám phá của Hawking là lỗ đen có nhiệt độ. Trước đó, nếu bạn hỏi một nhà vật lý “Nhiệt độ của lỗ đen là bao nhiêu?” thì câu trả lời ban đầu chắc sẽ là: “Lỗ đen không có nhiệt độ”. Bạn có thể phản bác lại, “Vô lý. Cái gì mà chả có nhiệt độ”. Một chút suy nghĩ, rồi sau đó câu trả lời sẽ là: “Ô kê, một lỗ đen không có nhiệt, vậy nó phải ở 0 độ tuyệt đối – nhiệt độ thấp nhất có thể”. Thực tế, trước Hawking, mọi nhà vật lý đều

tuyên bố rằng lỗ đen là các vật đen, nhưng mà là những vật đen ở 0 độ tuyệt đối.

Giờ thì sẽ không đúng nếu nói rằng các vật đen không tỏa ra chút ánh sáng nào. Lấy một cái chảo đen và làm nóng nó đến vài trăm độ cho đến khi nó đỏ rực. Nóng hơn nữa nó sẽ chuyển màu cam, rồi vàng và cuối cùng là một màu trắng xanh sáng chói xuất hiện. Điều lạ lùng là theo định nghĩa của các nhà vật lý thì Mặt trời là một vật đen. Lạ quá đi chứ, bạn nói, Mặt trời khó có thể gọi là đen như bất kỳ thứ gì bạn có thể tưởng tượng ra. Thực sự thì bề mặt của Mặt trời phát ra đầy ánh sáng, nhưng nó *không phản xạ*. Đối với nhà vật lý, thì điều đó làm cho nó là một vật đen.

Để nguội chiếc chảo nóng, nó sẽ phát ra bức xạ hồng ngoại không nhìn thấy được. Ngay cả vật thể lạnh nhất cũng phát xạ bức xạ điện từ nào đó, chừng nào chúng còn có nhiệt độ cao hơn 0 độ tuyệt đối.



Nhưng bức xạ phát ra từ các vật đen không phải là ánh sáng phản xạ; nó được tạo bởi các nguyên tử dao động hay va chạm, và không giống như ánh sáng phản xạ, màu sắc của vật phụ thuộc vào nhiệt độ của nó.

Điều mà Dennis Sciama giải thích là rất quan trọng (và có vẻ như hơi điên rồ vào thời điểm đó). Ông nói rằng các lỗ đen là các vật đen, nhưng chúng *không* ở 0 độ tuyệt đối. Mọi lỗ đen đều có nhiệt độ, phụ thuộc vào khối lượng của chúng, như công thức trên tấm bảng đen đã chỉ rõ.

Ông nói với chúng tôi thêm một điều nữa, điều mà theo một nghĩa nào đó là đáng ngạc nhiên nhất. Vì lỗ đen có nhiệt và nhiệt độ, nó phải phát ra bức xạ điện từ – tức là các photon – giống như chiếc chảo nóng. Điều đó có nghĩa là nó sẽ mất dần năng lượng. Theo công thức $E = mc^2$ của Einstein, năng lượng và khối lượng thực sự là một. Vì vậy nếu một lỗ đen mất năng lượng có nghĩa là nó cũng mất khối lượng.

Điều này dẫn ta đến điểm nút trong câu chuyện của Sciamia. Kích thước của một lỗ đen – tức bán kính chân trời của nó – là tỷ lệ với khối lượng. Nếu khối lượng giảm, suy ra kích thước của lỗ đen cũng giảm. Vì vậy khi một lỗ đen phát xạ năng lượng, nó sẽ bị co lại, cho đến khi nó không lớn hơn một hạt cơ bản, và sau đó thì biến mất. Theo Sciamia, lỗ đen bốc hơi giống như một vũng nước nhỏ trong ngày hè.

Suốt buổi thuyết trình, hay ít nhất là phần tôi được nghe, Sciamia đã nói rõ ràng rằng ông không phải là chủ nhân của những khám phá này. Mà là “Stephen nói thế này” và “Stephen nói thế nọ”. Nhưng dù Dennis có nói gì đi nữa thì ấn tượng của tôi vào cuối buổi thuyết trình là cái người mang tên Stephen Hawking chưa ai biết tới kia chỉ là một anh sinh viên may mắn, đã tình cờ ở đúng chỗ, đúng thời điểm trong dự án nghiên cứu của Dennis mà thôi. Trong buổi thuyết trình, một nhà vật lý nổi tiếng đã hào phóng nhắc đến tên một sinh viên thông minh cũng là chuyện thường tình thôi. Dù các ý tưởng này có xuất sắc hay lập dị, thì tôi cũng mặc nhiên cho rằng chúng phải khởi nguồn từ nhà vật lý có đẳng cấp cao hơn.

Tối hôm đó, tôi mới thực sự tỉnh ngộ trước giả thuyết này. Aage, một vài thành viên khác của khoa vật lý ở Belfer và tôi đã mời

Dennis đi ăn tối tại một nhà hàng Ý khá ngon ở Little Italia. Trong suốt bữa ăn, Dennis đã kể với chúng tôi mọi chuyện về cậu sinh viên xuất sắc của mình.

Thực tế thì Stephen hoàn toàn không phải là một sinh viên. Khi Dennis nói về “Hawking của ông ấy”, cái cách ông nói giống hệt như một người cha đầy tự hào của đứa con đoạt giải Nobel nói về “con trai của tôi”. Vào năm 1974, Stephen là một ngôi sao mới nổi trong thế giới của Thuyết tương đối rộng. Ông và Roger Penrose đã có những đóng góp chủ yếu cho lĩnh vực này. Chính vì sự chưa biết của tôi đã khiến tôi tin là Stephen đơn giản chỉ là sinh viên của một người hướng dẫn luận văn hào phóng.

Trong lúc thưởng thức món ăn Ý và rượu ngon, tôi đã nghe câu chuyện kỳ lạ hơn cả tiểu thuyết về thiên tài trẻ tuổi này, người đã bộc lộ tài năng rực rỡ ngay sau khi được chẩn đoán là mắc chứng tê liệt thần kinh. Là một nghiên cứu sinh xuất sắc nhưng phần nào khá tự cao tự đại, Stephen mắc chứng bệnh Lou Gehrig (căn bệnh teo cứng cơ bên ALS, mang tên cầu thủ bóng chày nổi tiếng người Mỹ, người cũng mắc căn bệnh này). Bệnh tình của Stephen tiến triển rất nhanh và vào thời điểm chúng tôi ăn tối hôm đó thì ông đã hoàn toàn bị liệt. Mặc dù không thể viết các phương trình và giao tiếp rất khó khăn, nhưng Stephen vừa phải chống đỡ sự dồn đến đường cùng của bệnh tật vừa bùng nổ những ý tưởng xuất sắc. Sự chẩn đoán thực sự ác nghiệt. Căn bệnh Lou Gehrig là một kẻ sát nhân tàn bạo, và theo người ta nói thì Stephen sẽ không thể sống nổi quá vài năm nữa. Trong khi đó thì ông đang có cơ hội thành công trong một sự nghiệp đầy phấn khích, đó là làm một cuộc cách mạng trong vật lý. Vào lúc chúng tôi ngồi ăn với nhau, tôi có cảm giác sự miêu tả của Sciamma về lòng dũng

cảm của Stephen trong nghịch cảnh của mình dường như có hơi phóng đại đôi chút. Song sau khi quen biết Stephen gần hai mươi lăm năm nay, tôi có thể nói rằng ông ấy đúng là như vậy.

Cả Stephen và Sciamia đều là những ẩn số đối với tôi, và tôi không biết lỗ đen bốc hơi là một chuyện xác thực hay chỉ là một câu chuyện phóng đại khó tin, một sự suy luận liều lĩnh. Có thể là tôi đã bỏ lỡ mất một số phần quan trọng của quá trình lập luận, khi ngồi nghe các luật về giấy vệ sinh Do Thái. Cũng có thể là Dennis chỉ công bố kết luận của Stephen mà không đưa ra bất kỳ cơ sở kỹ thuật nào. Xét cho cùng thì Sciamia không phải là một chuyên gia về các phương pháp tiên tiến của Lý thuyết trường lượng tử mà Hawking sử dụng. Như tôi đã nói ở trên, ông là một người đàn ông sử dụng rất ít phương trình.

Hồi tưởng lại, thật lạ là tại sao tôi lại không kết nối bài thuyết trình của Sciamia với cuộc nói chuyện ngắn ngủi của tôi với Richard Feynman hai năm trước ở quán cà phê West End. Feynman và tôi cũng đã suy luận về việc lỗ đen cuối cùng có thể sẽ phân rã như thế nào. Nhưng phải rất nhiều tháng sau tôi mới lắp ghép được hai chuyện đó với nhau.

Lập luận của Stephen

Theo lời giải thích của chính Stephen thì ban đầu ông không tin vào kết luận kỳ lạ mà Jacob Bekenstein – người hồi đó còn là sinh viên chưa ai biết đến ở Princeton – đã đưa ra. Làm sao mà lỗ đen lại có entropy? Mà entropy lại thường gắn với sự không biết – không biết những cấu trúc vi mô ẩn giấu, như chúng ta không biết vị trí chính xác của phân tử nước trong một bồn tắm nước nóng,

chẳng hạn. Lý thuyết hấp dẫn của Einstein và lời giải lỗ đen của Schwarzschild chẳng có liên quan gì đến những thực thể vi mô cả. Hơn nữa, dường như không có gì về lỗ đen mà người ta chưa biết đến. Nghiệm của phương trình Einstein do Schwarzschild tìm ra là duy nhất và chính xác. Với mỗi giá trị của khối lượng và mômen động lượng, có một và chỉ một nghiệm là lỗ đen. Đó chính là hàm ý của John Wheeler khi ông nói “Lỗ đen không có tóc”. Bằng logic thông thường, một cấu hình duy nhất (hãy nhớ lại chiếc BMW hoàn hảo nói ở Chương 7) thì không thể có entropy được. Do đó, entropy của Bekenstein không ý nghĩa đối với Hawking cho đến khi ông tìm ra cách nghĩ của riêng ông về nó.

Chìa khóa đối với Hawking chính là nhiệt độ, chứ không phải là entropy. Sự tồn tại của entropy tự nó không hàm ý rằng một hệ có nhiệt độ¹. Một đại lượng thứ ba, tức năng lượng, cũng có mặt trong phương trình. Mối quan hệ giữa năng lượng, entropy và nhiệt độ dẫn ta trở lại khởi nguyên của Nhiệt động lực học² vào đầu thế kỷ 19. Động cơ hơi nước là một sự kiện lúc đó và người Pháp tên là Nicolas Léonard Sadi Carnot là người mà bạn có thể gọi là kỹ sư hơi nước. Ông quan tâm đến một câu hỏi rất thực tế: làm thế nào để sử dụng nhiệt trong một lượng hơi nước nhất định để tạo ra công hữu ích một cách hiệu quả nhất – tức là làm thế nào để thu được hiệu suất lớn nhất. Trong trường hợp này, công hữu ích có nghĩa là làm gia tốc một đầu máy xe lửa, và điều này đòi hỏi phải chuyển đổi nhiệt năng thành động năng của một khối sắt thép lớn.

¹ Về logic, có thể hình dung các hệ được sắp xếp theo nhiều cách khác nhau mà không làm thay đổi năng lượng của nó, song điều này không bao giờ xảy ra trong những tình huống thuộc thế giới thực.

² Nhiệt động lực học là môn khoa học nghiên cứu về nhiệt.

Nhiệt năng có nghĩa là năng lượng chuyển động hỗn loạn vô tổ chức của các phân tử. Ngược lại, động năng của một đầu máy xe lửa được tổ chức thành chuyển động đồng bộ đồng thời của một số lượng lớn các phân tử, tất cả đều chuyển động cùng nhau. Vì vậy, vấn đề là làm thế nào để biến một lượng năng lượng không trật tự thành năng lượng có trật tự. Nhưng khốn nỗi không ai thực sự hiểu một cách chính xác năng lượng có trật tự và không có trật tự nghĩa là gì. Carnot là người đầu tiên định nghĩa entropy là thước đo của sự mất trật tự.

Sự làm quen của bản thân tôi với entropy là từ hồi còn là sinh viên khoa cơ khí. Tôi cũng như bất kỳ sinh viên nào khác hồi đó đều không biết gì về thuyết phân tử của nhiệt cả và tôi dám cá là ngay cả giáo sư của chúng tôi cũng không biết. Môn Nhiệt động lực học cho kỹ sư cơ khí khó hiểu đến nỗi ngay cả tôi, sinh viên xuất sắc nhất trong lớp, cũng không hiểu gì hết. Điều tồi tệ nhất trong tất cả là khái niệm entropy. Chúng tôi được dạy là nếu bạn làm nóng một thứ gì đó thì lấy độ biến thiên nhiệt năng chia cho nhiệt độ bạn sẽ nhận được độ biến thiên của entropy. Ai cũng ghi lại điều đó, nhưng chẳng ai hiểu ý nghĩa của nó là gì. Đối với tôi, nó cũng khó hiểu giống như khi nói “Độ biến thiên của lượng xúc xích chia cho độ ướp hành được gọi là thịt ướp” vậy.

Một phần vấn đề là tôi thực sự không hiểu về nhiệt độ. Theo giáo sư của tôi thì nhiệt độ là thứ mà bạn đo bằng nhiệt kế. “Vâng,” tôi có thể hỏi, “nhưng nó là gì?”. Tôi khá chắc chắn câu trả lời sẽ là: “Tôi đã nói với cậu rồi, đó là thứ mà cậu đo được bằng nhiệt kế”.

Định nghĩa entropy theo nhiệt độ cũng giống như đặt chiếc xe ở trước con ngựa. Mặc dù đúng là chúng ta đều có cảm giác bẩm sinh về nhiệt độ, nhưng những khái niệm trừu tượng hơn

như năng lượng và entropy thì lại cơ bản hơn nhiều. Giáo sư lẽ ra trước tiên phải giải thích rằng entropy là thước đo thông tin chưa biết và tính bằng bit. Sau đó thì ông có thể tiếp tục diễn đạt (một cách chính xác) như sau:

Nhiệt độ là sự tăng năng lượng của một hệ khi bạn thêm vào một bit entropy¹.

Năng lượng thay đổi khi bạn thêm vào một bit? Đó chính xác là điều mà Bekenstein đã hình dung ra đối với một lỗ đen. Rõ ràng là Bekenstein đã có thể tính được nhiệt độ của một lỗ đen mà không hề nhận ra.

Hawking ngay lập tức nhìn ra điều mà Bekenstein đã không để ý đến, nhưng ý tưởng cho rằng một lỗ đen có nhiệt độ dường như quá vô lý đối với Stephen đến nỗi phản ứng đầu tiên của ông là gạt bỏ tất cả những gì là vô lý, cả entropy cũng như nhiệt độ. Có lẽ phần nào lý do khiến ông phản ứng mạnh mẽ như vậy là vì sự bốc hơi của một lỗ đen có vẻ như là rất kỳ cục. Tôi không biết chính xác điều gì đã khiến Stephen suy nghĩ lại, nhưng ông đã làm như vậy. Sử dụng những công cụ toán học rất phức tạp của Lý thuyết trường lượng tử, ông đã tìm ra cách riêng của mình để chứng minh rằng các lỗ đen phát xạ năng lượng.

Thuật ngữ *Lý thuyết trường lượng tử* phản ánh sự mơ hồ còn sót lại tiếp sau sự khám phá của Einstein về photon. Một mặt, Maxwell đã chứng minh một cách thuyết phục rằng ánh sáng là sự nhiễu động giống như sóng của trường điện từ. Ông và những người khác

¹ Nói một cách chặt chẽ thì đó là nhiệt độ (tính từ 0 độ tuyệt đối) nhân với hằng số Boltzmann. Hằng số Boltzmann chỉ là hệ số chuyển đổi mà các nhà vật lý thường đặt bằng 1 khi chọn đơn vị thích hợp cho nhiệt độ.

đã xem không gian như là một thứ gì đó có thể dao động, gần giống như một bát thạch đông Jell-O. Thứ Jell-O giả thuyết này được gọi là ête truyền ánh sáng, và giống như Jell-O, khi nó bị nhiễu động bởi một dao động (trong trường hợp Jell-O, bằng cách cho chạm vào nó một âm thoa dao động), thì sóng sẽ lan truyền từ sự nhiễu động đó. Maxwell đã hình dung các điện tích dao động làm nhiễu động ête và phát xạ sóng ánh sáng. Photon của Einstein khiến người ta lúng túng trong suốt hơn hai mươi năm cho đến khi Paul Dirac cuối cùng đã ứng dụng toán học đầy quyền năng của Cơ học lượng tử cho các dao động giống như sóng của trường điện từ.

Hệ quả quan trọng nhất của Lý thuyết trường lượng tử đối với Hawking là ý tưởng cho rằng trường điện từ có “những thăng giáng lượng tử” (xem Chương 4), ngay cả khi không có điện tích dao động làm nhiễu động nó. Trong không gian trống rỗng, trường điện từ tỏa sáng mờ mờ và dao động với *những thăng giáng chân không*. Nhưng tại sao chúng ta lại không cảm thấy những rung động đó trong không gian trống rỗng? Đó không phải bởi vì chúng rất yếu. Thực tế, dao động của trường điện từ trong một vùng không gian nhỏ là rất dữ dội. Nhưng vì không gian trống rỗng có ít năng lượng hơn bất kỳ thứ gì khác, nên không có cách nào để năng lượng trong những thăng giáng chân không được truyền đến cơ thể chúng ta.

Có một loại thăng giáng khác trong tự nhiên là rất dễ nhận thấy: đó là thăng giáng nhiệt. Có gì khác giữa một bình nước nóng và một bình nước lạnh? Nhiệt độ chứ gì, chắc là bạn sẽ nói như vậy. Nhưng đó chỉ là một cách nói rằng nước nóng cảm thấy nóng và nước lạnh cảm thấy lạnh mà thôi. Sự khác biệt thực sự chính là nước nóng thì có nhiều năng lượng hơn và nhiều entropy hơn – tức là bình chứa đầy những phân tử chuyển động hỗn loạn và

ngẫu nhiên rất khó có thể theo dõi được. Chuyển động này không liên quan gì đến Cơ học lượng tử, và nó cũng không tinh tế đến mức khó phát hiện. Nhúng ngón tay của bạn vào bình và bạn sẽ không khó khăn gì phát hiện được những thăng giáng nhiệt.

Chuyển động nhiệt hỗn loạn của các phân tử không thể nhìn thấy là bởi vì phân tử nước rất nhỏ, nhưng hiệu ứng trực tiếp của những thăng giáng nhiệt lại là không khó phát hiện. Như tôi đã đề cập ở trên, chuyển động của các hạt phấn hoa lơ lửng trong một ly nước ấm chính là chuyển động Brown hỗn loạn, ngẫu nhiên, không liên quan gì đến Cơ học lượng tử cả. Nguyên do ở đây là nhiệt trong nước, nó làm cho các phân tử nước bắn phá một cách ngẫu nhiên vào các hạt đó. Khi bạn nhúng ngón tay vào ly nước, cũng chính những bắn phá ngẫu nhiên này vào da bạn sẽ kích thích đầu dây thần kinh và làm cho bạn cảm thấy nước ấm. Da và các dây thần kinh của bạn đã hấp thụ một chút năng lượng từ nhiệt xung quanh.

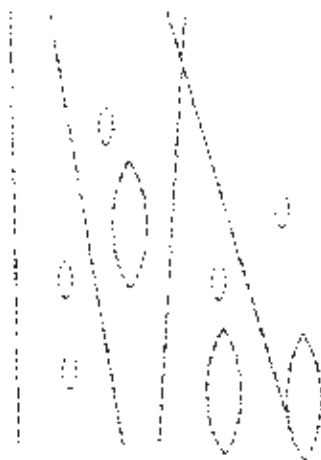
Nhưng ngay cả khi không có nước, không khí hay bất kỳ một chất nào khác, các dây thần kinh nhạy cảm với nhiệt cũng có thể bị kích thích bởi những dao động nhiệt của các bức xạ từ vật đen. Trong trường hợp này, dây thần kinh hấp thụ nhiệt từ môi trường xung quanh bằng cách hấp thụ photon. Nhưng điều này có thể xảy ra chỉ khi nhiệt độ ở trên 0 độ tuyệt đối. Tại 0 độ tuyệt đối, những thăng giáng lượng tử của trường điện và từ là khó phát hiện hơn và không có những hiệu ứng rõ ràng như vậy.

Hai loại thăng giáng – nhiệt và lượng tử – là rất khác nhau và dưới những điều kiện bình thường cũng không liên quan gì đến nhau. Thăng giáng lượng tử là phần không thể chia nhỏ được nữa của chân không và không thể loại bỏ được, trong khi thăng giáng

nhiệt là do năng lượng dư. Sự khó phát hiện của thăng giáng lượng tử – đó là lý do tại sao chúng ta không cảm thấy chúng và khiến chúng khác với thăng giáng nhiệt – sẽ khó có thể giải thích được trong một cuốn sách cố tránh những công thức toán học phức tạp, và mọi mô hình tương tự hay giản đồ nào mà tôi sử dụng cũng đều sẽ có những nhược điểm về mặt logic của nó. Nhưng sự giải thích là cần thiết nếu bạn định nắm bắt điều gì đang bị đe dọa trong Cuộc chiến lỗ đen. Hãy nhớ lại sự báo trước của Feynman về việc giải thích các hiện tượng lượng tử (xem trang 102).

Lý thuyết trường lượng tử đã gợi ý một cách hình dung hai loại thăng giáng. Thăng giáng nhiệt là nhờ có sự hiện diện của *các photon thực*, các photon bắn phá vào da chúng ta và truyền năng lượng cho nó. Còn thăng giáng lượng tử là nhờ *các cặp photon ảo*, được tạo ra rồi nhanh chóng bị hấp thụ trở lại vào chân không. Dưới đây là giản đồ Feynman về không-thời gian – phương thẳng đứng là thời gian và phương ngang là không gian – với cả các photon thực và các cặp photon ảo.

Photon thực là những đường vũ trụ đứt nét kéo dài vô tận. Sự hiện diện của chúng biểu thị nhiệt và thăng giáng nhiệt. Nhưng nếu không gian ở 0 độ tuyệt đối thì sẽ không có các photon thực nữa. Khi đó, còn lại chỉ là các vòng kín cực nhỏ của các *photon ảo*, hiện ra rồi biến mất rất nhanh. Các cặp photon ảo là một phần của chân không – thứ mà chúng ta thường cho là không gian trống rỗng – ngay cả khi nhiệt độ ở 0 độ tuyệt đối.



Dưới những điều kiện thông thường, không hề có sự lẫn lộn nào giữa hai loại thăng giáng đỏ. Nhưng một chân trời lỗ đen thì không thông thường chút nào. Gần chân trời, hai loại thăng giáng này trở nên xáo trộn theo cách mà không ai có thể ngờ tới. Để có một ý niệm nào đó về chuyện này xảy ra như thế nào, hãy tưởng tượng Alice đang rơi tự do vào lỗ đen trong một môi trường có nhiệt độ ở 0 độ tuyệt đối: một chân không hoàn hảo. Cô bị vây quanh bởi các cặp photon ảo, nhưng hoàn toàn không nhận thấy chúng. Không có photon thực nào ở trong vùng lân cận cô cả.

Giờ hãy xét Bob, người đang treo lơ lửng ở phía trên chân trời. Với anh thì mọi thứ rối rắm hơn. Một vài cặp photon ảo – những photon mà Alice không nhận thấy – có thể một nửa ở bên ngoài chân trời và một nửa ở bên trong. Nhưng một hạt ở phía sau chân trời thì không có liên quan gì đến Bob hết. Bob thấy một photon và không có cách nào nhận ra rằng nó thuộc về một cặp photon ảo. Dù tin hay không thì một photon bị mắc kẹt ở bên ngoài trong khi photon cùng cặp của nó lại ở sau chân trời, cũng sẽ ảnh hưởng đến Bob và da của anh giống y như một photon nhiệt thực thụ. Gần chân trời, sự tách bạch giữa thăng giáng nhiệt và thăng giáng lượng tử phụ thuộc vào người quan sát: điều mà Alice nhận thấy (hay không nhận thấy) như những thăng giáng lượng tử, thì đối với Bob là năng lượng nhiệt. Đối với một lỗ đen, những thăng giáng nhiệt và thăng giáng lượng tử trở thành hai mặt của một đồng xu. Chúng ta sẽ trở lại điểm này ở Chương 20, khi nghiên cứu về chiếc máy bay của Alice.

Sử dụng các công cụ toán học của Lý thuyết trường lượng tử, Hawking đã tính được rằng sự nhiễu động của các thăng giáng chân không do một lỗ đen khiến cho các photon bị phát xạ, như thể chân trời lỗ đen là một vật đen nóng. Các photon này được gọi là *bức xạ*

Hawking. Điều thú vị nhất là, một lỗ đen phát xạ như thể nhiệt độ của nó gần xấp xỉ với nhiệt độ nếu như Bekenstein tính ra theo lập luận của mình. Thực tế, Hawking đã tiến xa hơn Bekenstein; các phương pháp của ông chính xác tới mức ông có thể tính được chính xác nhiệt độ và, tính ngược trở lại được entropy của lỗ đen. Bekenstein chỉ tuyên bố rằng entropy tỷ lệ với diện tích của chân trời được đo bằng đơn vị Planck. Nhưng Hawking không cần phải sử dụng cụm từ mơ hồ “tỷ lệ với” như vậy nữa. Theo tính toán của ông, entropy của một lỗ đen chính xác bằng một phần tư diện tích chân trời được đo bằng đơn vị Planck.

Phương trình mà Hawking thu được cho nhiệt độ của một lỗ đen chính là cái phương trình viết trên bảng đen khi tôi bước vào buổi thuyết trình của Dennis Sciama:

$$T = \frac{1}{16\pi^2} \times \frac{c^3 h}{GMk}$$

Hãy lưu ý rằng trong công thức của Hawking, khối lượng của lỗ đen nằm ở mẫu số. Điều đó có nghĩa là khối lượng càng lớn thì lỗ đen càng lạnh, và ngược lại, khối lượng càng nhỏ thì lỗ đen càng nóng.

Hãy thử công thức này với một lỗ đen. Dưới đây là giá trị các hằng số¹:

$$c = 3 \times 10^8$$

$$G = 6,7 \times 10^{-11}$$

$$h = 7 \times 10^{-34}$$

$$k = 1,4 \times 10^{-23}$$

¹ Các số này đều được tính theo mét, giây, kg và nhiệt độ Kelvin (K). Đơn vị đo theo thang Kelvin cũng tương tự như độ C nhưng nhiệt độ được đo từ 0 độ tuyệt đối thay vì từ điểm đóng băng của nước. Nhiệt độ phòng thường vào khoảng 300K.

Hãy xét trường hợp một ngôi sao với khối lượng lớn gấp 5 lần Mặt trời cuối cùng bị co sập lại tạo nên một lỗ đen. Khối lượng của nó, tính bằng kg sẽ là:

$$M = 10^{31}$$

Nếu chúng ta thay các con số trên vào công thức của Hawking, ta sẽ tính được nhiệt độ của lỗ đen là 10^{-8} độ Kelvin. Đó là nhiệt độ rất nhỏ – khoảng 10 phần tỉ độ trên 0 độ tuyệt đối! Không có gì trong thế giới tự nhiên lại lạnh đến như vậy. Ngay cả trên các sao và thiên hà, không gian cũng ấm hơn rất nhiều.

Có những lỗ đen thậm chí có nhiệt độ còn thấp hơn nằm ở trung tâm của thiên hà. Một tỉ lần nặng hơn lỗ đen tạo thành từ các sao, mà một tỉ lần nặng hơn, có nghĩa là sẽ lạnh hơn 1 tỉ lần. Nhưng chúng ta cũng có thể xét các lỗ đen nhỏ hơn nhiều. Giả sử một tai họa nào đó sập xuống Trái đất. Khối lượng của Trái đất khoảng 1 triệu lần nhỏ hơn khối lượng một ngôi sao. Lỗ đen tạo thành sẽ có nhiệt độ khá lớn, vào khoảng 0,01K: tức ấm hơn rất nhiều so với lỗ đen tạo thành từ sao, nhưng vẫn lạnh khủng khiếp – lạnh hơn cả heli lỏng và lạnh hơn nhiều so với oxi đóng băng. Một lỗ đen với khối lượng như Mặt trăng sẽ có nhiệt độ khoảng 1K.

Nhưng giờ hãy xem điều gì xảy ra khi một lỗ đen phát ra bức xạ Hawking và bốc hơi. Khi khối lượng giảm và lỗ đen co lại, nhiệt độ sẽ tăng lên. Dần dần, lỗ đen sẽ trở nên rất nóng. Đến khi nó đạt đến khối lượng của một tảng đá lớn, nhiệt độ của nó sẽ lên tới cả tỉ độ. Khi nó đạt tới khối lượng Planck, thì nhiệt độ của nó sẽ là 10^{32} độ. Chỉ có một thời điểm mà khắp nơi trong vũ trụ có thể ở gần nhiệt độ như vậy, đó chính là khi bắt đầu Vụ nổ lớn (Big Bang).

Tính toán của Hawking cho thấy lỗ đen bốc hơi như thế nào còn hơn cả một chuyến du lịch tuyệt vời. Tôi tin rằng vào lúc mà những hệ quả của nó được thấu hiểu một cách đầy đủ thì các nhà vật lý sẽ xem nó là sự bắt đầu của một cuộc cách mạng khoa học vĩ đại. Sẽ còn quá sớm để biết chính xác cuộc cách mạng này sẽ diễn tiến như thế nào, nhưng chắc chắn nó sẽ chạm tới những vấn đề sâu sắc nhất: đó là bản chất của không gian và thời gian, ý nghĩa của các hạt cơ bản, và những bí ẩn về sự khởi đầu của vũ trụ. Các nhà vật lý không ngừng hỏi liệu Hawking có thuộc số những nhà vật lý vĩ đại nhất mọi thời đại hay không và đẳng cấp của ông là ở đâu. Để đáp lại những ai còn nghi ngờ về sự vĩ đại của Hawking, tôi chỉ xin gợi ý rằng họ nên trở lại và đọc bài báo viết năm 1995 của ông *Sự sản xuất ra các hạt bởi các lỗ đen*.

Nhưng dù ông có thể vĩ đại như thế nào đi nữa thì ít nhất trong một trường hợp ông đã để mất dấu vết các bit thông tin của mình, và đó chính là điều đã khơi mào cho Cuộc chiến lỗ đen.

PHẦN II

Cuộc tấn công bất ngờ

STEPHEN ĐÃ ĐỂ MẤT CÁC BIT CỦA MÌNH VÀ KHÔNG BIẾT PHẢI TÌM CHÚNG Ở ĐÂU

Điều đó là không thể như tôi nói, và vì vậy, ở khía cạnh nào đó, tôi phải nói điều đó là sai.

SHERLOCK HOLMES

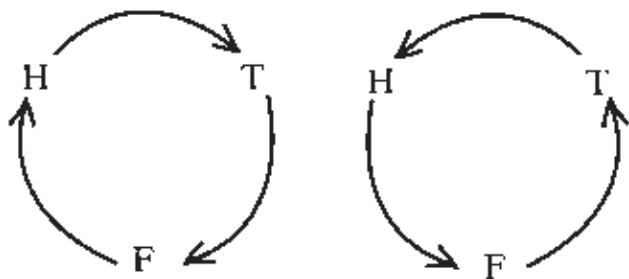
THEO MỘT VÀI BÀI BÁO, chiến tranh ở Iraq đã kéo dài hơn cả Thế chiến thứ II. Điều mà các nhà báo đó thực sự muốn nói là cuộc chiến tranh này đã kéo dài hơn sự tham gia của người Mỹ trong Thế chiến thứ II. Chiến tranh thế giới bắt đầu vào mùa thu năm 1939 và chỉ kết thúc vào mùa hè năm 1945. Người Mỹ có xu hướng muốn quên thực tế rằng cuộc chiến đã xảy ra 3 năm trước khi Trân châu cảng bị tấn công.

Có lẽ tôi cũng đang mắc phải sai lầm tương tự khi nói rằng Cuộc chiến lỗ đen bắt đầu vào năm 1983 ở căn gác áp mái nhà Werner Erhard. Thực ra, cuộc tấn công của Stephen đã bắt đầu từ năm 1976, nhưng bạn không thể có cuộc chiến mà không có hai chiến tuyến. Mặc dù cuộc tấn công hầu như không ai để ý tới, nhưng nó vẫn là một cú đánh trực diện vào một trong những nguyên lý được tin cậy nhất của vật lý học: *định luật cho rằng thông tin*

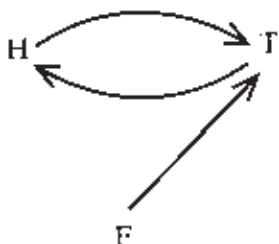
không bao giờ bị mất, hay, nói một cách ngắn gọn thì *thông tin được bảo toàn*. Vì nó là một định luật trung tâm đến nỗi mọi thứ đều tuân theo nó, nên chúng ta hãy ôn lại một lần nữa định luật bảo toàn thông tin này.

Thông tin là vĩnh cửu

Nói thông tin bị phá hủy có nghĩa là gì? Trong vật lý học cổ điển, câu trả lời thật đơn giản. Thông tin bị phá hủy nếu tương lai không còn dấu vết của quá khứ. Đáng ngạc nhiên là điều này lại có thể xảy ra ngay cả với một định luật có tính tất định. Để minh họa, chúng ta hãy trở lại với đồng xu ba mặt mà chúng ta đã chơi ở Chương 4. Ba mặt của đồng xu được gọi là H, T và F (biểu thị cho mặt ngửa, mặt sấp và mặt đứng). Trong chương đó, tôi đã mô tả hai định luật có tính tất định bằng biểu đồ dưới đây:



Cả hai định luật đều có tính tất định, trong đó cho dù đồng xu đang ở trạng thái nào, người ta cũng đều có thể chỉ ra trạng thái tiếp sau và trước đó của nó một cách hoàn toàn xác định. Hãy so sánh nó với định luật được mô tả bởi một biểu đồ khác dưới đây:



hay bởi công thức sau:

$$H \rightarrow T \quad T \rightarrow H \quad F \rightarrow T$$

Diễn đạt bằng lời thì nếu đồng xu là ngửa (H) tại một thời điểm, nó sẽ là sấp (T) ở thời điểm tiếp theo. Nếu nó là sấp thì sau đó sẽ là ngửa. Và nếu nó đứng (F) thì tiếp theo sẽ là sấp. Quy tắc là hoàn toàn tất định: bạn bắt đầu ở bất kỳ đâu thì tương lai cũng đều đã được an bài mãi mãi bởi quy luật đã cho. Chẳng hạn, giả sử chúng ta bắt đầu từ mặt F, thì lịch sử tiếp theo là hoàn toàn được xác định: F T H T H T H T H T... Nếu chúng ta bắt đầu từ H, thì lịch sử sẽ là H T H T H T H T H T... Và nếu chúng ta bắt đầu từ T, thì sẽ là T H T H T H T H T H T...

Có điều gì đó hơi kỳ quặc ở quy luật này, nhưng nó chính xác là gì? Giống như các định luật tất định khác, tương lai là hoàn toàn có thể tiên đoán được. Nhưng khi chúng ta thử xác định quá khứ thì tình hình không suôn sẻ như thế nữa. Giả sử chúng ta thấy đồng xu ở trạng thái H. Chúng ta có thể chắc chắn rằng trạng thái trước đó là T. Đến đây mọi thứ đều ổn. Nhưng hãy thử lần ngược thêm một bước nữa. Có hai trạng thái có thể dẫn đến T, đó chính là H và F. Một câu hỏi được đặt ra: vậy chúng ta nhận được T từ H hay từ F? Hoàn toàn không có cách nào biết được. Điều này có nghĩa là thông tin đã mất, nhưng nó không bao giờ xảy ra trong vật lý cổ điển. Các quy tắc toán học làm cơ sở cho các định luật của Newton

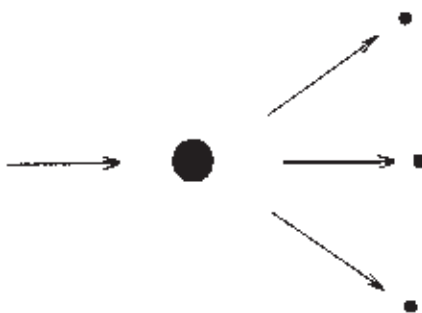
và lý thuyết trường điện từ của Maxwell đều rất rõ ràng: mọi trạng thái đều được tiếp sau bởi một trạng thái duy nhất, và mọi trạng thái đều có trạng thái đứng trước duy nhất.

Còn có một con đường khác mà thông tin có thể bị mất, đó là khi có một mức độ ngẫu nhiên nào đó trong quy luật. Trong trường hợp đó, rõ ràng là không thể có sự chắc chắn về tương lai hay quá khứ.

Như tôi đã giải thích ở trên, Cơ học lượng tử có yếu tố ngẫu nhiên của nó, nhưng cũng có một ý nghĩa sâu xa mà trong đó thông tin không bao giờ bị mất. Tôi đã minh họa điều này đối với một photon ở Chương 4, nhưng chúng ta hãy làm lại một lần nữa, và lần này ta sẽ dùng một electron va chạm với một bia đứng yên, như một hạt nhân nặng, chẳng hạn. Electron đến từ phía trái, chuyển động theo hướng nằm ngang.



Nó va chạm với hạt nhân và bắn ra theo một hướng mới không thể đoán trước được. Một nhà lý thuyết lượng tử giỏi có thể tính được xác suất để nó bắn ra theo một hướng cụ thể nào đó, nhưng không thể tiên đoán được hướng đó một cách chắc chắn.



Có hai cách để kiểm tra xem thông tin về chuyển động ban đầu có còn được giữ lại hay không. Cả hai cách này đều liên quan đến việc cho electron đi ngược trở lại theo một quy luật nghịch đảo.

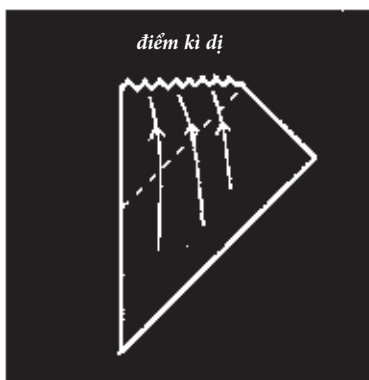
Trong trường hợp thứ nhất, một người quan sát kiểm tra xem electron ở đâu ngay trước khi đảo ngược lại quy luật. Anh ta có thể làm điều đó bằng nhiều cách khác nhau, hầu hết các cách đều sử dụng photon như là một máy dò. Trong trường hợp thứ hai, người quan sát không kiểm tra gì hết; anh ta chỉ đảo ngược quy luật mà không can thiệp đến electron bằng bất cứ cách nào. Kết quả của hai thí nghiệm sẽ là hoàn toàn khác nhau. Trong trường hợp thứ nhất, sau khi electron chạy ngược trở lại, nó sẽ kết thúc ở một vị trí ngẫu nhiên, theo một hướng không thể dự đoán trước được. Trong trường hợp thứ hai, khi không thực hiện việc kiểm tra, electron luôn kết thúc sự chuyển động ngược của nó theo hướng nằm ngang. Khi người quan sát nhìn vào electron lần đầu tiên sau khi bắt đầu thí nghiệm, anh ta sẽ thấy nó di chuyển chính xác như khi nó bắt đầu, chỉ có khác là theo chiều ngược lại. Như vậy, có vẻ như thông tin bị mất chỉ khi chúng ta chủ động can thiệp vào electron. Trong Cơ học lượng tử, chừng nào chúng ta không can thiệp vào một hệ, thì thông tin mà hệ chứa đựng sẽ không thể phá hủy được, y như trong vật lý cổ điển vậy.

Stephen tấn công

Sẽ là rất khó khăn để tìm thấy hai khuôn mặt nào ở khắp San Francisco này sung sướng hơn của Gerard 't Hooft và tôi vào cái ngày hôm đó của năm 1983. Tại phố Franklin, trên căn gác áp mái nhà Werner Erhard, cuộc chiến tranh đã được tuyên bố – một cuộc tấn công trực diện vào

những niềm tin sâu sắc nhất của chúng tôi. Stephen Táo bạo, Stephen Liều lĩnh, Stephen Kẻ Tiêu diệt đã có tất cả các vũ khí hạng nặng và nụ cười nửa thiên thần nửa ác quỷ đã cho thấy ông ta biết điều đó.

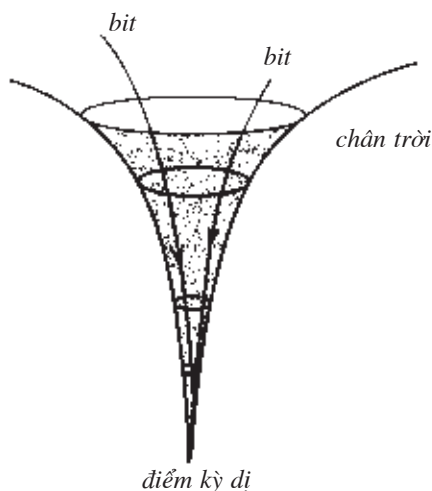
Đây hoàn toàn không phải là cuộc tấn công cá nhân. Cuộc tấn công ồ ạt chớp nhoáng này nhắm thẳng vào trụ cột trung tâm của vật lý học: đó là tính không thể phá hủy được của thông tin. Thông tin thường bị xáo trộn tới mức khó có thể nhận ra, nhưng Stephen biện luận rằng các bit thông tin rơi vào một lỗ đen sẽ bị biến mất đối với thế giới bên ngoài. Trên bảng đen, ông đã sử dụng một giản đồ để chứng minh điều đó.



Trong những nghiên cứu xuất sắc của mình về hình học không-thời gian, Roger Penrose đã phát minh ra một cách để làm hiển thị toàn bộ không-thời gian trên một tấm bảng đen hay trên một tờ giấy. Ngay cả khi không-thời gian là vô hạn, Penrose cũng có thể bóp méo và nén nó theo những cách thức toán học rất thông minh để có được toàn bộ nằm gọn trên một diện tích hữu hạn. Giản đồ Penrose được vẽ trên bảng đen trong căn gác nhà Werner biểu thị một lỗ đen với các bit thông tin đang rơi qua chân trời. Chân trời được biểu thị bằng một đường chéo mảnh, và một khi một bit đi qua ranh giới đó, nó sẽ không thể thoát ra nếu không có tốc độ vượt quá tốc độ ánh sáng. Giản đồ cũng biểu thị rằng mọi bit như vậy đều có chung số phận là sẽ chạm vào điểm kỳ dị.

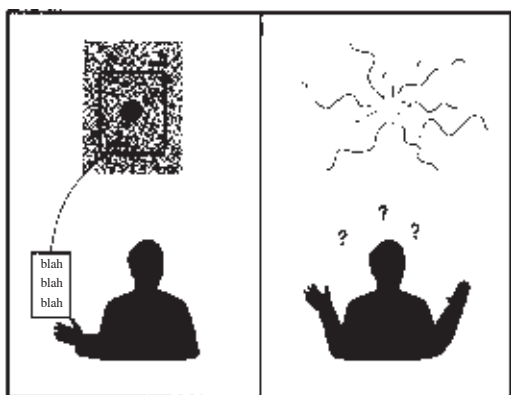
Các giản đồ Penrose là công cụ không thể thiếu của các nhà vật lý lý thuyết, nhưng chúng đòi hỏi phải luyện tập một chút mới có

thể hiểu được. Dưới đây là một bức tranh quen thuộc hơn biểu thị cùng một lỗ đen



Luận điểm của Stephen rất đơn giản. Các bit rơi vào một lỗ đen cũng giống như những con nòng nọc ẩn dụ nói tới ở Chương 2 đã bất cần để rơi qua điểm không thể quay lui. Một khi một bit đi qua chân trời, sẽ không có cách nào để nó quay trở lại thế giới bên ngoài được nữa.

Không phải vấn đề các bit thông tin có thể bị biến mất sau chân trời đã khiến tôi và 't Hooft bối rối như vậy. Thông tin rơi vào lỗ đen cũng không tồi tệ hơn việc khóa nó trong một căn hầm bị bít chặt. Nhưng có điều gì đó còn tai hại hơn đang đùa giỡn ở đây. Khả năng cất giấu thông tin trong một căn hầm khó có thể là nguyên nhân gây ra lo lắng, nhưng tình hình sẽ ra sao nếu cửa bị khóa chặt, rồi căn hầm bốc hơi ngay trước mắt chúng ta? Mà đó lại chính xác là điều mà Hawking dự đoán sẽ xảy ra với lỗ đen.



Đến mãi năm 1983, qua một thời gian khá dài tôi mới liên hệ được sự bốc hơi của lỗ đen với cuộc nói chuyện giữa tôi với Richard Feynman ở quán cà phê West End năm 1972. Ý tưởng cho rằng lỗ đen cuối cùng sẽ bị phân rã thành các hạt cơ bản không hề làm tôi phải băn khoăn chút nào. Nhưng tuyên bố của Stephen đã khiến tôi phải nghi ngờ: *Khi một lỗ đen bốc hơi, các bit thông tin bị bẫy vào trong nó sẽ biến mất khỏi vũ trụ của chúng ta. Thông tin không bị xáo trộn. Nó bị xóa sạch một cách bất thuận nghịch và vĩnh viễn.*

Stephen nhảy múa vui vẻ trên nấm mồ của Cơ học lượng tử, trong khi 't Hooft và tôi hoàn toàn bị rối tung lên. Đối với chúng tôi, một ý tưởng như vậy sẽ khiến cho toàn bộ các định luật vật lý bị lung lay. Đường như là sự kết hợp giữa Thuyết tương đối rộng với các quy tắc của Cơ học lượng tử sắp sửa gây ra một sự đổ vỡ ghê gớm.

Tôi không biết 't Hooft có biết về ý tưởng cực đoan này của Stephen trước khi có cuộc hội họp ở căn gác áp mái nhà Werner hay không, nhưng đây là lần đầu tiên tôi được nghe về nó. Ngay cả như vậy thì ý tưởng này cũng không phải là mới vào lúc đó. Stephen

đã đưa ra những lập luận này của mình trong một bài báo đã công bố vài năm trước đây và đã hoàn tất một cách thận trọng cái bài tập đó của mình. Ông đã thực sự suy nghĩ và bác bỏ mọi cách mà tôi có thể đưa ra để tránh khỏi cái “nghịch lý thông tin” của mình. Chúng ta sẽ xem xét qua bốn trong số những cách đó dưới đây.

1. Lỗ đen không thực sự bốc hơi

Đối với hầu hết các nhà vật lý thì kết luận lỗ đen bốc hơi là một bất ngờ rất lớn. Nhưng lý luận về sự bốc hơi, dù nặng tính chuyên môn, cũng vô cùng hấp dẫn. Bằng việc nghiên cứu các thăng giáng lượng tử ở rất gần chân trời, Hawking, cũng như Bill Unruh, đã chứng minh được rằng lỗ đen có nhiệt độ và, giống như bất kỳ một vật thể nóng nào khác, nó phải phát ra bức xạ nhiệt (bức xạ vật đen). Thỉnh thoảng lại có một bài báo về vật lý xuất hiện tuyên bố rằng các lỗ đen không bốc hơi. Nhưng những bài báo như vậy nhanh chóng biến mất trong đồng tạp nham vô hạn các ý tưởng bên lề.

2. Lỗ đen để lại các tàn dư

Tuy sự bốc hơi của các lỗ đen có vẻ như liên tục, nhưng cũng có một sự thật là khi chúng bốc hơi, chúng trở nên nóng hơn và nhỏ đi. Tại điểm nào đó, một lỗ đen bốc hơi sẽ trở nên nóng tới mức nó sẽ phát ra các hạt với năng lượng cực lớn. Trong con bùng phát bốc hơi cuối cùng, các hạt phát ra sẽ có năng lượng vượt xa bất kỳ thứ gì chúng ta đã từng chứng kiến. Người ta biết rất ít về con hấp hối này của lỗ đen. Có lẽ lỗ đen sẽ dừng bốc hơi khi nó đạt đến khối lượng Planck (cỡ khối lượng của một hạt bụi). Tại điểm đó, bán kính của nó sẽ bằng độ dài Planck, và không ai có thể nói

chắc chắn điều gì sẽ xảy ra tiếp theo. Về mặt logic có khả năng là lỗ đen sẽ dùng bốc hơi và để lại tàn dư – một hầm chứa thông tin cực nhỏ – với tất cả các thông tin bị mất được lưu giữ lại bên trong nó. Theo ý tưởng này thì mọi bit thông tin rơi vào lỗ đen sẽ được khóa chặt bên trong cái hộp cực nhỏ này. Tàn dư có kích cỡ Planck nhỏ xíu có một tính chất kỳ lạ: nó là một hạt cực nhỏ mà bên trong có thể ẩn giấu bất kỳ lượng thông tin nào.

Mặc dù ý tưởng tàn dư là một lựa chọn phổ biến cho sự phá hủy của thông tin (trong thực tế, còn phổ biến hơn nhiều so với ý tưởng đúng đắn), nhưng nó chưa bao giờ hấp dẫn tôi cả. Nó có vẻ như là tìm cách lảng tránh vấn đề. Nhưng đây không phải là vấn đề khẫu vị. Một hạt có thể chứa một lượng thông tin vô hạn sẽ là một hạt có entropy vô hạn. Mà sự tồn tại của các hạt có entropy vô hạn như vậy là một thảm họa đối với nhiệt động lực học: do các thăng giáng nhiệt, các hạt này sẽ rút hết nhiệt của bất kỳ hệ nào. Theo cách nghĩ của tôi thì ý tưởng tàn dư chưa được xem xét một cách nghiêm túc.

3. Các vũ trụ sơ sinh

Thỉnh thoảng tôi lại nhận được các bức thư điện tử mà thường bắt đầu tương tự nhau: “Tôi không phải là một nhà khoa học và tôi không biết nhiều về vật lý hay toán học, nhưng tôi nghĩ là tôi có câu trả lời cho vấn đề mà ông và Hawkins – lúc thì “Hawkings” và lúc thì “Haskins” – “đang nghiên cứu”. Giải pháp được đề xuất trong các thư đó hầu như luôn là *vũ trụ sơ sinh*. Ở đâu đó bên trong lỗ đen, một phần nhỏ không gian sẽ tách rời ra và tạo thành một vũ trụ nhỏ xíu, độc lập, tách biệt hoàn toàn khỏi phần không-thời gian của chúng ta. (Tôi luôn nghĩ đến những quả bóng bay bị tuột

khỏi tay và bay mất). Tác giả bức thư tiếp tục biện luận rằng tất cả các thông tin từng bị rơi vào lỗ đen đều nằm lại trong vũ trụ sơ sinh này. Điều này sẽ giải quyết được vấn đề: thông tin không bị phá hủy; nó chỉ trôi nổi đâu đó trong siêu không gian hay bất cứ nơi nào mà vũ trụ sơ sinh trở thành. Cuối cùng, sau khi lỗ đen bốc hơi, vết nứt trong không gian lành lại và, bởi vì hoàn toàn cách biệt, nên những bit thông tin bị mắc kẹt trở nên hoàn toàn không thể quan sát được.

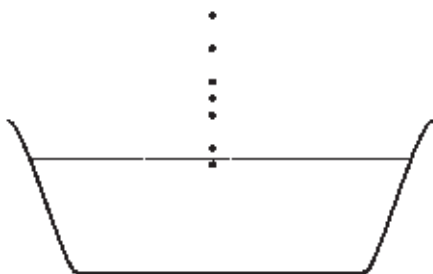
Ý tưởng vũ trụ sơ sinh có thể không phải hoàn toàn là ngu ngốc, đặc biệt là nếu chúng ta giả sử rằng những vũ trụ sơ sinh đó sẽ lớn lên. Vũ trụ của chúng ta *đang* giãn nở. Có lẽ mỗi vũ trụ sơ sinh cũng giãn nở và cuối cùng trưởng thành và trở thành một vũ trụ với đầy đủ các thiên hà, sao, hành tinh, chó, mèo, con người và cả những lỗ đen của chính nó. Thậm chí có thể là vũ trụ của chính chúng ta cũng có nguồn gốc như vậy. Nhưng nếu coi đó là một lời giải cho vấn đề thông tin bị biến mất thì nó đơn giản là không đi vào đúng vấn đề. Vật lý học là quan sát và thực nghiệm. Nếu vũ trụ sơ sinh mang đi thông tin khiến nó trở nên không thể quan sát được nữa thì đối với thế giới của chúng ta, điều này cũng chẳng khác gì thông tin bị phá hủy với tất cả những hệ lụy không may của sự phá hủy đó¹.

4. Xem xét lựa chọn bồn nước tắm

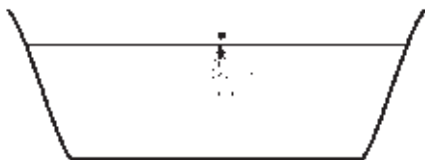
Lựa chọn bồn nước tắm là lý lẽ chống lại ý tưởng của Hawking ít phổ biến nhất. Các chuyên gia về lỗ đen và các nhà nghiên cứu

¹ Trong Chương 1, tôi đã đề cập vấn đề tất đến một trong những hệ quả không may nhất này: mất thông tin có nghĩa là gia tăng entropy, mà điều đó thì có nghĩa là sẽ tạo ra nhiệt. Như Banks, Peskin và tôi đã giải thích, khi đó thăng giáng lượng tử sẽ trở thành thăng giáng nhiệt và gần như ngay lập tức làm nóng thế giới đến nhiệt độ rất cao.

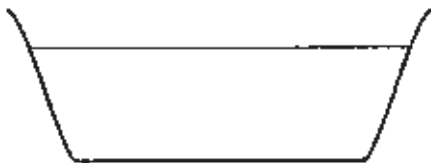
Thuyết tương đối rộng xem nó như là “một sự lạc đề”. Tuy nhiên, nó lại là khả năng duy nhất có ý nghĩa đối với tôi. Hãy hình dung những giọt mực rơi vào một bồn nước, mang theo một thông điệp – tí, tí, tách, tí, tách, dấu cách, tách, tí.



Những giọt mực tròn trịa nhanh chóng hòa tan, thông điệp trở nên khó đọc hơn và nước cũng đục hơn.

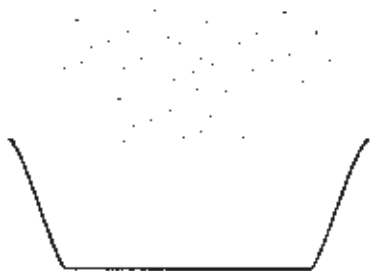


Sau một vài giờ, tất cả còn lại là một bồn nước đồng nhất màu ghi.



Tuy từ cách nhìn thực tế thì thông điệp này đã bị xáo trộn đến mức không còn hy vọng đọc được nữa, nhưng các nguyên lý của Cơ học lượng tử thì đảm bảo rằng nó vẫn còn ở đó giữa một số rất lớn các phân tử chuyển động hỗn loạn. Nhưng sau đó chất lỏng bắt đầu bốc hơi khỏi bồn. Hết phân tử này đến phân tử khác – mực cũng như nước – thoát ra không gian trống rỗng và cuối cùng để lại

một cái bồn rỗng và khô. Thông tin đã biến mất, nhưng liệu nó đã bị phá hủy hay chưa? Mặc dù bị xáo trộn đến mức khó có thể phục hồi bằng bất kỳ một phương cách thực tế nào, song không một bit thông tin nào bị xóa sạch. Rõ ràng là nó bị mang theo trong các sản phẩm bốc hơi, các đám mây phân tử hơi thoát ra ngoài không gian.



Trở lại với các lỗ đen, vậy điều gì sẽ xảy ra với các thông tin trong lỗ đen khi nó bốc hơi? Nếu một lỗ đen là thứ gì đó giống như bồn tắm, thì câu trả lời là tương tự: mọi bit thông tin cuối cùng sẽ được chuyển giao cho các photon và các hạt khác đã mang đi năng lượng của lỗ đen. Nói cách khác, thông tin được chứa trong rất nhiều hạt tạo nên bức xạ Hawking. ‘T Hooft và tôi cảm thấy chắc chắn là như vậy, nhưng thực tế là không một ai biết nhiều về lỗ đen lại tin chúng tôi.

Dưới đây là một cách khác để hiểu nghịch lý thông tin của Stephen. Thay vì để cho lỗ đen biến mất, khi nó bốc hơi, chúng ta có thể nuôi dưỡng nó bằng những thứ mới – như máy tính, sách, đĩa CD – theo một tỷ lệ vừa phải để giữ cho nó không bị co sập lại. Nói cách khác, chúng ta cung cấp cho lỗ đen một dòng thông tin vô hạn để giữ nó không bị nhỏ đi. Theo Hawking, mặc dù lỗ đen sẽ không lớn lên (nó sẽ vẫn bốc hơi khi được nuôi dưỡng), song thông tin bị nó nuốt chửng, có vẻ như không bao giờ chấm dứt.

Tất cả những điều này khiến tôi nhớ đến màn trình diễn xiếc ưa thích của tôi khi còn nhỏ. Tôi thích các chú hề hơn bất kỳ thứ gì khác và trong tất cả các buổi diễn hài thì thứ hấp dẫn tôi nhất là trò ô tô chú hề. Tôi không biết họ đã làm như thế nào, nhưng một số lượng đáng kể các chú hề bị nhồi nhét vào một chiếc ô tô bé tí. Nhưng sẽ là như thế nào nếu như một chuỗi vô tận các chú hề cứ liên tục trèo vào trong xe mà không có ai đi ra? Điều đó sẽ không thể tiếp diễn mãi mãi, phải vậy không? Sức chứa các chú hề của bất kỳ chiếc xe nào cũng là hữu hạn, và một khi khả năng đó đã bão hòa thì cái gì đó – có thể là các chú hề, có thể là xúc xích – sẽ phải bắt đầu thoát ra.

Thông tin cũng giống như các chú hề, và lỗ đen giống như chiếc xe. Một lỗ đen với kích thước đã cho có số lượng bit thông tin tối đa mà nó có thể chứa được. Giờ thì bạn có thể đoán được giới hạn đó chính là entropy của lỗ đen. Nếu một lỗ đen giống như bất kỳ vật thể nào khác, thì một khi bạn đã chất đầy vào nó đến hết sức chứa thì hoặc là lỗ đen phải lớn lên hoặc là thông tin phải bắt đầu rò rỉ ra ngoài. Nhưng làm thế nào mà nó có thể rò rỉ ra ngoài được nếu chân trời thực sự là một điểm không thể quay lui?

Lẽ nào Stephen lại quá ngu ngốc để không nhận thấy bức xạ Hawking có thể chứa đựng những thông tin ẩn giấu? Tất nhiên là không. Mặc dù tuổi còn trẻ, song Hawking ít nhất cũng đã biết nhiều về lỗ đen như bất kỳ ai khác, và chắc chắn là nhiều hơn những gì tôi đã biết. Ông đã nghĩ rất sâu sắc về lựa chọn bôn tắm và có những lý do rất mạnh mẽ để loại bỏ nó.

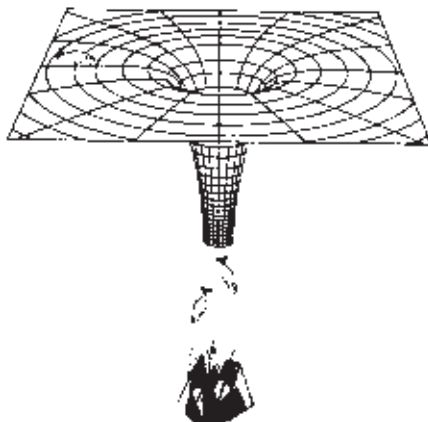
Hình học lỗ đen của Schwarzschild đã được hiểu một cách thấu đáo vào giữa những năm 1970. Những ai đã quen với chủ đề này đều coi chân trời chỉ là điểm không thể quay lui. Cũng tương tự như

trường hợp lỗ rò, lý thuyết của Einstein tiên đoán rằng ai đó tình cờ vượt quá chân trời sẽ không thấy có gì đặc biệt ở đây cả – chân trời chỉ là một mặt toán học chứ không hề có thực tại vật lý nào.

Có hai thực tế quan trọng nhất đã ăn sâu vào tâm tưởng của các nhà nghiên cứu thuyết tương đối, đó là:

- ♦ Không có một cản trở nào ở chân trời ngăn chặn, không cho vật vượt qua nó để đi vào bên trong lỗ đen.
- ♦ Không gì, ngay cả một photon – tức không một tín hiệu bất kỳ loại nào – có thể quay trở lại từ phía sau chân trời. Để làm được điều đó đòi hỏi phải có tốc độ vượt quá tốc độ ánh sáng – mà điều này, theo Einstein, là không thể.

Để làm rõ điểm này, chúng ta hãy trở lại với cái hồ nước vô hạn ở Chương 2 với cái lỗ rò nguy hiểm ở chính giữa của nó.



Hãy tưởng tượng một bit thông tin trôi nổi theo dòng chảy. Chừng nào còn chưa vượt qua điểm không thể quay lui, thì bit thông tin đó còn có thể quay trở lại. Nhưng không có dấu hiệu nào báo trước ở điểm không thể quay lui; bit thông tin sẽ trôi qua nó

và một khi đã trôi qua, nó không thể quay trở lại nếu không vượt quá tốc độ giới hạn. Và bit này sẽ bị mất vĩnh viễn.

Toán học của Thuyết tương đối rộng là hoàn toàn rõ ràng về chân trời lỗ đen. Chúng đơn giản là những điểm không thể quay lui, không được đánh dấu và không bộc lộ sự cản trở nào đối với các vật đang rơi vào nó.

Đó là logic đã bén rễ sâu vào tiềm thức của tất cả các nhà vật lý lý thuyết. Và đó cũng là lý do vì sao Hawking chắc chắn rằng bit thông tin đó không chỉ rơi qua chân trời mà còn vĩnh viễn biến mất đối với thế giới bên ngoài. Vì vậy khi khám phá ra lỗ đen bốc hơi, Stephen đã lập luận rằng thông tin không thể thoát ra ngoài cùng với bức xạ. Nó đã bị bỏ lại, nhưng bỏ lại ở đâu? Một khi lỗ đen bốc hơi, sẽ chẳng còn chỗ nào để cho nó ẩn giấu nữa.

Tôi rời nhà Werner với tâm trạng rất tồi tệ. Trời rất lạnh đúng theo kiểu thời tiết của San Francisco, mà tôi thì chỉ mặc mỗi chiếc áo khoác mỏng. Tôi không thể nhớ là mình đã đỗ xe ở đâu và tôi đã tức tối với cả các đồng nghiệp của mình. Trước khi ra về, tôi đã cố trao đổi về lập luận của Hawking với họ và ngạc nhiên khi thấy họ không hề tò mò và cũng chẳng quan tâm gì. Nhóm hôm đó đa phần là các nhà vật lý hạt cơ bản, những người hầu như không quan tâm lắm đến hấp dẫn. Giống như Feynman, họ nghĩ rằng kích thước Planck là quá nhỏ nên không thể ảnh hưởng đến các hạt cơ bản. Thành Rome bốc cháy và quân Huns man rợ đã đến ngay cổng thành mà không ai nhận ra cả.

Trên đường lái xe về nhà, kính chắn gió bị đóng băng và giao thông thì tắc nghẽn đến mức luôn phải dừng lại dọc theo Đường 101. Tôi không sao gạt bỏ được tuyên bố của Stephen ra khỏi đầu. Sự tắc nghẽn giao thông cộng với lạnh giá đã cho phép tôi về

nguyệt ngoạc vài giây đồ và một hay hai phương trình lên kính chắn gió, nhưng không thể tìm ra lối thoát nào. Hoặc là thông tin đã bị mất vĩnh viễn và các quy tắc cơ bản của vật lý cần phải được xây dựng lại hoàn toàn hoặc là có điều gì đó sai lầm một cách cơ bản với lý thuyết hấp dẫn của Einstein ở gần chân trời lỗ đen.

Còn 't Hooft đã thấy những điều này như thế nào? Rất rõ ràng, tôi có thể nói như vậy. Sự chống đối của ông với tuyên bố của Stephen là điều tuyệt đối không thể nghi ngờ. Tôi sẽ giải thích quan điểm của Gerard trong chương sau, nhưng trước hết tôi sẽ giải thích ý nghĩa của ma trận S, vũ khí mạnh nhất của ông.

SỰ CHỐNG TRẢ CỦA NGƯỜI HÀ LAN

CHÚNG TA HÃY TÌM HIỂU lịch sử lâu dài – không phải của chính chúng ta mà là của một hệ mặt trời nào đó với ngôi sao ở trung tâm nặng gấp 10 lần Mặt trời. Nó không phải đã ngay lập tức là một hệ mặt trời, mà bắt đầu là một đám khí khổng lồ, hầu hết là các nguyên tử hiđrô và hêli nhưng cũng có tất cả các nguyên tố khác trong bảng tuần hoàn, mỗi thứ một ít. Thêm vào đó cũng có cả các electron và ion tự do. Nói cách khác, nó bắt đầu như là một đám mây rất loãng của các hạt.

Sau đó thì lực hấp dẫn bắt đầu thực hiện nhiệm vụ của mình. Đám mây bắt đầu tự co lại. Dưới sức nặng của chính mình, nó thu nhỏ lại và trong khi làm như vậy, thế năng hấp dẫn sẽ chuyển đổi thành động năng. Các hạt bắt đầu chuyển động với tốc độ nhanh hơn, trong khi khoảng cách giữa chúng thu hẹp lại. Khi đám mây co lại, nó cũng nóng lên, cuối cùng nó sẽ đủ nóng đến mức khơi mào các phản ứng tổng hợp hạt nhân và trở thành một ngôi sao. Trong khi đó, không phải toàn bộ khí đều bị giữ lại bởi ngôi sao; một số vẫn sẽ tiếp tục trên quỹ đạo và kết tụ lại tạo thành các hành tinh, tiểu hành tinh, sao chổi và các mảnh vụn khác.

Mười triệu năm sẽ trôi qua trước khi ngôi sao cạn kiệt hiđrô, và từ đó nó có một cuộc sống ngắn ngủi – có lẽ khoảng vài trăm

ngàn năm – của một sao siêu kình đồ. Cuối cùng thì nó sẽ chết trong một vụ co sập dữ dội và tạo nên lỗ đen.

Sau đó, một cách rất chậm rãi, lỗ đen phát xạ dần khối lượng của nó. Sự bốc hơi Hawking làm cho nó hao mòn, bởi năng lượng của nó đã được phát xạ thành các photon và những hạt khác. Sau một thời gian dài kinh khủng – cỡ 10^{68} năm – lỗ đen biến mất trong một vụ bùng nổ cuối cùng thành các hạt năng lượng cao. Tới lúc đó, thì các hành tinh đã bị phân rã thành các hạt cơ bản từ đời nào đời nào rồi.

Các hạt đi vào và các hạt đi ra: đó là cái nhìn lâu dài của lịch sử. Tất cả những va chạm của các hạt cơ bản, kể cả những va chạm được thực hiện trong phòng thí nghiệm, đều bắt đầu và kết thúc theo cùng một cách – các hạt tiến lại gần nhau rồi bay ra xa nhau – và giữa đó đã xảy ra một điều gì đó. Vậy lịch sử lâu dài của một ngôi sao, ngay cả nếu nó nhất thời có dính dáng đến một lỗ đen, thì về cơ bản có khác gì với *bất kỳ* va chạm nào của các hạt cơ bản? Quan điểm của Gerard 't Hooft là không có gì khác biệt cả và điều đó chính là chìa khóa để giải thích tại sao Hawking lại sai.

Va chạm của các hạt – nguyên tử cũng như các hạt cơ bản – được mô tả bằng một đối tượng toán học gọi là ma trận S (hay S -ma trận), với chữ S ở đây là biểu thị sự tán xạ (*scattering*). Ma trận S là một bảng khổng lồ chứa các đầu vào (*input*) và các đầu ra (*output*) của một va chạm, cũng như một số đại lượng khác có thể được xử lý thành các xác suất. Nó không phải là một bảng trong cuốn sách dày nào đó mà chỉ là một sự trừu tượng hóa toán học.

Hãy xét trường hợp sau: một electron và một proton tiến lại nhau theo trục ngang với tốc độ tương ứng là 20% và 4% tốc độ

ánh sáng. Xác suất để chúng va chạm với nhau và cuối cùng tạo thành một electron và một proton, cùng với 4 photon sẽ là bao nhiêu? Ma trận S là một bảng toán học gồm các xác suất như vậy – mà nói một cách chặt chẽ ra là gồm các biên độ xác suất – nó giống như một bảng tóm lược lịch sử lượng tử của va chạm đó. Giống như tôi, ‘t Hooft tin tưởng một cách sâu sắc rằng toàn bộ lịch sử của ngôi sao – từ đám mây khí → hệ mặt trời → sao kền đỏ → lỗ đen → bức xạ Hawking – có thể được tóm lược bởi một ma trận S như thế.

Một trong những tính chất quan trọng nhất của ma trận S là *tính khả nghịch*. Để giúp bạn hiểu rõ ý nghĩa của thuật ngữ này, tôi sẽ đưa ra một ví dụ rất cực đoan. Thí nghiệm tưởng tượng này có tham gia hai “hạt” va chạm nhau. Một trong hai hạt này hơi bất thường một chút. Thay vì là một hạt cơ bản, nó có cấu tạo gồm một số lượng lớn các nguyên tử plutoni. Thực tế thì hạt rất nguy hiểm này là một quả bom hạt nhân, với bộ phận phát hỏa nhạy đến mức ngay cả một electron đơn lẻ cũng có thể làm cho quả bom phát nổ.

Hạt thứ hai trong va chạm này là một electron. Vậy đầu vào ban đầu của bảng S -ma trận là “quả bom và electron”. Thế còn đầu ra là gì? Là các mảnh vụn. Một sự nổ tung các nguyên tử khí nóng, các neutron, photon và neutrino. Tất nhiên, S -ma trận thực sự sẽ phức tạp một cách kinh khủng. Các mảnh vụn sẽ phải được liệt kê một cách chi tiết, cùng với vận tốc và hướng bay của chúng và tiếp đó là biên độ xác suất được ấn định cho mỗi đầu ra cuối cùng. Một phiên bản cực kỳ đơn giản hóa của S -ma trận nhìn đại khái sẽ giống như thế này:

	Đầu ra			
	electron, proton và bốn photon	• • • •	mảnh vụn	mảnh vụn
Đầu vào	electron và proton			
*	.002 + .321 i			
*		Biên độ xác suất		
*				
*				
*				
	electron và bom		.012 + .002 i	.143

Giờ chúng ta hãy chuyển sang tính khả nghịch. S-ma trận có một tính chất được gọi là “có nghịch đảo”. Có nghịch đảo là một cách toán học để mô tả định luật nói rằng thông tin không bao giờ bị mất. Nghịch đảo của một S-ma trận là một phép toán xóa bỏ những thay đổi mà S-ma trận đã thực hiện. Nói cách khác, nó chính là điều mà tôi đã mô tả ở trên khi làm *đảo ngược một quy luật*. Nghịch đảo của S-ma trận vận hành mọi thứ theo chiều ngược lại, từ đầu ra tới đầu vào. Bạn cũng có thể nghĩ về nó như là sự đảo ngược chuyển động của tất cả các hạt cuối cùng và theo trình tự ngược lại, rất giống như cho tua ngược một cuốn phim. Sau khi sự va chạm kết thúc, nếu bạn áp dụng phép nghịch đảo (tức là cho mọi thứ chạy ngược lại), thì các mảnh vụn sẽ kết hợp lại với nhau và lắp ráp lại thành quả bom ban đầu, kể cả các mạch điện với độ chính xác cao và các cơ cấu tinh vi của nó. Và cũng sẽ có cả electron ban đầu, giờ sẽ bay ra xa quả bom. Nói cách khác, S-ma trận không những tiên đoán được tương lai từ quá khứ mà còn cho phép bạn tái dựng lại quá khứ từ tương lai. S-ma trận là một bộ luật mà các chi tiết của nó đảm bảo rằng không thông tin nào bị mất mát cả.

Nhưng thí nghiệm này là rất khó khăn. Chỉ một sai sót nhỏ – một photon bị nhiễu động, chẳng hạn – là sẽ phá hỏng cả bộ luật. Đặc biệt, bạn không được nhìn hay can thiệp vào nó, dù chỉ một hạt thôi, trước khi đảo ngược hành động. Nếu bạn làm thế, thay vì sẽ nhận được quả bom và electron ban đầu, tất cả những gì bạn nhận được sẽ chỉ là những mảnh vụn còn ngẫu nhiên hơn.

Gerard 't Hooft đã chiến đấu trong Cuộc chiến lỗ đen dưới ngọn cờ của S-ma trận. Quan điểm của ông rất đơn giản: sự tạo thành và bốc hơi sau đó của lỗ đen chỉ là một ví dụ rất phức tạp của sự va chạm các hạt. Nó không có gì khác một cách cơ bản so với sự va chạm của một electron và một photon trong phòng thí nghiệm. Thực tế, nếu ta có thể làm tăng năng lượng của electron và photon va chạm nhau đến mức cực lớn thì sự va chạm sẽ tạo thành một lỗ đen. Sự co sập lại của một đám mây khí chỉ là một cách tạo ra lỗ đen mà thôi. Với một máy gia tốc đủ lớn, chỉ hai hạt va chạm với nhau cũng có thể tạo ra một lỗ đen, để rồi sau đó nó sẽ bốc hơi.

Với Stephen Hawking, thực tế rằng S-ma trận hàm ý về sự bảo toàn thông tin đã chứng tỏ rằng nó đã mô tả sai lịch sử của lỗ đen. Quan điểm của ông là những chi tiết chính xác về đám mây khí – dù nó được cấu tạo từ hiđrô, hêli, hay khí gây cười (N_2O) đi nữa – rốt cục cũng sẽ trôi về phía lỗ rò, vượt qua điểm không thể quay lui, rồi biến mất cùng với lỗ đen khi nó bốc hơi. Dù đám khí ban đầu có mấp mô hay trơn nhẵn, chính xác có bao nhiêu hạt trong đó thì tất cả những chi tiết ấy cũng đều sẽ bị biến mất vĩnh viễn. Đảo ngược lại tất cả các hạt cuối cùng và để cho mọi thứ quay ngược trở lại thì cũng sẽ không tái tạo được đầu vào ban đầu. Theo Hawking, kết quả của sự đảo ngược bức xạ cuối cùng sẽ chỉ là bức xạ Hawking nhưng càng khó phân định hơn mà thôi.

Nếu Hawking đúng, thì toàn bộ dãy : hạt $\rightarrow$ lỗ đen $\rightarrow$ bức xạ Hawking – không thể được mô tả bằng toán học thông thường của S-ma trận. Và vì vậy Stephen đã phát minh ra một khái niệm mới để thay thế cho nó. Bộ luật mới này có mức độ ngẫu nhiên lớn hơn và sẽ xóa sạch các thông tin ban đầu. Để thay thế cho S-ma trận, Stephen đã phát minh ra “phi S-ma trận”. Ông gọi nó là \$-ma trận và sau này nó được biết đến dưới cái tên *Ma trận ðòla*.

Giống như S-ma trận, ma trận *ðòla* là một quy tắc để liên kết đầu vào với đầu ra. Nhưng thay vì giữ được sự khác biệt cố hữu giữa các điểm xuất phát khác nhau, trong trường hợp lỗ đen, nó xóa nhòa những khác biệt đó tới mức bất kể đầu vào là gì – Alice, một quả bóng chày, miếng pizza đã cũ 3 ngày – thì khi đảo ngược lại, sẽ chỉ có chính xác cùng một thứ đi ra mà thôi. Ném máy tính của bạn với tất cả các tệp của nó vào lỗ đen. Đi ra sẽ chỉ là bức xạ Hawking chẳng có gì đặc biệt. Nếu bạn đảo ngược hành động, thì S-ma trận sẽ thấy ra một cái máy tính, nhưng một \$-ma trận sẽ chỉ tuôn ra bức xạ Hawking còn ít đặc biệt hơn. Theo Hawking, mọi ghi nhớ về quá khứ đều bị biến mất ở tâm của lỗ đen.

Đó là một sự bế tắc khiến người ta nản lòng: Gerard thì bảo S-ma trận; còn Stephen thì lại nói \$-ma trận. Lập luận của Stephen là rõ ràng và thuyết phục, nhưng niềm tin của Gerard vào các định luật của Cơ học lượng tử là không thể lay chuyển nổi.

Có lẽ, như một số người cho rằng, Gerard và tôi chống lại kết luận của Stephen là bởi vì chúng tôi là các nhà vật lý hạt, chứ không phải là những nhà nghiên cứu thuyết tương đối. Hầu hết các phương pháp luận của vật lý hạt đều xoay quanh nguyên lý cho rằng sự va chạm giữa các hạt được chi phối bởi một S-ma trận khả nghịch. Nhưng tôi không cho rằng sự quá gắn bó với vật lý hạt

lại là cơ sở để chúng tôi từ chối vứt bỏ các quy tắc đó. Toàn bộ vật lý học, chứ không chỉ vật lý lỗ đen, sẽ bị đổ vỡ hoàn toàn một khi cánh cửa cho thông tin bị biến mất được mở ra. Thách thức của Stephen đã châm ngòi cho bó thuốc nổ lý thuyết.

Chính vì lẽ đó, có lẽ đây là thời điểm tốt để giải thích tại sao các nhà vật lý lại tin rằng một vụ nổ bom có thể đảo ngược được. Chắc chắn là không thể thử được điều đó trong phòng thí nghiệm. Nhưng hãy giả sử rằng có thể bắt giữ được tất cả các nguyên tử và photon đi ra và bắt chúng quay ngược trở lại. Nếu điều đó có thể thực hiện được với một độ chính xác vô hạn, thì các quy luật vật lý hoàn toàn cho phép quả bom sẽ được tái tạo lại. Nhưng bất kỳ một sai sót nhỏ nào, có thể chỉ là một photon biến mất hay thậm chí là một lỗi nhỏ ở hướng bay của một photon thôi, cũng sẽ là một thảm họa. Sai một li đi một dặm. Một tình trùng lạc mất mục tiêu có thể làm thay đổi lịch sử nếu tình trùng đó thuộc về cha của Thành Cát Tư Hãn. Trong trò chơi bida, một sự thay đổi vô cùng nhỏ trong cách sắp xếp ban đầu của các quả bida hay trong hướng đánh bóng đầu tiên cũng sẽ trở nên rất lớn sau một vài va đập và dẫn tới một kết quả hoàn toàn khác. Cũng như vậy với một quả bom nổ hay một cặp các hạt năng lượng cao va chạm nhau: một sai sót nhỏ trong việc đảo ngược chuyển động sẽ cho kết quả chẳng có gì giống với một quả bom hay hạt nữa.

Vậy làm thế nào để đảm bảo chắc chắn rằng sự đảo ngược hoàn hảo của các miếng ghép có thể tái tạo lại thành quả bom? Chúng ta biết điều đó là vì các định luật toán học cơ bản của vật lý nguyên tử là khả nghịch. Các định luật này đã được kiểm chứng với độ chính xác đáng tin cậy, trong những bối cảnh đơn giản hơn nhiều so với quả bom. Một quả bom không gì khác là một tập hợp các

nguyên tử. Sẽ là vô cùng phức tạp để có thể theo dõi diễn tiến của 10^{27} nguyên tử khi bom nổ, song hiểu biết của chúng ta về các quy luật của nguyên tử là hoàn toàn đảm bảo.

Nhưng cái gì sẽ thay thế cho các nguyên tử, và các định luật của vật lý nguyên tử, khi quả bom nổ được thay thế bởi một lỗ đen bốc hơi? Mặc dù 't Hooft có sự hiểu biết rất sâu rộng về bản chất của chân trời, ông cũng không có câu trả lời rõ ràng cho câu hỏi này. Nhưng, ông biết rằng thay thế cho các nguyên tử phải là các đối tượng vi mô tạo nên entropy của chân trời. Nhưng những đối tượng đó là gì và các định luật chính xác nào chi phối cách mà những đối tượng này chuyển động, kết hợp, tách ra rồi lại tái hợp? 'T Hooft không biết. Hawking và hầu hết các nhà nghiên cứu thuyết tương đối khác đơn giản là bỏ qua ý tưởng về một nền móng vi mô như vậy, họ tuyên bố rằng: “Nguyên lý thứ hai của Nhiệt động lực học cho chúng ta biết rằng các quá trình vật lý là bất thuận nghịch”.

Thực tế, đó không phải là điều mà Nguyên lý thứ hai nói. Nó phát biểu rằng đảo ngược vật lý là vô cùng khó, và chỉ một sai sót nhỏ nhất cũng sẽ làm cho những cố gắng của bạn thất bại. Hơn nữa, tốt nhất là bạn nên biết các chi tiết chính xác – cấu trúc vi mô – nếu không bạn sẽ thất bại.

Quan điểm của cá nhân tôi trong những năm đầu của cuộc tranh cãi là S-ma trận, chứ không phải \$-ma trận, là đúng. Nhưng chỉ nói rằng “S, chứ không phải \$” thì không thuyết phục được ai. Điều tốt nhất cần làm là thử khám phá nguồn gốc vi mô bí ẩn của entropy lỗ đen. Trên tất cả, việc làm đó là cần thiết để hiểu được điều gì sai trong lập luận của Stephen.

AI QUAN TÂM CHỨ?

CHƯA AI TỪNG CÓ Ý ĐỊNH sử dụng bức xạ Hawking để chữa bệnh ung thư hay làm cho các động cơ hơi nước tốt hơn. Các lỗ đen cũng sẽ chẳng bao giờ hữu dụng để lưu trữ thông tin hay để nuốt các tên lửa của đối phương. Tệ hơn nữa, không giống như vật lý các hạt cơ bản hay thiên văn học giữa các thiên hà – hai lĩnh vực cũng chưa bao giờ có ứng dụng thực tế nào – lý thuyết lượng tử về sự bốc hơi của lỗ đen chắc có lẽ thậm chí sẽ không bao giờ dẫn tới những quan sát hay thực nghiệm trực tiếp. Vậy tại sao người ta phải mất thời gian với chúng làm gì?

Trước khi nói cho bạn biết tại sao, tôi sẽ giải thích vì sao bức xạ Hawking lại rất ít có khả năng quan sát được. Phải đợi đến tương lai, khi chúng ta có thể tiến đủ gần đến một lỗ đen lớn để quan sát được các chi tiết nào đó của nó. Nhưng ngay cả khi đó, cũng không có cơ hội nào để quan sát nó bay hơi chỉ vì một lý do rất đơn giản: không lỗ đen lớn nào hiện đang bay hơi cả. Mà là hoàn toàn ngược lại, chúng đều đang hấp thụ năng lượng và lớn lên; thậm chí ngay cả lỗ đen biệt lập nhất cũng được bao quanh bởi nhiệt. Những vùng trống rỗng và lạnh lẽo nhất trong không gian giữa các thiên hà cũng còn ấm hơn nhiều so với một lỗ đen khối lượng cỡ ngôi sao. Không gian tràn ngập bức xạ vật đen (các photon) còn sót lại từ Vụ nổ lớn.

Vùng lạnh nhất trong vũ trụ có nhiệt độ khoảng 3K, trong khi đó những lỗ đen ấm nhất cũng lạnh hơn khoảng hàng trăm triệu lần.

Nhiệt, nhiệt năng, luôn truyền từ nơi nóng sang nơi lạnh, chứ không bao giờ ngược lại, do vậy bức xạ từ vùng không gian ấm hơn sẽ truyền sang những lỗ đen lạnh hơn. Thay vì bốc hơi và co sập lại, nếu nhiệt độ của không gian ở 0K, những lỗ đen thực thụ đang liên tục hấp thụ năng lượng và lớn lên.

Không gian đã từng có thời nóng hơn ngày nay rất nhiều, và trong tương lai, sự giãn nở của vũ trụ sẽ khiến cho nó lạnh hơn. Cuối cùng, trong vài trăm tỉ năm nữa, nó sẽ nguội đến mức còn lạnh hơn cả những lỗ đen do sao chết tạo thành. Khi điều đó xảy ra, lỗ đen sẽ bắt đầu bốc hơi. (Liệu khi đó có ai ở cạnh để chứng kiến? Ai mà biết được, nhưng chúng ta hãy cứ lạc quan). Tuy nhiên, sự bốc hơi diễn ra sẽ vô cùng chậm chạp – sẽ phải mất ít nhất khoảng 10^{60} năm mới có thể phát hiện được bất kỳ sự thay đổi nào về khối lượng hay kích thước của lỗ đen, vì vậy sẽ không chắc là có ai đó sẽ có thể nhận thấy lỗ đen co lại. Cuối cùng, ngay cả nếu chúng ta có đủ thời gian thì cũng sẽ không có hy vọng nào giải mã được các thông tin ẩn chứa trong bức xạ Hawking.

Nếu giải mã các thông tin trong bức xạ Hawking lại cực kỳ vô vọng và không có lý do thực tế nào để làm điều đó, vậy thì tại sao vấn đề này lại hấp dẫn nhiều nhà vật lý đến như thế? Theo nghĩa nào đó thì câu trả lời là rất ích kỷ: chúng ta làm điều đó để thỏa mãn sự tò mò của mình về chuyện vũ trụ vận hành như thế nào và các quy luật vật lý ăn khớp với nhau ra sao.

Sự thực là, khá nhiều lĩnh vực vật lý đi theo hình mẫu sau. Đôi khi, những vấn đề thực tế đã dẫn tới những tiến bộ khoa học sâu sắc. Sadi Carnot, một kỹ sư máy hơi nước, đã làm một cuộc cách

mạng trong vật lý khi ông thử chế tạo một động cơ hơi nước tốt hơn. Nhưng thường thường, sự tò mò thuần túy đã dẫn tới những thay đổi hình mẫu vĩ đại trong vật lý học. Sự tò mò giống như bệnh ngứa; nó cứ buộc bạn phải gãi suốt. Và với một nhà vật lý, không gì ngứa hơn một nghịch lý, một sự không tương hợp giữa những thứ khác nhau mà người ta nghĩ là đã biết. Không biết một điều gì đó vận hành ra sao đã đủ tồi tệ rồi, nhưng phát hiện ra mâu thuẫn giữa những điều bạn nghĩ là đã biết thì không thể chịu đựng được, đặc biệt là khi nó đụng chạm đến những nguyên lý cơ bản. Cũng đáng để nhắc đến một vài đụng chạm như vậy và chúng đã đưa vật lý học đến những kết luận có ảnh hưởng sâu rộng nhất như thế nào.

Các nhà triết học cổ Hy Lạp đã để lại một di sản đầy nghịch lý, đó là sự xung đột giữa hai học thuyết không tương hợp chi phối hai thế giới hiện tượng hoàn toàn tách rời nhau: trên trời và dưới đất. *Trên trời* biểu thị cho thế giới của các thiên thể mà chúng ta gọi là thiên văn học. Thế giới trên trời là một thế giới tốt đẹp hơn, sạch sẽ hơn, hoàn hảo hơn – một thế giới có độ chính xác tuyệt đối và vĩnh cửu như một bộ máy đồng hồ. Thực vậy, theo Aristotle, mọi thiên thể đều chuyển động trên một trong 55 tinh cầu đồng tâm hoàn hảo.

Trái lại, những định luật của các hiện tượng trên mặt đất có vẻ như đầy sai lạc. Không có gì chuyển động một cách đơn giản trên bề mặt dơ bẩn của Trái đất. Một chiếc xe ngựa nặng sẽ lắc lư và dừng lại nếu con ngựa không tiếp tục kéo nó nữa. Cả khối vật chất sẽ đổ xuống đất một cách không đẹp mắt rồi nằm nguyên ở đó. Các định luật cơ bản này chi phối bốn nguyên tố: lửa bốc lên cao, không khí lơ lửng, nước chảy và đất lún xuống độ cao thấp nhất.

Người Hy Lạp rõ ràng là hài lòng với hai hệ quy tắc hoàn toàn khác nhau. Nhưng Galileo, và thậm chí với một quy mô còn lớn hơn

nữa là Newton, đã nhận thấy sự phân đôi này thật khó mà chấp nhận được. Thí nghiệm tưởng tượng đơn giản của Galileo đã đập tan ý tưởng cho rằng có hai tập hợp tách rời nhau của các quy luật tự nhiên. Ông tưởng tượng mình đứng trên đỉnh một ngọn núi và ném xuống một hòn đá, đầu tiên là đủ mạnh để nó rơi xuống cách chân ông vài mét; sau đó ném mạnh hơn để nó văng xa khoảng cả ngàn dặm trước khi rơi xuống đất và cuối cùng ném mạnh hơn nữa để nó đi hết một vòng quanh Trái đất. Ông đã nhận thấy rằng hòn đá sẽ quay quanh Trái đất theo một quỹ đạo tròn. Điều này tạo nên một nghịch lý mới: làm thế nào mà các quy luật của những hiện tượng trên mặt đất lại có thể hoàn toàn khác so với các định luật của các hiện tượng trên trời, nếu như một viên đá trên mặt đất lại có thể trở thành một thiên thể?

Newton, người ra đời đúng vào năm mà Galileo mất, đã giải được câu đố này. Ông nhận thấy rằng chính định luật vạn vật hấp dẫn khiến các quả táo rơi từ trên cây xuống đất cũng đã giữ cho Mặt trăng quay xung quanh Trái đất và Trái đất quay xung quanh Mặt trời. Các định luật về chuyển động và về hấp dẫn của ông là những định luật vật lý bao quát toàn diện đầu tiên có giá trị phổ quát. Liệu Newton có biết chúng sẽ hữu dụng như thế nào đối với các kỹ sư hàng không vũ trụ tương lai hay không? Không chắc là ông đã quan tâm đến điều đó. Chỉ là sự tò mò, chứ không phải tính thực tế, đã dẫn dắt ông.

Nốt ngứa tiếp theo là một vết ngứa mà Ludwig Boltzmann gãi một cách rất hăm hở. Một lần nữa lại là sự xung đột về nguyên lý, làm thế nào mà một quy luật một chiều đòi hỏi entropy chỉ luôn tăng lại cùng tồn tại với các định luật chuyển động có thể đảo ngược được của Newton? Nếu, như Laplace đã tin, thế giới được tạo bởi các hạt tuân thủ các định luật của Newton, thì nó có thể đảo ngược

được. Cuối cùng thì Boltzmann đã giải quyết được vấn đề, đầu tiên là nhờ việc nhận ra rằng entropy là *những thông tin vi mô ẩn giấu* và sau đó là nhờ phát hiện ra rằng entropy không phải *luôn luôn* tăng. Đôi khi vẫn có những hiện tượng không chắc chắn xảy ra nhưng vẫn cứ xuất hiện. Bạn xáo một cỗ bài ngẫu nhiên, và hoàn toàn tình cờ chúng được sắp theo số thứ tự một cách hoàn hảo, với các quân cơ tiếp theo rô, tiếp theo bích, rồi tiếp theo là nhép. Nhưng các sự kiện entropy giảm là những ngoại lệ rất hiếm hoi. Boltzmann đã xử lý nghịch lý này bằng cách nói rằng *entropy hầu như luôn tăng*. Ngày nay, quan điểm thống kê của Boltzmann về entropy là cơ sở của các khoa học thông tin thực hành, nhưng với ông, câu đố về entropy chỉ là một nốt ngựa kinh khủng cần phải được giải.

Thật thú vị là trong trường hợp của Galileo và Boltzmann, điều đáng kinh ngạc là sự xung đột không phải được giải quyết bằng những khám phá nhờ thực nghiệm. Chìa khóa cho mỗi trường hợp đều là những thí nghiệm tưởng tượng đúng đắn. Sự ném đá của Galileo và thí nghiệm đảo ngược thời gian của Boltzmann chưa bao giờ được thực hiện cả; chỉ cần nghĩ về chúng thôi là đủ. Nhưng chính Albert Einstein mới là bậc thầy vĩ đại nhất của thí nghiệm tưởng tượng.

Có hai mâu thuẫn rắc rối sâu sắc đã hành hạ các nhà vật lý vào bước ngoặt chuyển sang thế kỷ hai mươi. Đầu tiên là sự xung đột giữa các nguyên lý của vật lý Newton và lý thuyết về ánh sáng của Maxwell. Nguyên lý tương đối mà chúng ta vẫn thường gán cho Einstein, thực ra bắt nguồn từ Newton, và thậm chí xa hơn nữa là từ Galileo. Đó là một phát biểu đơn giản nói về các định luật vật lý khi được nhìn từ các hệ quy chiếu khác nhau. Để minh họa cho điều này, hãy tưởng tượng một nghệ sĩ xiếc chuyên biểu diễn trò tung hứng bóng đi trên một chuyến tàu tới thị trấn bên cạnh. Trong khi

ở trên tàu, anh ta cảm thấy cần phải luyện tập tung hứng một chút. Do chưa tung hứng ở trên tàu bao giờ nên anh ta băn khoăn tự hỏi: “Liệu mình có cần phải bù trừ chuyển động của con tàu khi ném bóng lên không trung rồi bắt lại nó hay không? Hãy thử xem nào. Con tàu đang chạy về phía tây. Vì vậy, mỗi khi bắt bóng thì mình tốt hơn là nên vói sang phía đông một chút”. Nghĩ vậy, rồi anh lấy quả bóng ra thử. Tung nó lên, rồi đưa tay sang phía đông và rồi bộp... quả bóng rơi xuống sàn. Thử lại lần nữa, nhưng lần này giảm bớt đi sự bù trừ sang phía đông, nhưng anh ta vẫn lại bắt hụt.

Thì ra con tàu này có chất lượng cực cao. Đường ray trơn nhẵn và hệ thống giảm xóc hoàn hảo tới mức hành khách không hề cảm nhận được sự chuyển động của con tàu. Người tung hứng cười và tự nhủ: “Mình hiểu rồi. Thế mà không nhận ra. Giờ con tàu đang chạy chậm dần và sắp dừng lại. Trước khi nó chạy trở lại, mình sẽ luyện tập theo cách thông thường. Chỉ cần trở lại với các quy luật tung hứng tốt đẹp cũ là ổn thôi mà”. Và đúng là anh đã thành công một cách hoàn hảo.

Nhưng bạn hãy thử hình dung xem anh ta sẽ ngạc nhiên thế nào khi nhìn ra ngoài cửa sổ và thấy vùng quê bên ngoài vùn vụt lướt qua với tốc độ 150km/h. Vô cùng bối rối, người nghệ sĩ tung hứng bèn hỏi người bạn của mình là một anh hề (tình cờ anh hề lại là một giáo sư vật lý ở Harvard đang lúc nghỉ hè) để được giải thích. Và sau đây là những gì mà anh hề nói: “Theo nguyên lý của cơ học Newton, các định luật chuyển động là như nhau trong mọi hệ quy chiếu, chừng nào mà các hệ quy chiếu này còn chuyển động với vận tốc đều đối với nhau. Vì vậy, các định luật chi phối trò tung hứng là hoàn toàn như nhau trong hệ quy chiếu đứng yên trên mặt đất cũng như trong hệ quy chiếu chuyển động cùng với con tàu chạy êm ru. Không thể nhận ra được chuyển động của con tàu bằng bất kỳ thí

nghiệm nào được thực hiện hoàn toàn bên trong toa tàu. Chỉ khi nhìn ra ngoài cửa sổ, bạn mới có thể biết tàu đang chuyển động so với mặt đất, và ngay cả khi đó, bạn cũng không thể nói là con tàu hay mặt đất đang chuyển động. Mọi chuyển động chỉ là tương đối”. Vẫn còn sững sốt, người tung hứng nhặt bóng lên và tiếp tục luyện tập.

Mọi chuyển động chỉ là tương đối. Chuyển động của một toa tàu với vận tốc 150km/h, chuyển động của Trái đất quay xung quanh Mặt trời là 30km/s, và chuyển động của hệ mặt trời xung quanh thiên hà là 200km/s – tất cả các chuyển động đó đều không thể cảm nhận được chừng nào chúng còn trơn tru.

Trơn tru ư? Điều đó có nghĩa là gì? Hãy xem người tung hứng khi con tàu bắt đầu chuyển động. Nó đột ngột xô về phía trước. Không chỉ các quả bóng bị giật mạnh thành linh về phía sau mà cả người tung hứng thậm chí còn có thể bị ngã. Khi tàu phanh lại, điều tương tự cũng xảy ra. Hoặc giả sử con tàu đi qua một khúc quanh đột ngột. Chắc chắn là trong tất cả các tình huống này, quy tắc tung hứng đòi hỏi phải có sự điều chỉnh. Vậy yếu tố mới ở đây là gì? Câu trả lời là *gia tốc*.

Gia tốc có nghĩa là sự thay đổi về vận tốc. Khi toa tàu xô về phía trước, hay khi nó dừng lại đột ngột, vận tốc thay đổi và gia tốc xuất hiện. Vậy khi nó đi qua khúc quanh thì sao? Khi này xem ra có vẻ ít rõ ràng hơn, nhưng tất nhiên là vận tốc có thay đổi – không phải là thay đổi về độ lớn của vận tốc mà là *hướng* của nó. Với một nhà vật lý, bất kỳ sự thay đổi nào về vận tốc đều được gọi là gia tốc, dù là sự thay đổi về độ lớn hay về hướng. Vì vậy, nguyên lý tương đối phải được nói rõ thêm:

Các định luật vật lý là như nhau trong mọi hệ quy chiếu chuyển động với vận tốc đều (tức không có gia tốc) đối với nhau.

Nguyên lý tương đối được phát biểu lần đầu tiên vào khoảng 250 năm trước khi Einstein ra đời. Vậy tại sao Einstein lại nổi tiếng đến như vậy? Đó là bởi vì ông đã phát hiện ra mâu thuẫn rõ ràng giữa Nguyên lý tương đối và một nguyên lý khác của vật lý, mà ta có thể gọi là Nguyên lý Maxwell. Như đã trình bày ở Chương 2 và 4, James Clerk Maxwell đã phát minh ra lý thuyết hiện đại về điện và từ – lý thuyết về tất cả các lực điện và từ trong tự nhiên. Khám phá vĩ đại nhất của Maxwell là đã vén bức màn bí mật về ánh sáng. Ông cho rằng ánh sáng được tạo bởi các sóng của những nhiễu động điện và từ lan truyền qua không gian giống như sóng trên biển. Nhưng với chúng ta bây giờ, điều quan trọng nhất là Maxwell đã chứng minh được rằng ánh sáng truyền qua không gian trống rỗng luôn với cùng một vận tốc, xấp xỉ 300.000 km/s. Đó là cái mà tôi gọi là Nguyên lý Maxwell:

Ánh sáng, bất kể được tạo ra như thế nào, đều lan truyền trong không gian trống rỗng (chân không) với cùng một vận tốc.

Nhưng giờ nảy sinh vấn đề: đó là sự xung đột nghiêm trọng giữa hai nguyên lý đó. Einstein không phải là người đầu tiên lo ngại về mâu thuẫn giữa Nguyên lý Maxwell và Nguyên lý tương đối, nhưng ông là người đã nhận ra vấn đề đó một cách rõ ràng nhất. Và trong khi những người khác gặp vấn đề với các dữ liệu thí nghiệm thì Einstein – bậc thầy của thí nghiệm tưởng tượng – lại gặp rắc rối với một thí nghiệm được thực hiện hoàn toàn trong đầu ông. Theo những ghi chép của chính ông thì vào năm 1895, ở tuổi 16, Einstein đã tạo ra nghịch lý sau đây. Hãy tưởng tượng chính ông đang ngồi trên một toa tàu chuyển động với tốc độ ánh sáng và quan sát một sóng ánh sáng lan truyền ngay bên cạnh theo cùng một hướng. Liệu ông có thấy tia sáng ấy đứng yên?

Vào thời Einstein không có máy bay trực thăng, nhưng chúng ta có thể tưởng tượng ông lơ lửng ở bên trên mặt biển, và chuyển động với cùng tốc độ với sóng biển. Khi đó sóng nhìn có vẻ như đứng yên. Tương tự như vậy, chàng trai 16 tuổi lập luận rằng hành khách bên trong toa tàu (hãy nhớ là anh ta đang chuyển động với tốc độ ánh sáng) sẽ nhận thấy sóng ánh sáng hoàn toàn không chuyển động. Bằng cách nào đó, vào lúc tuổi còn trẻ như thế, Einstein đã có những hiểu biết về lý thuyết của Maxwell đủ để nhận ra rằng điều mà ông nghĩ là không thể: Nguyên lý Maxwell khẳng định rằng mọi ánh sáng đều chuyển động với cùng một vận tốc. Nếu các định luật của tự nhiên là như nhau trong mọi hệ quy chiếu thì Nguyên lý Maxwell cũng áp dụng được trong con tàu chuyển động. Như vậy, Nguyên lý Maxwell và Nguyên lý tương đối của Galileo và Newton là mâu thuẫn nhau.

Einstein đã giải nốt ngửa này trong một thập kỷ trước khi ông tìm được giải pháp. Năm 1905, ông đã viết bài báo nổi tiếng *Về Điện động lực học của các vật chuyển động*, trong đó ông đã trình bày một lý thuyết hoàn toàn mới về không gian và thời gian, đó là Thuyết tương đối hẹp. Lý thuyết mới này đã làm thay đổi triệt để các khái niệm về độ dài và khoảng thời gian và đặc biệt là đối với khái niệm đồng thời của hai sự kiện.

Cùng lúc với việc tìm ra Thuyết tương đối hẹp, Einstein còn bối rối trước một nghịch lý khác. Vào cuối thế kỷ 19, các nhà vật lý đã vô cùng lúng túng trước bức xạ của vật đen. Hãy nhớ rằng trong Chương 9 tôi đã giải thích bức xạ vật đen là năng lượng điện từ do một vật nóng sáng phát ra. Hãy tưởng tượng một bình rồng bịt kín hoàn toàn ở 0K. Bên trong bình là chân không tuyệt đối. Giờ ta hãy làm nóng bình từ bên ngoài. Thành bình bên ngoài bắt đầu

phát ra bức xạ vật đen, và thành bình bên trong cũng vậy. Bức xạ từ thành bình bên trong sẽ truyền ra không gian khép kín trong bình và lấp đầy nó bằng bức xạ vật đen. Sóng điện từ của tất cả các bước sóng khác nhau chạy loạn xạ xung quanh và phản xạ từ thành trong của bình: gồm ánh sáng đỏ, xanh, hồng ngoại và tất cả các màu của quang phổ.



Theo các nhà vật lý cổ điển, mỗi bước sóng như vi sóng, hồng ngoại, đỏ, cam, vàng, lục, lam, chàm, tím và cực tím – đều đóng góp cùng một lượng năng lượng như nhau. Nhưng tại sao lại dừng ở đó? Ngay cả các bước sóng ngắn hơn như tia X, tia gama, và các bước sóng nhỏ hơn nữa cũng có thể đóng góp cùng lượng năng lượng như vậy. Vì không có giới hạn một bước sóng có thể ngắn tới cỡ nào nên các nhà vật lý cổ điển dự đoán rằng trong bình sẽ có một lượng năng lượng lớn *vô hạn*. Điều này rõ ràng là phi lý. Toàn bộ năng lượng đó sẽ ngay lập tức làm cho bình bốc hơi, nhưng thế thì các nhà vật lý đã sai ở đâu?

Điều này dẫn đến một vấn đề tồi tệ đến mức mà vào cuối thế kỷ 19, nó được gọi là *thảm họa tử ngoại*. Một lần nữa, vấn đề lại phát sinh từ sự mâu thuẫn giữa các nguyên lý được tin tưởng một cách sâu sắc, mà cả hai đều rất khó có thể từ bỏ. Một mặt, thuyết sóng ánh sáng đã thành công một cách đáng kinh ngạc trong việc giải thích các tính chất nổi tiếng của ánh sáng như nhiễu xạ, khúc

xạ, phản xạ, và ấn tượng nhất là sự giao thoa. Không ai thực sự sẵn sàng từ bỏ lý thuyết sóng, nhưng mặt khác, nguyên lý cho rằng mỗi bước sóng đều có cùng năng lượng, được gọi là Nguyên lý phân bố đều, được suy ra từ những khía cạnh chung nhất của lý thuyết nhiệt, đặc biệt nhiệt là chuyển động ngẫu nhiên.

Vào năm 1900, Max Planck đã đóng góp thêm một số ý tưởng mới quan trọng tiến gần tới việc giải quyết được tình trạng tiến thoái lưỡng nan này. Nhưng chính Einstein vào năm 1905 mới là người tìm ra câu trả lời chính xác. Không hề do dự, một nhân viên vô danh ở một Văn phòng cấp bằng phát minh sáng chế đã tạo nên một bước tiến táo bạo đáng kinh ngạc. Ông nói ánh sáng không phải là một vệt năng lượng liên tục như hình dung của Maxwell. Nó được tạo bởi các hạt không thể phân chia được nữa, tức là các lượng tử, của năng lượng, mà sau này được gọi là các photon. Người ta chỉ có thể kinh ngạc trước sự ngạo mạn tuyệt đối của chàng trai trẻ, người đã nói với các nhà khoa học vĩ đại nhất thế giới rằng mọi điều họ biết về ánh sáng đều sai cả.

Giả thuyết cho rằng ánh sáng được tạo bởi các photon không thể phân chia được nữa, có năng lượng tỷ lệ thuận với tần số, đã giải quyết được vấn đề. Ứng dụng cơ học thống kê của Boltzmann với các photon này, Einstein đã phát hiện những bước sóng rất ngắn (tần số rất cao) sẽ có ít hơn một photon. Ít hơn một có nghĩa là không có. Vì vậy, những bước sóng rất ngắn không có đóng góp vào năng lượng, và thảm họa tử ngoại chấm hết, không còn tồn tại nữa. Nhưng điều đó vẫn chưa phải là kết thúc cuộc tranh cãi. Phải mất gần 30 năm thì Werner Heisenberg, Erwin Schrodinger, và Paul Dirac mới làm cho photon của Einstein hòa hợp được với các sóng của Maxwell. Nhưng đột phá của Einstein là đã mở ra cánh cửa.

Thuyết tương đối rộng, một kiệt tác của Einstein cũng được tạo nên từ một thí nghiệm tưởng tượng đơn giản về mâu thuẫn của các nguyên lý. Thí nghiệm đơn giản đến mức một đứa trẻ cũng có thể thực hiện được. Tất cả liên quan đến sự quan sát hàng ngày, đó là khi một đoàn tàu tăng tốc từ trạng thái đứng yên, các hành khách sẽ bị hất ngược ra sau, ép vào lưng ghế ngồi, giống như thể toa tàu lao lên phía trước nên lực hấp dẫn đã kéo họ về phía sau của toa vậy. Ông đã tự hỏi, vậy làm thế nào chúng ta có thể nói rằng một hệ quy chiếu được gia tốc? Gia tốc so với cái gì?

Câu trả lời của Einstein đã được anh hề truyền đạt lại: *chúng ta không thể nói được*. “Sao?” – người tung hứng nói, – “Hiển nhiên là anh có thể chứ. Chẳng phải anh vừa nói với tôi rằng anh bị đẩy ép vào lưng ghế ngồi là gì?” “Đúng thế” – anh hề trả lời, – “chính xác là như thể có ai đó xô toa tàu về phía trước nên lực hấp dẫn đã kéo ngược anh trở lại”. Einstein đã nắm được ý tưởng đó: không thể phân biệt gia tốc với hiệu ứng của hấp dẫn. Hành khách không có cách nào biết được liệu đoàn tàu đang bắt đầu khởi hành hay lực hấp dẫn đang đẩy anh ta ép vào lưng ghế ngồi. Nguyên lý Tương đương được sinh ra từ nghịch lý và mâu thuẫn đó:

Hiệu ứng của hấp dẫn và gia tốc là hoàn toàn không thể phân biệt được. Hiệu ứng hấp dẫn đối với một hệ vật lý bất kỳ cũng giống hệt như hiệu ứng của gia tốc vậy.

Lại một lần nữa chúng ta đã gặp hình mẫu tương tự. Tôi dám mạo hiểm mà nói quá lên rằng, những tiến bộ vĩ đại trong vật lý học đều được khám phá nhờ những thí nghiệm tưởng tượng làm bộc lộ mâu thuẫn giữa những nguyên lý có ảnh hưởng sâu sắc. Xét ở khía cạnh này thì hiện nay cũng không khác so với ngày xưa bao nhiêu.

Xung đột

Hãy trở lại câu hỏi gốc đã được đặt ra từ đầu chương này: tại sao chúng ta lại phải quan tâm đến chuyện thông tin có bị mất trong sự bay hơi của lỗ đen hay không?

Nhiều ngày và nhiều tuần sau cuộc gặp mặt tại căn gác áp mái nhà Werner Erhard, tôi bắt đầu nhận ra rằng Stephen Hawking đã chạm vào sự xung đột giữa các nguyên lý – sự xung đột ngang ngửa với những nghịch lý lớn trong quá khứ. Có điều gì đó lệch lạc trong những khái niệm cơ bản nhất của chúng ta về không gian và thời gian. Rõ ràng – Hawking đã nói với chính mình – rằng Nguyên lý tương đương và Cơ học lượng tử đang trong chiều hướng xung đột nhau. Nghịch lý này có thể sẽ làm sụp đổ cả toàn bộ cấu trúc, hoặc sự dung hòa được chúng có thể sẽ mang lại sự thấu hiểu mới sâu sắc hơn trong cả hai.

Đối với tôi, sự xung đột này tạo nên một nốt ngứa không thể chịu đựng nổi, nhưng nó không phải quá dễ lây. Stephen dường như hài lòng với kết luận rằng thông tin bị biến mất và một số người khác nữa dường như cũng không quan tâm nhiều đến nghịch lý này. Trong suốt thập kỷ từ 1983 đến 1993, sự tự thỏa mãn này đã khiến tôi rất khó chịu. Tôi không hiểu tại sao mọi người – mà hơn hết là Stephen – lại có thể không nhận ra rằng sự dung hòa giữa các nguyên lý của Cơ học lượng tử với các nguyên lý của Thuyết tương đối chính là vấn đề lớn của thế hệ chúng ta – cơ hội lớn để kết hợp những thành quả của Planck, Einstein, Heisenberg và những người anh hùng khác của quá khứ. Tôi có cảm giác là Stephen đã quá mê mụ để không nhận thấy chiều sâu trong câu hỏi của chính ông. Nó đã trở thành điều gì đó ám ảnh phải thuyết phục Stephen và những

người khác (nhưng chủ yếu là Stephen) rằng chìa khóa không phải là từ bỏ Cơ học lượng tử mà là dung hòa nó với lý thuyết lỗ đen.

Dường như rõ ràng với tôi – và tôi chắc rằng Stephen, Gerard ‘t Hooft, John Wheeler, và cả các nhà nghiên cứu thuyết tương đối, lý thuyết dây và vũ trụ học mà tôi biết cũng sẽ đồng ý rằng, việc có hai lý thuyết không tương hợp nhau về tự nhiên là không thể chấp nhận được về mặt trí tuệ và rằng Thuyết tương đối rộng phải được làm cho tương thích với Cơ học lượng tử. Nhưng các nhà vật lý lý thuyết lại là một lũ hay gây sự¹.

¹ Mới đây tôi đã rất ngạc nhiên khi biết rằng không phải ai cũng đồng ý. Trong bài điểm sách về cuốn *Cấu trúc của vũ trụ* của Brian Greene, Freeman Dyson đã đưa ra một tuyên bố quan trọng: “Với tư cách là một nhà bảo thủ, tôi không đồng ý với ý kiến cho rằng sự phân chia trong vật lý học thành những lý thuyết tách rời cho những vật lớn và nhỏ là không thể chấp nhận được. Tôi hài lòng với tình hình mà chúng ta đã sống trong đó suốt 80 năm qua, với các lý thuyết riêng biệt về thế giới cổ điển của các ngôi sao và hành tinh và thế giới lượng tử của các nguyên tử và electron”. Không biết Dyson đã nghĩ gì nhỉ? Điều đó giống như những người cổ đại trước Galileo, chúng ta nên chấp nhận hai lý thuyết *không liên quan gì đến nhau* về tự nhiên? Đó phải chăng là bảo thủ? Hay là phản động? Với tôi thì điều đó xem ra chẳng có gì lý thú cả.

13

SỰ BẾ TẮC

HỒI TÔI CÒN TRẺ, MỌI NGƯỜI – đặc biệt là ở các bữa tiệc hay những buổi tụ tập đông người – luôn hỏi tôi sẽ làm gì để kiếm sống. Tôi thực sự không muốn nói về chuyện này. Không phải là tôi thấy xấu hổ hay bối rối, mà chỉ là quá khó để giải thích thôi. Để tránh chủ đề này, tôi thường bảo: “Tôi sẽ là một nhà vật lý hạt nhân, nhưng tôi không muốn nói về chuyện đó”. Câu trả lời kiểu đó chỉ hiệu nghiệm vào những năm 60, 70 nhưng bây giờ không còn hợp thời nữa vì thời kỳ chiến tranh lạnh đã qua rồi.

Tôi vẫn còn gặp rắc rối đôi chút với câu hỏi này, mặc dù vì một lý do hoàn toàn khác: tôi không biết chính xác câu trả lời là gì. Nếu đáp lại một cách rõ ràng: “Tôi là nhà vật lý lý thuyết,” thì thường dẫn đến một câu hỏi khác: “Thế anh nghiên cứu loại vật lý nào?”. Đó là điểm mà tôi tắc tị. Tôi có thể bảo rằng tôi là nhà vật lý hạt cơ bản, nhưng tôi cũng nghiên cứu cả những vật thể lớn như lỗ đen và cả vũ trụ nữa. Tôi cũng có thể trả lời tôi là nhà vật lý năng lượng cao, nhưng đôi khi tôi cũng làm việc cả với những năng lượng thấp nhất – thậm chí với cả những tính chất của không gian trống rỗng nữa. Không có một cái tên riêng nào cho những gì mà tôi và hầu hết các bạn bè của tôi quan tâm. Bị gọi là nhà lý thuyết dây khiến tôi bực mình; tôi không thích bị phân loại một cách tử mỉ

đến như vậy. Tôi muốn nói là tôi nghiên cứu các quy luật cơ bản của tự nhiên, nhưng nói thế nghe có vẻ khoe khoang quá. Vì vậy câu trả lời thông thường của tôi là: tôi là nhà vật lý lý thuyết và tôi nghiên cứu rất nhiều thứ.

Thực tế, trước những năm đầu thập kỷ 80, hầu hết những gì mà tôi nghiên cứu có thể được gọi một cách hợp pháp là vật lý hạt cơ bản. Tuy nhiên, vào thời đó, lĩnh vực này có phần nào hơi trì trệ. Mô hình chuẩn của vật lý hạt đã được hoàn tất và những biến thể hấp dẫn nhất của nó đã được khai thác hết. Chỉ còn là vấn đề thời gian – mà là rất nhiều thời gian – để chế tạo xong một máy gia tốc đủ mạnh để kiểm chứng những biến thể đó. Vì vậy sự thực là tôi hơi buồn chán và quyết định xem liệu mình có thể hình dung được gì về hấp dẫn lượng tử không. Sau một vài tháng, tôi bắt đầu lo ngại rằng Feynman đã đúng – hấp dẫn lượng tử thật quá xa vời, dường như không có cách nào để tiến triển thêm được. Thậm chí tôi còn không rõ vấn đề ở đây là gì nữa. John Wheeler, theo phong cách không thể bắt chước được, đã từng nói, “Câu hỏi đặt ra là: vấn đề là gì?” và tôi chắc chắn là đã không thấy câu trả lời. Tôi đã suýt quay trở lại vật lý hạt quen thuộc thì bất thành linh Stephen thả quả bom trả lời cho câu hỏi của Wheeler: vấn đề là làm thế nào để cứu được vật lý học ra khỏi tình trạng hỗn loạn của sự mất thông tin?

Nếu vật lý hạt vào thời đó rất trì trệ, thì lý thuyết lượng tử của lỗ đen cũng vậy, và nó cứ ở tình trạng như thế đó trong suốt chín năm trời. Ngay cả Hawking cũng không có công bố gì về lỗ đen trong suốt những năm từ 1983 đến 1989. Tôi chỉ tìm được 8 bài báo viết trong toàn bộ thời kỳ đó có đề cập đến sự mất thông tin trong lỗ đen. Tôi là tác giả của một trong số 8 bài báo đó và ‘t Hooft viết tất cả số còn lại. Phần lớn các bài báo của ‘t Hooft là bày tỏ sự tin tưởng của ông vào S-ma trận chứ không phải \$-ma trận của Hawking.

Lý do mà tôi gần như không tuyên bố gì về lỗ đen trong suốt chín năm từ 1983 đơn giản là vì tôi không thể tìm được giải pháp nào để giải quyết câu hỏi hắc búa đó. Trong suốt thời kỳ ấy, tôi thấy mình cứ đi trong vòng luẩn quẩn, đặt đi đặt lại cùng những câu hỏi như nhau và rồi lại vấp phải cùng những chướng ngại vật không thể vượt qua. Logic của Hawking là rõ ràng: chân trời chỉ là điểm không thể quay lui, và không gì vượt qua nó mà có thể quay trở ra được. Lý lẽ thì thuyết phục nhưng kết luận thì vô lý.

Dưới đây là những gì tôi đã giải thích về vấn đề này trong một bài giảng cho một nhóm những người hâm mộ vật lý và thiên văn nghiệp dư ở San Francisco vào năm 1988¹.

Nghịch lý của lỗ đen rất lớn: Bài giảng ở San Francisco

Tôi muốn lưu ý các bạn về một xung đột nghiêm trọng của những nguyên lý lần đầu tiên đã được Stephen Hawking tuyên bố cách đây 13 năm. Lý do tôi đề cập đến vấn đề này là bởi vì nó biểu hiện một sự khủng hoảng rất nghiêm trọng cần phải được giải quyết trước khi chúng ta có thể hy vọng hiểu được những vấn đề sâu sắc nhất của vật lý và vũ trụ học. Những vấn đề này liên quan đến, một bên, là hấp dẫn và bên kia, là lý thuyết lượng tử.

¹ Điều trình bày ở đây là một sự tái hiện gần đúng bài thuyết trình dựa trên những ghi chép mà tôi còn lưu lại. Tôi đã khá phóng túng khi thay thế các phương trình bằng lời. Câu chuyện “Đừng quên mang theo thuốc chống hấp dẫn” ban đầu tôi có ý định là sẽ hoàn chỉnh thêm để gửi cho một tạp chí khoa học đại chúng. Công việc đó đã không bao giờ được hoàn thành, nhưng dưới dạng rút gọn, nó đã là một phần trong bài giảng của tôi ở San Francisco.

Bạn có thể hỏi tại sao chúng ta lại cần phải kết hợp hai lĩnh vực này với nhau? Suy cho cùng thì hấp dẫn gắn liền với những vật thể rất lớn và rất nặng, trong khi Cơ học lượng tử lại chi phối thế giới của những vật rất nhỏ và rất nhẹ. Không có gì lại đồng thời vừa nặng vừa nhẹ, vậy thì làm sao cả hai lý thuyết này lại đều là quan trọng trong cùng bối cảnh được?

Chúng ta hãy bắt đầu với các hạt cơ bản. Như các bạn đều biết, lực hấp dẫn giữa electron và hạt nhân nguyên tử là vô cùng yếu so với lực điện liên kết các thành phần đó của nguyên tử với nhau. Cũng tương tự, nó thậm chí còn yếu hơn rất nhiều so với lực hạt nhân liên kết các hạt quark trong một proton. Thực tế, lực hấp dẫn yếu hơn các lực thông thường khoảng một triệu tỉ tỉ tỉ lần. Vậy rõ ràng là hấp dẫn không đóng vai trò quan trọng nào trong vật lý hạt nhân hay nguyên tử, nhưng còn các hạt cơ bản thì sao?

Thông thường, chúng ta xem các hạt cơ bản, như electron, là những điểm vô cùng nhỏ trong không gian. Nhưng điều đó không hoàn toàn đúng sự thực. Nguyên nhân là các hạt cơ bản có nhiều tính chất đến mức có thể phân biệt chúng với nhau. Một số tích điện, trong khi số khác thì lại không. Các hạt quark có nhiều tính chất với các tên gọi như *số baryon*, *isospin*, và cả cái tên gọi dễ hiểu lắm nữa là *màu* (vì ở đây chẳng có màu sắc nào cả!). Các hạt quay tựa như con quay quay quanh một trục. Thật là vô lý khi cho rằng chỉ một điểm thôi mà lại có cấu trúc và sự đa dạng đến như vậy. Hầu hết các nhà vật lý hạt như chúng tôi đều tin rằng nếu chúng ta có thể nghiên cứu các hạt tới thang kích thước cực kỳ nhỏ nào đó, chúng ta sẽ bắt đầu thấy được bộ máy ẩn giấu chi phối sự vận hành của chúng.

Nếu điều đó thực sự là đúng thì các electron và những họ hàng khác nhau của nó sẽ không phải là vô cùng nhỏ nữa, mà chúng phải có một kích thước nào đó. Nhưng những gì mà chúng ta thực

sự biết từ những quan sát trực tiếp (cụ thể là từ sự va chạm của chúng với nhau) cho thấy rằng chúng không lớn hơn 1 phần vạn kích thước của hạt nhân nguyên tử.

Nhưng những điều lạ thường vẫn tiếp tục diễn ra. Trong những năm gần đây, chúng ta đã tích lũy được những bằng chứng gián tiếp cho thấy bộ máy bên trong của các hạt không quá lớn cũng không quá nhỏ hơn so với chiều dài Planck. Giờ thì chiều dài Planck có một ý nghĩa rất sâu sắc đối với nhà vật lý lý thuyết. Chúng ta thường xem hấp dẫn là yếu hơn so với lực điện và lực nội hạt nhân đến mức mà nó hoàn toàn không có liên quan gì đến hành vi của các hạt cơ bản, song điều này không đúng khi mà các bit vật chất tiến lại gần nhau trong vùng chiều dài Planck. Bởi vậy, ở đó hấp dẫn trở nên không chỉ mạnh như các lực khác mà thậm chí còn mạnh hơn.

Tất cả những điều đó có nghĩa là ở dưới đáy tận cùng của thế giới – nơi mà các khoảng cách là nhỏ đến mức ngay cả các electron cũng là những cấu trúc phức tạp – hấp dẫn có thể là lực quan trọng nhất liên kết các hạt đó lại với nhau. Như vậy bạn thấy đấy, hấp dẫn và Cơ học lượng tử có thể cùng song hành tốt đẹp ở thang Planck và chúng sẽ giải thích được các tính chất của electron, quark, photon và tất cả các bạn bè của chúng. Chúng tôi những nhà vật lý hạt cơ bản tốt hơn hết là tiến thẳng đến hấp dẫn lượng tử.

Các nhà vũ trụ học cũng chỉ có thể tránh né một lý thuyết lượng tử của hấp dẫn trong một khoảng thời gian dài đến như vậy thôi. Khi chúng ta quay trở lại quá khứ của vũ trụ, chúng ta biết rằng nó được lèn chặt bởi các hạt. Ngày nay (1988), các photon tạo nên phong sóng viba vũ trụ (CMB¹) chỉ cách nhau khoảng một

¹ Viết tắt của Cosmic microwave background – bức xạ nền có nguồn gốc được phát ra từ Big Bang.

xentimet, nhưng khi lần đầu tiên chúng được phát ra thì chúng còn gần nhau hơn cả ngàn lần. Nếu chúng ta lần ngược trở lại, thì các hạt được lèn chặt với nhau y như những con cá sardin trong một cái hộp nhỏ chưa từng thấy. Đường như chắc chắn là vào thời điểm Vụ nổ lớn (Big Bang), chúng có thể không cách nhau xa hơn độ dài Planck. Nếu vậy thì các hạt sẽ gần nhau đến mức lực quan trọng nhất giữa chúng phải là lực hấp dẫn. Nói cách khác, chính các lực hấp dẫn lượng tử này đã nắm giữ chìa khóa đối với các hạt cơ bản và nó có thể cũng là lực cơ bản chịu trách nhiệm gây ra Big Bang.

Vậy, nếu thừa nhận rằng hấp dẫn lượng tử là quan trọng đối với tương lai (và cả quá khứ nữa) của chúng ta, thì chúng ta đã thực sự biết gì về nó? Thực ra chúng ta mới chỉ biết rằng lý thuyết lượng tử và hấp dẫn xung đột dữ dội với nhau, đặc biệt là về lỗ đen. Đó là một điều tốt, bởi vì như thế có nghĩa là chúng ta có cơ hội để học được những điều quan trọng nhờ việc giải quyết xung đột đó. Hôm nay tôi sẽ kể với các bạn một câu chuyện ngắn để minh họa cho vấn đề đó, chỉ là vấn đề thôi, chứ không phải là giải pháp.

ĐỪNG QUÊN MANG THEO THUỐC CHỐNG HẤP DẪN

Năm 8.419.677.599.

Từ rất lâu rồi, Trái đất đã thoát ra khỏi quỹ đạo của nó xung quanh ngôi sao chết Mặt trời. Sau khi lang thang không biết bao nhiêu là thế hệ, nó đã tìm thấy chỗ của mình là quay xung quanh một lỗ đen khổng lồ ở đâu đó trong Siêu đám sao Coma (Tóc Tiên).

Toàn bộ hành tinh được cai quản bởi cùng một hội đồng suốt từ cuối thế kỷ 21, khi một việc làm táo bạo lạnh lùng đã trao cả quyền lực vào tay của nền công nghiệp được.

“Đúng vậy, ông Bá tước Geritol, nhưng giờ thì sao đây? Ông đã hứa sẽ hành động trong 5 năm vừa qua. Giờ ông lại đang lãng phí thời gian của ta với một ‘báo cáo tiến độ’ nữa đấy à?”

“Thưa Điện hạ, kẻ nô tài vô dụng, chậm chạp này cầu xin người xá tội cho sự ngu dốt không thể tha thứ được của thần, nhưng lần này thì thần thực sự có tin tốt lành đấy ạ. Chúng ta đã bắt được hắn!”.

Đức Hoàng đế Merck LLXXXVI, cau mày trong giây lát. Rồi quay cái đầu hói khổng lồ của mình về phía bá tước – Bộ trưởng Bộ Tạo thông tin ma và Lực lượng khoa học phản duy lý – ông ta ghim chặt vị bá tước vào tường bằng cái nhìn sắc nhọn. “Ồng ngốc. Người bắt được ai? Một con cá tuyết chắc?”

“Không, thưa bệ hạ. Đó là một kẻ dị giáo, một tên cờ bạc đấy ạ. Chúng ta bắt được kẻ đã giải được phương trình, con trai của một gã vật lý dơ dáy – kẻ đã tiêm nhiễm vào thần dân chúng ta với những tin đồn xấu xa rằng những viên thuốc chống hấp dẫn là giả dối. Giờ thì hắn đã bị xích vào tường trong phòng chờ. Bệ hạ cho phép thần giải hắn vào chứ ạ?” Gã bá tước vụn vẹo cái mặt chồn của hắn thành điệu cười nịnh bợ. “Thần cá là hắn sẽ sử dụng một liều Valium (thuốc giảm căng thẳng) ngay bây giờ đấy ạ. Hí hí hí.”

Một nụ cười thoáng qua trên gương mặt của vị đế vương. “Hãy đem con chó đó vào đây”.

Gã tù nhân, rách rưới và thâm tím mình mẩy, nhưng ngoan cố, bị quăng một cách thô bạo xuống sàn nhà dưới chân Geritol. “Tên ngươi là gì, con chó kia, và gia đình của ngươi là ai?” Gương đứng dậy và phủ bụi trên quần áo một cách ngang ngược, gã tù nhân

nhìn thẳng vào mắt kẻ ngược đãi mình và trả lời một cách tự hào. “Tên ta là Steve”¹.

Rồi ngừng lại thật lâu và ngang ngược, quá lâu so với sức chịu đựng của bá tước – anh ta mới tiếp tục. “Ta là hậu duệ của một dòng họ lâu đời có gốc rễ từ thời Cuộc chiến lỗ đen. Tổ tiên của ta là Stephen Táo bạo của Cambridge”.

Về mặt của vị hoàng đế hơi dao động trong giây lát, nhưng lấy lại được tự chủ, ông ta mỉm cười. “Ồ, Steve – ta đoán Dr. là một tước vị danh giá – giờ hãy xem dòng dõi lâu đời của nhà ngươi đã nhận được ngươi ở đâu. Sự tồn tại của ngươi làm ta rất khó chịu. Vấn đề duy nhất là làm thế nào để loại trừ được ngươi.”

Sau đó, khi Mặt trời nhân tạo lặn xuống phía tây, Steve được mang cho bữa ăn cuối cùng. Như thể để chế nhạo anh ta, hoàng đế đã gửi những mẫu thức ăn ngon nhất trên bàn ăn của chính ông ta, cùng với một bức thư bày tỏ sự “thương cảm”. Với cái đầu cúi thấp, gã gác tù ử rữ (Steve được các lính canh tù rất quý mến) đọc to bức thư lên. Với gã thì dường như đó là tin xấu. “Ngày mai, vào lúc 1 giờ sáng, ngươi, gia đình ngươi và tất cả bạn bè dị giáo của ngươi sẽ bị đưa lên tàu đến một vệ tinh nhỏ nhưng có thể sống được và sau đó sẽ thả dăm đầu xuống một vực thẳm – một cái dạ dày khổng lồ tắm tối, đầy lửa và nhiệt bao quanh lỗ đen. Trước tiên ngươi sẽ cảm thấy nóng một cách rất khó chịu. Ngay sau đó da thịt ngươi sẽ bị nấu chín và máu

¹ Vào cuối thế kỷ 20, một tỷ lệ khá lớn các nhà vật lý vĩ đại của thế giới đều mang tên Steve: Steve Weinberg, Steve Hawking, Steve Shenker, Steve Giddings, và Steve Chu là một vài người trong số rất nhiều Steve khác trong vật lý học. Vào cuối thế kỷ 21, những người khao khát làm cha mẹ của những nhà vật lý vĩ đại bắt đầu đặt tên con mình (cả con trai lẫn con gái) là Steve.

sẽ bị sôi lên. Từng mẩu cơ thể người sẽ bị trộn lộn lên cho đến khi chúng bốc hơi, rải khắp nơi không thể nào sắp xếp lại được nữa.” Không rõ vì một lý do nào mà vẻ mặt Steve rất thư thái với một nụ cười thoáng qua. “Một phản ứng thật lạ lùng trước một cái tin xấu như thế”, tên cai tù nghĩ bụng.

Ngày hôm sau, Hoàng đế và viên bá tước dậy rất sớm. Ngài có vẻ thân thiện, thậm chí gần như vui vẻ. “Hôm nay sẽ vui lắm đây. Người có nghĩ vậy không, hã bá tước?”. “Tâu bệ hạ, đúng thế đấy ạ. Thần đã thông báo về vụ hành hình này rồi. Dân chúng sẽ thấy rất thích thú được xem bằng kính viễn vọng của họ khi máu của bọn dị giáo bắt đầu sôi lên sùng sục”.

Nóng lòng chờ mệnh lệnh của Hoàng đế, gã bá tước xu nịnh đề nghị kiểm tra nhanh lại lần cuối cùng nhiệt độ của lò đen. “Được, chuẩn tấu. Người cho làm đi. Từ khoảng cách này, chân trời nhìn có vẻ hơi lạnh, nhưng hãy dùng dây cáp thả xuống bề mặt một chiếc nhiệt kế và ghi lại nhiệt độ gần chân trời. Tất nhiên, chuyện này đã được thực hiện nhiều lần nhưng ta vẫn thích thú khi nhìn thấy cột thủy ngân dâng lên.” Và thế là một quả tên lửa nhỏ đã sẵn sàng mang theo một nhiệt kế rời khỏi Trái đất. Một khi vượt qua lực hút hấp dẫn, chiếc nhiệt kế sẽ rơi vào chân trời, nhưng được dây cáp giữ lại ở bên ngoài nó.

Chiếc nhiệt kế rơi xuống cho đến khi sợi dây cáp căng ra. “Ấm nhưng không nóng. Hạ thêm chút nữa đi bá tước”, Hoàng đế ra lệnh. Người ta lại quay tới nói sợi dây cáp từ từ thêm một chút nữa. Qua kính viễn vọng, Hoàng đế quan sát cột thủy ngân dâng lên – vượt qua nhiệt độ sôi của nước, qua nhiệt độ bốc hơi của thủy tinh và thủy ngân, cho đến khi nhiệt kế bốc hơi. “Đã đủ nóng chưa,

tâu bệ hạ?”, gã bá tước hỏi. “Ý ngươi là có đủ nóng với Steve chưa phải không. Đủ rồi đấy, ta nghĩ khí hậu như thế là hoàn hảo. Nào tiến hành thôi. Đã đến lúc bắt đầu hành hình đi.”

Chỉ giây lát sau, một quả tên lửa thứ hai, lần này đủ lớn cho 200 người, đã sẵn sàng chuyên chở những kẻ dị giáo không may của khoa học duy lý đến một vệ tinh nhỏ nhưng có thể sinh sống được. Vợ của Steve, nức nở vì tuyệt vọng, cố đứng vững bằng cách bám chắc vào cánh tay anh ta. Nhà vật lý muốn giải thích sự thật, nhưng lúc này vẫn còn quá sớm. Các tên lính canh của Hoàng đế vẫn còn vây quanh họ.

Vài giờ sau, tự tay gã bá tước nhấn nút khởi phát những quả tên lửa khổng lồ rời vệ tinh nhỏ màu xanh trên quỹ đạo quay xung quanh Trái đất. Với hai trăm hành khách đang sợ hãi (lúc này những tên lính gác không còn ở cùng họ nữa), nhóm người bắt đầu cuộc hành trình lao xuống lò lửa tối đen.

“Ta vẫn nhìn thấy chúng, bá tước ạ”, Hoàng đế vẫn đang quan sát. “Nhiệt đang bắt đầu ảnh hưởng đến chúng. Chúng đang lịm dần và cử động rất chậm chạp. Rất chậm chạp”. Mái vòm của đài quan sát rất lớn và thị kính của kính viễn vọng được đặt ở vị trí mong manh nhất. Gã bá tước mỉm cười, rút ra một viên thuốc chống hấp dẫn và dâng một viên lên Hoàng đế. “Để cho an toàn, tâu bệ hạ. Rơi khỏi đây là điều khó chịu nhất đấy ạ”. Hoàng đế nuốt viên thuốc và nhìn vào thị kính một lần nữa. “Ta vẫn còn trông thấy chúng. Nhưng nhìn kìa, chúng bắt đầu rơi vào chân trời đang bị kéo giãn ra. Giờ thì các thần dân trung thành của ta sẽ thấy kẻ thù của ta bị xáo trộn như thế nào. Xem kìa, từng người một đang dần dần chìm vào một thứ súp đặc và nóng. Và từng người một, chúng sẽ

bị lấy đi từng photon. Hãy đếm chúng đi và đảm bảo rằng chúng sẽ bị bốc hơi hoàn toàn”.

Họ quan sát khi lần lượt từng photon được ghi lại và phân tích trong ngân hàng những máy tính khổng lồ của kính viễn vọng.

“Ha,” gã bá tước reo lên, “Đúng như các nguyên lý của Cơ học lượng tử đã tiên đoán. Mọi bit thông tin đều được thống kê. Nhưng nó bị xáo trộn đến mức không thể nhận ra được nữa. Không ai có thể đặt ngài Humpty-Dumpty¹ trở lại chỗ cũ được nữa rồi”.

Hoàng đế choàng cánh tay qua vai của gã bá tước và nói, “Chúc mừng người, bá tước. Một công việc hữu ích nhất của buổi sáng hôm nay”. Nhưng cử chỉ bất cẩn này đã ảnh hưởng đến sự thăng bằng của họ. Ở cao trên mặt sàn 60m, gã bá tước đột nhiên tự hỏi liệu những tin đồn về những viên thuốc chống hấp dẫn có phải hoàn toàn là không đúng hay không.

Steve tập trung nghiên cứu kỹ cuốn sổ tay của mình. Sau đó anh ta nhìn lên với vẻ hân hoan và ôm lấy vợ mình. “Em yêu, chúng ta sẽ nhanh chóng được an toàn sau khi vượt qua chân trời”. Bà Steve và những người khác vẫn đang hoàn toàn bối rối khi Steve tiếp tục. “Nguyên lý tương đương chính là sự cứu rỗi của chúng ta”, anh ta giải thích, “Không có gì nguy hiểm ở chân trời cả. Đó chỉ là điểm không thể quay lui hoàn toàn vô hại”. Rồi anh ta nói thêm, “May mắn thay, chúng ta sẽ rơi tự do và gia tốc sẽ triệt tiêu

¹ Một nhân vật trong tác phẩm *Alice trong thế giới kỳ diệu* của Lewis Carroll được nêu trong một bài đồng dao nổi tiếng:

Ngài Humpty Dumpty ngồi trên bức tường

Ngài Humpty Dumpty bị ngã rất đau

Tất cả ngựa và quân lính của Nhà Vua

Cũng không đặt được Humpty Dumpty về chỗ cũ. (ND)

hoàn toàn ảnh hưởng của trường hấp dẫn của lỗ đen. Chúng ta sẽ không cảm thấy gì hết khi đi qua chân trời”. Vợ anh ta vẫn còn nghi hoặc: “Nhưng ngay cả khi chân trời là vô hại thì em cũng đã nghe được những chuyện khủng khiếp về điểm kỳ dị không thể thoát ra ở bên trong lỗ đen. Chẳng phải nó sẽ nghiền nát và xé chúng ta ra từng mảnh hay sao?”. “Đúng vậy,” anh ta trả lời, “nhưng lỗ đen này lớn tới nỗi sẽ phải mất hàng triệu năm nữa hành tinh của chúng ta mới đến được đâu đó ở gần điểm kỳ dị”.

Và thế là họ cứ bay qua chân trời một cách vui vẻ – ít nhất thì nếu bạn tin vào Nguyên lý tương đương.

Hết

Có rất nhiều điều không đúng trong câu chuyện này, ngoại trừ tính văn học của nó. Trong số những điều khác, nếu một lỗ đen đủ lớn để Steve và gia đình anh ta có thể sống sót trong nhiều năm trước khi đến gần điểm kỳ dị¹, thì cũng sẽ phải mất nhiều năm như thế để nhiệt kế của gã bá tước có thể rơi đến đích của nó. Tệ hơn nhiều là, thời gian để lỗ đen phát ra các bit thông tin mà Steve và những người đi theo anh ta chứa lúc đầu sẽ vô cùng dài – dài hơn nhiều so với tuổi của vũ trụ. Nhưng nếu chúng ta lờ đi các chi tiết về số liệu đó thì logic cơ bản của câu chuyện là có nghĩa.

Liệu có đúng thế không nhỉ?

Liệu Steve có bị hiến tế tại chân trời không? Bá tước và Hoàng đế theo dõi được từng bit một và tất cả các bit này đều ở trong các sản phẩm của sự bay hơi, “như các nguyên lý của Cơ học lượng tử tiên đoán”. Vậy Steve sẽ bị hủy diệt ngay khi anh ta tiếp cận

¹ Kỳ dị này ở sau chân trời nên Hoàng đế và gã bá tước không bao giờ nhìn thấy.

chân trời. Nhưng câu chuyện này cũng cho biết rằng Steve đã vượt qua một cách an toàn sang phía bên kia chân trời mà không có gì phương hại đến anh ta hay gia đình anh ta cả – đúng như Nguyên lý tương đương tiên đoán.

Rõ ràng là, chúng ta có một sự mâu thuẫn giữa các nguyên lý. Cơ học lượng tử hàm ý rằng mọi vật thể khi gặp một vùng cực nóng ngay phía trên chân trời, nơi mà nhiệt độ cực lớn biến mọi vật chất thành các photon rời rạc và phát xạ chúng trở lại ra bên ngoài của lỗ đen giống như ánh sáng phát ra từ Mặt trời. Cuối cùng, mỗi bit thông tin mang bởi vật chất rơi vào phải được tính đếm trong chính những photon này.

Nhưng dường như Nguyên lý tương đương lại kể một câu chuyện khác trái ngược hẳn lại.

Cuộc hội thảo tạm ngừng

Cho phép tôi tạm ngừng nói về bài giảng năm 1988 để phân tích một vài điểm mà rất nhiều người say mê vật lý đã biết nhưng có thể bạn chưa biết. Trước tiên, tại sao Nguyên lý tương đương lại cho những người bị lưu đầy niềm tin rằng chân trời là một môi trường an toàn? Một thí nghiệm tưởng tượng mà tôi đã nhắc tới ở Chương 2 có thể sẽ hữu ích đối với bạn. Hãy hình dung cuộc sống ở bên trong một cái cabin thang máy, nhưng trong một thế giới mà lực hấp dẫn mạnh hơn nhiều so với trên bề mặt của Trái đất. Nếu thang máy là đứng yên, hành khách bên trong sẽ cảm thấy đầy đủ lực hấp dẫn ở lòng bàn chân và mọi phần khác trên cơ thể bị nén lại của họ. Giả sử thang máy bắt đầu đi lên. Gia tốc hướng lên trên sẽ khiến mọi thứ còn tồi tệ hơn. Theo Nguyên lý tương

đương, gia tốc này sẽ làm tăng thêm lực hấp dẫn mà các hành khách cảm nhận được.

Nhưng sẽ là như thế nào nếu dây cáp thang máy bị đứt và thang máy bắt đầu chuyển động có gia tốc hướng xuống dưới? Khi đó thang máy và các hành khách bên trong sẽ rơi tự do. Hiệu ứng hấp dẫn và gia tốc hướng xuống dưới sẽ triệt tiêu lẫn nhau và hành khách bây giờ không thể nói là họ đang ở bên trong trường hấp dẫn mạnh được nữa – ít nhất là không cho đến khi họ chạm đất và cảm nhận gia tốc hướng lên trên cực mạnh.

Tương tự như vậy, sự lưu đầy của họ trên một hành tinh rơi tự do cũng sẽ không chịu bất kỳ ảnh hưởng nào của hấp dẫn của lỗ đen tại chân trời. Họ giống như những con nòng nọc trôi tự do ở Chương 2 khi chúng không biết rằng chúng đã vượt qua điểm không thể quay lui.

Vấn đề thứ hai ít quen thuộc hơn. Như tôi đã giải thích, nhiệt độ Hawking của một lỗ đen lớn là cực kỳ nhỏ, vậy làm sao mà gã bá tước và Hoàng đế lại đo được nhiệt độ cao như thế ở gần chân trời khi họ thả chiếc nhiệt kế xuống? Để hiểu rõ điểm này, chúng ta cần biết điều gì sẽ xảy ra với một photon khi nó chuyển động ra khỏi trường hấp dẫn mạnh. Nhưng hãy bắt đầu với điều gì đó quen thuộc hơn – một viên đá được ném từ mặt đất theo phương thẳng đứng, chẳng hạn. Nếu không được ném với vận tốc ban đầu đủ lớn, thì nó sẽ rơi trở lại mặt đất. Nhưng với động năng đủ cho ban đầu đủ lớn, viên đá sẽ thoát ra khỏi sự giam cầm của Trái đất. Tuy nhiên, ngay cả nếu viên đá cố gắng thoát ra, thì nó cũng sẽ chuyển động với động năng nhỏ hơn rất nhiều so với lúc đầu. Hay, nói cách khác, viên đá có động năng ban đầu lớn hơn nhiều so với khi nó đã thoát ra.

Tất cả các photon đều chuyển động với vận tốc ánh sáng, nhưng điều đó không có nghĩa là tất cả chúng đều có cùng động năng. Thực tế, chúng cũng khá giống viên đá. Khi ra khỏi trường hấp dẫn, chúng sẽ mất năng lượng; vượt qua trường hấp dẫn càng mạnh thì năng lượng của nó bị mất càng nhiều. Vào lúc mà một tia gamma thoát ra từ vùng ở gần chân trời, năng lượng của nó bị suy yếu đến mức lúc này nó chỉ là một sóng vô tuyến năng lượng thấp. Ngược lại, một sóng vô tuyến được quan sát ở xa lỗ đen phải là tia gamma năng lượng cao khi nó rời khỏi chân trời.

Giờ chúng ta hãy trở lại với gã bá tước và Hoàng đế ở rất xa lỗ đen. Nhiệt độ Hawking thấp đến mức các photon sóng vô tuyến chỉ có rất ít năng lượng. Nhưng chỉ suy nghĩ một chút thôi, bá tước và Hoàng đế cũng sẽ nhận thấy rằng cũng những photon đó phải là những tia gama năng lượng cực cao khi chúng được phát ra ở gần chân trời. Điều này cũng tương tự như nói ở dưới đó nóng hơn. Thực tế, hấp dẫn ở chân trời một lỗ đen mạnh đến mức photon từ vùng đó sẽ phải có năng lượng cực lớn mới thoát được ra. Quan sát từ phía xa, lỗ đen có thể là rất lạnh lẽo, nhưng lại gần thì nhiệt kế sẽ bị bắn phá bởi những photon mạnh dữ dội. Bởi vậy, những kẻ hành hình tin chắc rằng nạn nhân của chúng sẽ bị bay hơi ở chân trời.

Trở lại hội thảo

Như vậy dường như chúng ta đã có một mâu thuẫn. Một tập hợp các nguyên lý – gồm Thuyết tương đối rộng và Nguyên lý tương đương – phát biểu rằng thông tin truyền đi không hề bị gián đoạn qua chân trời. Nhưng nguyên lý khác, Cơ học lượng tử, lại dẫn

chúng ta đến một kết luận trái ngược: các bit thông tin rơi vào, mặc dù bị xáo trộn khủng khiếp, nhưng cuối cùng sẽ quay trở lại dưới dạng các photon và các hạt khác.

Giờ thì bạn có thể hỏi, làm thế nào chúng ta biết được rằng các bit, sau khi rơi vào qua chân trời nhưng chưa đi đến điểm kỳ dị sẽ không thể quay ngược trở lại theo bức xạ Hawking? Câu trả lời rất rõ ràng: chúng sẽ phải vượt quá vận tốc ánh sáng mới làm được như vậy.

Tôi đã giới thiệu với các bạn một nghịch lý lớn và giải thích tại sao nó có thể rất quan trọng đối với tương lai của vật lý học. Nhưng tôi đã không đưa ra cho các bạn một gợi ý nào về giải pháp khả dĩ cho vấn đề này. Bởi vì tôi cũng không biết lời giải. Nhưng tôi có một vài ý kiến, và tôi sẽ chia sẻ với các bạn.

Tôi không tin rằng chúng ta sẽ phải từ bỏ hoặc là các nguyên lý của Cơ học lượng tử hoặc là các nguyên lý của Thuyết tương đối rộng. Bản thân tôi nói riêng, cũng giống như Gerard 't Hooft, tin rằng không có sự mất thông tin trong sự bay hơi của lỗ đen. Không hiểu sao chúng ta đang bỏ qua một điểm rất sâu sắc về thông tin và sự định vị của nó trong không gian.

Bài thuyết trình của tôi ở San Francisco là bài đầu tiên trong số rất nhiều bài phát biểu lớn mà tôi đã trình bày tại các khoa vật lý và các hội nghị được tiến hành trên ít nhất 5 đại lục. Tôi đã quyết định rằng ngay cả nếu tôi không thể giải quyết được vấn đề, thì tôi cũng sẽ trở thành một người cổ súy cho tầm quan trọng của nó.

Tôi vẫn còn nhớ rất rõ một bài thuyết trình đặc biệt được tiến hành ở Đại học Texas, một trong những khoa vật lý hàng đầu của

Mỹ. Thính giả bao gồm rất nhiều nhà vật lý cực kỳ lỗi lạc, như Steven Weinberg, Willy Fischler, Joe Polchinski, Bryce DeWitt, và Claudio Teitelboim, tất cả đều đã có những đóng góp quan trọng vào lý thuyết hấp dẫn. Tôi rất quan tâm đến những quan điểm của họ, vì vậy vào cuối bài thuyết trình, tôi đã lấy phiếu thăm dò thính giả. Nếu tôi nhớ không nhầm thì Fischler, DeWitt, và Teitelboim có quan điểm thiểu số, cho rằng thông tin không bị mất. Polchinski được thuyết phục bởi lý luận của Hawking và đã bỏ phiếu theo đa số. Weinberg bỏ phiếu trắng. Tổng kết lại tỷ lệ phiếu ủng hộ cho Hawking là 3/1, nhưng cũng có sự do dự đáng kể trong số các thính giả khi đưa ra ý kiến riêng của mình.

Trong thời gian bế tắc này, Stephen và tôi cũng chạm mặt nhau vài lần. Trong tất cả những lần gặp mặt đó thì sự đụng độ ấn tượng nhất là ở Aspen.

VỤ ĐỤNG ĐỘ Ở ASPEN

TRƯỚC MÙA HÈ NĂM 1964, tôi chưa từng gặp đỉnh núi nào cao hơn ngọn Minnewaska hùng vĩ (khoảng 915 mét) thuộc dãy núi Catskill. Aspen, Colorado, một vương quốc núi non kỳ lạ và đầy ma lực đối với tôi khi lần đầu tiên nhìn thấy nó lúc còn là một nghiên cứu sinh 24 tuổi. Những đỉnh núi cao phủ đầy tuyết trắng bao quanh thị trấn tạo một cảm giác hoang dã và như đang ở một thế giới khác, đặc biệt là với một chàng trai thành thị như tôi. Mặc dù đã là một thị trấn trượt tuyết nổi tiếng, song Aspen vẫn có đôi chút hương vị của thời khai thác bạc đầy màu sắc vào cuối thế kỷ 19. Đường phố không lát đá và vào tháng Sáu, khách du lịch vắng đến nỗi bạn có thể cắm trại ở bất kỳ chỗ nào bên ngoài thị trấn. Đó là một nơi dành cho nhiều loại người. Ở bất cứ quán bar nào ở đây, bạn cũng có thể ngồi giữa một tay cao bồi Mỹ chính cống và một dân sơn cước lỗ măng, râu ria xồm xoàm. Hoặc bạn có thể thấy mình bị chèn giữa một ngư dân lôi thôi lếch thếch và một người chăn cừu gốc Ba Lan. Bạn cũng có thể bắt chuyện với một đại gia thuộc giới kinh doanh Mỹ, một nữ chỉ huy dàn nhạc giao hưởng sinh viên ở Berkeley, hay một nhà vật lý lý thuyết.

Nấu mình ở phía cận tây của thị trấn, nằm giữa phía nam Núi Aspen và phía bắc Núi Đỏ, là một cụm các tòa nhà thấp bao quanh

bởi những bãi cỏ dày và rộng. Vào những ngày hè, bạn có thể thấy hàng tá các nhà vật lý ngồi bên các bàn picnic, tranh cãi, thảo luận, và tận hưởng khí hậu tuyệt vời. Tòa nhà chính của Viện Vật lý Lý thuyết Aspen chẳng có gì nhiều để ngắm nhìn, song ngay phía sau nó, trong một không gian ngoài trời thật dễ chịu, là một tấm bảng đen được che bởi một tấm vải bạt. Đây mới chính là nơi những hoạt động thực sự diễn ra, một số nhà vật lý lý thuyết vĩ đại nhất thế giới gặp gỡ nhau ở đây để thảo luận về những ý tưởng mới mẻ nhất của họ.

Năm 1964, tôi mới chỉ là nghiên cứu sinh của Viện này – tôi tin rằng mình là nghiên cứu sinh duy nhất suốt lịch sử 2 năm của Viện – nhưng sự thật là tôi đã ở đó không phải vì bất cứ tài năng nào về vật lý mà tôi có. Bắt nguồn từ dãy núi Rocky, sông Roaring Fork chảy ngang qua thị trấn. Dòng nước hung dữ, chảy xiết, rất lạnh và, điều quan trọng nhất đối với tôi là vào mùa hè, ở đây đầy bạc, không phải bạc kim loại từ các mỏ bạc, mà là ánh bạc sống động của những chú cá hồi hoang dã. Người hướng dẫn luận án của tôi, Peter, là một người thích câu cá bằng ruồi, và khi ông biết được tôi cũng có thể câu cá bằng ruồi, đã mời tôi đi với ông vào mùa hè tới Aspen.

Khi tôi còn là một cậu bé, bố đã dạy tôi câu cá hồi trên các con sông êm ả hơn ở phía đông, sông Beaverkill huyền thoại và nhánh sông Esopus của Catskill. Những cái hồ ở đó rất tĩnh lặng, và bạn có thể lội xuống cho đến khi nước sâu đến tận ngực. Thường thì bạn có thể nhìn thấy không chỉ con ruồi mồi mà cả những con cá hồi nâu khi nó mắc câu. Nhưng trên sông Roaring Fork vào tháng Sáu, một người câu cá sáng suốt sẽ phải đứng trên bờ và đoán được chính xác nhất cái mồi ruồi đang ở đâu. Mặc dù cũng phải

mất một thời gian mới làm chủ được kỹ thuật đó, song mùa hè năm đó tôi đã câu được khá nhiều cá hồi, nhưng không học được bao nhiêu về vật lý.

Bây giờ thì tôi không thấy thích Aspen đến thế nữa. Những người ăn mặc hợp mốt đã thay thế những chàng cao bồi, mà đối với tôi thì như thế chẳng mang lại điều gì hay ho hơn cả. Nhiều năm qua, tôi trở lại đó vài lần chủ yếu là vì vật lý chứ không phải vì câu cá. Có lần vào khoảng năm 1990, khi đi ngang qua thị trấn trên đường đến Boulder, tôi đã dừng lại đó để đọc một bài giảng.

Vào thời điểm đó thì lỗ đen và câu đố về sự mất thông tin đã bắt đầu xuất hiện trên màn hình radar. Sự nhất trí chung là Hawking đúng, nhưng có một số người, không kể tôi và ‘t Hooft, thì nghi ngờ điều đó. Mà Sidney Coleman – một con người hết sức độc đáo, không ai bắt chước được – là một trong số họ.

Coleman là người có tính cách đa dạng và là người hùng của cả một thế hệ các nhà vật lý. Với hàng ria mép, đôi mắt sụp xuống và mái tóc dài rối bù, ông luôn gọi tôi nhớ đến Einstein. Trí não của ông ấy nhanh một cách đáng kinh ngạc, và khả năng nhanh chóng nắm bắt được cốt lõi của vấn đề, đặc biệt là khi có liên quan đến những vấn đề tinh tế và khó, của ông là cả một huyền thoại. Sidney là một người tốt bụng nhưng ông không sao chịu được những chuyện ngu xuẩn. Có đến hơn một diễn giả nổi tiếng ở Harvard (nơi Sidney là một giáo sư danh dự cao cấp) đã phải cúp đuôi bỏ đi sau khi bị Coleman chất vấn một cách tàn nhẫn. Ở Aspen hồi đó, sự có mặt của ông đồng nghĩa với việc diễn giả tại hội thảo phải đạt tiêu chuẩn cao.

Hoàn toàn ngẫu nhiên, một gương mặt quen thuộc khác cũng có mặt trong số các thánh giả. Khi tôi bước vào nơi hội thảo ngoài

trời và hướng về phía tấm bảng đen, thì chiếc xe lăn công nghệ cao quen thuộc lăn tới và Stephen Hawking tiến đến vị trí của mình ở hàng đầu. Như mọi người đều biết, mục đích của tôi là muốn đánh bại lập luận của Stephen về sự mất thông tin. Chiến lược của tôi trước hết là tóm lược bản chất của vấn đề bằng cách nhắc lại logic của Stephen. Điều đó sẽ phải mất khoảng nửa giờ. Sau đó tôi sẽ giải thích tại sao tôi tin rằng điều đó không thể đúng. Nhưng tôi cũng muốn thêm một yếu tố phụ nữa vào lập luận của Stephen để làm cho nó thậm chí còn mạnh hơn. Trường hợp của Stephen càng mạnh thì nó càng hàm ý một sự chuyển đổi hình mẫu tư duy càng mạnh, nếu cuối cùng nó được chứng minh là sai.

Trong khi giải thích logic của Stephen, tôi muốn lắp một lỗ hổng mà rõ ràng là không ai nghĩ tới. Ý tưởng đó là: Hãy hình dung một vùng ngay bên ngoài chân trời chứa rất nhiều máy (photocopy) Xerox nhỏ xíu, vô hình. Khi bất kỳ thông tin nào – chẳng hạn một tài liệu viết tay – rơi vào chân trời, máy Xerox sẽ sao lại thông tin, tạo thành hai bản giống hệt nhau. Một bản tiếp tục qua chân trời mà không bị chặn lại và đi tiếp tục vào bên trong lỗ đen, rồi cuối cùng bị phá hủy tại điểm kỳ dị. Nhưng số phận của bản sao thứ hai lại phức tạp hơn nhiều. Trước hết nó sẽ bị xáo trộn hoàn toàn hoặc bị sắp xếp lại cho đến khi không thể nhận ra được nữa nếu không biết mã sắp xếp. Sau đó nó bị phát xạ trở ra theo bức xạ Hawking.

Sự sao lại thông tin chỉ ngay trước khi nó vượt qua chân trời có vẻ như giải quyết được vấn đề. Hãy nghĩ trước hết đến những người quan sát lơ lửng ở xa bên ngoài lỗ đen. Họ đều nhìn thấy mỗi bit thông tin trở lại trong bức xạ Hawking. Vì vậy, họ kết luận rằng không có lý do gì để thay đổi các nguyên lý của Cơ học lượng

tử. Trong sự suy xét ngược ngrech như vậy, họ kết luận rằng ý tưởng của Hawking về sự phá hủy thông tin là sai.

Thế còn những người quan sát đang rơi tự do thì sao? Khoảnh khắc sau khi vượt qua chân trời, anh ta nhìn quanh và thấy không có gì xảy ra cả. Các bit của anh ta vẫn còn đó, gắn liền với cùng con người đó, kèm theo mọi thứ rơi cùng với anh ta. Chân trời từ điểm quan sát này chẳng là gì ngoài một điểm không thể quay lui vô hại, và Nguyên lý tương đương của Einstein hoàn toàn được tôn trọng.

Liệu có thật là chân trời của một lỗ đen được bao phủ bởi những thiết bị sao chụp hoàn toàn trung thực và cực bé (có lẽ là ở kích thước Planck) không? Đường như đây là một ý tưởng hấp dẫn. Nếu đúng, nó sẽ giải thích được nghịch lý của Stephen theo một cách logic và đơn giản: không có thông tin nào bị mất trong lỗ đen cả, và các nhà vật lý tương lai có thể tiếp tục sử dụng các nguyên lý quen thuộc của Cơ học lượng tử. Máy Xerox lượng tử ở chân trời của mọi lỗ đen sẽ mang lại kết thúc bất ngờ cho Cuộc chiến lỗ đen.

Sidney đã rất ấn tượng. Ông xoay mình lại để đối diện với thánh giá. Sau đó, chỉ có Sidney mới có thể làm được như vậy, ông đã giải thích những gì tôi đã nói theo cách thậm chí còn rõ ràng hơn tôi. Nhưng Stephen đã không nói gì cả. Ngồi sụm trong chiếc xe lăn, ông vẫn giữ nụ cười rộng mở trên khuôn mặt. Rõ ràng là ông đã biết điều gì đó mà Sidney không biết. Thực tế, cả Stephen và tôi đều nhận thức được rằng sự giải thích của tôi chỉ như là một bù nhìn rom mà tôi đã dựng nên chỉ để đánh gục nó.

Stephen và tôi đều biết rằng một máy sao chụp hoàn hảo của thông tin lượng tử là mâu thuẫn với Cơ học lượng tử. Trong một thế giới được chi phối bởi các quy tắc toán học do Heisenberg và Dirac đề ra, một máy sao chụp hoàn hảo là không thể. Tôi đã đặt

tên cho nguyên lý này là: *Nguyên lý phi sao chụp lượng tử*. Trong lĩnh vực vật lý hiện đại có tên là lý thuyết thông tin lượng tử thì ý tưởng này được gọi là *Nguyên lý không nhân bản*.

Đắc thắng, tôi nhìn Coleman và nói, “Sidney, các máy Xerox lượng tử là không thể,” với hy vọng rằng ông sẽ hiểu được ngay lập tức. Nhưng đột nhiên trí não mau lẹ của ông trở nên chậm chạp. Tôi phải giải thích chi tiết hơn. Lời giải thích của tôi dành cho Sidney và các thính giả khác trong hội thảo đã khiến tám bảng đen chi chít những phương trình toán học và chiếm trọn thời gian còn lại được dành cho hội thảo. Dưới đây là bản tóm lược lại đơn giản hơn.

Hãy tưởng tượng một cỗ máy với một cổng vào và hai cổng ra. Một hệ bất kỳ, ở một trong những trạng thái lượng tử khả dĩ của nó, có thể được đưa máy vào qua cổng vào. Chẳng hạn, một electron có thể cho vào máy sao chụp. Máy này nhận electron ở đầu vào và cho ra hai electron giống hệt nhau. Các đầu ra đồng nhất không chỉ với nhau mà còn với cả đầu vào ban đầu nữa.

Một máy Xerox lượng tử



*Một electron với hàm sóng đi vào.
Hai electron giống hệt nhau đi ra.*

Nếu có thể chế tạo một chiếc máy như vậy, nó sẽ mang lại cho chúng ta một cách để đánh bại Nguyên lý bất định bất khả đánh bại của Heisenberg. Giả sử chúng ta muốn biết cả vị trí và vận tốc của một electron. Tất cả những gì chúng ta phải làm là sao chép nó và sau đó đo vị trí của một bản sao và đo vận tốc của cái còn lại. Nhưng tất nhiên, điều đó là không thể theo các nguyên lý của Cơ học lượng tử.

Vào cuối buổi thuyết trình, tôi đã bảo vệ thành công cho nghịch lý của Hawking và đã giải thích *Nguyên lý phi sao chụp lượng tử*, nhưng tôi đã không còn chút thời gian nào để giải thích quan điểm của riêng tôi nữa. Ngay khi hội thảo kết thúc, giọng nói cơ khí kỳ quái của Stephen vang lên rất to giữa đám đông, “Vậy là giờ anh đồng ý với tôi!” Trong mắt ông ta ánh lên tia sáng đầy tinh quái.

Rõ ràng là tôi đã thua trong trận đấu đó. Tôi đã bị đánh bại vì ngọn lửa thân thiện của chính mình, bởi sự thiếu thời gian, và đặc biệt là bởi mưu kế khôn ngoan của Stephen. Trên đường rời khỏi Aspen tối hôm đó, tôi đã dừng lại ở Thung lũng Difficult và lấy ra cần câu mồi ruồi của tôi. Nhưng cái hồ ưa thích của tôi lúc đó đầy bọn trẻ con ồn ào đang chơi đùa trên những chiếc phao bằng tấm xe ô tô.

PHẦN III

Phản công

CUỘC CHIẾN Ở SANTA BARBARA

ĐÓ LÀ MỘT BUỔI CHIỀU thứ Sáu năm 1993, mọi người khác đều đã về nhà. John, Lárus, và tôi vẫn còn ngồi trong văn phòng của tôi ở Stanford, vừa hóng gió vừa uống cà phê mà Lárus đã pha. Người Iceland là những người pha cà phê ngon nhất thế giới. Theo Lárus thì điều này có liên quan đến thói quen uống về đêm của họ.

Lárus Thorlacius, một Viking¹ Iceland cao lớn (ông tuyên bố mình không phải là hậu duệ của những chiến binh Naury, mà là của những người nô lệ Ailen [Irish]), là thực tập sinh sau tiến sĩ (*postdoc*) ở Stanford, sau khi vừa nhận học vị tiến sĩ ở Princeton. Còn John Uglum, một người Texas theo Đảng cộng hòa (không phải theo kiểu tôn giáo mà chỉ là người theo chủ nghĩa tự do kiểu Ayn Rand²), là nghiên cứu sinh của tôi. Tuy có sự khác biệt về chính trị và văn hóa – tôi là một người Do Thái tự do ở Nam Bronx – chúng tôi vẫn là bạn thân, và đã làm nhiều việc để giữ sự gắn bó giữa những người đàn ông với nhau như cùng ngồi uống cà phê (đôi khi có uống những thứ khác mạnh hơn), tranh luận về chính trị, và nói chuyện về lỗ đen. (Sau đó không lâu thì Amanda

¹ Viking – binh lính và cướp biển người Xcăngđinavơ đến định cư ở một vài vùng Bắc và Tây Âu, kể cả Anh (từ thế kỷ thứ 8 đến thứ 10). ND

² Ayn Rand (1905-1982) nhà văn Mỹ gốc Nga có ảnh hưởng rộng lớn đối với xã hội Mỹ sau Thế chiến thứ hai. (ND)

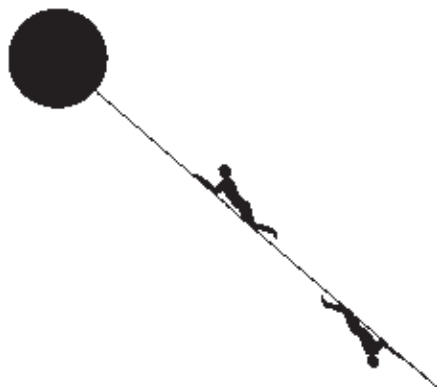
Peet, một sinh viên tới từ New Zealand đã mở rộng “nhóm thân hữu” của chúng tôi thành ba anh em trai và một em gái).

Đến năm 1993 thì lỗ đen không chỉ xuất hiện trên màn radar của các nhà vật lý mà chúng đã trở thành tiêu điểm. Một phần là do bài báo đầy khiêu khích được viết trước đó khoảng một năm rưỡi bởi bốn nhà vật lý lý thuyết nổi tiếng của Mỹ. Curt Callan, một nhà quý tộc ở Princeton, là nhân vật hàng đầu trong lĩnh vực vật lý hạt cơ bản và là một thành viên có ảnh hưởng lớn của giới khoa học Mỹ từ những năm 1960. (Chính ông là người hướng dẫn luận án tiến sĩ của Láros). Andy Strominger và Steve Giddings thì trẻ hơn, là những thành viên đầy triển vọng của Khoa Vật lý, Đại học California, ở Santa Barbara (UCSB). Vào thời đó, điều làm tôi phân biệt họ với nhau đó là Giddings hay mặc áo khoác và Strominger thì hay đeo dây quần. Và cuối cùng, Jeff Harvey của Đại học Chicago là (và hiện giờ vẫn là) một nhà vật lý lớn, một nhà soạn nhạc tài năng (hãy xem phần cuối của Chương 24), và là một cây hài. Nhóm các nhà vật lý này được biết đến dưới biệt danh CGHS, và phiên bản đơn giản hóa của lỗ đen mà họ đã đề cập tới được gọi là lỗ đen CGHS. Bài báo viết chung của họ chỉ gây xôn xao trong một thời gian ngắn, một phần là do các tác giả tuyên bố rằng, cuối cùng họ đã giải quyết được vấn đề thông tin bị mất trong sự bay hơi của lỗ đen.

Điều khiến cho lý thuyết CGHS đơn giản như vậy – giờ nghĩ lại thì thấy nó đơn giản một cách đáng thất vọng – đó là nó mô tả một vũ trụ chỉ với một chiều không gian duy nhất. Thế giới của họ thậm chí còn đơn giản hơn cả *Đất nước phẳng*, thế giới giả tưởng hai chiều của Edwin Abbott. CGHS hình dung một vũ trụ của các sinh vật sống trên một đường vô cùng mảnh. Các sinh vật này đơn giản đến hết mức có thể: chúng không gì khác hơn là các hạt cơ

bản đơn lẻ. Tại một đầu của vũ trụ một chiều này là một lỗ đen đủ nặng và đặc đến mức có thể bẫy bất cứ thứ gì lại gần nó.

Lỗ đen CGHS



Bài báo mà nhóm CGHS đã viết là một sự phân tích toán học cực kỳ tao nhã về bức xạ Hawking, song ở đâu đó trong phân tích của họ, họ đã mắc sai lầm, khi tuyên bố rằng Cơ học lượng tử đã loại bỏ điểm kỳ dị và cùng với nó cả chân trời nữa. Lárus và tôi, cùng với một đồng nghiệp nữa là Jorge Russo, nằm trong số ít những người đã chỉ ra sai lầm đó. Điều này khiến chúng tôi trở thành các chuyên gia về lỗ đen CGHS. (Thậm chí còn có riêng một phiên bản của lý thuyết CGHS được gọi là mô hình RST – Russo, Susskind, và Thorlacius).

Giờ đây lý do mà John, Lárus và tôi ngồi với nhau hàng giờ vào ngày thứ Sáu đó là sắp tới có một cuộc hội thảo đặc biệt dành cho những vấn đề hóc búa và những nghịch lý về lỗ đen. Hội thảo này sẽ được tổ chức sau hai tuần nữa ở Santa Barbara, tại ngôi nhà của Viện Vật lý lý thuyết (ITP)¹ ở UCSB. ITP là một cơ sở nghiên cứu về vật lý tốt đến cỡ nào? Câu trả lời ngắn gọn là thực sự tốt. Vào năm 1993, nó đã trở thành một trung tâm nghiên cứu rất sôi động về lỗ đen.

¹ Ngày nay ITP được biết đến với cái tên KITP, Viện vật lý lý thuyết Kavli.

James Hartle là một nhân vật cao cấp nhất trong số các nhà vật lý lý thuyết nghiên cứu về thuyết lỗ đen của Khoa Vật lý thuộc UCSB. Ông là một chuyên gia xuất sắc và đặc biệt có uy tín. Chính ông là người đã cùng thực hiện những nghiên cứu đột phá ban đầu với Stephen Hawking về hấp dẫn lượng tử, rất lâu trước khi nó trở nên phổ biến. Nhưng ở Khoa Vật lý còn có bốn thành viên trẻ mà tất cả họ đều được số phận định trước là sẽ đóng một vai trò quan trọng trong Cuộc chiến lỗ đen. Tất cả bốn người họ đều trạc tuổi 35 và cực kỳ năng động. Bạn đã biết Steve Giddings và Andy Strongminger (G và S trong CGHS). Mặc dù cả hai đều là bạn của tôi và tôi rất ngưỡng mộ những công trình nghiên cứu vật lý của họ, song hai người đã tỏ ra là những đối thủ cực kỳ khó chịu trong hai năm sau đó. Họ thường khiến tôi phải rối trí bởi sự cố chấp ương ngạnh của họ với những ý tưởng sai lầm. Tuy nhiên, cuối cùng thì chính họ cũng đã chuộc được lỗi lầm.

Gary Horowitz là người thứ ba trong Khoa Vật lý trẻ trung ở UCSB. Ông là một chuyên gia về Thuyết tương đối rộng, người mà sau này trở nên nổi tiếng như một nhà lãnh đạo sáng chói của lĩnh vực này. Ông cũng đã làm việc rất gần gũi với Hawking và biết khá nhiều về lỗ đen như những người khác. Cuối cùng là Joe Polchinski, người mới đến Santa Barbara gần đây từ Đại học Texas. Joe và tôi đã từng làm việc cùng nhau trong một số dự án nghiên cứu, và tôi biết ông rất rõ. Mặc dù tôi luôn nhận thấy ông là một người rất dễ chịu, có óc hài hước thực sự, nhưng tôi cũng rất khâm phục năng lực và tốc độ trí tuệ và cả sự tài hoa của ông. Ngay từ những ngày đầu tiên trong tình bạn của chúng tôi – Joe chắc mới chỉ 25 còn tôi đã 40 tuổi – tôi đã không hề nghi ngờ rằng số phận đã định trước là anh sẽ trở thành một trong những nhà vật lý lý thuyết vĩ đại nhất của thời đại. Và tôi đã không thất vọng.

Những nhà vật lý trẻ tuổi phi thường này đã cùng làm việc rất gần bó với nhau. Đôi khi đề tài là lỗ đen, khi khác lại là lý thuyết dây. Tài năng lớn của một nhóm nhỏ gần bó khăng khít khiến cho họ trở thành một sức mạnh giàu tiềm năng trong vật lý lý thuyết. Điều đó cũng khiến cho Santa Barbara trở thành một trong những nơi sôi động nhất (nếu không muốn nói là nơi sôi động nhất) để các nhà vật lý lý thuyết thường lui tới. Chắc chắn hội nghị dành cho các vấn đề gay cấn của lỗ đen ở Santa Barbara sẽ là một sự kiện quan trọng.

Hội thảo chắc hẳn được tổ chức là để ăn mừng tiếng vang mà bài báo của nhóm CGHS đã tạo nên. Người ta hy vọng là những kỹ thuật toán học mà nhóm CGHS phát minh ra sẽ nắm giữ chìa khóa giải đáp được những vấn đề mà sau này người ta gọi là *ngịch lý thông tin*. Tôi đã được các nhà tổ chức hội thảo đề nghị đọc báo cáo về công trình mà Lárus, Jorge và tôi đã làm ở Stanford, vì vậy chúng tôi đã ngồi đây, vào tối muộn ngày thứ Sáu, để bàn về những điều mà tôi sẽ trình bày.

Có thể cốc cà phê có quá nhiều cafein, một sự dâng trào kích thích tố nam, hoặc cũng có thể chỉ là tình bằng hữu giữa ba chàng ngự lâm chúng tôi, nhưng tôi đã nói với John và Lárus, “Khỉ thật, mình không muốn nói về CGHS hay RST. Nó đã chết thật rồi¹. Tôi muốn chúng ta làm điều gì đó thực sự khuấy động mọi thứ lên. Ta hãy đứng hẳn ra ngoài và nói điều gì đó thật táo bạo để họ phải thực sự chú ý”.

Ba chúng tôi đang tìm đường thoát ra khỏi kết luận đầy nghịch lý của Stephen và một ý tưởng đã bắt đầu định hình. Cũng không

¹ Bây giờ hồi tưởng lại, tôi nghĩ lý thuyết CGHS đã dạy chúng tôi rất nhiều. Hơn bất kỳ điều gì đã có trước đó, nó đã mang lại một cách phát biểu toán học rõ ràng mạch lạc về mâu thuẫn mà Hawking đã phơi bày. Chắc chắn nó đã có ảnh hưởng rất lớn đến tư duy của chính bản thân tôi.

có gì nhiều hơn là một ý niệm mơ hồ – nó thậm chí còn chưa có một cái tên – song đây chính là thời điểm để hành động.

“Tôi nghĩ rằng ba chúng ta cần liên kết lại những mất xích còn lỏng lẻo của cái ý tưởng còn chưa thật chín của chúng ta, và ngay cả nếu ta chưa chứng minh được, thì cũng thử làm cho nó chính xác hơn. Chỉ hành động đặt tên thôi cho một khái niệm mới đôi khi cũng có thể mang lại một sự sáng tỏ nào đó. Tôi đề nghị chúng ta viết một bài báo về Tính bổ sung của lỗ đen và tôi sẽ tuyên bố ý tưởng mới này tại hội nghị ở Santa Barbara.”

Câu chuyện “Đừng quên mang theo thuốc chống hấp dẫn” (xem Chương 13) là một chỗ thích hợp để bắt đầu giải thích những gì tôi đang nung nấu trong đầu. Giống như bộ phim *Rashomon* của Akira Kurosawa, một câu chuyện được nhìn thông qua con mắt của những người tham gia khác nhau – với những kết luận hoàn toàn mâu thuẫn nhau. Trong một phiên bản – phiên bản của vị hoàng đế và gã bá tước – Steve, một nhà vật lý bị hành quyết, bị thủ tiêu trong một môi trường vô cùng nóng bao quanh chân trời. Trong khi đó theo Steve, câu chuyện lại có một kết thúc khác và có hậu hơn. Rõ ràng là, điều này hoặc điều kia, nếu không phải là cả hai, phải là sai; Steve không thể vừa sống sót lại vừa bị giết ở chân trời được.

“Điểm mấu chốt về Tính bổ sung của lỗ đen,” tôi giải thích với các đồng nghiệp, “là nó có vẻ hơi điên rồ, nhưng cả hai câu chuyện đều thực như nhau”.

Hai người bạn của tôi rất bối rối. Tôi không còn nhớ chính xác sau đó tôi đã nói gì với họ, nhưng chắc là phải như thế này: những ai vẫn còn ở bên ngoài lỗ đen – như bá tước, vị hoàng đế và các thần dân trung thành của ông ta – tất cả đều đã nhìn thấy cùng

một cảnh tượng¹: Steve bị nung nóng, bốc hơi và biến thành bức xạ Hawking. Thêm nữa là, tất cả những điều đó xảy ra ngay trước khi ông ta tới chân trời.

Làm thế nào mà chúng ta có thể hiểu được điều đó? Cách duy nhất phù hợp với các định luật vật lý, đó là giả sử rằng có một lớp cực nóng nào đó tồn tại chỉ ngay bên trên chân trời, mà bề dày của nó có lẽ không lớn hơn chiều dài Planck. Tôi đã thú nhận với John và Lárus rằng tôi không biết chính xác lớp này tạo bởi cái gì, nhưng tôi đã giải thích rằng entropy của một lỗ đen có nghĩa là lớp đó phải được tạo bởi các đối tượng cực bé, rất có thể là không lớn hơn độ dài Planck. Lớp nóng này sẽ hấp thụ bất kỳ thứ gì rơi vào chân trời, giống y trang như những giọt mực bị hòa tan vào nước. Tôi nhớ là đã gọi những đối tượng bé xíu chưa biết đó là *các nguyên tử-chân trời*, tất nhiên, ý của tôi không phải là các nguyên tử thông thường. Những điều tôi đã biết về các nguyên tử này cũng chỉ như các nhà vật lý ở thế kỷ 19 biết về các nguyên tử thông thường: tức là chỉ biết rằng chúng tồn tại.

Lớp nóng này cần có một cái tên. Các nhà vật lý thiên văn đã nghĩ ra một cái tên mà cuối cùng tôi đã lựa chọn. Họ đã dùng ý tưởng về một màng ảo bao quanh lỗ đen, chỉ ngay phía trên chân trời để phân tích một số tính chất điện của lỗ đen. Các nhà vật lý thiên văn đã gọi mặt ảo này là *chân trời bị kéo giãn*, nhưng tôi thì tôi đề xuất một lớp thực, ở ngay phía trên chân trời một khoảng cách bằng độ dài Planck, chứ không phải là một mặt ảo. Hơn nữa, tôi đã tuyên bố rằng bất kỳ thí nghiệm nào – như thả xuống

¹ Tôi dùng từ “đã nhìn thấy” theo nghĩa hơi khái quát. Người quan sát bên ngoài lỗ đen có thể phát hiện được năng lượng và thậm chí cả những bit thông tin đơn lẻ mà cơ thể Steve chứa đựng dưới dạng bức xạ Hawking.

một nhiệt kế để đo nhiệt độ, chẳng hạn – sẽ xác nhận sự tồn tại của các nguyên tử-chân trời này¹.

Chân trời bị kéo giãn

Tôi thích âm của cái tên “chân trời bị kéo giãn” và lựa chọn nó vì mục đích của cá nhân tôi. Ngày nay, chân trời bị kéo giãn đã trở thành một khái niệm chuẩn trong vật lý lỗ đen. Nó có nghĩa là một lớp mỏng “các bậc tự do” vi mô và nóng chỉ ở ngay bên trên chân trời một khoảng cách bằng độ dài Planck.



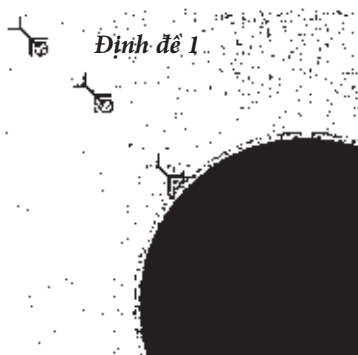
Chân trời bị kéo giãn giúp chúng ta hiểu được một lỗ đen bay hơi như thế nào. Thi thoảng, một trong các nguyên tử-chân trời có năng lượng lớn và đập hơi mạnh hơn bình thường một chút và bị bắn ra khỏi bề mặt này vào không gian. Bạn có thể nghĩ về chân trời bị kéo giãn như là một lớp khí quyển mỏng và nóng. Theo cách hiểu đó, sự mô tả về quá trình bay hơi của lỗ đen sẽ gần tương tự như cách mà khí quyển Trái đất bay hơi dần dần vào không gian bên ngoài. Hơn nữa, vì khối lượng lỗ đen giảm khi bay hơi nên nó sẽ phải co lại.

Nhưng đây mới chỉ là một nửa câu chuyện – nửa được quan sát thấy từ một địa điểm thuận lợi ở bên ngoài lỗ đen. Bản thân nửa câu chuyện này còn chưa triệt để. Mọi thứ rơi vào nỗi sụp nóng. Sụp nóng bốc hơi. Các bit thông tin được mang ra ngoài bởi các sản phẩm của quá trình bốc hơi đó. Tất cả đều rất thông thường. Nếu tôi đang nói về điều gì khác không phải là lỗ đen thì đây là một sự giải thích không có gì đặc biệt cả.

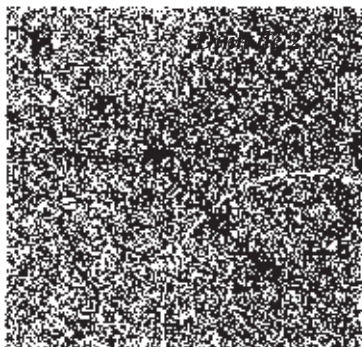
¹ Từ những năm 1970, các nhà vật lý đã biết rằng nhiệt kế khi được thả xuống vùng lân cận của chân trời sẽ báo nhiệt độ rất cao. Bill Unruh, người nghĩ ra lỗ đen cảm, đã khám phá ra sự thực này khi còn là một sinh viên của John Wheeler.

Vậy còn góc độ quan sát từ bên trong, hay nói chính xác hơn là cảnh tượng được nhìn thấy bởi những người quan sát đang rơi tự do thì sao? Chúng ta có thể gọi nó là phiên bản của Steve, một cảnh tượng dường như mâu thuẫn với cảnh tượng nhìn từ bên ngoài (phiên bản của hoàng đế và gã bá tước).

Tôi đã đưa ra hai định đề:



1. Đối với bất kỳ người quan sát nào vẫn còn ở bên ngoài một lỗ đen, thì chân trời bị kéo giãn trình hiện như là một lớp các nguyên tử-chân trời nóng, có thể hấp thụ, xáo trộn, và cuối cùng là phát ra (dưới dạng bức xạ Hawking) mọi bit thông tin rơi vào lỗ đen.



2. Đối với những người quan sát đang rơi tự do, chân trời lại dường như là một không gian hoàn toàn trống rỗng. Những người quan sát đang rơi này không cảm nhận thấy có gì đặc biệt ở chân trời, mặc dù đối với họ đây là điểm không thể quay lui. Họ chỉ bất gặp một môi trường hủy diệt rất lâu sau đó, khi mà, cuối cùng, họ đến gần điểm kỳ dị.

Sẽ là thừa nếu thêm vào một định đề thứ ba, nhưng dù sao tôi vẫn đưa vào.

3. Định đề 1 và 2 đều đúng, và sự mâu thuẫn bề ngoài là không thực.

Lárus vốn là người hay hoài nghi. Ông hỏi, làm sao mà hai câu chuyện mâu thuẫn nhau lại đều có thể là đúng được. Có một mâu thuẫn về logic khi nói rằng Steve rơi vào trong bị giết chết tại chân trời và, cùng lúc đó, anh ta lại có thể sống sót một triệu năm sau. Logic cơ bản nói rằng một điều và điều ngược lại với nó không thể cùng đúng được. Và thực tế, tôi cũng đã tự hỏi mình câu hỏi tương tự.

Trên tầng hai của Khoa Vật lý ở Stanford, thường trình chiếu một bức ảnh toàn ký. Ánh sáng phản xạ từ một tấm phim hai chiều với một hình mẫu ngẫu nhiên các chấm sáng và tối nhỏ xíu sẽ được tự tiêu trong không gian và tạo nên một hình ảnh ba chiều trôi nổi của một phụ nữ trẻ sexy, mỗi khi bạn đi qua, cô ta sẽ nháy mắt với bạn.



Bạn có thể đi vòng quanh bức ảnh ảo này và nhìn nó từ nhiều góc độ khác nhau. Thi thoảng Lárus, John và tôi lại tìm ra một điểm đặc biệt khi đi qua bức ảnh đó. Bây giờ tôi đùa với Lárus là bề mặt của lỗ đen – tức chân trời – phải là một bức ảnh toàn ký, một tấm phim hai chiều về tất cả những gì ba chiều ở bên trong lỗ đen. Lárus không chịu. Cả tôi cũng vậy, nhưng thực ra lúc đó tôi cũng chưa thực sự hiểu rõ những điều mình nói.

Nhưng tôi đã tiếp tục nghĩ về nó một thời gian và đã có câu trả lời nghiêm túc hơn. Vật lý là một môn khoa học quan sát và thực nghiệm; khi tất cả các hình ảnh trong trí não bị xóa bỏ đi, thì cái còn lại là một tập hợp những dữ liệu thực nghiệm, cùng với các phương trình toán học tóm tắt các dữ liệu đó. Mâu thuẫn thật sự không có nghĩa là có sự khác nhau hoàn toàn giữa hai hình ảnh

trong trí não. Hình ảnh trong trí não liên quan nhiều đến những giới hạn mà quá khứ tiến hóa của chúng ta đã áp đặt hơn là đến những thực tại mà chúng ta đang cố tìm hiểu. Một mâu thuẫn thực sự chỉ xuất hiện khi các thực nghiệm dẫn đến những kết luận trái ngược nhau. Chẳng hạn, nếu hai nhiệt kế giống hệt nhau được nhúng vào một nồi nước nóng và chúng đưa ra hai nhiệt độ khác nhau, thì chúng ta sẽ không chấp nhận kết quả; chúng ta biết rằng một trong hai nhiệt kế đã bị hỏng. Những hình ảnh trong trí não rất có giá trị trong vật lý, nhưng nếu chúng có vẻ như dẫn tới một mâu thuẫn ở chỗ không hề có mâu thuẫn trong các dữ liệu thực nghiệm thì hình ảnh đó không phải là hình ảnh thực.

Liệu chúng ta có thể làm phơi bày một mâu thuẫn thực sự nếu chúng ta công nhận cả hai câu chuyện về lỗ đen – câu chuyện của Steve và câu chuyện của gã bá tước – đều đúng? Để phát hiện mâu thuẫn, hai người quan sát phải cùng đi tới kết thúc thí nghiệm và so sánh những ghi chép của mình. Nhưng nếu một quan sát được thực hiện ở phía sau chân trời còn người quan sát kia không bao giờ tới được gần nó thì theo chính định nghĩa của chân trời, họ sẽ không thể gặp nhau để so sánh dữ liệu được. Vì vậy đã không có mâu thuẫn thực sự – chỉ có hình ảnh trong trí não là tồi mà thôi.

John đã hỏi là liệu Hawking sẽ đáp lại như thế nào. Câu trả lời của tôi, mà điều này sẽ được chứng minh là hoàn toàn đúng đắn, là “Ồ, Stephen sẽ mỉm cười”.

Tính bổ sung

Từ “bổ sung” được Nils Bohr, nhân vật huyền thoại, cha đẻ của Cơ học lượng tử, đưa vào vật lý học. Bohr và Einstein là bạn bè song

họ bất đồng liên miên về các nghịch lý và những mâu thuẫn bên ngoài của Cơ học lượng tử. Einstein là cha đẻ thực sự của Cơ học lượng tử nhưng ông đã trở nên căm ghét môn học này. Thực sự thì ông đã sử dụng toàn bộ năng lực trí tuệ vô địch của mình để cố tìm ra những lỗ hổng trong nền tảng logic của nó. Cứ mỗi lần Einstein nghĩ rằng mình đã tìm ra một mâu thuẫn thì Bohr lại đánh trả bằng vũ khí riêng của mình – đó là tính bổ sung.

Việc tôi sử dụng *tính bổ sung* trong mô tả cách giải quyết những nghịch lý của các lỗ đen lượng tử không phải là chuyện tình cờ. Vào những năm 1920, Cơ học lượng tử có rất nhiều mâu thuẫn bên ngoài. Một trong số đó là sự tranh cãi vẫn chưa được ngã ngũ về ánh sáng: liệu ánh sáng là sóng hay hạt? Đôi khi có vẻ như ánh sáng hành xử theo cách này, lúc khác thì nó lại theo cách ngược lại. Nếu nói ánh sáng là cả hai – vừa là sóng vừa là hạt – thì nghe rất vô lý. Làm thế nào chúng ta biết được khi nào thì sử dụng các phương trình hạt và khi nào thì sử dụng phương trình sóng?

Một vấn đề khác: Chúng ta coi các hạt như là những vật thể nhỏ bé chiếm một vị trí trong không gian. Nhưng các hạt có thể đi từ điểm này đến điểm khác. Để mô tả chuyển động của chúng, chúng ta phải xác định được chúng chuyển động với tốc độ như thế nào và theo hướng nào. Hầu như theo định nghĩa, thì một hạt là một thứ gì đó có vận tốc và vị trí. Nhưng không! Với một logic mà dường như bất chấp logic, Nguyên lý bất định của Heisenberg lại khẳng khái nói rằng cả vị trí và vận tốc đều không thể đồng thời xác định được. Lại càng vô lý hơn nữa.

Có điều gì đó kỳ lạ đang diễn ra. Dường như lẽ phải đang bị xả trôi xuống toilet. Tất nhiên, không có mâu thuẫn thực sự nào trong các dữ liệu thực nghiệm cả; mọi thí nghiệm đều đưa ra một

kết quả xác định, số chỉ trên máy đo là một con số. Nhưng lại có điều gì đó sai lầm ở hình ảnh trong trí não. Mô hình về thực tại in hằn trong bộ não chúng ta đã không nắm bắt được bản chất thực sự của ánh sáng hay cách thức chuyển động bất định của các hạt.

Quan điểm của riêng tôi về các nghịch lý lỗ đen cũng giống như quan điểm của Bohr về các nghịch lý trong Cơ học lượng tử. Trong vật lý học, một mâu thuẫn chỉ thực sự là mâu thuẫn nếu nó dẫn tới những kết quả thực nghiệm trái ngược nhau. Bohr cũng là một người rất khắt khe trong việc sử dụng từ ngữ chính xác. Khi được sử dụng một cách không chính xác, đôi khi các từ sẽ dẫn đến sự xuất hiện mâu thuẫn mà lẽ ra là không có.

Tính bổ sung chính là về việc sử dụng sai một từ đơn giản có ba chữ cái: a-n-d (và). “Ánh sáng là sóng *và* ánh sáng là hạt”. “Một hạt có vị trí *và* vận tốc”. Thực ra, Bohr đã nói, hãy loại bỏ từ *và* đi – và thay bằng từ *hoặc*. “Ánh sáng là sóng *hoặc* là hạt”. “Một hạt có vị trí *hoặc* vận tốc”.

Ý của Bohr là trong các thí nghiệm nhất định, ánh sáng hành xử giống như một tập hợp các hạt, trong khi ở các thí nghiệm khác, nó lại hành xử như sóng. Không có thí nghiệm nào mà nó hành xử giống như cả hai cả. Nếu bạn đo đặc một đặc trưng sóng nào đó – giả sử, giá trị của điện trường dọc theo sóng – bạn sẽ có một đáp số. Nếu bạn đo một tính chất hạt, chẳng hạn như vị trí của các photon trong một chùm sáng có cường độ rất thấp, bạn cũng sẽ thu được một đáp số. Nhưng đừng thử đo một tính chất sóng đồng thời với đo một tính chất hạt. Chỉ có thể thu được một đáp số ở mỗi lần. Bạn có thể đo một tính chất sóng *hoặc* một tính chất hạt. Bohr đã nói rằng sóng hay hạt đều không phải là sự mô tả đầy đủ về ánh sáng, nhưng chúng *bổ sung* cho nhau.

Cũng giống y như vậy đối với vị trí và vận tốc. Một số thí nghiệm nhảy với vị trí của một electron – chẳng hạn, điểm mà tại đó một electron đập vào màn hình tivi và làm sáng nó. Thí nghiệm khác lại nhảy với vận tốc của nó – chẳng hạn, đường đi của một electron cong đi bao nhiêu khi nó đi qua gần một nam châm. Nhưng không một thí nghiệm nào có thể nhảy với cả vị trí chính xác và vận tốc chính xác của một electron.

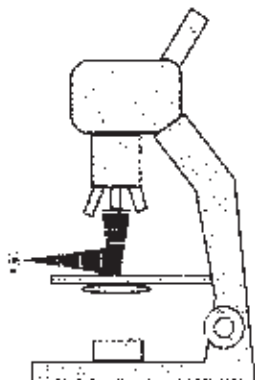
Kính hiển vi của Heisenberg

Nhưng *tại sao* chúng ta lại không thể đo được đồng thời cả vị trí và vận tốc của một hạt? Việc xác định vận tốc của một vật thực sự chỉ là đo vị trí của nó tại hai thời điểm kế tiếp nhau và xem nó di chuyển được bao xa giữa hai thời điểm đó. Nếu đã đo được vị trí của một hạt một lần, thì chắc chắn có thể thực hiện được hai lần. Có vẻ như là mâu thuẫn khi nghĩ rằng vị trí và vận tốc không thể đo được đồng thời. Về phương diện này thì dường như điều mà Heisenberg nói là vô lý.

Chiến lược của Heisenberg là một ví dụ xuất sắc về kiểu tư duy khiến cho tính bổ sung trở nên rất thuyết phục. Giống như Einstein, ông đã trở thành một nhà thí nghiệm tưởng tượng. Ông tự hỏi, làm thế nào để người ta thực sự có thể đo được cả vị trí và vận tốc của một electron?

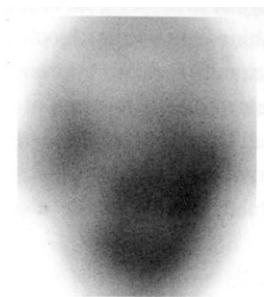
Trước hết, ông hiểu rằng phải đo được vị trí tại hai thời điểm khác nhau để suy ra vận tốc. Thêm nữa, ông sẽ phải đo vị trí mà không làm nhiễu loạn chuyển động của electron, vì nếu không, nhiễu loạn đó có thể sẽ làm mất tác dụng của kết quả đo vị trí lần thứ nhất.

Cách đo trực tiếp nhất vị trí của vật là nhìn vào nó. Nói cách khác, chiếu ánh sáng vào vật, rồi từ ánh sáng phản chiếu, suy ra vị trí của nó. Thực tế, mắt và não bộ của chúng ta đã có sẵn một sự kết nối đặc biệt để xác định vị trí của một vật từ hình ảnh của nó trên võng mạc. Đó là một trong những khả năng vật lý thuộc về “phần cứng” đã có được nhờ quá trình tiến hóa.



Heisenberg tưởng tượng mình đang nhìn một electron qua một kính hiển vi.

Ý tưởng ở đây là cần tác động rất nhẹ lên electron bằng một chùm sáng – nhẹ đến mức không làm thay đổi vận tốc của nó – rồi sau đó làm hội tụ chùm sáng này để tạo nên hình ảnh. Nhưng Heisenberg nhận ra rằng mình đã bị bẫy bởi các tính chất của ánh sáng. Trước hết là sự tán xạ của ánh sáng bởi một electron đơn lẻ là tuân theo lý thuyết hạt của bức xạ điện từ. Heisenberg không thể tác động lên electron nhẹ hơn sự va chạm của một photon đơn lẻ vào nó. Hơn nữa, sẽ phải là một photon rất nhẹ nhàng êm ái – tức là photon có năng lượng rất thấp. Sự va chạm với một photon có năng lượng lớn hơn sẽ chỉ tạo nên loại tác động mạnh mà ông đang muốn tránh.



Trong khi đó tất cả các hình ảnh tạo bởi sóng vốn rất mờ nhòe, nhưng bước sóng càng dài thì hình ảnh lại càng mờ nhòe hơn. Sóng vô tuyến có bước sóng dài nhất, từ trên 30 cm. Sóng vô tuyến tạo nên hình ảnh hoàn hảo của các vật có kích thước cực lớn, nhưng nếu bạn thử tạo một bức chân

dung của mình bằng sóng vô tuyến thì bạn sẽ nhận được một hình ảnh rất nhạt nhòa.

Sóng viba có bước sóng nhỏ hơn tiếp theo. Một bức chân dung tạo thành bằng cách hội tụ sóng viba 10cm cũng vẫn còn quá mờ nhòe, chưa đủ để làm hiện ra các đường nét. Nhưng khi bước sóng ngắn dần, cỡ vài centimét, thì mũi, mắt và miệng bắt đầu hiện ra.

Quy luật ở đây thật đơn giản: bạn không thể nhận được khả năng tụ tiêu tốt hơn bước sóng của các sóng tạo nên hình ảnh. Các đặc điểm của khuôn mặt chỉ có kích thước cỡ vài centimét và sẽ trở nên rõ nét hơn khi bạn dùng bước sóng ngắn hơn. Khi bước sóng chỉ còn khoảng một phần mười centimét, thì khuôn mặt sẽ hiện ra tương đối rõ rệt, mặc dù bạn có thể còn chưa nhìn thấy một nốt ruồi nhỏ.

Giả sử Heisenberg muốn có một hình ảnh đủ nét của một electron để thấy vị trí của nó chính xác tới micron¹. Vậy thì ông sẽ phải sử dụng ánh sáng có bước sóng nhỏ hơn một micron.

Giờ đã đến lúc giương bẫy. Hãy nhớ lại Chương 4, ta biết rằng bước sóng của một photon càng ngắn thì năng lượng của nó càng lớn. Chẳng hạn, năng lượng của một photon sóng vô tuyến nhỏ đến mức nó gần như không ảnh hưởng gì đến một nguyên tử. Ngược lại, năng lượng của một photon có bước sóng cỡ micron là đủ lớn để kích thích một nguyên tử bằng cách đẩy electron ở



¹ Một micron (hay micro mét) bằng một phần triệu của mét. Đó là kích thước của một con vi khuẩn rất bé.

lớp ngoài cùng nhảy lên quỹ đạo lượng tử có năng lượng lớn hơn. Một photon cực tím với bước sóng ngắn hơn 10 lần, sẽ có đủ năng lượng để làm bật electron ra khỏi nguyên tử. Vậy là Heisenberg đã bị sập bẫy. Nếu ông muốn xác định vị trí của electron với độ chính xác cao, thì ông sẽ phải trả giá. Ông sẽ phải bắn vào nó một photon có năng lượng rất lớn và đến lượt mình, photon này sẽ “đá vào” electron và làm thay đổi chuyển động của nó một cách ngẫu nhiên. Nếu ông sử dụng một photon êm ái với năng lượng nhỏ, thì điều tốt nhất ông có thể thu được chỉ là một ý niệm mờ mờ về vị trí của electron.

Đến đây bạn có thể tự hỏi liệu *có khi nào* ta đo được vận tốc của electron không. Câu trả lời là có. Điều bạn phải làm là đo vị trí của nó hai lần, nhưng độ chính xác không cao. Chẳng hạn, bạn có thể sử dụng một photon bước sóng dài để có được một hình ảnh mờ nhạt, sau đó rất lâu làm lại một lần nữa. Bằng cách đo hai hình ảnh mờ nhạt, có thể xác định một cách chính xác tốc độ, nhưng với cái giá phải trả khá đắt là độ chính xác về vị trí.

Heisenberg không thể nghĩ ra điều gì có thể giúp ông xác định được cả vận tốc và vị trí của electron đồng thời. Tôi hình dung rằng ông, và tất nhiên cả người thầy thông thái của ông là Bohr, cũng đã tự hỏi liệu có ý nghĩa không khi cho rằng một electron có cả vị trí và vận tốc. Theo triết lý của Bohr, người ta có thể mô tả một electron có vị trí đo được một cách chính xác bằng cách sử dụng photon bước sóng rất ngắn, *hoặc* một electron với vận tốc có thể đo được bằng cách sử dụng các photon có bước sóng dài, nhưng không thể cả hai. Sự đo đạc một tính chất này sẽ cản trở sự đo đạc một tính chất khác. Bohr đã nhấn mạnh điều này bằng việc nói rằng cả hai điều cần biết – vị trí và vận tốc – đều là những

khía cạnh bổ sung cho nhau của electron. Tất nhiên, không có gì đặc biệt về electron trong lý luận của Heisenberg; nên nó cũng có thể là một proton, một nguyên tử hay một quả bóng bowling.

Câu chuyện về gã bá tước, hoàng đế và Steve dường như chứa đựng một mâu thuẫn, nhưng mâu thuẫn này chỉ là bề ngoài. Tìm kiếm một bit thông tin bên trong chân trời và đồng thời tìm kiếm nó ở bên ngoài chân trời sẽ cản trở lẫn nhau tương tự như việc đo vị trí và vận tốc. Không ai có thể vừa ở phía sau chân trời lại vừa ở phía trước nó cùng một lúc cả. Ít nhất thì đó chính là tuyên bố mà tôi định nói ở Santa Barbara.

Santa Barbara

Lỗ đen là có thật. Chúng đầy rẫy trong vũ trụ và thuộc số những thiên thể ngoạn mục và hung bạo nhất. Nhưng tại cuộc hội thảo năm 1993 ở Santa Barbara, hầu hết các nhà vật lý đều không quan tâm đặc biệt đến những lỗ đen này. Các thí nghiệm tưởng tượng, chứ không phải là những quan sát từ kính viễn vọng, giờ đây chính là tâm điểm của sự quan tâm. Nghịch lý thông tin rồi cuối cùng cũng đã trở thành một vấn đề nổi cộm.

Hội thảo không lớn – có lẽ tối đa cũng chỉ khoảng một trăm người tham dự. Khi bước vào thính phòng, tôi đã thấy rất nhiều người tôi biết. Stephen ngồi trong xe lăn ở một bên. Jacob Bekenstein, người mà tôi chưa bao giờ gặp mặt, ngồi gần giữa các thính giả. Nhóm chủ nhà – gồm Steve Giddings, Joe Polchinski, Andy Strominger, và Gary Horowitz – ngồi ngay ở hàng trước. Họ sẽ đóng vai trò quan trọng trong cuộc cách mạng sắp tới, nhưng lúc này, họ đang là đối thủ, là những người lính chiến đang hoang

mang của đội quân bên phía mất thông tin. Gerard't Hooft ngồi ngay bên phải hàng ghế đầu, sẵn sàng cho cuộc chiến.

Bài thuyết trình của Hawking

Dưới đây là những gì tôi còn nhớ về bài thuyết trình của Hawking. Stephen ngồi sụm trong chiếc xe lăn, cái đầu quá nặng để có thể giữ thẳng được, trong khi tất cả chúng tôi đều đang nóng lòng chờ đợi. Ông ngồi ngay bên phải sân khấu, từ đó ông có thể nhìn thấy màn chiếu lớn ở phía trước và cũng có thể nhìn thấy thính giả. Đến giờ thì Stephen đã mất khả năng nói bằng chính dây thanh âm của mình. Giọng nói điện tử của ông đã được ghi lại từ trước, trong khi một trợ lý điều khiển máy chiếu từ phía sau. Máy chiếu được điều khiển đồng bộ với lời thuyết trình đã được ghi âm từ trước. Tôi tự hỏi tại sao ông ấy lại phải có mặt ở đây làm gì nhỉ.

Tuy âm thanh phát ra như tiếng nói của rôbốt, nhưng giọng nói của ông vẫn giàu cá tính. Nụ cười của ông biểu thị sự cực kỳ tự tin và chắc chắn. Có một sự bí ẩn trong cách trình diễn của Stephen: làm thế nào mà sự hiện diện của cái cơ thể bất động và yếu đuối kia lại có thể thổi được biết bao sức sống vào một sự kiện vô tri khác? Với rất ít cử động thoáng qua, nhưng khuôn mặt của Stephen vẫn toát lên vẻ hấp dẫn và quyền lực mà ít người đàn ông có được.

Bản thân bài thuyết trình không có gì đáng nhớ, ít nhất là về nội dung. Stephen nói về những điều mà người ta mong đợi ông nói, nhưng tôi thì không muốn, đó là lý thuyết CGHS và tại sao CGHS đã để lỡ mất cơ hội (ông đã hào phóng trao cho RST cái vinh dự đã tìm ra sai sót). Thông điệp chủ yếu của ông là nếu thực hiện những tính toán CGHS một cách đúng đắn, thì kết quả sẽ ủng hộ cho lý

thuyết của chính ông. Lý thuyết này nói rằng thông tin không thể bị phát ra bên ngoài lỗ đen. Đối với Stephen, bài học rút ra từ CGHS chính là toán học của lý thuyết này thực ra đã chứng minh cho quan điểm của ông. Đối với tôi thì bài học là không chỉ các hình ảnh trong trí não có khiếm khuyết mà cả nền tảng toán học của hấp dẫn lượng tử, ít nhất là trong CGHS, cũng là không nhất quán.

Điều không bình thường về bài thuyết trình của Stephen là phần hỏi-đáp tiếp sau đó. Một trong những nhà tổ chức hội thảo đã đứng lên sân khấu và yêu cầu thính giả đặt câu hỏi. Thường thì các câu hỏi mang tính kỹ thuật và đôi khi vòng vo dài dòng nhằm chứng tỏ là người đặt câu hỏi có hiểu biết vấn đề. Nhưng ở đây thính phòng lại trở nên im lặng như tờ. Một trăm thầy tăng đột nhiên biến thành những nhà sư câm lặng trong một ngôi chùa yên tĩnh một cách kỳ quặc. Stephen vẫn ngồi soạn câu trả lời. Cách thức ông giao tiếp với thế giới bên ngoài thật đáng kinh ngạc. Ông không thể nói hay giơ tay để ra hiệu. Các cơ của ông đã bị teo nên chúng không thể tạo ra bất kỳ một lực nào. Ông không có sức lực lẫn sự phối hợp để có thể gõ lên bàn phím. Nếu tôi nhớ không lầm thì vào lúc đó, ông giao tiếp bằng việc ấn nhẹ lên một cái cần điều khiển¹.

Ông có một màn hình máy tính nhỏ gắn với tay xe lăn, và một chuỗi các từ và các chữ cái điện tử lóe sáng trên màn hình, gần như liên tục. Stephen lựa chọn chúng từng chữ một rồi lưu lại trên máy tính để tạo nên một hoặc hai câu. Điều này có thể mất đến mười phút. Trong khi nhà tiên tri đang ngồi soạn câu trả lời, thì cả căn phòng yên lặng như một hầm mộ. Tất cả các cuộc nói chuyện riêng đều ngừng lại trong khi sự hồi hộp chờ đợi và đề phòng đang

¹ Ngày nay thì ngay cả điều đó cũng khó khăn hơn nhiều: cần điều khiển đã được thay bằng một bộ cảm biến, có thể ghi nhận mọi chuyển động nhỏ của cơ mặt Stephen.

nhện nhóm. Rồi cuối cùng thì cũng có câu trả lời: nó không là gì khác ngoài mấy từ có hoặc không, hay là một hoặc hai câu gì đó.

Tôi đã từng chứng kiến cảnh này trong một căn phòng với một trăm nhà vật lý cũng như trên một sân vận động nhỏ với năm ngàn người xem, trong đó có cả Tổng thống Nam Phi, Tham mưu trưởng quân đội, và vài vị tướng cấp cao khác. Phản ứng của tôi trước sự yên lặng khác thường này là từ chỗ thích thú đến cực kỳ phẫn nộ (tại sao thời gian của tôi lại lãng phí vào cái trò hề này nhỉ?). Tôi luôn muốn gây ra tiếng động nào đó, có thể là nói chuyện với người ngồi bên cạnh, nhưng tôi chưa bao giờ làm thế cả.

Điều gì ở Stephen đã khiến ông được hưởng sự chăm chú mê mải mà chỉ con người thần thánh, người sắp sửa tiết lộ những bí mật sâu kín nhất của Chúa và vũ trụ mới có thể nhận được? Hawking là một người ngạo mạn, rất tự phụ và lúc nào cũng coi mình là trung tâm. Lại một lần nữa, điều này là đúng với một nửa số người tôi biết, trong đó có cả chính tôi. Tôi nghĩ câu trả lời cho câu hỏi này một phần là ở ma lực và sự bí ẩn của một trí tuệ quái gở, người đi khắp thế giới trong chiếc xe lăn của mình. Nhưng một phần cũng còn là vật lý lý thuyết vốn là một thế giới bé nhỏ của những người đã biết nhau nhiều năm. Đối với nhiều người chúng tôi, đây là một gia đình mở rộng, và Stephen là một phần được yêu quý và tôn trọng sâu sắc trong gia đình đó, ngay cả khi đôi lúc ông gây nên sự thất vọng và bức mình. Tất cả chúng tôi đều biết rằng ông không có cách nào giao tiếp ngoại trừ phải thông qua một quá trình dài dòng và chán ngắt như vậy. Vì chúng tôi đánh giá cao quan điểm của ông, nên chúng tôi ngồi yên lặng và chờ đợi. Tôi cũng nghĩ chắc chắn rằng sự tập trung của Stephen là cao độ trong suốt quá trình đó vì ông thậm chí không nhận ra sự im lặng kỳ lạ vây quanh mình.

Như tôi đã nói, bài thuyết trình không có gì đáng nhớ, Stephen vẫn đưa ra tuyên bố như thường lệ: thông tin một khi đã rơi vào lỗ đen là một đi không trở lại. Đến khi lỗ đen bay hơi, những thông tin đó sẽ hoàn toàn bị phá hủy.

Tiếp ngay sau là bài thuyết trình của Gerard 't Hooft. Ông cũng là một người có uy tín lớn và được nhiều người trong cộng đồng vật lý ngưỡng mộ. Ông có một vóc dáng sân khấu tuyệt vời và xứng đáng được hưởng một uy quyền to lớn. Mặc dù không phải lúc nào cũng dễ hiểu, song ông không hề có sự bí ẩn tiên tri của Hawking. Ông là một người Hà Lan khá thẳng tính và nhạy cảm.

Bài trình bày của Gerard luôn vui nhộn. Ông thích sử dụng cơ thể mình để minh họa cho vấn đề cốt yếu và ông biết cách để đưa ra những đồ thị đẹp mắt. Sau nhiều năm như vậy nhưng giờ đây tôi vẫn còn nhớ đoạn băng mà ông làm để minh họa cho chân trời của một lỗ đen. Một quả cầu được phủ bằng những chấm đen và trắng một cách ngẫu nhiên. Khi đoạn băng được chiếu, các điểm bắt đầu lập lòe từ trắng sang đen và ngược lại. Bức tranh nhìn giống như nhiều trắng trên màn hình tivi kém phẩm chất. Hoàn toàn rõ ràng là 't Hooft cũng có những ý tưởng tương tự như tôi về sự tồn tại của một lớp những nguyên tử chân trời thay đổi rất nhanh tạo nên entropy của lỗ đen. (Tôi chờ đợi ông sẽ nâng tay trên ý tưởng của tôi và đưa ra phiên bản về Tính bổ sung của lỗ đen của chính ông, nhưng nếu ông có nghĩ về điều đó thì ông đã hoàn toàn không nói ra).

't Hooft là một nhà tư tưởng độc đáo và vô cùng sâu sắc. Cũng giống như nhiều người rất độc đáo khác, ông thường khó hiểu đối với những người khác. Sau bài nói về lỗ đen của ông, rõ ràng là ông đã mất đi thánh giá. Không phải là ông đã khiến họ buồn chán – còn lâu mới như thế – mà là họ không thể hiểu được logic của ông. Hãy

nhớ rằng, chân trời của lỗ đen vẫn được xem như là một không gian trống rỗng, chứ không phải là một màn hình tivi kém phẩm chất.

Nói chung, tôi ngờ rằng không ai thay đổi ý nghĩ của mình về số phận của thông tin trong một lỗ đen. Không ai thăm dò ý kiến của thánh giả, nhưng tôi đoán ở điểm này, thì tỷ số sẽ là 2-1 nghiêng về phía Hawking.

Điều mà tôi thấy là đáng kể trong hầu hết phần còn lại của hội thảo đó là sự chối bỏ một cách bướng bỉnh việc xem xét giải pháp đúng đắn của nghịch lý. Hầu hết các bài thuyết trình đều đề cập đến ba giải pháp khả dĩ:

1. Thông tin đi ra ngoài theo bức xạ Hawking.
2. Thông tin bị mất
3. Thông tin cuối cùng lưu lại trong một loại lỗ đen nhỏ xíu nào đó còn sót lại sau khi bay hơi (thường thì phần còn sót lại không lớn hơn kích thước Planck và không nặng hơn khối lượng Planck).

Hết bài thuyết trình này đến bài thuyết trình khác đều nhắc lại ba khả năng và ngay lập tức loại bỏ khả năng đầu tiên. Sự nhất trí của đa số các diễn giả đều là hoặc thông tin bị mất, như Hawking chủ trương, hoặc những phần cực nhỏ còn sót lại có thể cất giấu một lượng thông tin lớn đến vô hạn. Cũng có thể có một vài người chủ trương vũ trụ sơ sinh, nhưng tôi không nhớ. Gần như không có ai, ngoài 't Hooft và một đôi người khác, biểu thị sự tự tin vào các định luật thông thường của thông tin và entropy.

Don Page đã tiến gần nhất đến sự biểu thị lòng tự tin như thế. Page là một người hòa nhã tốt bụng, một người Alaska với những khát vọng to lớn. Cực kỳ năng động, thích nói lớn tiếng, và nhiệt tình đến mức thái quá, Don là một khối mâu thuẫn sống, ít nhất

là với tôi. Ông là một nhà vật lý xuất sắc và một nhà tư tưởng uyên thâm. Sự hiểu biết của ông về Lý thuyết trường lượng tử, lý thuyết xác suất, thông tin, lỗ đen, và những nền tảng chung của tri thức khoa học là cực kỳ ấn tượng. Ông cũng là người Thiên chúa giáo dòng Phúc Âm. Có lần ông đã dành hơn một giờ để giải thích cho tôi, bằng những lý luận toán học, rằng xác suất để Jesus là con của đức Chúa trời là hơn 96%. Nhưng vật lý học và toán học của ông thì thật sự xuất sắc và hoàn toàn độc lập với hệ tư tưởng. Nghiên cứu của ông có ảnh hưởng sâu sắc không chỉ đến suy nghĩ của tôi về lỗ đen và còn đến toàn bộ lĩnh vực mà tôi nghiên cứu.

Trong bài thuyết trình của mình, Don cũng nhắc lại câu thần chú về ba khả năng, nhưng dường như ông là người ít muốn loại bỏ khả năng thứ nhất hơn những người khác. Cảm giác của tôi là ông thực sự tin rằng lỗ đen hành xử như tất cả các vật khác trong tự nhiên, tôn trọng các định luật thông thường đòi hỏi thông tin phải thoát ra trong quá trình bốc hơi. Nhưng ông cũng không biết làm thế nào để dung hòa nó với Nguyên lý tương đương. Điều thú vị là những nhà vật lý bảo thủ vào thời đó có thái độ như thế nào đối với khả năng thông tin thoát ra theo bức xạ Hawking tương tự như khi nó thoát ra từ một nồi nước bốc hơi.

Tính bổ sung của lỗ đen

Cuộc chiến lỗ đen đã đi vào thế bế tắc. Không phía nào có khả năng đạt được bất kỳ một sức kéo mới nào. Thực tế, màn sương mù của cuộc chiến tranh quá dày đặc khiến cho rất khó để nhìn thấy hai phía. Ngoài Hawking và 't Hooft ra, ấn tượng mà tôi có

được chính là một phần lớn đáng kinh ngạc trong số các đội quân đã mệt mỏi và đang hết sức bối rối.

Bài nói của tôi theo chương trình cũng được bố trí vào ngày hôm đó, nhưng muộn hơn. Tôi cảm thấy rất giống Sherlock Holmes khi ông nói với Watson: “Khi anh đã loại trừ được tất cả những gì là không thể xảy ra, thì bất kể điều gì còn lại, dù cho không chứng minh được, phải là sự thật”. Khi cuối cùng phải đứng lên trình bày, tôi cảm thấy mọi thứ đã được loại trừ chỉ còn một khả năng – một khả năng mà, xét theo bề ngoài, có vẻ như không thể chứng minh được đến mức nực cười. Tuy nhiên, mặc cho sự vô lý của Tính bổ sung của lỗ đen, nó vẫn phải đúng. Tất cả các khả năng khác đã thuộc về phía không thể xảy ra.

“Tôi không quan tâm tới chuyện các vị có đồng ý với điều tôi nói ra hay không. Tôi chỉ muốn các vị nhớ cho rằng tôi đã nói điều đó”. Đây chính là hai câu mở đầu bài nói của tôi; sau 14 năm, tôi vẫn còn nhớ chúng như in. Sau đó, bằng thứ ngôn ngữ vật lý chuyên môn, tôi tóm lược hai kết cục mâu thuẫn của cái, mà về cơ bản, là câu chuyện của Steve. “Rõ ràng là, ít nhất thì một trong các kết cục này phải là sai vì chúng nói những điều trái ngược nhau”. Có rất nhiều cái đầu gật gù. Nhưng sau đó, tôi lại tiếp, “Tuy nhiên, tôi sắp nói với các vị một điều không thể: đó là không câu chuyện nào là sai cả. Cả hai đều đúng – theo những cách bổ sung cho nhau.”

Sau khi giải thích Bohr đã sử dụng thuật ngữ *bổ sung* như thế nào, tôi biện luận rằng trong trường hợp lỗ đen thì người làm thí nghiệm phải đối mặt với một sự lựa chọn: hoặc vẫn ở bên ngoài lỗ đen và ghi lại dữ liệu từ một vị trí an toàn so với chân trời, hoặc nhảy vào lỗ đen và thực hiện việc quan sát từ bên trong. “Bạn không thể làm cả hai việc đó cùng một lúc được”, tôi khẳng định.

Hãy tưởng tượng một gói hàng được gửi đến nhà của bạn. Một người bạn đi ngang qua quan sát thấy rằng người bưu tá không thể giao gói hàng và do đó đã mang nó trở lại xe thư. Trong khi đó, bạn (người ở bên trong nhà) ra mở cửa và lấy gói hàng từ tay người bưu tá. Tôi nghĩ tôi hoàn toàn đúng khi tuyên bố rằng cả hai quan sát đó là không thể là cùng đúng được. Ai đó đã nhầm lẫn ở đây.

Thế thì tại sao lỗi đen lại khác? Tôi đề nghị chúng ta tiếp tục câu chuyện về gói hàng thêm chút nữa. Được dịch từ ngôn ngữ chuyên môn và các ký hiệu toán học, thì câu chuyện tiếp tục đại khái như sau: sau đó cùng ngày, bạn rời nhà và gặp bạn của mình ở quán cà phê. Cô ấy bảo: “Hồi sáng khi đi bộ qua nhà anh, tôi thấy người bưu tá định chuyển cho anh một gói hàng. Nhưng không ai ra mở cửa cả, nên anh ta lại mang trở lại xe thư”. “Không, chị nhầm thế nào ấy chứ,” bạn trả lời, “Anh ta đã chuyển gói hàng đó cho tôi rồi mà. Đây là bộ quần áo mới mà tôi đã đặt mua theo catalô.” Rõ ràng là một mâu thuẫn đã hiện ra. Cả hai người đều biết rằng có điều gì đó mâu thuẫn. Trong thực tế thì không nhất thiết là bạn phải đích thân rời khỏi nhà mới thấy được mâu thuẫn. Một cuộc đối thoại như thế qua điện thoại cũng có thể cho thấy cùng một mâu thuẫn như vậy.

Nhưng chân trời lỗ đen về cơ bản là khác với lối vào nhà bạn. Bạn có thể nói rằng nó là cửa một chiều: bạn có thể đi vào nhưng không thể đi ra. Theo chính định nghĩa của khái niệm chân trời thì không thông tin nào có thể đi từ bên trong chân trời ra bên ngoài được. Người quan sát bên ngoài chân trời về căn bản không thể liên lạc với bất cứ ai và bất kỳ cái gì ở bên trong, không phải vì bức tường quá dày mà bởi vì các định luật cơ bản của vật lý quy định như vậy. Chính bước cuối cùng dẫn tới mâu thuẫn – kết hợp hai

quan sát được cho là không nhất quán thành một quan sát – là điều không thể về mặt vật lý.

Tôi muốn bổ sung thêm một số nhận xét triết học về việc sự tiến hóa đã tạo nên một hình ảnh trong trí óc chúng ta như thế nào, hình ảnh đã dẫn dắt hành động của chúng ta khi nó liên quan đến hàng động, lều trại, nhà cửa nhưng lại dẫn dắt chúng ta một cách sai lệch khi liên quan đến lỗ đen và chân trời. Nhưng những nhận xét này đã hoàn toàn bị bỏ qua. Các nhà vật lý muốn các sự kiện, các phương trình và dữ liệu – chứ không phải triết học và tâm lý học tiến hóa.

Stephen mỉm cười khi tôi trình bày, nhưng tôi khá ngờ là ông đã đồng tình.

Sau đó, tôi đã sử dụng hình ảnh giọt mực rơi vào chậu nước để minh họa cho việc chân trời bị kéo giãn có thể hấp thụ rồi sau đó xáo trộn thông tin như thế nào, và cuối cùng, cũng giống như nước bay hơi khỏi bình, thông tin cuối cùng cũng được mang đi bởi bức xạ Hawking. Đối với bất kỳ ai ở bên ngoài lỗ đen, tất cả đều khá bình thường – lỗ đen và bồn tắm là không có gì khác biệt, hay là tôi đã tuyên bố như vậy.

Cử tọa có vẻ xôn xao; một số cánh tay ngấp ngừng giơ lên phản đối. Họ đã biết thông tin bay hơi từ bồn tắm như thế nào, nhưng có điều gì đó vẫn bị mất: Thế còn người rơi vào lỗ đen thì sao? Khi anh ta chạm đến chân trời bị kéo giãn, liệu anh ta có đột nhiên thấy bị ướt không? Liệu điều đó có vi phạm Nguyên lý tương đương không?

Vì vậy, tôi đã tiếp tục nửa còn lại của câu chuyện: “Với người rơi vào trong lỗ đen, chân trời dường như vẫn là một không gian trống rỗng thông thường hoàn hảo. Không có chân trời bị kéo giãn, không có những đối tượng cực bé nóng không thể tượng tượng nổi, không có chân trời bị kéo giãn sôi sùng sục, không có gì là bất

bình thường cả: chỉ có không gian trống rỗng mà thôi”. Rồi tôi giải thích thêm là tại sao lại không thể phát hiện được mâu thuẫn gì.

Tôi không chắc là bây giờ Stephen có còn mỉm cười nữa hay không. Và như sau này tôi được biết, hầu hết các nhà vật lý nghiên cứu về thuyết tương đối trong số các thánh giả hôm đó đã nghĩ tôi bị điên.

Trong suốt quá trình diễn thuyết, rõ ràng là tôi đã thu hút được sự chú ý của thánh giả. Gerard, người có thể là khá gai góc, ngồi ở ngay hàng ghế đầu, khẽ lắc đầu và chau mày. Tôi biết rằng trong số những người có mặt ở đây thì ông là người hiểu nhất những gì tôi nói. Tôi cũng biết là ông đồng tình. Nhưng ông muốn nó phải được trình bày theo cách riêng của ông.

Tôi quan tâm nhất đến phản ứng của những người chủ nhà ở Santa Barbara – Gidding, Horowitz, Strominger và đặc biệt là Polchinski. Từ trên sân khấu tôi không có được một ấn tượng nào, nhưng sau này tôi phát hiện ra là họ đã hoàn toàn không có một xúc động nào trước những lập luận của tôi.

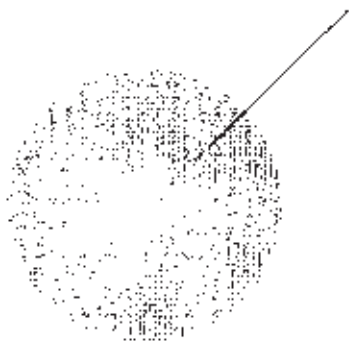
Có hai người nghe hết sức cảm thông. Sau bài thuyết trình của tôi, vào bữa trưa ở căng tin của trường, John Preskill và Don Page đã đi đến và ngồi xuống cạnh tôi. Don cực kỳ năng động đã mang tới một khay chất đầy thức ăn, trong đó có ba món tráng miệng khổng lồ. (Để hiểu rằng năng lượng của ông có được từ đâu). Don vốn là người hay nói to và sôi nổi, nhưng cũng là người biết lắng nghe, và hôm đó ông chỉ ngồi nghe. Tôi thực sự biết rằng ông thích ý tưởng cho rằng các lỗ đen hầu như giống với các vật thể thông thường khi liên quan đến thông tin. Ông đã nói công khai điều này trong bài nói rất hùng hồn của ông.

Trong khi đó thì John Preskill lại dè dặt hơn, mặc dù hoàn toàn không phải là bảo thủ. Một người đàn ông rắn chắc với óc hài hước

châm biểm, John có lẽ cũng ở độ tuổi như Joe Polchinski và lúc đó đã là giáo sư của Viện Công nghệ California (Caltech). Caltech đã từng là nhà của hai nhà vật lý vĩ đại nhất thế kỷ, Murray Gell-Mann và Dick Feynman. Bản thân John cũng là một nhà vật lý được nhiều người ngưỡng mộ với danh tiếng là một người cực kỳ trung thực và thẳng thắn. Giống như Sidney Coleman, John là một trong số những người mà sự khúc chiết trong tư tưởng đã mang lại cho ông một uy quyền đặc biệt về mặt đạo đức. Các cuộc nói chuyện của tôi với John luôn bổ ích. Buổi nói chuyện ngày hôm đó là một sự khám phá. Nhưng trước khi giải thích nó, tôi phải nói với các bạn thêm một chút nữa về Tính bổ sung của lỗ đen.

Nhìn chân trời qua kính hiển vi Heisenberg

Một nguyên tử hydro đơn lẻ rơi vào một lỗ đen khổng lồ. Trước hết là hình ảnh ngây thơ: nguyên tử nhỏ bé này đi theo một quỹ đạo và xuyên qua chân trời, hoàn toàn nguyên vẹn. Theo vật lý học cổ điển, nguyên tử đi qua chân trời tại một điểm hoàn toàn xác định – một chấm không lớn hơn chính nguyên tử đó. Điều đó dường như là đúng bởi vì, theo Nguyên lý tương đương, không có



gì ghê gớm được cho là sẽ xảy ra khi cái chấm nguyên tử hydro ấy đi qua điểm không thể quay lui.

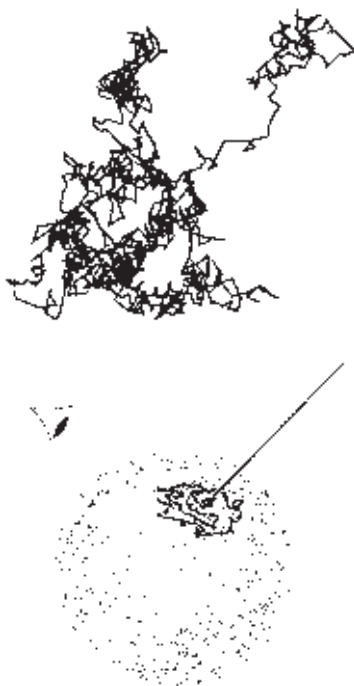
Nhưng như thế thì thật quá ngây thơ. Theo Tính bổ sung của lỗ đen, thì người quan sát ở bên ngoài sẽ thấy nguyên tử đi vào một lớp cực nóng (chân trời bị kéo giãn), giống

y như một hạt rơi vào một nồi nước nóng vậy. Khi rơi qua lớp vật chất nóng đó, nó sẽ bị bắn phá từ mọi phía bởi các bậc tự do có năng lượng dư dôi. Trước tiên nguyên tử bị va đập từ bên trái, sau đó từ phía trên, rồi từ bên trái lần nữa, sau đó từ bên phải. Nó lảo đảo như một gã thủy thủ say rượu. Chuyển động Brown này được gọi bằng một cái tên khá phù hợp là *bước đi ngẫu nhiên*.

Một nguyên tử được chờ đợi là sẽ hành xử giống hệt như vậy khi nó rơi vào những bậc tự do nóng tạo nên chân trời bị kéo giãn – nó sẽ lảo đảo suốt quá trình đi qua chân trời.

Nhưng ngay cả điều đó cũng còn quá đơn giản. Chân trời bị kéo giãn nóng đến mức nguyên tử sẽ bị vỡ tung – nói theo thuật ngữ chuyên môn thì nó *bị ion hóa* – electron và proton sẽ lảo đảo một cách riêng rẽ ở chân trời. Ngay cả các electron và các hạt quark cũng có thể bị vỡ tung thành các phần tử cơ bản hơn. Lưu ý rằng tất cả những điều này chỉ là giả định sẽ xảy ra ngay *trước khi* nguyên tử đi qua chân trời. Tôi nghĩ rằng, chính Don, trong khi ăn món tráng miệng thứ ba, là người đã hỏi một cách sắc sảo rằng liệu điều này có gây rắc rối gì cho tính bổ sung hay không. Đường như có hai cách mô tả về nguyên tử, ngay *trước khi* nó đi qua chân trời. Theo một cách thì nguyên tử bị ion hóa khi nó lảo đảo đi luẩn quẩn trong toàn bộ chân trời. Còn theo một cách

Chuyển động Brown



khác thì nguyên tử rơi thẳng một mạch đến một điểm trên chân trời mà không bị nhiễu động gì hết. Tại sao người ở bên ngoài quan sát lại không thể thấy rằng không có gì ghê gớm xảy ra với nó cả? Điều đó hẳn sẽ làm sai lệch tính bổ sung của lỗ đen, một lần và mãi mãi.

Khi tôi bắt đầu giải thích, thì rất nhanh chóng trở nên rõ ràng là chính John Preskill cũng đã nghĩ đến vấn đề tương tự và cũng đã có kết luận giống như tôi. Cả hai chúng tôi đều bắt đầu từ nhận xét rằng nguyên tử chưa thể bị ion hóa chừng nào nó chưa đi đến điểm mà tại đó nhiệt độ gần chân trời vào khoảng 100.000 độ. Điều đó chỉ xảy ra rất gần chân trời, ở khoảng cách cỡ một phần triệu centimet. Đó mới chính là nơi chúng ta cần quan sát electron. Điều này không có vẻ gì là khó khăn cả, vì một phần triệu xentimet đầu có phải là quá nhỏ.

Vậy Heisenberg sẽ làm gì? Câu trả lời, tất nhiên, là ông ấy sẽ lấy kính hiển vi ra và chiếu nguyên tử bằng ánh sáng có bước sóng thích hợp. Trong trường hợp này, để phân giải nguyên tử khi nó chỉ còn cách chân trời trong vòng một phần triệu centimet, ông cần phải dùng photon với bước sóng 10^{-6}cm . Giờ thì đây là một trường hợp thông thường: một photon với bước sóng nhỏ như vậy sẽ có năng lượng lớn; thực tế, nó có đủ năng lượng để khi va đập



vào nguyên tử, nó sẽ làm ion hóa nguyên tử đó. Nói cách khác, bất kỳ nỗ lực nào nhằm chứng minh nguyên tử không bị ion hóa bởi chân trời bị kéo giãn nóng sẽ đem lại kết quả ngược lại bởi chính sự ion hóa nguyên tử của nó. Thậm chí còn xa hơn, chúng tôi đã khẳng định rằng bất kỳ nỗ lực nào nhằm nhìn thấy

electron và proton có lao đảo đi trên chân trời hay không, cũng sẽ làm vỡ tung các hạt và làm tán xạ chúng khắp chân trời.

Ký ức của tôi về cuộc thảo luận không đầy đủ cho lắm, nhưng tôi chắc chắn rằng Don đã rất sôi nổi và nói, với một giọng sang sảng ở cường độ cao nhất của mình, rằng tôi đã không nhầm khi gọi nó là tính bổ sung. Đó chính xác là điều mà Bohr và Heisenberg đã nói tới. Thực tế, sự bác bỏ bằng thực nghiệm đối với Tính bổ sung của lỗ đen thì cũng giống như bác bỏ Nguyên lý bất định – bản thân thí nghiệm đã tạo nên một dạng bất định mà nó được thiết kế ra để bác bỏ.

Chúng tôi đã nói về điều sẽ xảy ra khi nguyên tử tiến gần hơn đến chân trời. Kính hiển vi Heisenberg sẽ phải sử dụng đến các lượng tử năng lượng thậm chí còn cao hơn nữa. Cuối cùng, để theo sát nguyên tử khi chỉ còn cách chân trời một khoảng bằng kích thước Planck, chúng ta sẽ phải bắn phá nó bằng các photon có năng lượng thậm chí còn lớn hơn năng lượng Planck. Không ai biết gì về những va chạm như vậy. Không có máy gia tốc nào trên thế giới có thể gia tốc được hạt tới gần với năng lượng Planck. John đã biến ý tưởng này thành một nguyên lý:

Bất kỳ bằng chứng lý thuyết nào xác định rằng Tính bổ sung của lỗ đen sẽ dẫn tới một mâu thuẫn có thể quan sát được chắc chắn phải phụ thuộc vào những giả thuyết không có cơ sở về «vật lý học nằm ngoài thang Planck» – nói cách khác, là các giả thuyết về tự nhiên trong một lãnh địa vượt quá xa kinh nghiệm của chúng ta.

Sau đó thì Preskill đặt ra một câu hỏi khiến tôi phải suy nghĩ. Giả sử một bit thông tin được ném vào một lỗ đen. Theo quan điểm của tôi thì một ai đó bên ngoài có thể thu thập các bức xạ Hawking và

cuối cùng sẽ khôi phục lại được bit thông tin đó. Nhưng giả sử rằng sau khi thu thập bit thông tin, anh ta lại nhảy vào lỗ đen và mang theo bit thông tin này với mình. Liệu sẽ có hai bản sao của bit thông tin đó ở bên trong hay không? Nó cũng giống như sau khi bạn nhận được gói hàng từ người đưa thư, bạn ở trong nhà và người bạn của bạn cũng bước vào nhà. Liệu có mâu thuẫn không khi những người quan sát gặp nhau và so sánh sự quan sát của họ với nhau ở bên trong?

Câu hỏi của John khiến tôi choáng váng. Tôi chưa bao giờ nghĩ đến khả năng đó. Nếu ai đó bên trong khám phá ra có hai bản sao của cùng một bit thông tin, thì đó sẽ là sự vi phạm Nguyên lý không-Xerox- lượng tử. Đây là một thách thức nghiêm trọng nhất đối với Tính bổ sung của lỗ đen mà tôi đã nghiên cứu. Câu trả lời, mặc dù tôi không hiểu nó trong vài tuần, một phần được chính Preskill đưa ra. Ông biện luận rằng có lẽ hai bản sao đó sẽ không gặp nhau trước khi đến điểm kỳ dị. Vật lý ở vùng lân cận điểm kỳ dị nằm sâu trong vùng đất còn chưa được khám phá của hấp dẫn lượng tử. Điều đó cho phép chúng tôi thoát khỏi vấn đề này. Nếu điều đó xảy ra, những ý tưởng của Don Page cũng sẽ đóng vai trò quan trọng trong việc tháo gỡ quả bom ban đầu của Preskill.

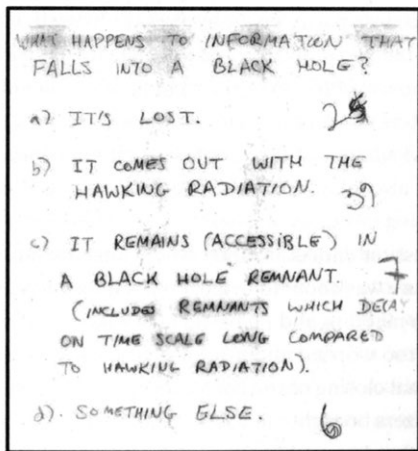
Cuộc thảo luận kết thúc đột ngột khi có ai đó thông báo rằng bài thuyết trình tiếp theo sắp sửa bắt đầu. Tôi nghĩ đó có lẽ là bài cuối cùng của hội thảo, và tôi không biết ai nói và nói về điều gì. Tôi đã rất tập trung suy nghĩ về câu hỏi của John. Nhưng trước khi bế mạc hội thảo, thông báo của ai đó trong ban tổ chức đã làm ngắt dòng suy nghĩ của tôi. Joe Polchinski đã đứng dậy và nói rằng ông sẽ tiến hành thăm dò ý kiến. Câu hỏi là: “Bạn có nghĩ rằng thông tin sẽ bị mất khi lỗ đen bay hơi như Hawking đã khẳng định không? Hay bạn nghĩ rằng nó sẽ thoát ra ngoài như ’t Hooft và Susskind đã

tuyên bố?” Tôi ngờ rằng, trước hội thảo, số phiếu đa phần là nghiêng về quan điểm của Hawking. Tôi vô cùng tò mò muốn biết liệu quan điểm của những người có mặt ở đây có lung lay hay không.

Những người tham dự được đề nghị bỏ phiếu cho một trong ba ứng viên nêu trên cộng với một ứng viên thứ tư. Dưới đây là các lựa chọn:

1. Lựa chọn của Hawking: thông tin rơi vào lỗ đen sẽ bị mất không thể truy hồi được.
2. Lựa chọn của 't Hooft và Susskind: thông tin thoát trở ra theo các photon và các hạt khác trong bức xạ Hawking.
3. Thông tin bị lưu giữ lại trong những phần còn sót lại có kích thước cỡ chiều dài Planck.
4. Lựa chọn khác.

Với mỗi lần người tham dự giơ tay, Jo ghi lại kết quả trên tấm bảng trắng đặt phía trước hội trường. Có ai đó còn chụp ảnh để lưu lại. Dưới đây là bức ảnh đó do Joe có nhã ý cung cấp.



Kết quả cuối cùng là:

- ♦ 25 phiếu bỏ cho thông tin bị mất
- ♦ 39 phiếu bỏ cho thông tin thoát ra ngoài theo bức xạ Hawking
- ♦ 7 phiếu bỏ cho phần sót lại của lỗ đen
- ♦ 6 phiếu cho lựa chọn khác

Sự chiến thắng tạm thời – 39 phiếu cho lựa chọn mà thực tế là nguyên lý về Tính bổ sung của lỗ đen so với chỉ 38 phiếu cho tất cả các lựa chọn khác gộp lại – là không thỏa mãn như thoạt tưởng. Vậy một chiến thắng thực sự sẽ là như thế nào: 45 trên 32, hay 60 trên 17? Liệu cái mà đại đa số nghĩ có thực sự là quan trọng hay không? Khoa học, không giống như chính trị, nó không được quyết định bởi ý kiến của đa số.

Ngay trước cuộc hội thảo ở Santa Barbara, tôi đã đọc cuốn sách *Cấu trúc của những cuộc cách mạng khoa học* của Thomas Kuhn. Nói chung, cũng giống như hầu hết các nhà vật lý khác, tôi không mấy quan tâm đến chuyện các nhà triết học nói về khoa học vận hành ra sao, nhưng có vẻ như những ý tưởng của Kuhn đã nhắm trúng mục tiêu; chúng đã tập trung vào các suy nghĩ còn mơ hồ của tôi về cách thức mà vật lý học đã phát triển trong quá khứ và, quan trọng hơn là, tôi đã hy vọng nó sẽ tiến bộ như thế nào vào năm 1993. Quan điểm của Kuhn là sự tiến bộ thông thường của khoa học – sự tập hợp số liệu từ thí nghiệm, sự phân tích các dữ liệu bằng cách sử dụng các mô hình lý thuyết, việc giải các phương trình – lại thường bị ngắt quãng bởi sự chuyển đổi các hình mẫu tư duy chủ yếu. Một sự chuyển đổi hình mẫu không gì khác hơn là sự thay thế một thế giới quan này bằng một thế giới quan khác. Toàn bộ những cách tư duy mới về các vấn đề nổi lên thay thế cho những khuôn khổ khái niệm cũ. Nguyên lý về chọn

lọc tự nhiên của Darwin là một sự chuyển đổi hình mẫu; những chuyển đổi từ không gian và thời gian thành không-thời gian và sau đó là một không-thời gian đàn hồi, mềm dẻo cũng là những chuyển đổi hình mẫu; và vì vậy, tất nhiên, sự thay thế cho quyết định luận cổ điển bằng logic của Cơ học lượng tử cũng là một sự chuyển đổi hình mẫu.

Sự chuyển đổi các hình mẫu khoa học không giống như những chuyển đổi hình mẫu trong nghệ thuật hay chính trị. Những thay đổi quan điểm trong nghệ thuật và chính trị thực ra cũng chỉ là sự thay đổi về quan điểm mà thôi. Trái lại, sẽ không bao giờ có sự xoay ngược từ các định luật về chuyển động của Newton trở về cơ học Aristotle. Tôi hết sức nghi ngờ rằng chúng ta sẽ lại thay đổi suy nghĩ của mình về sự ưu việt của Thuyết tương đối rộng so với lý thuyết hấp dẫn của Newton khi mà nó đưa ra những tiên đoán chính xác về Hệ mặt trời. Sự tiến bộ – tiến trình chuyển đổi các hình mẫu – trong khoa học là sự tiến bộ thực sự.

Tất nhiên, khoa học là chuyện của con người, và trong quá trình vật lộn cam go cho những hình mẫu mới, những quan điểm và cảm xúc có thể cũng dễ thay đổi như trong bất kỳ nỗ lực nào khác của con người. Nhưng bằng cách nào đó, khi mọi quan điểm “hot” được sàng lọc qua các phương pháp khoa học thì một số hạt nhân nhỏ bé của sự thật sẽ còn lại. Chúng có thể sẽ được hoàn thiện, nhưng theo lệ thường thì không thể đảo ngược được.

Tôi cảm thấy Cuộc chiến lỗ đen là một cuộc đấu tranh cổ điển cho một hình mẫu mới. Sự thực là Tính bổ sung của lỗ đen đã thắng 1 phiếu không phải là bằng chứng của một chiến thắng thực sự. Thực tế, những người mà tôi muốn gây ảnh hưởng nhất – Joe Polchinski, Gary Horowitz, Andy Strominger, và hơn tất cả là Stephen – lại bỏ phiếu cho quan điểm ngược lại.

Trong những tuần tiếp sau đó, Lárus Thorlacius và tôi cuối cùng đã tìm ra câu trả lời cho câu hỏi của John Preskill. Việc này cũng khiến chúng tôi mất chút ít thời gian, nhưng tôi chắc rằng nếu cuộc nói chuyện của tôi với Preskill và Page tiếp tục thêm khoảng nửa giờ nữa thì chúng tôi nhất định sẽ giải quyết xong ngay tại đó rồi. Thực tế, tôi nghĩ rằng John đã đưa ra một nửa đáp án. Nói một cách đơn giản, phải mất thời gian để một bit thông tin được phát xạ ngược trở lại, ra ngoài lỗ đen. John đã biện luận rằng cho đến lúc mà một người quan sát bên ngoài có thể nhận ra bit thông tin này và nhảy vào lỗ đen, thì bit thông tin ban đầu đã đến tới điểm kỳ dị từ lâu rồi. Chỉ còn vấn đề là phải mất bao lâu để phát hiện ra bit thông tin đó từ bức xạ Hawking bay hơi mà thôi.

Thật thú vị là câu trả lời đã thực sự được đưa ra trong một bài báo viết khác thường được công bố trước Hội thảo Santa Barbara chỉ một tháng. Điều mà bài báo này ám chỉ – mặc dù không nói ra một cách rõ ràng – đó là để phát hiện một bit thông tin đơn lẻ, bạn sẽ phải đợi cho đến khi một nửa số photon Hawking được phát xạ. Với tốc độ phát xạ photon rất chậm của lỗ đen, nó sẽ phải mất 10^{68} năm – một khoảng thời gian lớn hơn rất nhiều tuổi của vũ trụ – để phát xạ hết một nửa số photon từ một lỗ đen có khối lượng cỡ khối lượng của một ngôi sao. Nhưng sẽ chỉ mất khoảng vài phần của giây để một bit thông tin ban đầu tiến đến điểm kỳ dị. Rõ ràng là, không thể có khả năng bắt được bit thông tin trong bức xạ Hawking, rồi sau đó nhảy vào lỗ đen và so sánh với bit ban đầu. Tính bổ sung của lỗ đen như vậy là đã an toàn. Và tác giả của bài viết tuyệt vời đó là ai? Chính là Don Page.

KHOAN ĐÃ! HÃY ĐẢO NGƯỢC LẠI SỰ THAY ĐỔI NHẬN THỨC

MỘT LẦN, VÀO KHOẢNG NHỮNG NĂM 1960, tôi đến xem kịch ở một nhà hát nhỏ theo trường phái tiên phong ở Làng Greenwich. Một phần quan trọng của buổi diễn – hóa ra là một tiết mục vui nhộn – lôi kéo khán giả tham gia thay đổi sân khấu và chuyển cảnh giữa các hồi kịch.

Một người phụ nữ được đề nghị chuyển một chiếc ghế ra sau sân khấu, nhưng ngay khi bà ta vừa chạm vào, nó đã sập gãy thành một đồng củi đốt lò. Một người khác thì túm lấy chiếc tay cầm của cái vali, nhưng nó không hề nhúc nhích. Còn tôi thì phải nâng một tảng đá cao khoảng 1,8m chuyển cho một người đứng trên một ban công thấp. Để giữ tinh thần của cuộc chơi, tôi vòng cánh tay ôm quanh nó và giả vờ như phải dùng hết sức lực của mình mới nâng được nó lên. Và cái thời điểm thiếu nhất quán thực sự về nhận thức đã xảy ra khi tảng đá bật mạnh lên không trung dễ dàng như nó chỉ nặng khoảng vài ounce. Thực ra đó chỉ là một cái vỏ rỗng, mỏng làm bằng gỗ balsa được phủ một lớp sơn bên ngoài.

Sự kết nối mà não bộ của chúng ta thực hiện giữa kích thước của một vật và trọng lượng của nó hẳn phải là một trong những bản năng đã được cài đặt trước – đó là một phần của sự nhận thức vật

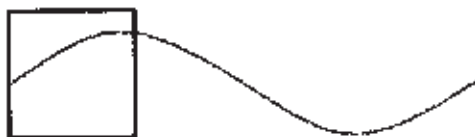
lý tự động của chúng ta. Nhận thức này mà sai một cách nhất quán thì chắc chắn nó sẽ là một dấu hiệu cho biết não đã bị tổn thương nghiêm trọng – trừ phi người đó vô tình lại là một nhà vật lý lượng tử.

Một trong những công việc làm thay đổi nhận thức lớn lao sau những khám phá năm 1905 của Einstein đòi hỏi không được xem *to là phải nặng, nhỏ là phải nhẹ* và thay thế nó theo hướng ngược lại: *to là nhẹ, nhỏ là nặng*. Cũng như với rất nhiều thứ khác nữa, lại chính Einstein là người có những ý niệm đầu tiên về sự đảo ngược logic kiểu Alice ở xứ sở thần kỳ. Ông đã hút gì trong thời gian đó? Hầu như chắc chắn chỉ là hút tẩu. Vẫn như mọi khi, hầu hết những kết luận có ảnh hưởng sâu rộng của ông đều tuôn chảy từ những thí nghiệm tưởng tượng đơn giản nhất mà ông đã thực hiện ở trong đầu.

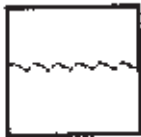
Hộp các photon co lại một cách lạ thường

Thí nghiệm tưởng tượng đặc biệt này bắt đầu với một cái hộp trống rỗng trừ một vài photon. Hộp có thể điều chỉnh thành to hơn hay nhỏ đi theo ý muốn. Thành hộp phía bên trong là những gương phản xạ hoàn hảo, nhờ vậy mà các photon bị nhốt trong hộp sẽ nảy qua nảy lại giữa các mặt gương phẳng và không thể thoát ra ngoài.

Một sóng bị giam trong một vùng không gian khép kín thì không thể có bước sóng dài hơn kích thước của vùng đó. Hãy thử hình dung một sóng có bước sóng 10m đặt trong một cái hộp dài 1m.



Điều này thật vô nghĩa. Tuy nhiên, sóng có bước sóng 1cm thì hoàn toàn thoải mái ở bên trong hộp.



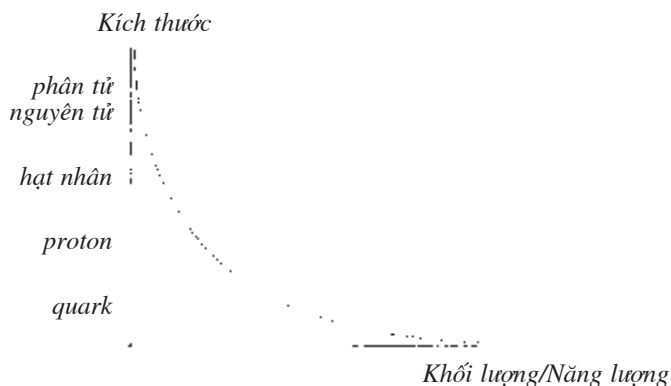
Einstein tưởng tượng làm cho cái hộp cứ nhỏ dần, với các photon vẫn bị nhốt trong đó. Khi cái hộp co lại, bước sóng của các photon không thể không thay đổi. Nhưng chỉ có một khả năng là bước sóng của mỗi photon cũng phải co lại theo hộp. Cuối cùng, cái hộp sẽ trở nên vô cùng nhỏ và chứa đầy bên trong nó các photon năng lượng rất cao, vì bước sóng của chúng cực ngắn. Cái hộp co lại nữa thì năng lượng sẽ lại tăng, thậm chí còn tăng lên nhiều hơn.

Nhưng hãy nhớ lại phương trình $E = mc^2$, phương trình nổi tiếng nhất của Einstein. Nếu năng lượng trong hộp tăng lên, thì khối lượng của nó cũng sẽ tăng theo. Như vậy, cái hộp càng *nhỏ hơn*, thì khối lượng của nó càng *tăng*. Lại một lần nữa, trực giác ngay thơ lại hoàn toàn bị đảo lộn. Các nhà vật lý hóa ra lại phải học lại các quy tắc: nhỏ là nặng và lớn là nhẹ.

Mối quan hệ giữa kích thước và khối lượng bây giờ thể hiện theo một cách khác. Tự nhiên dường như được tạo dựng một cách có thứ bậc, mỗi tầng cấu trúc được tạo bởi những vật thể nhỏ hơn. Vì vậy, các phân tử được tạo bởi các nguyên tử; nguyên tử lại được tạo bởi các electron, proton và notron; còn proton và notron lại tạo bởi các hạt quark. Những lớp cấu trúc này được khám phá bởi các nhà khoa học bằng cách bắn phá các nguyên tử bia bằng các hạt và quan sát những gì bắn ra từ các va chạm đó. Theo một nghĩa nào đó thì điều này không khác mấy so với sự quan sát thông thường,

trong đó ánh sáng (photon) phản xạ từ các vật thể rồi sau đó hội tụ trên một tấm phim hoặc võng mạc của mắt. Nhưng như chúng ta đã thấy, để quan sát những kích thước rất nhỏ, chúng ta phải sử dụng các photon (hoặc các hạt khác) có năng lượng rất cao. Rõ ràng là trong suốt thời gian mà nguyên tử bị thăm dò bởi một photon có năng lượng lớn, thì một khối lượng lớn – ít nhất là theo tiêu chuẩn của vật lý hạt cơ bản – phải được tập trung trong một không gian nhỏ bé.

Chúng ta hãy lập đồ thị biểu thị mối quan hệ qua lại lẫn nhau giữa kích thước và khối lượng/năng lượng. Trên trục tung, chúng ta đánh dấu thang kích thước mà chúng ta đang thăm dò. Trên trục hoành, chúng ta đánh dấu khối lượng/năng lượng của photon cần dùng để phân giải đối tượng.



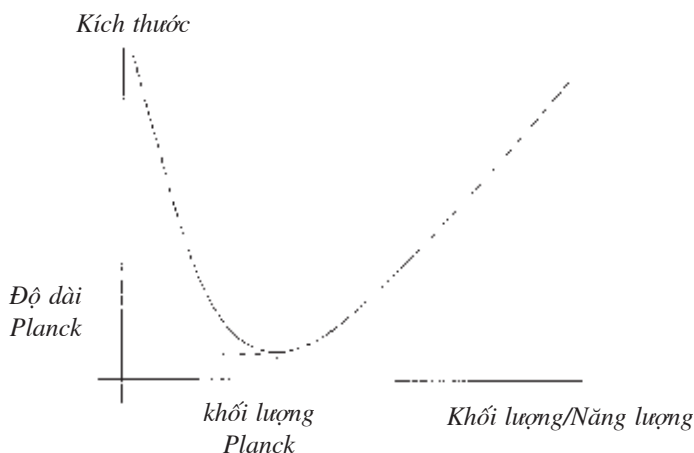
Hình mẫu ở đây là khá rõ ràng: vật càng nhỏ thì khối lượng/năng lượng cần để quan sát nó càng phải lớn. Thay đổi nhận thức của chúng ta về mối quan hệ tỷ lệ nghịch này giữa kích thước và khối lượng/năng lượng là điều mà mọi sinh viên vật lý đều phải làm gần như suốt thế kỷ hai mươi.

Hộp photon của Einstein không phải là vật dị thường. Ý tưởng cho rằng nhỏ hơn có nghĩa là nặng hơn đã tràn ngập vật lý hạt cơ bản hiện đại. Nhưng trớ trêu thay, thế kỷ 21 lại hứa hẹn phải đảo ngược lại sự thay đổi nhận thức đó.

Để hiểu tại sao, hãy tưởng tượng rằng chúng ta muốn xác định cái (nếu có) tồn tại ở thang một triệu lần nhỏ hơn độ dài Planck. *Có lẽ cấu trúc thứ bậc của tự nhiên vẫn tiếp tục tới độ sâu đó.* Chiến lược chuẩn của thế kỷ hai mươi sẽ là thăm dò một bia nào đó nhờ một photon có năng lượng lớn gấp một triệu lần năng lượng Planck. Nhưng chiến lược này không đem lại kết quả như mong đợi.

Tại sao tôi lại nói như vậy? Mặc dù chúng ta có lẽ sẽ không bao giờ gia tốc được các hạt đến năng lượng Planck, chứ đừng nói đến một triệu lần lớn hơn thế, nhưng chúng ta biết điều gì sẽ xảy ra nếu chúng ta có thể làm được điều đó. Khi khối lượng lớn như vậy bị nhồi vào một không gian bé tí, thì một lỗ đen sẽ được hình thành. Chúng ta sẽ bị vô hiệu hóa bởi chân trời của lỗ đen, vì nó sẽ che giấu mọi thứ mà chúng ta cố tìm cách thăm dò ở bên trong nó. Khi chúng ta càng cố quan sát những khoảng cách ngày càng nhỏ bằng cách tăng năng lượng photon thì chân trời sẽ càng lớn dần và càng che giấu kỹ hơn.

Vậy kết quả từ sự va chạm đó là gì? Bức xạ Hawking – tất cả chỉ có vậy. Nhưng khi lỗ đen càng lớn, thì bước sóng của các photon Hawking cũng lớn dần. Hình ảnh sắc nét của các vật nhỏ hơn kích thước Planck được thay thế bởi một hình ảnh ngày càng mờ nhòe tạo bởi các photon có bước sóng dài hơn. Vậy nên điều tốt nhất mà chúng ta có thể chờ đợi đó là khi năng lượng bắn phá càng lớn thì chúng ta sẽ chỉ tái khám phá được tự nhiên ở cấp độ lớn hơn mà thôi. Vì vậy, đồ thị thực sự về kích thước – theo năng lượng nhìn sẽ giống như thế này:



Mối liên hệ Hồng ngoại-Cực tím

Mọi thứ đều có đáy ở khoảng thang Planck – vì ta không thể phát hiện được những thứ nhỏ hơn – và ở ngoài thang này, thì nhận thức mới cũng sẽ là to = nặng đúng như của thời tiền công nghiệp. Vì vậy, cuộc hành tiến của quy giản luận – ý tưởng cho rằng mọi thứ được cấu tạo bởi những thứ nhỏ hơn – sẽ phải kết thúc ở thang Planck.

Các thuật ngữ *cực tím* (UV) và *hồng ngoại* (IR) trong vật lý học mang ý nghĩa vượt ra ngoài hàm ý ban đầu chỉ liên quan đến ánh sáng có bước sóng ngắn và dài. Do mối liên hệ giữa kích thước và năng lượng ở thế kỷ hai mươi, các nhà vật lý thường sử dụng các thuật ngữ này để biểu thị năng lượng cao (UV) và thấp (IR). Nhưng nhận thức mới đã trộn lẫn tất cả: vượt quá khối lượng Planck, năng lượng cao hơn có nghĩa là kích thước lớn hơn, và năng lượng thấp hơn nghĩa là kích thước nhỏ hơn. Sự lẫn lộn được phản ánh ngay ở các thuật ngữ: xu hướng mới đánh đồng kích thước lớn với năng

lượng lớn được biết đến với cái tên khá mơ hồ là *mối liên hệ Hồng ngoại – Cực tím*¹.

Một phần, chính sự thiếu hiểu biết về mối liên hệ Hồng ngoại-Cực tím đã khiến các nhà vật lý hiểu sai về bản chất của việc thông tin rơi vào chân trời lỗ đen. Trong Chương 15, chúng ta đã tưởng tượng mình sử dụng kính hiển vi Heisenberg để quan sát một nguyên tử rơi về phía lỗ đen. Khi thời gian trôi đi và nguyên tử ngày càng tiến lại gần hơn chân trời thì càng cần có photon năng lượng cao hơn để phân giải nguyên tử. Cuối cùng, năng lượng sẽ trở nên lớn tới mức sự va chạm của photon và nguyên tử sẽ tạo thành một lỗ đen lớn. Sau đó hình ảnh sẽ cần được lắp ráp từ bức xạ Hawking bước sóng dài. Kết quả là thay vì càng nét hơn, hình ảnh về nguyên tử lại ngày càng nhòe đi đến mức mà nguyên tử dường như trải rộng khắp cả chân trời. Từ bên ngoài, nếu sử dụng hình ảnh so sánh quen thuộc, thì nhìn nó giống như một giọt mực hòa tan vào một bể nước nóng.

Tính bổ sung của lỗ đen, ngay cả nếu nó là khá kỳ quặc, lại dường như khá nhất quán nội tại. Vào năm 1994, tôi đã muốn bắt tay Hawking và nói: “Này Stephen, anh đang bỏ lỡ điểm mấu chốt trong nghiên cứu của chính anh đấy!”. Và tôi đã sớm thử nhưng không có kết quả. Sự cố gắng nhiều tháng trời có cả sự hài hước lẫn bi ai. Nhưng giờ chúng ta hãy tạm ngừng nói về vật lý để tôi kể về những thất vọng của tôi vào thời gian đó.

¹ Thuật ngữ mơ hồ này là lỗi của chính tôi. Cụm từ *mối liên hệ Hồng ngoại-Cực tím* lần đầu tiên được sử dụng trong một bài báo công bố năm 1998 do tôi viết chung với Edward Witten.

AHAB Ở CAMBRIDGE



MỘT CHẤM TRẮNG NHỎ LỚN DẦN đã che lấp toàn bộ tầm nhìn của tôi. Nhưng không giống như của Ahab¹, nỗi ám ảnh của tôi không phải là con cá voi hàng trăm tấn; mà chính là một nhà vật lý lý thuyết nặng chỉ một trăm pound trong một chiếc xe lăn điều khiển. Ý nghĩ của tôi hiếm khi thoát khỏi Stephen Hawking và những ý tưởng nhằm lẫn của ông ta về sự phá hủy thông tin bên trong lỗ đen. Với tôi, không còn gì phải nghi ngờ về sự thật đó, nhưng tôi héo hon vì mong muốn Stephen phải nhận ra điều đó. Tôi không hề muốn đắm lao vào ông hay thậm chí làm bẽ mặt ông, tôi chỉ muốn ông nhìn ra sự thực mà tôi đã thấy. Tôi muốn ông nhận ra những hàm ý sâu sắc ở nghịch lý của chính ông.

Điều làm tôi phiền muộn nhất là tại sao nhiều chuyên gia – về cơ bản là tất cả hoặc hầu hết các chuyên gia về thuyết tương đối rộng – đều dễ dàng chấp nhận kết luận của Stephen đến thế. Tôi

¹ Thuyền trưởng Ahab của tàu Pequod trong cuốn tiểu thuyết *Moby-Dick* của nhà văn Herman Melville, người suốt đời chỉ có một ám ảnh: giết con cá voi trắng huyền thoại. Ông đã hy sinh tất cả, mạng sống của mình, con tàu và thủy thủ đoàn để theo đuổi mục đích đó.

thấy thật khó hiểu khi ông và những người khác lại có thể tự mãn đến như vậy. Tuyên bố của Stephen rằng có một nghịch lý và rằng nó có thể báo hiệu một cuộc cách mạng là đúng. Nhưng tại sao ông và những người khác lại bước qua nghịch lý đó.

Thậm chí còn tồi tệ hơn, tôi cảm thấy Hawking và những chuyên gia về thuyết tương đối đã vứt bỏ một cách vô tình một trụ cột của khoa học mà không đưa ra bất kỳ thứ gì để thay thế nó. Stephen đã cố gắng và thất bại với ma trận đơla của mình – nếu mà cố ép sử dụng sẽ dẫn đến những vi phạm ghê gớm đối với định luật bảo toàn năng lượng – nhưng tất cả những người ủng hộ ông đều chỉ vui vẻ mà nói rằng, “Hừm, thông tin bị mất trong quá trình bay hơi của lỗ đen” và dừng lại ở đấy. Tôi rất bức mình với sự lười nhác động não và sự từ bỏ óc tò mò đối với khoa học đến như vậy.

Sự khuây khỏa duy nhất cho nỗi ám ảnh của tôi là chạy bộ, đôi khi là 15 dặm hoặc hơn, qua những ngọn đồi phía sau Palo Alto. Tập trung đuổi theo bất kỳ ai chạy trước mình khoảng vài mét thường khiến tôi thấy đầu óc minh mẫn, cho đến khi tôi đuổi kịp họ. Nhưng rồi sau đó Stephen lại xuất hiện.

Ông xâm nhập cả vào những giấc mơ của tôi. Một đêm ở Texas, tôi đã mơ thấy cả Stephen và tôi đều bị đặt ngồi vào chiếc xe lăn tự động. Bằng tất cả sức mạnh của mình, tôi ra sức đẩy ông ra khỏi chiếc xe. Nhưng Stephen là người hùng khỏe phi thường. Ông bóp chặt lấy cổ tôi khiến tôi không thể thở được. Chúng tôi cứ vật lộn như thế cho đến khi tôi tỉnh giấc, người vã mồ hôi.

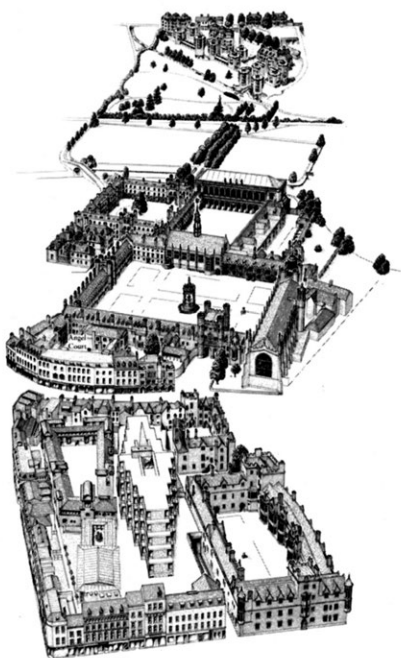
Phương thuốc nào chữa cho căn bệnh ám ảnh của tôi đây? Giống như Ahab, tôi sẽ phải đi đến tận chỗ kẻ thù và săn đuổi bằng được hần nơi hần đang lẩn trốn. Vì vậy, vào đầu năm 1994, tôi đã nhận lời mời đến thăm Viện Newton mới thành lập ở Đại học

Cambridge. Vào tháng Sáu, Stephen sẽ tổ chức một buổi hội kiến giữa một nhóm các nhà vật lý, hầu hết tôi đều biết rất rõ nhưng không ai là đồng minh của tôi cả: Gary Horowitz, Gary Gibbons, Andy Strominger, Jeff Harvey, Steve Giddings, Roger Penrose, Shing-Tung Yau và những nhân vật nặng ký khác nữa. Chỉ duy nhất một đồng minh của tôi là Gerard 't Hooft thì lại không có mặt.

Tôi không mấy hào hứng trở lại thăm Cambridge. Hai mươi năm trước, có hai kỷ niệm khiến tôi cảm thấy khó chịu. Lúc đó tôi còn trẻ, chưa có tiếng tăm gì, và vẫn canh cánh một nỗi bất an của một học giả xuất thân từ tầng lớp lao động. Một lời mời ăn tối tại bàn danh dự của Trường Trinity College ở Cambridge cũng không làm cho tình hình khả dĩ hơn.



TRINITY COLLEGE
CAMBRIDGE



Tôi không biết được mời đến ăn tối tại bàn danh dự là có ý nghĩa như thế nào. Tôi cũng không rõ liệu đó có phải là một vinh dự hay không, và nếu đúng như vậy, thì ai hay điều gì được vinh danh? Hay đó đơn giản chỉ là nơi để dùng bữa trưa? Dù là như thế nào, thì người đã mời tôi, một giáo sư rất tốt bụng và tử tế tên là John Polkinghorne, đã dẫn tôi vào một sảnh lớn thời trung cổ treo chân dung của Isaac Newton và những nhân vật vĩ đại khác nữa. Những sinh viên chưa tốt nghiệp thì ngồi ở dãy thấp nhất, mặc đồng phục của trường. Vị giáo sư tiến đến bàn danh dự, một cái bàn cao đặt ở cuối của căn phòng. Bữa ăn được phục vụ bởi những người bồi bàn ăn mặc còn đẹp hơn cả tôi và ngồi hai bên tôi là hai học giả cứ lăm băm nói bằng thứ ngôn ngữ mà tôi chỉ hiểu được lôm bôm. Bên tay trái tôi là một giáo sư người Anh bán cổ điển, mau chóng ngáy vang bên đĩa súp của mình. Bên phải tôi là một giáo sư lỗi lạc, kể lể về một vị khách người Mỹ đã từng đến đây. Có vẻ như người Mỹ này, thiếu sự tinh tế cần thiết của một người Cambridge, đã chọn nhầm rượu một cách hết sức buồn cười.

Nhân nói về chuyện am hiểu về rượu, tôi có thể nhắm mắt cũng phân biệt được khá chắc chắn rượu trắng với rượu đỏ. Còn chắc chắn hơn nữa là phân biệt bia với rượu. Nhưng ngoài những thứ đó ra thì khẩu vị của tôi quả là kém thật. Tôi hầu như không thể không nghĩ rằng mình chính là trò cười của câu chuyện đó. Phần cuối của cuộc nói chuyện hoàn toàn làm ngơ tôi, chủ yếu là đề tài ưa thích đặc biệt của Cambridge. Tôi bị bỏ mặc cho thưởng thức bữa ăn vô vị (cá luộc phủ bột trắng), hoàn toàn tách biệt khỏi bất kỳ cuộc chuyện trò nào.

Một ngày khác, chủ nhà mời tôi đi dạo quanh trường Trinity College. Một bãi cỏ rộng lớn xanh mướt, đẹp mắt, tọa lạc trên vị trí

danh dự phía trước lối vào chính của một trong các tòa nhà. Tôi nhận thấy rằng không ai bước qua bãi cỏ cả. Một lối đi bộ xung quanh bãi cỏ là lối đi duy nhất được phép. Vì vậy tôi ngạc nhiên khi thấy giáo sư Polkinghorne nắm cánh tay tôi và bắt đầu bước chéo qua. Điều này có nghĩa là sao nhỉ? Có phải chúng tôi đang xâm phạm đến vùng đất linh thiêng? Câu trả lời rất đơn giản: các giáo sư, mà ở các trường đại học Anh có số lượng ít hơn nhiều so với ở Mỹ, từ xa xưa đã được đặc quyền đi qua các bãi cỏ. Không ai khác, hay ít nhất là những người có địa vị thấp kém, được phép bước trên đó.

Ngày hôm sau, tôi rời trường mà không có ai đưa về khách sạn. Ở tuổi 31, tôi còn trẻ để là một giáo sư, nhưng thực ra tôi đã là một giáo sư rồi. Vì vậy tôi tự nhiên cho là mình có quyền bước qua bãi cỏ. Nhưng khi mới đi được nửa đường, thì một người đàn ông thấp bé, mặc thứ gì đó trông như smoking và một chiếc mũ quả dưa, nhảy bổ ra từ một trong các tòa nhà và giận dữ yêu cầu tôi rời bãi cỏ ngay lập tức. Tôi phản đối rằng mình là một giáo sư Mỹ. Nhưng sự phản đối của tôi không có hiệu quả gì hết.

Hai mươi năm sau – với rìa mép, tuổi già hơn và có thể vẻ ngoài trông bệ vệ hơn – một lần nữa tôi lại thử lòng can đảm của mình. Lần này tôi đi qua mà không gặp bất kỳ trở ngại nào. Phải chăng là Cambridge đã thay đổi? Tôi thực sự không biết. Hay là tôi đã thay đổi? Vâng. Những điều mà hai thập kỷ trước khiến tôi thấy khó chịu bởi sự kiêu cách cổ lỗ – bàn ăn danh dự, đặc quyền bãi cỏ – thì giờ đây ấn tượng với tôi không gì khác hơn là sự hiếu khách thân tình và có lẽ là một chút kỳ cục rất Anh. Sự trở lại Cambridge khiến tôi ngạc nhiên trước một số chuyện. Bên cạnh thực tế là từ sự không ưa những đặc tính riêng có của trường đại học này đã biến thành điều gì đó giống như sự thích thú, món ăn

tệ nổi tiếng của Anh đã hoàn toàn được cải thiện. Tôi nhận thấy mình rõ ràng là đã thích Cambridge.

Ngày đầu tiên ở đó, tôi dậy rất sớm. Tôi quyết định đi lang thang qua thị trấn đến đích cuối cùng của tôi là Viện Newton. Tôi để vợ tôi, Anne, trong căn hộ của chúng tôi ở phố Chesterton và đi bộ qua sông Cam, qua nhà thuyền nơi những con thuyền đua được neo ở đó, và qua công viên Jesus Green. (Trong suốt chuyến thăm đầu tiên, tôi đã rất bối rối, thậm chí bức tức khi biết rằng hầu hết văn hóa của Cambridge đều có nguồn gốc từ tôn giáo).

Tôi đi bộ qua phố Bridge và qua sông Cam. Cam? Bridge? Cambridge? Có phải là tôi đang ở trên vị trí của cây cầu đầu tiên – cây cầu đã cho trường đại học danh tiếng này cái tên của nó? Có lẽ là không, nhưng thật thú vị khi suy diễn như vậy.

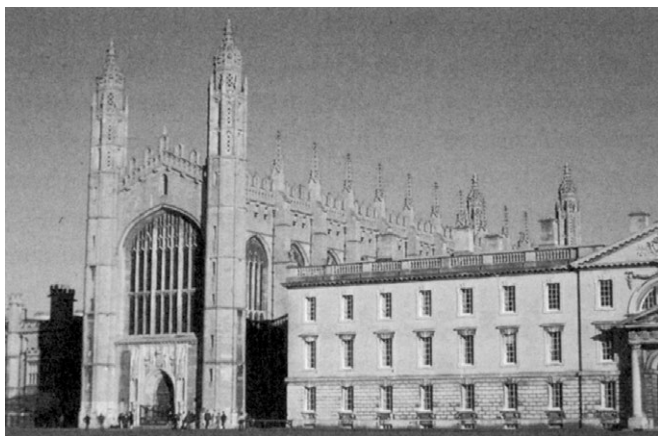
Trên một chiếc ghế dài ở công viên gần đó có một quý ông lớn tuổi nhưng trông rất “trí thức” và thanh lịch với bộ ria ghi đông dài. Chúa ơi, người đó trông như Ernest Rutherford, người đã khám phá ra các hạt nhân nguyên tử vậy. Tôi ngồi xuống và gọi chuyện. Rõ ràng đó không phải là Rutherford, trừ phi ông đội mồ sống dậy: Rutherford đã chết gần 60 năm về trước. Có lẽ là con trai của Rutherford chăng?

Người ngồi cùng ghế với tôi rất biết cái tên Ernest Rutherford – ông ta còn biết ông ấy là người New Zealand đã khám phá ra năng lượng nguyên tử. Mặc dù rất giống nhau nhưng ông không phải thuộc gia đình Rutherford. Mà chắc chắn hơn, ông là một người họ hàng của tôi: một bưu tá người Do Thái đã nghỉ hưu với mối quan tâm nghiệp dư đến khoa học. Tên ông là Goodfriend, có lẽ là Anh hóa từ dòng họ Gutefreund trước đây.

Chuyến tản bộ vào sáng sớm của tôi còn qua cả Phố Bạc, nơi có một tòa nhà cổ đã từng đặt Khoa Vật lý lý thuyết và Toán học ứng

dụng – tòa nhà mà John Polkinghorne từng là chủ nhân đã mời tôi khi xưa. Nhưng ngay cả ở Cambridge, mọi thứ cũng đã thay đổi. Khoa Toán nay đặt tại một vị trí mới ở gần Viện Newton.

Rồi tôi nhìn thấy kiến trúc tòa tháp ở đằng xa. Nó như lơ lửng. To lớn. Cao vút. Đó là Nhà thờ của trường King's College ở Cambridge. Nó đồ sộ, nổi trội hơn hẳn so với những tòa nhà của khoa học ở Cambridge.



Biết bao nhiêu các thế hệ các sinh viên khoa học đã cầu nguyện, hay ít ra là làm ra vẻ cầu nguyện, trong ngôi nhà thờ này? Vì tò mò, tôi đi vào bên trong tòa nhà thiêng liêng đó. Trong một không gian như thế, ngay cả tôi – một nhà khoa học vô thần vô thánh – cũng nhận thấy một sự thiêng liêng nào đó trong niềm tin của mình rằng không có gì tồn tại ngoài electron, proton, và neutron, rằng sự tiến hóa của sự sống cũng không hơn gì một cuộc đấu trong trò chơi game trên máy tính giữa những gen ích kỷ nhất. “Mặc cảm nhà thờ”, nỗi sợ hãi tạo nên bởi những chồng đá được lắp đặt một cách thông minh và những cửa sổ bằng kính đầy màu sắc: tôi gần như, chứ chưa phải hoàn toàn, miễn dịch đối với mặc cảm đó.

Tất cả những điều này gợi trong óc tôi một điều gì đó về thế giới học thuật Anh đã làm cho tôi bối rối trong một thời gian dài: sự hòa trộn phi lý giữa các truyền thống tôn giáo và khoa học. Cambridge và Oxford, cả hai đều được sáng lập bởi những giáo sĩ ở thế kỷ 12, đều chấp nhận với sự tha thiết như nhau cái mà người Mỹ chúng tôi gọi một cách hoa mỹ là những cộng đồng dựa trên niềm tin và dựa trên thực tại. Kỳ quặc hơn nữa là dường như họ thực thi điều đó với một sự khoan dung về trí tuệ một cách độc nhất vô nhị, khiến tôi hết sức khó hiểu. Chẳng hạn, hãy thử lấy tên của chín trường nổi tiếng nhất của Cambridge: Jesus, Christ, Corpus Christi, Magdalene, Peterhouse, St. Catherine, St. Edmund, St. John, và Trinity. Nhưng sau đó thì lại có Trường Wolfson, mang tên của Isaac Wolfson, một người Do Thái trần tục. Thậm chí còn choáng hơn nữa là Trường Darwin, chính là cái ông Darwin đã có kỳ công loại bỏ Chúa ra khỏi khoa học về sự sống.

Lịch sử rất dài và đầy màu sắc. Isaac Newton đã làm nhiều hơn bất kỳ ai trước ông để có thể phá tan niềm tin vào những thứ siêu nhiên. Quán tính (khối lượng), gia tốc, và định luật vạn vật hấp dẫn đã thay cho bàn tay của Chúa, người không còn cần thiết để điều khiển chuyển động của các hành tinh nữa. Nhưng như các nhà lịch sử khoa học của thế kỷ 17 không ngừng nhắc nhở chúng ta, Newton là người Cơ đốc giáo, và là một tín đồ nồng nhiệt. Ông đã dành thời gian, nghị lực và giấy mực cho thần học Cơ đốc giáo còn hơn cả cho vật lý.

Với Newton và những người cùng địa vị với ông thì sự tồn tại của một Đấng sáng thế thông tuệ hẳn là một sự tất yếu về trí tuệ: còn có cách nào khác để lý giải về sự tồn tại của con người? Không gì trong hình dung của Newton về thế giới có thể giải thích được sự hình thành một sinh linh phức tạp đến thế như loài người hữu

tình, từ những vật liệu vô tri vô giác. Newton đã có quá đủ lý do để tin vào một nguồn gốc thánh thần.

Nhưng chỗ mà Newton không làm được, thì hai thế kỷ sau, Charles Darwin (cũng là một người Cambridge) đã thành công trong cuộc lật đổ cuối cùng (và cũng là bất đắc dĩ). Ý tưởng của Darwin về sự chọn lọc tự nhiên, kết hợp với chuỗi xoắn kép của Watson và Crick (cũng đã được khám phá ở Cambridge) đã thay thế phép màu của sự Sáng thế bằng các định luật của xác suất và hóa học.

Vậy phải chăng Darwin là một kẻ thù của tôn giáo? Hoàn toàn không phải như vậy. Mặc dù ông đã mất niềm tin vào những tín điều của Cơ đốc giáo và coi bản thân mình như một người theo thuyết bất khả tri, song ông lại là người ủng hộ mạnh mẽ cho nhà thờ giáo xứ địa phương, và là người bạn thân thiết của cha xứ John Innes.

Tất nhiên, không phải mọi chuyện đều luôn luôn thân thiện như vậy. Câu chuyện về sự tranh cãi giữa Thomas Huxley (về sự tiến hóa) với Giám mục Samuel “Sam xà phòng” Wilberforce đã có những khía cạnh thô bạo¹. Giám mục đã hỏi Huxley rằng liệu có phải ông nội hay bà nội của ông là con khỉ hay không. Huxley đã đáp trả bằng cách gọi Wilberforce là một kẻ bán rẻ mình trước sự thật. Dù vậy, không ai bị bắn, đâm hay thậm chí là bị đâm. Tất cả những chuyện đó đã thực sự diễn ra theo truyền thống trao đổi học thuật ở Anh.

Còn ngày nay thì sao? Ngay cả bây giờ thì tôn giáo và khoa học vẫn cùng tồn tại một cách rất quý phái. John Polkinghorne, người đã kéo tôi bước ngang qua bãi cỏ, nay không còn là giáo sư vật lý nữa. Năm 1979, ông đã từ bỏ chức vụ giáo sư để nghiên cứu về giới giáo sĩ Anh. Polkinghorne là một trong những người ủng hộ hàng đầu cho quan

¹ Cái biệt hiệu “Sam xà phòng” bắt nguồn từ nhận xét của Benjamin Disraeli – một chính khách Đảng bảo thủ Anh – rằng tính cách của Giám mục là son sớt, giả tạo, trơn nhẵn như xà phòng.

điểm phổ biến cho rằng khoa học và tôn giáo đang bước vào giai đoạn hội tụ hoàn hảo, rằng kế hoạch của Chúa được thể hiện thông qua bản thiết kế phi thường, đó là *các định luật của tự nhiên*. Những định luật này không chỉ là hoàn toàn không thể chứng minh được, mà còn rất chính xác để đảm bảo cho sự tồn tại của sự sống có trí tuệ – sự sống, mà một cách ngẫu nhiên, có thể đánh giá được một cách đúng đắn Chúa và các quy luật của Người. Hiện giờ, Polkinghorne là một trong những giáo sĩ lỗi lạc nhất ở Anh. Tuy nhiên, tôi không biết liệu ông có còn được phép bước qua bãi cỏ nữa hay không.

Trong khi đó thì nhà tiến hóa luận danh tiếng của Oxford, Richard Dawkins, lại dẫn đầu phe chống lại bất kỳ sự hội tụ tưởng tượng nào giữa khoa học và tôn giáo. Theo Dawkins, sự sống, tình yêu, và đạo đức chỉ là một trò chơi so với cuộc đấu khốc liệt, không phải giữa con người với nhau, mà là giữa các gen ích kỷ. Giới trí thức Anh dường như đủ rộng lớn để chấp nhận cả Dawkins lẫn Polkinghorne.

Nhưng ta hãy trở lại với nhà thờ của trường King's College. Thật khó mà suy nghĩ trong thứ quang học tinh khiết của ánh sáng buổi sớm khi nó được lọc qua lớp kính màu. Vì vậy, với một chút “mặc cảm nhà thờ”, tôi ngồi xuống một chiếc ghế dài ở vị trí dễ dàng ngắm được khung cảnh đầy ấn tượng bên trong.

Ngay lúc đó, một người đàn ông trông nghiêm nghị đến cùng ngồi với tôi – người này cao lớn nhưng không béo, nhìn bề ngoài thì rõ ràng không phải là người Anh. Ông ta mặc một chiếc áo somi bằng vải cotton xanh thẫm mà thời tôi còn trẻ vẫn gọi là áo bảo hộ lao động, quần bằng vải màu nâu có giây đeo, khiến ông ta trông giống như một kiều dân ở vùng Viễn Tây Mỹ thế kỷ 19. Sự thực thì tôi cũng đoán không sai là mấy. Giọng nói của ông đúng là giọng miền Tây Montana, chứ không phải miền Đông nước Anh.

Sau khi chúng tôi nhận ra điểm chung là cùng xuất thân từ nước Mỹ, cuộc nói chuyện lại chuyển sang tôn giáo. Tôi giải thích là mình không đến đây để cầu nguyện. Thực ra thì tôi không phải là người Cơ đốc giáo mà là con trai của Abraham (Abraham thường được gọi là cha của những người Do Thái - ND), tôi chiêm ngưỡng kiến trúc nơi đây. Ông là một nhà thầu khoán xây dựng và đang đi lang thang đến nhà thờ của trường King's College để xem xét công trình bằng đá này. Mặc dù là người bị thuyết phục sâu sắc bởi tôn giáo, song ông cũng không chắc là cầu nguyện trong ngôi nhà thờ này có thích hợp không. Lòng trung thành tôn giáo của bản thân ông là dành cho Nhà thờ Jesus Christ của giáo phái Mormon. Nhà thờ Anh là một mối nghi ngờ đối với ông. Về phần mình, tôi thấy chẳng có lý do gì phải khiến ông thất vọng về thái độ hoài nghi sâu sắc của tôi cả – sự chối bỏ hoàn toàn của tôi đối với niềm tin tôn giáo, mà tôi xem như là niềm tin mạnh mẽ vào những quyền lực siêu nhiên.

Tôi không biết gì mấy về giáo phái Mormon. Kinh nghiệm duy nhất của tôi về tôn giáo này là tôi sống bên cạnh nhà với một gia đình Mormon rất dễ thương. Tất cả những gì tôi biết là người theo giáo phái Mormon có những quy định rất cứng nhắc không cho phép uống cà phê, trà và coca cola. Tôi đoán rằng niềm tin của người Mormon là một nhánh điển hình của đạo Tin lành Bắc Âu. Vì vậy tôi thấy ngạc nhiên khi người mới quen của tôi nói rằng người Mormon cũng giống như người Do Thái. Không có vùng đất nào để gọi là quê hương, họ đã đi theo Moses của chính họ vượt qua sa mạc, bất chấp mọi hiểm nguy và đói khát cho đến khi cuối cùng họ đã đến được vùng đất của sữa và mật ong – vùng đất của Hồ Muối lớn ở Utah.

Người mới quen của tôi ngồi gập lưng, tay buông trên đầu gối duỗi thẳng và hai bàn tay to lớn đan vào nhau. Câu chuyện mà ông

kể không phải là về người cổ xưa rất mơ hồ mà là một câu chuyện Mỹ được bắt đầu vào khoảng năm 1820. Tôi tưởng rằng nó đã quá quen thuộc với mình nhưng hóa ra không phải. Đây là những chi tiết mộc mạc nhất mà tôi có thể nhớ lại, kèm thêm những tình tiết lịch sử mà sau đó tôi đã tra cứu.

Joseph Smith sinh năm 1805 có người mẹ bị chứng động kinh và những hoang tưởng mạnh mẽ về sự mộ đạo. Một ngày, thiên thần Moroni đã đến bên ông và thì thầm điều bí mật về những chiếc đĩa bằng vàng rỗng cổ được giấu kín, trên đó có khắc lời của Chúa. Smith là người duy nhất có sứ mệnh tiết lộ chúng, nhưng có một vấn đề là văn bản này lại được viết bằng thứ ngôn ngữ mà không người nào đang sống có thể giải mã được.

Nhưng Moroni bảo Joseph không phải lo lắng. Ông sẽ đưa cho Joseph một cặp hai mảnh đá thần trong suốt – một cặp kính siêu nhiên. Các mảnh đá này có tên là Urim và Thummim. Moroni hướng dẫn Joseph đến chỗ mà Urim và Thummim được cất trong chiếc mũ của ông, và sau đó bằng cách nhìn vào chiếc mũ, Joseph có thể thấy văn bản kỳ diệu đó hiện ra bằng tiếng Anh.

Phản ứng của tôi trước câu chuyện này là ngồi lặng đi, như thể tôi chìm sâu vào suy nghĩ. Tôi nghĩ hoặc là người đàn ông này nói thật hoặc là không phải vậy và nếu đó không phải là sự thật thì câu chuyện về đĩa vàng, được nhìn qua cặp kính thần kỳ đặt trong chiếc mũ, thật là nực cười. Nhưng nực cười hay không thì hàng ngàn tín đồ đã đi theo Joseph Smith và sau đó, sau cái chết đau đớn của Smith ở tuổi 38, họ lại theo người kế thừa của ông là Brigham Young, vượt qua những hiểm nguy và biết bao đau đớn. Ngày nay những hậu duệ tôn giáo của những tín đồ này đã lên tới hàng chục triệu người.

Bạn có thể nhận tiện hỏi điều gì đã xảy ra với những chiếc đĩa vàng mà Urim và Thummim đã giúp Joseph giải mã. Câu trả lời là sau khi dịch chúng sang tiếng Anh, ông đã làm mất chúng.

Bây giờ thì Joseph Smith đã là một người đàn ông rất lôi cuốn và có sức hấp dẫn lớn đối với người khác giới. Điều này chắc có lẽ là một phần của kế hoạch thần thánh. Chúa đã yêu cầu Joseph cưới và làm càng nhiều cô gái trẻ thụ thai càng tốt. Người cũng bảo Joseph tập hợp một lực lượng đông đảo các môn đồ và dẫn dắt họ đến với miền đất hứa đầu tiên, một nơi được gọi là Nauvoo, ở Illinois. Khi ông và những môn đồ của mình đến được Nauvoo, ông nhanh chóng tuyên bố sẽ ra tranh cử chức Tổng thống Mỹ. Nhưng những người quý tộc ở Nauvoo lại theo đạo Cơ đốc – đạo Cơ đốc truyền thống – và họ không thích lắm những ý tưởng của ông về chế độ đa thê. Vì vậy mà họ đã bắn chết ông.

Cũng như chiếc áo choàng của Moses được chuyển qua cho Joshua, thì quyền lực của Smith chuyển cho Brigham Young, một người đàn ông khác cũng có nhiều vợ và rất nhiều con. Cuộc di cư của người Mormon bắt đầu bằng việc nhanh chóng rời khỏi Nauvoo. Cuối cùng thì Young đã nhìn thấy họ sau một cuộc hành trình dài, gian khổ và nguy hiểm đến Utah.

Tôi đã và đến giờ vẫn bị câu chuyện này lôi cuốn. Tôi tin rằng vào lúc đó, câu chuyện này đã tác động mạnh đến cảm xúc của tôi – không nghi ngờ gì là hoàn toàn không công bằng – về Stephen và ảnh hưởng có sức lôi cuốn mạnh mẽ của ông với rất nhiều nhà vật lý. Âm ảnh bởi sự thất bại của chính mình, tôi đã tưởng tượng ông như một thầy phù thủy thổi sáo dẫn dắt một cuộc thập tự chinh sai lầm chống lại Cơ học lượng tử¹.

¹ Phù thủy có tài thổi sáo, thường dụ dỗ trẻ em trong *Truyện cổ Grimm*.

Nhưng buổi sáng hôm đó, tâm trí tôi không vương bận về Stephen lẫn lỗ đen. Nhà thờ của trường King's College đã để lại cho tôi một nghịch lý khoa học hoàn toàn mới thay thế cho nỗi ám ảnh cũ. Nó không có liên quan gì đến vật lý, ngoại trừ theo một cách gián tiếp. Đó là một nghịch lý liên quan đến sự tiến hóa theo Darwin. Làm thế nào mà loài người lại có thể tiến hóa với một xung lực mạnh mẽ đến mức tạo ra được một hệ thống tín ngưỡng phi lý và gìn giữ nó với một sự kiên trì đến như thế? Người ta có thể đã nghĩ rằng sự chọn lọc theo thuyết Darwin sẽ tăng cường xu hướng theo lý trí và loại ra những khuynh hướng di truyền theo hệ thống đức tin mê muội. Cuối cùng thì, một đức tin phi lý trí có thể khiến con người ta chết, giống như Joseph Smith. Rõ ràng là nó đã giết chết hàng triệu người. Người ta có thể đã hy vọng rằng sự tiến hóa sẽ ngăn chặn khuynh hướng đi theo những người lãnh đạo liều lĩnh chỉ dựa trên nền tảng đức tin. Nhưng dường như điều ngược lại mới là đúng. Nghịch lý khoa học này gây cho tôi sự tò mò lần đầu tiên ở Cambridge. Kể từ đó, tôi đã bị nó hấp dẫn và đã dành rất nhiều thời gian để khám phá.

Trong suốt vài tuần ở Cambridge, tôi dường như đã lạc khá xa với vấn đề ban đầu khiến tôi đến đây – hành vi lượng tử của lỗ đen. Nhưng không phải hoàn toàn như vậy. Điều khiến tôi trăn trở nhất là câu hỏi liệu những nhà khoa học như Hawking, 't Hooft, bản thân tôi, và tất cả những người tham gia vào Cuộc chiến lỗ đen này có phải là những nạn nhân của những ảo tưởng dựa trên niềm tin của chính chúng tôi không.

Vài tuần ở Cambridge đó tôi thực sự rất rối trí và đầy những ý nghĩ buồn rầu. Câu chuyện về Ahab và con cá voi là một câu chuyện đa nghĩa: có phải con cá voi điên cuồng đã kéo Ahab xuống đáy biển, hay chính là Ahab phát điên đã khiến Starbuck yếu ớt phải chết? Nói rõ hơn thì có phải tôi, giống như Ahab, đang theo

đuổi một nỗi ám ảnh ngu ngốc, hay Stephen đang lôi cuốn những người khác bằng một ý tưởng sai lầm?

Phải thừa nhận rằng hôm nay tôi đã tìm thấy rằng cái ý tưởng cho rằng Stephen, gã phù thủy thổi sáo, đang dẫn dắt những môn đồ bị ông mê hoặc đến sự hủy diệt trí tuệ, thật hết sức buồn cười. Rõ ràng là nỗi ám ảnh chính là một thứ ma túy gây ảo giác ghê gớm.

Giờ thì tôi không định gây cho bạn ấn tượng rằng tôi đã mất vài tuần vô ích lang thang khắp phố phường Cambridge, một tù nhân của những ý nghĩ đen tối nữa. Tôi được sắp xếp để có vài buổi nói chuyện về Tính bổ sung của lỗ đen ở Viện Newton. Tôi sẽ phải dành nhiều thời gian ở Viện này để chuẩn bị cho các buổi thuyết trình và tranh luận với những đồng nghiệp đa nghi của tôi về nhiều vấn đề khác nhau.

Đến Viện Newton

Chắc cũng phải vào lúc 10 giờ sáng, tôi mới rời khỏi nhà thờ của trường King's College và bước ra ngoài trời chan hòa ánh nắng của một ngày tháng Sáu. Sự bí ẩn của học thuyết Darwin về niềm tin phi lý đã dần len lỏi vào trong tâm trí tôi, nhưng một vấn đề kỹ thuật gây áp lực hơn rất nhiều cần phải có lời giải tức thì, đó là tôi còn phải đi tìm Viện Newton.

Cái bản đồ hầu như vô dụng của tôi đã đưa tôi ra khỏi trung tâm của Cambridge cổ kính để đến với khu vực dân cư hiện đại nhưng phần nào thiếu đặc sắc. Tôi đã hy vọng rằng đây là một sự nhầm lẫn; vì với tính đa cảm lãng mạn của tôi thì nó quả là đáng thất vọng. Tôi đã nhìn thấy biển báo tên đường Wilberforce. Có phải đây chính là Wilberforce, nổi tiếng với biệt hiệu “Sam xà phòng”, người đã

hỏi Huxley rằng có phải ông nội hay bà nội của ông là con khỉ hay không? Có lẽ lịch sử không phải là hoàn toàn thiếu vắng sự lãng mạn.

Thực ra, sự thật thậm chí xem ra còn thú vị hơn. Đường Wilberforce được mang tên cha của Samuel, Đức cha William Wiberforce. William đã có một vị trí đáng ngưỡng mộ trong lịch sử nước Anh, là một trong những nhà lãnh đạo của phong trào bãi nô chống lại chế độ nô lệ của Đế chế Anh.

Cuối cùng thì tôi cũng đến được góc phố giữa Wilberforce và Clarkson. Ấn tượng ban đầu của tôi lại là sự thất vọng khi nhìn thấy Viện Newton. Đó là một tòa nhà kiến trúc hiện đại – không xấu, nhưng được xây dựng theo kiểu hiện đại thông thường, với kính, gạch và sắt thép.

Nhưng sự thất vọng đó đã nhanh chóng chuyển thành sự khâm phục ngay khi tôi bước chân vào tòa nhà. Nó có kiến trúc hoàn hảo phù hợp với mục đích của nó: bàn cãi và trao đổi ý tưởng, những ý tưởng cả cũ lẫn mới, và chưa được thử nghiệm, trong những cuộc tranh luận ác liệt; bầm vằm những học thuyết sai; và tôi đã hy vọng, sẽ gặp và đánh bại kẻ thù của mình ở đây. Có một khu rộng lớn, được lấp đèn sáng trưng với nhiều bộ bàn ghế tiện nghi để viết lách và cả bảng đen trên hầu khắp các bức tường. Một vài tốp đang ngồi xung quanh bàn cà phê, trên mỗi chiếc bàn phủ đầy những mẫu giấy mà các nhà vật lý lý thuyết luôn viết nguệch ngoạc trên đó.

Tôi định nhập hội với Gary Horowitz, Jeff Harvey, và vài người bạn khác, nhưng trước khi tôi làm thế thì xảy ra một chuyện khiến tôi phải chú ý. Một cuộc đối thoại kiểu khác đang diễn ra và tôi không cưỡng nổi ý muốn nghe lỏm. Trong một góc xa của căn phòng, nhà vua đang thiết triều: Stephen, ngồi ở trung tâm, hơi nhướn người trên chiếc ngai cơ khí của mình, đang tiếp một nhóm các nhà báo Anh. Cuộc



Viện Newton

phỏng vấn rõ ràng là không phải về vật lý mà là về Stephen. Khi tôi đến nơi, ông đang nói về tiểu sử của bản thân và chứng bệnh liệt của ông. Câu chuyện cuộc đời ông chắc đã được ghi âm từ trước, nhưng như mọi khi, cái tinh chất nào đó không thể diễn tả nổi trong cá tính khác thường của ông đã át đi cái giọng nói cơ khí vô hồn của ông.

Các nhà báo như bị bỏ bùa mê, mỗi người đều chăm chú quan sát khuôn mặt của Stephen để không bỏ sót bất kỳ một biểu hiện nhỏ nào khi ông kể về cuộc sống của mình trước khi mắc căn bệnh Lou Gehrig. Theo lời chứng thực của ông, những năm đó vô cùng buồn chán, sự buồn chán của một người trẻ tuổi không đi đâu được nữa. Ông lúc đó mới chỉ 20 tuổi, một nghiên cứu sinh vật lý bình thường, không có nhiều thành tích: hơi vô công rồi nghề với một chút tham vọng. Rồi một cơn đột quỵ đầu tiên vào lúc nửa đêm, lời chẩn đoán kinh hoàng, một bản án tử hình chắc chắn. Tất cả chúng ta đều sống dưới một bản án tử hình treo lơ lửng, nhưng trong trường hợp của Stephen thì gần như ngay lập tức: một năm, có thể hai, thậm chí có thể không đủ thời gian để ông hoàn tất luận án tiến sĩ.

Ban đầu, Stephen chìm đắm trong kinh hoàng và tuyệt vọng. Ông luôn gặp phải ác mộng sẽ bị hành hình bất cứ lúc nào. Nhưng sau đó có những chuyện không ngờ tới đã xảy ra. Bằng cách nào đó ý nghĩ về cái chết sắp đến đã được thay thế bằng hy vọng về một sự trì hoãn vài năm. Điều này đã mang lại một động lực mới mẽ mạnh mẽ, bất ngờ của cuộc sống. Sự buồn chán được thay thế bằng khát vọng mãnh liệt sẽ tạo nên dấu ấn của ông trong vật lý, được cưới vợ, sinh con và được trải nghiệm thế giới và tất cả những gì nó ban tặng trong khoảng thời gian còn lại, dù là bao nhiêu đi nữa. Stephen đã nói điều gì đó hơi lạ lùng và không thể quên được đối với các phóng viên, điều mà nếu như người khác nói tôi sẽ không đếm xỉa đến, coi nó như lời của một gã cử nhân khoa học ngây thơ. Ông đã nói rằng bệnh tật – mà ở đây là bệnh bại liệt – lại chính là điều tốt nhất đã xảy đến với ông.

Tôi không phải típ người sùng bái anh hùng. Tôi ngưỡng mộ vài nhà khoa học và nhà văn bởi sự trong sáng và chiều sâu của họ, nhưng tôi không gọi họ là những anh hùng cá nhân. Cho đến ngày hôm đó thì chỉ có một tên tuổi lớn trong số các danh nhân anh hùng của tôi là Nelson Mandela vĩ đại. Nhưng trong khi nghe lỏm cuộc đối thoại ở Viện Newton, tôi bất chợt nhận ra Stephen cũng là một nhân vật anh hùng thực sự: một người đàn ông đủ vĩ đại có thể đi vừa đôi giày của Moby Dick (nếu như cá voi cũng đi giày).

Nhưng tôi cũng nhận thấy – hay là tôi tưởng đã nhận thấy – thật dễ dàng để trở thành một thầy phù thủy thổi sáo với một người đàn ông như Stephen. Tôi xin nhắc bạn nhớ lại về sự im lặng tuyệt đối như trong thánh đường bao trùm toàn bộ giảng đường khi Stephen đưa ra câu trả lời cho một câu hỏi.

Mà không chỉ ở trong môi trường khoa học Stephen mới nhận được sự đối xử như vậy. Có một lần, tôi dùng bữa tối với Stephen,

vợ của ông, Elaine và một trong những học trò xuất sắc nhất của ông, Raphael Bousso. Chúng tôi lúc đó đang ở trung tâm Texas, trong một nhà hàng ven đường thông thường – kiểu mà bạn có thể thấy dọc theo bất kỳ đường cao tốc nào ở Mỹ. Chúng tôi đã bắt đầu ăn – Elaine, Raphael và tôi chuyện trò còn Stephen thì chủ yếu là nghe – thì có một người bồi bàn nhận ra Stephen. Anh ta tiến lại với sự kính sợ, tôn sùng và khiêm nhường của một kẻ mộ đạo khi bất ngờ được gặp giáo chủ trong một bữa tối. Anh ta gần như quỳ xuống dưới chân Stephen, cầu xin được ban phúc, khi anh ta bày tỏ sự ái mộ một cách sâu sắc mà anh ta luôn dành cho nhà vật lý vĩ đại.

Stephen chắc chắn là thích thú làm một người siêu nổi tiếng; đó là một trong vài ba cách thức mà ông có để giao tiếp với thế giới. Nhưng liệu ông có thích thú hay khuyến khích sự tôn kính gần như mang tính chất tôn giáo đó hay không? Không dễ để nói ông nghĩ gì, nhưng tôi đã dành thời gian bên ông đủ nhiều để có thể đọc được những biểu hiện trên khuôn mặt ông, ít nhất là một vài. Biểu hiện rất nhỏ của ông trong nhà hàng Texas hôm đó là sự phiền toái hơn là hài lòng.

Giờ thì tôi sẽ trở lại với mục đích ban đầu của tôi khi tới nước Anh: thuyết phục Stephen rằng niềm tin của ông vào việc thông tin bị biến mất là sai lầm. Không may là việc nói chuyện trực tiếp với Stephen gần như là không thể. Tôi không có đủ kiên nhẫn để chờ vài phút mới có được câu trả lời chỉ vài từ. Nhưng còn có những người khác – như Don Page, Gary Horowitz, và Andy Strominger – có thể dành nhiều thời gian để giao tiếp với ông. Họ còn học được cách giao tiếp với Stephen hiệu quả hơn tôi.

Chiến lược của tôi phụ thuộc vào hai điều. Thứ nhất là các nhà vật lý thích nói chuyện, và tôi rất giỏi trong việc giữ cho cuộc đối thoại được liên tục. Sự thực thì tôi rất có tài khiến các nhà vật lý

muốn kéo đến tham gia vào cuộc tranh luận mà tôi khởi xướng, dù cho họ có thể bất đồng quan điểm với tôi. Mỗi khi tôi đến một bộ môn vật lý nào đó thì thế nào cũng nổ ra những cuộc hội thảo mini, ngay cả ở những nơi yên tĩnh nhất. Vì vậy tôi biết sẽ rất dễ để tụ tập vài người bạn chung của tôi và Stephen (họ *đã* là bạn, dù tôi xem họ như là đối phương trong Cuộc chiến lỗ đen) và bắt đầu một cuộc tranh luận. Tôi cũng chắc chắn rằng Stephen sẽ tham gia – giữ cho ông tránh xa một cuộc tranh luận về vật lý thì cũng giống như giữ mèo tránh xa cây bạc hà (mèo thích cọ mình vào cây bạc hà để diệt rận) – và khi đó thì ông và tôi sẽ xông vào nhau – dốc hết sức lực – cho đến khi một bên phải chấp nhận thua cuộc.

Chiến lược của tôi cũng dựa trên điểm mạnh trong lập luận của tôi và điểm yếu của đối phương. Tôi không hề nghi ngờ là mình cuối cùng sẽ chiến thắng.

Tất cả đều đã diễn ra một cách tuyệt vời, ngoại trừ một chi tiết: Stephen đã không tham gia. Hóa ra là có những lúc ông đặc biệt không được khỏe và chúng tôi ít khi nhìn thấy ông. Vì vậy, cuộc chiến giống hệt như vài năm trước tôi đã trải qua ở Mỹ. Con cá voi đã chuồn mất khi mà tôi chưa kịp nhắm bắn nó.

Một hay hai ngày gì đó trước khi rời Cambridge, tôi được sắp xếp chủ trì một hội thảo chính thức của Viện về Tính bổ sung của lỗ đen. Đây là cơ hội cuối cùng để đối mặt với Stephen. Phòng hội thảo chật ních người. Stephen đến ngay khi tôi vừa bắt đầu và ông ngồi ở phía sau. Thông thường thì ông vẫn ngồi ngay trước bảng đen, nhưng lần này ông không đến một mình; cùng đi còn có y tá và một trợ lý của ông, phòng khi ông cần có sự trợ giúp về y tế. Rõ ràng là ông không được khỏe và đến giữa buổi hội thảo thì ông về. Vậy đấy. Ahab đã để mất cơ hội của mình.

Cuộc hội thảo kết thúc vào khoảng 5 giờ chiều, lúc đó thì tôi đã có quá đủ thời gian ở Viện Newton. Tôi muốn rời khỏi Cambridge ngay. Anne đi thăm một người bạn và cô ấy để tôi lại trong chiếc xe thuê. Thay vì quay trở lại căn phòng của chúng tôi, tôi lái xe sang làng Milton ở gần đó, và dừng ở một quán rượu. Tôi không phải là người hay uống và uống một mình lại càng không phải là sở thích của tôi, nhưng trong trường hợp này, tôi thực sự muốn ngồi lại và uống bia một mình. Đó không phải là trạng thái cô độc mà tôi muốn, chỉ là vì không có nhà vật lý nào mà thôi.

Đó là một quán rượu làng quê điển hình, với một nữ nhân viên phục vụ trung tuổi và một vài khách hàng địa phương ngồi trước quầy bar. Một trong những khách hàng mà tôi đoán là khoảng chừng 80 tuổi, mặc một bộ comple màu nâu và thắt nơ bướm, tựa vào cây batoong. Tôi không tin ông ta là người Ailen, nhưng trông ông rất giống diễn viên Barry Fitzgerald, người đã đóng chung với Bing Crosby trong phim *Going my way* (Fitzgerald đã khắc họa một vị linh mục người Ailen hay gắt gỏng nhưng tốt bụng). Ông này đang tham gia tranh luận một cách hồn hậu với người phục vụ, bà này gọi ông là Lou.

Khá chắc chắn rằng ông không phải là một nhà vật lý, tôi lại gần quầy bar, cạnh Lou và gọi bia. Tôi không nhớ chính xác cuộc nói chuyện bắt đầu như thế nào, nhưng ông ta nói rằng ông đã từng có một thời gian ngắn trong quân đội cho đến khi bị mất một chân trong chiến tranh, mà ở đây có nghĩa là Thế chiến thứ II. Cái chân bị mất có vẻ như không cản trở lắm đến chuyện đứng ở quầy bar.

Cuộc nói chuyện cuối cùng chuyển sang chuyện tôi là ai và tôi làm gì ở Milton. Tôi đang không có hứng thú giải thích về vật lý nhưng tôi không muốn nói dối người đàn ông già cả lịch thiệp này.

Tôi bảo ông là tôi ở Cambridge để dự một cuộc hội thảo về lỗ đen. Rồi thì ông bảo tôi rằng ông chính là một chuyên gia về đề tài này và có thể nói với tôi nhiều thứ mà tôi có thể không biết. Cuộc nói chuyện bắt đầu xoay chuyển theo chiều hướng kỳ quặc. Ông tuyên bố rằng theo truyền thuyết của gia đình, một trong những tổ tiên của ông đã ở trong một lỗ đen nhưng đã thoát ra vào giây phút cuối cùng.

Lỗ đen mà ông ta nói đến là cái gì vậy? Những người có các suy nghĩ quái dị liên quan đến các lý thuyết về lỗ đen đều là những anh chàng tầm phào và thường là rất tẻ nhạt, nhưng người đàn ông này không có vẻ gì là gàn dở cả. Uống một ngụm bia, rồi ông bảo rằng Lỗ đen ở Calcutta đúng là một nơi cực xấu xa, dơ dáy.

Lỗ đen ở Calcutta! Rõ ràng là ông đã nghĩ rằng tôi đến Cambridge để dự cuộc họp về lịch sử Anh-Ấn. Tôi đã nghe nói về cái Lỗ đen ở Calcutta, nhưng tôi không biết nó là cái gì. Ấn tượng hết sức mơ hồ của tôi là nó là một nhà thổ, nơi mà các binh sĩ Anh bất cẩn đã bị cướp bóc và giết chết.

Thay vì giải thích rõ cái tình huống trớ trêu này, tôi đã quyết định để biết càng nhiều càng tốt về cái Lỗ đen độc đáo đó. Câu chuyện này còn gây tranh cãi nhưng nó có vẻ như là một căn hầm, hoặc có thể là một ngục tối, tại một pháo đài Anh đã bị kẻ thù chiếm đóng vào năm 1756. Một số lượng lớn các binh sĩ Anh đã bị nhốt trong hầm qua đêm và có thể vô tình đã bị ngạt thở mà chết. Theo truyền thuyết gia đình thì bảy thế hệ trước đó, một vị tổ tiên của Lou đã thoát chết ở đó trong gang tấc.

Vậy là tôi đã tìm ra một trường hợp, trong đó thông tin thoát được ra khỏi lỗ đen như thế nào. Giá mà Stephen có mặt ở đó để nghe được câu chuyện này.

THẾ GIỚI LÀ BỨC TOÀN ẢNH

Phá vỡ một hình mẫu nổi trội.

NHÌN THẤY TRÊN MỘT TẤM ĐỀ CAN DÁN XE

LÚC RỜI KHỎI CAMBRIDGE, tôi chợt nhận ra rằng sai lầm đó không phải là trách nhiệm của Stephen hay các chuyên gia về thuyết tương đối. Hàng giờ thảo luận, đặc biệt là với Gary Horowitz (H trong CGHS), một chuyên gia có hạng về thuyết tương đối, đã thuyết phục tôi về điều đó. Ngoài việc là một tài năng phi thường về những kỹ thuật của Thuyết tương đối rộng, Gary còn là một nhà tư tưởng sâu sắc, một người luôn muốn tìm hiểu đến tận cùng của sự việc. Ông đã dành nhiều giờ để suy nghĩ về nghịch lý của Stephen, và mặc dù ông đã hiểu rõ những nguy hiểm của sự mất thông tin, song ông đã kết luận rằng Stephen phải đúng – ông không thấy có cách nào để tránh được kết luận rằng thông tin phải bị biến mất khi lỗ đen bốc hơi. Khi tôi giải thích Tính bổ sung của lỗ đen cho Gary (không phải là lần đầu tiên), ông đã hiểu rất rõ rằng nhưng lại cảm thấy nó là một bước quá cấp tiến. Việc thừa nhận những bất định cơ học lượng tử áp dụng ở một thang lớn như lỗ đen có vẻ như khá gượng gạo. Rõ ràng đây *không* phải là vấn đề lười nhác về trí tuệ. Tất cả đều dẫn đến một câu hỏi: bạn tin vào những nguyên lý nào?

Trong chuyến bay rời khỏi Cambridge, tôi nhận ra vấn đề là hiện thực sự còn thiếu một nền tảng toán học vững chắc cho Tính bổ sung của lỗ đen. Ngay cả Einstein cũng không thể thuyết phục được hầu hết các nhà vật lý khác rằng thuyết hạt ánh sáng của ông là đúng. Phải mất 20 năm, sau một thí nghiệm quyết định, và những lý thuyết toán học trừu tượng của Heisenberg và Dirac, vấn đề này mới được khép lại. Rõ ràng, tôi đã cho rằng sẽ không bao giờ có thí nghiệm nào có thể kiểm chứng được Tính bổ sung của lỗ đen. (Và tôi đã sai về điều này). Nhưng có lẽ một nền tảng lý thuyết chặt chẽ hơn thì hoàn toàn có thể.

Trên đường rời khỏi nước Anh, tôi không thể hình dung được rằng chỉ chưa đầy 5 năm, vật lý toán sẽ nắm bắt được một trong những ý tưởng làm xáo trộn nhất về mặt triết học của mọi thời đại: theo một nghĩa nào đó, thì thế giới hình khối ba chiều theo kinh nghiệm chúng ta chỉ là một ảo ảnh. Và tôi cũng còn chưa có ý niệm gì về chuyện sự đột phá triệt để đó sẽ làm thay đổi tiến trình của Cuộc chiến lỗ đen như thế nào.

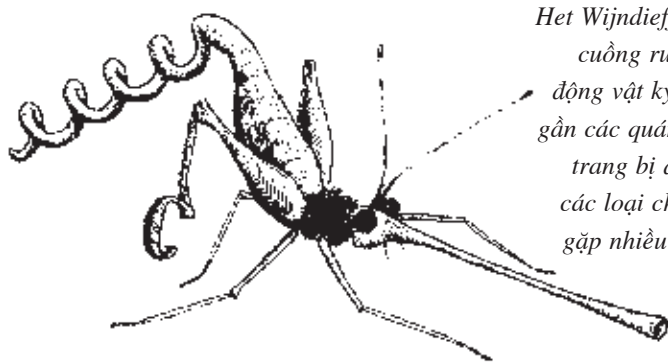
Hà Lan

Tạm biệt, nước Anh già nua vui vẻ. Xin chào, những cối xay gió và những người Hà Lan xuất chúng. Trước khi trở về nhà, tôi vượt qua Bắc Hải để thăm anh bạn Gerard 't Hoof của mình. Sau một chuyến bay ngắn đến Amsterdam, Anne và tôi lái xe đến Utrecht, một thành phố khác với nhiều kênh rạch và những ngôi nhà hẹp, nơi mà Gerard là giáo sư vật lý ở đó. Năm 1994, ông vẫn còn chưa được trao giải Nobel, nhưng ai cũng định ninh rằng điều đó sẽ đến sớm thôi.

Trong số các nhà vật lý, cái tên ‘t Hoof đồng nghĩa với sự vĩ đại trong khoa học và ở Hà Lan, một đất nước mà, theo tôi, có số nhà vật lý vĩ đại bình quân đầu người lớn hơn bất kỳ một đất nước nào khác – ông quả là một kho báu của quốc gia. Vì vậy, khi đến Đại học Utrecht, tôi rất ngạc nhiên trước phòng làm việc khá khiêm tốn của Gerard. Châu Âu mùa hè năm đó khá nóng ẩm, và Hà Lan, vốn nổi tiếng là một xứ lạnh và ẩm ướt, quả là không thể chịu nổi. Văn phòng nhỏ của ‘t Hoof cũng giống như mọi chỗ khác: không hề có máy điều hòa nhiệt độ. Tôi còn nhớ, ông ngồi ở phía nắng chiếu vào cửa tòa nhà, và tôi băn khoăn tự hỏi điều kỳ diệu nào đã bảo vệ cho cái cây lạ màu xanh to lớn của ông không bị chết vì nóng. Vì là khách nên tôi được bố trí ngồi trong góc râm mát hơn của căn phòng, nhưng vẫn quá nóng để làm việc hay thậm chí chỉ là để trao đổi về mối quan tâm chung của cả hai: lỗ đen.

Vào ngày cuối tuần, Gerard, Anne và tôi lên xe của Gerard làm vài vòng quanh các ngôi làng nhỏ gần Utrecht, nơi mà không khí mát mẻ hơn. Giống như nhiều nhà khoa học vĩ đại khác, ‘t Hoof cũng có sự tò mò ghê gớm đối với thế giới tự nhiên – không chỉ về vật lý mà về mọi thứ của tự nhiên. Tò mò về chuyện động vật có thể sẽ tiến hóa như thế nào trong một thế giới bị thống trị bởi sự ô nhiễm đô thị đã khiến ông phác họa nguyên cả một bầy thú tương lai. Dưới đây là một trong những sáng tạo của ông. Bạn có thể xem thêm trên trang web www.phy.uu.nl/~thoof của ông.

‘T Hoof còn là một họa sĩ và nhạc sĩ nghiệp dư. Anne cũng là một họa sĩ và nghệ sĩ chơi dương cầm, nên trong ô tô và suốt bữa trưa ở trong làng với bánh kẹp Hà Lan, nước khoáng lạnh và rất nhiều kem – chúng tôi đã nói về mọi chuyện từ hình dáng của sò



*Het Wijndiefje (trộm rượu), thân
cuồng rượu. Đây là một loại
động vật ký sinh thường thấy ở
gần các quán rượu. Chúng được
trang bị dây dũa để có thể mở
các loại chai và thùng, bạn sẽ
gặp nhiều phiền toái nếu hầm
rượu của bạn bị
chúng tấn công.*

biến và sự tiến hóa của sự sống trong tương lai trên hành tinh bị ô nhiễm đến các họa sĩ Hà Lan và kỹ thuật chơi dương cầm. Nhưng không ai nói gì về lỗ đen cả.

Trong suốt tuần tiếp sau, chúng tôi thảo luận rất ít về vật lý. Gerard là một người thích tranh cãi, và các cuộc nói chuyện của chúng tôi thường theo kiểu như thế này: Gerard, tôi nói, tôi hoàn toàn đồng ý với anh. “Ừ, Gerard đáp, nhưng tôi lại hoàn toàn không đồng ý với anh”.

Có một vấn đề đặc biệt mà tôi muốn nói tới. Đó là điều mà tôi đã ngẫm nghĩ trong gần 25 năm và nó có liên quan đến Lý thuyết dây. Nhưng Gerard không thích Lý thuyết dây, và việc lôi kéo ông nghiên cứu vấn đề này là chuyện phù phiếm. Vấn đề mà tôi muốn đề cập đến là vị trí của từng bit thông tin. Có điều gì đó điên rồ về Lý thuyết dây khi tôi tiếp cận lần đầu tiên vào năm 1969, nhưng nó điên rồ đến mức các nhà lý thuyết dây thậm chí không muốn nghĩ về nó.

Lý thuyết dây phát biểu rằng mọi thứ trong thế giới này đều được cấu tạo bởi những sợi dây đàn hồi một chiều, vô cùng nhỏ bé. Các hạt cơ bản như photon và electron là những vòng dây vô cùng nhỏ, mà mỗi vòng đều không lớn hơn nhiều so với kích

thuộc Planck. (Đừng lo nếu như bạn còn chưa nắm được các chi tiết. Trong chương sau, tôi sẽ giới thiệu với các bạn những ý tưởng chính. Giờ thì cứ tạm chấp nhận giả thuyết này đã).

Nguyên lý bất định làm cho các dây này dao động và thăng giáng với chuyển động điểm zêrô (xem Chương 4), ngay cả khi chúng không có chút năng lượng nào. Các phần khác nhau của cùng một dây đều chuyển động thường xuyên đối với nhau, kéo giãn và trải những phần nhỏ bé đó trên một khoảng cách nào đó. Bản thân sự trải rộng này không thành vấn đề; vì các electron trong một nguyên tử được phân bố trong một thể tích lớn hơn nhiều so với hạt nhân, nguyên nhân cũng chính là do chuyển động điểm zêrô mà ra. Tất cả các nhà vật lý từ lâu đã coi các hạt cơ bản là những điểm vô cùng nhỏ trong không gian. Tất cả chúng ta đều cho rằng electron, photon và các hạt cơ bản khác ít nhất thì cũng lớn bằng kích thước Planck và có thể lớn hơn. Vấn đề là ở chỗ toán học của Lý thuyết dây lại hàm ý một trường hợp thăng giáng lượng tử dữ dội đến vô lý, trong đó các thăng giáng mạnh đến mức khiến cho các mảnh của một electron có thể trải ra đến tận giới hạn của vũ trụ. Đối với hầu hết các nhà vật lý, bao gồm cả các nhà lý thuyết dây, thì có vẻ như điều đó là quá điên rồ, không thể tưởng tượng nổi.

Làm thế nào mà một electron có thể lớn bằng cả vũ trụ mà chúng ta lại không nhận ra điều đó? Bạn có thể tự hỏi điều gì đã giữ cho các dây trong cơ thể bạn tránh khỏi va đập hay cuốn vào những sợi dây trong cơ thể tôi, ngay cả khi chúng ta cách xa nhau hàng trăm dặm. Câu trả lời không hề đơn giản. Trước hết, các thăng giáng là rất nhanh, ngay cả ở thang thời gian cực nhỏ như thời gian Planck. Nhưng chúng cũng được điều chỉnh một cách rất tinh tế, sao cho những thăng giáng của một dây ăn khớp một cách rất tinh

vi với những thăng giáng của dây thứ hai theo một cách đúng đắn nào đó khiến cho các hiệu ứng xấu bị triệt tiêu. Tuy nhiên, nếu bạn có thể quan sát được những chuyển động điểm zêrô nhanh nhất ở bên trong một hạt cơ bản, thì bạn sẽ phát hiện ra rằng các bộ phận của nó đều thăng giáng về phía mép của vũ trụ. Ít nhất thì đó là theo những gì mà Lý thuyết dây khẳng định.

Hành vi quái lạ này nhắc tôi nhớ tới câu chuyện đùa của tôi với Lárus Thorlacius (xem trang 287), tôi đã nói rằng thế giới bên trong một lỗ đen có thể giống như một bức toàn ảnh, với các thông tin thực sự ở rất xa trên chân trời hai chiều. Nếu bạn quan tâm một cách nghiêm túc thì Lý thuyết dây thậm chí còn đi xa hơn thế. Nó đặt mọi bit thông tin, dù là trong lỗ đen hay trên trang giấy in báo, tại mép ngoài của vũ trụ, hay tại “vô cùng” nếu vũ trụ không có giới hạn.

Mỗi lần tôi định thảo luận vấn đề này với ‘t Hoof thì chúng tôi lại mắc ngay từ đầu. Nhưng ngay trước khi tôi rời Utrecht để về nhà, Gerard đã nói một điều khiến tôi giật mình. Ông bảo rằng nếu chúng ta có thể quan sát được các chi tiết ở kích thước Planck trên bức tường văn phòng của ông thì về nguyên tắc, chúng sẽ chứa mọi bit thông tin về bên trong của căn phòng. Tôi không nhắc ông sử dụng từ *toàn ảnh*, nhưng rõ ràng là ông đang nghĩ về cùng một vấn đề như tôi: theo một cách nào đó mà chúng ta chưa hiểu, mọi bit thông tin của thế giới được lưu giữ rất xa tại biên giới xa nhất của không gian. Thực tế thì ông đã vượt lên trước tôi: ông đã nhắc tới một bài báo, công bố vài tháng trước, trong đó ông đã suy xét đến ý tưởng đó.

Cuộc nói chuyện dừng lại ở đó và chúng tôi không nói nhiều về lỗ đen trong suốt hai ngày cuối cùng của tôi ở Hà Lan. Nhưng khi trở lại khách sạn vào tối hôm đó, tôi đã tìm ra luận cứ chi tiết chứng minh cho ý tưởng này: lượng thông tin tối đa có thể chứa

trong bất kỳ vùng không gian nào không thể lớn hơn lượng thông tin có thể được lưu giữ trên biên của vùng đó, với không quá một phần tư bit trên một diện tích Planck.

Giờ thì tôi sẽ bình luận về con số *một phần tư* vẫn luôn xuất hiện ở khắp mọi nơi. Tại sao lại là *một phần tư bit trên một diện tích Planck* mà không phải là một bit *trên một diện tích Planck*? Câu trả lời là rất tầm thường. Về lịch sử thì đơn vị Planck được định nghĩa rất sơ sài. Thực tế, thì các nhà vật lý cần quay trở lại và định nghĩa lại đơn vị Planck để sao cho bốn diện tích Planck thành một diện tích Planck. Tôi sẽ làm trước vậy, và từ bây giờ, quy tắc sẽ được viết lại thành:

Entropi tối đa trong một vùng không gian là một bit trên một diện tích Planck.

Hãy trở lại với Ptolemy mà chúng ta đã gặp ở Chương 7. Tại đó chúng ta đã tưởng tượng rằng ông ta sợ những âm mưu tới mức các thông tin duy nhất được phép có trong thư viện của ông phải nhìn thấy được từ bên ngoài. Vì vậy, nó phải được viết trên mặt ngoài của các bức tường. Với một bit trên một diện tích Planck, thư viện của Ptolemy có thể lưu giữ được tối đa là 10^{74} bit. Lượng thông tin khổng lồ đó, lớn hơn rất nhiều so với một thư viện thực sự có thể lưu trữ, nhưng lại nhỏ hơn rất nhiều so với 10^{109} bit kích thước Planck có thể nhồi vào bên trong thư viện của ông. Điều mà ‘t Hoof dự đoán và tôi đã chứng minh được trong phòng khách sạn của mình chính là cái đạo luật tưởng tượng của Ptolemy thực ra là tương ứng với giới hạn vật lý thật sự đối với lượng thông tin mà một vùng không gian có thể lưu giữ.

Pixel và Voxel

Một máy ảnh kỹ thuật số hiện đại không cần phải dùng đến phim. Nó có một “võng mạc” hai chiều chứa các ô diện tích nhạy sáng cực nhỏ, được gọi là *pixel* (*điểm ảnh*). Các hình ảnh, dù là những bức ảnh kỹ thuật số hiện đại hay là những bức tranh thời cổ đại vẽ trong các hang động, thì đều là giả cả; chúng đánh lừa chúng ta trong chuyện nhìn thấy những cái không có ở đó, khi vẽ nên những hình ảnh ba chiều trong khi chúng chỉ chứa những thông tin hai chiều mà thôi. Trong bức tranh *Buổi học giải phẫu*, Rembrandt đã đánh lừa chúng ta trong chuyện nhìn thấy cả chất liệu, các lớp và chiều sâu, trong khi thực sự chỉ là một lớp sơn mỏng trên tấm *toil* hai chiều.



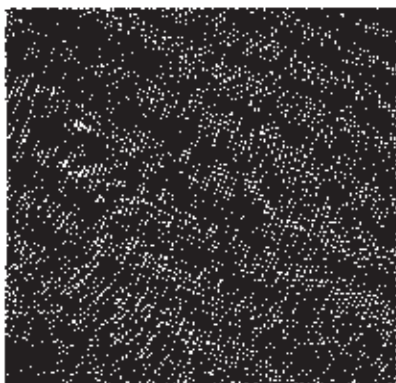
Tại sao cái mẹo lừa này lại thành công? Tất cả đều diễn ra trong não, nơi các dòng điện chuyên biệt tạo nên một ảo ảnh dựa trên trải nghiệm trước đó: bạn thấy cái mà não đã được tập luyện để nhìn thấy. Thực tế, thông tin trên bức tranh không đủ để nói cho bạn biết chân của người chết là thực sự ở gần bạn hơn hay chỉ là nó quá to so với phần còn lại của cơ thể ông ta. Liệu cơ thể của ông ta có bị làm cho ngắn đi hay ông ta thực sự rất lùn? Các cơ

quan nội tạng, máu và ruột bên dưới da ông ta tất cả đều hiện rõ trong đầu bạn. Với tất cả những gì bạn biết, thì người đàn ông đó không phải là người thật, mà chỉ là một hình nộm bằng thạch cao – hoặc thậm chí chỉ là một bức tranh hai chiều. Bạn có muốn biết người ta viết cái gì trên mảnh giấy phía sau đầu người đàn ông cao nhất? Hãy thử đi vòng quanh bức tranh để nhìn cho rõ hơn. Xin lỗi, thông tin không có ở đó. Hình ảnh trên màn hình chứa đầy các *pixel* trong máy chụp ảnh của bạn cũng không chứa những thông tin ba chiều thực sự; nó hầu như cũng chỉ là giả mà thôi.

Vậy liệu có thể tạo dựng một hệ thống điện tử lưu trữ được thông tin ba chiều thực sự hay không? Tất nhiên là có. Thay vì phủ lên bề mặt các *pixel* hai chiều, hãy tưởng tượng lấp đầy một thể tích không gian bằng những ô nhạy sáng ba chiều cực nhỏ, mà đôi khi được gọi là các *voxel* (điểm ảnh ba chiều). Vì sự sắp xếp của các *voxel* thực sự là ba chiều nên dễ dàng hình dung các thông tin được mã hóa có thể biểu thị một cách trung thực một hình khối của thế giới ba chiều như thế nào. Điều này dễ khiến ta phỏng đoán một nguyên lý: thông tin hai chiều có thể được lưu giữ trong một tập hợp hai chiều của các *pixel*, còn thông tin ba chiều chỉ có thể được lưu giữ trong một tập hợp ba chiều của các *voxel*. Chúng ta cũng có thể đặt cho nó một cái tên, đại loại như *Nguyên lý bất biến số chiều*.

Chính sự đúng đắn bề ngoài của nguyên lý này đã làm các bức ảnh toàn ký (hay toàn ảnh) trở nên hết sức đáng kinh ngạc. Một bức ảnh toàn ký là một tấm phim hai chiều hoặc một tập hợp hai chiều của các *pixel*, nhưng lại có thể chứa đầy đủ các chi tiết của một cảnh ba chiều. Đây không phải là một hình ảnh giả mạo được tạo nên trong não của bạn. Mà là thông tin thực sự nằm ở đó, trên tấm phim.

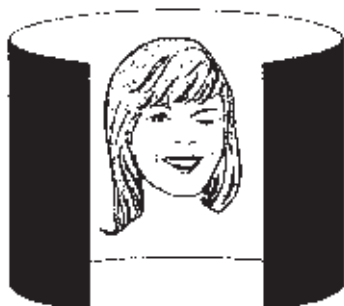
Nguyên lý của cửa ảnh toàn ký thông thường lần đầu tiên đã được nhà vật lý người Hungary là Dennis Gabor phát minh vào năm 1947. Các bức ảnh toàn ký là những bức ảnh khác thường gồm các hình mẫu giao thoa đan chéo và sọc vằn tương tự như hình giao thoa tạo nên khi ánh sáng đi qua hai khe hẹp. Trong một bức ảnh toàn ký, hình mẫu giao thoa này không phải được tạo bởi các khe hẹp, mà là bởi ánh sáng tán xạ từ các phần khác nhau của vật cần chụp ảnh. Phim ảnh trong trường hợp này chứa các thông tin dưới dạng các vết sáng và tối cực kỳ nhỏ. Nó trông không có gì giống với một vật thể ba chiều thực thụ; dưới kính hiển vi, tất cả những gì bạn có thể nhìn thấy là những tiếng ồn¹ quang học ngẫu nhiên, tương tự như hình bên:



Các vật thể ba chiều được tách ra thành từng phần rồi ghép trở lại với nhau thành một thứ được trộn lộn hoàn toàn dưới dạng hai chiều. Chỉ bằng các trộn lộn đó mà một mảnh của thế giới ba chiều có thể được biểu thị một cách trung thực trên một bề mặt hai chiều.

Sự trộn lộn có thể được đảo ngược lại, miễn là bạn biết thủ thuật làm chuyện đó. Thông tin là ở đó, trên tấm phim, và nó có thể được tái tạo lại. Ánh sáng được chiếu lên hình mẫu bị trộn lộn sẽ bị tán xạ, rồi tự dựng lại thành một hình ảnh ba chiều rất thực, lơ lửng trong không trung.

¹ Thuật ngữ *tiếng ồn* ở đây không liên quan gì đến âm thanh cả. Nó dùng để chỉ những thông tin ngẫu nhiên, không có cấu trúc, chẳng hạn như những tiếng ồn (nhiều) trắng trên màn hình tivi bị hư.



Thực tại ma quái của hình ảnh toàn ký có thể được nhìn thấy từ mọi góc độ và trông hình khối y như thật. Với công nghệ đúng đắn, Ptolemy có thể phủ toàn bộ các bức tường thư viện của ông bằng những *pixel* chứa hình ảnh toàn ký của hàng ngàn cuộn giấy da. Trong điều kiện ánh sáng phù hợp, những cuộn giấy này sẽ hiện lên như những hình ảnh ba chiều ở bên trong thư viện của ông.

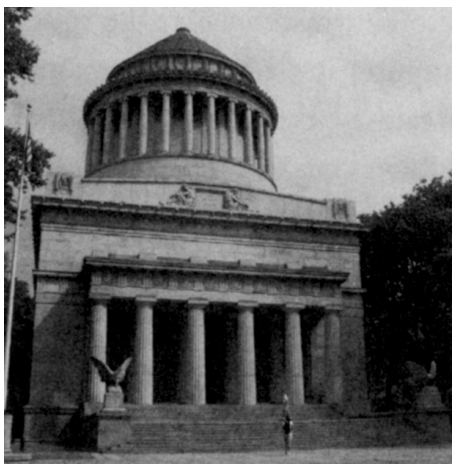
Bạn có thể nghĩ là tôi đang đưa bạn tới một lãnh địa hoàn toàn xa lạ, nhưng đó là toàn bộ phần của quá trình thay đổi lại nhận thức mà các nhà vật lý một lần nữa đang phải trải qua. Và đây là kết luận mà tôi và ‘t Hooft sau quá trình đó đã đạt được: thế giới ba chiều của kinh nghiệm thông thường, tức vũ trụ với các thiên hà, sao, hành tinh, các ngôi nhà, những tảng đá, và con người – là một bức ảnh toàn ký, một hình ảnh của thực tại được mã hóa trên bề mặt hai chiều ở rất xa. Định luật mới này của vật lý, được gọi là *Nguyên lý toàn ảnh*, khẳng định rằng mọi thứ ở bên trong một vùng không gian đều có thể được mô tả bởi các bit thông tin được giới hạn ở mặt biên của vùng không gian đó.

Để dễ hình dung, hãy xét căn phòng mà tôi đang làm việc. Tôi ngồi trên ghế, máy tính ở phía trước và mặt bàn thì bề bộn những chồng giấy tờ cao ngất. Tôi sợ phải bỏ chúng đi, nên tất cả

các thông tin đó được mã hóa một cách chính xác thành các bit Planck, quá nhỏ để có thể nhìn thấy nhưng phủ dày đặc các bức tường căn phòng của tôi. Hoặc thay vì thế, bạn hãy nghĩ về mọi thứ trong vòng một triệu năm ánh sáng xung quanh Mặt trời. Vùng không gian đó cũng có biên – không phải là những bức tường vật chất, mà là một vỏ bọc toán học tưởng tượng có chứa mọi thứ bên trong nó: khí giữa các vì sao, sao, hành tinh, con người và tất cả những gì còn lại. Cũng giống như trước, mọi thứ bên trong cái vỏ bọc khổng lồ đó là hình ảnh của các bit cực nhỏ trải trên khắp cái vỏ này. Hơn nữa, số các bit cần thiết tối đa là một bit trên một diện tích Planck. Điều này cứ như thể mặt biên – các bức tường của căn phòng hay cái vỏ bọc toán học – được tạo bởi các *pixel* nhỏ xíu, mỗi *pixel* chiếm một độ dài Planck vuông, và mọi thứ diễn ra bên trong vùng không gian này là một bức ảnh toàn ký của mặt biên phủ đầy các *pixel* đó. Nhưng cũng như trường hợp bức ảnh toàn ký thông thường, thông tin được mã hóa trên một mặt biên ở xa là một biểu diễn rất xáo trộn của vật gốc ba chiều ban đầu.

Nguyên lý toàn ảnh là một sự giã từ đầy sững sốt những gì mà chúng ta đã quen thuộc trong quá khứ. Thông tin được phân bố khắp *thể tích* của không gian dường như là hiển nhiên đến mức khiến chúng ta khó mà tin rằng điều đó lại có thể là sai. Nhưng thế giới không phải được tạo bởi các *voxel*, mà chỉ là bởi các *pixel*, và toàn bộ thông tin đều được lưu trữ trên biên của không gian. Nhưng đó là biên nào và không gian nào?

Trong Chương 7, tôi đã nêu ra câu hỏi: Đây là thông tin Grant được an táng trong Mộ của Grant? Sau khi loại bỏ một vài câu trả lời sai, tôi đã kết luận rằng thông tin chính là ở trong Mộ của Grant. Nhưng điều đó có thực sự là đúng không? Hãy bắt đầu với vùng



không gian ở bên trong quan tài của Grant. Theo Nguyên lý toàn ảnh, những gì còn lại của Grant là một ảo ảnh toàn ký – một hình ảnh tái tạo từ những thông tin chứa trên các vách quan tài. Thêm vào đó, những gì còn lại, và bản thân chiếc quan tài, cũng được chứa trên các bức tường của vùng không gian lớn hơn được gọi là Mộ của Grant.

Vậy những gì còn lại của Grant, của Julia – vợ ông, của quan tài và các khách du lịch đến viếng thăm họ, tất cả đều là các hình ảnh của thông tin chứa trên các bức tường của ngôi mộ đó.

Nhưng tại sao lại dừng ở đó? Hãy hình dung một mặt cầu lớn bao bọc toàn bộ hệ mặt trời. Grant, Julia, quan tài, khách du lịch, ngôi mộ, Trái đất, Mặt trời và chín hành tinh (kể cả Diêm vương tinh), tất cả đều được mã hóa thành thông tin chứa trên bề mặt quả cầu khổng lồ đó. Và cứ như vậy cho đến khi chúng ta xét đến biên của vũ trụ hoặc là đến vô cùng.

Rõ ràng là câu hỏi một bit thông tin cụ thể nào đó nằm ở đâu không có một câu trả lời duy nhất. Cơ học lượng tử thông thường đưa ra một mức độ bất định cho những câu hỏi kiểu như vậy. Trừ phi chúng ta nhìn vào một hạt, hay vào bất kỳ vật thể nào khác, còn nếu không đều có sự bất định lượng tử về vị trí của nó. Nhưng khi một vật được quan sát thì chúng ta đều sẽ nhất trí là vật đó ở đâu. Nếu vật đó là một nguyên tử trên cơ thể của Grant, thì Cơ

học lượng tử thông thường sẽ làm cho vị trí của nó hơi bị bất định, nhưng không thể đặt nó nằm ở mép của không gian, hay thậm chí trên các vách quan tài của ông. Nhưng nếu việc hỏi một bit thông tin cụ thể nằm ở đâu không phải là một câu hỏi đúng, thì hỏi như thế nào mới là đúng?

Khi chúng ta cố gắng ngày một chính xác hơn, đặc biệt là khi xét đến cả hấp dẫn và Cơ học lượng tử, thì chúng ta bị dẫn đến một biểu diễn toán học có liên quan đến các hình mẫu của các *pixel* nhảy múa trên màn ảnh hai chiều ở xa và một mật mã bí mật để phiên dịch những hình mẫu đã bị xáo trộn thành những hình ảnh ba chiều rõ ràng. Nhưng tất nhiên, không có màn ảnh được phủ bởi các *pixel* bao quanh mọi vùng không gian. Quan tài của Grant là một phần của Ngôi mộ Grant, đến lượt nó lại là một phần của hệ Mặt trời, hệ này lại được chứa trong một mặt cầu kích cỡ thiên hà bao bọc quanh dải Ngân Hà... cho đến khi toàn bộ vũ trụ cũng được bao quanh. Ở mỗi cấp độ, mọi thứ ở bên trong có thể được mô tả bằng một hình ảnh toàn ký, nhưng khi chúng ta muốn tìm kiếm bức toàn ảnh đó thì nó lại luôn ở cấp độ tiếp theo¹.

¹ Nguyên lý toàn ảnh đặt ra rất nhiều câu hỏi – kiểu câu hỏi mà người ta có đọc thấy trong *Những câu chuyện kỳ quái* hay một tạp chí khoa học viễn tưởng nào đó của những năm 1950. “Liệu thế giới của chúng ta có phải là ảo ảnh ba chiều của một thế giới của những *pixel* hai chiều nào đó, có lẽ, được lập trình trên một máy tính lượng tử cỡ vũ trụ nào đó hay không?” Thậm chí còn lý kỳ hơn, “Liệu những nhà nghiệp dư tương lai có thể mô phỏng thực tại trên một màn hình các *pixel* lượng tử và trở thành chủ nhân của những vũ trụ của riêng họ hay không?” Câu trả lời cho cả hai câu hỏi là có – nhưng...

Chắc chắn rằng, thế giới cũng có thể hoàn toàn ở trong một máy tính lượng tử tương lai nào đó, nhưng tôi không cho rằng Nguyên lý toàn ảnh thêm được gì nhiều cho ý tưởng này, ngoại trừ điều là số các phần tử của mạch điện sẽ phần nào đó có thể nhỏ hơn ta tưởng. Sẽ cần tới 10^{180} phần tử mới lấp đầy vũ trụ. Những người xây nên thế giới tương lai có thể được an ủi là, nhờ có Nguyên lý toàn ảnh, họ sẽ chỉ cần tới 10^{120} *pixel* thôi. (Để so sánh thì một chiếc máy ảnh kỹ thuật số có khoảng vài triệu *pixel*).

Nguyên lý toàn ảnh đã là điều kỳ lạ rồi, nhưng kỳ lạ hơn là chính nguyên lý này đã trở thành một bộ phận của dòng chủ lưu của vật lý lý thuyết. Nó không còn chỉ là sự tư biện về hấp dẫn lượng tử; mà đã trở thành một công cụ làm việc hằng ngày, trả lời các câu hỏi không chỉ về hấp dẫn lượng tử mà còn về những thứ tầm thường như hạt nhân nguyên tử (xem Chương 23).

Mặc dù Nguyên lý toàn ảnh là một sự tái cấu trúc mạnh mẽ các định luật của vật lý, song sự chứng minh lại không đòi hỏi một thứ toán học gì cao siêu cả. Bắt đầu từ một vùng không gian hình cầu được



phác họa bởi một biên toán học ảo. Vùng này có chứa một số “thứ”, bất kỳ thứ gì – khí hiđrô, photon, bơ, rượu, gì cũng được – chùng nào mà nó không tràn ra ngoài biên. Tôi gọi chung chúng là vật chất.

Thứ có khối lượng lớn nhất mà ta có thể nhét vào được một vùng không gian là một lỗ đen, với chân trời của nó trùng với biên. Các thứ vật chất khác phải có khối lượng không được lớn hơn nó, vì nếu không sẽ tràn ra ngoài biên, nhưng liệu có một giới hạn nào đối với số các bit thông tin trong các thứ đó không? Đó chính là điều mà chúng tôi quan tâm: xác định số bit tối đa có thể được chứa bên trong hình cầu.

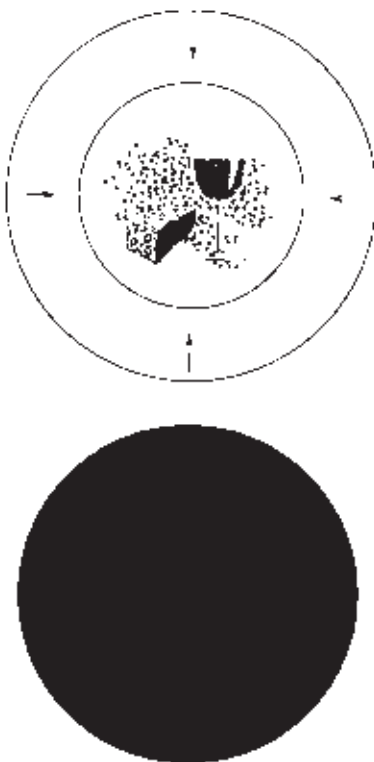
Tiếp theo hãy tưởng tượng một vỏ cầu, không phải là thứ vỏ tưởng tượng mà là bằng vật chất thực thụ, bao quanh toàn bộ cấu trúc. Vỏ bọc, do được tạo bởi vật chất thực thụ nên có cả khối lượng riêng của nó. Nhưng dù vỏ được tạo bởi thứ gì đi nữa, thì nó cũng có thể bị

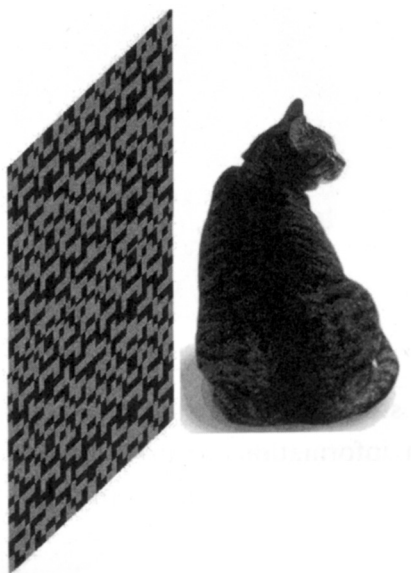
nén lại bởi các áp lực bên ngoài hoặc lực hút hấp dẫn của các vật chất bên trong, cho đến khi nó hoàn toàn vừa vặn với vùng không gian đang xét.

Bằng cách điều chỉnh khối lượng của vỏ bọc, ta có thể tạo ra chân trời trùng với biên của vùng không gian đang xét.

Vật chất ban đầu mà chúng ta đã xét ở trên có một lượng entropy nhất định – những thông tin ẩn giấu – mà giá trị của chúng, chúng ta còn chưa chỉ rõ. Nhưng entropy *cuối cùng* thì chúng ta biết chắc chắn: đó là entropy của lỗ đen – tức diện tích của nó tính theo đơn vị Planck.

Để hoàn tất lập luận, chúng ta chỉ cần nhớ rằng Nguyên lý thứ hai của Nhiệt động lực học phát biểu rằng entropy luôn tăng. Như vậy, entropy của lỗ đen phải lớn hơn entropy của vật chất ban đầu. Kết hợp tất cả lại với nhau, chúng ta đã chứng minh được một thực tế đáng kinh ngạc là: số bit thông tin tối đa có thể chứa trong một vùng không gian đúng bằng số các *pixel* kích thước Planck có thể được sắp xếp trên biên. Điều này ngụ ý là có một “sự mô tả trên biên” về mọi thứ có bên trong vùng không gian; mặt biên là một bức ảnh toàn ký của phần bên trong ba chiều. Với tôi thì đây là loại lập luận tốt nhất: một vài nguyên lý cơ bản, một thí nghiệm tưởng tượng, và một kết luận có ảnh hưởng sâu rộng.





Còn có một cách khác để hình dung Nguyên lý toàn ảnh. Nếu mặt cầu biên là rất lớn, thì mọi phần nhỏ của nó sẽ trông giống như một mặt phẳng. Trong quá khứ, con người đã từng bị lừa bởi kích thước quá lớn của Trái đất nên nghĩ rằng nó là phẳng. Đối với một trường hợp thậm chí còn cực đoan hơn nhiều, giả sử biên là một mặt cầu với đường kính hàng tỉ năm ánh sáng. Đối với một điểm ở bên trong hình cầu

nhưng chỉ cách biên khoảng vài năm ánh sáng, thì mặt cầu dường như là phẳng. Điều đó có nghĩa là mọi thứ bên trong cách biên vài năm ánh sáng có thể được xem như là một bức ảnh toàn ký trên một mặt phẳng của các *pixel*.

Tất nhiên, bạn không nên nghĩ rằng tôi đang nói về một bức ảnh toàn ký thông thường. Không cần phải nói rằng sự sâu sù của tấm phim ảnh thông thường thô hơn nhiều so với tấm chứa các *pixel* có kích thước Planck. Hơn nữa, loại ảnh toàn ký mới này có thể thay đổi theo thời gian; nó là loại ảnh toàn ký điện ảnh.

Nhưng sự khác biệt lớn nhất là ở chỗ ảnh toàn ký của chúng ta tuân theo cơ học lượng tử. Nó rung rinh và mờ nhòe do sự bất định của một hệ lượng tử, cốt để cho hình ảnh ba chiều có những thăng giáng lượng tử. Tất cả chúng ta đều được tạo bởi các bit di chuyển với những chuyển động lượng tử phức tạp, nhưng khi quan

sát thật gần các bit đó, chúng ta thấy rằng chúng được đặt ở những biên xa nhất của không gian. Tôi không biết có điều gì về thế giới ít mang tính trực giác hơn điều này. Có thể nói, Nguyên lý toàn ảnh, có lẽ, là thách thức lớn nhất mà chúng tôi, những nhà vật lý, đã gặp phải kể từ khi khám phá ra Cơ học lượng tử.

Không hiểu tại sao mà bài viết của ‘t Hooft, hoàn thành trước bài viết của tôi vài tháng, lại bị số đông không để ý tới. Có lẽ phần nào là do nhan đề của nó, *“Sự giảm số chiều trong hấp dẫn lượng tử”*. Thuật ngữ “Giảm số chiều” nghe có vẻ như là một thuật ngữ vật lý mang tính kỹ thuật có một ý nghĩa nghĩa hoàn toàn khác với ý đồ của ‘t Hooft. Tôi chắc chắn rằng bài viết của tôi sẽ không phải chịu chung số phận như vậy. Tôi đã đặt tên cho nó là *“Thế giới như là một bức toàn ảnh”*.

Tính bổ sung của lỗ đen và Nguyên lý toàn ảnh có thể thuộc loại các ý tưởng – sự tồn tại của các nguyên tử là một ví dụ khác – mà các nhà vật lý và triết học phải tranh luận hàng trăm năm. Tạo ra và nghiên cứu lỗ đen trong phòng thí nghiệm cũng khó ngang với việc người Hy Lạp cổ đại nhìn thấy nguyên tử. Nhưng trong thực tế, chỉ mất chưa đến 5 năm đã có được sự đồng thuận. Sự chuyển đổi hình mẫu này thực chất đã diễn ra như thế nào? Thứ vũ khí đã đưa cuộc chiến tranh này đến kết thúc chủ yếu là thứ toán học chính xác của Lý thuyết dây.

PHẦN IV

Kết thúc cuộc đấu

VŨ KHÍ SUY LUẬN RA HÀNG LOẠT

Thực sự thì thậm chí tôi còn chưa sẵn sàng để gọi Lý thuyết dây là một “lý thuyết” thay vì là một “mô hình” hay thậm chí chỉ là một linh cảm. Xét cho cùng thì một lý thuyết cần phải kèm theo các chỉ dẫn làm thế nào sử dụng nó để xác định được những thứ mà ta muốn mô tả, trong trường hợp của chúng ta thì đó là các hạt cơ bản, và người ta, chỉ ít là về nguyên tắc, cần có khả năng phát biểu các quy tắc để tính toán những tính chất của các hạt đó, và làm thế nào để đưa ra được những tiên đoán mới về chúng. Hãy thử hình dung tôi đưa cho bạn một cái ghế, rồi giải thích rằng chân ghế bị mất và chỗ ngồi, chỗ dựa lưng và thành ghế có thể sẽ được chuyển đến sớm; liệu cái mà tôi đưa cho bạn đó có thể gọi là một cái ghế hay không?

GERARD T' HOOFT

BẢN THÂN NGUYÊN LÝ TOÀN ẢNH vẫn chưa đủ để giành chiến thắng trong Cuộc chiến lỗ đen. Nó vẫn còn mơ hồ và thiếu một cơ sở toán học vững chắc. Phản ứng đối với nó là sự nghi ngờ: Vũ trụ mà là một bức ảnh toàn ký sao? Nghe cứ như truyện khoa học viễn tưởng vậy. Trong khi nhà vật lý tương lai hư cấu Steve đang vượt sang “phía bên kia” thì hoàng đế và bá tước đứng quan sát anh ta đang bị hiến tế? Nghe cứ như chuyện tâm linh vậy.

Vậy điều gì đã lấy cái ý tưởng phụ, một cái gì đó có lẽ đã nằm ngủ nhiều năm, đột nhiên làm cho cán cân nghiêng về phía nó? Trong vật lý học, điều này thường xảy ra mà không hề báo trước. Một sự kiện quan trọng, đầy kịch tính bỗng nhiên thu hút được sự chú ý của một số lượng lớn các nhà vật lý, và chỉ trong một thời gian ngắn, cái điều lạ lùng, kỳ diệu, không thể nào nghĩ đến ấy bỗng trở nên bình thường.

Đôi khi đó là một kết quả từ thí nghiệm. Thuyết hạt ánh sáng của Einstein đã được thừa nhận rất chậm chạp, vì hầu hết các nhà vật lý tin rằng, cuối cùng rồi thế nào cũng có một sự thay đổi mới mẻ nào đó sẽ cứu được thuyết sóng. Nhưng vào năm 1923, Arthur Compton đã cho các tia X tán xạ trên các nguyên tử cacbon và cho thấy hình mẫu các góc và năng lượng rõ ràng là của các hạt va chạm nhau. Kể từ khi có tuyên bố của Einsteins đến thí nghiệm của Compton kéo dài tới 18 năm, nhưng chỉ trong vòng vài tháng, sự phản đối thuyết hạt ánh sáng đã bay biến mất tăm.

Một kết quả toán học, mà đặc biệt là khi nó bất ngờ, cũng có thể là một chất xúc tác. Các yếu tố cơ bản của Mô hình chuẩn (của vật lý hạt cơ bản) đã có từ giữa những năm 1960, nhưng đã có nhiều tranh cãi – một số trong đó là từ ngay những người sáng tạo ra lý thuyết đó – rằng các cơ sở toán học của nó còn chưa thật nhất quán. Sau đó, vào năm 1971, một nghiên cứu sinh trẻ, chưa ai biết đến, sau khi tiến hành một tính toán vô cùng phức tạp và tinh vi, đã tuyên bố rằng các chuyên gia đã sai lầm. Chỉ trong một thời gian ngắn, Mô hình chuẩn thực sự đã trở thành tiêu chuẩn, và người sinh viên không tiếng tăm kia – chính là Gerard t' Hooft – đã vụt lóe sáng giữa bầu trời vật lý học như một ngôi sao sáng nhất.

Một ví dụ khác chứng tỏ toán học có thể làm nghiêng cán cân về phía một ý tưởng “lập dị” như thế nào, đó chính là tính toán

hiệt độ của lỗ đen của Stephen Hawking. Đáp lại lúc đầu trước tuyên bố của Bekenstein nói rằng lỗ đen có entropy là thái độ hoài nghi và thậm chí là nhạo báng, đặc biệt là từ Hawking. Nhớ lại hồi đó, những lập luận của Bekenstein là rất tuyệt vời nhưng vào lúc ấy, chúng còn quá mù mờ và ít sức thuyết phục, và nhất là chúng lại dẫn đến một kết luận tưởng như vô lý: lỗ đen bốc hơi. Chính những tính toán mang tính kỹ thuật đầy khó khăn của Hawking đã chuyển đổi hình mẫu lỗ đen từ một ngôi sao chết, lạnh thành một vật thể nóng sáng bởi nhiệt ở bên trong của nó.

Những sự kiện quan trọng mà tôi vừa mô tả cùng có chung vài đặc điểm. Trước hết, chúng đều bất ngờ đến kinh ngạc. Một kết quả hoàn toàn không lường trước được, dù là toán học hay thực nghiệm, là những thứ có sức thu hút sự chú ý rất mạnh. Thứ hai, với một kết quả toán học, càng mang tính kỹ thuật, chính xác, phi trực giác, và khó khăn bao nhiêu thì càng gây sốc cho con người trong việc nhận ra giá trị của một lối tư duy mới. Một phần của lý do đó là bởi những tính toán phức tạp rất có thể mắc sai lầm ở đâu đó. Thoát khỏi được những nguy hiểm tiềm ẩn đó khiến chúng rất khó có thể bị lờ đi được. Những tính toán của cả 't Hooft và Hawking đều có tính chất này.

Thứ ba, các hình mẫu thay đổi khi những ý tưởng mới cung cấp thêm nhiều công việc không phức tạp lắm cho những người khác làm. Các nhà vật lý luôn tìm kiếm những ý tưởng mới để tiếp tục làm việc và họ sẽ nhảy qua bất kỳ vấn đề nào khác nếu như nó tạo ra cơ hội cho những nghiên cứu của họ.

Tính bổ sung của lỗ đen và Nguyên lý toàn ảnh thực sự rất đáng kinh ngạc, thậm chí gây sốc, nhưng bản thân chúng không có hai phẩm chất còn lại, ít nhất thì đến giờ vẫn chưa có. Vào năm 1994,

một sự xác nhận bằng thực nghiệm Nguyên lý toàn ảnh dường như là điều hoàn toàn không thể và cả sự chứng minh toán học có sức thuyết phục cũng như vậy. Trong thực tế, cả hai có lẽ đang tiến đến gần hơn mà chưa ai nhận ra. Trong vòng hai năm, một lý thuyết toán học chính xác đã bắt đầu hình thành, và một thập kỷ sau đó, giờ đây chúng ta có lẽ đang tiến gần đến một xác nhận thực nghiệm rất hấp dẫn¹. Đó chính là Lý thuyết dây đã làm cho cả hai trở nên có thể.

Trước khi nói với các bạn chi tiết hơn về Lý thuyết dây, tôi xin tóm tắt bức tranh tổng thể trước. Không ai biết chắc chắn rằng liệu Lý thuyết dây có phải đã là lý thuyết đúng đắn về thế giới của chúng ta hay chưa, và có lẽ chúng ta cũng không thể biết chắc chắn được trong nhiều năm nữa. Nhưng đối với mục đích của chúng ta thì điều đó không quan trọng. Chúng ta đã có những bằng chứng đầy ấn tượng rằng Lý thuyết dây là một lý thuyết nhất quán về mặt toán học của một thế giới *nào đó*. Lý thuyết dây dựa trên các nguyên lý của Cơ học lượng tử; nó mô tả một hệ các hạt cơ bản tương tự như trong vũ trụ của chính chúng ta; và không giống như các lý thuyết khác (như Lý thuyết trường lượng tử, chẳng hạn), ở đây tất cả các vật thể vật chất đều tương tác thông qua các lực hấp dẫn. Và điều quan trọng hơn hết là Lý thuyết dây có chứa các lỗ đen.

Vậy thì làm sao chúng ta có thể sử dụng Lý thuyết dây để chứng minh một điều gì đó về tự nhiên mà chúng ta lại không biết chắc nó có phải là một lý thuyết đúng đắn hay chưa? Đối với một số mục đích, thì điều đó cũng không quan trọng. Chúng ta lấy Lý thuyết dây làm mô hình cho một thế giới nào đó rồi tính toán, hoặc chứng minh bằng toán học, rằng liệu thông tin có bị biến mất trong lỗ đen ở *thế giới đó* hay không.

¹ Xem Chương 23.

Giả sử chúng ta khám phá ra rằng thông tin không bị mất trong mô hình toán học của chúng ta. Một khi đã tìm thấy điều đó, chúng ta có thể nhìn gần hơn và biết được Hawking sai ở chỗ nào. Chúng ta cũng có thể thử xem Tính bổ sung của lỗ đen và Nguyên lý toàn ảnh có đúng trong Lý thuyết dây hay không. Nếu đúng, thì điều đó cũng không chứng minh được rằng Lý thuyết dây là đúng, song nó chứng minh được Hawking đã sai, vì ông tuyên bố là đã chứng minh được rằng lỗ đen *phải* phá hủy thông tin trong *bất kỳ* thế giới phi mâu thuẫn nào.

Tôi có ý định sẽ trình bày về Lý thuyết dây với những điểm cơ bản tối thiểu nhất. Nếu muốn tìm hiểu thêm chi tiết, bạn có thể tìm trong hàng loạt cuốn sách, trong đó có cuốn sách trước đây của tôi là *Phong cảnh vũ trụ*, cuốn *Giai điệu dây và bản giao hưởng vũ trụ* của Brian Greene¹, và cuốn *Các lối đi bị biến dạng* của Lisa Randall. Lý thuyết dây gần như là một khám phá tình cờ. Ban đầu, nó chẳng có liên quan gì đến lỗ đen cũng như đến thế giới ở kích thước Planck xa xôi của hấp dẫn lượng tử. Nó chỉ nói về chủ đề tầm thường hơn là các hạt *hadron*. Từ *hadron* không phải là một từ ngữ quen thuộc trong cuộc sống hằng ngày, nhưng hadron lại thuộc số các hạt phổ biến nhất và được nghiên cứu rộng rãi nhất trong tự nhiên. Chúng bao gồm proton và neutron – các hạt tạo nên hạt nhân nguyên tử – cũng như một số hạt họ hàng gần gũi khác có tên là *meson*. Vào thời hoàng kim của chúng, hadron ở vị trí mũi nhọn của vật lý hạt cơ bản, nhưng ngày nay, chúng thường bị gạt sang chủ đề có phần nào đó lỗi thời của vật lý hạt nhân. Tuy nhiên, trong Chương 23, chúng ta sẽ lại thấy một vòng tròn khép kín của các ý tưởng đang biến hadron thành “đứa trẻ lầm lạc trở về” của vật lý học.

¹ *Giai điệu dây và bản giao hưởng vũ trụ*, bản dịch tiếng Việt của Phạm Văn Thiều, Nxb Trẻ, 2002

Quá sơ cấp, ông bạn Watson yêu quý của tôi ạ¹

Có một câu chuyện cũ về hai người phụ nữ Do Thái gặp nhau ở góc phố Brooklyn. Một người nói với người kia: “Bà chắc có nghe nói con trai tôi là bác sĩ rồi đấy nhỉ. Luôn tiện xin hỏi, con trai bà giờ ra sao rồi – cái đứa mà luôn gặp khó khăn khi học số học ấy?” Người phụ nữ kia trả lời: “À, thằng bé nhà tôi giờ đã là một giáo sư Harvard về vật lý hạt sơ cấp rồi bà ạ”. Người phụ nữ kia đáp, vẻ thông cảm: “Ôi trời ơi, vậy à. Tôi thực sự rất lấy làm tiếc là nó chưa bao giờ tốt nghiệp được vật lý hạt cao cấp”.

Vậy ý nghĩa chính xác của cái thuật ngữ hạt cơ bản (hay sơ cấp cũng thế) mà chúng ta muốn nói tới là gì và đối lập với nó là gì? Câu trả lời đơn giản nhất là: một hạt được gọi là cơ bản khi nó nhỏ và đơn giản đến mức nó không thể chia nhỏ hơn được nữa. Đối lập với nó không phải là hạt cao cấp, mà là hạt phức hợp – tức là các hạt tạo bởi những cấu phần nhỏ hơn và đơn giản hơn.

Quy giản luận là triết lý khoa học xem sự hiểu biết ngang bằng với việc chia sự vật thành các cấu phần nhỏ hơn. Đến nay thì triết lý đó vẫn còn có tác dụng. Các phân tử được giải thích là hợp phần của các nguyên tử; đến lượt mình, nguyên tử lại được cấu thành từ các electron tích điện âm quay xung quanh một hạt nhân tích điện dương nằm ở trung tâm; hạt nhân được phát hiện là gồm các nuclon (proton và notron); và cuối cùng nuclon lại được tạo bởi ba hạt quark. Ngày nay, tất cả các nhà vật lý đều nhất trí rằng phân tử, nguyên tử, hạt nhân, và nuclon đều là các hạt phức hợp.

¹ Tác giả nhại lại câu nói cửa miệng của thám tử Sherlock Homes với bác sĩ Watson, người bạn và cũng là trợ thủ của ông.

Nhưng tại một thời điểm nào đó trong quá khứ, mỗi hạt này đã từng được xem là hạt cơ bản. Thực sự thì từ *nguyên tử* (*atom*) theo tiếng Hy Lạp có nghĩa là không thể chia nhỏ được nữa và đã được sử dụng trong khoảng 2500 năm. Gần đây hơn, khi Ernest Rutherford khám phá ra hạt nhân nguyên tử, nó dường như nhỏ tới mức có thể xem như là một điểm, tức là không có cấu trúc. Rõ ràng là, hạt mà một thế hệ coi là cơ bản thì hậu duệ của họ có thể lại coi là phức hợp.

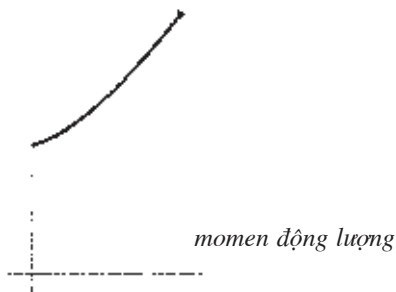
Tất cả những điều này làm nảy sinh câu hỏi: làm sao chúng ta quyết định được – ít nhất là vào thời điểm này – một hạt nào đó là cơ bản hay phức hợp. Và đây là câu trả lời khả dĩ: Cho hai hạt đập vào nhau thật mạnh và xem có gì văng ra. Nếu có thứ gì đó văng ra, thì nó phải ở bên trong của một trong hai hạt ban đầu. Thực ra thì khi hai electron có tốc độ rất lớn đập vào nhau với năng lượng cao, thì có đủ các loại mảnh bắn ra. Photon, electron, và các positron¹ sẽ có số lượng đặc biệt lớn. Nếu va đập với năng lượng cực cao thì proton, neutron cũng như các phản hạt của chúng sẽ xuất hiện². Và trên tất cả nhưng thứ đó, thỉnh thoảng cũng có thể xuất hiện cả một nguyên tử nữa. Vậy điều đó cũng có nghĩa là các electron được tạo bởi các nguyên tử sao? Rõ ràng là không phải như vậy. Cho các hạt va đập vào nhau với năng lượng rất cao có thể hữu ích trong việc xác định tính chất của các hạt, nhưng những gì được tạo ra không phải luôn là chỉ dẫn tốt của việc hạt đó được cấu tạo nên từ cái gì.

¹ Positron là các phản hạt của electron. Nó có cùng khối lượng với electron nhưng mang điện tích trái dấu. Electron có điện tích âm, còn positron mang điện tích dương.

² Tất cả các hạt đều có các phản hạt với giá trị điện tích trái dấu và có cùng các tính chất khác. Vì vậy, có các phản proton, phản neutron, và phản hạt của electron gọi là positron. Các hạt quark cũng không ngoại lệ. Phản hạt của một hạt quark được gọi là phản quark.

Dưới đây là cách tốt hơn để biết một hạt có phải là phức hợp hay không. Hãy bắt đầu từ một vật mà ta biết rõ mười mươi là phức hợp – một viên đá, một quả bóng rổ, một miếng pizza, chẳng hạn. Có rất nhiều thứ mà bạn có thể lấy làm vật mẫu – hãy nén nó vào một thể tích nhỏ hơn, làm cho nó biến đổi thành hình dạng mới, hoặc quay nó quanh một trục. Nén, uốn cong, hay quay một vật đều đòi hỏi phải có năng lượng. Chẳng hạn, một quả bóng rổ quay thì phải có động năng; nó càng quay nhanh thì năng lượng phải càng lớn. Và vì năng lượng là khối lượng, nên quả bóng quay với tốc độ nhanh sẽ có khối lượng lớn hơn. Một thước đo tốc độ quay tốt – đó là sự kết hợp giữa vận tốc quay, kích thước và khối lượng của quả bóng – được gọi là *momen động lượng*. Vì quả bóng quay nhanh với momen động lượng càng lớn thì nó càng thu được nhiều năng lượng. Đồ thị dưới đây minh họa sự tăng của năng lượng khi quả bóng rổ quay.

năng lượng



Một quả bóng rổ quay

Nhưng tại sao đường cong lại kết thúc một cách đột ngột như vậy? Câu trả lời là rất dễ hiểu. Vật liệu tạo nên quả bóng rổ (da hoặc cao su) chỉ có thể chịu đựng được một sức ép nhất định. Tới một điểm nào đó, do lực ly tâm, quả bóng sẽ bị vỡ tung ra.

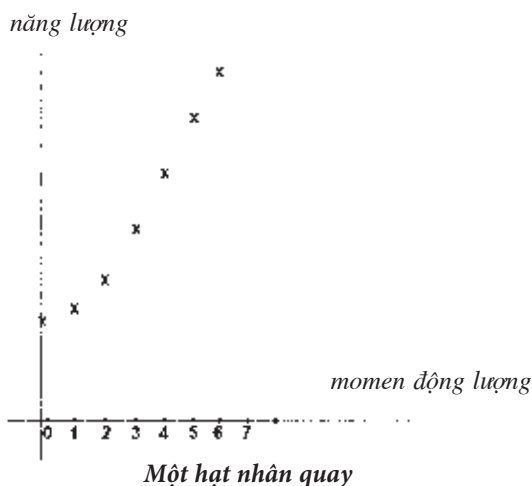
Giờ thì hãy tưởng tượng một hạt không lớn hơn một điểm trong không gian. Bằng cách nào bạn có thể làm cho một điểm toán học quay quanh một trục? Thậm chí làm như vậy có nghĩa là gì? Hay cũng tương tự, làm thay đổi hình dạng của nó có nghĩa là gì? Khả năng làm cho một vật quay, hay bắt đầu làm cho hình dạng của nó dao động, đó chính là dấu hiệu chắc chắn cho biết nó được cấu tạo bởi những thành phần nhỏ hơn – những thành phần này có thể chuyển động tương đối đối với nhau.

Phân tử, nguyên tử, và hạt nhân cũng có thể quay, nhưng trong trường hợp những quả bóng vật chất cực nhỏ bé này thì Cơ học lượng tử đóng vai trò trung tâm. Cũng như với mọi hệ dao động khác, năng lượng và momen động lượng chỉ có thể được bổ sung theo những bước gián đoạn. Làm quay một hạt nhân không phải là quá trình tăng dần dần năng lượng của nó, mà giống như đập quả bóng nảy lên các bậc cầu thang. Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của năng lượng vào momen động lượng bây giờ là một dãy các điểm rời rạc¹.

Ngoại trừ thực tế các bước là gián đoạn thì đồ thị trên trông cũng giống như đồ thị của quả bóng rổ quay, kể cả việc nó kết thúc đột ngột. Giống như quả bóng rổ, hạt nhân cũng chỉ có thể chịu đựng được một lực ly tâm đủ lớn trước khi nó văng ra.

Thế còn electron thì sao? Liệu chúng ta có thể quay nó không? Với tất cả những nỗ lực rất lớn trong nhiều năm song không ai thành công trong việc tăng momen động lượng cho electron. Chúng ta sẽ còn trở lại với electron nhưng trước hết hãy chuyển sang *hadron*: tức các proton, neutron, meson và glueball.

¹ Nhà vật lý toán người Italia là Tullio Regge là người đầu tiên nghiên cứu các tính chất của những đồ thị loại này. Chuỗi các điểm này được gọi là quỹ đạo Regge.

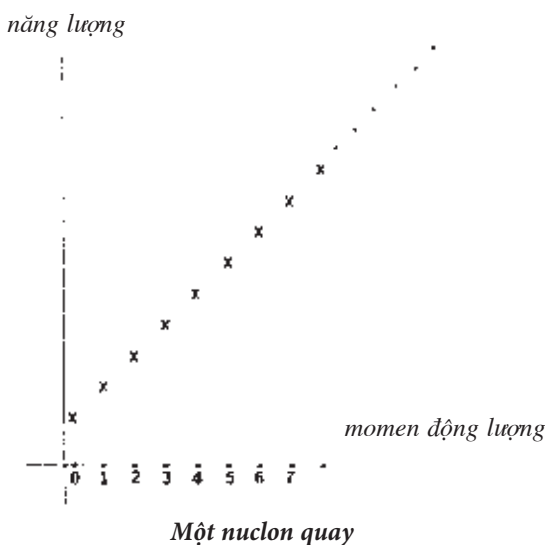


Proton và notron rất giống nhau. Chúng hầu như có cùng khối lượng, và lực để giữ chúng trong hạt nhân là như nhau. Chỉ có sự khác biệt quan trọng duy nhất đó là proton mang điện tích dương, còn notron, như cái tên của nó đã ám chỉ, thì không mang điện. Gần như thể notron cũng là một proton nhưng bằng cách nào đó nó đã che đi điện tích của mình. Sự giống nhau đó đã khiến các nhà vật lý đã gộp chúng lại, về mặt ngôn ngữ, thành một đối tượng duy nhất là *nuclon*. Proton là nuclon dương còn notron là nuclon trung hòa.

Trong những ngày đầu của vật lý hạt nhân, nuclon, mặc dù nặng hơn electron tới 2000 lần, nhưng vẫn được tin là một hạt cơ bản. Nhưng nuclon không có chỗ nào là đơn giản như electron cả. Khi vật lý hạt nhân tiến bộ hơn, những đối tượng nhỏ hơn nguyên tử cỡ 100.000 lần bắt đầu không còn được coi rất nhỏ nữa. Mặc dù electron vẫn còn là một điểm trong không gian – ít nhất thì đến thời điểm hiện tại chúng ta có thể nói như vậy – nhưng nuclon lại tỏ ra chứa đựng cả một bộ máy phức tạp và phong phú bên trong. Hóa ra nuclon ít giống electron mà giống với hạt nhân, nguyên tử

và phân tử nhiều hơn. Proton và neutron là tập hợp của rất nhiều đối tượng nhỏ hơn. Chúng ta biết điều đó vì chúng ta có thể khiến cho chúng quay và dao động và chúng ta có thể thay đổi hình dạng của chúng.

Cũng như với quả bóng rổ hay hạt nhân nguyên tử, chúng ta có thể vẽ đồ thị biểu thị sự quay của nuclon, với trục hoành biểu diễn momen động lượng và trục tung biểu diễn năng lượng. Khi đồ thị này lần đầu tiên được vẽ vào khoảng hơn 50 năm trước, người ta cực kỳ ngạc nhiên bởi sự đơn giản của nó: chuỗi các điểm hóa ra gần như là một *đường thẳng*. Thậm chí còn đáng kinh ngạc hơn, đó là nó vẽ như cứ tiếp tục mà không có điểm kết thúc.



Trong loại đồ thị này có ẩn giấu một số manh mối về cấu trúc bên trong của nuclon. Có hai đặc điểm nổi bật có ý nghĩa rất lớn đối với những người biết cách đọc ra những thông tin ẩn giấu này. Chỉ nội thực tế là nuclon có thể quay quanh một trục đã chỉ ra

rằng nó không phải là một hạt điểm, mà nó được cấu thành từ các bộ phận có thể chuyển động tương đối đối với nhau. Nhưng còn có nhiều điều hơn thế. Thay vì dừng lại một cách đột ngột thì chuỗi các điểm dường như cứ tiếp tục đến vô hạn. Điều này ngụ ý rằng nuclon không bị văng ra thành các mảnh khi quay quá nhanh. Dù cái gì gắn kết các bộ phận đó lại với nhau đi nữa thì chắc chắn cũng lớn hơn nhiều so với các lực đã liên kết một hạt nhân.

Không có gì đáng ngạc nhiên rằng nuclon sẽ bị kéo giãn ra khi nó quay, nhưng không giống như một chiếc bánh rán quay tạo thành một chiếc đĩa hai chiều.



Hình mẫu các điểm đối với nuclon là một đoạn thẳng, tức là nucleon bị kéo giãn ra thành một đối tượng mảnh, dài và đàn hồi giống như một đoạn dây.



Một nửa thế kỷ tiến hành thực nghiệm trên các nuclon đã khẳng định chắc chắn rằng chúng là các sợi dây đàn hồi có thể kéo giãn,

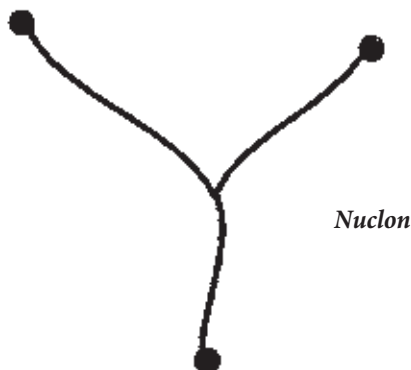
quay và dao động khi bị kích thích bằng cách thêm năng lượng. Thực tế, tất cả các hadron đều có thể quay và trở thành các đối tượng dạng dây dài như vậy. Rõ ràng là tất cả chúng đều được cấu thành từ cùng một loại chất liệu kết dính, dạng dây, có thể co giãn – giống như kẹo cao su ngoan cố đến bực mình, không chịu rời ra. Richard Feynman đã sử dụng thuật ngữ *parton* để đặt tên cho các thành phần tạo nên nuclon, nhưng chính các thuật ngữ của Murray Gell-Mann là *quark* và *gluon* – mới chính xác hơn. *Gluon* có nghĩa là chất kết dính tạo nên các sợi dây dài và giữ cho các hạt *quark* không bị văng ra.

Meson là những hadron đơn giản nhất. Rất nhiều loại meson đã được phát hiện, nhưng chúng đều có chung một cấu trúc: một quark và một phản quark, được liên kết với nhau bằng một sợi dây kết dính.



Một meson có thể dao động như một lò xo, quay quanh một trục như gậy chỉ huy của trưởng nhóm cổ động viên, hoặc uốn cong và lắc lư dưới nhiều cách khác nhau. Meson là ví dụ điển hình của loại *dây hở*, có nghĩa là chúng có hai đầu. Về phương diện này thì chúng không giống các sợi dây chun, mà chúng ta gọi là *dây đóng* (khép kín).

Nuclon chứa ba quark, mỗi quark gắn với một sợi dây, và ba sợi dây nối với nhau ở giữa giống như dây thòng lọng của người chăn bò Nam Mỹ. Chúng cũng có thể quay và dao động.



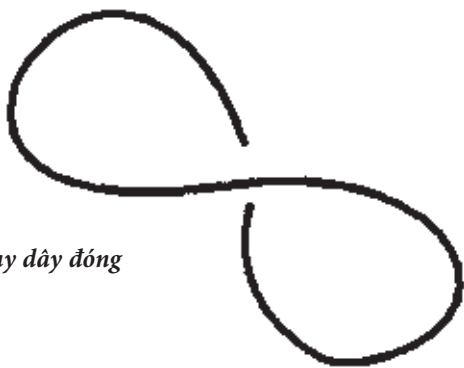
Sự quay hoặc dao động nhanh của một hadron bổ sung thêm năng lượng cho sợi dây, kéo nó giãn ra và làm tăng khối lượng của nó¹.

Còn tồn tại một dạng hadron nữa: đó là một họ các hạt “không chứa quark” mà chỉ tạo bởi dây đóng và tạo thành một vòng kín. Các nhà vật lý hadron gọi chúng là *glueball*, nhưng đối với các nhà Lý thuyết dây thì chúng chỉ đơn thuần là các *dây đóng*.

Quark dường như không được tạo bởi những hạt nhỏ hơn. Giống như electron, chúng nhỏ tới mức mà kích thước của chúng là không thể ghi nhận được. Nhưng các sợi dây liên kết các quark với nhau thì hoàn toàn được tạo bởi những đối tượng khác và không phải là quark. Các hạt kết dính tổ hợp lại tạo thành dây được gọi là *gluon* (tiếng Anh *glue* có nghĩa là keo dính).

¹ Thoạt đầu, các nhà vật lý hạt không nhận ra rằng nhiều hadron là các phiên bản quay và dao động của các nucleon và meson; họ cho rằng chúng là các hạt hoàn toàn mới và khác biệt. Bảng các hạt cơ bản được công bố từ những năm 1960 bao gồm một danh mục dài đã tận dụng hết toàn bộ bảng chữ cái Hy Lạp và Latinh đến vài lần. Nhưng cuối cùng thì “trạng thái bị kích thích” của hadron trở nên quen thuộc và được nhận dạng đúng bản chất của chúng: đó chính là các meson và nucleon quay và dao động.

Glueball hay dây đóng



Theo một nghĩa nào đó thì gluon là những phần rất nhỏ của dây. Mặc dù là vô cùng nhỏ, song chúng có vẻ như có hai “đầu”: một dương và một âm – gần như thể chúng là những thanh nam châm cực nhỏ¹.



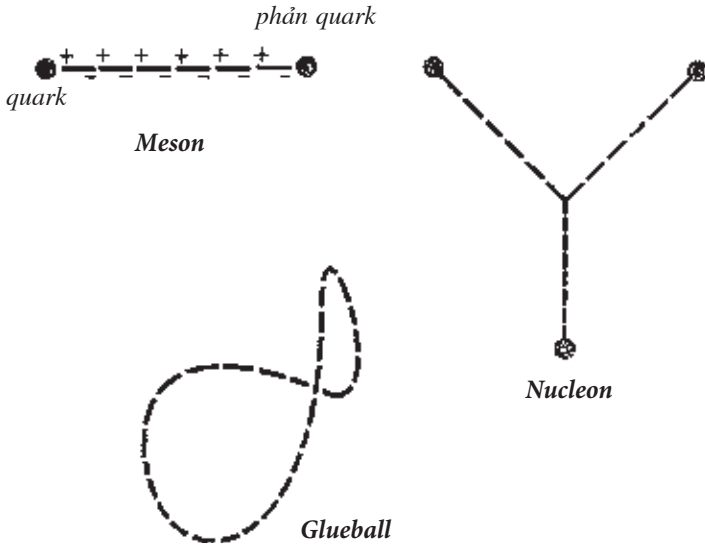
Gluon

Lý thuyết toán học của các quark và gluon được gọi là *Sắc động lực học lượng tử* (QCD), một cái tên nghe cứ như thể nó có liên quan đến các bức ảnh màu hơn là với các hạt cơ bản. Thuật ngữ này sẽ trở nên rõ ràng ngay dưới đây thôi.

Theo các quy tắc toán học của QCD, một gluon không thể tồn tại tự thân. Các đầu âm và dương của nó, theo định luật toán học, đòi hỏi phải được gắn hoặc là với các gluon khác hoặc là với các quark: mỗi đầu dương phải được gắn với đầu âm của một gluon khác hoặc với một hạt quark; còn mỗi đầu âm phải gắn với một

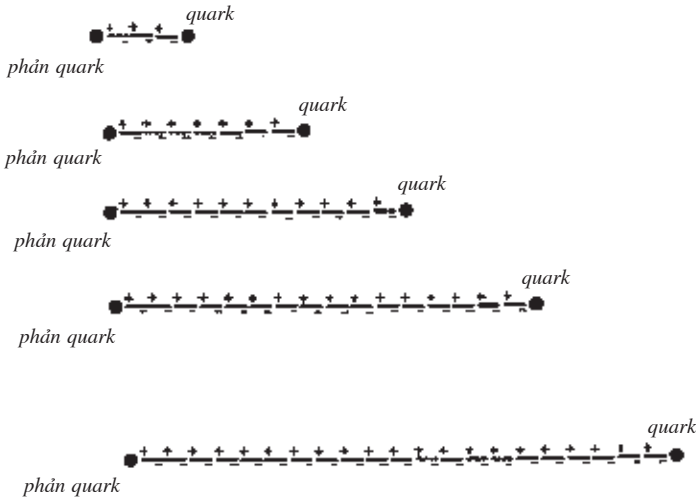
¹ Hai đầu của một nam châm thường được gọi là cực bắc và cực nam. Tôi không muốn ám chỉ rằng cấu trúc của gluon lại giống như kim la bàn, vì vậy, tôi sẽ gọi các cực của gluon là dương và âm.

đầu dương của một gluon khác hoặc với một phản quark. Cuối cùng, ba đầu dương hoặc ba đầu âm có thể nối với nhau. Với các quy tắc này, các nuclon, meson và glueball có thể dễ dàng được lắp ghép như hình dưới đây.



Giờ chúng ta hãy xét xem điều gì sẽ xảy ra nếu quark trong một meson bị tác dụng bởi một lực cực lớn. Quark sẽ bắt đầu chuyển động rất nhanh ra xa phản quark. Nếu nó tương tự như electron bên trong một nguyên tử, thì nó sẽ văng ra và đi mất, nhưng điều này lại hoàn toàn không phải là cái xảy ra ở đây. Vì nó tách ra khỏi đối tác của nó, nên xuất hiện những khoảng hở giữa các gluon, cũng giống như những khoảng hở giữa các phân tử của một dải cao su khi nó bị kéo giãn ra. Tuy nhiên, thay vì đứt rời ra, bản thân các gluon lại tự nhân lên, tạo thêm gluon để lấp đầy vào các khoảng hở đó. Nhờ thế, sợi dây hình thành giữa quark và phản quark không cho quark thoát được ra. Hình dưới đây cho thấy chuỗi thời gian

mà một quark tốc độ cao nỗ lực thoát ra khỏi đối tác của nó là phản quark ở bên trong một meson.



Cuối cùng, quark sẽ cạn kiệt năng lượng, dừng lại, rồi quay trở lại hướng tới phản quark. Điều tương tự cũng sẽ xảy ra với một quark tốc độ cao ở bên trong một nuclon.

Lý thuyết dây của nuclon, meson và glueball không phải là sự tư biện vu vơ. Nó đã được xác nhận cực kỳ thận trọng qua nhiều năm và giờ đây được xem như là một bộ phận của lý thuyết chuẩn về hadron. Chỉ có một điều còn chưa rõ là liệu chúng ta có thể xem Lý thuyết dây như là một hệ quả của Sắc động lực học lượng tử hay không – nói một cách khác, liệu dây có thể được xem như là những chuỗi dài các gluon cơ bản hơn – hay theo một cách khác nào đó – tức là các gluon không gì khác hơn là những đoạn ngắn của dây. Có thể là cả hai đều đúng.

Quark dường như là nhỏ và cơ bản như electron. Chúng không thể quay, bị nén hoặc thay đổi hình dạng. Mặc cho thực tế là chúng

đường như không có thành phần bên trong, song chúng có một mức độ phức tạp nhất định, nghe có vẻ như là nghịch lý. Có nhiều loại quark với điện tích và khối lượng khác nhau. Cái gì dẫn đến những khác biệt này hiện vẫn còn là điều bí ẩn; cái bộ máy bên trong ẩn dưới những khác biệt đó là quá nhỏ để có thể phát hiện được. Vì vậy chúng ta gọi chúng là các hạt cơ bản, ít nhất là lúc này, và giống như các nhà thực vật học, ta đặt cho chúng những cái tên khác nhau.

Trước Thế chiến thứ II, khi vật lý học về cơ bản vẫn thuộc về Châu Âu, thì các nhà vật lý đã sử dụng tiếng Hy Lạp để đặt tên cho các hạt. *Photon, electron, meson, baryon, lepton* và ngay cả *hadron* đều có xuất xứ từ tiếng Hy Lạp. Nhưng sau này khi những người Mỹ ngang ngược, bất kính và đôi khi ngu ngốc tiếp quản, thì những cái tên có tươi sáng hơn. *Quark* là một từ vô nghĩa lấy từ tác phẩm *Finnegan's Wake* (Đêm thức để tang Finnegan) của nhà văn vĩ đại người Ailen James Joyce, nhưng từ đỉnh cao văn học đó, mọi thứ dường như đã đi xuống. Sự khác biệt giữa các loại quark khác nhau thường được gắn với một thuật ngữ hoàn toàn không thích hợp là *mùi vị*. Chúng ta có thể nói về quark có vị sôcôla, dâu, vani, quả hồ trăn, sori và sôcôla bạc hà, nhưng không phải vậy. Sáu mùi của quark là lên (*up*), xuống (*down*), lạ (*strange*), duyên (*charmed*), đáy (*bottom*) và đỉnh (*top*). Theo nghĩa nào đó thì đáy và đỉnh được cho là quá khiêm nhã, nên đôi khi chúng được gọi là sự thật (*truth*) và sắc đẹp (*beauty*).

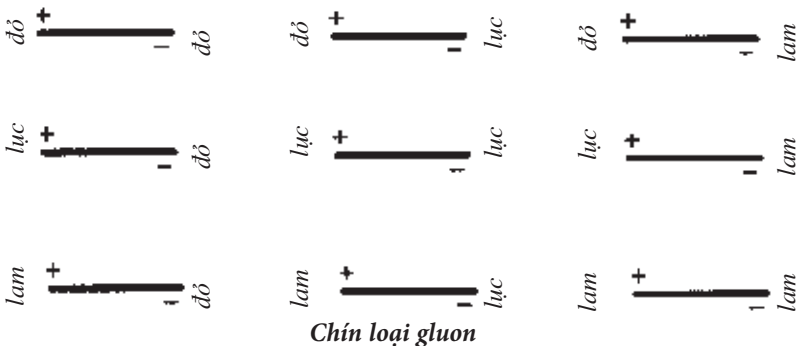
Mục đích chính của tôi khi nói với bạn về mùi chỉ là nhằm minh họa cho sự hiểu biết còn rất ít ỏi của chúng ta về những viên gạch tạo nên vật chất và việc gán cái thuật ngữ *hạt cơ bản* cũng có thể chỉ là một sự thăm dò. Nhưng cũng còn có sự khác biệt khác nữa rất quan trọng đối với cách thức vận hành của Sắc động lực học

lượng tử. Mỗi quark – *up* (u), *down* (d), *strange* (s), *charmed* (c), *top* (t), *bottom* (b) – đều có ba màu: đỏ, lam và lục. Đó chính là nguồn gốc của từ “sắc” trong QCD.

Giờ thì hãy dừng lại một chút. Chắc chắn các hạt quark là quá nhỏ để có thể phản xạ ánh sáng theo nghĩa thông thường. Các hạt quark có màu sắc cũng chỉ là ít ngốc nghếch hơn một chút so với quark sôcôla, dâu hay vani mà thôi. Nhưng con người cần có tên cho chúng; gọi quark đỏ, lam và lục cũng chẳng nực cười hơn là gọi những người tự do xanh và những người bảo thủ đỏ. Và mặc dù chúng ta có thể không hiểu nguồn gốc màu sắc của các quark hơn nguồn gốc mùi của chúng là bao nhiêu, nhưng màu sắc đóng vai trò quan trọng hơn nhiều trong QCD.

Gluon, theo QCD, không có mùi, nhưng từng hạt thậm chí còn màu sắc hơn cả quark. Mỗi gluon có một cực dương và một cực âm, và mỗi cực đều có một màu: đỏ, lục, hoặc lam.

Cũng hơi có vẻ đơn giản hóa một chút, nhưng về cơ bản là đúng, khi nói có chín loại gluon¹.

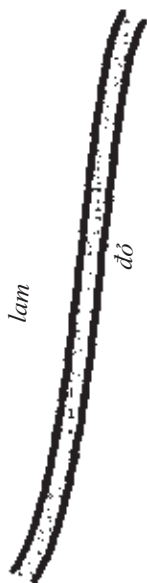


¹ Các chuyên gia khi đọc đến đây chắc sẽ nhắc nhở rằng chỉ có tám loại gluon khác nhau. Một tổ hợp cơ học lượng tử – gluon với các xác suất như nhau là đỏ-đỏ, lam-lam và lục-lục – là thừa.

Nhưng tại sao lại có ba màu chứ không phải là hai hay bốn hay bất kỳ con số nào khác? Điều này không liên quan gì đến thực tế là hệ màu dựa trên ba màu cơ bản cả. Như tôi đã nói ở trên, các nhãn màu ở đây là tùy tiện và không có liên quan gì đến màu sắc mà bạn và tôi vẫn thấy. Thực tế, không ai biết chắc tại sao chúng lại là ba; đó là một trong những bí ẩn cho thấy chúng ta vẫn còn ở cách rất xa sự hiểu biết hoàn toàn đối với các hạt cơ bản. Nhưng theo cách thức mà các quark kết hợp với nhau tạo thành nuclon và meson, thì chúng ta biết rằng có ba và chỉ ba màu của quark mà thôi.

Tôi có một điều phải thú nhận. Mặc dù thực tế tôi là một nhà vật lý hạt cơ bản hơn 40 năm, song tôi thực sự không thích vật lý hạt cơ bản cho lắm. Toàn bộ thứ vật lý này là quá hỗn độn: nào là sáu mùi, ba màu, lại còn hàng tá các hằng số khá tùy tiện, khó mà có thể gọi là đơn giản và tao nhã được. Vậy tại sao vẫn cứ phải tiếp tục? Lý do (mà tôi chắc là không chỉ của mình tôi) là những thứ hỗn độn này sẽ cho chúng ta biết điều gì đó về tự nhiên. Đường như khó có thể tin rằng các hạt điểm vô cùng nhỏ lại có thể mang nhiều tính chất và cấu trúc đến như vậy. Ở một cấp độ nào đó còn chưa được khám phá ra, chắc là phải có rất nhiều bộ máy ẩn dưới những thứ được gọi là hạt cơ bản này. Chính sự tò mò về cái bộ máy ẩn giấu bí mật ấy, cũng như những hàm ý của nó đối với các nguyên lý cơ bản của tự nhiên, đã thúc đẩy tôi vượt qua những đầm lầy khốn khổ của vật lý hạt.

Khi nói đến các hạt thì quark là hạt rất nổi tiếng trong công chúng rộng rãi. Nhưng nếu tôi phải đoán hạt nào chứa đựng những gợi ý tốt nhất về bộ máy bí mật, thì tôi sẽ đặt cược tiền của mình vào gluon. Cái cặp kết dính với hai đầu dương và âm muốn nói gì với chúng ta đây?

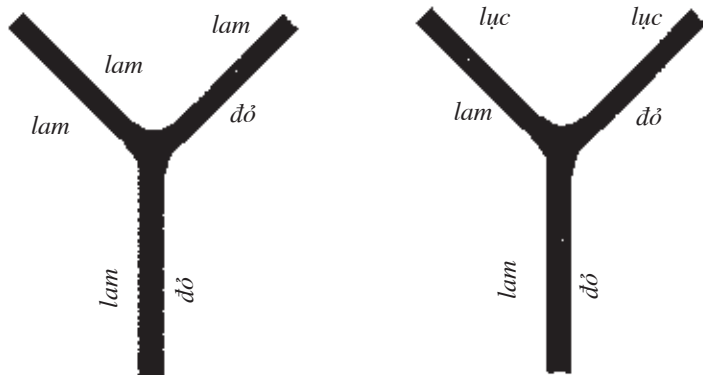


Trong Chương 4, tôi đã giải thích rằng có nhiều thứ trong Lý thuyết trường lượng tử hơn là chỉ một bản danh sách các hạt. Hai thành phần khác là hàm truyền – những đường vũ trụ biểu thị chuyển động của một hạt từ điểm không-thời gian này đến điểm không-thời gian khác, và các đỉnh. Trước tiên chúng ta hãy xét đến hàm truyền. Vì gluon có hai cực, mỗi cực mang một màu, nên các nhà vật lý thường vẽ đường vũ trụ là một đường kép. Để chỉ ra một loại gluon cụ thể, chúng ta có thể viết màu bên cạnh mỗi đường đó¹.

Thành phần cuối cùng trong Lý thuyết trường lượng tử đó là danh sách các đỉnh. Quan trọng nhất với chúng ta là đỉnh mô tả một gluon bị tách thành hai². Hình mẫu khá đơn giản: khi một gluon với hai đầu được tách ra, hai đầu mới phải được vật chất hóa. Theo các quy tắc toán học của QCD, thì cả hai đầu mới này đều phải có cùng một màu. Dưới đây là hai ví dụ minh họa. Đọc từ dưới lên trên, ví dụ thứ nhất cho thấy gluon lam-đỏ bị tách thành hai là lam-lam và lam-đỏ; ví dụ thứ hai cho thấy một gluon lam-đỏ bị tách thành lam-lục và lục-đỏ. Các đỉnh này có thể lộn ngược lại để biểu thị hai gluon có thể nhập lại thành một gluon.

¹ Với một số đồng nghiệp của tôi thì hàm truyền đường kép chỉ là một mẹo để theo dõi các khả năng toán học. Với những người khác, bao gồm cả tôi, thì đó là một gợi ý sâu sắc về cấu trúc vi mô nào đó mà hiện tại nó còn quá nhỏ để có thể phát hiện ra.

² Bạn có thể tự hỏi làm thế nào chúng ta biết được gluon có thể tách thành một cặp gluon. Câu trả lời nằm sâu trong toán học của QCD. Theo các quy tắc toán học của Lý thuyết trường lượng tử, gluon chỉ có thể làm được một trong hai việc: tách làm hai hoặc phóng ra một cặp quark. Trong thực tế thì chúng ta có thể làm được cả hai.



Mặc dù còn chưa rõ ràng, và phải mất một thời gian mới hiểu được hoàn toàn, song gluon có một xu hướng mạnh là kết dính lại với nhau và tạo nên những chuỗi dài: đầu dương với đầu âm, đỏ với đỏ, lam với lam và lục với lục. Những chuỗi này là những sợi dây liên kết các quark và cho hadron các tính chất của một dây.

Dây cơ bản

Ý tưởng về những sợi dây đàn hồi lại tái xuất giang hồ trong những nghiên cứu về hấp dẫn lượng tử, trừ một điều là bây giờ mọi thứ đều nhỏ hơn và nhanh hơn khoảng 20 bậc về độ lớn. Những sợi dây nhỏ bé, linh động và có sức bền khổng lồ này được gọi là *dây cơ bản*¹.

Tôi xin nói lại một lần nữa để tránh có sự nhầm lẫn về sau: Lý thuyết dây có hai ứng dụng khác biệt trong vật lý học hiện đại.

¹ Liệu các dây cơ bản có phải là sự giải thích cuối cùng cho các hạt cơ bản hay cũng chỉ là một bước nữa trên con đường quy giản luận đến với những đối tượng còn nhỏ hơn nữa thì vẫn là vấn đề còn tranh cãi. Dù xuất xứ ban đầu của thuật ngữ là gì đi nữa thì *dây cơ bản* ngày nay vẫn được sử dụng cho thuận tiện.

Ứng dụng cho các hadron diễn ra ở thang kích thước mà nếu so với tiêu chuẩn thông thường của con người thì là rất nhỏ, nhưng lại là khổng lồ theo quan điểm của vật lý học hiện đại. Việc ba loại hadron: nuclon, meson và glueball – là những đối tượng dạng dây được mô tả bởi toán học của Lý thuyết dây là một thực tế đã được thừa nhận. Những thí nghiệm được tiến hành trong phòng thí nghiệm củng cố thêm cho Lý thuyết dây hadron đã có từ gần nửa thế kỷ trước. Những sợi dây liên kết các hadron và bản thân chúng được tạo bởi các gluon, còn được gọi là *dây QCD*. Trong khi đó những sợi dây cơ bản – tức là những dây có liên quan đến hấp dẫn và vật lý ở đâu đó gần với kích thước Planck – là những sợi dây đã tạo nên tất cả sự phấn khích, tranh cãi, những lời nói huênh hoang trên blog và những cuốn sách bút chiến gần đây.

Dây cơ bản có thể nhỏ hơn nhiều so với một proton cũng tựa như proton nhỏ hơn nhiều so với bang New Jersey. Trong số đó thì graviton có vị trí quan trọng hàng đầu.

Lực hấp dẫn cũng tương tự như lực điện trên nhiều phương diện. Định luật về lực giữa các hạt mang điện được gọi là định luật Coulomb; còn định luật về lực hấp dẫn được gọi là định luật Newton. Cả hai lực điện và hấp dẫn đều là *các định luật bình phương nghịch đảo*. Nghĩa là cường độ của lực tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách. Tăng gấp đôi khoảng cách giữa các hạt thì lực tác dụng giảm đi bốn lần; tăng gấp ba khoảng cách thì lực giảm đi chín lần; tăng gấp bốn khoảng cách thì lực giảm đi 16 lần và cứ tiếp tục như vậy. Lực Coulomb giữa hai hạt tỷ lệ thuận với tích các điện tích của chúng; Còn lực Newton tỷ lệ thuận với tích khối lượng của chúng. Tuy tương tự nhau, nhưng hai lực này cũng có những khác biệt: lực điện có thể là lực đẩy (giữa hai điện

tích cùng dấu) hoặc hút (giữa hai điện tích trái dấu), nhưng lực hấp dẫn thì luôn là hút.

Một sự tương đồng quan trọng nữa đó là cả hai loại lực này đều có thể tạo nên sóng. Hãy hình dung điều gì sẽ xảy ra với lực giữa hai hạt tích điện ở xa nhau, nếu một trong hai hạt đột nhiên chuyển động – giả sử là đi ra xa điện tích kia. Người ta dễ nghĩ rằng lực tác động lên điện tích thứ hai sẽ thay đổi ngay sau khi điện tích thứ nhất chuyển động. Nhưng có điều gì đó không đúng trong cách hình dung này. Nếu lực tác động lên một điện tích ở xa thực sự thay đổi ngay lập tức, không có một độ trễ nào đó, thì chúng ta có thể sử dụng hiệu ứng này để gửi thông tin tức thời đến một vùng không gian ở xa. Nhưng thông tin tức thời lại vi phạm một trong những nguyên lý sâu sắc nhất của tự nhiên. Theo Thuyết tương đối hẹp, không tín hiệu nào có thể di chuyển nhanh hơn tốc độ ánh sáng. Bạn không thể gửi một thông tin đi trong một khoảng thời gian ít hơn so với khi gửi đi bằng ánh sáng.

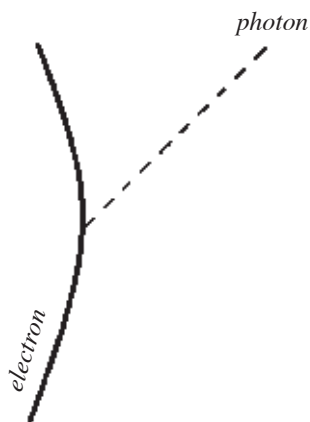
Thực tế, lực tác động lên hạt ở xa không thay đổi ngay lập tức khi một hạt ở gần đột ngột chuyển động. Thay vì thế, một nhiễu động sẽ truyền đi (với tốc độ ánh sáng) từ hạt dịch chuyển. Lực tác động lên hạt ở xa thay đổi chỉ khi nhiễu động này truyền đến nó. Nhiễu động truyền đi tương tự như một sóng dao động. Khi sóng truyền đến nơi, nó làm lay chuyển hạt thứ hai, khiến nó hành xử giống như một cái nút chai bập bênh trên sóng trong một hồ nước.

Với lực hấp dẫn, tình huống cũng tương tự. Hãy hình dung có một bàn tay khổng lồ làm lay động Mặt trời. Chuyển động của Mặt trời sẽ không tác động đến Trái đất trong vòng 8 phút, đó là khoảng thời gian cần thiết để ánh sáng đi hết khoảng cách giữa Trái đất và Mặt trời. “Thông tin” được truyền đi – một lần nữa với tốc độ

ánh sáng – dưới dạng *những gợn sóng của độ cong* hay cũng gọi là *sóng hấp dẫn*. Vai trò của khối lượng đối với sóng hấp dẫn cũng giống như vai trò của điện tích đối với sóng điện từ.

Giờ chúng ta hãy bổ sung thêm thuyết lượng tử vào. Như chúng ta biết, năng lượng của các sóng điện từ dao động được thể hiện dưới dạng các lượng tử không thể chia nhỏ được nữa, gọi là các photon. Planck và Einstein đã có những lý do rất chính đáng để tin rằng năng lượng dao động được thể hiện dưới dạng những đơn vị rời rạc, và nếu như chúng tôi không rất sai lầm thì những lập luận này cũng áp dụng được cho sóng hấp dẫn. Lượng tử của trường hấp dẫn được gọi là các *graviton*.

Ở đây, tôi cũng cần phải nói ngay là: sự tồn tại của graviton, không giống như photon, mới chỉ là phỏng đoán chứ chưa được kiểm chứng bằng thực nghiệm, nhưng là một sự phỏng đoán mà hầu hết các nhà vật lý nghĩ là dựa trên những nguyên lý chắc chắn, tuy nhiên, nó vẫn chỉ là một phỏng đoán mà thôi. Ngay cả như vậy thì logic phía sau sự tồn tại của graviton vẫn hấp dẫn hầu hết các nhà vật lý, những người đã từng suy nghĩ về nó.

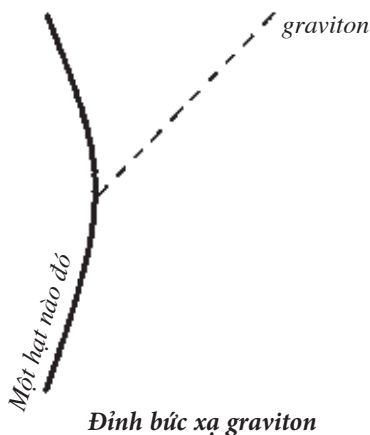


Đỉnh bức xạ photon

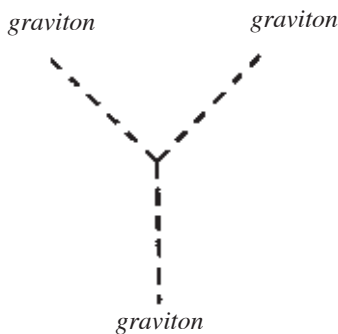
Sự tương đồng giữa photon và graviton gợi lên nhiều vấn đề thú vị. Bức xạ điện từ được giải thích (trong Lý thuyết trường lượng tử) bởi một giản đồ đỉnh, trong đó một hạt tích điện, như electron chẳng hạn, bức xạ một photon.

Lẽ tự nhiên người ta cũng chờ đợi rằng các sóng hấp dẫn sẽ được tạo ra khi các hạt bức xạ graviton. Vì

mọi thứ đều hấp dẫn cả, nên tất cả các hạt đều phải có thể bức xạ graviton.



Ngay cả một graviton cũng có thể bức xạ graviton.



Thật không may là, khi gộp cả graviton vào các giản đồ Feynman thì lại dẫn tới một sự thất bại về toán học. Trong gần nửa thế kỷ, các nhà vật lý lý thuyết đã cố gắng làm cho Lý thuyết trường lượng tử của graviton trở nên có ý nghĩa, tuy nhiên những thất bại lặp đi lặp lại đã thuyết phục rất nhiều người trong số chúng tôi rằng đó chỉ là một việc làm vô ích.

Khó khăn với Lý thuyết trường lượng tử

Một trong những sự việc tình cờ sáng sủa hơn trong suốt chuyến thăm Cambridge của tôi năm 1994 đó là bữa ăn trưa cùng với người bạn cũ của tôi, Ngài Roger Penrose. Roger chỉ vừa mới được phong tước, nên Anne và tôi đã tới Oxford để chúc mừng ông.

Cả bốn chúng tôi – Roger, tôi và hai bà vợ – cùng ngồi bên dòng sông Cherwell, trong một nhà hàng ngoài trời rất dễ chịu, ngắm những người chèo thuyền qua lại trên sông. Chèo thuyền đáy bằng, nếu như bạn chưa biết đến môn thể thao này, thì đó là một kiểu chèo thuyền của giới thượng lưu bằng cách sử dụng một cái sào dài để đẩy thuyền đi với một tốc độ ung dung, thư thái. Đây là một hoạt động đồng quê gợi tôi nhớ đến bức tranh *Bữa ăn trưa trên thuyền* của Renoir, nhưng nó cũng có những nguy hiểm của nó. Khi một con thuyền đi qua với một tốp sinh viên đang ca hát, cô gái xinh đẹp điều khiển con sào không hiểu sao đã làm cho nó cắm chặt xuống bùn. Không muốn để con thuyền đi tiếp, cô gái cứ bám chặt vào con sào trong khi chiếc thuyền thì cứ tiếp tục trườn đi, cảnh tượng đó là trò tiêu khiển thật thú vị cho bữa ăn trưa của chúng tôi.

Trong khi đó, bốn chúng tôi tập trung vào một đĩa kem bọt sôcôla duy nhất mà chúng tôi chia nhau để tráng miệng. Hai bà đã ăn xong phần của họ, còn tôi và Roger, trong khi cười với cô lái thuyền đang mắc cạn (và cô cũng đang cười đáp lại), xử lý nốt miếng kem sôcôla ngon lành còn lại. Tôi bắt đầu chú ý với đôi chút thích thú rằng khi Roger và tôi thay phiên nhau ăn những đĩa đầy sôcôla, mỗi chúng tôi lại cất phần còn lại làm đôi. Roger cũng để ý thấy, và vì vậy bắt đầu một cuộc thi xem ai có thể chia mẩu còn lại cuối cùng.

Roger nhận xét là người Hy Lạp đã luôn trần trụi tự hỏi liệu vật chất có thể chia nhỏ đến vô hạn hay mọi chất đều được chia nhỏ đến một mức không thể chia nhỏ hơn được nữa – cái mà họ gọi là nguyên tử? “Anh có nghĩ là có nguyên tử sôcôla không?”, tôi hỏi. Roger bảo rằng ông không nhớ sôcôla có phải là một nguyên tố trong Bảng tuần hoàn hay không. Dù thế nào, thì cuối cùng chúng tôi vẫn chia nhỏ được đĩa kem thành thứ mà dường như giống nguyên tử nhỏ nhất của sôcôla, và nếu tôi nhớ chính xác thì Roger đã người đã nhận được phần đó. Sự việc bất ngờ hôm đó cuối cùng cũng kết thúc tốt đẹp khi một con thuyền khác đi tới.

Vấn đề với Lý thuyết trường lượng tử là ở chỗ nó dựa trên ý tưởng cho rằng không gian (và không-thời gian) giống như một đĩa kem bột sôcôla có thể chia nhỏ đến vô hạn. Bất kể bạn cắt nó mảnh mai đến mức nào, bạn vẫn luôn có thể chia nhỏ nó thêm nữa. Tất cả những câu đố lớn của toán học đều là về sự vô hạn: Làm thế nào các con số lại cứ tăng mãi mãi, và tại sao không? Làm thế nào không gian có thể được chia nhỏ vô hạn, và tại sao lại không thể? Tôi ngờ rằng sự vô hạn chính là nguyên nhân cơ bản của sự điên rồ của các nhà toán học.

Điên hay không, thì một không gian được chia nhỏ vô hạn là cái mà các nhà toán học gọi là *continuum*. Vấn đề của continuum là ở chỗ những điều khủng khiếp có thể xảy ra ở những khoảng cách nhỏ nhất. Thực tế, một continuum không có khoảng cách nhỏ nhất – bạn có thể biến mất vào sự hồi quy vô hạn của các ô ngày càng nhỏ hơn và mọi thứ đều có thể diễn ra ở mọi cấp độ. Nói một cách khác, một continuum có thể giữ được số lượng vô hạn các bit thông tin ở mỗi thể tích nhỏ bé của không gian, bất kể là nhỏ cỡ nào.

Vấn đề của cái vô cùng nhỏ đặc biệt rắc rối trong Cơ học lượng tử, nơi mà bất kỳ thứ gì có thể thăng giáng đều thăng giáng, và “mọi thứ không bị cấm thì đều là bắt buộc”. Ngay cả trong không gian trống rỗng ở 0 độ tuyệt đối, các trường như điện trường và từ trường, cũng vẫn thăng giáng. Những thăng giáng này diễn ra ở mọi thang, từ những bước sóng lớn nhất hàng tỉ năm ánh sáng cho đến những kích thước không lớn hơn một điểm trong toán học. Sự thăng giáng của các trường lượng tử này có thể lưu trữ một số lượng vô hạn thông tin trong mọi thể tích nhỏ bé. Đây chính

là nguyên nhân dẫn đến thảm họa về toán học.

Một số vô hạn tiềm tàng các bit có thể chứa trong mọi thể tích nhỏ được thể hiện trong các giản đồ Feynman như là sự hồi quy vô hạn của những giản đồ con ngày càng nhỏ hơn. Bắt đầu với ý tưởng đơn giản về một hàm truyền biểu thị một electron di chuyển từ một điểm này đến điểm khác của không-thời gian. Nó bắt đầu và kết thúc với chỉ một electron.

Đối với một electron, có nhiều cách khác nhau để đi từ *a* đến *b*, chẳng hạn, bằng cách tung hứng các photon trên đường đi của nó.

Rõ ràng các khả năng là không có giới hạn, và theo các quy tắc của Feynman, tất cả các khả năng đó cần được cộng với nhau để tìm ra xác suất thực. Tất cả các giản đồ đều có thể được trang trí với nhiều cấu trúc hơn nữa. Mỗi một hàm truyền và đỉnh đều có thể được thay thế bằng một lịch sử phức tạp hơn có liên quan với



những giản đồ ở trong những giản đồ rồi lại ở trong những giản đồ, cho đến khi chúng quá nhỏ để có thể nhìn thấy. Nhưng với sự trợ giúp của một kính lúp có độ phóng đại rất lớn thì ngay cả cấu trúc nhỏ hơn nữa cũng vẫn có thể được bổ sung thêm vào... một cách vô hạn.

Tiềm năng có thể bổ sung thêm vô hạn một cấu trúc còn nhỏ hơn nữa vào một giản đồ Feynman là một trong những hệ quả gây nhiều lo ngại của continuum không-thời gian của Lý thuyết trường lượng tử: miếng kem sôcôla cứ tiếp tục nhỏ dần.

Với tất cả những gì đang diễn ra thì chẳng có gì ngạc nhiên khi Lý thuyết trường lượng tử là một đối tượng nguy hiểm về mặt toán học. Việc làm cho tất cả những thăng giáng đó trong những ô không gian vô cùng nhỏ nhiều vô hạn liên kết lại với nhau thành một vũ trụ có cấu trúc chặt chẽ là điều không dễ. Thực tế, hầu hết các phiên bản của Lý thuyết trường lượng tử đều rối rắm và tạo ra những điều vô nghĩa. Ngay cả Mô hình chuẩn của các hạt cơ bản, khi được phân tích đến kỳ cùng, cũng là không nhất quán về mặt toán học.



Nhưng không có gì sánh được với những khó khăn trong việc nỗ lực xây dựng một Lý thuyết trường lượng tử của hấp dẫn. Nên nhớ rằng hấp dẫn là hình học. Trong sự cố gắng kết hợp Thuyết tương đối rộng với Cơ học lượng tử, thì ít nhất theo các quy tắc của Lý thuyết trường lượng tử, người ta nhận thấy rằng bản thân không-thời gian cũng thay đổi hình dạng của nó liên tục. Nếu bạn có thể phóng to một vùng không gian nhỏ xíu, bạn sẽ thấy không gian rung động dữ dội, nó tự vận xoắn thành những chỗ có độ cong rất khác nhau. Hơn nữa, bạn càng phóng to thì những thăng giáng càng trở nên dữ dội hơn.

Những giản đồ Feynman giả thuyết có liên quan đến các graviton đã phản ánh sự ngang ngạnh này. Sự vô hạn của các giản đồ ngày càng nhỏ hơn đã trở nên điên cuồng vượt ra ngoài tầm kiểm soát. Mọi nỗ lực để hiểu được Lý thuyết trường lượng tử của hấp dẫn đều dẫn tới cùng một kết luận: có quá nhiều thứ diễn ra ở những thang khoảng cách nhỏ nhất. Việc ứng dụng những phương pháp truyền thống của Lý thuyết trường lượng tử cho hấp dẫn đều dẫn tới sự thất bại về toán học.

Các nhà vật lý có một cách để loại bỏ thảm họa về không gian có thể chia nhỏ một cách vô hạn: họ làm như không gian, cũng giống như đĩa kem bọt sôcôla, không phải là liên tục thực sự. Cụ thể là họ giả thiết rằng nếu bạn chia không gian đến một điểm nhất định, bạn sẽ phát hiện một khối mà bạn không thể chia nhỏ được nữa. Nói cách khác, là dùng vẽ tiếp các giản đồ Feynman khi những cấu trúc con trở nên quá nhỏ. Một giới hạn về mức độ nhỏ bé như thế được gọi là *kỹ thuật cắt (cutoff)*. Về cơ bản, kỹ thuật cắt không là gì khác hơn là chia không gian thành những *voxel* không thể chia nhỏ hơn được nữa và không bao giờ cho phép có nhiều hơn một bit trên mỗi *voxel*.

Kỹ thuật cắt có vẻ giống như một cách lảng tránh, trốn chạy, nhưng cũng có lý do của nó. Các nhà vật lý đã tư biện từ lâu rằng

độ dài Planck chính là nguyên tử cơ bản của không gian. Các giản đồ Feynman, kể cả những giản đồ liên quan đến các graviton, đều hoàn toàn có thể hiểu được chừng nào bạn thôi không bổ sung thêm các cấu trúc nhỏ hơn độ dài Planck vào – hay là những lập luận đại khái như vậy. Đó là sự kỳ vọng gần như phổ biến về không-thời gian – rằng nó có một cấu trúc gián đoạn, gồm những *voxel*, và không thể chia nhỏ hơn nữa ở kích thước Planck.

Nhưng đó là trước khi người ta phát minh ra Nguyên lý toàn ảnh. Như chúng ta đã thấy ở Chương 18, sự thay thế không gian liên tục bằng một tập hợp các *voxel* có kích thước Planck hữu hạn là một ý tưởng sai. Không gian tạo bởi các *voxel* sẽ ước lượng quá cao số lượng các biến thể có thể diễn ra trong một vùng không gian. Điều đó có lẽ đã dẫn Ptolemy đi đến kết luận sai lầm về số lượng các bit mà thư viện của ông có thể lưu trữ, và nó cũng sẽ dẫn các nhà vật lý lý thuyết đi tới kết luận sai lầm về lượng thông tin mà một vùng không gian có thể chứa đựng.

Gần như ngay từ đầu, người ta đã đánh giá rằng Lý thuyết dây sẽ giải quyết được câu đố về các giản đồ Feynman vô cùng nhỏ. Nó làm được điều đó một phần là nhờ loại bỏ ý tưởng về một hạt điểm nhỏ vô hạn. Nhưng cho đến khi xuất hiện Nguyên lý toàn ảnh, người ta cũng vẫn chưa đánh giá hết được sự khác biệt triệt để giữa Lý thuyết dây và kỹ thuật cắt hay phiên bản *voxel* của Lý thuyết trường lượng tử. Một thực tế đáng chú ý là tinh hoa của Lý thuyết dây chính là lý thuyết toàn ảnh mô tả một vũ trụ bằng các *pixel* hai chiều.

Lý thuyết dây hiện đại, cũng giống như hiện thân trước đây của nó, có cả dây đóng và dây hở. Trong hầu hết, chứ không phải tất cả các phiên bản của lý thuyết này, thì photon là dây hở, tương tự như meson, trừ một điều là nó nhỏ hơn nhiều. Trong mọi phiên

bản thì graviton là dây đóng, gần giống như một glueball thu nhỏ. Liệu có một ý nghĩa sâu xa bất ngờ nào đó mà ở đây, hai loại dây này – dây cơ bản và dây QCD – bằng cách nào đó lại là cùng một đối tượng hay không? Từ sự khác nhau về kích thước của chúng, điều đó dường như là không thể, nhưng các nhà Lý thuyết dây bắt đầu ngờ rằng sự khác biệt lớn về kích thước đã dẫn tới sự hiểu lầm. Trong Chương 23, chúng ta sẽ thấy có một Lý thuyết dây thống nhất, nhưng bây giờ thì chúng ta hãy cứ nghĩ là hai phiên bản này của Lý thuyết dây là hai hiện tượng khác nhau.

Dây là mọi đối tượng đàn hồi, có chiều dài lớn hơn nhiều so với bề dày của nó: dây giày và dây câu cá đều là dây cả. Trong vật lý, từ *dây* cũng ám chỉ sự đàn hồi: dây có thể được kéo giãn hoặc uốn cong, giống như dây chằng hay các dây cao su vậy. Dây QCD còn cực bền – bạn có thể treo một chiếc xe tải cỡ lớn vào đầu một meson – nhưng dây cơ bản thậm chí còn bền hơn nhiều. Thực vậy, mặc dù các dây cơ bản là siêu mảnh, song chúng lại vô cùng bền vững – bền hơn nhiều so với bất cứ thứ gì tạo bởi vật chất thông thường. Số các xe tải có thể treo bằng dây cơ bản vào khoảng 10^{40} chiếc. Cường độ sức căng khủng khiếp mà nó chịu được đó khiến cho việc kéo giãn một dây cơ bản thêm độ dài đáng kể nào đó cũng đều vô cùng khó khăn. Kết quả là, kích thước điển hình của một dây cơ bản có thể gần như nhỏ cỡ kích thước Planck.

Cơ học lượng tử không đóng vai trò quan trọng trong các dây mà chúng ta gặp hằng ngày như dây chằng, dây cao su, hay kẹo cao su bị kéo giãn, nhưng cả dây QCD lẫn dây cơ bản đều có tính cơ học lượng tử cao. Trong số nhiều thứ khác thì điều này có nghĩa là năng lượng chỉ có thể được bổ sung theo từng đơn vị rời rạc, không thể phân chia được. Việc chuyển từ một giá trị năng lượng này sang giá

trị năng lượng khác chỉ có thể được thực hiện bằng những “bước nhảy lượng tử” theo cầu thang các mức năng lượng.

Bậc thang năng lượng thấp nhất được gọi là *trạng thái cơ bản*. Thêm vào một đơn vị năng lượng sẽ dẫn tới *trạng thái kích thích đầu tiên*. Một bước nữa sẽ dẫn tới *trạng thái kích thích thứ hai*, và cứ tiếp tục các bước nhảy như vậy. Các hạt cơ bản, như electron và photon, đều ở bậc thang cuối cùng. Nếu chúng dao động tí chút thì cũng chỉ là chuyển động lượng tử ở điểm zêrô. Nhưng nếu Lý thuyết dây là đúng thì chúng có thể được làm cho quay và dao động với năng lượng tăng dần (và vì vậy mà khối lượng cũng tăng dần).

Một dây đàn ghita có thể được kích thích khi gảy nó bằng móng gảy, nhưng như bạn có thể hình dung, một cái móng gảy của đàn ghita là quá lớn để gảy một electron. Cách đơn giản nhất là bắn phá nó bằng một hạt khác. Thực tế, chúng ta đã sử dụng một hạt như là “móng gảy” để gảy một hạt khác. Nếu va chạm là đủ mạnh, thì nó sẽ làm cho cả hai dây cùng dao động ở trạng thái kích thích. Câu hỏi tiếp theo rõ ràng sẽ là, “Tại sao các nhà vật lý thực nghiệm không kích thích các electron hay photon trong các phòng thí nghiệm gia tốc và giải quyết dứt điểm câu hỏi liệu các hạt có phải là các dây cơ bản dao động hay không?” Vấn đề ở đây là độ lớn của bước nhảy: nó là quá lớn. Năng lượng cần để làm cho một hadron quay hay dao động là khá khiêm tốn theo tiêu chuẩn của vật lý hạt hiện đại, nhưng năng lượng cần để kích thích các dây cơ bản là cực kỳ lớn. Thêm một đơn vị năng lượng cho một electron sẽ làm tăng khối lượng của nó lên gần bằng khối lượng Planck. Thậm chí còn tệ hơn nữa là năng lượng này lại phải được tập trung vào một không gian vô cùng nhỏ. Nói một cách nôm na thì chúng ta sẽ phải nhồi khối lượng của một tí tí proton vào một đường kính nhỏ hơn một proton

một tí tí lần. Không một máy gia tốc nào từng được chế tạo lại có thể tiến gần đến khả năng làm được điều đó. Cái máy gia tốc đó chưa bao giờ được chế tạo và có lẽ sẽ không bao giờ¹.

Các dây ở trạng thái kích thích cao thì về trung bình sẽ lớn hơn bản thân chúng khi ở trạng thái cơ bản; năng lượng thêm vào sẽ làm cho chúng chuyển động nhanh hơn và kéo chúng dài ra. Nếu bạn có thể bắn phá một dây với năng lượng đủ mạnh, nó sẽ giãn ra và to như một cuộn chỉ rối, nhảy loạn xạ. Và không có một giới hạn nào: với nhiều năng lượng hơn, thì dây có thể bị kích thích tới bất kỳ kích cỡ nào.

Có một cách để tạo ra các dây bị kích thích cực mạnh trong tự nhiên, chứ không phải trong phòng thí nghiệm. Như chúng ta sẽ thấy trong Chương 21, các lỗ đen – ngay cả những lỗ đen khổng lồ ở trung tâm các thiên hà – cũng đều là những “cuộn dây khổng lồ” rối, và vô cùng lớn.



Dây đơn giản nhất là các hạt cơ bản



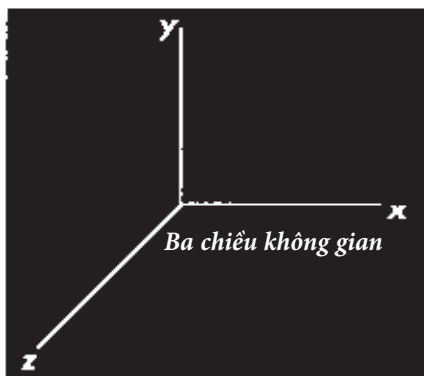
Lắc chúng và bổ sung năng lượng



Bổ sung thêm nhiều năng lượng hơn nữa

¹ Đó là lý do tại sao một số nhà vật lý tuyên bố rằng Lý thuyết dây vẫn còn là một lý thuyết chưa được chứng minh bằng thực nghiệm. Tuyên bố đó cũng đáng khen ngợi, nhưng lỗi của các nhà lý thuyết cũng không nhiều hơn các nhà vật lý thực nghiệm. Những thằng cha lười biếng đó nên ra ngoài và chế tạo một cái máy gia tốc cỡ thiên hà xem. Rồi thu thập cả một nghìn tỉ thùng dầu để cung cấp nhiên liệu cho nó mỗi giây nữa.

Còn có một hệ quả thú vị và quan trọng khác của Cơ học lượng tử, nhưng nó quá tinh vi và quá chuyên môn nên khó có thể giải thích ở đây. Không gian như chúng ta thường nhận biết là không gian ba chiều. Có nhiều thuật ngữ dùng cho ba chiều này chẳng hạn: kinh độ,



vĩ độ và độ cao so với mực nước biển; hay chiều dài, chiều rộng và chiều cao. Các nhà toán học và vật lý thường mô tả ba chiều bằng cách sử dụng ba trục được ký hiệu là x , y và z .

Nhưng các dây cơ bản không được thoải mái khi chuyển động trong không gian chỉ có ba chiều. Ý của tôi muốn nói là toán học tinh tế của Lý thuyết dây sẽ trở nên rất rối rắm nếu không bổ sung thêm các chiều không gian. Các nhà Lý thuyết dây đã khám phá ra nhiều năm trước đây rằng sự nhất quán về mặt toán học trong các phương trình của họ sẽ bị phá vỡ nếu không bổ sung thêm *sáu chiều không gian* nữa. Tôi luôn cảm thấy rằng nếu một điều gì đó đã được hiểu một cách đủ tường tận, thì đều có thể được giải thích bằng những từ ngữ thông thường. Nhưng yêu cầu cần bổ sung tới 6 chiều không gian của Lý thuyết dây quả là rất khó có thể giải thích một cách đơn giản, kể cả sau hơn 35 năm nữa. Tôi e là mình sẽ phải chọn lối thoát của kẻ cù nhày mà nói: “Có thể chứng minh rằng...”.

Tôi sẽ rất ngạc nhiên nếu như gặp được ai đó có thể hình dung ra bốn hoặc năm chiều không gian, chứ chưa nói đến chín¹. Tôi cũng không thể làm điều đó tốt hơn bạn chút nào, nhưng tôi có

¹ Người ta thường nghe nói Lý thuyết dây có 10 chiều, trong đó có một chiều là thời gian. Nói cách khác, Lý thuyết dây có $(9 + 1)$ chiều.

thể thêm sáu chữ cái nữa trong bảng chữ cái là r, s, t, u, v, w vào ba chữ cái x, y, z thông thường, rồi sau đó tiến hành những phép tính đại số và giải tích với các ký hiệu này. Với chín chiều không gian để chuyển động trong đó, “có thể chứng minh rằng” Lý thuyết dây là nhất quán về mặt toán học.

Giờ thì bạn có thể sẽ hỏi: nếu Lý thuyết dây đòi hỏi chín chiều mà ta chỉ quan sát được không gian có ba chiều, vậy phải chăng cái bằng chứng thoáng qua đó đã chứng tỏ Lý thuyết dây là sai? Nhưng mọi chuyện không phải đơn giản như vậy. Nhiều nhà vật lý rất nổi tiếng – bao gồm cả Einstein, Wolfgang Pauli, Felix Klein, Steven Weinberg, Murray Gell-Mann, và cả Stephen Hawking nữa (không ai trong số họ là nhà Lý thuyết dây cả) – đều đã suy ngẫm một cách nghiêm túc về ý tưởng cho rằng không gian có hơn ba chiều. Họ rõ ràng không phải là hoang tưởng, vì vậy phải có cách nào đó đã che giấu sự tồn tại của những chiều dư đó. Từ thông dụng dùng cho sự che giấu các chiều khác là *compact*, *compactify*, và *compactification*: các nhà Lý thuyết dây làm cho sáu chiều không gian dư nén lại (*compact*), tức là nén chặt (*compactify*) chúng bằng một quá trình nén (*compactification*). Ý tưởng này cho rằng các chiều không gian dư bị cuộn lại thành những nút cực nhỏ mà chúng ta, những sinh vật quá to lớn không thể chuyển động trong những chiều đó hoặc thậm chí là nhận ra chúng.

Quan niệm cho rằng một hoặc nhiều chiều không gian có thể được cuộn lại thành những hình học cực bé, và vì vậy chúng quá nhỏ để có thể phát hiện ra, chính là chủ đề chung của vật lý học năng lượng cao hiện đại. Một số người cho rằng *các chiều dư* là một ý tưởng đầy tính tư biện – một thứ “khoa học viễn tưởng với các phương trình”, như có ai đó đã nói như vậy. Nhưng đó là sự hiểu sai do ngu dốt. Tất cả các lý thuyết hiện đại của các hạt cơ

bản đều sử dụng một vài dạng của các chiều dư để cung cấp bộ máy còn thiếu – bộ máy làm cho các hạt trở nên phức tạp.

Các nhà Lý thuyết dây không phải là người đã phát minh ra khái niệm các chiều dư, nhưng họ đã sử dụng nó một cách đặc biệt sáng tạo. Mặc dù Lý thuyết dây đòi hỏi phải có thêm sáu chiều dư, song chúng ta vẫn có thể có được một ý niệm chung bằng cách bổ sung thêm chỉ một chiều mới vào không gian thôi. Hãy tìm hiểu khái niệm một chiều dư trong bối cảnh đơn giản nhất. Bắt đầu với một thế giới chỉ có một chiều không gian – chúng ta gọi nó là *Đất nước đường thẳng* – rồi sau đó sẽ thêm vào một chiều dư bị nén nhỏ lại. Định vị một điểm trong Đất nước đường thẳng chỉ đòi hỏi một tọa độ; các cư dân ở đây gọi tọa độ đó là X.

Để làm cho Đất nước đường thẳng trở nên thú vị hơn, chúng ta cần thêm vào một vài đối tượng nữa, chẳng hạn, tạo thêm các hạt di chuyển dọc theo đường thẳng đó.



Hãy xem những đối tượng này như một chuỗi các hạt bé xíu có thể gắn với nhau để tạo nên những nguyên tử, phân tử và thậm chí có thể là các sinh vật một chiều. (Tôi khá nghi ngờ chuyện sự sống lại có thể tồn tại trong một thế giới chỉ có một chiều, nhưng hãy tạm thời gạt bỏ sự hoài nghi đó). Giả sử cả đường thẳng và các hạt là vô cùng mảnh, nên chúng không nhô vào các chiều khác. Hay tốt hơn nữa là cố gắng hình dung đường thẳng và các hạt mà không có các chiều khác¹.

¹ Mô hình CGHS mà tôi đã giải thích ở Chương 15 chính là Đất nước đường thẳng, nhưng với một lỗ đen rất nặng (và không nghi ngờ gì là rất nguy hiểm) ở cuối không gian của những cư dân ở Đất nước này.

Một người thông minh có thể thiết kế nhiều phiên bản khác nhau của Đất nước đường thẳng. Các hạt có thể đều giống nhau, hoặc để cho thế giới thú vị hơn, có thể tồn tại một vài loại hạt. Để theo dõi các loại hạt khác nhau này, chúng ta có thể đánh dấu chúng bằng các màu: đỏ, lam, lục, v.v.. Tôi có thể tưởng tượng ra vô số các khả năng: các hạt đỏ hút các hạt lam nhưng lại đẩy các hạt lục. Các hạt đen rất nặng, nhưng các hạt trắng lại không có khối lượng và di chuyển qua Đất nước đường thẳng với tốc độ ánh sáng. Chúng ta thậm chí có thể cho phép các hạt có tính chất cơ học lượng tử, màu sắc của một hạt bất kỳ đã cho là bất định.

Sự sống chỉ trong một chiều là rất cần cỗi. Với sự tự do chỉ được di chuyển dọc theo một đường thẳng, những cư dân ở đây lúc nào cũng va vào nhau. Liệu họ có thể giao tiếp với nhau không? Rất dễ dàng: họ có thể phóng các hạt ở một đầu của họ vào nhau để truyền tin. Nhưng cuộc sống xã hội của họ thì thật sự buồn tẻ; mỗi sinh vật chỉ có hai người quen – một ở bên trái và một ở bên phải. Bạn cần ít nhất hai chiều để có một nhóm xã hội.

Nhưng bề ngoài dễ làm người ta lầm lẫn. Khi cư dân của Đất nước đường thẳng nhìn qua một kính hiển vi rất mạnh, họ mới giật mình phát hiện ra thế giới của họ thực sự có hai chiều. Cái mà họ nhìn thấy không phải là một đường thẳng toán học lý tưởng không có bề dày, mà là bề mặt của một ống hình trụ. Dưới điều kiện bình thường, thì chu vi của ống hình trụ là quá nhỏ để cư dân ở đây có thể phát hiện ra, nhưng dưới kính hiển vi, những đối tượng nhỏ hơn nhiều, thậm chí nhỏ hơn cả các nguyên tử ở xứ sở này, cũng bị phát hiện – đó là những đối tượng nhỏ đến nỗi chúng có thể di chuyển theo *hai* hướng.



Giống như những người anh em khổng lồ Brobdingnag¹ của mình, những anh chàng Lilliput² của Đất nước đường thẳng có thể di chuyển dọc theo chiều dài của ống hình trụ, nhưng do họ quá nhỏ nên họ cũng có thể di chuyển quanh đường tròn của ống. Họ thậm chí còn có thể di chuyển theo cả hai hướng một cách đồng thời, tức là theo đường xoắn ốc vòng quanh ống trụ. Thật thích thú là họ có thể vượt qua nhau mà không bị va chạm. Hoàn toàn chính đáng, họ có thể tuyên bố rằng mình sống trong không gian hai chiều, nhưng với một đặc điểm: nếu họ di chuyển theo một đường thẳng quanh một chiều khác, họ sẽ nhanh chóng trở lại vị trí ban đầu.

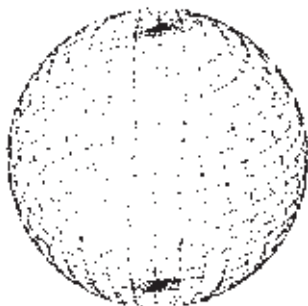
Các cư dân của Đất nước đường thẳng giờ đây cần một cái tên cho hướng mới, họ gọi nó là Y. Nhưng không giống X, họ không thể di chuyển rất xa dọc theo Y mà không quay trở lại điểm xuất phát. Các nhà toán học của Đất nước đường thẳng nói rằng hướng Y là *compact*.

Ống hình trụ trong hình trên là cái mà bạn sẽ nhận được khi bổ sung thêm một chiều dư compact vào thế giới một chiều ban đầu. Bổ sung thêm sáu chiều khác vào một thế giới đã có ba chiều rồi là chuyện vượt quá khả năng hình dung của trí tuệ con người. Điều tạo nên sự khác biệt giữa các nhà toán học và vật lý với những người khác không phải là họ có đột biến gen nên có thể hình dung được số chiều bất kỳ nào, mà là họ đã trải qua sự tập luyện đầy cam go về toán học – lại một lần nữa, đó cũng chính là sự thay đổi nhận thức – để “nhìn thấy” được các chiều dư.

¹ Tên vương quốc những người khổng lồ trong tác phẩm *Guliver du ký* của Jonathan Swift. (ND)

² Tên vương quốc những người tí hon trong tác phẩm vừa dẫn. (ND)

Chỉ duy nhất một chiều dư thôi thì không mang lại nhiều cơ hội cho sự đa dạng. Chuyển động trong một chiều compact cũng tựa như đi vòng quanh một vòng tròn mà không nhận ra. Nhưng chỉ cần thêm vào hai chiều dư thôi là sẽ cho phép một sự đa dạng vô hạn của những cơ hội mới. Hai chiều dư thêm có thể tạo nên một mặt cầu,



một hình xuyên (mặt chiếc bánh có hình xăm ô tô)



một hình xuyên có hai hoặc ba lỗ

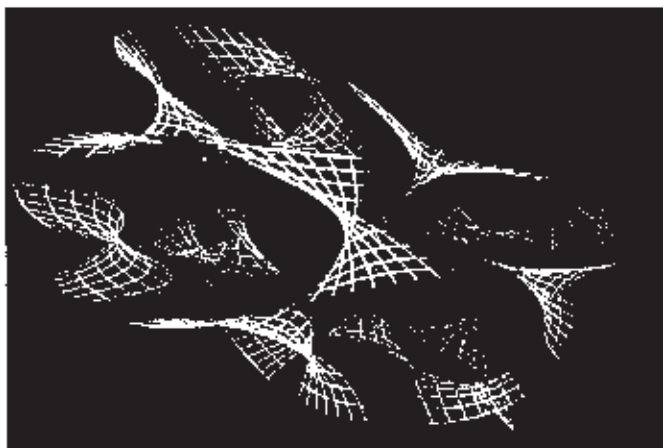


hay thậm chí một không gian bí hiểm có tên là chai Klein



Như chúng ta vừa làm thì việc hình dung hai chiều dư không mấy khó khăn, nhưng khi số chiều này tăng lên thì chúng cũng sẽ trở nên ngày càng khó hình dung hơn. Cho đến khi bạn bổ sung thêm sáu chiều dư nữa theo yêu cầu của Lý thuyết dây, thì việc hình dung mà không có toán học sẽ là vô vọng. Không gian có dạng hình học đặc biệt mà các nhà Lý thuyết dây sử dụng để nén sáu chiều bổ sung được gọi là *đa tạp Calabi Yau*, và có tới hàng triệu đa tạp này, mà không có hai đa tạp nào giống nhau. Những đa tạp Calabi Yau cực kỳ phức tạp, với hàng trăm lỗ sáu chiều và những nút xoắn không thể nào tưởng tượng được. Tuy nhiên, các nhà toán học vẫn vẽ được chúng bằng cách cắt lát chúng thành những hình vẽ ít chiều hơn, tương tự như các giản đồ nhúng. Dưới đây là bức vẽ một lát cắt hai chiều của một không gian Calabi Yau điển hình.

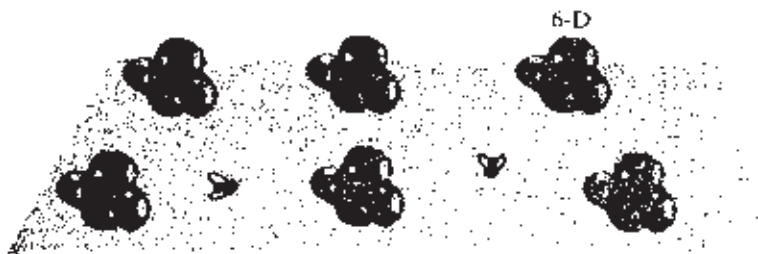
Tôi sẽ cố gắng cho bạn một ý niệm về không gian bình thường sẽ trông như thế nào, khi mà các đa tạp Calabi Yau sáu chiều được thêm vào mỗi điểm. Trước hết, ta hãy nhìn những chiều thông



thường, trong đó những vật thể lớn như con người có thể chuyển động thoải mái. (Tôi đã vẽ nó dưới dạng hai chiều nhưng từ giờ trở đi, bạn nên tự thêm vào chiều thứ ba trong trí tưởng tượng của bạn).



Tại mỗi điểm của không gian ba chiều đều có thêm sáu chiều khác bị cuộn lại mà chỉ những vật thể rất nhỏ bé mới chuyển động trong đó được. Vì cần thiết, tôi vẽ các không gian Calabi Yau tách rời nhau, nhưng bạn nên hình dung chúng có mặt tại mỗi điểm của không gian thông thường.



Nào giờ ta hãy quay trở lại với các dây. Một dây chẳng bình thường có thể kéo giãn ra nhiều hướng – chẳng hạn, dọc theo trục đông-tây, trục bắc-nam, hay trục lên-xuống. Nó có thể kéo giãn dưới những góc khác nhau, ví dụ như theo hướng bắc – tây bắc với góc nghiêng so với trục nằm ngang là 10 độ. Nhưng nếu có thêm các chiều dư, thì các khả năng sẽ còn được nhân lên. Đặc biệt, dây có thể kéo giãn theo một hướng compact. Một dây đóng có thể quấn quanh không gian Calabi Yau một hoặc hai lần, trong khi không bị kéo giãn chút nào theo hướng không gian thông thường.



Giờ tôi sẽ làm cho nó thậm chí còn phức tạp hơn. Dây có thể quấn quanh không gian compact và đồng thời nó còn run rẩy nữa. Sự run rẩy này lan truyền quanh dây như một con rắn.



Việc kéo giãn một sợi dây theo một hướng compact và làm cho nó run rẩy đòi hỏi phải có năng lượng, vì vậy các hạt được mô tả bởi các dây này sẽ nặng hơn các hạt thông thường.

Các lực

Vũ trụ của chúng ta là một thế giới không chỉ có không gian, thời gian, và các hạt mà còn có cả các lực nữa. Lực điện tác dụng giữa các hạt tích điện có thể làm các mẫu giấy và những hạt bụi di chuyển (hãy nghĩ đến tĩnh điện), nhưng quan trọng hơn là, cũng chính những lực này đã giữ cho các electron trong nguyên tử ở trên các quỹ đạo xung quanh hạt nhân. Lực hấp dẫn tác dụng giữa Trái đất và Mặt trời, giữ cho Trái đất ở trên quỹ đạo của nó.

Tất cả các lực, xét cho cùng, đều bắt nguồn từ các lực vi mô giữa các hạt riêng biệt. Nhưng các lực tương tác giữa các hạt này đến từ đâu? Theo Newton thì lực vạn vật hấp dẫn trong vũ trụ giữa các vật có khối lượng chỉ là một thực tế của tự nhiên – một thực tế mà ông có thể mô tả nhưng không thể giải thích. Tuy nhiên, trong suốt thế kỷ 19 và 20, các nhà vật lý như Michael Faraday, James Clerk Maxwell, Albert Einstein và Richard Feynman đã có sự hiểu biết rất sâu sắc có thể giải thích được lực thông qua những khái niệm nằm ở bên dưới, cơ bản hơn.

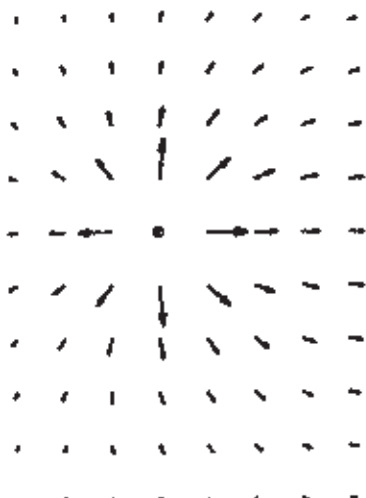
Theo Faraday và Maxwell, điện tích không trực tiếp đẩy hoặc hút lẫn nhau, mà có một yếu tố trung gian trong không gian giữa các điện tích đã truyền lực đó. Hãy hình dung một Slinky – một loại đồ chơi lò xo – có thể co giãn giữa hai quả bóng ở cách xa nhau.

Mỗi quả bóng tác dụng một lực chỉ lên phần của lò xo ở gần nó nhất. Sau đó mỗi phần này của lò xo lại tác dụng một lực lên các



phần ở cạnh nó. Lực này được truyền dọc theo lò xo cho đến khi nó tác dụng vào quả bóng ở đầu kia. Kết quả dường như thể hai vật đang kéo nhau, nhưng đó là một ảo giác do cái lò xo làm trung gian tạo ra.

Đối với các hạt tích điện, các tác nhân trung gian chính là điện trường và từ trường choán đầy không gian xung quanh chúng. Mặc dù không nhìn thấy được, nhưng các trường này là hoàn toàn có thực: chúng là những nhiễu động tròn trịa, không nhìn thấy được của không gian, có vai trò truyền đi các lực giữa hai điện tích.



⇐ Điện trường của một điện tích dương



Einstein thậm chí còn đi sâu hơn nữa trong lý thuyết hấp dẫn của ông. Khối lượng làm cong hình học của không-thời gian ở lân cận khối lượng đó, và chính vì vậy, chúng làm méo mó quỹ đạo

của các khối lượng khác. Sự bóp méo hình học này cũng có thể được xem như là các trường.

Người ta có thể nghĩ rằng đến đây là kết thúc vấn đề. Đúng là như vậy cho đến khi Richard Feynman đưa ra thuyết lượng tử về lực, mà thoát nhìn dường như nó hoàn toàn khác so với lý thuyết trường của Faraday-Maxwell-Einstein. Thuyết của Feynman bắt đầu bằng quan niệm cho rằng các hạt tích điện có thể phát xạ (tung ra) và hấp thụ (bắt lấy) các photon. Không có gì là mâu thuẫn ở ý tưởng này cả; từ lâu người ra đã hiểu rằng các tia X được phát xạ khi electron bị dừng lại đột ngột bởi một chướng ngại vật ở bên trong ống tia X. Còn quá trình đảo ngược, tức là sự hấp thụ đã là một phần trong bài báo của Einstein, trong đó lần đầu tiên ông đã đưa ra ý tưởng về lượng tử ánh sáng.

Feynman đã hình dung một hạt tích điện như một người tung hứng các photon, liên tục phát xạ, hấp thụ và tạo ra số lượng lớn photon trong không gian xung quanh điện tích đó. Một electron, đứng yên, là một người tung hứng hoàn hảo, không bao giờ bắt hụt. Nhưng cũng giống như một người tung hứng ở trong một toa tàu, sự gia tốc bất ngờ có thể làm đảo lộn mọi thứ. Điện tích có thể bị đẩy ra xa khỏi vị trí của nó, khiến nó ở sai vị trí hấp thụ photon. Photon bị bắt trượt sẽ bay đi và trở thành một phần của ánh sáng được bức xạ.

Trở lại toa tàu hỏa, bạn diễn của người tung hứng lên tàu và cả hai quyết định tập luyện tung hứng theo cặp. Phần lớn, mỗi người tung hứng chỉ bắt những vật mà chính họ ném lên, nhưng khi họ tiến lại đủ gần nhau, thì thi thoảng người này có thể bắt bóng do người kia tung lên. Điều tương tự cũng xảy ra khi hai điện tích tiến lại gần nhau. Đám mây photon xung quanh các điện tích bị trộn

lẫn, và điện tích này có thể hấp thụ photon do điện tích kia phát ra. Quá trình này được gọi là *trao đổi photon*.

Nhờ có sự trao đổi photon mà các điện tích tác dụng lực lên nhau. Câu hỏi hóc búa rằng lực đó là hút hay là đẩy chỉ có thể được trả lời bằng những phẩm chất rất tinh tế của Cơ học lượng tử. Chỉ cần nói rằng sau khi Feynman thực hiện các tính toán, ông đã tìm thấy chính những điều mà Faraday và Maxwell đã tiên đoán: điện tích cùng dấu thì đẩy nhau, còn trái dấu thì hút nhau.

Thật thú vị khi so sánh kỹ năng tung hứng của electron với con người. Một người có thể tung lên vài vật và bắt chúng trong một giây, nhưng một electron phát ra và hấp thụ khoảng 10^{19} photon mỗi giây.

Theo lý thuyết của Feynman, toàn bộ vật chất đều tung hứng, chứ không chỉ có các điện tích. Mọi dạng vật chất đều phát xạ và hấp thụ các graviton, lượng tử của trường hấp dẫn. Trái đất và Mặt trời bị bao quanh bởi những đám mây graviton, chúng trộn lẫn vào nhau và được trao đổi. Kết quả là lực hấp dẫn giữ cho Trái đất ở trên quỹ đạo của nó.

Vậy một electron phát ra graviton thường xuyên tới mức nào? Câu trả lời thật sự đáng ngạc nhiên: hoàn toàn không thường xuyên. Trung bình, phải mất một khoảng thời gian lớn hơn cả tuổi của vũ trụ để một electron phát ra một graviton. Chính vì vậy, mà theo lý thuyết của Feynman, lực hấp dẫn giữa các hạt cơ bản là rất yếu khi so sánh với lực điện.

Vậy thì lý thuyết nào là đúng: Lý thuyết trường của Faraday-Maxwell-Einstein hay lý thuyết tung hứng hạt của Feynman? Xem ra chúng quá khác nhau để có thể cả hai đều đúng.

Nhưng quả là cả hai đều đúng thật. Chìa khóa chính là ở tính bổ sung lượng tử giữa sóng và hạt mà tôi đã giải thích ở Chương 4.

Sóng là một khái niệm trường: sóng ánh sáng không gì khác hơn là sự uốn lượn nhanh của trường điện từ. Nhưng ánh sáng còn là các hạt – photon. Vì vậy bức tranh hạt về lực của Feynman và bức tranh trường của Maxwell chính là một ví dụ nữa về tính bổ sung lượng tử. Trường lượng tử được tạo bởi đám mây các hạt tung hứng được gọi là *thể ngưng tụ*.

Một chuyện cười về dây

Để tôi kể cho các bạn nghe chuyện cười mới nhất được loan truyền trong cộng đồng các nhà Lý thuyết dây.

Hai dây đi vào một quán bar và gọi hai cốc bia. Người bán bar nói với một trong số họ: “Này, lâu lắm rồi không gặp. Anh khỏe không?” Sau đó anh ta quay sang dây kia và hỏi: “Anh là người mới ở đây hả? Anh có phải là một dây đóng giống như bạn của anh không?” Ngay lập tức dây này trả lời: “Không, tôi là một cái nút thắt bị sờn”.

Chà, vậy thì bạn trông đợi điều gì từ một nhà Lý thuyết dây?

Chuyện cười thì kết thúc ở đó, nhưng câu chuyện thì vẫn tiếp diễn. Người bán bar cảm thấy hơi mù mịt. Chắc có lẽ đây là kết quả của quá nhiều thức uống bí mật phía sau quầy bar, hoặc có thể là những thăng giáng lượng tử mờ ảo của hai khách hàng khiến anh ta chóng mặt. Nhưng không, nó còn hơn cả những thăng giáng chuẩn; hai dây dường như đang di chuyển rất kỳ lạ, như thể có một lực bí ẩn nào đó kéo căng và buộc chúng lại với nhau. Cứ mỗi khi dây này đột ngột chuyển động thì ngay lập tức sau đó, dây kia bị kéo ra khỏi ghế của nó và ngược lại. Nhưng có vẻ như không có bất kỳ thứ gì liên kết chúng lại cả.

Bị cuốn hút bởi hành vi kỳ quặc này, người bán bar nhìn chăm chú vào không gian giữa chúng hòng tìm ra đầu mối. Trước tiên, tất cả những gì anh ta có thể nhìn thấy là một sự mờ ảo thấp thoáng, sự méo mó hoa cả mắt của hình học, nhưng sau khi quan sát kỹ khoảng một phút, anh ta nhận thấy rằng những mẫu dây nhỏ cứ thi thoảng lại bị tách ra khỏi cơ thể của hai vị khách, tạo nên một thể ngưng tụ giữa chúng. Cái đã kéo và giật mạnh chúng ra chính là thể ngưng tụ này.

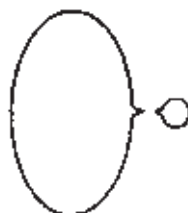
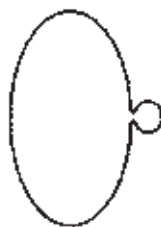
Các dây phát xạ và hấp thụ các dây khác. Hãy xét trường hợp các dây đóng. Ngoài những thăng giáng với chuyển động điểm zêrô ra, một dây lượng tử có thể tách thành hai dây. Tôi sẽ mô tả quá trình này trong Chương 21, nhưng giờ thì một minh họa đơn giản sẽ giúp bạn hình dung được vấn đề. Dưới đây là hình vẽ về một dây đóng

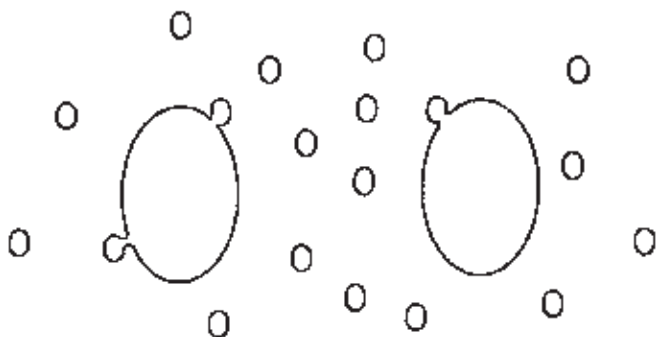
Dây run rẩy dưới dạng chuyển động thất lại cho đến khi một phần phụ giống như cái tai xuất hiện.

Dây bây giờ đã sẵn sàng để tách ra, phát xạ một mẫu nhỏ của chính bản thân nó.

Điều ngược lại cũng có thể xảy ra: một dây nhỏ, gặp một dây thứ hai lớn hơn, có thể bị hấp thụ theo quá trình ngược lại.

Cái mà người bán bar nhìn thấy là thể ngưng tụ của những dây nhỏ – giống như đám mây của những con ruồi lượng tử – vây xung quanh các vị khách của anh ta. Nhưng khi anh ta nhìn bớt chăm chú hơn, thì thể ngưng tụ mờ ảo chỉ đơn giản dường như làm cong hình ảnh anh ta thấy – cũng giống như vùng không-thời gian cong gây ra vậy.





Những vòng dây đóng nhỏ chính là các graviton, bu quanh các dây lớn hơn và tạo nên thể ngưng tụ rất giống với những hiệu ứng của trường hấp dẫn. Graviton – lượng tử của trường hấp dẫn – cũng tương tự về mặt cấu trúc với các glueball của vật lý hạt nhân, nhưng nhỏ hơn 10^{19} lần. Người ta tự hỏi rằng, tất cả những điều này có ý nghĩa gì, nếu có, đối với vật lý hạt nhân.

Một số nhà vật lý ở các lĩnh vực vật lý khác đã tìm ra cách chọc tức sự hăng hái của các nhà lý thuyết dây. Các nhà lý thuyết dây biện bạch rằng “toán học tuyệt đẹp, tao nhã, nhất quán, cường tráng của Lý thuyết dây đã dẫn đến một thực tế tuyệt vời, đầy kinh ngạc và không thể nào tin nổi của lực hấp dẫn, vậy nên nó phải đúng”. Nhưng với những người bên ngoài đầy hoài nghi, thì những lời đề cao quá mức, ngay cả khá chính đáng đi nữa, cũng không thêm được một lập luận có sức thuyết phục nào. Nếu Lý thuyết dây là một lý thuyết đúng của tự nhiên, thì con đường để khẳng định nó bắt buộc phải thông qua những tiên đoán cho thực nghiệm và được kiểm chứng bằng thực nghiệm, chứ không phải bằng những lời tâng bốc. Họ là đúng, nhưng các nhà lý thuyết dây cũng đúng. Vấn đề thực sự là: tiến hành thí nghiệm trên những đối tượng nhỏ hơn hàng tỉ tỉ lần so với một proton là điều cực kỳ khó khăn. Nhưng

cho dù Lý thuyết dây cuối cùng có được xác nhận bằng những dữ liệu thực nghiệm hay không, trong lúc chờ đợi điều đó, thì đây là một phòng thí nghiệm toán học thích hợp, trong đó chúng ta có thể kiểm nghiệm những ý tưởng khác nhau về chuyện hấp dẫn tương thích như thế nào với Cơ học lượng tử.

Với sự xuất hiện của hấp dẫn trong Lý thuyết dây, chúng ta có thể cho rằng khi các dây có khối lượng đủ lớn kết hợp lại với nhau, thì một lỗ đen sẽ hình thành. Như vậy, Lý thuyết dây là một khuôn khổ trong đó có thể xem xét nghịch lý của Hawking. Nếu Hawking đúng khi cho rằng lỗ đen tất yếu sẽ dẫn đến thông tin bị mất, thì toán học của Lý thuyết dây sẽ xác nhận điều đó. Nếu Hawking sai, Lý thuyết dây cũng sẽ cho chúng ta thấy thông tin có thể thoát ra khỏi một lỗ đen như thế nào.

Trong suốt thời kỳ đầu những năm 1990, khi Gerard 't Hooft và tôi đến thăm nhau hai lần ở Stanford và một lần ở Utrecht (nếu tôi nhớ chính xác), 't Hooft nhìn chung không tin vào Lý thuyết dây, mặc dù trên thực tế ông đã viết một trong số những bài báo có tầm ảnh hưởng lớn giải thích mối liên hệ giữa Lý thuyết dây và Lý thuyết trường lượng tử. Tôi chưa bao giờ biết chắc chắn lý do vì sao ông không thích, nhưng tôi có thể đoán được một phần nguyên nhân có liên quan đến thực tế là vào năm 1985, lực lượng vật lý lý thuyết Mỹ đã trở nên đồng nhất một cách áp đảo, mà chiếm ưu thế là các nhà lý thuyết dây. 'T Hooft, luôn là người chống đối và (giống như tôi) tin rằng sức mạnh là ở sự đa dạng. Càng nhiều cách tiếp cận một vấn đề khác nhau, và càng có nhiều loại ý tưởng khác nhau có thể được sử dụng, thì càng có nhiều cơ hội giải quyết được những vấn đề thực sự hóc búa của khoa học.

Tuy nhiên, còn một lý do nữa về sự hoài nghi của Gerard, ngoài sự hậm hực khó chịu về sự kiểm soát vật lý học bởi một nhóm quá hẹp. Có thể nói, ông chấp nhận Lý thuyết dây là có giá trị, nhưng ông chống lại tuyên bố cho rằng Lý thuyết dây là “Lý thuyết tối hậu”. Lý thuyết dây được khám phá một cách tình cờ, và sự phát triển của nó diễn ra theo từng mảnh một. Chưa có lúc nào chúng ta có được một bộ đầy đủ toàn diện các nguyên lý hay một tập nhỏ các phương trình xác định. Ngay cả ngày hôm nay, Lý thuyết dây bao gồm một mạng lưới những chân lý toán học có liên hệ với nhau, gắn bó với nhau một cách khá nhất quán, nhưng những chân lý đó chưa cộng lại thành một tập hợp cô đúc những nguyên lý như là trong Lý thuyết hấp dẫn của Newton, Thuyết tương đối rộng, hay Cơ học lượng tử. Thay vì, chúng ta mới chỉ có một mạng lưới các mảnh lắp khít với nhau giống như trong một trò chơi ghép hình rất phức tạp mà bức tranh tổng thể của nó chúng ta lại chỉ mới nhận biết được một cách rất mơ hồ. Hãy nhớ lại câu trích của ‘t Hooft ở đầu chương: *“Hãy thử hình dung tôi đưa cho bạn một cái ghế, rồi giải thích rằng chân ghế bị mất và chỗ ngồi, chỗ dựa lưng và thành ghế có thể sẽ được chuyển đến sớm; liệu cái mà tôi đưa cho bạn đó có thể gọi là một cái ghế hay không?”*

Đúng là Lý thuyết dây vẫn chưa phải là một lý thuyết đã phát triển hoàn chỉnh, nhưng vào thời điểm này, không nghi ngờ gì nữa, nó là chỉ dẫn toán học tốt nhất để đi đến những nguyên lý tối hậu về hấp dẫn lượng tử. Và, tôi có thể nói thêm rằng, nó cũng là một vũ khí mạnh nhất trong Cuộc chiến lỗ đen, đặc biệt là trong việc khẳng định những niềm tin của chính Gerard.

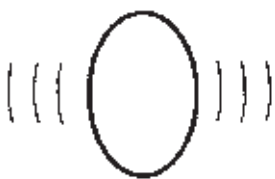
Trong ba chương tiếp theo, chúng ta sẽ xem Lý thuyết dây sẽ giúp ta giải thích và xác nhận Tính bổ sung của lỗ đen, nguồn gốc của entropy lỗ đen và Nguyên lý toàn ảnh như thế nào.

MÁY BAY CỦA ALICE,
HAY CÁNH QUẠT NHÌN THẤY ĐƯỢC CUỐI CÙNG

VỚI HẦU HẾT CÁC NHÀ VẬT LÝ, đặc biệt là những người chuyên về Thuyết tương đối rộng, thì Tính bổ sung của lỗ đen dường như là quá điên rồ để có thể là đúng. Đó không phải là do họ không thấy thoải mái với sự mơ hồ lượng tử; bởi vì sự mơ hồ ở thang Planck là hoàn toàn có thể chấp nhận được. Nhưng Tính bổ sung của lỗ đen lại đưa ra điều gì đó quá ư cấp tiến. Tùy thuộc vào trạng thái chuyển động của người quan sát, mà một nguyên tử có thể vẫn còn là một đối tượng vi mô, vô cùng nhỏ bé, hay nó có thể trải ra toàn bộ chân trời của một lỗ đen khổng lồ. Mức độ mơ hồ này là quá lớn để có thể nuốt trôi được. Và điều này dường như là kỳ lạ ngay cả với chính tôi.

Khi nghĩ về điều đó trong suốt những tuần tiếp sau hội thảo ở Santa Barbara vào năm 1993, hành vi kỳ lạ này bắt đầu gọi tôi nhớ đến một điều gì đó mà tôi đã thấy trước đây. Hai mươi bốn năm trước, trong suốt thời kỳ còn trứng nước của Lý thuyết dây, tôi trở nên buồn bực bởi một tính chất bất ổn của những đối tượng dạng dây nhỏ bé, mà lúc đó tôi gọi chúng là “dây cao su”, biểu diễn các hạt cơ bản.

Theo Lý thuyết dây, vạn vật trong thế giới này đều được tạo bởi những sợi dây đàn hồi một chiều, có năng lượng, có thể co giãn,



gãy và quay tít. Hãy bắt đầu bằng việc nghĩ về một hạt như một sợi dây cao su thu nhỏ không lớn hơn nhiều so với độ dài Planck. Một sợi dây cao su, nếu được gãy, sẽ bắt đầu lắc nhẹ và dao động, và nếu không có ma sát giữa các đoạn của dây cao su, thì sự lắc nhẹ và dao động sẽ tiếp tục mãi mãi.

Khi thêm năng lượng vào dây sẽ làm cho nó dao động thậm chí còn dữ dội hơn, đôi khi tới mức nó giống như một cuộn chỉ rối lớn thẳng giáng loạn xạ. Những dao động này là *các thăng giáng nhiệt*, bổ sung năng lượng thực sự cho dây.

Nhưng chúng ta chớ có quên những thăng giáng lượng tử. Ngay cả khi toàn bộ năng lượng của một hệ được lấy đi hết, đưa nó trở về trạng thái cơ bản, thì những thăng giáng cũng không bao giờ hoàn toàn biến mất. Chuyển động phức tạp này của một hạt cơ bản là rất tinh tế, nhưng với sự hỗ trợ của phép loại suy, tôi có thể chỉ cho bạn thấy một số chi tiết ở bên trong nó. Tuy nhiên, trước hết, tôi muốn nói với bạn về những cái còi gọi chó và những cánh quạt của máy bay.



Vì lý do nào đó, chó rất nhạy cảm với những âm thanh tần số cao mà loài người chúng ta không nghe được. Có lẽ màng nhĩ của chó nhẹ hơn và có khả năng dao động với các tần số cao hơn. Vì vậy, nếu bạn muốn gọi chó của mình mà không làm phiền hàng xóm, bạn hãy sử dụng còi gọi chó. Loại còi này tạo nên những âm thanh tần số cao mà hệ thống thính giác của con người hoàn toàn không phản ứng gì.

Nào giờ ta hãy tưởng tượng Alice lặn vào một lỗ đen và thổi chiếc còi gọi chó để ra hiệu cho Rex, chú cún mà cô đã để lại cho Bob chăm sóc¹. Thoạt đầu, Bob chẳng nghe thấy gì hết: tần số quá cao với tai của Bob. Nhưng hãy nhớ lại điều gì sẽ xảy ra đối với những tín hiệu xuất phát từ nơi ở gần chân trời. Theo Bob thì Alice và tất cả các hoạt động của cô ấy dường như chậm lại. Điều đó bao hàm cả những âm thanh tần số cao từ tiếng còi gọi chó của cô. Mặc dù âm thanh ban đầu nằm ngoài khả năng thính giác của Bob, nhưng khi Alice tiến gần đến chân trời, thì Bob lại có thể nghe thấy tiếng còi. Giả sử tiếng còi của Alice có toàn bộ các tần số cao khác nhau, một số thậm chí nằm ngoài cả khả năng thính giác của Rex. Vậy Bob sẽ nghe thấy gì? Đầu tiên là không gì cả, nhưng chẳng bao lâu anh sẽ bắt đầu nghe thấy những tần số thấp nhất phát ra từ chiếc còi. Càng lúc anh càng nghe được những nốt cao hơn kế tiếp theo. Cuối cùng rồi Bob cũng nghe được toàn bộ tiếng còi của Alice. Bạn hãy ghi nhớ câu chuyện này khi tôi nói với bạn về cánh quạt máy bay.

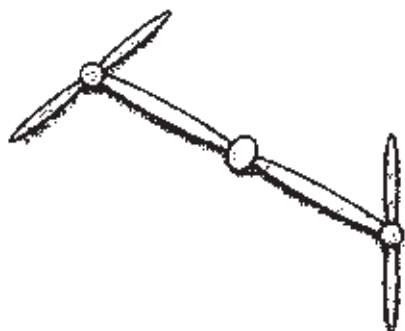
Gần như chắc chắn là bạn đã từng có cơ hội nhìn thấy cánh quạt máy bay khi nó quay chậm dần rồi dừng hẳn. Đầu tiên bạn không nhìn thấy các cánh của nó, tất cả những gì bạn thấy chỉ là cái trục ở trung tâm.



Nhưng khi cánh quạt quay chậm dần và tần số giảm xuống dưới 30 vòng quay một giây, thì các cánh của nó dần trở nên rõ ràng hơn và toàn bộ các bộ phận nhìn thấy trở nên lớn hơn.



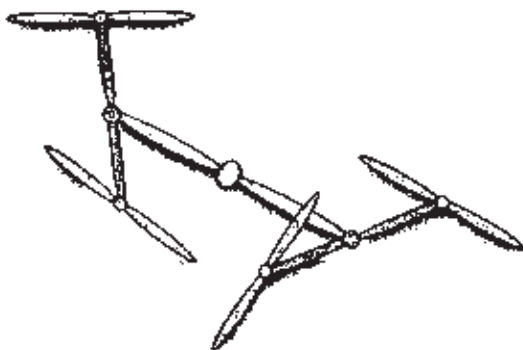
¹ Nói đúng ra thì âm thanh không thể truyền đi trong không gian trống rỗng. Vậy hoặc là bạn có thể trở lại câu chuyện lỗ rỗng, hoặc bạn có thể dùng đèn nháy cực tím để thay thế cho chiếc còi của Alice.



Giờ hãy tưởng tượng một chiếc máy bay với một kiểu cánh quạt mới – cánh quạt “phức hợp”. Ta gọi đó là Máy bay của Alice. Ở đầu của mỗi cánh, người ta có gắn thêm một trục với những cánh phụ “cấp hai”. Các cánh cấp hai này

quay nhanh hơn nhiều so với các cánh ban đầu – giả sử là nhanh gấp 10 lần.

Khi các cánh cấp một trở nên nhìn thấy được, thì các cánh cấp hai vẫn còn chưa nhìn thấy. Khi cánh quạt quay chậm hơn nữa, thì các cánh cấp hai trở nên nhìn rõ hơn. Lại một lần nữa cấu trúc đường như đã lớn lên. Các cánh cấp ba được gắn vào hai đầu của các cánh cấp hai. Những cánh này quay nhanh hơn 10 lần so với các cánh cấp hai. Nó cần phải quay chậm lại hơn nữa, nhưng với thời gian cánh quạt phức hợp dường như sẽ trải rộng ra một vùng không gian tăng dần.



Máy bay của Alice không dừng ở cấp ba. Cánh quạt của nó tiếp tục tăng lên vô hạn, và khi nó quay chậm lại, thì mỗi lúc lại càng có nhiều các cánh được nhìn thấy. Lớn dần, lớn dần, rồi cuối cùng nó sẽ phát triển đến kích thước cực lớn. Nhưng trừ phi cánh quạt dừng lại hoàn toàn, còn thì tất cả những gì bạn nhìn thấy chỉ là một số cấp hữu hạn.

Bước tiếp theo, nếu bạn vẫn chưa đoán ra, thì đó là Alice sẽ cho máy bay của cô bay thẳng vào lỗ đen. Bob sẽ thấy những gì? Từ tất cả những gì mà tôi đã nói với bạn, đặc biệt là về lỗ đen và cỗ máy thời gian, tự bạn cũng có thể trả lời được. Khi thời gian trôi đi, thì cánh quạt sẽ quay chậm lại. Và sau đó, cánh quạt cấp một sẽ hiện ra, rồi thì ngày càng nhiều bộ phận sẽ nhìn thấy được, sẽ xuất hiện ngày càng nhiều cấp hơn và cuối cùng sẽ lớn lên đến mức che phủ toàn bộ chân trời.

Đó là điều mà Bob có thể nhìn thấy. Nhưng còn Alice sẽ nhìn thấy gì khi cô đang chuyển động bên cạnh các cánh quạt? Không có gì là thật đặc biệt cả. Nếu cô ấy thối còi để gọi chó thì cô ấy không nghe được âm thanh này. Nếu cô ấy nhìn về phía cánh quạt thì nó vẫn tiếp tục quay quá nhanh để mắt cô ấy và máy ảnh có thể phát hiện được. Cô ấy sẽ nhìn thấy cái mà tôi và bạn thấy khi nhìn vào những cánh quạt quay với tốc độ cao – chỉ là cái trục ở giữa và ngoài ra không có gì khác.

Bạn có thể nghĩ là có điều gì đó không ổn trong bức tranh này. Alice có thể không nhìn thấy những cánh quạt quay nhanh, nhưng để nói rằng chúng không thể phát hiện được thì có vẻ như hơi thái quá. Vì suy cho cùng thì chúng có thể dễ dàng chém cô ấy ra làm nhiều mảnh. Thực sự thì điều đó là đúng với các cánh quạt thực, nhưng chuyển động mà tôi mô tả ở đây tinh tế hơn nhiều. Hãy

nhớ lại trong các Chương 4 và 9, tôi đã giải thích rằng có hai loại thăng giáng trong tự nhiên: thăng giáng lượng tử và thăng giáng nhiệt. Thăng giáng nhiệt là rất nguy hiểm; chúng có thể truyền năng lượng đến đầu dây thần kinh của bạn và làm cho bạn đau đớn hoặc có thể nấu chín một miếng thịt bò. Chúng có thể phá hủy các phân tử hay nguyên tử nếu nhiệt độ đủ cao. Nhưng bất kể bạn có để miếng thịt bò của bạn trong không gian chân không trống rỗng và lạnh bao lâu đi nữa thì các thăng giáng lượng tử của trường điện từ vẫn giữ nó hoàn toàn tươi nguyên.

Vào những năm 1970, các nhà lý thuyết lỗ đen như Bekenstein, Hawking và đặc biệt là William Unruh đã cho rằng ở gần chân trời lỗ đen, thăng giáng nhiệt và thăng giáng lượng tử bị trộn lẫn theo một cách rất kỳ quặc. Những thăng giáng dường như là thăng giáng lượng tử vô hại đối với bất kỳ ai rơi qua chân trời, lại trở thành những thăng giáng nhiệt cực kỳ nguy hiểm với bất kỳ thứ gì vẫn còn lơ lửng ở bên ngoài lỗ đen. Điều này giống như thể chuyển động không nhìn thấy được của các cánh quạt của Alice (không thấy được là đối với Alice) là thăng giáng lượng tử, nhưng khi chúng chuyển động chậm lại trong hệ quy chiếu của Bob, thì chúng lại trở thành những thăng giáng nhiệt. Chuyển động lượng tử ôn hòa mà Alice không thể cảm nhận thấy sẽ trở thành vô cùng nguy hiểm đối với Bob nếu anh vẫn lơ lửng ở ngay phía trên chân trời.

Giờ thì bạn chắc là đã có thể kết nối với Tính bổ sung của lỗ đen. Thực sự thì sự tương đồng với những điều mà tôi đã giải thích trong Chương 15 về các nguyên tử rơi vào lỗ đen đã bị phá vỡ. Vì nó ở tận năm chương trước nên dưới đây tôi xin nhắc qua lại một chút.

Hãy hình dung rằng trong khi đang rơi về phía chân trời, Alice quan sát một nguyên tử rơi bên cạnh cô. Nguyên tử trông hoàn

toàn bình thường, ngay cả khi nó đi qua chân trời. Các electron của nó vẫn tiếp tục quay xung quanh hạt nhân với tốc độ thông thường, và nó trông không lớn hơn bất kỳ nguyên tử nào khác – khoảng 1 phần tỉ kích thước của trang giấy này.

Đối với Bob, anh nhìn thấy nguyên tử chậm dần khi nó tiến đến gần chân trời và đồng thời, các chuyển động nhiệt bắn phá nó tan tành và trải ra khắp một vùng không gian rộng. Nguyên tử có vẻ giống như cái máy bay của Alice thu nhỏ.

Có phải ý của tôi là các nguyên tử có các cánh quạt, những cánh quạt này lại có các cánh quạt nữa và cứ như thế đến vô hạn? Thật ngạc nhiên, đó hầu như chính xác là những gì tôi muốn nói. Các hạt cơ bản thường được hình dung là những đối tượng rất nhỏ. Trục trung tâm của cánh quạt phức hợp của Alice cũng dường như rất nhỏ, nhưng toàn bộ các bộ phận, bao gồm tất cả các cấp cấu trúc, lại là rất lớn hay thậm chí là vô hạn. Liệu chúng ta có phạm sai lầm về các hạt khi bảo rằng chúng là rất nhỏ không? Và thực nghiệm nói gì về điều đó?

Trong khi suy nghĩ về những quan sát thực nghiệm về các hạt, sẽ là rất hữu ích nếu ta hình dung mỗi thí nghiệm như là một quá trình tương tự với sự chụp ảnh một vật thể chuyển động. Khả năng ghi lại những chuyển động nhanh phụ thuộc vào việc máy ảnh có thể ghi lại hình ảnh nhanh đến mức nào. Tốc độ màn trập chính là thước đo quan trọng của độ phân giải thời gian. Rõ ràng, tốc độ màn trập sẽ đóng một vai trò quan trọng trong việc chụp ảnh cánh quạt phức hợp của Alice. Một máy ảnh chậm sẽ chỉ chụp được trục chính. Một máy ảnh nhanh hơn sẽ chụp được cấu trúc phụ tần số cao hơn. Nhưng ngay cả với máy ảnh nhanh nhất cũng chỉ chụp được phần lớn cấu trúc phức hợp của cánh quạt – trừ phi nó tình cờ chụp được máy bay khi nó rơi vào lỗ đen.

Tốc độ màn trập trong một thí nghiệm vật lý hạt có liên quan đến năng lượng của các hạt va chạm: năng lượng càng cao, màn trập càng nhanh. Thật không may cho chúng ta, tốc độ màn trập bị hạn chế nghiêm trọng bởi khả năng gia tốc các hạt đến năng lượng rất cao. Một cách lý tưởng, chúng ta muốn phân giải các chuyển động diễn ra trong các khoảng thời gian nhỏ hơn thời gian Planck. Điều này đòi hỏi phải gia tốc các hạt đến năng lượng vượt trên khối lượng Planck – về nguyên tắc là dễ dàng nhưng trong thực tế lại là điều không thể thực hiện được.

Đến đây là thời điểm thích hợp để tạm dừng và xem xét những khó khăn khác thường mà vật lý học hiện đại đang phải đối mặt. Để quan sát những vật thể nhỏ nhất và những chuyển động tốc độ nhanh nhất, các nhà vật lý trong suốt thế kỷ 20 đã dựa vào những máy gia tốc ngày một lớn hơn. Những máy gia tốc đầu tiên là thiết bị để bàn được lắp ráp đơn giản có thể dùng để thăm dò cấu trúc của các nguyên tử. Hạt nhân đòi hỏi phải có máy lớn hơn, có cái to bằng cả tòa nhà. Các hạt quark thì chỉ được khám phá khi máy gia tốc có chiều dài lên tới hàng dặm. Máy gia tốc lớn nhất ngày nay, đó là Máy va chạm lớn của các hadron (HLHC) đặt tại Geneva, Thụy Sĩ, với chu vi gần 20 dặm (27km), nhưng vẫn còn quá nhỏ để gia tốc hạt tới khối lượng Planck. Vậy một máy gia tốc phải lớn tới cỡ nào mới có thể phân giải được các chuyển động có tần số Planck? Câu trả lời thật nản lòng, ở mức tối thiểu, để gia tốc một hạt tới khối lượng Planck, máy gia tốc ít nhất cũng phải lớn bằng thiên hà của chúng ta.

Nói một cách đơn giản hơn, việc nhìn chuyển động ở thang Planck bằng công nghệ hiện nay có thể so sánh với việc chụp một cánh quạt máy bay đang quay bằng một máy ảnh mà cửa trập

của nó mở trong suốt khoảng 10 triệu năm. Không có gì là đáng ngạc nhiên cả, các hạt cơ bản dường như rất nhỏ vì tất cả những gì chúng ta có thể nhìn thấy chỉ là cái trục của nó mà thôi.

Nếu thí nghiệm không thể cho chúng ta biết liệu các hạt có cấu trúc dao động, tần số cao và vươn ra xa hay không, chúng ta phải viện đến các lý thuyết tốt nhất của chúng ta. Vào nửa sau của thế kỷ 20, khuôn khổ toán học mạnh nhất để nghiên cứu các hạt cơ bản chính là Lý thuyết trường lượng tử. Lý thuyết trường lượng tử là một chủ đề rất hấp dẫn, nó bắt đầu bằng việc cho rằng các hạt là quá nhỏ, chúng được xem chỉ như là các điểm trong không gian. Nhưng bức tranh đó nhanh chóng bị phá vỡ. Các hạt nhanh chóng bị bao quanh bởi nhiều hạt đến rồi đi với nhịp độ khủng khiếp. Bản thân những kẻ đến rồi đi mới này cũng lại bị vây quanh bởi những hạt xuất hiện rồi biến mất thậm chí còn nhanh hơn nữa. Việc chụp ảnh với tốc độ màn trập ngày càng nhanh hơn sẽ phát lộ ngày càng nhiều hơn cấu trúc bên trong các hạt – ngày càng nhiều các hạt dao động nhanh xuất hiện rồi lại biến mất. Một máy ảnh chậm cho thấy một phân tử như là một vết mờ không thể phân giải nổi. Nó chỉ lộ ra là một tập hợp của các nguyên tử nếu tốc độ màn trập đủ nhanh để chụp được chuyển động của các nguyên tử. Câu chuyện tiếp tục lặp lại với cấp độ nguyên tử. Vết mờ của điện tích xung quanh hạt nhân đòi hỏi một thí nghiệm với tốc độ nhanh hơn để phân giải các electron. Hạt nhân phân giải thành proton và neutron, rồi tiếp đến là quark và cứ tiếp tục như vậy.

Nhưng những bức ảnh nhanh dần này không cho biết đặc tính chủ yếu mà chúng ta đang tìm kiếm: một cấu trúc mở rộng ngày càng choán nhiều không gian hơn. Thay vì thế, nó chỉ cho thấy các hạt ngày một nhỏ đi, giống như con búp bê matrioshka của Nga.



Đây không phải là điều mà chúng ta cần để giải thích các hạt hành xử ở gần chân trời như thế nào.

Lý thuyết dây có vẻ hứa hẹn nhiều hơn. Điều mà nó tuyên bố trái với trực giác đến mức các nhà vật lý trong nhiều năm không biết cái gì đã tạo nên nó. Các hạt cơ bản được mô tả bởi Lý thuyết dây – là những vòng dây giả thuyết cực nhỏ – cũng giống như những cánh quạt phức hợp. Hãy bắt đầu với một màn trập chậm. Một hạt cơ bản trông gần giống như một điểm; hãy xem nó như cái trục. Giờ ta tăng tốc màn trập đến mức nó sẽ mở nhanh hơn thời gian Planck một chút. Hình ảnh bắt đầu lộ ra cho thấy hạt là một dây.

Tăng tốc màn trập thêm nữa. Cái mà bạn nhìn thấy là mỗi đoạn của dây đều dao động và thẳng giăng, vì vậy bức tranh mới nhìn rối ren hơn và trải rộng hơn.

Nhưng nó không dừng ở đó; quá trình đó cứ tự lặp đi lặp lại. Mỗi vòng dây nhỏ, mỗi đoạn cong của dây, đều tự phân giải



minh thành những vòng và những đoạn ngoằn ngoèo thẳng giăng nhanh hơn.

Còn Bob, anh ta sẽ thấy gì khi quan sát một hạt giống như dây roi hướng tới chân trời? Trước tiên, chuyển động dao động là quá nhanh để có thể phân giải được, và tất cả những gì anh ta thấy chỉ là một tâm nhỏ tí giống như cái trục. Nhưng rồi rất nhanh, bản chất đặc biệt của thời gian ở gần chân trời bắt đầu lên tiếng, và chuyển động của dây dường như chậm lại. Anh ta dần dần thấy được ngày càng nhiều hơn cấu trúc dao động theo cách hết như anh ta đã thấy cái cánh quạt phức hợp của Alice. Theo thời gian, những dao động nhanh hơn sẽ được nhìn thấy và dây dường như to lên và trải rộng khắp toàn bộ chân trời của lỗ đen.

Nhưng điều gì sẽ xảy ra nếu chúng ta roi cùng với hạt? Thì khi đó thời gian lại hành xử như bình thường. Các thăng giáng tần số cao vẫn ở tần số cao, nằm ngoài xa khả năng của cái máy ảnh chậm chạp của chúng ta. Ở gần chân trời cũng chẳng mang lại cho ta một ưu thế gì. Cũng như trong trường hợp Máy bay của Alice, chúng ta chỉ nhìn thấy mỗi cái trục bé xíu mà thôi.

Lý thuyết dây và Lý thuyết trường lượng tử đều có chung một tính chất, đó là mọi thứ dường như thay đổi khi tốc độ của trập tăng lên. Nhưng trong Lý thuyết trường lượng tử, vật thể không lớn lên. Thay vì thế, chúng dường như lại vỡ thành những vật thể nhỏ dần – như những con búp bê Nga. Nhưng khi các thành phần đó nhỏ như độ dài Planck thì hình mẫu hoàn toàn mới lập tức đột hiện: đó là hình mẫu chiếc Máy bay của Alice.

Trong câu chuyện ngụ ngôn của Russell Hoban *Con chuột và đĩa con của nó*, có một ẩn dụ (không cố ý) khá vui về Lý thuyết trường lượng tử vận hành như thế nào. Đôi khi trong suốt chuyến

phiêu lưu đầy ác mộng của chúng, hai con chuột máy đồ chơi – cả cha và con – đã tìm được một cái hộp chứa thức ăn cho chó nhãn hiệu *Bonzo Dog Food* vô cùng quyến rũ. Trên nhãn của hộp vẽ một chú chó ôm một cái hộp thức ăn *Bonzo Dog Food*, rồi trên nhãn của hộp đó... Hai cha con chuột cứ săm soi mãi, trong cuộc tìm kiếm đầy tuyệt vọng để cố nhìn thấy “Chú chó cuối cùng còn nhìn thấy được”, nhưng chúng không bao giờ chắc chắn rằng mình đã nhìn thấy nó.

Những thứ bên trong thứ khác rồi lại ở bên trong thứ khác nữa – chính là câu chuyện về Lý thuyết trường lượng tử. Tuy nhiên, không giống như cái nhãn Bonzo, những thứ này chuyển động và chúng càng nhỏ thì càng chuyển động nhanh hơn. Vì vậy, để nhìn thấy chúng, bạn cần một cái kính hiển vi mạnh hơn và cái máy ảnh nhanh hơn. Nhưng cần lưu ý một điều: cả phân tử được phân giải lẫn hộp thức ăn *Bonzo Dog Food* đều không có vẻ phát triển lớn lên khi ngày càng nhiều cấu trúc được khám phá.

Lý thuyết dây thì khác và nó vận hành giống với cái Máy bay của Alice hơn. Khi mọi thứ chậm dần, thì ngày càng nhiều “các cánh quạt” dạng dây được nhìn thấy. Chúng chiếm một vùng không gian tăng dần nên toàn bộ cấu trúc phức hợp cũng phát triển lớn thêm. Tất nhiên, Máy bay của Alice là một phép loại suy, nhưng nó cũng thu tóm được rất nhiều tính chất toán học của Lý thuyết dây. Các dây, giống như bất kỳ thứ gì khác, cũng có thăng giáng lượng tử, nhưng theo một cách đặc biệt. Cũng như cái Máy bay của Alice, hay phiên bản cái còi gọi chó của cô, các dây dao động theo nhiều tần số khác nhau. Hầu hết các dao động đều quá nhanh để có thể phát hiện thấy, ngay cả với tốc độ cửa trập nhanh được cung cấp bằng những máy gia tốc hạt mạnh nhất.

Khi tôi bắt đầu hiểu được những điều này vào năm 1993, thì tôi cũng bắt đầu hiểu được điểm yếu của Hawking. Với hầu hết các nhà vật lý, những người đã được đào tạo về Lý thuyết trường lượng tử, thì khái niệm về các hạt phát triển với những cấu trúc thẳng giáng không hạn chế là điều cực kỳ xa lạ. Trớ trêu thay, chỉ có một người khác – người đã bóng gió gợi đến một khả năng như thế – lại chính là một nhà Lý thuyết trường lượng tử vĩ đại nhất thế giới – một chiến hữu của tôi, đó là Gerard 't Hooft. Mặc dù ông đã giới thiệu ý tưởng này theo cách riêng của ông – không phải bằng ngôn ngữ của Lý thuyết dây, song các công trình nghiên cứu của ông cũng thể hiện một ý nghĩa rằng mọi thứ sẽ lớn lên khi chúng được xem xét với độ phân giải thời gian tăng lên. Ngược lại, trong túi bí quyết của Hawking có chứa cả nhân *Bonzo Dog Food*, nhưng lại không có cái Máy bay của Alice. Đối với Stephen, Lý thuyết trường lượng tử, với các hạt điểm của nó, vừa là mở đầu và cũng là kết thúc của vật lý vi mô.

MỘT BUỔI SÁNG, khi tôi xuống ăn sáng, vợ tôi, Anne, ra hiệu là tôi đã mặc ngược áo phông; hình chữ V dẹt trong vải áo lại ở phía sau lưng. Sau đó cùng ngày, khi tôi về nhà từ cuộc chạy bộ, cô ấy cười và bảo, “Giờ thì anh lại mặc trái.” Điều này khiến tôi nghĩ, có bao nhiêu cách để mặc một cái áo phông nhỉ? Anne nói giỡn: “Đúng là các nhà vật lý các anh luôn nghĩ đến những chuyện ngớ ngẩn”. Để chứng minh sự thông minh tuyệt đỉnh của mình, tôi nhanh chóng tuyên bố rằng có 48 cách để mặc một cái áo phông. Bạn có thể chui đầu qua một trong bốn cái lỗ. Ba lỗ còn lại cho thân người. Sau khi đã chọn một lỗ cho cổ và thân người, hai lỗ còn lại là hai khả năng cho tay trái và tay phải của bạn. Một khi bạn đã quyết định lỗ nào để xỏ tay trái, thì chỉ còn một lựa chọn cho tay phải. Như vậy có nghĩa là có $4 \times 3 \times 2 = 24$ cách lựa chọn. Nhưng vì bạn có thể lộn trái chiếc áo, nên bạn có thêm 24 lựa chọn nữa, như vậy tôi có thể kiêu hãnh mà công bố rằng tôi đã giải được bài toán: có 48 cách để mặc một chiếc áo phông. Anne chẳng tỏ ra có ấn tượng gì. Cô ấy đáp, “Không phải, có 49 cách. Anh đã bỏ quên mất một cách.” Bối rối, tôi hỏi: “Anh đã bỏ qua cái gì nhỉ?” Với cái nhìn khiến người khác phải ớn lạnh, cô ấy trả lời: “Anh có thể cuộn nó lại thành một quả bóng, rồi đá nó đi...”. Chắc bạn hiểu ý tưởng đó chứ¹.

¹ Từ lúc tôi viết những dòng này thì Anne đã tìm ra được ít nhất 10 cách nữa để mặc một chiếc áo phông.

Các nhà vật lý (và, thậm chí còn hơn thế nữa, các nhà toán học) rất giỏi trong việc đếm – đặc biệt là đếm các khả năng. Đếm các khả năng chính là cốt lõi của việc hiểu entropy, nhưng trong trường hợp của lỗ đen, thì chính xác chúng ta đếm cái gì? Tất nhiên không phải là đếm số các cách mà lỗ đen mặc áo phong rồi.

Điều gì khiến cho việc đếm các khả năng lỗ đen lại quan trọng đến vậy? Suy cho cùng thì Hawking đã sẵn sàng đưa ra câu trả lời khi ông tính toán được rằng entropy bằng diện tích tính theo đơn vị Planck của chân trời. Nhưng có một sự mơ hồ khá lớn xung quanh khái niệm entropy lỗ đen. Hãy để tôi nhắc bạn nhớ lại là tại sao.

Stephen lập luận là toàn bộ ý tưởng cho rằng entropy là những thông tin bị che giấu – tức thông tin có thể được đếm nếu như bạn đã biết chi tiết – phải là sai khi có liên quan đến lỗ đen. Ông không phải là người duy nhất nói điều đó. Hầu hết các chuyên gia về lỗ đen đều đi đến cùng một kết luận như thế: entropy của lỗ đen là điều gì đó khác, không liên quan gì đến việc đếm các trạng thái lượng tử cả.

Tại sao Hawking và các chuyên gia về thuyết tương đối lại có một quan điểm triệt để như vậy? Vấn đề là lập luận giàu sức thuyết phục của Stephen cho rằng người ta có thể ném ngày càng nhiều thông tin vào một lỗ đen – giống như nhét một số lượng vô hạn các anh hề vào một chiếc xe ô tô – mà không có bất kỳ thông tin nào thoát ra ngoài. Nếu entropy mang ý nghĩa thông thường của nó – tức là tổng số các bit khả dĩ có thể ẩn giấu trong một lỗ đen – thì số lượng thông tin có thể ẩn giấu trong đó phải là có giới hạn. Nhưng nếu một số lượng vô hạn các bit có thể bị mất trong lỗ đen, thì điều đó có nghĩa là việc tính toán entropy của lỗ đen không thể đếm được hết tất cả các khả năng bị ẩn giấu – và *điều đó* có nghĩa là phải cho

một trong những chủ đề cổ xưa nhất và đáng tin cậy nhất của vật lý học là nhiệt động lực học một cơ sở mới có tính cách mạng. Vì vậy, điều cấp bách là phải biết được liệu entropy có thực sự đếm được những cấu hình khả dĩ của một lỗ đen hay không.

Trong chương này, tôi sẽ kể cho các bạn biết các nhà lý thuyết dây đã thực hiện việc tính toán này như thế nào và bằng cách nào, trong quá trình đó, họ đưa ra được một cơ sở cơ học lượng tử chắc chắn cho khái niệm entropy Bekenstein – Hawking, một cơ sở mà không có khe hở nào cho sự mất mát thông tin. Đây chính là một thành tựu cực kỳ quan trọng, và nó đã đi một chặng đường dài để làm sụp đổ tuyên bố của Stephen nói rằng một lượng bất định thông tin có thể bị nuốt bởi một lỗ đen.

Nhưng trước hết hãy cho phép tôi giải thích một quan điểm được đề xuất đầu tiên bởi Gerard 't Hooft.

Sự phỏng đoán của 't Hooft

Có nhiều loại hạt cơ bản khác nhau, và tôi nghĩ công bằng mà nói thì các nhà vật lý vẫn chưa hiểu được một cách đầy đủ điều gì đã tạo nên sự khác biệt giữa hạt này với hạt khác. Nhưng không cần phải hỏi những câu hỏi sâu xa gì, chúng ta vẫn có thể có một cái nhìn kinh nghiệm đối với tất cả các hạt hoặc là chúng ta đã biết từ thí nghiệm hoặc kỳ vọng chúng tồn tại dựa trên những cơ sở lý thuyết. Có một cách để biểu thị chúng bằng cách vẽ sơ đồ trên một trục và tạo ra một loại phổ các hạt cơ bản (không theo một thang nào). Trục ngang biểu thị khối lượng, với đầu trái tương ứng với những đối tượng nhẹ nhất. Khối lượng tăng dần về phía phải. Các vạch dọc đánh dấu từng hạt cụ thể.



Ở đầu thấp nhất là tất cả các hạt quen thuộc, mà sự tồn tại của chúng là chắc chắn. Hai trong số những hạt này không có khối lượng và chuyển động với tốc độ ánh sáng là photon và graviton. Tiếp đó là các loại neutrino khác nhau, electron, một vài loại quark, lepton-mu, một số loại quark nữa, W-boson, Z-boson, Higgs-boson và lepton-tau. Tên và những chi tiết về chúng là không quan trọng.

Ở khối lượng lớn hơn, một tập hợp các hạt mà sự tồn tại của chúng chỉ là sự phỏng đoán, nhưng rất nhiều nhà vật lý (trong đó có tôi) nghĩ rằng chúng có thể tồn tại¹. Vì những lý do không quan trọng với chúng ta ở đây, những hạt giả thuyết này được gọi là các *hạt siêu đối xứng*. Trên các hạt siêu đối xứng có một khoảng trống lớn mà tôi đánh dấu bằng những dấu chấm hỏi (?). Đó không phải là vì chúng ta biết là có một khoảng trống ở đó, mà chỉ là vì chúng ta không có bất kỳ lý do đặc biệt nào để mặc nhiên thừa nhận có các hạt ở trong vùng này mà thôi. Hơn nữa, không có máy gia tốc nào được chế tạo hay thậm chí dự tính sẽ đủ mạnh để tạo ra các hạt có khối lượng lớn đến như vậy. Vì thế khoảng trống đó chỉ là vùng đất chưa được khai phá.

Tiếp đến, với khối lượng còn lớn hơn rất nhiều so với các hạt siêu đối xứng, đó là các *hạt Thống nhất lớn*. Chúng cũng chỉ là dự đoán nhưng có rất nhiều lý do chính đáng để tin rằng chúng tồn tại – theo quan điểm của tôi, những lý do này thậm chí còn chính

¹ Chúng ta sẽ biết điều đó trong vòng vài năm nữa, khi mà Máy gia tốc lớn LHC (Large Hadron Collider) của Châu Âu chính thức hoạt động.

đáng hơn cả đối với các hạt siêu đối xứng – nhưng sự khám phá ra chúng may lắm cũng chỉ là gián tiếp.

Các hạt gây tranh cãi nhất trong biểu đồ của tôi là *các trạng thái kích thích của dây*. Theo Lý thuyết dây, chúng là những trạng thái kích thích dao động và quay, rất nặng của các hạt thông thường. Tiếp đó, ở trên cùng, chúng ta có *khối lượng Planck*. Trước đầu những năm 1990, hầu hết các nhà vật lý đều kỳ vọng khối lượng Planck sẽ là điểm kết thúc của phổ các hạt cơ bản. Nhưng Gerard 't Hooft lại có quan điểm khác. Ông cho rằng chắc chắn còn có các hạt với khối lượng lớn hơn nữa. Khối lượng Planck, mặc dù là cực lớn so với electron hay khối lượng các hạt quark, nhưng cũng chỉ tương đương với khối lượng của một hạt bụi. Rõ ràng, những vật nặng hơn chẳng đã tồn tại là gì, ví dụ như quả bóng bowling, các đầu máy hơi nước và bánh trái cây Giáng sinh thuộc số những vật đó. Nhưng trong số những vật có khối lượng lớn hơn đó, đặc biệt đáng lưu ý là những vật nhỏ nhất về kích thước với khối lượng đã cho.

Hãy lấy một viên gạch thông thường. Khối lượng của nó khoảng 1 kg. “Rắn như gạch” như chúng ta vẫn thường nói. Nhưng gạch, nhìn có vẻ rắn như vậy, nhưng lại hầu như là một không gian trống rỗng. Nếu dưới một áp lực đủ mạnh, thì một viên gạch có thể bị nén tới một kích thước nhỏ hơn rất nhiều. Nếu áp lực mạnh hơn nữa, một viên gạch có thể bị nén nhỏ như đầu một cái kim khâu hay thậm chí nhỏ chỉ còn bằng một con virus. Và ngay cả như thế thì lúc đó nó cũng vẫn hầu như là không gian trống rỗng.

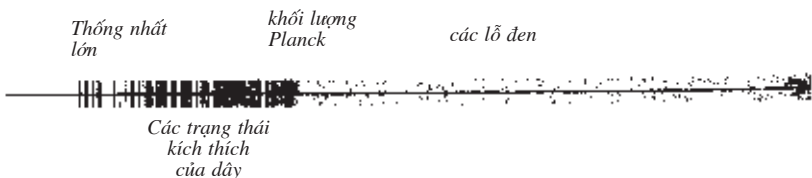
Nhưng rồi cũng có một giới hạn. Ý tôi không phải là một giới hạn thực tiễn dựa trên những hạn chế về công nghệ ngày hôm nay. Mà tôi muốn nói về các định luật của tự nhiên và các nguyên lý vật lý cơ bản. Một vật nặng 1 kg có thể chiếm một vùng không

gian có đường kính nhỏ nhất là bao nhiêu? Kích thước Planck là một ước đoán có lý, nhưng đó không phải là câu trả lời đúng. Một vật có thể bị nén cho đến khi nó trở thành một lỗ đen, với khối lượng đúng bằng 1 kg^1 , và không nén tiếp được hơn nữa: đó là vật có khối lượng đã cho được nén tới kích thước nhỏ nhất, tức là có khối lượng riêng lớn nhất.

Vậy kích thước của một lỗ đen có khối lượng 1 kg là bao nhiêu? Câu trả lời rất có thể sẽ nhỏ hơn điều bạn nghĩ. Bán kính Schwarzschild (bán kính của chân trời) của một lỗ đen như vậy vào khoảng 100 triệu chiều dài Planck. Bán kính này nghe có vẻ là lớn, nhưng thực ra nó còn nhỏ hơn 1 nghìn tỉ lần so với một proton. Có vẻ như nó nhỏ bằng một hạt cơ bản, nhưng thế thì tại sao ta lại không tính nó là một hạt cơ bản?

‘T Hooft đã làm điều đó. Hay ít nhất ông đã nói rằng lỗ đen này không có sự khác biệt căn bản nào với một hạt cơ bản, trên những phương diện quan trọng nhất. Vì vậy ông đã đề xuất một ý tưởng táo bạo dưới đây:

Phổ các hạt không kết thúc ở khối lượng Planck. Nó tiếp tục đến khối lượng vô hạn dưới dạng các lỗ đen.



¹ Có một chút tinh tế về mặt kỹ thuật ở đây. Nén một viên gạch hay một vật khác làm tăng năng lượng của nó, và vì $E = mc^2$, nên khối lượng của nó cũng tăng lên. Nhưng chúng ta có thể bù trừ cho điều đó theo nhiều cách khác nhau. Điều mà chúng ta muốn là kết thúc với một vật khối lượng 1 kg nhỏ nhất có thể.

‘T Hooft cũng cho rằng các lỗ đen không thể có khối lượng tùy ý, nhưng giống như các hạt thông thường khác, chỉ có những khối lượng rời rạc nhất định là khả dĩ. Tuy nhiên, những giá trị cho phép này trở nên dày đặc và rất sát nhau ở ngay trên khối lượng Planck đến mức hầu như trở thành một vết liên tục¹.

Sự chuyển tiếp từ các hạt thông thường (hay các trạng thái kích thích của dây) đến các lỗ đen không phải rạch rời như tô vẽ trên hình. Hầu như chắc chắn là phổ của các trạng thái kích thích của dây sẽ chuyển dần thành phổ lỗ đen ở đâu đó gần khối lượng Planck, chứ không có sự tách bạch rạch rời. Đó chính là phỏng đoán của ‘t Hooft và như chúng ta sẽ thấy, có một lý do rất chính đáng để tin vào điều đó.

Đếm dây và đếm lỗ đen

Máy bay của Alice là một phép ẩn dụ cho sự trình hiện trong mắt của người xem như thế nào. Alice, từ trong buồng lái, không nhìn thấy gì là khác thường ở chân trời. Nhưng nhìn từ bên ngoài lỗ đen, máy bay dường như mỗi lúc càng có nhiều cánh quạt, và chúng dần dần trải rộng khắp chân trời. Máy bay của Alice cũng là một phép ẩn dụ cho sự vận hành của Lý thuyết dây. Khi một dây rơi

¹ Tại sao lại dày đặc như vậy? Đó chính là entropy. Khi khối lượng tăng lên, diện tích chân trời cũng tăng; vì vậy entropy lỗ đen cũng tăng theo. Nhưng hãy nhớ rằng, *entropy* có nghĩa là thông tin bị giấu kín. Khi ta nói rằng khối lượng của một lỗ đen là 1kg, thì thực ra ta muốn nói rằng nó *xấp xỉ* 1kg. Nói chính xác hơn thì khối lượng là 1kg với một dung sai nhất định. Nếu có nhiều khối lượng khả dĩ của lỗ đen nằm trong dung sai, chúng ta sẽ để cho rất nhiều thông tin nằm ngoài mô tả của chúng ta. Thông tin bị mất đó chính là entropy lỗ đen. Biết rằng entropy lỗ đen tăng lên cùng với khối lượng, ‘t Hooft đã suy luận rằng phổ của khối lượng lỗ đen phải trở thành một vết liên tục.

về phía chân trời, một người quan sát bên ngoài sẽ nhận thấy mỗi lúc càng có nhiều đoạn dây hiện ra và lấp kín chân trời.

Entropy của các lỗ đen ngụ ý rằng chúng có một cấu trúc con, cực nhỏ, ẩn giấu, tương tự như các phân tử bên trong một bồn nước nóng. Nhưng trong bản thân nó, sự tồn tại của entropy không nắm giữ đầu mối nào về bản chất của “nguyên tử-chân trời”, mặc dù nó cũng cho một số đếm thô về số lượng của chúng.

Trong thế giới của Alice, nguyên tử-chân trời là các cánh quạt. Có thể thực sự có một thuyết hấp dẫn lượng tử dựa trên các cánh quạt, nhưng tôi nghĩ Lý thuyết dây có sự khẳng định tốt hơn, ít nhất là hiện giờ.

Ý tưởng cho rằng dây có entropy xuất hiện từ những ngày đầu tiên của Lý thuyết dây. Các chi tiết đều là toán học, nhưng ý tưởng chung thì rất dễ hiểu. Bắt đầu bằng dây đơn giản nhất, biểu diễn một hạt cơ bản với năng lượng cho trước. Để xác định, giả sử đó là một photon. Sự có mặt (hay vắng mặt) của một photon là một bit thông tin.

Nhưng giờ hãy làm điều gì đó với photon, khi giả sử nó thực sự là một dây cực nhỏ – lắc nó hoặc cho các dây khác va chạm với nó, hoặc chỉ đơn giản là cho nó vào một cái chảo rang nóng¹. Giống như một dây cao su nhỏ, nó sẽ bắt đầu dao động, quay và tự giãn ra. Nếu năng lượng thêm vào đủ lớn, dây sẽ bắt đầu trở nên giống với một mớ rối lớn: một cuộn chỉ rối mà con mèo hay giữ để chơi. Đây không phải là thăng giáng lượng tử mà là *thăng giáng nhiệt*.

Rồi cuộn chỉ rối sẽ nhanh chóng trở nên quá phức tạp để có thể mô tả chi tiết, nhưng chúng ta vẫn có thể có một vài thông tin sơ bộ. Tổng chiều dài của sợi chỉ có thể lên tới 90 mét. Và cuộn chỉ rối có thể tạo nên một quả bóng có đường kính xấp xỉ tới 1,8

¹ Và tăng nhiệt độ lên tới 10^{33} độ K.

mét. Kiểu mô tả đó vẫn sẽ hữu ích ngay cả nếu bỏ qua các chi tiết. Những chi tiết không xác định chính là những thông tin ẩn giấu tạo nên entropy của cuộn dây.

Năng lượng và entropy – cũng tựa như là nhiệt. Và, thực sự thì, những cuộn dây rối tạo nên các hạt cơ bản ở trạng thái kích thích cao cũng có nhiệt độ. Đây cũng chính là điều đã được biết đến từ những ngày đầu của Lý thuyết dây. Theo nhiều cách, những sợi dây rối và ở trạng thái kích thích này khá giống với các lỗ đen. Vào năm 1993, tôi đã bắn khoăn tự hỏi một cách nghiêm túc rằng phải chăng các lỗ đen không thể là gì khác hơn là những búi dây lớn, rối một cách ngẫu nhiên. Ý tưởng này dường như khá hấp dẫn, nhưng tất cả chi tiết thì lại là sai lầm.

Búi dây rối



Lỗ đen



Chẳng hạn, khối lượng (hay năng lượng) của một dây tỷ lệ thuận với độ dài của nó. Nếu một sợi dài 1m có khối lượng 1gam, thì dây 100m có khối lượng 100 gam và 1.000 m có khối lượng 1.000 gam.

Nhưng entropy của một dây cũng tỷ lệ thuận với độ dài của nó. Hãy tưởng tượng di chuyển dọc theo dây khi nó ngoặt hoặc xoắn. Mỗi lần ngoặt hoặc xoắn là một vài bit thông tin. Một bức tranh đơn giản hóa của một dây là giả định rằng nó là một chuỗi các đường nối cứng trên một lưới ô vuông. Mỗi đường nối hoặc nằm ngang hoặc thẳng đứng.

A diagram of a square loop with arrows indicating a clockwise direction of current flow. The left side has an arrow pointing up, the top side has an arrow pointing right, the right side has an arrow pointing down, and the bottom side has an arrow pointing left.

Entropi $\sim$ Khối lượng

Entropi $\sim$ Khối lượng²

439
KẾT THÚC CUỘC ĐẤU

Thực tế, tôi đã rất ngu ngốc. Tôi đã bỏ qua điều gì đó hiển nhiên, nhưng tôi đã không nghĩ ra cho mãi đến tháng Chín, khi tôi tới New Jersey một tháng. Hai trong số những trung tâm quan trọng bậc nhất của vật lý thuyết là Đại học Rutgers và Đại học Princeton đều ở New Jersey, chỉ cách nhau khoảng 20 dặm. Tôi được bố trí thuyết trình tại cả hai trường về “Làm thế nào Lý thuyết dây có thể giải thích được entropy của lỗ đen”. Ban đầu khi biên soạn bài thuyết trình này, tôi đã thực sự rất mạo hiểm, với hy vọng rằng mình sẽ có thể tìm ra sai sót ngay trước khi thuyết trình.

Tôi không biết liệu mình có phải là nhà vật lý duy nhất có cơn ác mộng liên tục như vậy không. Cơn ác mộng dưới nhiều dạng khác nhau kể từ khi tôi bắt đầu hơn 40 năm về trước. Trong cơn mơ, tôi được mời thuyết trình một bài quan trọng về một nghiên cứu mới nào đó, nhưng khi buổi thuyết trình càng đến gần, tôi lại phát hiện thấy mình không có gì để nói cả. Tôi không có ghi chép gì hết và đôi khi tôi còn không nhớ nổi tên chủ đề. Áp lực và sự hoảng loạn đã thực sự ám ảnh. Đôi khi thậm chí còn thấy mình đứng trước khán giả khi mặc đồ lót, hay thậm chí là chẳng mặc cả đồ lót nữa.

Lần này, đó không phải là một giấc mơ. Bài thuyết trình thứ nhất thực hiện ở Rutgers. Khi thời gian tới gần, tôi cảm thấy ngày càng có áp lực phải có câu chuyện đúng, nhưng nó vẫn cứ tiếp tục sai. Rồi khi chỉ còn 3 ngày nữa, tôi mới phát hiện ra sự ngu ngốc của chính mình. Tôi đã để hấp dẫn ra ngoài câu chuyện.

Lực hấp dẫn có tác dụng hút các vật lại với nhau và tập trung chúng lại. Hãy lấy một tảng đá lớn, như Trái đất, chẳng hạn. Nếu không có lực hấp dẫn, thì nó chỉ có thể được cố kết lại như bất kỳ một khối đá nào khác. Nhưng lực hấp dẫn đã có một hiệu ứng

mạnh, nó kéo các phần của Trái đất lại và nén chúng vào tâm tới một kích thước nhỏ hơn. Lực hút của hấp dẫn còn có một hiệu ứng khác: nó làm thay đổi khối lượng của Trái đất. Thế năng âm do hấp dẫn làm giảm đi một chút khối lượng của Trái đất. Khối lượng thực sự nhỏ hơn đôi chút so với tổng khối lượng các bộ phận của nó.

Tôi nên dừng ở đây và giải thích thực tế có phần nào phi thực giác này. Hãy nhớ lại một chút về anh chàng Sysyphus tội nghiệp, khi anh ta vĩnh viễn cứ phải đẩy một tảng đá lên đỉnh đồi, rồi lại đứng nhìn nó lăn xuống dưới. Chu trình chuyển đổi năng lượng của Sysyphus như sau:

hóa năng $\rightarrow$ thế năng $\rightarrow$ động năng $\rightarrow$ nhiệt năng

Hãy quên đi trong chốc lát hóa năng (là mật ong mà Sysyphus đã ăn) và bắt đầu chu trình với thế năng của tảng đá trên đỉnh đồi. Nước phía trên đỉnh thác Niagara cũng có thế năng và trong cả hai trường hợp, khi khối lượng rơi xuống một độ cao thấp hơn, thế năng sẽ bị giảm đi. Cuối cùng, nó chuyển hóa thành nhiệt, nhưng hãy hình dung là nhiệt bị tỏa ra ngoài không gian. Kết quả cuối cùng là tảng đá và nước mất đi thế năng khi chúng mất độ cao.

Điều tương tự như vậy cũng xảy ra với vật chất tạo nên Trái đất nếu nó bị nén (bằng hấp dẫn) vào phía tâm: nó sẽ mất đi thế năng. Thế năng bị mất biểu hiện dưới dạng nhiệt, mà cuối cùng sẽ bị tỏa ra ngoài không gian. Kết quả: Trái đất thực sự bị mất năng lượng và vì vậy mất đi khối lượng.

Do đó, tôi bắt đầu nghi ngờ rằng khối lượng của một dây rối và dài cũng có thể bị giảm đi bởi hấp dẫn và không phải tỷ lệ thuận với chiều dài của nó, một khi hiệu ứng của hấp dẫn đã được tính đến một cách hợp lý. Dưới đây là thí nghiệm tưởng tượng mà tôi

đã hình dung ra. Giả sử rằng có một loại đồng hồ, có thể vận dần dần để làm tăng hoặc giảm cường độ của hấp dẫn. Vận đồng hồ theo chiều làm giảm hấp dẫn, khi đó Trái đất sẽ nở ra một chút và trở nên nặng hơn. Vận đồng hồ theo chiều ngược lại để làm tăng hấp dẫn, khi đó Trái đất sẽ co lại và trở nên nhẹ hơn một chút. Tiếp tục vận nữa, lực hấp dẫn sẽ trở nên mạnh hơn. Cuối cùng, nó sẽ trở nên mạnh đến mức Trái đất có thể bị co sập lại trở thành một lỗ đen. Quan trọng nhất là khối lượng của lỗ đen có thể *nhỏ* hơn nhiều so với khối lượng ban đầu của Trái đất.

Cuộn dây khổng lồ mà tôi đã hình dung cũng tương tự như vậy. Tôi đã quên không vận tăng hấp dẫn khi tôi nghĩ đến mối liên hệ giữa cuộn dây và lỗ đen. Vì vậy, một buổi tối, không có việc gì để làm – hãy nhớ đây là trung tâm New Jersey – tôi đã tưởng tượng điều chỉnh tăng đồng hồ hấp dẫn. Trong tưởng tượng của mình, tôi thấy cuộn dây tự nó cuộn lại thành một quả cầu bị nén chặt. Nhưng quan trọng hơn là tôi nhận thấy rằng cuộn dây mới nhỏ hơn cũng sẽ có khối lượng nhỏ hơn nhiều so với ban đầu.

Có một điểm đáng lưu ý nữa. Nếu kích thước và khối lượng của cuộn dây thay đổi, thì liệu entropy của nó cũng có thay đổi theo không? May mắn là entropy chính là thứ *không* thay đổi khi bạn điều chỉnh đồng hồ một cách đủ chậm. Đây có lẽ là sự thực cơ bản nhất về entropy: nếu bạn thay đổi một hệ một cách từ từ, thì năng lượng có thể thay đổi (thường là như vậy), nhưng entropy vẫn giữ nguyên như cũ. Nguyên tắc này của cả Cơ học cổ điển lẫn Cơ học lượng tử được gọi là *Định lý đoạn nhiệt*.

Chúng ta hãy làm lại thí nghiệm tưởng tượng này một lần nữa, thay Trái đất bằng một đồng bóng chỉ rơi. Bắt đầu với đồng hồ hấp dẫn chỉ số không.



Không có hấp dẫn, dây không giống với một lỗ đen, nhưng nó vẫn có entropy và khối lượng. Sau đó, từ từ tăng dần hấp dẫn. Các bộ phận của dây bắt đầu hút nhau lại, và cuộn dây trở nên bị nén chặt.



Tiếp tục vận tăng đồng hồ cho đến khi dây trở nên chặt đến nỗi nó tạo thành lỗ đen.

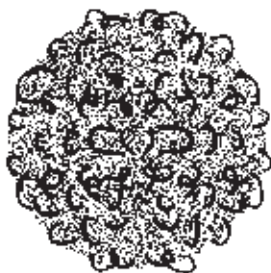


Khối lượng và kích thước đã co lại, nhưng – đây là điểm quan trọng – entropy vẫn không thay đổi. Điều gì sẽ xảy ra nếu bây giờ chúng ta điều chỉnh đồng hồ trở lại điểm không ban đầu? Lỗ đen bắt đầu phồng lên và cuối cùng trở lại thành cuộn dây lớn. Nếu chúng ta từ từ điều chỉnh đồng hồ tăng hay giảm, thì vật thể sẽ luân phiên giữa cuộn dây rối, lỏng lẻo, lớn và một lỗ đen bị nén chặt. Nhưng chừng nào mà chúng ta còn điều chỉnh đồng hồ từ từ, thì entropy vẫn giữ nguyên không đổi.

Trong một giây phút sung sướng, tôi nhận ra rằng vấn đề với bức tranh cuộn dây của lỗ đen không phải ở chỗ entropy hóa ra là sai, mà là ở chỗ khối lượng cần phải điều chỉnh để tính đến các hiệu ứng của hấp dẫn. Khi tôi tính toán chỉ vắn vện trên nguyên một trang giấy, mọi thứ đều vào đúng chỗ của nó. Khi cuộn dây co lại và biến thành lỗ đen, khối lượng đã thay đổi đúng như dự đoán. Cuối cùng, entropy và khối lượng đã có mối liên hệ đúng: $\text{Entropy} \sim \text{Khối lượng}^2$.

Nhưng tính toán vẫn chưa hoàn chỉnh một cách ngán ngấm. Hãy nhớ rằng ký hiệu $\sim$ có nghĩa là “tỷ lệ thuận với”, chứ không phải là “bằng với”. Vậy entropy có đúng bằng với bình phương khối lượng không? Hay bằng hai lần số đó.

Bức tranh của chân trời lỗ đen mới tạo ra là một đám dây rối dàn đều khắp chân trời bởi hấp dẫn. Nhưng chính những thăng giáng lượng tử mà Feynman và tôi đã hình dung trong quán cà phê West End vào năm 1972 đã khiến cho một số phần của dây nhô ra một chút, và những mẩu thò ra này chính là những nguyên tử-chân trời bí ẩn. Nói một cách đại khái thì người ở bên ngoài lỗ đen sẽ phát hiện được các mẩu của dây, mỗi mẩu có hai đầu gắn



chặt vào chân trời. Theo ngôn ngữ của Lý thuyết dây thì nguyên tử-chân trời chính là các dây mở (dây có hai đầu) gắn với một loại màng. Thực tế, những mẩu dây này có thể bứt ra khỏi chân trời, và điều đó giải thích việc lỗ đen phát xạ và bốc hơi như thế nào.

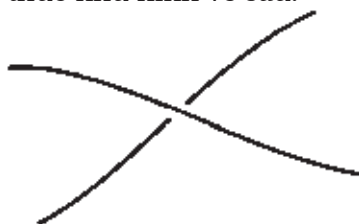
Đường như là John Wheeler đã sai: lỗ đen được phủ bởi tóc. Con ác mộng thế là đã qua và giờ tôi đã có bài thuyết trình để trình bày.

Khi các dây cắt ngang nhau

Các dây cơ bản có thể đi cắt ngang nhau. Hình dưới đây là một ví dụ. Hãy nghĩ về một dây ở gần chuyển động ra xa bạn và một dây ở xa hơn chuyển động về phía bạn. Tại một điểm nào đó, chúng sẽ đi cắt qua nhau và nếu chúng là những sợi dây chằng thông thường thì chúng sẽ bị mắc vào nhau.



Nhưng các quy tắc toán học của Lý thuyết dây cho phép chúng đi qua nhau và kết thúc như hình vẽ sau.



Để làm điều này với những dây chằng thực thụ, bạn sẽ phải cắt một trong hai dây và rồi nối lại sau khi chúng đi qua nhau.

Nhưng khi các dây chạm nhau cũng còn xảy ra chuyện khác nữa. Thay vì đi qua nhau, chúng có thể sắp xếp lại và đi ra dưới dạng như thế này:



Để làm điều đó với dây chằng thực sự, bạn sẽ phải cắt cả hai dây rồi sau đó nối lại theo một cách khác.

Vậy điều nào trong hai điều trên sẽ xảy ra khi hai dây đi qua nhau? Câu trả lời là đôi khi là điều này và đôi khi là điều kia. Dây cơ bản là những đối tượng lượng tử, và trong Cơ học lượng tử thì không có gì là chắc chắn cả – tất cả mọi chuyện đều là có thể, nhưng với các xác suất xác định. Chẳng hạn, dây có thể đi qua nhau 90% số lần. 10% số lần còn lại, chúng được sắp xếp lại. Xác suất để chúng sắp xếp lại được gọi là *hằng số liên kết dây*.

Với những hiểu biết này, giờ chúng ta hãy tập trung xem xét một đoạn dây ngắn thò ra khỏi chân trời một lỗ đen. Đoạn dây ngắn này đang bị xoắn lại và sắp sửa cắt chéo qua chính nó.



90% là nó sẽ cắt qua chính nó và không có gì lớn xảy ra.



Nhưng 10% khả năng là nó tự sắp xếp lại và khi nó làm như vậy, sẽ có một điều mới mẻ nào đó xảy ra. Một vòng dây sẽ tách rời ra.



Mẫu dây đóng nhỏ đó chính là một hạt. Nó có thể là một photon, graviton, hay bất kỳ một hạt nào khác. Vì nó ở phía bên ngoài của lỗ đen nên nó có cơ hội thoát ra và lúc đó, lỗ đen sẽ mất đi một chút năng lượng. Đó chính là cách mà Lý thuyết dây giải thích bức xạ Hawking.

Trở lại New Jersey

Các nhà vật lý New Jersey là một nhóm có ý chí rất cứng rắn. Edward Witten, người đứng đầu về trí tuệ tại Viện Nghiên cứu cao cấp ở Princeton, không những là nhà vật lý vĩ đại mà còn là một trong những nhà toán học hàng đầu của thế giới. Một số người nói rằng chuyện phiếm và kiểu tư biện lười biếng không phải là thế mạnh lớn nhất của ông (mặc dù tôi thấy sự dí dỏm khô khan và sự tò mò trong một phạm vi rất rộng của ông khá là thú vị), nhưng mọi người đều nhất trí rằng sự chặt chẽ về mặt trí tuệ của ông thì quả là rất mạnh. Ý tôi không phải là sự chặt chẽ toán học không cần thiết, mà là những lập luận rõ ràng, thận trọng và được suy xét kỹ lưỡng. Nói chuyện về vật lý với Witten có thể đôi khi phải rất cố gắng, song nó luôn bổ ích.

Ở Rutgers, sự bàn thảo trí tuệ cũng có chất lượng rất cao. Có sáu nhà vật lý lý thuyết rất tài năng ở Rutgers, mỗi người đều được đông đảo ngưỡng mộ, đặc biệt là từ các nhà lý thuyết dây, cũng như trong thế giới rộng lớn hơn của vật lý. Tất cả đều là bạn bè của tôi, nhưng ba người trong số đó thì đặc biệt thân. Tôi đã quen biết Tom Banks, Steve Shenker, và Nathan “Nati” Seiberg từ hồi họ là những nhà vật lý còn rất trẻ, và tôi rất thích bộ ba này. Cả sáu nhà

vật lý ở Rutgers này đều cực kỳ thông minh. Và cả hai trường mà tôi nói tới đều có tiếng là những nơi mà bạn không thể rời khỏi đó với những tuyên bố chưa chín chắn.

Giờ thì tôi biết rằng những lý lẽ của chính tôi còn xa mới được coi là hoàn chỉnh. Tính bổ sung lỗ đen, Máy bay của Alice, và các dây biến hình tới lui vào lỗ đen, cùng với một số đánh giá thô: bức tranh của tôi dường như đã gắn mọi thứ lại với nhau. Nhưng công cụ để biến những ý tưởng này thành toán học chính xác thì vào năm 1993 vẫn chưa sẵn có. Tuy nhiên, các ý tưởng mà tôi chủ trương lại gây tiếng vang với những nhà vật lý New Jersey vốn rất khát khe. Đặc biệt, phản hồi của Witten là chấp nhận, một cách gần như thẳng thắn, đề xuất của tôi rằng chân trời lỗ đen được cấu tạo bởi các đoạn dây. Ông thậm chí còn vạch ra dây bốc hơi theo cách tương tự như sự bốc hơi của lỗ đen như thế nào. Shenker, Seiberg, Banks và đồng nghiệp của họ là Michael Douglas tất cả đều có những khuyến nghị rất bổ ích để làm cho ý tưởng này được chính xác hơn.

Trong số những người nghe ở New Jersey còn có một nhà lý thuyết dây là khách mời mà tôi không biết rõ lắm. Cumrun Vafa, một giáo sư trẻ của Harvard, người đã từ Iran đến Mỹ để nghiên cứu vật lý ở Princeton. Đến năm 1993, ông đã được xem như là một trong số các nhà vật lý lý thuyết sáng tạo và sắc sảo về mặt toán học bậc nhất trên thế giới. Về cơ bản là một nhà lý thuyết dây, nhưng ông cũng biết khá nhiều về lỗ đen và thật tình cờ, ông lại đến Rutgers khi tôi giải thích entropy của lỗ đen có thể bắt nguồn từ bản chất dây của chân trời như thế nào. Cuộc đối thoại giữa chúng tôi sau đó như là một định mệnh.

Lỗ đen cực trị

Vào thời điểm tôi thuyết trình, người ta hiểu rằng nếu một electron bị rơi vào một lỗ đen, lỗ đen đó sẽ trở nên tích điện. Điện tích, mà nó nhanh chóng truyền đi khắp chân trời, sẽ tạo ra một lực đẩy, đẩy chân trời ra xa một chút.

Nhưng không có lý do gì phải dừng lại chỉ ở một electron. Chân trời có thể bị tích điện bao nhiêu mà bạn muốn. Bạn càng tích điện cho nó, thì nó càng dịch chuyển ra xa điểm kỳ dị.

Cumrun Vafa chỉ ra rằng có một loại lỗ đen tích điện rất đặc biệt, trong đó có sự cân bằng hoàn hảo giữa lực hút hấp dẫn và lực đẩy tĩnh điện. Một lỗ đen như vậy được gọi là *cực trị*. Theo Vafa, các lỗ đen cực trị sẽ là một phòng thí nghiệm hoàn hảo để thử nghiệm ý tưởng của tôi. Ông biện luận rằng chúng có thể sẽ là chìa khóa dẫn tới sự tính toán chính xác hơn mà trong đó dấu bằng (=) mạnh mẽ sẽ thay thế cho ký hiệu tỷ lệ thuận ($\sim$) yếu ớt.

Hãy theo đuổi ý tưởng về một lỗ đen tích điện xa hơn một chút nữa. Các quả cầu điện tích thường không ổn định. Vì electron đẩy nhau (hãy nhớ quy tắc: cùng dấu thì đẩy nhau mà trái dấu thì hút nhau), nên nếu một đám mây điện tích bất ngờ hình thành, thông thường nó sẽ bị xé toang ngay lập tức bởi lực đẩy tĩnh điện. Nhưng lực hấp dẫn có thể bù trừ cho lực đẩy điện nếu quả cầu tích điện đủ nặng. Vì mọi vật trong vũ trụ đều có lực hút hấp dẫn với vật khác, nên sẽ có sự cạnh tranh giữa lực hấp dẫn và lực đẩy tĩnh điện – lực hấp dẫn kéo các điện tích lại gần nhau, trong khi lực điện đẩy chúng ra xa nhau. Một lỗ đen tích điện chính là một cuộc chiến đấu giành co giữa hai bên.

Nếu quả cầu điện tích rất nặng nhưng lại chỉ có một lượng nhỏ điện tích, thì lực hấp dẫn sẽ thắng trong cuộc giằng co đó, và quả cầu sẽ co lại. Còn nếu khối lượng của nó nhỏ nhưng lại có điện tích lớn, thì lực đẩy điện sẽ thắng và quả cầu sẽ giãn ra. Có một điểm cân bằng khi điện tích và khối lượng thỏa mãn một tỷ lệ thích hợp. Tại điểm này, lực đẩy tĩnh điện và lực hút hấp dẫn cân bằng nhau, và sự giằng co có kết quả hòa. Đây chính xác là một lỗ đen cực trị.

Giờ hãy tưởng tượng chúng ta có hai đồng hồ, một để đo lực hấp dẫn và một để đo lực điện. Ban đầu, cả hai đồng hồ đều vận tăng lên. Khi hấp dẫn và lực điện ở trạng thái cân bằng hoàn hảo, chúng ta có một lỗ đen cực trị. Nếu chúng ta vận để làm giảm lực hấp dẫn mà không vận để giảm lực điện, thì lực điện sẽ thắng. Nhưng nếu chúng ta vận để làm giảm cả hai theo cùng một mức độ, thì sự cân bằng vẫn được bảo toàn. Mỗi phía đều trở nên yếu hơn, nhưng không phía nào có được lợi thế hơn phía nào.

Cuối cùng, nếu chúng ta vận cả hai đồng hồ về điểm số không, lực hấp dẫn và lực điện sẽ biến mất. Nhưng điều gì sẽ còn lại? Một dây với không có lực nào giữa các phần của nó. Trong suốt quá trình trên, entropy không thay đổi. Nhưng điểm nút của câu chuyện này là khối lượng cũng không thay đổi. Lực điện và hấp dẫn bị xóa bỏ “không làm gì hết”, đấy chính là một cách nói kỹ thuật rằng năng lượng vẫn giữ nguyên như khi bắt đầu.

Vafa đã cho rằng *nếu* chúng ta biết làm thế nào để tạo ra một lỗ đen cực trị như vậy trong Lý thuyết dây, chúng ta có thể nghiên cứu nó với độ chính xác rất lớn khi đồng hồ hấp dẫn và đồng hồ lực điện bật hay tắt. Ông nói rằng khi đó có thể sử dụng Lý thuyết dây để tính toán chính xác cái thừa số tỷ lệ mà đến lúc đó tôi vẫn chưa tính được. Để kết hợp các phép ẩn dụ, việc tính toán chính

xác cái thừa số tỷ lệ đã trở thành chiếc Chén thánh đối với các nhà lý thuyết dây và là cách để hoàn tất sự chín chắn cho ý tưởng của tôi. Nhưng không ai biết làm thế nào để lắp ráp một loại lỗ đen tích điện thích hợp từ những thành phần mà Lý thuyết dây cung cấp.

Lý thuyết dây cũng hơi giống với bộ đồ chơi lắp ráp Tinkertoy, với rất nhiều bộ phận khác nhau có thể gắn với nhau tạo thành một hình mẫu thích hợp. Sau này tôi sẽ nói với các bạn chút ít về một số “bánh xe và bánh răng” toán học này, nhưng vào năm 1993, một số bộ phận quan trọng cần thiết để tạo nên một lỗ đen cực trị vẫn còn chưa được khám phá.

Nhà vật lý Ấn Độ Ashoke Sen là người đầu tiên thử lắp ráp một lỗ đen cực trị và kiểm nghiệm Lý thuyết dây của entropy lỗ đen. Vào năm 1994, ông đã đạt tới rất gần, nhưng chưa hoàn toàn đủ gần để kết thúc câu chuyện đó. Trong số các nhà vật lý lý thuyết, Sen nhận được sự kính trọng rất cao. Ông vừa có tiếng là người suy nghĩ sâu sắc vừa là một nhà phù thủy về kỹ thuật. Các bài thuyết trình của Sen – được trình bày bởi một người đàn ông rụt rè, có tầm vóc khá khỏe mạnh với tiếng nói du dương đặc giọng Bengali – rất nổi tiếng bởi sự mạch lạc của chúng. Với kỹ thuật sư phạm hoàn hảo, ông viết mọi khái niệm mới lên bảng. Các ý tưởng được hé mở theo một diễn tiến tự nhiên khiến mọi thứ đều trong sáng như pha lê. Các bài báo khoa học của ông cũng đều có cùng một sự mạch lạc hoàn hảo như vậy.

Tôi không biết rằng Sen đang nghiên cứu về lỗ đen. Nhưng ngay sau khi tôi trở lại Mỹ từ chuyến thăm Cambridge, có ai đó – tôi nghĩ là Amanda Peet – đã đưa cho tôi một bài báo của ông. Đó là một bài báo dài và rất kỹ thuật, nhưng trong những đoạn cuối, Ashoke đã sử dụng các ý tưởng của Lý thuyết dây – những ý tưởng mà tôi

đã mô tả ở Rutgers – để tính toán entropy của một lớp các lỗ đen cực trị mới.

Lỗ đen của Sen được tạo bởi các bộ phận mà chúng tôi đã biết vào năm 1993, đó là các dây cơ bản và sáu chiều không gian dư bị cuộn lại. Điều mà Sen làm tiếp theo là sự mở rộng các ý tưởng trước đó của tôi một cách rất đơn giản, nhưng rất thông minh. Sự cải tiến cơ bản của ông là bắt đầu với một dây không chỉ ở trạng thái kích thích cao mà còn quấn nhiều lần xung quanh một chiều bị cuộn lại. Trong thế giới được đơn giản hóa là một ống trụ – phiên bản phình ra của một Đất nước một chiều – một dây quấn quanh giống như dây cao su quấn quanh một đoạn ống nhựa vậy.



Một dây như vậy nặng hơn một hạt thông thường vì nó lấy năng lượng kéo giãn mình ra để bao quanh lấy ống trụ. Trong Lý thuyết dây điển hình thì khối lượng của dây quấn có thể cỡ vài phần trăm của khối lượng Planck.

Sau đó Sen lấy một dây rồi quấn nó quanh ống trụ hai lần.



Một nhà lý thuyết dây có thể nói rằng dây này có *số quấn là 2* và nó thậm chí còn nặng hơn dây quấn một lần. Nhưng nếu dây

quấn quanh chiều không gian bị cuộn lại không phải chỉ một hoặc hai lần mà là hàng tỉ lần thì sao?



Không có giới hạn bao nhiêu lần cho việc dây quấn vòng quanh một chiều không gian bị cuộn lại. Cuối cùng, nó có thể trở nên nặng bằng một ngôi sao hay thậm chí bằng cả một thiên hà. Nhưng chỗ để thực hiện nó trong không gian thường – các chiều không bị cuộn lại của không gian ba chiều thông thường – thì lại rất nhỏ. Tất cả khối lượng nhét vào trong một không gian nhỏ như vậy thì đảm bảo chắc chắn đó sẽ là một lỗ đen.

Sen sử dụng thêm một mẹo nữa, một thành phần còn lại của Lý thuyết dây vào khoảng năm 1993: những run rẩy di chuyển dọc theo dây. Thông tin sẽ bị giấu kín trong các chi tiết của những run rẩy này, như tôi đã nêu ra một năm trước đó.

Những run rẩy trên một dây đàn hồi không đứng yên. Chúng sẽ di chuyển dọc theo dây giống như các sóng, một số di chuyển theo chiều kim đồng hồ và số khác di chuyển ngược lại. Hai run rẩy di chuyển theo cùng một hướng sẽ đuổi nhau theo dây mà không hề va chạm với nhau. Tuy nhiên, nếu hai sóng di chuyển ngược chiều nhau, chúng sẽ va chạm với nhau, tạo nên một sự lộn xộn rất phức tạp. Vì vậy, Sen đã lựa chọn lưu trữ tất cả các thông tin ẩn giấu trong các sóng chuyển động theo chiều kim đồng hồ để chúng di chuyển sát gót nhau, nhưng không bao giờ va chạm nhau.

Khi tất cả các thành phần đã được lắp ghép và các đồng hồ khác nhau sẽ được vận lên, thì dây của Sen không có sự lựa chọn nào khác là phải trở thành lỗ đen. Nhưng thay vì một lỗ đen thông thường, ở đây dây lại giãn ra bao quanh chiều bị cuộn lại thành vòng tròn tạo nên một lỗ đen cực trị rất đặc biệt.

Lỗ đen cực trị tích điện. Nhưng điện tích đó lấy ở đâu ra? Câu trả lời đã được biết đến nhiều năm trước: việc quấn dây xung quanh một chiều bị cuộn lại sẽ cho nó một điện tích. Mỗi vòng của dây sẽ cho nó một đơn vị điện tích. Nếu dây quấn theo một chiều, nó có điện tích dương; nếu dây quấn theo chiều ngược lại, nó sẽ có điện tích âm. Dây khổng lồ, quấn nhiều lần của Sen cũng có thể được coi như là quả cầu tích điện được nén lại nhờ hấp dẫn – hay nói cách khác, nó là một lỗ đen tích điện.

Điện tích là một khái niệm hình học, và hình học của không gian và thời gian được chi phối bởi Thuyết tương đối rộng của Einstein. Cách duy nhất để biết điện tích của chân trời một lỗ đen là phải tính toán dựa vào phương trình hấp dẫn của Einstein. Sen, một bậc thầy về các phương trình này, đã dễ dàng (dĩ nhiên là dễ dàng với ông) giải được phương trình cho loại lỗ đen đặc biệt mà ông đã chế tạo ra và tính được điện tích của chân trời.

Thật thảm họa! Khi các phương trình đã được giải và điện tích của chân trời đã được tính ra, kết quả là *zêrô*! Nói cách khác, thay vì là một cái vỏ lớn dễ thương thì chân trời lại co lại thành kích thước của một điểm trong không gian. Tất cả entropy được chứa trong những sợi dây run rẩy và lộn xộn này dường như lại tập trung cả trong một điểm nhỏ xíu của không gian. Điều này không chỉ là rắc rối cho các lỗ đen mà còn mâu thuẫn trực tiếp với Nguyên lý toàn ảnh: entropy tối đa trong một vùng không gian

là diện tích của nó tính theo đơn vị Planck. Rõ ràng là có điều gì đó sai lầm ở đây.

Sen đã biết chính xác vấn đề đó là gì. Các phương trình của Einstein là *cổ điển*, nghĩa là chúng đã bỏ qua các hiệu ứng của các thăng giáng lượng tử. Mà không có thăng giáng lượng tử, thì electron trong một nguyên tử hydro sẽ rơi vào hạt nhân, và toàn bộ nguyên tử sẽ không lớn hơn một proton. Nhưng chuyển động điểm zêrô lượng tử tạo bởi Nguyên lý bất định đã làm cho nguyên tử lớn hơn 100.000 lần so với hạt nhân. Sen nhận thấy rằng điều tương tự cũng sẽ xảy ra với chân trời lỗ đen. Mặc dù vật lý cổ điển dự đoán rằng nó sẽ co lại thành một điểm, song các thăng giáng lượng tử sẽ làm cho nó giãn nở ra thành cái mà tôi gọi là *chân trời bị kéo giãn*.

Sen đã thực hiện những hiệu chỉnh cần thiết: sự ước lượng nhanh đã chứng minh rằng entropy và diện tích của chân trời bị kéo giãn thực sự tỷ lệ thuận với nhau. Đây là một chiến thắng nữa cho Lý thuyết dây về entropy của chân trời lỗ đen, nhưng cũng như trước đây, chiến thắng này vẫn chưa hoàn toàn. Sự chính xác vẫn chưa nắm được trong tay; vẫn còn có sự bất định về việc chân trời giãn ra bao nhiêu bởi các thăng giáng lượng tử. Vẫn xuất sắc như trước kia, nhưng nghiên cứu của Sen cuối cùng cũng vẫn kết thúc với ký hiệu tỷ lệ ($\sim$) yếu ớt. Điều tốt nhất mà ông có thể nói đó là entropy của lỗ đen *tỷ lệ thuận* với diện tích của chân trời. Điều đó gần như là đúng rồi, nhưng chưa hoàn toàn. Còn cần phải làm tiếp những tính toán “quyết định”.

Cái tính toán gần như đã hoàn tất này chắc không có cơ hội thuyết phục được Stephen Hawking, và cả những lập luận của tôi cũng vậy. Tuy nhiên, vòng đấu vẫn chưa khép lại. Để thực hiện đề xuất của Vafa và tạo ra một lỗ đen cực trị với chân trời cổ điển

lớn, đòi hỏi phải có một số mảnh mới của cái trò chơi ghép hình Tinkertoy. May mắn thay, những mảnh ghép cần thiết ấy lại sắp sửa được phát minh ở Santa Barbara.

D-Brane của Polchinski

D-brane lẽ ra phải được gọi là P-brane vì P là chữ cái đầu của Polchinski. Nhưng vào thời điểm mà Joe khám phá ra các brane của mình, thì thuật ngữ *P-brane* đã được sử dụng cho một đối tượng khác, không có liên quan. Vì vậy Joe gọi nó là *D-brane*, theo tên của nhà toán học người Đức thế kỷ 19 Johann Dirichlet. Dirichlet không có gì liên quan trực tiếp với các D-brane, nhưng những nghiên cứu toán học của ông về các sóng cũng có một sự liên quan nhất định.

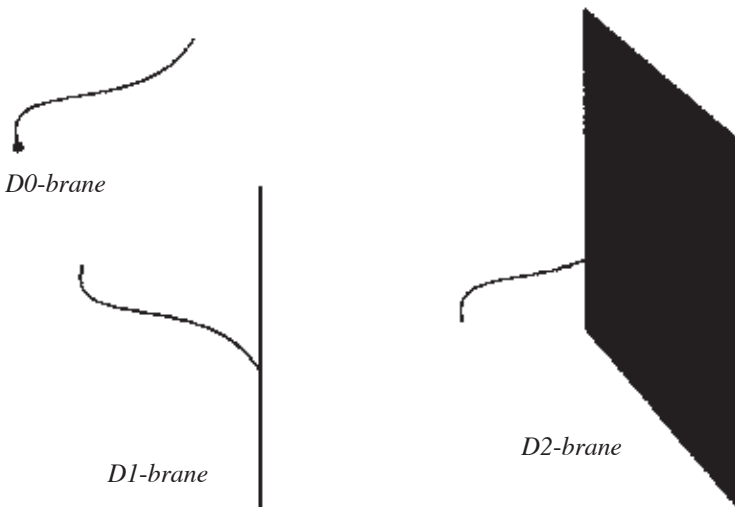
Từ *brane* không có trong từ điển mà chỉ có trong bối cảnh của Lý thuyết dây. Nó bắt nguồn từ thuật ngữ thông thường *membrane* (có nghĩa là *màng*), một bề mặt hai chiều có thể uốn cong và co giãn. Khám phá của Polchinski vào năm 1995 về các tính chất của D-brane là một trong những sự kiện quan trọng nhất trong lịch sử vật lý đương đại. Nó nhanh chóng có những ảnh hưởng sâu sắc đến mọi thứ từ lỗ đen đến vật lý hạt nhân.

Các brane đơn giản nhất là những đối tượng 0 chiều được gọi là các 0-brane. Một hạt hay một điểm của không gian có số chiều bằng 0 – tức là chẳng có chỗ nào để dịch chuyển trên một điểm cả, vì vậy các hạt và các 0-brane là đồng nghĩa. Dịch lên một mức, chúng ta có 1-brane, tức là các brane một chiều. Một dây cơ bản chính là trường hợp đặc biệt của 1-brane. Các màng, tức các tấm vật chất hai chiều được gọi là 2-brane. Thế còn 3-brane, liệu có một

đối tượng như vậy hay không? Hãy nghĩ tới một khối lập phương đặc bằng cao su, chiếm trọn một vùng không gian. Bạn có thể gọi nó là *3-brane choán trọn không gian*.

Giờ thì có vẻ như chúng ta đã dùng hết các chiều rồi. Rõ ràng, không có cách nào để đặt trọn một 4-brane vào không gian ba chiều. Nhưng tình hình sẽ thế nào nếu như không gian có các chiều bị cuộn lại, như 6 chiều dư, chẳng hạn? Trong trường hợp đó, một trong các chiều của 4-brane có thể mở rộng vào một chiều bị nén nữa. Thực tế, nếu có tổng số là 9 chiều, thì không gian có thể chứa bất kỳ loại brane nào có số chiều lớn hơn, kể cả 9-brane.

Một D-brane không phải là bất kỳ brane nào. Mà nó có một tính chất rất đặc biệt, mà cụ thể là, các dây cơ bản có thể có một đầu ở trên nó. Hãy xét trường hợp D0-brane, chẳng hạn. D có nghĩa nó là D-brane và 0 có nghĩa là nó có số chiều là 0. Như vậy, D0-brane là một hạt mà dây cơ bản của nó có một đầu ở trên nó.



D1-brane thường được gọi là D-dây. Sở dĩ như vậy là bởi vì D1-brane là một chiều, bản thân nó là một loại dây, mặc dù không nên nhầm lẫn nó với dây cơ bản¹. Thường thì D-dây nặng hơn nhiều so với dây cơ bản. D2-brane là các màng tương tự như các tấm cao su, nhưng lại một lần nữa phải nhớ nó có tính chất là các dây cơ bản có một đầu ở trên chúng.

Phải chăng D-brane chỉ là một ý tưởng chợt nảy ra, một sự thêm vào tùy tiện mà Polchinski bổ sung cho Lý thuyết dây bởi vì ông có thể làm thế? Trong nghiên cứu có tính chất thăm dò đầu tiên của ông, tôi nghĩ rằng cũng có thể là như vậy. Các nhà vật lý lý thuyết thường phát minh ra các khái niệm mới chỉ để chơi với chúng và xem chúng sẽ dẫn dắt tới đâu. Thực tế, trở về năm 1994, khi Joe lần đầu tiên cho tôi biết ý tưởng của ông về D-brane, thì đó thực sự là linh hồn của cuộc trao đổi: “Xem này, chúng ta có thể bổ sung thêm một số đối tượng mới vào Lý thuyết dây. Kể cũng vui đấy chứ nhỉ? Ta hãy thử khám phá các tính chất của chúng xem sao.”

Nhưng vào một thời điểm nào đó của năm 1995, Joe đã nhận thấy rằng D-brane đã lấp đầy một lỗ hổng toán học lớn trong Lý thuyết dây. Thực ra, sự tồn tại của chúng là cần thiết để hoàn tất một mạng lưới logic và toán học đang phát triển. Và các D-brane chính là một thành phần bí mật còn thiếu cần có để tạo nên một lỗ đen cực trị tốt hơn.

¹ Có thể khá lạ lùng và phần nào hơi tùy tiện khi mà có hai loại dây trong Lý thuyết dây. Thực tế thì không có gì là tùy tiện cả. Có những đối xứng toán học rất mạnh được gọi là các đối ngẫu, liên hệ dây cơ bản với D-dây. Những đối ngẫu này tương tự như đối ngẫu liên hệ điện tích với các đơn cực từ, lần đầu tiên được Paul Dirac giả thuyết vào năm 1931. Chúng có ảnh hưởng sâu sắc đến một số chủ đề của toán học thuần túy.

Toán học của Lý thuyết dây đã đền đáp

Vào năm 1996, Vafa, cùng với Andy Strominger, đã bất ngờ tấn công. Bằng việc kết hợp dây và D-brane, họ đã dựng nên một lỗ đen cực trị với một chân trời cổ điển lớn và rõ ràng. Vì một lỗ đen cực trị được coi như là một đối tượng cổ điển lớn, nên những thăng giáng lượng tử sẽ chỉ có một hiệu ứng không đáng kể lên chân trời. Giờ thì không có chỗ cho những run rẩy nữa. Lý thuyết dây đã cho một lượng đúng thông tin bị ẩn giấu suy ra từ công thức của Hawking, không còn các thừa số mơ hồ như số 2 hay π và không còn ký hiệu $\sim$ nữa.

Đó không phải là lỗ đen cơ bản kiểu cũ của bạn nữa. Đối tượng mà Vafa và Strominger đã dựng nên từ các dây và các D-brane nghe như là một cơn ác mộng kỹ thuật, nhưng đó chính là cấu trúc đơn giản nhất, tạo ra được chân trời cổ điển lớn mà họ đang tìm kiếm. Tất cả các thủ thuật toán học của Lý thuyết dây đều đã được dùng đến, kể cả một tập hợp đầy đủ các chiều dư, các dây, các D-brane và nhiều thứ khác nữa. Đầu tiên họ bị mắc ở số các D-brane lấp đầy 5 trong số 6 chiều dư bị nén. Thêm vào đó, bị nhúng trong các D5-brane, họ đã cuộn một số lớn các D1-brane quanh một trong các chiều bị cuộn lại. Rồi sau đó họ thêm vào các dây có cả hai đầu gắn với các D-brane đó. Một lần nữa, các đoạn hở của dây sẽ chính là các nguyên tử chân trời chứa entropi. (Nếu bạn thấy hoang mang một chút cũng đừng lo lắng. Chúng ta đang đi vào một lĩnh vực mà bộ óc loài người không được kết cấu để có thể hiểu được nó một cách dễ dàng).

Strominger và Vafa đã tuân thủ theo đúng các bước đã được sử dụng lúc trước. Đầu tiên, họ vận động hồ về số 0 để lực hấp dẫn và các lực khác biến mất. Không có các lực này làm rối loạn mọi thứ

thì có thể tính được chính xác có bao nhiêu entropy chứa trong các thăng giáng của các dây mở. Những tính toán phức tạp hơn về mặt kỹ thuật và tinh tế hơn bất kỳ thứ gì đã được làm trước đây, nhưng xét về thành tựu toán học, thì họ đã thành công.

Bước tiếp theo là giải phương trình trường của Einstein cho loại lỗ đen cực trị này. Lần này, không cần phải có quá trình kéo giãn bất định để tính diện tích nữa. Với sự cực kỳ thỏa mãn của họ (và cả của tôi nữa), Strominger và Vafa đã tìm ra được là diện tích chân trời và entropy đúng là không phải tỷ lệ thuận; thông tin bị ẩn giấu trong những run rẩy của dây gắn với các brane đã phù hợp một cách tuyệt đối với công thức của Hawking. Vậy là họ đã tóm được nó.

Như vẫn thường xảy ra, bao giờ cũng có hơn một nhóm người đi đến cùng một ý tưởng gần như đồng thời. Cùng lúc với Strominger và Vafa là một trong những gương mặt sáng chói của thế hệ vật lý mới, lúc đó vẫn còn đang là một sinh viên ở Princeton. Người hướng dẫn luận án tiến sĩ của Juan Maldacena là Curt Callan (C trong CGHS). Maldacena và Callan cũng đặt các D5-brane cùng với D1-brane và các dây hở. Trong vòng vài tuần sau Strominger và Vafa, Callan và Maldacena đã gửi đi bài báo của riêng họ. Phương pháp của Maldacena và Callan hơi khác, nhưng kết luận cuối cùng của họ hoàn toàn xác nhận những gì mà Strominger và Vafa đã tuyên bố.

Thực tế, Callan và Maldacena đã có thể tiến xa hơn một chút so với công trình trước và nắm bắt được những lỗ đen phi cực trị một cách không đáng kể. Lỗ đen cực trị là một thứ kỳ quặc trong vật lý học. Đó là một đối tượng có entropy, nhưng lại không có nhiệt và nhiệt độ. Trong hầu hết các hệ cơ học lượng tử, một khi năng lượng bị rút ra hết thì mọi thứ đều bị khóa chặt ở vị trí của nó. Chẳng hạn, nếu tất cả nhiệt bị rút ra khỏi một cục nước đá

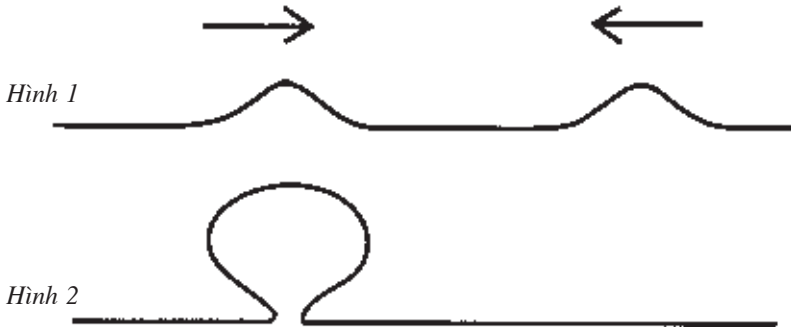
hình lập phương, thì kết quả sẽ là một tinh thể hoàn hảo, tuyệt đối không có một khuyết tật nào. Bất kỳ sự sắp xếp lại nào của các phân tử nước đều cần có năng lượng và vì vậy làm tăng thêm nhiệt. Nhưng nước đá với nhiệt đã bị rút hết ra sẽ không còn năng lượng dư, do đó không có nhiệt độ và không có entropy.

Nhưng cũng có những ngoại lệ. Một số hệ đặc biệt có nhiều trạng thái có cùng giá trị nhỏ nhất của năng lượng. Nói cách khác, ngay cả sau khi tất cả năng lượng đã bị rút hết ra, thì vẫn có những cách thức sắp xếp lại hệ để che giấu thông tin, đồng thời làm điều đó mà không cần phải bổ sung thêm năng lượng. Các nhà vật lý nói rằng các hệ như vậy có *trạng thái cơ bản suy biến*. Các hệ với trạng thái cơ bản suy biến có entropy, tức là chúng có thể cất giấu thông tin ngay cả ở 0 độ tuyệt đối. Các lỗ đen cực trị chính là những ví dụ hoàn hảo về các hệ đặc biệt này. Không giống với lỗ đen Schwarzschild thông thường, các lỗ đen cực trị ở 0 độ tuyệt đối, mà điều này có nghĩa là chúng không bốc hơi.

Hãy trở lại với ví dụ của Sen. Trong ví dụ này, những run rẩy trên dây tất cả đều di chuyển theo cùng một chiều, và vì vậy, chúng không va vào nhau. Nhưng giả sử chúng ta thêm vào một số run rẩy khác di chuyển theo chiều ngược lại. Như bạn có thể dự đoán, chúng sẽ va chạm với những run rẩy trước và tạo nên một chút rối loạn. Trong thực tế, chúng làm cho dây nóng lên và tăng nhiệt độ của nó. Không giống như những lỗ đen thông thường, lỗ đen gần như cực trị này không bốc hơi hoàn toàn; chúng chỉ tỏa ra năng lượng dư thừa rồi trở lại trạng thái cực trị.

Callan và Maldacena đã có thể sử dụng Lý thuyết dây để tính toán tốc độ bốc hơi của lỗ đen gần như cực trị. Cách mà Lý thuyết dây giải thích quá trình bốc hơi rất hấp dẫn. Khi hai run rẩy di chuyển

theo hai hướng ngược nhau và chạm vào nhau (hình 1), chúng tạo nên một run rẩy lớn hơn, trông giống như thế này (hình 2):



Một khi run rẩy lớn hơn hình thành, không có gì ngăn chặn nó tách ra, theo cái cách không khác với những gì mà Feynman và tôi đã nói vào năm 1972 (hình 3).



Nhưng Callan và Maldacena đã làm nhiều hơn là nói. Họ đã tính được tốc độ bay hơi một cách chi tiết. Đáng kể là kết quả của họ lại hoàn toàn phù hợp phương pháp hai mươi năm trước của Hawking, chỉ với một khác biệt quan trọng: Maldacena và Callan chỉ sử dụng các phương pháp truyền thống của Cơ học lượng tử. Như chúng ta đã bàn ở các chương trước, mặc dù Cơ học lượng tử có yếu tố thống kê, song nó cấm chuyện mất thông tin. Vì vậy, không có khả năng để thông tin bị mất trong suốt quá trình bốc hơi.

Một lần nữa, những ý tưởng tương tự nhau lại được thực hiện bởi những người khác nhau. Hoàn toàn độc lập, hai nhóm các nhà vật lý người Ấn Độ là Sumit Das và Samir Mathur, và Gautam Mandal và Spenta Wadia ở Viện Tata ở Bombay (cũng là Viện của Ashoke Sen) đã thực hiện những tính toán và cho các kết quả tương tự.

Gộp cả lại, những công trình này là những thành tựu hết sức to lớn và chúng đã thực sự nổi tiếng. Thực tế là entropy của lỗ đen được tính thông qua các thông tin bị ẩn giấu trong những run rẩy của dây đã chống lại một cách mạnh mẽ những quan điểm của nhiều chuyên gia về thuyết tương đối, trong đó có Hawking. Stephen xem các lỗ đen như *những kẻ ăn thông tin*, chứ không phải là những kho chứa thông tin mà ta có thể lấy ra được. Sự thành công trong tính toán của Strominger và Vafa đã cho thấy một kết quả toán học đơn lẻ thôi cũng có thể làm nghiêng cán cân như thế nào. Đó chính là điểm bắt đầu cho sự cáo chung của sự mất thông tin.

Bi kịch của thời điểm này không phải lặng lẽ trôi qua mà không ai nhận thấy. Rất nhiều người, trong đó có các bạn bè của tôi ở Santa Barbara, đã bất ngờ lên tàu và rời bỏ phe bên kia. Nếu tôi còn có bất kỳ sự nghi ngờ rơi rớt nào về chuyện Cuộc chiến lỗ đen sẽ sớm đến hồi kết thúc, thì chúng cũng bị xóa sạch khi Joe Polchinski và Gary Horowitz – những người trước đây đứng trung lập trong cuộc chiến tranh – đã trở thành đồng minh của tôi¹. Trong tâm trí tôi thì đó chính là một sự kiện có tính bước ngoặt.

¹ Polchinski và Horowitz đã viết một bài báo sử dụng cùng phương pháp mà tôi đã sử dụng vào năm 1993 để tính toán entropy của nhiều loại lỗ đen xuất hiện trong Lý thuyết dây – cả loại cực trị và những loại khác nữa – và trong mọi trường hợp, câu trả lời luôn phù hợp với công thức diện tích Bekenstein – Hawking.

Lý thuyết dây có thể hoặc không phải là một thuyết đúng đắn về tự nhiên, nhưng nó đã chứng tỏ rằng những lập luận của Hawking có thể là không đúng. Đã hết mọi hy vọng, nhưng lạ thay, Stephen và nhiều người khác trong cộng đồng Tương đối rộng vẫn không chịu. Họ vẫn tiếp tục tin một cách mù quáng vào những lập luận trước đây của Hawking.

NAM MỸ ĐÃ THẮNG TRONG CUỘC CHIẾN

HẦU HẾT MỌI NGƯỜI đều không nghĩ đến Nam Mỹ khi nói về những nhà vật lý xuất sắc. Ngay cả những người Nam Mỹ cũng ngạc nhiên khi biết rằng có nhiều nhà vật lý lý thuyết rất lỗi lạc đến từ Achantina, Brazil và Chilê. Daniele Amati, Alberto Sirlin, Miguel Virasoro, Hector Rubinstein, Eduardo Fradkin, và Claudio Teitelboim chỉ là một số ít trong số những người đã có những tác động quan trọng đến môn khoa học này.

Teitelboim, người vừa mới đây đã đổi tên mình thành Claudio Bunster (xem chú thích ở trang 174), là một nhân cách rất đặc biệt, không giống bất kỳ nhà vật lý nào khác mà tôi đã từng quen biết. Gia đình ông có những mối quan hệ rất thân thiết với vị tổng thống xã hội chủ nghĩa của Chilê là Salvador Allende và với nhà hoạt động chính trị, nhà thơ đoạt giải Nobel văn học Pablo Neruda. Anh trai của Claudio, César Bunster, là một nhân vật chủ chốt trong sự kiện ngày 7 tháng Chín năm 1986, vụ ám sát Augusto Pinochet, một viên tướng độc tài phát xít trước đây.

Claudio là một người đàn ông cao lớn, da sẫm màu với cơ thể cường tráng của một vận động viên điền kinh và cặp mắt sắc sảo, dữ tợn. Mặc dù ông hơi nói lắp, song lại có vẻ gì đó duyên dáng và có sức cuốn hút khiến ông có thể trở thành một nhà lãnh đạo chính

trị lớn. Thực tế thì ông là người lãnh đạo của một nhóm nhỏ các nhà khoa học chống phát xít, những người đã giữ cho khoa học tồn tại ở Chilê trong suốt những năm tháng đen tối. Tôi không nghĩ ngờ rằng cuộc sống của ông luôn bị đe dọa trong thời kỳ đó.

Claudio là một người đàn ông có năng lực phi thường và một chút gì đó thực sự điên rồ. Mặc dù là kẻ thù của chế độ quân phiệt ở Chilê, song ông lại thích tất cả các bộ lễ phục nhà binh. Khi sống ở Texas trước khi trở lại Chilê, ông thường hay lui tới những buổi trưng bày súng và dao, và thậm chí ngay cả bây giờ ông vẫn thường mặc các bộ quần áo dã chiến. Lần đầu tiên tôi tới thăm ông ở Chilê, ông đã dọa tôi sợ chết khiếp trong khi chơi trò lính tráng này.

Đó là vào năm 1989, và chế độ độc tài Pinochet vẫn còn đầy quyền lực. Khi vợ tôi và tôi, cùng với người bạn của chúng tôi là Willy Fischler, ra khỏi máy bay ở Santiago, chúng tôi đã bị những người đàn ông mặc đồng phục mang đầy vũ khí lửa một cách lỗ mãng vào dãy xếp hàng dài chờ kiểm tra hộ chiếu. Các nhân viên ở quầy kiểm tra hộ chiếu cũng là quân nhân, tất cả đều trang bị vũ khí, một số còn mang vũ khí tự động cỡ lớn. Việc thoát ra khỏi nơi kiểm tra hộ chiếu thật chẳng dễ dàng gì: một hàng dài di chuyển chậm chạp và chúng tôi thực sự đã kiệt sức.

Bất thành lĩnh, tôi thấy một nhân vật cao lớn đeo kính râm và mặc quân phục (hay thứ gì đó đại loại như vậy) len qua vòng vây và tiến thẳng về phía chúng tôi. Đó chính là Claudio, và ông ra lệnh cho mấy người lính cứ như thể ông là một vị tướng vậy.

Khi đi đến chỗ chúng tôi, ông nắm lấy cánh tay tôi và hộ tống chúng tôi một cách ngạo mạn đi qua đám bảo vệ, rẽ họ sang hai bên với một vẻ quyền uy khác thường. Ông túm lấy hành lý của chúng tôi và nhanh chóng dẫn chúng tôi ra khỏi sân bay, tới chiếc

xe jeep màu kaki đỗ trái phép bên đường. Sau đó chúng tôi rời sân bay, đôi lúc chỉ trên hai bánh xe, và tiến thẳng đến Santiago. Mỗi lần chúng tôi đi qua một nhóm lính, Claudio lại bấm còi chào. “Claudio này,” tôi thì thầm, “anh cứ bấm bip bip làm gì vậy? Anh muốn họ giết hết chúng ta à?” Nhưng không ai dừng chúng tôi lại cả.

Lần cuối cùng tôi ở Chilê¹, ngay sau khi chế độ Pinochet bị thay thế bởi một chính phủ dân chủ, Claudio có những mối quan hệ thực sự với quân đội, đặc biệt là không quân. Lần đó là hội thảo về lỗ đen mà Claudio tổ chức ở cái Viện nhỏ bé của ông. Ông đã sử dụng ảnh hưởng của mình với không quân để đưa một số chúng tôi bằng máy bay, trong đó có Hawking và tôi, đến một căn cứ ở Nam Cực của Chilê. Chúng tôi đã rất vui vẻ, nhưng điều đáng nhớ nhất là cái cung cách mà các tướng không quân, trong đó có cả tham mưu trưởng, phục vụ chúng tôi. Một vị tướng rót trà, người khác phục vụ món nguội khai vị. Claudio rõ ràng là một người có ảnh hưởng đáng kể ở Chilê.

Nhưng đó là vào năm 1989, trên chuyến xe du lịch đến vùng núi Andes ở Chilê, Claudio lần đầu tiên nói với tôi về các *lỗ đen anti-de Sitter*. Ngày nay chúng được gọi là các *lỗ đen BTZ*, ghép từ những chữ cái đầu trong tên của Baíados, Teitelboim, và Zanelli. Max Baíados và Jorge Zanelli đều là những thành viên thân cận trong nhóm của Claudio khi ba người họ có một khám phá có ảnh hưởng to lớn đến Cuộc chiến Lỗ đen.

¹ Ngay khi quyển sách này bước vào giai đoạn biên tập cuối cùng, tôi lại tới thăm Chilê, nhưng lần này để dự lễ sinh nhật lần thứ 60 của Claudio Bunster. Bức ảnh chụp tôi và Stephen ở cuối quyển sách này được chụp ở chính buổi lễ đó.

Thiên thần và ác quỷ

Các nhà vật lý lỗ đen luôn mơ màng viễn vông về chuyện nhốt một lỗ đen vào trong một cái hộp được gắn kín và giữ nó an toàn như là một thứ đồ trang sức quý giá. Nhưng giữ an toàn khỏi cái gì? Khỏi bị bốc hơi. Nhốt kín nó trong hộp cũng giống như đặt vùng một nồi nước. Khi này, thay vì bốc hơi vào không gian, các hạt sẽ đập vào thành hộp (hay vùng của nồi), rồi rơi trở lại lỗ đen (hay nồi nước).

Tất nhiên, không ai có thể thực sự nhốt được một lỗ đen vào hộp, nhưng cái thí nghiệm tưởng tượng đó là rất thú vị. Một lỗ đen ổn định, không thay đổi sẽ đơn giản hơn là một lỗ đen bốc hơi. Nhưng có một vấn đề là: không có cái hộp thực sự nào có thể nhốt được một lỗ đen mãi mãi. Giống như mọi thứ khác, những cái hộp thực sẽ thăng giáng một cách ngẫu nhiên, và không sớm thì muộn, một tai nạn cũng sẽ xảy ra. Cái hộp sẽ tiếp xúc với lỗ đen và hấp, nó sẽ bị nuốt ngay vào bên trong.

Đó chính là chỗ mà *không gian anti de Sitter* (ADS) xuất hiện. Trước hết, mặc cho cái tên của nó, không gian anti de Sitter thực sự là một continuum không-thời gian với thời gian là một trong số các chiều của nó. Willem de Sitter là một nhà vật lý, nhà toán học và nhà thiên văn học người Hà Lan, người đã tìm ra nghiệm bốn chiều của phương trình Einstein mang tên ông. Về mặt toán học, *không gian de Sitter* là một vũ trụ giãn nở theo hàm mũ, theo cách rất giống với vũ trụ của chúng ta¹. Không gian de Sitter từ lâu chỉ

¹ Trong những năm gần đây, các nhà thiên văn học và vũ trụ học đã phát hiện ra rằng vũ trụ của chúng ta đang giãn nở với tốc độ tăng dần, cứ mỗi mười tỉ năm lại tăng gấp đôi kích thước. Sự giãn nở theo hàm mũ này được mọi người tin là do hằng số vũ trụ, hay cái mà báo chí đại chúng vẫn quen gọi là “năng lượng tối”.

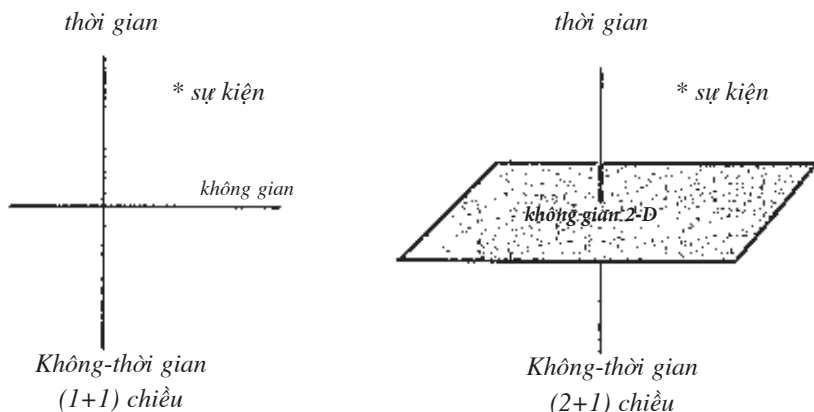
được xem như một thứ của lạ, nhưng những năm gần đây, nó đã trở nên vô cùng quan trọng đối với các nhà vũ trụ học. Đó là một continuum không-thời gian cong với độ cong dương, có nghĩa là tổng các góc của một tam giác ở đó lớn hơn 180 độ. Nhưng tất cả điều này chỉ là phụ. Trong những thảo luận của chúng ta, cái mà chúng ta quan tâm là không gian *anti de Sitter*, chứ không phải là không gian de Sitter.

Không gian anti de Sitter không phải được khám phá bởi người anh em song sinh phản vật chất của de Sitter. “*Anti*” ở đây hàm ý rằng độ cong của không gian là âm, tức là tổng các góc của một tam giác ở đây nhỏ hơn 180 độ. Điều thú vị nhất về ADS là nó có nhiều tính chất của bên trong một hộp hình cầu, nhưng là hộp không thể bị nuốt bởi một lỗ đen. Đó là bởi vì thành hình cầu của ADS tác dụng một lực rất mạnh – một lực đẩy không thể cưỡng nổi – lên mọi thứ tiến gần đến nó, kể cả chân trời một lỗ đen. Lực đẩy mạnh đến mức không có khả năng tiếp xúc giữa thành hộp và lỗ đen.

Nhìn chung thì không-thời gian thông thường có bốn chiều: ba chiều không gian và một chiều thời gian. Đôi khi các nhà vật lý gọi nó là không gian bốn chiều, nhưng điều đó làm mờ đi sự khác biệt rõ ràng giữa không gian và thời gian. Một cách mô tả chính xác hơn là coi không-thời gian là (3+1) chiều.

Đất nước phẳng hai chiều và Đất nước đường thẳng một chiều cũng là continuum không-thời gian. Đất nước phẳng là một thế giới chỉ có hai chiều không gian, nhưng các cư dân trên đó cũng cảm nhận được sự tồn tại của thời gian. Họ gọi thế giới của mình một cách hợp lý là (2+1) chiều. Người dân của Đất nước đường thẳng, những người chỉ có thể di chuyển dọc theo một trục duy

nhất, nhưng họ cũng có thể nhận biết được thời gian, sống trong không-thời gian (1+1) chiều. Điều tuyệt vời của các không-thời gian (2+1) và (1+1) chiều là chúng ta có thể dễ dàng vẽ chúng để hỗ trợ cho trực giác.



Tất nhiên, không có gì ngăn được các nhà vật lý toán phát minh ra các thế giới với bất kỳ số chiều không gian nào, mặc dù bộ não chúng ta không có khả năng hình dung được chúng. Người ta cũng có thể tự hỏi liệu có thể thay đổi số chiều thời gian được không. Theo một nghĩa toán học hoàn toàn trừu tượng thì câu trả lời là có, nhưng trên quan điểm của một nhà vật lý, thì dường như không có nhiều ý nghĩa khi làm điều đó. Một chiều thời gian duy nhất dường như đã là một con số đúng rồi.

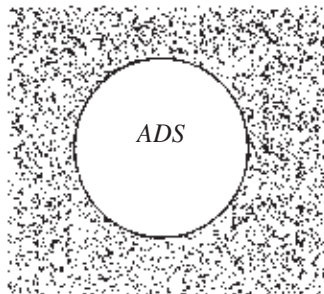
Không gian anti de Sitter cũng có nhiều chiều. Nó có thể có bất kỳ số chiều không gian nào, nhưng chỉ có một chiều thời gian. Không gian ADS mà Baíasdos, Teitelboim và Zanelli đã nghiên cứu là (2+1) chiều, điều này khiến cho ta dễ dàng giải thích nó bằng các hình ảnh.

Vật lý học ở các chiều khác nhau

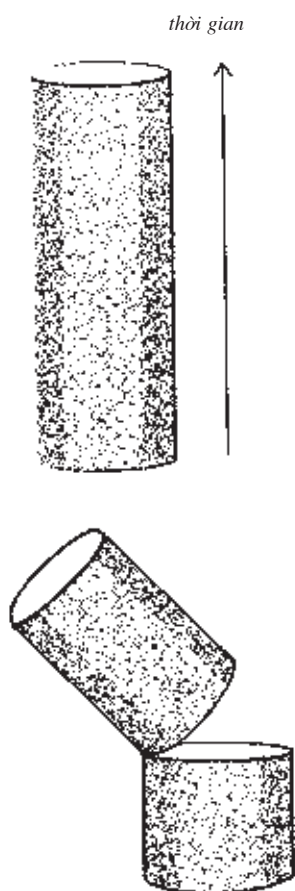
Không gian ba chiều (chứ *không phải* không-thời gian) là một trong những thứ dường như đã được gắn cứng trong hệ thống nhận thức của chúng ta. Không ai có thể hình dung được không gian bốn chiều mà không dựa vào toán học trừu tượng. Bạn có thể nghĩ rằng không gian một hoặc hai chiều dễ hình dung hơn, và theo một nghĩa nào đó thì đúng là như vậy. Nhưng nếu bạn suy ngẫm về nó trong chốc lát, bạn sẽ nhận ra rằng khi bạn hình dung các đường và các mặt phẳng, bạn luôn phải hình dung chúng được nhúng trong một không gian ba chiều. Điều đó gần như chắc chắn là do cách thức tiến hóa của bộ não chúng ta, chứ không liên quan gì đến những tính chất toán học đặc biệt nào của ba chiều cả¹.

Không gian anti de Sitter

Cách tốt nhất để giải thích ADS là cách mà Claudio giải thích cho tôi trên chuyến xe du lịch ở Chilê: đó là bằng hình ảnh. Hãy tạm bỏ qua thời gian và bắt đầu với không gian thông thường bên trong một hộp tròn rỗng. Trong ba chiều, một hộp tròn có nghĩa là bên trong nó là một hình cầu; trong



¹ Thế giới vật lý liệu có thể là một hay hai chiều (tôi muốn nói về không gian, chứ không phải không-thời gian) không? Tôi không chắc lắm – chúng ta không biết tất cả các nguyên lý có thể xác định những vấn đề như vậy – nhưng từ quan điểm toán học, thì Cơ học lượng tử và Thuyết tương đối hẹp đều nhất quán ở một hay hai cũng như trong ba chiều. Ý tôi không phải muốn nói rằng sự sống có trí tuệ có thể tồn tại ở những thế giới khác đó, mà chỉ muốn nói là vật lý học thuộc một loại nào đó dường như là có thể mà thôi.



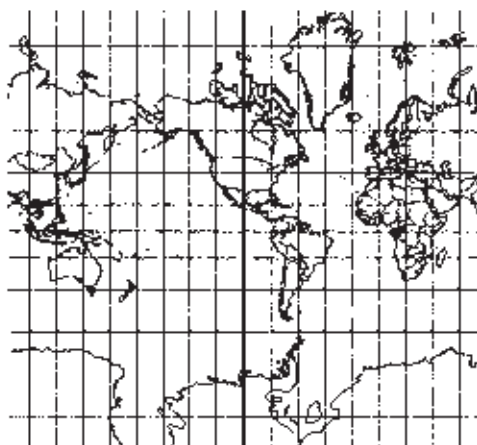
hai chiều, nó thậm chí còn đơn giản hơn, đó là bên trong một vòng tròn.

Bây giờ thì ta hãy thêm thời gian vào. Vẽ đường thời gian dọc theo trục thẳng đứng, thì continuum không-thời gian bên trong hộp nhìn giống như bên trong của một hình trụ. Trong hình bên, ADS chính là vùng không đánh bóng ở bên trong của hình trụ.

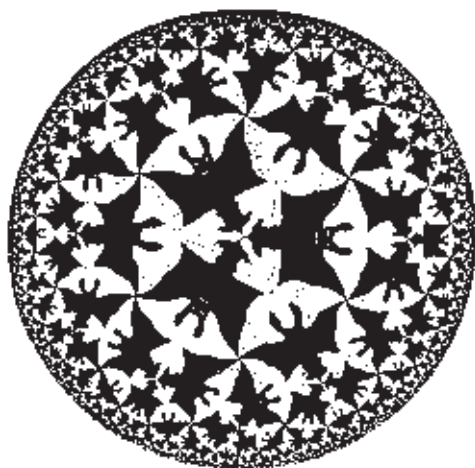
Hãy tưởng tượng ta cắt lát ADS (hãy nhớ, nó có một chiều thời gian) theo cách tương tự như chúng ta cắt lát một lỗ đen để tạo ra một giản đồ nhúng. Việc cắt lát như vậy sẽ để lộ ra tiết diện ngang không gian mà ta thực sự có thể gọi nó là không gian.

Chúng ta hãy xem xét lát cắt hai chiều này kỹ lưỡng hơn chút nữa. Như bạn có thể dự đoán, nó cũng cong, giống như bề mặt Trái đất. Điều này có nghĩa là để vẽ nó trên mặt phẳng (một trang giấy), bạn phải kéo giãn và làm biến dạng bề mặt của nó. Không thể vẽ bản đồ Trái đất trên mặt phẳng của tờ giấy mà không có những biến dạng lớn. Các vùng ở gần mép bắc và nam của một tấm bản đồ Mercator¹ trông quá lớn so với các vùng ở gần xích đạo. Greenland nhìn lớn chẳng kém gì Châu Phi, mặc dù diện tích Châu Phi thực ra lớn hơn tới 15 lần.

¹ Gerard Mercator (1512-1594) nhà địa lý, người vẽ bản đồ đầu tiên của Trái đất. (ND)

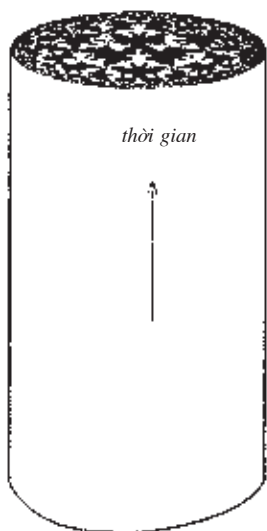


Không gian (và cả không-thời gian) trong ADS là cong, nhưng không giống bề mặt Trái đất, nó có độ cong âm. Việc làm biến dạng nó thành phẳng có hiệu ứng “phản-Mercator”: nó sẽ làm cho những vùng ở gần mép trông sẽ quá nhỏ. Bức vẽ nổi tiếng *Giới hạn vòng tròn IV* của Escher là một “tấm bản đồ” biểu diễn một không gian có độ cong âm, nó cho ta thấy các lát cắt hai chiều của ADS nhìn chính xác như thế nào.



Tôi nhận thấy bức *Giới hạn vòng tròn IV* như thôi miên, đấy là đã nói giảm bớt đi rất nhiều rồi. (Nó gọi tôi nhớ đến truyện *Chuột và chuột con* và câu hỏi không bao giờ kết thúc của các nhân vật về Con chó cuối cùng được nhìn thấy, ở Chương 20). Các thiên thần và ác quỷ ở đây cũng tiếp nối không dứt, và nhạt nhòa dần về phía mép hình *fractal* vô hạn. Liệu Escher có mặc cả với ác quỷ cho phép ông vẽ một số vô hạn các thiên thần hay không? Hay nếu tôi nhìn đủ kỹ, thì thiên thần sẽ được nhìn thấy cuối cùng?

Hãy tạm dừng một chút để tự mình thay đổi nhận thức sao cho bạn có thể thấy các thiên thần và ác quỷ khi có cùng kích cỡ. Đây không phải là một bài tập luyện dễ dàng về trí tuệ, song nó giúp bạn nhớ rằng, trên thực tế, Greenland gần như có cùng độ lớn với bán đảo Ả Rập, mặc dù, trên tấm bản đồ Mercator, nó nhìn như là lớn hơn tới 8 lần. Rõ ràng là Escher thực sự đã có bộ óc rất giỏi đối với loại bài tập trí tuệ này, nhưng bằng sự luyện tập, bạn cũng có thể làm được điều đó.



Giờ ta hãy thêm thời gian vào và đặt tất cả cùng nhau trong một bức tranh về Không gian anti de Sitter. Như thường lệ, chúng ta đặt thời gian theo trục thẳng đứng. Mỗi lát cắt nằm ngang biểu thị không gian thường ở một thời điểm nhất định. Bây giờ hãy hình dung ADS như là một số vô hạn những lát cắt không gian mỏng – một cái xúc xích được cắt lát vô cùng mỏng – mà khi xếp chồng lên nhau, chúng tạo nên một continuum không-thời gian.

Không gian được cuộn một cách kỳ quặc trong ADS, nhưng cũng không kỳ quặc hơn thời gian. Hãy nhớ lại Chương 3, trong đó có nói rằng trong Thuyết tương đối rộng, các đồng hồ đặt ở các vị trí khác nhau thì thường chạy với tốc độ khác nhau. Chẳng hạn, sự chậm dần của các đồng hồ ở gần một chân trời lỗ đen cho phép lỗ đen có thể được sử dụng như một cỗ máy thời gian. Đồng hồ trong ADS cũng hành xử một cách kỳ lạ. Hãy hình dung rằng mỗi ác quỷ của Escher đều mang đồng hồ đeo tay. Nếu các ác quỷ ở gần trung tâm nhất nhìn ra xung quanh những người hàng xóm ở xa tâm hơn một chút, chúng sẽ nhận thấy điều gì đó đặc biệt: Các đồng hồ ở xa hơn sẽ chạy nhanh gấp đôi đồng hồ của chúng. Giả sử rằng các ác quỷ có hệ thống trao đổi chất thì các chức năng trao đổi chất của những người hàng xóm của chúng ở bên ngoài cũng sẽ hoạt động nhanh hơn. Thực tế, mọi phép đo thời gian dường như đều được tăng tốc và khi chúng nhìn ra xa hơn nữa thì các đồng hồ dường như cũng chạy nhanh hơn nữa. Mỗi lớp kế tiếp chạy nhanh hơn lớp ngay trước nó, cho đến khi ở phía ngoài gần với đường biên, thì các đồng hồ sẽ chạy nhanh tới mức ác quỷ ở trung tâm chỉ thấy một vệt xoáy tít.

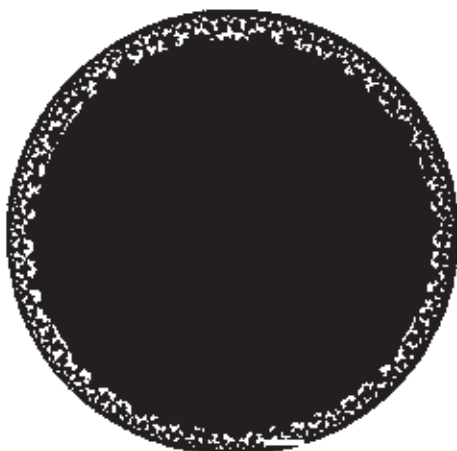
Độ cong của không-thời gian trong ADS tạo nên một trường hấp dẫn kéo mọi vật về phía tâm, *ngay cả nếu ở đó không có gì hết*. Một thể hiện của trường hấp dẫn ma quái này là nếu có một khối lượng di chuyển về phía biên thì nó sẽ bị kéo ngược trở lại, giống như bị mắc vào một lò xo vậy. Nếu cứ để mặc nó thì khối lượng này sẽ dao động qua lại không ngừng. Hiệu ứng thứ hai thực sự là mặt trái của đồng xu. Lực kéo về phía tâm thực ra không khác với lực đẩy ra xa biên. Lực đẩy là lực không thể cưỡng lại được, giữ cho mọi vật, kể cả lỗ đen, không tiếp xúc được với biên.

Các hộp được chế tạo để đặt các vật vào trong đó, vì vậy chúng ta hãy cho một số hạt vào trong hộp. Dù chúng ta có đặt chúng ở đâu thì chúng cũng sẽ bị kéo về phía tâm. Nếu chỉ có một hạt thì nó sẽ dao động vĩnh viễn xung quanh tâm, nhưng nếu có hai hay nhiều hạt hơn, thì chúng sẽ va chạm nhau. Hấp dẫn – không phải là hấp dẫn ma của ADS, mà là lực hấp dẫn thông thường giữa các hạt – có thể làm cho chúng kết hợp lại thành một khối. Bổ sung thêm các hạt sẽ làm tăng áp suất và nhiệt độ ở tâm, và cái khối dao động này có thể châm ngòi để tạo thành một ngôi sao. Việc bổ sung thêm khối lượng nhiều hơn nữa, cuối cùng sẽ dẫn tới một sự co sập lại khủng khiếp: một lỗ đen sẽ hình thành – một lỗ đen được bẫy trong một cái hộp.

Baíados, Teitelboim, và Zanelli không phải là những người đầu tiên nghiên cứu về lỗ đen trong ADS; vinh dự đó thuộc về Don Page và Stephen Hawking. Nhưng BTZ đã phát hiện ra một ví dụ đơn giản nhất, dễ dàng hình dung vì không gian chỉ có 2 chiều. Đây là một bức ảnh chụp nhanh tương tượng về một lỗ đen BTZ. Mép của vùng màu đen chính là chân trời.



Các lỗ đen anti de Sitter có tất cả các đặc điểm của lỗ đen thông thường, trừ một ngoại lệ. Thường thì điểm kỳ dị cực kỳ khó chịu ẩn phía sau chân trời. Việc thêm khối lượng vào sẽ làm tăng kích thước của lỗ đen, đẩy chân trời ra phía ngoài gần với đường biên hơn.



Tăng khối lượng làm cho lỗ đen ADS lớn thêm

Nhưng không giống lỗ đen thông thường, các lỗ đen loại ADS không bốc hơi. Chân trời là một bề mặt vô cùng nóng, liên tục phát xạ photon. Nhưng photon không có nơi nào để đi cả. Thay vì bốc hơi vào không gian trống rỗng, chúng rơi trở lại lỗ đen.

Thêm chút nữa về ADS

Hãy hình dung ta thu nhỏ vào một điểm trên biên của bức *Giới hạn vòng tròn IV* rồi sau đó phóng to nó lên sao cho đường biên trông gần như thẳng.

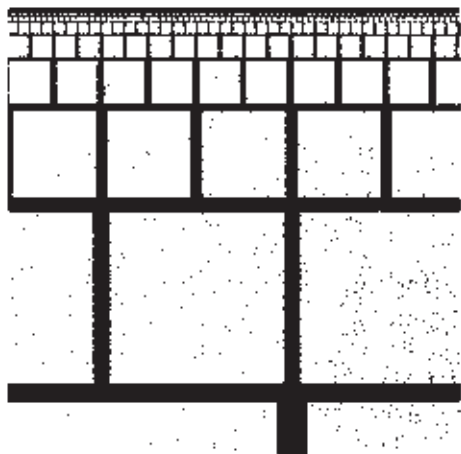
Chúng ta có thể lặp đi lặp lại điều đó nhiều lần, nhưng không để mất hết thiên thần và ác quỷ, cho đến khi giới hạn của đường



biên trông hoàn toàn thẳng và vô hạn. Tôi không phải là Echer, và tôi cũng không cố gắng tái tạo lại những sinh linh tảo nhâ của ông, nhưng nếu tôi đơn giản hóa đến mức mà tại đó ác quỷ được thay thế bằng những hình

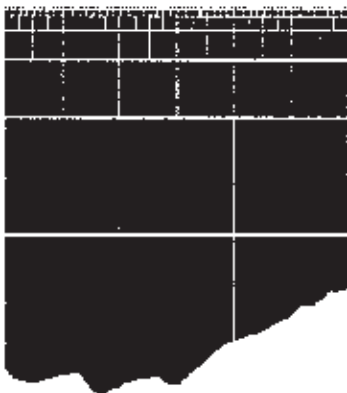
vuông, thì bức tranh sẽ trở thành một loại mạng các hình vuông ngày càng nhỏ dần khi chúng ta càng tiến gần đến biên. Hãy xem ADS là một bức tường gạch vô hạn. Khi bạn càng đi xuống theo bức tường, thì những viên gạch ở mỗi lớp gạch mới lại có kích thước lớn gấp đôi.

Tất nhiên, sẽ không có đường thực sự nào trong không gian anti de Sitter, cũng như các kinh tuyến và vĩ tuyến trên bề mặt Trái đất, chúng chỉ hiện diện ở đó để hướng dẫn cho mắt bạn và chỉ ra kích thước đã bị biến dạng như thế nào do độ cong của không gian mà thôi.



Bức tranh của Echer và phiên bản thô sơ của tôi biểu thị không gian hai chiều, nhưng không gian thực lại là ba chiều. Không khó để hình dung không gian sẽ được nhìn như thế nào nếu chúng ta thêm vào một chiều nữa (không phải thời gian). Tất cả những gì chúng ta phải

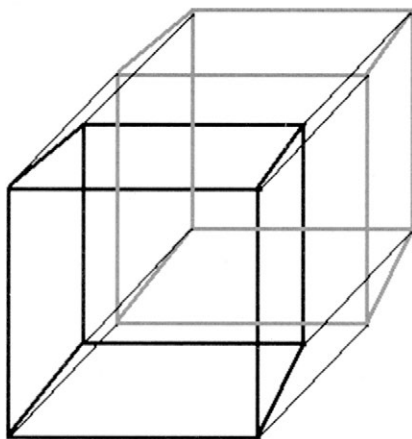
làm là thay thế các hình vuông bằng các khối lập phương đặc ba chiều. Trong bức tranh tiếp theo, tôi cho các bạn thấy một mẫu hữu hạn của “bức tường gạch” 3-D, nhưng hãy nhớ trong đầu rằng nó vẫn còn tiếp diễn ở cả các chiều ngang và dọc nữa.



Việc bổ sung thêm thời gian vào bức tranh cũng giống như trước: mỗi hình vuông hay khối lập phương được trang bị thêm đồng hồ riêng. Tốc độ mà đồng hồ chạy phụ thuộc vào vị trí lớp của nó. Mỗi lần chúng ta tiến gần hơn một lớp đến biên, thì đồng hồ lại tăng tốc lên một thừa số hai. Ngược lại, nếu chúng ta đi xuống phía dưới bức tường thì đồng hồ sẽ chạy chậm lại.

Trên quan điểm toán học, không có lý do gì để phải dừng lại ở ba chiều của không gian. Bằng cách chồng các khối bốn chiều với kích thước khác nhau, ta có thể dựng được không gian anti de Sitter (4+1) chiều hay bất kỳ số chiều nào khác. Nhưng ngay cả việc vẽ một khối lập phương 4-D cũng đã rất phức tạp. Dưới đây là một nỗ lực như thế.

Việc thử xếp chồng chúng lên nhau để vẽ một phiên bản 4-D của ADS cũng tạo nên một sự lộn xộn đầy trở ngại.



Thế giới trong hộp

Việc giữ cho lỗ đen không bốc hơi là một lý do rất chính đáng để nghiên cứu vật lý học trong một chiếc hộp, nhưng ý tưởng về một thế giới trong hộp thì còn thú vị hơn thế rất nhiều. Mục tiêu thực sự ở đây là để hiểu Nguyên lý toàn ảnh và để làm cho nó chính xác hơn về mặt toán học. Đây là cách mà tôi đã giải thích về Nguyên lý toàn ảnh ở Chương 18: “Thế giới ba chiều của trải nghiệm thông thường: vũ trụ với các thiên hà, sao, hành tinh, các ngôi nhà, những tảng đá, và con người – là một bức toàn ảnh, một hình ảnh của thực tại được mã hóa trên một bề mặt hai chiều ở xa. Định luật mới này của vật lý, được gọi là Nguyên lý toàn ảnh, khẳng định rằng mọi thứ bên trong một vùng không gian đều có thể được mô tả bởi các bit thông tin được giới hạn ở biên của vùng không gian đó”.

Phần không chính xác trong phát biểu Nguyên lý toàn ảnh, đó là các vật có thể đi qua đường biên; suy cho cùng thì đây chỉ là một bề mặt toán học tưởng tượng, chứ không có vật chất thực thụ nào. Khả năng các vật có thể đi vào và đi ra khỏi vùng sẽ làm đảo lộn ý nghĩa của phát biểu “mọi thứ bên trong một vùng không gian đều có thể được mô tả bởi các bit thông tin được giới hạn ở biên của vùng không gian đó”. Nhưng một thế giới bên trong hộp với những bức tường hoàn toàn không thể xuyên qua sẽ không có vấn đề này. Phát biểu mới bây giờ sẽ là:

Mọi thứ bên trong hộp với những bức tường không thể xuyên qua có thể được mô tả bởi các bit thông tin được lưu trữ trong các pixel trên thành hộp.

Trong chuyến xe du lịch ở Chilê năm 1989, tôi đã không hiểu tại sao Claudio Teitelboim lại phấn khích như vậy về Không gian anti de Sitter. Các lỗ đen trong hộp – thì sao chứ? Phải mất 8 năm sau, tôi mới nắm được vấn đề – 8 năm và một nhà vật lý Nam Mỹ khác, nhưng lần này là một người Argentina.

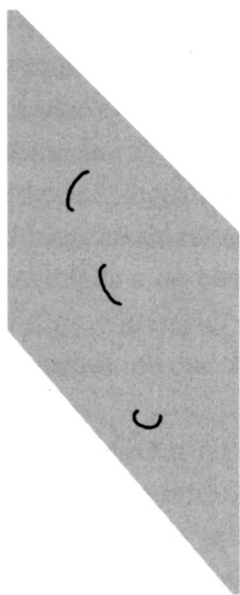
Khám phá đầy sững sốt của Maldacena

Juan Maldacena hoàn toàn khác với Claudio Teitelboim. Ông không cao lớn bằng và nghiêm trang hơn rất nhiều. Tôi khó có thể tưởng tượng nổi là ông dám băng qua hiểm nguy ở Santiago với bộ quân phục rườm rà khoác trên người. Nhưng ông lại hoàn toàn không thiếu can đảm của một nhà vật lý. Năm 1997, ông đã thách thức và đưa ra một tuyên bố táo bạo phi thường, một tuyên bố có vẻ như còn điên rồ hơn cả chuyến đi bão táp của tôi với Claudio. Maldacena đã chứng tỏ rằng hai thế giới toán học, mà dường như là hoàn toàn không giống nhau, nhưng trong thực tế lại đúng là một. Một thế giới có bốn chiều không gian và một chiều thời gian (4+1), trong khi thế giới kia là (3+1) chiều, rất giống với thế giới mà chúng ta đã trải nghiệm. Tôi mạn phép được phóng túng một chút để đơn giản hóa câu chuyện này, làm cho nó dễ hình dung hơn, bằng cách giảm số chiều trong mỗi thế giới đi một. Theo cách này, tôi muốn nói rằng một phiên bản hư cấu nào đó của Đất nước phẳng, tức thế giới (2+1) chiều, bằng cách nào đó lại tương đương với một thế giới anti de Sitter (3+1) chiều.

Làm sao lại có thể xảy ra một chuyện như vậy được? Điều rõ ràng nhất về không gian chính là số chiều. Việc không có khả năng nhận biết số chiều của không gian sẽ gây nên một sự rối loạn vô

cùng nguy hiểm về mặt nhận thức. Chắc chắn là không thể nhầm lẫn hai chiều với ba chiều được, ít nhất là khi ta còn mạnh khỏe và tỉnh táo. Hoặc đó là bạn nghĩ như vậy.

Con đường dẫn tới khám phá của Maldacena là một con đường quanh co khúc khuỷu, lang thang qua những lỗ đen cực trị, các D-brane, và một thứ gọi là Lý thuyết ma trận¹, và cuối cùng kết thúc với sự khẳng định tuyệt vời của Nguyên lý toàn ảnh.



Điểm xuất phát là các D-brane của Polchinski. Hãy nhớ lại là D-brane là một đối tượng vật chất, tùy thuộc vào số chiều của nó mà có thể là một điểm, một đường, một mặt phẳng hay một khối đặc choán đầy không gian. Tính chất chủ yếu phân biệt D-brane với những thứ khác là các dây cơ bản có thể có một đầu ở trên chúng. Để định ý, chúng ta hãy tập trung vào các D2-brane². Bạn hãy hình dung một bề mặt hai chiều phẳng trôi nổi trong không gian ba chiều như một tấm thảm thần kỳ. Các dây hở có thể gắn chúng với D-brane ở cả hai đầu. Chúng có thể trượt dọc trên D-brane, nhưng không thể nhảy tự

¹ Lý thuyết ma trận trong ngữ cảnh này không có liên quan gì đến Ma trận S cả. Đây là một thuyết có trước và có quan hệ gần gũi với phát minh của Maldacena, phát minh cũng có liên quan đến sự gia tăng đầy bí ẩn của các chiều. Đây là một ví dụ đầu tiên về sự tương ứng về mặt toán học khẳng định Nguyên lý toàn ảnh. Lý thuyết ma trận được phát minh bởi Tom Banks, Willy Fischler, Steve Shenker, và tôi vào năm 1996.

² Trong công trình gốc của Maldacena, ông tập trung vào một ví dụ liên quan với không gian bốn chiều. Nó được gọi là ADS (4+1) chiều. Lý do để nghiên cứu không gian bốn chiều thay vì ba chiều chỉ mang tính kỹ thuật và không quan trọng đối với phần còn lại của chương này, nhưng lại liên quan đến phần Vĩ thanh.

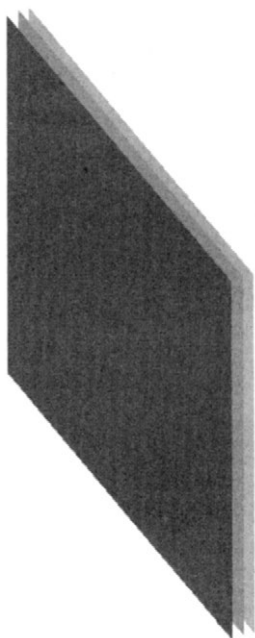
do vào chiều thứ ba. Các đoạn dây có thể trượt vô tư trên mặt băng, nhưng không thể nào nhấc chân lên được. Nhìn từ xa, mỗi mẩu dây trông giống như một hạt đang di chuyển trong một thế giới hai chiều. Nếu có hơn một dây thì chúng có thể va chạm, tán xạ, hoặc thậm chí kết lại thành một đối tượng phức tạp hơn.

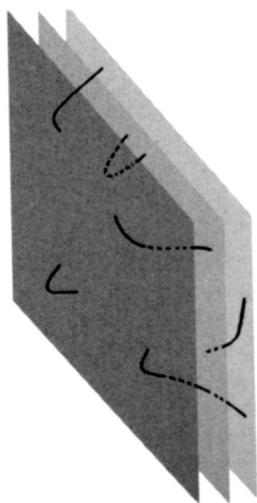
Các D-brane có thể tồn tại đơn lẻ, nhưng chúng có tính kết dính. Nếu đưa chúng lại gần nhau một cách nhẹ nhàng, chúng sẽ kết lại và tạo nên một màng tổng hợp gồm vài lớp, như hình minh họa bên.

Tôi đã biểu diễn các D-brane hơi tách ra xa nhau, nhưng khi chúng đã liên kết lại thì các khe hở sẽ biến mất. Một nhóm các D-brane liên kết với nhau được gọi là *chồng D-brane*.

Các dây hở chuyển động trên một chồng D-brane có nhiều tính chất hơn và phong phú hơn các dây chuyển động trên một D-brane đơn lẻ. Hai đầu của một dây có thể gắn với hai brane khác nhau của chồng, như thể một giấy trượt băng chuyển động trên một mặt phẳng hơi khác với chiếc giấy kia. Để theo dõi các màng khác nhau, chúng ta có thể đặt tên cho chúng. Chẳng hạn, trong chồng biểu diễn ở trên, chúng có thể được gọi là đỏ, lục và lam.

Các dây trượt trên chồng D-brane phải luôn có các đầu gắn với một D-brane, nhưng giờ thì có nhiều khả năng. Chẳng hạn, một dây có hai đầu gắn với brane đỏ. Điều này tạo nên dây đỏ-đỏ. Tương tự, sẽ có dây lam-lam và lục-lục. Nhưng cũng có khả năng

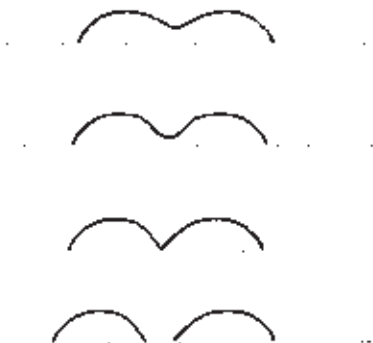




hai đầu của một dây lại gắn với các brane khác nhau. Vì vậy, có thể có các dây đỏ-lục, đỏ-lam và vân vân. Thực tế, có tới chín khả năng khác nhau đối với các dây chuyển động trên chồng D-brane.

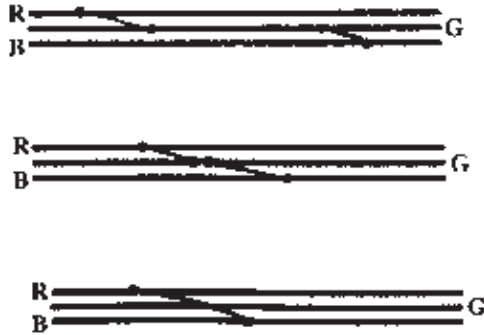
Những điều thú vị sẽ xảy ra nếu một vài dây được gắn với các brane.

Các dây trên chồng D2-brane nhìn rất giống các hạt thông thường, mặc dù trong một thế giới chỉ có hai chiều không gian. Chúng tương tác với nhau, tán xạ khi va với nhau, và tác dụng lực lên các dây ở gần. Một dây cũng có thể tách ra thành hai dây. Dưới đây là chuỗi hình mô tả quá trình một dây trên một brane đơn lẻ tách ra để trở thành hai dây. Trình tự thời gian diễn tiến từ trên xuống dưới.



Khi một điểm trên dây tiếp xúc với brane, sẽ cho phép dây tách ra thành hai, nhưng luôn theo cách sao cho tất cả các đầu dây đều phải gắn với brane đó. Hình trên cũng có thể được xem từ dưới lên, tức là một cặp dây kết lại với nhau tạo thành một dây đơn nhất.

Dưới đây là chuỗi các hình liên quan đến các dây trên một chồng ba D-brane. Chuỗi này mô tả một dây đỏ(R) - lục(G) va chạm với dây lục(G) - lam(B). Hai dây này kết lại với nhau tạo nên một dây đỏ(R) - lam(B) đơn nhất.



Một dây đỏ-đỏ không thể kết hợp với một dây lục-lục vì các đầu của chúng không bao giờ chạm nhau.

Bạn có cảm giác rằng mình đã biết tất cả những điều này trước đây rồi không? Có đấy, nếu như bạn đã đọc qua Chương 19. Các quy tắc chi phối các dây gắn với một chồng D-brane cũng chính là những quy tắc chi phối các gluon trong Sắc động lực học lượng tử (QCD). Trong Chương 19, tôi đã giải thích rằng một gluon cũng giống như một thanh nam châm nhỏ với hai đầu (cực), mỗi đầu có một màu. Sự tương đồng không chỉ dừng lại ở đó. Hình ở trên cho thấy hai dây kết hợp lại với nhau tạo thành một dây đơn nhất, cũng giống như một giản đồ đỉnh gluon của QCD mà thôi.

Sự tương đồng giữa “vật lý học trên D-brane” và thế giới các hạt cơ bản thông thường là một thực tế rất hấp dẫn mà, như chúng ta sẽ thấy trong chương sau, đã được chứng minh là cực kỳ hữu dụng. Khi các nhà vật lý tìm được hai cách thức khác nhau mô tả cùng một hệ, họ sẽ gọi các cách mô tả này là “đối ngẫu với nhau”. Một ví

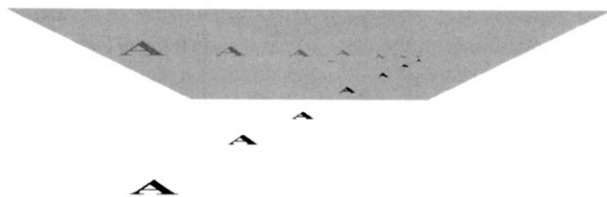
dụ là sự mô tả đối ngẫu về ánh sáng: hoặc là sóng hoặc là hạt. Vật lý học chứa đầy những *đối ngẫu*, nên không có gì là mới mẻ hay đáng ngạc nhiên một cách đặc biệt trong việc Maldacena đã khám phá ra hai mô tả đối ngẫu về các dây trên một D-brane. Điều mới mẻ, mà gần như là chưa nghe tới bao giờ¹, đó là hai mô tả này đã mô tả các thế giới với *số chiều không gian khác nhau*.

Tôi đã từng gợi ý về một cách mô tả: đó là phiên bản Đất nước phẳng (2+1) chiều của QCD. Nó mô tả các proton, meson và glueball phẳng, nhưng giống như QCD thực, nó không có gợi ý nào về hấp dẫn cả. Nửa còn lại của đối ngẫu này, tức cách mô tả khác về cùng một thứ, thì mô tả một thế giới không gian *ba chiều*, nhưng không phải là không gian ba chiều bất kỳ, mà là Không gian anti de Sitter. Maldacena đã chứng tỏ rằng QCD của Đất nước phẳng là đối ngẫu của một vũ trụ anti de Sitter (3+1) chiều. Hơn nữa, trong thế giới ba chiều này, vật chất và năng lượng tác dụng những lực hấp dẫn hết như trong thế giới thực. Nói cách khác, một thế giới (2+1) chiều có chứa QCD nhưng không có hấp dẫn là tương đương với một vũ trụ (3+1) chiều *có hấp dẫn*.

Làm sao mà điều này lại có thể xảy ra được? Tại sao một thế giới chỉ có hai chiều lại có thể giống hệt như một thế giới ba chiều? Cái chiều dư này của không gian nảy nòi từ đâu ra? Chìa khóa ở đây chính là sự biến dạng của Không gian anti de Sitter, sự biến dạng đã làm cho các đối tượng ở gần biên trông nhỏ hơn so với cùng đối tượng đó ở sâu bên trong không gian. Sự biến dạng này không chỉ ảnh hưởng tới các ác quỷ tưởng tượng, mà còn tới cả những đối tượng thực khi chúng chuyển động qua không gian. Chẳng hạn,

¹ Gần như, chứ không phải hoàn toàn chưa nghe tới. Lý thuyết Ma trận là một ví dụ sớm hơn.

nếu chiếu một chữ cái A cao một mét lên biên bằng cách tạo bóng của nó, thì hình ảnh thu được sẽ co nhỏ lại hoặc lớn lên tùy theo vật tiến lại gần hoặc lùi ra và biên.

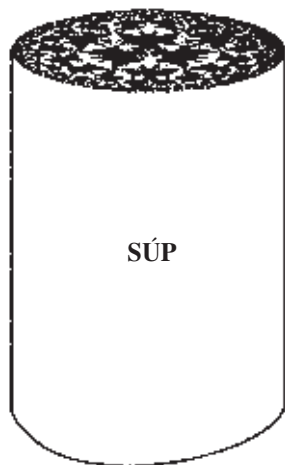


Từ điểm nhìn ở vùng bên trong ba chiều, thì đây là một ảo ảnh không khác gì kích thước lớn của Greenland trên một tấm bản đồ Mercator. Nhưng trong sự mô tả đối ngẫu – lý thuyết Đất nước phẳng – thì không có khái niệm khoảng cách ở chiều thứ ba thẳng đứng. Thay vào đó là khái niệm kích thước. Đây là một sự kết nối toán học rất đáng kinh ngạc: lớn dần và co lại trong cái nửa Đất nước phẳng của phép đối ngẫu cũng chính là chuyển động tới lui dọc theo chiều thứ ba trong cái nửa còn lại của phép đối ngẫu đó.

Một lần nữa, điều này lại gợi lên điều gì đó quen thuộc, lần này là từ Chương 18, chương mà ở đó chúng ta đã khám phá ra rằng thế giới là một bức toàn ảnh. Hai cách mô tả đối ngẫu của Maldacena chính là Nguyên lý toàn ảnh đang vận hành. Mọi điều diễn ra ở bên trong Không gian anti de Sitter “là một bức toàn ảnh, tức là một hình ảnh của thực tại được mã hóa trên một bề mặt hai chiều ở xa”. Một thế giới ba chiều có hấp dẫn tương đương với một bức ảnh toàn ký lượng tử hai chiều ở biên của không gian.

Tôi không biết Maldacena có liên kết khám phá của ông với Nguyên lý toàn ảnh hay không, nhưng Ed Witten đã nhanh chóng làm điều đó. Chỉ hai tháng sau bài báo của Maldacena, Witten đã

Súp



đưa bài báo của mình lên Internet, với tiêu đề “Không gian anti de Sitter và phép toàn ảnh”.

Trong tất cả những điều được viết ra trong bài báo của Witten thì điều mà tôi chú ý đặc biệt đó là phần nói về lỗ đen. Không gian anti de Sitter – phiên bản gốc, không phải là phiên bản bức tường gạch phẳng, mà giống như một hộp súp. Những lát cắt ngang biểu thị không gian; trục thẳng đứng của hộp là thời gian. Nhấn in bên ngoài hộp là biên và phần bên trong chính là continuum không-thời gian.

ADS thuần túy thì giống như một chiếc hộp rỗng, nhưng nó có thể trở nên thú vị hơn khi đổ “súp” – tức là vật chất và năng lượng – vào. Witten giải thích rằng bằng cách bơm đủ khối lượng và năng lượng vào trong hộp thì một lỗ đen có thể sẽ được tạo ra. Điều này làm nảy ra một câu hỏi. Theo Maldacena, cần phải có một sự mô tả thứ hai – mô tả đối ngẫu – mà không liên quan gì đến các thứ ở bên trong của hộp. Sự mô tả khác này sẽ thông qua một Lý thuyết trường lượng tử hai chiều của các hạt tương tự như các gluon di chuyển trên nhãn hộp. Sự tồn tại của một lỗ đen trong súp sẽ phải tương đương với cái gì đó trên bức toàn ảnh ở biên, nhưng cái gì đó thực sự là gì đây? Trong Lý thuyết biên, Witten đã chứng tỏ rằng lỗ đen bên trong súp tương đương với một chất lưu nóng thông thường của các hạt cơ bản – mà chủ yếu chỉ là gluon.

Giây phút mà tôi nhìn thấy bài báo của Witten, tôi đã biết là Cuộc chiến lỗ đen đã kết thúc. Lý thuyết trường lượng tử là một trường hợp đặc biệt của Cơ học lượng tử, mà thông tin trong Cơ học lượng

tử không bao giờ có thể bị phá hủy. Bất cứ điều gì mà Maldacena và Witten đã làm đều đã chứng minh một cách chắc chắn rằng thông tin sẽ không bao giờ bị mất ở phía sau chân trời lỗ đen. Các nhà lý thuyết dây có thể hiểu điều này ngay lập tức; còn các chuyên gia thuyết tương đối thì sẽ phải lâu hơn. Nhưng cuộc chiến tranh thì đã qua rồi.

Mặc dù Cuộc chiến tranh lỗ đen lẽ ra đã đi đến hồi kết vào đầu năm 1998, nhưng Stephen Hawking giống như là một chiến binh không may mắn bị lạc trong rừng rậm nhiều năm mà không biết chiến sự đã kết thúc. Tới lúc này, ông đã trở thành một nhân vật thảm thương. Năm mươi sáu tuổi, không còn ở đỉnh cao của sức mạnh trí tuệ nữa, và gần như không thể giao tiếp, Stephen vẫn không hiểu được vấn đề. Tôi chắc chắn rằng đó không phải là bởi giới hạn trí tuệ của ông. Từ những va chạm của tôi với ông sau năm 1998, rõ ràng là trí tuệ của ông vẫn rất sắc sảo. Nhưng khả năng thể chất thì giảm sút tới tột độ đến mức mà ông gần như bị khóa chặt hoàn toàn bên trong cái đầu của mình. Không có cách nào để viết ra một phương trình và những trở ngại to lớn khi cộng tác với những người khác, chắc chắn ông đã nhận ra rằng mình không thể làm những điều mà các nhà vật lý bình thường vẫn làm để tìm hiểu những nghiên cứu mới, không quen thuộc. Vì vậy, Stephen vẫn tiếp tục chiến đấu trong một thời gian nữa.

Không lâu sau bài báo của Witten, một hội thảo khác được tổ chức ở Santa Barbara, đây là một dịp để kỷ niệm về phép toàn ảnh và khám phá của Maldacena. Người phát biểu sau bữa tối là Jeff Harvey (H trong CGHS), nhưng thay vì phát biểu, ông đã mời mọi người hát và nhảy theo một bài hát chiến thắng *Maldacena*, theo giai điệu của bài *Macarena*¹.

¹ “Macarena” là một giai điệu nhảy Latinh thịnh hành vào giữa những năm 1990.

*Bạn bắt đầu với brane
và brane là BPS¹*

*Rồi bạn đến gần brane
và không gian là ADS*

*Ai biết điều đó nghĩa là gì
Tôi nhận là tôi không biết*

Ehhhh! Maldacena!

*Siêu Yang Mills
Với N rất lớn*

*Hấp dẫn trên một mặt cầu
Thông lượng không bao giờ hết*

*Người nói chúng là một
Cầm chắc là toàn ảnh rồi*

Ehhhhh! Maldacena

*Lỗ đen vốn là
một bí ẩn vĩ đại*

*Giờ chúng ta dùng D-brane
để tính toán D-entropy*

*Và khi D-brane nóng
D-năng lượng tự do*

Ehhhh! Maldacena!

¹ BPS là một tính chất kỹ thuật của D-brane. BPS là ba chữ cái đầu tên của ba tác giả – Bogomol'nyi, Prasad và Sommerfield – những người đã khám phá ra tính chất này.

*Lý thuyết M đã hoàn tất
Juan nổi tiếng lấy lòng
Lỗ đen mà chúng ta làm chủ
Có thể tính QCD
Quá tệ là phổ glueball
Còn đôi điều tranh cãi
Ehhhhh! Maldacena!¹*

¹ Lời của Jeff Harvey.

VẬT LÝ HẠT NHÂN Ơ? ANH KHÔNG ĐÙA ĐẤY CHƯ!

NHỮNG NGƯỜI HOÀI NGHI sẽ chỉ ra rằng tất cả những gì tôi đã nói với bạn về các tính chất lượng tử của lỗ đen – từ entropy, nhiệt độ, và bức xạ lỗ đen đến tính bổ sung của lỗ đen và nguyên lý toàn ảnh – đều là thuần lý thuyết, chứ chẳng hề có một chút dữ liệu thực nghiệm nào khẳng định chúng cả. Không may là họ có thể là đúng trong một thời gian còn rất dài.

Có thể nói, một mối liên kết hoàn toàn bất ngờ vừa mới xuất hiện – mối liên kết giữa các lỗ đen, hấp dẫn lượng tử, Nguyên lý toàn ảnh, và vật lý hạt nhân thực nghiệm có lẽ cuối cùng đã cải chính cho tuyên bố nói rằng các lý thuyết này vượt ra ngoài khả năng xác nhận của khoa học. Trong tình hình đó thì vật lý hạt nhân dường như là nơi ít hứa hẹn nhất để kiểm chứng các ý tưởng như Nguyên lý toàn ảnh và tính bổ sung của lỗ đen. Vật lý hạt nhân thường không còn được coi là một công cụ sắc bén nữa. Nó là một đề tài cũ, và hầu hết các nhà vật lý, trong đó có tôi, nghĩ rằng nó đã không còn năng lực để dạy cho chúng ta điều gì mới mẻ nữa về các nguyên lý cơ bản. Nhưng theo quan điểm của vật lý học hiện đại, thì hạt nhân giống như những viên kẹo dẻo, trong đó chủ yếu choán đầy không gian trống rỗng¹. Vậy thì liệu chúng có thể dạy

¹ Thật thú vị khi tính khối lượng riêng của một nuclon bằng đơn vị Planck. Bán kính của một proton khoảng 10^{20} và khối lượng của nó khoảng 10^{19} . Điều này làm cho khối lượng trên một đơn vị thể tích của nó vào khoảng 10^{79} .

chúng ta điều gì đó về vật lý ở thang Planck hay không? Thật đáng kinh ngạc, có vẻ như là rất nhiều.

Các nhà lý thuyết dây luôn có sự quan tâm nhất định đối với hạt nhân. Tiền sử của Lý thuyết dây đều là về các hadron: proton, neutron, meson, và glueball. Giống như hạt nhân, các hạt này là lớn, là tổ hợp mềm của các hạt quark và gluon. Nhưng dường như ở những thang lớn hơn thang Planck hàng trăm tỉ lần thì tự nhiên lại lặp lại chính bản thân nó. Toán học của vật lý hadron hóa ra là gần giống như toán học của Lý thuyết dây. Điều này xem ra vô cùng đáng ngạc nhiên bởi thực tế là các thang này là rất khác nhau: về kích thước, nucleon có thể lớn hơn đến 10^{20} lần một dây cơ bản, và chúng dao động chậm hơn 10^{20} lần. Làm thế nào mà các lý thuyết này lại có thể như nhau, hay dù là tương tự một cách xa xôi với nhau? Tuy nhiên, theo cách mà ngày càng trở nên rõ ràng thì quả là đúng như vậy. Và nếu như các hạt nội hạt nhân thông thường lại thực sự giống như các dây cơ bản, thì tại sao lại không kiểm chứng các ý tưởng về Lý thuyết dây trong các phòng thí nghiệm vật lý hạt nhân? Và thực tế, nó đã được thực hiện gần như suốt 40 năm qua.

Mối liên kết giữa các hadron và các dây là một trong những trụ cột của vật lý hạt hiện đại, nhưng cho tới tận thời gian rất gần đây, người ta vẫn không thể kiểm chứng được sự tương tự trong hạt nhân của vật lý lỗ đen. Nhưng tình trạng đó giờ đây đang thay đổi.

Mãi ngoài Long Island, cách Manhattan khoảng 70 dặm, các nhà vật lý hạt nhân tại Phòng thí nghiệm Quốc gia Brookhaven đang phóng các hạt nhân nguyên tử nặng vào nhau để xem điều gì sẽ xảy ra. Máy va chạm ion nặng tương đối tính (RHIC) gia tốc các hạt nhân vàng tới gần với vận tốc ánh sáng, tức đủ nhanh để khi va chạm với nhau, chúng sẽ làm tỏa ra một lượng năng lượng cực lớn,

nóng hơn hàng trăm triệu lần so với bề mặt của Mặt trời. Các nhà vật lý ở Brookhaven không quan tâm đến vũ khí hạt nhân hay bất kỳ công nghệ hạt nhân nào khác. Động cơ của họ chỉ thuần túy là tò mò – sự tò mò muốn tìm hiểu về các tính chất của một dạng vật chất mới. Thứ vật chất hạt nhân nóng này sẽ hành xử như thế nào? Nó có phải là một dạng khí? Hay một chất lỏng? Liệu chúng có gắn kết với nhau hay lại bốc hơi ngay lập tức thành các hạt riêng rẽ? Liệu những tia hạt có năng lượng cực cao có phóng ra từ đó không?

Như tôi đã nói, vật lý hạt nhân và hấp dẫn lượng tử diễn ra trên những thang khác nhau rất xa, vậy thì làm thế nào mà chúng lại có thể liên quan với nhau? Sự tương tự tốt nhất mà tôi biết liên quan đến một trong những bộ phim chán nhất từ trước tới nay, một bộ phim kinh dị cổ điển từ thời còn chiếu phim phục vụ khách ngồi trong ô tô. Bộ phim làm về một con ruồi khổng lồ. Tôi không biết bộ phim được làm như thế nào, nhưng tôi đoán là người ta quay một con ruồi bình thường rồi sau đó phóng đại nó lên, chiếm toàn bộ



màn ảnh. Hình ảnh được chiếu với tốc độ rất chậm, cho ta cái cảm giác rờn rợn rằng đó không phải là con ruồi nữa, mà là một con chim khổng lồ, góm guốc. Kết quả thật là kinh dị, nhưng hơn thế, nó hầu như lại minh họa một cách tuyệt vời cho mối liên hệ giữa graviton và glueball. Cả hai đều là dây đóng, nhưng graviton nhỏ hơn và nhanh hơn rất nhiều so với glueball, cụ thể là nhỏ hơn và nhanh hơn cỡ 10^{20} lần. Đường như

hadron khá giống với hình ảnh một dây cơ bản bị thổi phồng lên và được làm cho chậm lại không phải là vài trăm lần như trường hợp con ruồi ở trên, mà là một con số khủng khiếp: 10^{20} lần.

Như vậy, nếu chúng ta không thể cho các hạt ở kích thước Planck va chạm với nhau ở năng lượng cực lớn để tạo ra các lỗ đen, thì có lẽ, chúng ta có thể cho phiên bản được thổi phồng của chúng, tức các glueball, meson, hay các nuclon, va chạm với nhau để tạo nên một phiên bản phóng đại của lỗ đen. Nhưng hãy khoan, lẽ nào điều này không đòi hỏi một năng lượng cực lớn? Đúng, đúng là như vậy, và để hiểu vì sao, chúng ta cần nhớ lại ở Chương 16 về mối quan hệ phi trực giác ở thế kỷ 20 giữa khối lượng và kích thước: *nhỏ thì nặng, lớn thì nhẹ*. Thực tế vật lý hạt nhân diễn ra trên một thang lớn hơn rất nhiều so với Lý thuyết dây cơ bản là hàm ý rằng hiện tượng tương ứng đòi hỏi một năng lượng ít hơn rất nhiều tập trung trong một thể tích cũng lớn hơn rất nhiều. Khi lắp các con số vào và tiến hành tính toán, thì một gì cái đó tương tự như một lỗ đen được phóng to, chuyển động chậm chạp được hình thành khi các hạt nhân thông thường va chạm với nhau trong RHIC.

Để hiểu các lỗ đen được tạo bởi RHIC theo nghĩa nào, chúng ta phải quay trở lại Nguyên lý toàn ảnh và khám phá của Juan Maldacena. Theo một cách mà không ai đoán trước được, Maldacena đã phát hiện ra rằng hai lý thuyết toán học khác nhau lại thực sự là một, tức chúng “là đối ngẫu với nhau”, nói theo thuật ngữ của Lý thuyết dây. Trong đó, một lý thuyết là Lý thuyết dây, với các graviton và lỗ đen, mặc dù là ở trong không gian anti de Sitter (ADS) (4+1) chiều. (Trong Chương 22, với mục đích để dễ hình dung, tôi đã tự ý giảm bớt đi một chiều không gian. Trong chương này, tôi phục hồi lại cái chiều mà tôi đã bỏ đi).

Bốn chiều không gian là quá nhiều đối với vật lý hạt nhân, nhưng hãy nhớ lại Nguyên lý toàn ảnh: mọi thứ diễn ra trong ADS hoàn toàn được mô tả bởi một lý thuyết toán học với số chiều không gian giảm đi một. Vì Maldacena bắt đầu với bốn chiều không gian, nên lý thuyết toàn ảnh đối ngẫu với nó chỉ có ba chiều, đúng như số chiều trong không gian thường ngày của chúng ta. Liệu sự mô tả toàn ảnh này có tương tự như lý thuyết nào mà chúng ta đã sử dụng để mô tả vật lý thông thường hay không?

Hóa ra câu trả lời lại là có: đối ngẫu toàn ảnh, về mặt toán học, là hoàn toàn tương tự như Sắc động lực học lượng tử (QCD), một lý thuyết của các hạt quark, gluon, hadron và hạt nhân.

Hấp dẫn lượng tử trong ADS $\longleftrightarrow$ QCD

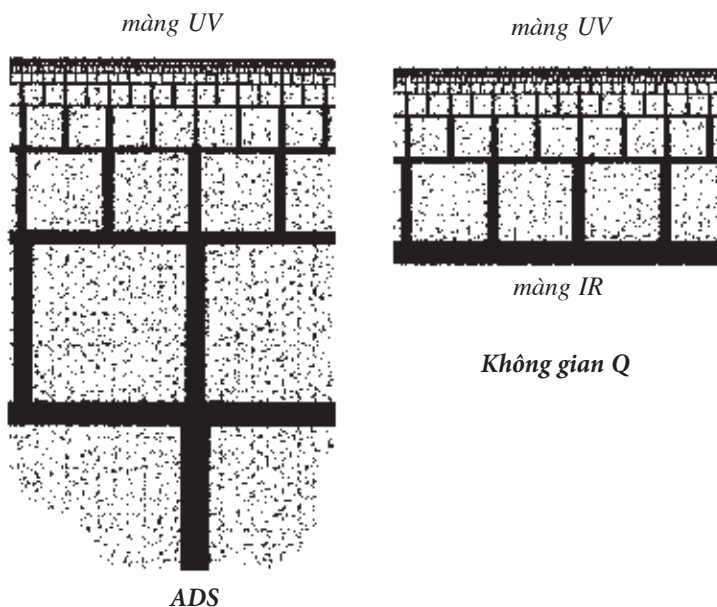
Với tôi, mối quan tâm chính trong công trình của Maldacena là cách mà nó khẳng định Nguyên lý toàn ảnh và rọi ánh sáng lên những công trình về hấp dẫn lượng tử. Nhưng Maldacena và Witten đã nhìn thấy một cơ hội khác. Họ đã nhận thấy – một cách xuất sắc, tôi có thể nói như vậy – rằng Nguyên lý toàn ảnh là một đường phố hai chiều. Tại sao không đọc nó theo chiều ngược lại? Nghĩa là, sử dụng những gì mà chúng ta biết về hấp dẫn – ở đây là hấp dẫn trong ADS (4+1) chiều – để dạy cho chúng ta nhiều thứ về Lý thuyết trường lượng tử thông thường. Đối với tôi thì đây là một khúc quanh hoàn toàn bất ngờ, một phần thưởng của Nguyên lý toàn ảnh mà tôi chưa bao giờ nghĩ tới.

Để đạt tới điều này đòi hỏi phải tiến hành một nghiên cứu nhỏ. QCD không hoàn toàn giống như lý thuyết của Maldacena, nhưng sự khác biệt chủ yếu có thể dễ dàng tính đến bằng cách sửa đổi ADS một cách khá đơn giản. Chúng ta hãy xem xét lại ADS, nhìn từ một

điểm ở rất gần biên (nơi mà con ác quỷ có thể nhìn thấy cuối cùng co lại thành không có gì). Tôi sẽ gọi biên đó là *UV-brane*¹. UV ở đây là viết tắt của cực tím (*ultraviolet*) – cũng chính là thuật ngữ chúng ta sử dụng để chỉ ánh sáng có bước sóng rất ngắn. (Trải qua nhiều năm, thuật ngữ *cực tím* cũng được sử dụng cho bất kỳ hiện tượng nào xảy ra ở những thang nhỏ. Trong ngữ cảnh ở đây của chúng ta, từ cực tím ám chỉ thực tế là thiên thần và ác quỷ gần đường biên trong bức tranh của Escher co về kích thước vô cùng nhỏ). Từ *brane* trong cụm từ *UV-brane* là dùng sai, nhưng vì bí nên tôi vẫn sử dụng nó. UV-brane được dùng ở đây với nghĩa là bề mặt ở gần biên.

Hãy tưởng tượng ta đi ra xa khỏi UV-brane vào phía bên trong, nơi mà những ác quỷ hình vuông bắt đầu giãn ra và các đồng hồ chạy chậm lại không có giới hạn. Những đối tượng nhỏ và nhanh ở gần UV-brane sẽ trở nên lớn và chậm chạp khi chúng ta đi sâu vào ADS. Nhưng ADS chưa hoàn toàn là đúng cho việc mô tả QCD. Mặc dù sự khác biệt là không lớn, nhưng không gian được sửa đổi xứng đáng có một cái tên riêng; và chúng ta hãy gọi nó là *không gian Q*. Giống như ADS, không gian Q có UV-brane, nơi mà mọi thứ co lại và tăng tốc, nhưng không giống ADS, nó còn có một biên thứ hai gọi là *IR-brane*. (IR là viết tắt của hồng ngoại (*infrared*), một thuật ngữ dùng để chỉ ánh sáng bước sóng rất dài). IR-brane là biên thứ hai – một loại rào chắn không thể xuyên qua, nơi mà thiên thần và ác quỷ đạt tới kích thước cực đại của chúng. Nếu UV-brane là trần của một vực thẳm không đáy thì không gian Q chỉ là một căn phòng thông thường có cả trần lẫn sàn. Bỏ qua chiều của thời gian và chỉ vẽ hai chiều không gian, ADS và không gian Q nhìn sẽ giống như thế này:

¹ Rất nhiều điều tôi mô tả trong một số đoạn này được giải thích hết sức rõ ràng trong cuốn sách tuyệt vời của Lisa Randall *Những lối đi bị uốn cong*.



Hãy tưởng tượng chúng ta đặt một hạt dạng dây vào không gian Q, trước hết là đặt nó ở gần UV-brane. Giống như những thiên thần và ác quỷ vây quanh, nó dường như sẽ rất bé – có thể là ở kích thước Planck – và dao động rất nhanh. Nhưng nếu cũng hạt đó di chuyển về phía IR-brane, nó sẽ lớn dần lên, như thể nó được chiếu lên một màn hình lùi xa dần. Giờ ta hãy quan sát dây khi nó dao động. Các dao động xác định một loại đồng hồ và giống như mọi đồng hồ khác, nó chạy nhanh khi ở gần UV-brane và chậm lại khi tiến gần đến IR-brane. Một dây gần phía IR sẽ nhìn không chỉ giống như một phiên bản thời phồng khổng lồ của chính nó co lại khi ở gần UV, mà còn dao động chậm hơn nhiều. Sự khác biệt này có vẻ như khá giống với sự khác biệt giữa con ruồi thực và hình ảnh trên phim của nó, hay sự khác biệt giữa các dây cơ bản và đối ứng của chúng trong vật lý hạt nhân.

Nếu các hạt kích thước Planck siêu nhỏ của Lý thuyết dây “sống” gần UV-brane và phiên bản thô phồng của chúng, tức các hadron, sống gần IR-brane, thì chúng sẽ cách biệt nhau xa tới mức nào? Theo một nghĩa nào đó, thì cũng không xa lắm: bạn chỉ cần đi xuống qua 66 ô là những con quỷ sẽ chuyển từ những đối tượng có kích thước Planck đến hadron. Nhưng hãy nhớ rằng mỗi bậc sẽ cao gấp đôi bậc trước đó. Gấp đôi kích thước 66 lần thì cũng tương đương với việc giãn ra một thừa số bằng 10^{20} lần.

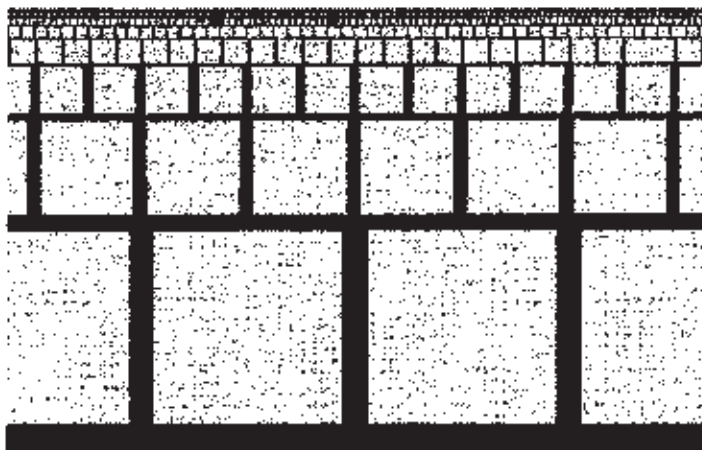
Có hai quan điểm về sự tương tự giữa Lý thuyết dây cơ bản và vật lý hạt nhân. Quan điểm bảo thủ hơn thì cho rằng đây chỉ là ngẫu nhiên, tình cờ, cũng tựa như sự tương tự giữa nguyên tử và hệ mặt trời. Sự tương tự đó là hữu dụng trong những ngày đầu của vật lý nguyên tử. Niels Bohr, trong lý thuyết của ông về nguyên tử, đã sử dụng cho nguyên tử thứ toán học mà Newton đã sử dụng cho hệ mặt trời. Nhưng không ai, kể cả Bohr, thực sự nghĩ rằng hệ mặt trời là phiên bản thô phồng của một nguyên tử. Theo quan điểm bảo thủ hơn này, thì mối liên hệ giữa hấp dẫn lượng tử và vật lý hạt nhân cũng chỉ là một sự tương tự về toán học, nhưng là sự tương tự hữu dụng cho phép chúng ta sử dụng toán học của hấp dẫn để giải thích một số đặc tính của vật lý hạt nhân.

Quan điểm phấn khích hơn cho rằng các dây trong vật lý hạt nhân thực sự cũng chính là những đối tượng như các dây cơ bản, ngoại trừ một điều là chúng được nhìn qua những thấu kính làm biến dạng, khiến cho những hình ảnh của chúng bị giãn ra và chậm lại. Theo quan điểm này, khi một hạt (hay một dây) được đặt ở gần UV-brane, nó dường như là nhỏ, có năng lượng cao và dao động nhanh. Nó nhìn giống như một dây cơ bản, hành xử

như một dây cơ bản, vì vậy nó phải là dây cơ bản. Chẳng hạn, một dây đóng đặt gần UV-brane sẽ là một graviton. Nhưng cũng dây đó, khi nó di chuyển tới IR-brane, nó sẽ chậm lại và tăng kích thước. Về mọi phương diện thì nó nhìn giống và hành xử cũng giống như một glueball. Với quan điểm này thì graviton và glueball chính xác là cùng một đối tượng, ngoại trừ vị trí của chúng ở trong chiếc bánh xăng-đuych brane mà thôi.

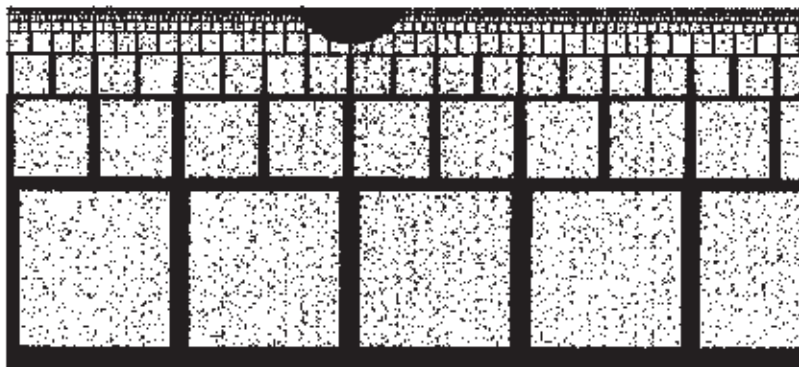
Hãy hình dung một cặp graviton (hai dây ở gần UV-brane) sắp sửa va chạm với nhau.

Hai hạt sắp va chạm ở gần UV-brane



Nếu chúng có đủ năng lượng, khi gặp nhau ở gần UV-brane, một lỗ đen nhỏ thông thường sẽ được tạo ra: một giọt năng lượng mắc lại ở UV-brane. Hãy hình dung nó như là một giọt chất lỏng treo lơ lửng trên trần. Các bit thông tin tạo nên chân trời của nó có kích thước Planck.

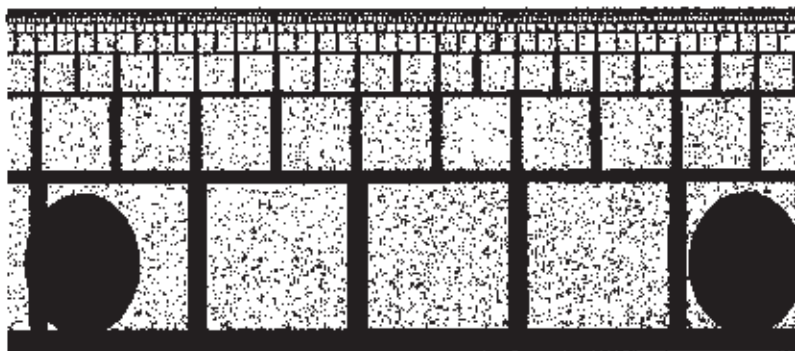
UV



IR

Tất nhiên, điều này chính xác là thí nghiệm mà chúng ta sẽ không bao giờ có thể tiến hành được.

Nhưng giờ hãy thay thế các graviton bằng hai hạt nhân (gần IR-brane) và cho *chúng* va chạm với nhau.



Hai hạt nhân sắp va chạm nhau ở gần IR-brane

Đây chính là chỗ mà sức mạnh của đối ngẫu phát huy tác dụng. Một mặt, chúng ta có thể xem xét nó trong phiên bản bốn chiều, trong đó hai đối tượng va chạm nhau, tạo thành lỗ đen. Lần này lỗ đen sẽ ở

gần IR-brane – một vùng nước lớn trên sàn. Điều đó cần tới bao nhiêu năng lượng? Ít hơn rất nhiều khi lỗ đen hình thành ở gần UV-brane. Thực tế, năng lượng này là dễ dàng có được trong tầm tay của RHIC.

UV



IR

Chúng ta cũng có thể xem xét nó trên quan điểm ba chiều. Trong trường hợp này, hadron hay hạt nhân va chạm và tạo nên một đám các hạt quark và gluon.

Ban đầu, trước khi có ai đó nhận ra mối liên hệ tiềm tàng giữa QCD và vật lý lỗ đen, các chuyên gia QCD đã hy vọng năng lượng của sự va chạm sẽ tái xuất hiện như một chất khí của các hạt, nó tản ra nhanh chóng với sức cản rất nhỏ. Nhưng điều mà chúng ta thấy lại khác hẳn: năng lượng tụ lại với nhau thành cái nhìn giống như một giọt chất lỏng, được gọi là *súp quark nóng*. Món súp quark nóng này không phải là chất lỏng bất kỳ; nó có những tính chất chảy rất đáng kinh ngạc, không giống thứ gì khác ngoài chân trời của một lỗ đen.

Tất cả chất lỏng đều nhớt. Tính nhớt là một loại ma sát tác dụng giữa các lớp chất lỏng khi chúng trượt trên nhau. Tính nhớt là cái phân biệt một chất lỏng rất nhớt, như mật ong chẳng hạn, với những chất lỏng ít nhớt hơn như là nước. Tính nhớt không chỉ

là một khái niệm định tính. Thay vì, đối với mỗi chất lỏng, còn có một thước đo bằng số chính xác, gọi là *độ nhớt trượt*¹.

Các nhà lý thuyết đầu tiên đã ứng dụng các phương pháp gần đúng chuẩn và kết luận rằng món súp quark nóng có tính nhớt rất cao. Nhưng mọi người mới té ngửa người ra khi hóa ra là nó lại có độ nhớt nhỏ đến bất ngờ² – mọi người ở đây được hiểu là ngoại trừ một số nhà vật lý hạt nhân vô tình có biết đôi chút về Lý thuyết dây.

Theo một thước đo định lượng nào đó của độ nhớt thì món súp quark nóng là chất lỏng có độ nhớt nhỏ nhất mà khoa học đã từng biết, thậm chí còn nhỏ hơn cả nước. Ngay cả hêli lỏng siêu chảy (kỷ lục trước đây về độ nhớt thấp) cũng còn có độ nhớt cao hơn.

Liệu trong tự nhiên có thứ gì là đối thủ về độ nhớt thấp của món súp quark nóng này hay không? Có đấy, nhưng nó không phải là một chất lỏng thông thường. Một chân trời lỗ đen hành xử như một chất lỏng khi nó bị nhiễu động. Chẳng hạn, nếu một lỗ đen nhỏ rơi vào một lỗ đen lớn hơn, nó nhất thời tạo nên một chỗ phồng trên chân trời, giống như chỗ phồng tạo ra khi ta làm rơi một giọt mật ong lên bề mặt một hũ mật ong. Giọt trên chân trời sẽ dần loang ra y như một chất lỏng nhớt. Từ lâu, các nhà vật lý lỗ đen đã tính được độ nhớt của chân trời, và khi nó được diễn giải bằng ngôn ngữ chất lỏng, thì nó dễ dàng đánh bại cả hêli siêu chảy. Khi các nhà lý thuyết dây bắt đầu ngờ về mối liên hệ giữa lỗ đen và những va chạm hạt nhân³, họ nhận ra rằng trong tất cả mọi thứ thì súp quark nóng giống với chân trời một lỗ đen nhất.

¹ Từ *trượt* ở đây là ám chỉ lớp này trượt trên lớp kia.

² Nói đúng ra là độ nhớt chia cho entropy của chất lỏng cho kết quả cực nhỏ.

³ Pavel Kovtun, Dam T. Son và Andrei O. Starinets – ba nhà vật lý lý thuyết thuộc Đại học Washington ở Seattle – là những người đầu tiên nhận ra những hệ quả của Nguyên lý toàn ảnh đối với những tính chất nhớt của món súp quark nóng.

Nhưng giọt chất lỏng rồi cuối cùng sẽ trở thành cái gì? Giống như một lỗ đen, nó bốc hơi – thành nhiều loại hạt khác nhau, trong đó có nuclon, meson, photon, electron và neutrino. Độ nhớt và sự bay hơi chỉ là hai trong nhiều tính chất chung giữa lỗ đen và món súp quark nóng.

Chất lỏng hạt nhân giờ đây đang là chủ đề được nghiên cứu ráo riết để tìm ra liệu còn có những tính chất nào khác cho thấy những mối liên hệ tương tự với vật lý lỗ đen hay không. Nếu xu hướng ấy vẫn còn tiếp tục thì điều đó có nghĩa là chúng ta đã được ban cho một cơ hội phi thường – một cửa sổ lớn mở ra thế giới của hấp dẫn lượng tử, được thổi phồng về kích thước và làm chậm lại về tần số, sao cho khoảng cách Planck trở nên không quá nhỏ hơn một proton nữa – để khẳng định các lý thuyết của Hawking và Bekenstein, cũng như Tính bổ sung của lỗ đen và Nguyên lý toàn ảnh.

Phải nói rằng hòa bình chẳng qua chỉ là quãng nghỉ ngắn ngủi giữa các cuộc chiến tranh. Nhưng trong khoa học, Thomas Kuhn đã nói rất đúng rằng, điều ngược lại mới là đúng: hầu hết “khoa học thông thường” đều diễn ra trong suốt những giai đoạn dài, yên bình, buồn tẻ giữa những cuộc chính biến. Cuộc chiến lỗ đen đang dẫn đến một cuộc cấu trúc lại mạnh mẽ các định luật của vật lý học, nhưng giờ đây, chúng ta thấy nó đang dần đi vào những hoạt động thường ngày của khía cạnh trần tục hơn của vật lý học. Giống như nhiều ý tưởng có tính cách mạng trước đây, Nguyên lý toàn ảnh đang chuyển dần từ sự chuyển đổi hình mẫu triệt để thành một công cụ làm việc hàng ngày – thật đáng ngạc nhiên – của vật lý hạt nhân.

SỰ KHIÊM NHƯỜNG

Chúng ta chỉ là một giống khỉ cao cấp ở trên một hành tinh nhỏ bé của một ngôi sao rất trung bình. Nhưng chúng ta có thể hiểu được Vũ trụ. Điều này khiến chúng ta trở nên rất đặc biệt.

STEPHEN HAWKING

THAY ĐỔI NHẬN THỨC CỦA BẢN THÂN để hiểu được Thuyết tương đối đã là đủ khó, nhưng để hiểu được Cơ học lượng tử còn khó khăn hơn rất nhiều. Khả năng tiên đoán hay quyết định luận đã phải ra đi và những quy tắc logic cổ điển thất bại đã phải nhường chỗ cho logic lượng tử. Sự bất định và tính bổ sung được diễn đạt bằng những thuật ngữ trừu tượng như không gian Hilbert vô hạn chiều, các hệ thức giao hoán và nhiều sáng chế quái đản khác của bộ óc.

Trải qua tất cả những thay đổi nhận thức của thế kỷ 20, chỉ ít là cho tới tận giữa những năm 1990, tính hiện thực của không-thời gian và tính khách quan của các sự kiện, hầu như được coi là không có gì phải nghi vấn, và tranh cãi nữa. Người ta đã giả thiết một cách phổ quát rằng hấp dẫn lượng tử sẽ không đóng một vai trò nào khi đề cập tới những tính chất ở những thang lớn của không-thời gian. Với nghịch lý thông tin của mình, Stephen Hawking là người

không chủ tâm, và cũng không mấy mong muốn buộc chúng ta phải vượt ra ngoài cái khuôn khổ đó của trí tuệ.

Những quan điểm mới về thế giới vật lý – đã tiến hóa trong hơn một thập kỷ – có liên quan đến một loại thuyết tương đối mới và một loại tính bổ sung lượng tử mới. Ý nghĩa khách quan của tính đồng thời (của hai sự kiện) đã sụp đổ vào năm 1905, song khái niệm về bản thân một sự kiện thì vẫn còn chắc như hòn đá tảng. Nếu một phản ứng hạt nhân xảy ra trên Mặt trời, thì mọi người quan sát sẽ đều nhất trí rằng nó xảy ra ở Mặt trời. Không ai hơi đâu đi dò thử xem nó có xảy ra ở Trái đất hay không. Nhưng một điều mới mẻ đã xảy ra trong trường hấp dẫn mạnh của một lỗ đen, làm sụp đổ tính khách quan của các sự kiện. Những sự kiện mà một người quan sát đang rơi cho rằng ở tí sâu bên trong của một lỗ đen khổng lồ, thì một người quan sát khác lại phát hiện thấy ở bên ngoài chân trời, bị trộn lẫn giữa các photon của bức xạ Hawking. Một sự kiện không thể đồng thời vừa ở *phía sau* chân trời lại vừa ở phía trước của nó. Cùng một sự kiện chỉ có thể hoặc là ở sau chân trời *hoặc* là ở trước chân trời tùy thuộc vào thí nghiệm mà người quan sát thực hiện. Nhưng ngay cả sự cực kỳ lạ lùng của tính bổ sung cũng chưa là gì so với Nguyên lý toàn ảnh đầy bí ẩn. Đường như thế giới ba chiều đặc chỉ là một loại ảo ảnh, còn những điều thực sự diễn ra thì ở tí tận ngoài biên của không gian.

Đối với hầu hết chúng ta, sự đổ vỡ của các khái niệm như tính đồng thời (trong Thuyết tương đối hẹp) và quyết định luận (trong Cơ học lượng tử) không gì hơn là những điều kỳ quặc mờ mờ mà chỉ một số ít các nhà vật lý quan tâm. Nhưng thực tế thì hoàn toàn ngược lại: chính sự chậm chạp khổ sở của chuyển động của con người và khối lượng nặng nề của 10^{28} nguyên tử trong cơ thể của nó

mới chính là những ngoại lệ kỳ quặc của tự nhiên. Có khoảng 10^{80} hạt cơ bản trong vũ trụ tính trên đầu người. Hầu hết trong số đó chuyển động với tốc độ gần bằng tốc độ ánh sáng và rất bất định, nếu không phải là bất định về vị trí thì cũng là bất định về tốc độ.

Sự yếu ớt của lực hấp dẫn mà chúng ta trải nghiệm trên Trái đất cũng là một ngoại lệ. Vũ trụ được sinh ra trong tình trạng giãn nở mạnh; mỗi điểm của không gian được vây quanh từ mọi phía bởi chân trời với khoảng cách nhỏ hơn một proton. Cư dân đáng lưu ý nhất của vũ trụ – các thiên hà – được tạo ra xung quanh những lỗ đen khổng lồ liên tục nuốt chửng các ngôi sao và hành tinh. Cứ mỗi 10.000.000.000 bit thông tin của vũ trụ thì 9.999.999.999 là liên quan đến chân trời của lỗ đen. Nó chính là bằng chứng cho thấy những ý tưởng ngây thơ của chúng ta về không gian, thời gian, và thông tin hoàn toàn không đủ để hiểu hầu hết về tự nhiên.

Sự thay đổi nhận thức về hấp dẫn lượng tử còn xa mới hoàn thiện. Tôi nghĩ là chúng ta còn chưa có một khuôn khổ thích hợp để thay thế các hình mẫu xưa cũ về không-thời gian khách quan. Toán học mạnh của Lý thuyết dây là một sự trợ giúp tốt. Nó cho phép chúng ta có được một khuôn khổ chặt chẽ để kiểm chứng các ý tưởng, mà nếu không, chúng ta chỉ có thể tranh luận về nó trên phương diện triết học. Nhưng Lý thuyết dây là một công trình còn chưa hoàn thiện và vẫn đang diễn tiến. Chúng ta còn chưa biết các nguyên lý xác định nội dung của nó, hay liệu nó đã là cấp độ sâu xa nhất của thực tại hay cũng vẫn chỉ là một lý thuyết quá độ khác trên con đường đi tới cái đích đó. Cuộc chiến lỗ đen đã dạy cho chúng ta một số bài học quan trọng và thật bất ngờ, nhưng chúng cũng mới chỉ là một gợi ý về sự khác biệt biết bao giữa thực tại và cái mô hình trong trí óc của chúng ta, kể cả sau khi ta đã

thay đổi cái mô hình đó cho phù hợp với Thuyết tương đối và Cơ học lượng tử.

Các chân trời vũ trụ

Cuộc chiến lỗ đen đã kết thúc (tuyên bố này có thể gây bức xúc cho một số người vẫn còn đang tiếp tục chiến đấu), nhưng ngay khi nó vừa chấm dứt, thì tự nhiên, một kẻ gây rối vĩ đại, lại ném cho chúng ta một trò bất ngờ khác. Vào thời điểm ra đời phát minh của Maldacena, các nhà vật lý bắt đầu bị thuyết phục (bởi các nhà vũ trụ học) rằng chúng ta đang sống trong một thế giới có một *hằng số vũ trụ* khác không. Là một hằng số nhỏ đến lạ lùng của tự nhiên¹, nhỏ hơn nhiều so với bất kỳ một hằng số vật lý nào khác, nhưng hằng số vũ trụ này lại là cái quyết định chủ yếu đến lịch sử tương lai của vũ trụ.

Hằng số vũ trụ, hay cũng được coi là năng lượng tối, đã là một cái gai bên hông vật lý học trong suốt gần một thế kỷ. Vào năm 1917, Einstein đã suy đoán về một loại phản hấp dẫn làm cho mọi thứ trong vũ trụ đẩy mọi thứ khác, chống lại lực hút thông thường của hấp dẫn. Suy đoán này hoàn toàn không phải là một ý tưởng vu vơ; mà nó dựa trên toán học của Thuyết tương đối rộng. Trong các phương trình của lý thuyết này có chỗ dành cho một số hạng phụ mà Einstein gọi là số hạng vũ trụ. Cường độ của lực mới này

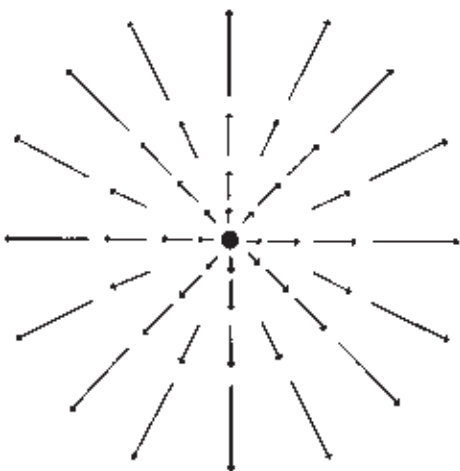
¹ Giá trị của hằng số vũ trụ là khoảng 10^{-123} theo đơn vị Planck. Sự ngờ rằng có tồn tại một hằng số vũ trụ bắt đầu vào giữa những năm 1980 trong một số nhà vũ trụ học, những người nghiên cứu rất kỹ các dữ liệu thiên văn. Nhưng trong suốt một thập kỷ, nó không thực sự thu hút được sự quan tâm nhiều của cộng đồng vật lý. Sự nhỏ bé đến khó tin này của nó đã làm cho hầu hết các nhà vật lý bị lừa, không tin rằng nó tồn tại.

tỷ lệ với một hằng số mới của tự nhiên – cái được gọi là hằng số vũ trụ – và nó được ký hiệu bằng chữ cái lambda (λ) trong tiếng Hy Lạp. Nếu λ là dương, thì số hạng vũ trụ tạo nên một lực đẩy, tăng cùng với khoảng cách; nếu nó là âm thì lực mới là hút; nếu bằng $\lambda = 0$ thì không có lực mới nào và chúng ta có thể bỏ qua nó.

Ban đầu, Einstein đoán rằng λ sẽ là dương, nhưng ông đã nhanh chóng tỏ ra không thích toàn bộ ý tưởng này, và thậm chí còn nói đó là sai lầm tệ hại nhất của đời mình. Trong suốt phần đời còn lại, ông luôn đặt $\lambda = 0$ trong tất cả các phương trình của mình. Hầu hết các nhà vật lý đều nhất trí với Einstein, mặc dù họ không hiểu tại sao λ lại phải vắng mặt trong các phương trình đó. Nhưng sau hơn một thập kỷ, trường hợp thiên văn với hằng số vũ trụ dương, nhỏ đã dần trở nên có sức thuyết phục.

Hằng số vũ trụ, và tất cả các câu đố và nghịch lý mà nó tạo ra, là chủ đề của cuốn sách của tôi nhan đề *Phong cảnh vũ trụ*. Ở đây, tôi chỉ nói với bạn về hệ quả quan trọng nhất của nó: lực đẩy, xuất hiện ở những khoảng cách thiên văn (tức là rất lớn), chính là nguyên nhân làm cho không gian giãn nở *theo hàm mũ*. Không có gì mới trong chuyện giãn nở của vũ trụ, song nếu không có hằng số vũ trụ, thì tốc độ giãn nở ấy sẽ chậm dần. Thực tế, thì nó thậm chí còn có thể đảo chiều và bắt đầu co lại, cuối cùng nổ tung vào bên trong trong một vụ co lớn (*big crunch*). Nhưng thay vì thế, do có hằng số vũ trụ, nên cứ sau mỗi 15 tỉ năm, vũ trụ lại có kích thước tăng lên gấp đôi, và tất cả các dấu hiệu đều cho thấy nó sẽ làm như thế mãi mãi.

Trong một vũ trụ giãn nở, hay như một quả bóng phồng lên, khoảng cách giữa hai điểm càng lớn thì chúng lùi ra xa nhau càng nhanh. Hệ thức giữa khoảng cách và vận tốc được gọi là định luật Hubble, và nó phát biểu rằng vận tốc lùi ra xa giữa hai điểm bất



kỳ tỷ lệ thuận với khoảng cách giữa chúng. Bất kỳ người quan sát nào, dù anh ta đứng ở đâu, nhìn ra xung quanh đều thấy các thiên hà ở xa di chuyển ra xa nhau thì vận tốc của chúng vẫn tỷ lệ thuận với khoảng cách giữa chúng.

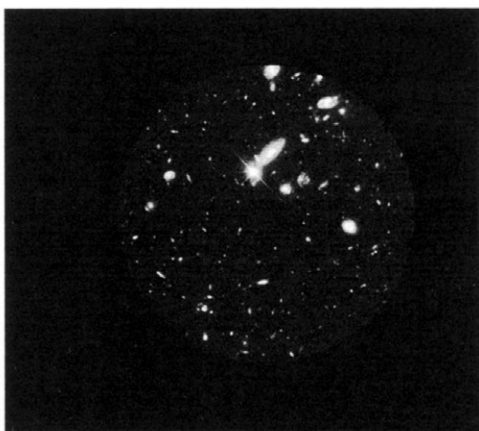
Nếu bạn nhìn ra đủ xa trong một vũ trụ đang giãn nở như vậy, bạn sẽ thấy một điểm mà

ở đó các thiên hà đang di chuyển ra xa bạn với tốc độ ánh sáng. Một trong những tính chất quan trọng nhất của một vũ trụ giãn nở theo hàm mũ đó là khoảng cách đến điểm đó không bao giờ thay đổi. Có vẻ như là trong vũ trụ chúng ta, ở khoảng cách khoảng 15 tỉ năm ánh sáng, mọi thứ đang di chuyển ra xa với tốc độ ánh sáng, nhưng quan trọng hơn nữa là nó sẽ luôn như vậy mãi mãi.

Có điều gì đó quen thuộc nhưng khác biệt ở đây. Nó gọi ta nhớ đến cái hồ nòng nọc ở Chương 2. Ở điểm nào đó, Alice, nếu trôi theo dòng chảy, sẽ vượt qua điểm không thể quay trở lui, và lùi xa Bob với tốc độ âm thanh. Điều tương tự cũng diễn ra ở thang lớn hơn. Theo mọi hướng mà chúng ta nhìn, các thiên hà đang vượt qua điểm mà tại đó, chúng rời xa chúng ta nhanh hơn cả ánh sáng. Mỗi chúng ta đều bị vây quanh bởi một *chân trời vũ trụ* – một hình cầu mà ở đó mọi thứ lùi ra xa với tốc độ ánh sáng – và không một tín hiệu nào có thể tới được chúng ta từ bên ngoài chân trời đó. Khi một ngôi sao đi qua điểm không thể quay lui, nó sẽ đi xa mãi mãi. Ở xa đó, vào khoảng 15 tỉ năm ánh sáng, chân trời vũ trụ của

chúng ta đang nuốt chửng các thiên hà, các sao, và có thể là cả sự sống nữa. Cứ như thể tất cả chúng ta đang sống trong một lỗ đen riêng bị lộn trái của chính mình vậy.

Liệu thực sự có những thế giới giống như thế giới chúng ta mà rất lâu về



trước đã từng đi qua chân trời của chúng ta và trở nên hoàn toàn không liên quan đến bất kỳ thứ gì chúng ta đã từng phát hiện ra hay không? Thậm chí còn tồi tệ hơn nữa là liệu có phải hầu hết vũ trụ sẽ mãi mãi nằm ngoài sự hiểu biết của chúng ta hay không? Điều này thực sự đang khiến cho một số nhà vật lý cực kỳ bối rối. Có một triết lý nói rằng nếu có điều gì đó là không thể quan sát được – không thể quan sát được về nguyên tắc – thì nó không phải là một bộ phận của khoa học. Nếu không có cách nào để chứng minh hay khẳng định một giả thuyết, thì nó sẽ thuộc về thế giới của những tư biện siêu hình, cùng với chiêm tinh và duy linh luận. Theo tiêu chuẩn đó, hầu hết vũ trụ đều không có thực tại khoa học – nó chỉ là một sự bịa đặt của trí tưởng tượng chúng ta mà thôi.

Nhưng thật khó mà vứt bỏ hầu hết vũ trụ như một thứ gì đó vô nghĩa. Không có bằng chứng nào cho thấy các thiên hà đang nhỏ đi hay đang đi đến cáo chung ở chân trời. Những quan sát thiên văn cho thấy chúng vẫn đang còn chuyển động chùng chình nào mà mất, hay kính viễn vọng còn có thể nhìn thấy. Chúng ta cần phải làm gì từ tình trạng này?

Đã từng có các trường hợp khác trong quá khứ mà những thứ “không thể quan sát được” đã bị bỏ qua như những thứ phi khoa học. Cảm xúc của người khác là một ví dụ đáng chú ý. Cả một trường phái tâm lý – thuyết hành vi – được thành lập dựa trên nguyên tắc cho rằng cảm xúc và trạng thái tinh thần bên trong là không thể quan sát được, và vì vậy không bao giờ được bàn tới trong một cuộc thảo luận khoa học. Chỉ những hành vi quan sát được của những đối tượng thực nghiệm như sự chuyển động của cơ thể, biểu hiện nét mặt, nhiệt độ, huyết áp mới là trò chơi công bằng cho các nhà tâm lý hành vi. Thuyết hành vi có những ảnh hưởng rất to lớn trong suốt những năm giữa thế kỷ hai mươi, nhưng ngày nay hầu hết mọi người đã xem nó như một quan điểm cực đoan. Có lẽ chúng ta nên đơn giản chấp nhận những thế giới ở bên ngoài chân trời theo đúng cái cách mà chúng ta chấp nhận rằng người khác có một cuộc sống nội tâm không thể xâm nhập được.

Tuy nhiên, có thể có một câu trả lời tốt hơn. Các tính chất của chân trời vũ trụ dường như rất giống với những tính chất của các lỗ đen. Toán học của một vũ trụ tăng tốc (giãn nở theo hàm mũ) ngụ ý rằng khi các vật tiến đến chân trời vũ trụ, thì chúng ta thấy chúng chuyển động chậm lại. Nếu chúng ta có thể gửi một nhiệt kế bằng cách buộc nó vào đầu một sợi dây cáp dài tới vùng lân cận của chân trời vũ trụ, chúng ta sẽ phát hiện ra rằng nhiệt độ tăng lên, và cuối cùng sẽ tiến dần đến nhiệt độ vô hạn ở chân trời lỗ đen. Liệu điều đó có nghĩa là tất cả mọi người ở trên những hành tinh xa xôi đó đều bị quay chín? Câu trả lời là không hơn cũng không kém như khi họ ở gần một lỗ đen. Đối với những người quan sát đi theo dòng chảy, thì sự đi qua chân trời vũ trụ không

phải là một sự kiện, mà là một điểm toán học không thể quay lui. Nhưng những quan sát của chính chúng ta, cộng thêm một vài phân tích toán học nữa, sẽ cho thấy rằng họ đang tiến dần đến một vùng có nhiệt độ cao không thể tin nổi.

Điều gì xảy đến đối với những bit thông tin của họ? Chính những lập luận mà Hawking đã sử dụng để chứng minh rằng các lỗ đen phát ra bức xạ vật đen nói cho chúng ta biết chân trời vũ trụ cũng phát xạ. Trong trường hợp này, bức xạ không phải ra bên ngoài mà là vào bên trong, như thể chúng ta sống trong một căn phòng với những bức tường ấm, bức xạ nhiệt. Từ góc nhìn của chúng ta, dường như khi các vật chuyển động về phía chân trời, chúng sẽ bị làm nóng lên và phát xạ trở lại các photon. Liệu có thể có một Nguyên lý về tính bổ sung vũ trụ hay không?

Đối với một người quan sát ở bên trong một chân trời vũ trụ, thì chân trời là một lớp nóng tạo bởi các nguyên tử chân trời, chúng hấp thụ, trộn lộn và sau đó trả lại tất cả các bit thông tin đó. Đối với một người quan sát chuyển động tự do, đi qua chân trời vũ trụ, thì việc đi qua đó không phải là một sự kiện.

Tuy nhiên, ở thời điểm hiện tại, chúng ta còn hiểu rất ít về chân trời vũ trụ. Ý nghĩa của những đối tượng ở phía sau chân trời – liệu chúng có là thực không và chúng đóng vai trò gì trong sự mô tả của chúng ta về vũ trụ – có thể là câu hỏi sâu sắc nhất của vũ trụ học.

Những hòn đá rơi và các hành tinh quay theo quỹ đạo chỉ là những gợi ý mờ nhạt về ý nghĩa thực sự của hấp dẫn. Lỗ đen là nơi mà

hấp dẫn thể hiện vai trò đúng đắn nhất của nó. Lỗ đen không chỉ đơn giản là những ngôi sao cực đặc; mà hơn thế, chúng còn là nơi cất trữ thông tin tối hậu, nơi mà các bit được gói chặt như chồng đạn súng thần công hai chiều, nhưng nhỏ hơn tới 34 bậc độ lớn. Đó là tất cả những gì về hấp dẫn lượng tử: thông tin và entropy, được gói ghém rất chặt.

Hawking có thể đã đưa ra câu trả lời sai cho chính câu hỏi của mình, nhưng bản thân câu hỏi này là một trong những câu hỏi sâu sắc nhất trong lịch sử vật lý học ngày nay. Cũng có thể là đầu óc ông quá cổ điển – quá thiên về việc xem không-thời gian như là một tấm toan đã tồn tại từ trước, dù là mềm dẻo, mà vật lý học được vẽ trên đó – khiến cho ông không thể nhận ra những hệ quả sâu sắc của việc dung hòa sự bảo toàn thông tin lượng tử với hấp dẫn. Nhưng bản thân câu hỏi có thể sẽ mở ra con đường cho cuộc cách mạng lớn tiếp theo về khái niệm trong vật lý học. Không có nhiều nhà vật lý có thể đưa ra được những tuyên bố như vậy.

Di sản của Hawking là rất to lớn. Những người trước ông đã biết rằng sự không tương thích giữa hấp dẫn và lý thuyết lượng tử một ngày nào đó sẽ được khắc phục, nhưng Bekenstein và Hawking là những người đầu tiên đã khám phá một đất nước xa xôi và đã mang vàng trở về. Tôi hy vọng rằng các nhà sử học tương lai của khoa học sẽ nói rằng họ đã bắt đầu tất cả.

Người chưa bao giờ từng thất bại ở đâu đó thì không thể là người vĩ đại.

HERMAN MELVILLE

Vật lý trong vỏ hạt dẻ

Sự lộn xộn và mất phương hướng đang ngự trị; nguyên nhân và kết quả bị phá vỡ; tính chắc chắn bốc hơi; tất cả những quy tắc cũ đều thất bại. Đó là những gì xảy ra khi một hình mẫu chủ đạo bị sụp đổ.

Nhưng sau đó thì những khuôn mẫu mới sẽ xuất hiện. Chúng thoát đầu rất khó hiểu, nhưng chúng là những khuôn mẫu. Vậy phải làm gì? Hãy chấp nhận chúng và tiến hành phân loại, định lượng hóa và mã hóa chúng bằng thứ toán học mới, thậm chí bằng những luật logic mới, nếu cần thiết. Thay thế những nhận thức cũ bằng những nhận thức mới mẻ và trở nên quen thuộc với nó. Sự quen thuộc sẽ làm nảy sinh sự coi thường, hay ít nhất là sự chấp nhận.

Tương tự như vậy, chúng ta vẫn còn là những người mới bắt đầu hết sức lúng túng với những hình ảnh trí tuệ đầy sai lầm, và thực tại tối hậu vẫn còn nằm ngoài xa tầm nắm bắt của chúng ta. Thuật ngữ của người vẽ bản đồ thời xưa *terra incognita* (vùng đất chưa khai phá) chợt hiện ra trong tâm trí. Chúng ta càng phát hiện thêm nhiều hơn thì dường như chúng ta càng biết ít hơn. Đó chính là vật lý trong một vỏ hạt dẻ.

VĨ THANH

NĂM 2002, STEPHEN HAWKING đã đến được sinh nhật lần thứ 60 của ông. Không ai nghĩ rằng ông có thể làm được điều đó, ít nhất là các bác sĩ của ông. Sự kiện này xứng đáng được kỷ niệm trọng thể – một bữa tiệc sinh nhật thực sự lớn – và tôi một lần nữa lại đến Cambridge, cùng với hàng trăm người khác – các nhà vật lý, nhà báo, các ngôi sao nhạc rock, nhạc sĩ, có cả một người đóng giả Marilyn Monroe và những vũ công nhảy điệu căng-căng, cũng như rất nhiều thức ăn, rượu và đồ uống. Đây là một sự kiện truyền thông hoành tráng, bên cạnh một hội thảo vật lý nghiêm túc. Mọi người, bất kỳ ai đã từng xuất hiện trong cuộc đời khoa học của Stephen đều có bài phát biểu, kể cả Stephen. Dưới đây là đoạn trích ngắn từ bài phát biểu của tôi.

Stephen, như tất cả chúng ta đều biết, là người bướng bỉnh và dễ làm người khác điên tiết nhất trong vũ trụ cho đến nay. Mỗi quan hệ về mặt khoa học của chính tôi với ông, tôi nghĩ có thể gọi là thù địch. Chúng tôi đã bất đồng hết sức sâu sắc về những vấn đề có liên quan đến lỗ đen, thông tin và tất cả những thứ tương tự. Có lúc ông đã khiến tôi phải vò đầu bứt tóc vì thất vọng – và các bạn có thể đã thấy rõ hậu quả thế nào rồi đấy. Tôi có thể đảm bảo với các bạn rằng, khi chúng tôi bắt đầu tranh cãi hơn 20 năm về trước, đầu tôi vẫn còn đầy tóc.

Đến đây, tôi chợt thấy Stephen ngồi ở phía sau cùng của khán phòng với nụ cười tinh quái cố hữu của mình. Tôi tiếp tục:

Tôi cũng có thể nói rằng trong số tất cả các nhà vật lý mà tôi biết, ông có ảnh hưởng mạnh mẽ nhất đến tôi và tư tưởng của tôi. Tất cả những gì mà tôi đã nghiền ngẫm từ năm 1983, theo cách này hay cách khác, đều là sự đáp lại những câu hỏi cực kỳ sâu sắc của ông về số phận của thông tin rơi vào lỗ đen. Trong khi tôi tin tưởng một cách chắc chắn rằng câu trả lời của ông là sai, thì câu hỏi và sự kiên định về câu trả lời có sức thuyết phục của ông đã buộc chúng tôi phải nghĩ lại về nền tảng của vật lý học. Kết quả là một hình mẫu mới hoàn toàn giờ đây đang hình thành. Tôi vô cùng vinh dự được có mặt ở đây để kỷ niệm những đóng góp vĩ đại của Stephen và đặc biệt là sự bướng bỉnh cao thượng của ông.

Và tôi đã thực sự nghĩ như vậy.

Tôi sẽ chỉ nhắc tới ba bài phát biểu khác. Hai trong số đó là của Roger Penrose. Tôi không thể nhớ là tại sao Roger lại có hai bài, nhưng thực sự là ông đã làm như vậy. Trong bài thứ nhất, ông khẳng định rằng thông tin bị mất trong sự bay hơi lỗ đen. Đó là những lập luận ban đầu mà Stephen đã đưa ra 26 năm về trước, và Roger vẫn khẳng định rằng ông và Stephen vẫn tiếp tục tin như vậy. Tôi đã rất đỗi ngạc nhiên vì đối với tôi (cũng như bất kỳ ai đã theo sát những bước phát triển gần đây) thì Lý thuyết ma trận, khám phá của Maldacena, và những tính toán entropy của Strominger và Vafa cuối cùng cũng đã giải quyết xong vấn đề này rồi.

Nhưng trong bài nói thứ hai, Roger vẫn nói rằng Nguyên lý toàn ảnh và công trình nghiên cứu của Maldacena dựa trên một chuỗi những quan niệm sai lầm. Nói một cách đơn giản, ông cho rằng,

“Có thể nào mà vật lý học, ở nhiều chiều hơn, lại có thể được mô tả bởi một lý thuyết ít chiều hơn?” Tôi cho rằng ông đã không suy ngẫm về điều đó một cách đủ kỹ lưỡng. Roger và tôi đã là bạn bè 40 năm, và tôi biết ông là một kẻ nổi loạn, luôn chống lại sự thông thái chuẩn mực. Tôi lẽ ra đã không phải ngạc nhiên khi ông lại là người phản đối.

Bài nói thứ ba còn in sâu trong trí nhớ của tôi là của Stephen – không phải những gì ông nói, mà là những gì ông không nói. Ông đã nhắc lại một cách ngắn gọn về những thời điểm đáng nhớ trong sự nghiệp của mình – vũ trụ học, bức xạ Hawking, những bộ phim hoạt hình tuyệt vời – nhưng ông tịnh không hề nói một từ nào đến sự mất thông tin. Liệu có phải là ông đã bắt đầu nao núng rồi không? Tôi cho là thế.

Sau đó, trong một cuộc họp báo vào năm 2004, Hawking đã tuyên bố rằng ông đã thay đổi quan điểm. Ông nói, những nghiên cứu gần đây nhất của ông cuối cùng đã giải quyết được nghịch lý của chính ông: rốt cuộc thì có vẻ như thông tin có rò rỉ ra ngoài lỗ đen và cuối cùng lẫn vào trong những sản phẩm của sự bốc hơi. Theo Stephen, không hiểu sao cơ chế này đã bị bỏ qua suốt thời gian qua, nhưng cuối cùng thì ông đã nhận ra nó và sẽ thông báo về những kết luận mới của ông trong hội thảo sắp tới ở Dublin. Giới truyền thông rung động và cuộc hội thảo được người ta nín thở chờ đợi.

Báo chí cũng thông tin rằng Stephen sẽ trả món nợ cá cược với John Preskill (người đã khiến tôi lo lắng ở Santa Barbara với cái thí nghiệm tưởng tượng tài tình của ông). Năm 1997, John đã đánh cuộc với Stephen rằng thông tin *đã* thoát ra khỏi lỗ đen. Giá của sự cá cược là một cuốn bách khoa thư về bóng chày.

Gần đây, tôi được biết là vào năm 1980, Don Page cũng đã cá cược với Stephen. Như tôi đã ngờ ngợ từ cuộc nói chuyện với Don ở Santa Barbara, ông đã luôn hoài nghi về tuyên bố của Stephen. Vào ngày 23 tháng Tư năm 2007, hai ngày trước khi tôi viết những dòng này, Stephen đã chính thức thừa nhận mình thua cuộc. Don đã có hảo tâm gửi cho tôi bản sao của hợp đồng gốc – vụ cá cược một bảng Anh ăn một đôla Mỹ – với sự thừa nhận thua được ký bởi Stephen. Giọt mực đen ở cuối hợp đồng chính là dấu vân tay cái của Stephen.

How Predictable Is Quantum Gravity?

Don Page bets Stephen Hawking one pound Sterling that strong quantum cosmic censorship holds, namely, that a pure initial state composed entirely of regular field configurations on complete, asymptotically flat hypersurfaces will have a unique S-matrix evolution under the laws of physics to a pure final state composed entirely of regular field configurations on complete, asymptotically flat hypersurfaces.

Stephen Hawking bets Don Page \$1.00 that in quantum gravity the evolution of such a pure initial state can be given in general only by a S -matrix to a mixed final state and not always by an S -matrix to a pure final state.

"I concede in light Don N. Page's bet of the weakness of the S "

Stephen Hawking, 23 April 2007

Hấp dẫn lượng tử có thể tiên đoán như thế nào?

Don Page đánh cược với Stephen Hawking một đồng bảng Anh rằng nguyên lý kiểm duyệt vũ trụ lượng tử mạnh là đúng, cụ thể là, một trạng thái ban đầu thuần khiết hoàn toàn được tạo bởi các cấu hình trường chính quy trên các siêu mặt phẳng một cách tiệm cận sẽ có sự tiến hóa duy nhất của ma trận S tuân theo các định luật của vật lý tới một trạng thái cuối cùng thuần khiết hoàn toàn được tạo bởi các cấu hình trường chính quy trên các siêu mặt phẳng một cách tiệm cận.

Stephen đánh cược với Don Page 1 đô la rằng trong hấp dẫn lượng tử, sự tiến hóa của một trạng thái ban đầu thuần khiết như vậy, nói chung, chỉ có thể được cho bởi một ma trận S tới một trạng thái cuối cùng pha trộn và không phải lúc nào cũng bởi một ma trận S tới một trạng thái cuối cùng thuần khiết.

Don N. Page

“Tôi thừa nhận điểm yếu của ma trận S ”

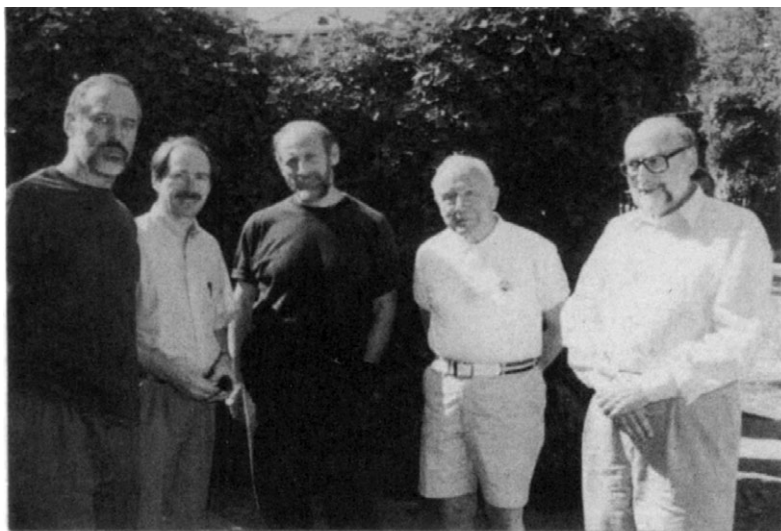
Stephen Hawking, 23/4/2007.

Thế còn điều gì đã được nói trong bài thuyết trình của Stephen? Tôi không biết; tôi đã không có mặt ở đó. Nhưng một bài báo tiếp sau, được viết sau đó vài tháng, đã trình bày các chi tiết. Cũng không có gì nhiều: một lược sử về nghịch lý, một sự mô tả bằng lời một số lập luận của Maldacena, và một sự giải thích méo mó sau cùng là tại sao mọi người đều là đúng cả.

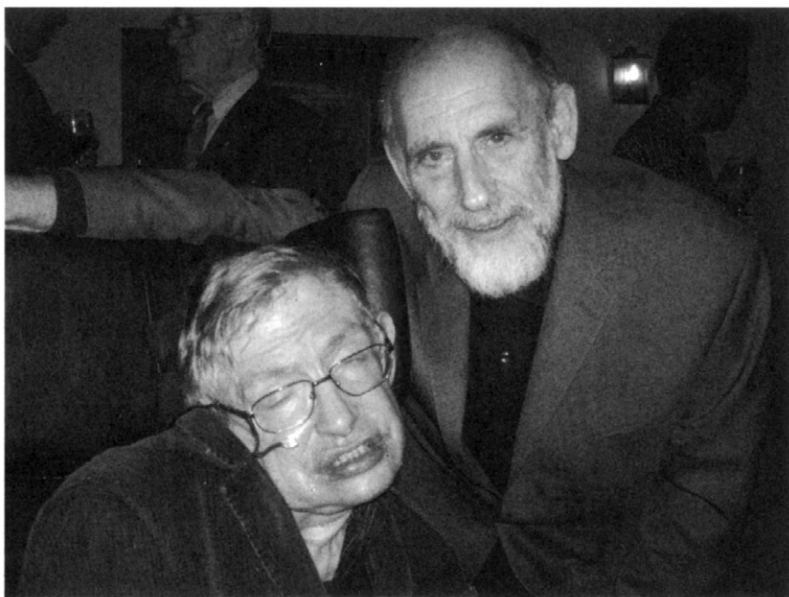
Nhưng mọi người không phải đã đều đúng cả.

Trong suốt vài năm gần đây, chúng ta đã từng thấy một số lập luận dễ gây tranh cãi được ngụy trang dưới hình thức tranh luận khoa học, nhưng thực chất chúng chỉ là những cuộc cãi vã mang màu sắc chính trị. Chúng bao gồm những tranh cãi về thiết kế trí

tuệ; về chuyện liệu sự nóng lên toàn cầu có thực sự xảy ra hay không, và nếu xảy ra thì có phải là do con người gây nên; về giá trị của các hệ thống phòng thủ tên lửa đất liền; và thậm chí cả về Lý thuyết dây. Tuy nhiên, may mắn thay, không phải tất cả các cuộc tranh cãi khoa học đều có tính khiêu khích. Thi thoảng những khác biệt quan điểm về những vấn đề trọng yếu cũng xuất hiện và dẫn đến những sự hiểu biết mới sâu sắc hơn, thậm chí dẫn đến sự thay đổi hình mẫu. Cuộc chiến lỗ đen là một ví dụ về cuộc tranh luận chưa bao giờ có tính khiêu khích; nó liên quan tới những khác biệt quan điểm chân thực về những nguyên lý khoa học có sự xung đột. Mặc dù vấn đề thông tin có bị mất trong lỗ đen hay không, lúc đầu chắc chắn là vấn đề về quan điểm, thì quan điểm khoa học giờ đây đã kết hợp lại thành một khối xung quanh một hình mẫu mới. Nhưng mặc dù cuộc chiến ban đầu đã kết thúc, tôi không cho là chúng ta đã học được tất cả những bài học quan trọng của nó. Cái đầu lủng lẻo rắc rối nhất của Lý thuyết dây làm sao có thể ứng dụng được nó vào vũ trụ thực. Nguyên lý toàn ảnh đã được khẳng định một cách ngoạn mục bởi lý thuyết của Maldacena về không gian anti de Sitter, nhưng hình học của vũ trụ thực lại không phải là không gian anti de Sitter. Chúng ta đang sống trong một vũ trụ giãn nở mà, có thể nói, lại là giống với không gian de Sitter hơn cả, với những chân trời vũ trụ của nó và những vũ trụ nổi bong bóng. Lúc này, chưa ai biết làm thế nào để ứng dụng Lý thuyết dây, Nguyên lý toàn ảnh, hay các bài học khác về chân trời lỗ đen cho các chân trời vũ trụ, nhưng những kết nối này chắc chắn là rất sâu sắc. Phỏng đoán của riêng tôi là những kết nối này nằm ở ngay gốc rễ của rất nhiều câu đố về vũ trụ. Ngày nào đó, tôi hy vọng sẽ viết một cuốn sách khác giải thích chuyện, cuối cùng, rồi tất cả những thứ này sẽ được phơi bày ra như thế nào, nhưng tôi không nghĩ là nó sẽ đến quá sớm.



Claudio Teitelboim (Bunster), Gerard' t Hooft, tác giả, John Wheeler, và Francois Englert, ở Valparaiso, năm 1994.



Stephen và tác giả, ở Valdivia, Chilê năm 2008.

THUẬT NGỮ

ảnh toàn ký (*toàn ảnh*) [*hologram*]. Một biểu diễn hai chiều của thông tin ba chiều. Một loại ảnh mà từ đó hình ảnh ba chiều có thể được tái dựng.

bán kính Schwarzschild [*Schwarzschild radius*]. Bán kính của chân trời một lỗ đen

biểu đồ nhúng [*embedding diagram*]. Một biểu diễn hai chiều của không-thời gian tại một thời điểm tạo bởi sự “cắt lát” continuum không-thời gian

bit [*bit*]. Đơn vị cơ bản của thông tin

bức xạ cực tím [*ultraviolet radiation*]. Sóng điện từ với bước sóng hơi ngắn hơn ánh sáng nhìn thấy được

bức xạ Hawking [*Hawking radiation*]. Bức xạ vật đen được phát xạ bởi một lỗ đen

bức xạ vật đen [*black body radiation*]. Bức xạ điện từ được phát ra bởi một vật không phản xạ nhờ nhiệt của chính nó

bước sóng [*wavelength*]. Khoảng cách được chiếm bởi một sóng trọn vẹn, tính từ đỉnh sóng này đến đỉnh sóng kế tiếp.

chân trời [*horizon*]. Bề mặt mà ở bên trong nó không gì có thể thoát được điểm kỳ dị của lỗ đen

chuyển động Brown [*Brownian motion*]. Chuyển động ngẫu nhiên của các hạt phấn hoa lơ lửng trong nước. Nguyên nhân là do bị bắn phá liên tục bởi các phân tử nước bị kích thích bởi nhiệt

chuyển động điểm zêrô [*zero point motion*]. Chuyển động dư của một hệ lượng tử, không bao giờ có thể loại bỏ do Nguyên lý bất định. Còn được gọi là *những thăng giáng lượng tử*

D-brane. Bề mặt trong không-thời gian mà một dây cơ bản có một đầu kết thúc trên đó

dây cơ bản [*fundamental string*]. Dây tạo nên các graviton. Kích thước điển hình của một dây cơ bản được cho là không lớn hơn nhiều so với kích thước Planck

dây đóng [*closed string*]. Dây không có các đầu, tương tự như một sợi dây chun

dây mở [*open string*]. Dây có hai đầu. Một sợi dây chun là dây đóng, nhưng khi cắt nó bằng kéo, nó trở thành dây mở

dây QCD [*QCD string*]. Dây tạo bởi các gluon liên kết các quark tạo thành hadron

dao động tử [*oscillator*]. Hệ bất kỳ thực hiện những dao động tuần hoàn.

điểm không thể quay lui [*point of no return*]. Một sự tương tự như chân trời của lỗ đen

điểm kỳ dị [*singularity*]. Một điểm đặc vô hạn ở trung tâm của một lỗ đen nơi mà lực thủy triều trở nên lớn vô hạn

điện trường [*electric field*]. Trường lực ở xung quanh điện tích

độ cong [*curvature*]. Độ uốn cong của không gian hay không-thời gian

độ dài Planck [*Planck length*]. Đơn vị đo độ dài khi ba hằng số cơ bản của tự nhiên c , h và G – được đặt bằng 1. Thường được xem như là chiều dài có nghĩa nhỏ nhất, 10^{-33} cm

độ nhớt [*viscosity*]. Ma sát giữa các lớp của một chất lỏng khi chúng trượt qua nhau

đối ngẫu [*duality*]. Mối quan hệ giữa hai mô tả bề ngoài khác nhau của cùng một hệ

đường trắc địa [*geodesic*]. Đường gần nhất với đường thẳng trong một không gian cong; đường ngắn nhất giữa hai điểm

đường vũ trụ. Quỹ đạo của một hạt trong không-thời gian

entropy. Một thước đo thông tin bị giấu kín, thường là thông tin được lưu giữ trong những vật thể quá nhỏ và quá nhiều để có thể theo dõi được

giao thoa [*interference*]. Một hiện tượng sóng mà trong đó các sóng từ hai nguồn khác nhau triệt tiêu hoặc tăng cường nhau ở mỗi vị trí nhất định

glueball. Một hadron chỉ được tạo bởi gluon, không có quark. Glueball là dây đóng

gluon. Các hạt mà khi kết hợp lại thì tạo nên dây liên kết các quark

grok. Một từ mới đặt ra để chỉ sự hiểu điều gì đó bằng trực giác một cách sâu sắc nhất, ở cấp độ tinh túy

hadron. Các hạt liên quan mật thiết với hạt nhân: nucleon, meson và glueball. Hadron được tạo bởi quark và gluon

hằng số Newton [*Newton constant*]. Hằng số, G , trong định luật vạn vật hấp dẫn của Newton ; $G=6,7 \times 10^{-11}$ theo hệ SI; còn gọi là hằng số hấp dẫn

hằng số Planck [*Planck constant*]. Hằng số, h , chi phối các hiện tượng lượng tử

hấp dẫn lượng tử [*quantum gravity*]. Lý thuyết thống nhất Cơ học lượng tử với Thuyết tương đối rộng của Einstein; cũng gọi là lý thuyết lượng tử của hấp dẫn. Hiện nay vẫn còn là một lý thuyết chưa hoàn chỉnh

hec (Hz) [*hertz*]. Đơn vị tần số dùng để đo số các dao động trọn vẹn trong một giây

IR [*infrared*]. Hồng ngoại. Cũng thường sử dụng để chỉ những khoảng cách lớn

khối lượng Planck [*Planck mass*]. Đơn vị đo khối lượng theo đơn vị Planck; 10^{-8} kg

Không gian anti de Sitter [*anti de Sitter Space*]. Continuum không-thời gian với độ cong âm đồng đều giống như một chiếc hộp hình cầu.

không-thời gian [*space-time*]. Toàn bộ không-thời gian được thống nhất thành một đa tạp bốn chiều duy nhất.

lỗ câm [*dumb hole*]. Lỗ rò ở đó vận tốc của dòng chảy vượt quá tốc độ âm thanh (trong nước) khi gần đến điểm rò

lỗ đen [*black hole*]. Đối tượng nặng và đặc đến mức không gì có thể thoát ra khỏi lực hấp dẫn của nó

lỗ đen cực trị [*extremal black hole*]. Lỗ đen tích điện đạt tới khối lượng nhỏ nhất của nó với điện tích cho trước

lực thủy triều [*tidal force*]. Lực gây biến dạng do những biến thiên theo không gian của cường độ lực hấp dẫn

Lý thuyết biên [*boundary theory*]. Lý thuyết toán học về biên của một vùng không gian mô tả mọi thứ ở bên trong của vùng đó

Lý thuyết dây [*string theory*]. Lý thuyết toán học trong đó các hạt cơ bản được coi như là các dây vô cùng nhỏ, một chiều có năng lượng. Một ứng cử viên cho hấp dẫn lượng tử

Lý thuyết trường lượng tử [*quantum field theory*]. Lý thuyết toán học thống nhất các đặc tính hạt và sóng của vật chất; là cơ sở của vật lý hạt cơ bản

Ma trận đôla [*dollar matrix (\$-matrix)*]. Ma trận của Hawking nhằm thay thế cho ma trận S

Ma trận S [*S-matrix*]. Một mô tả toán học của va chạm giữa các hạt. Ma trận S là một bảng liệt kê tất cả các đầu vào khả dĩ và biên độ xác suất của tất cả các kết cục.

Nguyên lý bất định Heisenberg [*Heisenberg uncertainty principle*]. Nguyên lý của Cơ học lượng tử giới hạn khả năng xác định đồng thời vị trí và vận tốc của một hạt.

Nguyên lý phi sao chụp lượng tử [*No-quantum-xerox principle (No-cloning principle)*]. Một định lý của Cơ học lượng tử cấm khả năng của một bộ máy có thể sao chụp hoàn hảo các thông tin lượng tử. Còn được gọi là *Nguyên lý phi nhân bản*

Nguyên lý thứ hai của Nhiệt động lực học [*Second law of thermodynamics*]. Entropy luôn luôn tăng

Nguyên lý thứ nhất của Nhiệt động lực học [*First law of thermodynamics*]. Định luật về sự bảo toàn năng lượng

Nguyên lý toàn ảnh [*holographic principle*]. Nguyên lý cho rằng mọi thông tin đều nằm ở biên của một vùng không gian

Nguyên lý tương đương [*equivalence principle*]. Nguyên lý của Einstein nói rằng không thể phân biệt hấp dẫn với gia tốc – ví dụ như trong một thang máy

nhiệt độ [*temperature*]. Sự tăng năng lượng của một hệ nếu thêm vào một chút entropy

nhiệt độ Hawking [*Hawking temperature*]. Nhiệt độ của một lỗ đen được nhìn từ một khoảng cách nhất định

nuclon. Một proton hoặc neutron

photon. Lượng tử (hạt) không phân chia được nữa của ánh sáng

QCD [*quantum chromodynamics*]. Sắc động lực học lượng tử
quyết định luận [*determinism*]. Nguyên lý của vật lý học cổ điển, phát biểu rằng tương lai là hoàn toàn được xác định bởi hiện tại. Bị sụp đổ bởi Cơ học lượng tử

RHIC [*Relativistic Heavy Ion Collider*]. Máy gia tốc có thể tăng tốc các hạt nhân nặng đến gần tốc độ ánh sáng và cho chúng va chạm với nhau để tạo nên một đám vật chất hạt nhân cực nóng

Sắc động lực học lượng tử [*quantum chromodynamics*]. Lý thuyết trường lượng tử mô tả các quark và gluon và cách chúng tạo nên các hadron

sao lùn trắng [*white dwarf*]. Giai đoạn cuối cùng của một ngôi sao không nặng hơn nhiều so với Mặt trời

sao notron [*neutron star*]. Giai đoạn cuối cùng của một ngôi sao quá lớn để tạo thành một sao lùn trắng nhưng lại không đủ lớn để co sập lại thành lỗ đen

sao tối [*dark star*]. Ngôi sao nặng và đặc đến mức ánh sáng không thể thoát ra khỏi nó. Ngày nay được gọi là lỗ đen

sóng điện từ [*electromagnetic waves*]. Những nhiễu động của không gian giống như sóng tạo bởi điện trường và từ trường dao động. Ánh sáng là một dạng sóng điện từ

sóng vô tuyến [*radio waves*]. Sóng điện từ có bước sóng dài nhất

sự kiện [*event*]. Một điểm trong không-thời gian

thời gian riêng [*proper time*]. Thời gian trôi theo đồng hồ chuyển động; một thước đo khoảng cách dọc theo đường vũ trụ.

thời gian Planck [*Planck time*]. Đơn vị đo thời gian theo các đơn vị Planck; 10^{-42} giây

thông tin [*information*]. Dữ liệu phân biệt một trạng thái của sự việc với một trạng thái khác. Đơn vị đo là bit

Thuyết tương đối hẹp [*special theory of relativity*]. Lý thuyết năm 1905 của Einstein xử lý các nghịch lý về vận tốc của ánh sáng. Lý thuyết này nói rằng thời gian là chiều thứ tư

Thuyết tương đối rộng [*general theory of relativity*]. Lý thuyết của Einstein về hấp dẫn dựa trên không-thời gian cong

tia gamma [*gamma ray*]. Sóng điện từ có bước sóng ngắn nhất và có năng lượng lớn nhất

tia X [*X ray*]. Sóng điện từ với bước sóng ngắn hơn bức xạ cực tím nhưng không ngắn bằng tia gamma

tính bổ sung của lỗ đen [*black hole complementarity*]. Nguyên lý bổ sung của Bohr áp dụng cho lỗ đen

tính đồng thời [*simultaneity*]. Liên quan tới các sự kiện diễn ra vào cùng một thời điểm. Vì Thuyết tương đối hẹp mà tính đồng thời không còn được coi như là một tính chất khách quan nữa.

tốc độ ánh sáng [*speed of light*]. Tốc độ mà ánh sáng chuyển động, xấp xỉ bằng 300.000 km trong một giây; ký hiệu bằng chữ cái *c*

trạng thái cơ bản [*ground state*]. Trạng thái của một hệ lượng tử có năng lượng thấp nhất có thể. Thường được đồng nhất với trạng thái ở 0 độ tuyệt đối

từ trường [*magnetic field*]. Trường lực xung quanh nam châm và dòng điện

UV [*ultraviolet*]. Cực tím. Cũng thường sử dụng để chỉ các kích thước rất bé

vận tốc thoát (vận tốc vũ trụ cấp II) [*escape velocity*]. Vận tốc tối thiểu mà một vật được phóng lên sẽ thoát ra khỏi lực hút hấp dẫn của một thiên thể.

vật lý học cổ điển [*classical physics*]. Vật lý học không bao hàm Cơ học lượng tử. Thường hàm ý vật lý học tất định.

vi sóng [*microwaves*]. Sóng điện từ với bước sóng hơi ngắn hơn sóng vô tuyến

xuyên hầm [*tunneling*]. Một hiện tượng cơ học lượng tử trong đó một hạt đi qua một rào chắn mặc dù nó không có đủ năng lượng để làm điều đó một cách cổ điển

CUỘC CHIẾN LỖ ĐEN

CUỘC CHIẾN CỦA TÁC GIẢ VỚI STEPHEN HAWKING
ĐỂ LÀM CHO THẾ GIỚI TRỞ NÊN AN TOÀN ĐỐI VỚI CƠ HỌC LƯỢNG TỬ

Leonard Dusskind

Phạm Văn Thiều - Phạm Thu Hằng dịch

Chịu trách nhiệm xuất bản: NGUYỄN MINH NHỰT

Biên tập: HẢI VÂN

Xử lý bìa: BÙI NAM

Sửa bản in: THANH VIỆT

Kĩ thuật vi tính: THANH HÀ

NHÀ XUẤT BẢN TRẺ

161B Lý Chính Thắng - Quận 3 - Thành phố Hồ Chí Minh
ĐT: 39316289 - 39316211 - 38465595 - 38465596 - 39350973
Fax: 84.8.8437450 - E-mail: nxbtre@hcm.vnn.vn
Website: <http://www.nxbtre.com.vn>

CHI NHÁNH NHÀ XUẤT BẢN TRẺ TẠI HÀ NỘI
20 ngõ 91, Nguyễn Chí Thanh, quận Đống Đa - Hà Nội
ĐT & Fax: (04)37734544

E-mail: vanphongnxbtre@hn.vnn.vn

CÔNG TY TNHH SÁCH ĐIỆN TỬ TRẺ (YBOOK)

161B Lý Chính Thắng, P.7, Q.3, Thành phố Hồ Chí Minh
Điện thoại: (08) 35261001 - Fax: (08) 38437450
Email: info@ybook.vn
Website: www.ybook.vn

LEONARD SUSSKIND (sinh năm 1940) là nhà vật lý nổi tiếng người Mỹ gốc Do Thái. Ông là giáo sư vật lý lý thuyết của Đại học Stanford – một trường ĐH danh giá của Hoa Kỳ, đặc biệt là về lý thuyết dây và lý thuyết trường lượng tử. Ông được coi như một trong các cha đẻ của lý thuyết dây.

Susskind sinh ra trong một gia đình Do Thái không mấy khá giả. Ông đã phải lao động từ nhỏ, ở tuổi 16 ông đã từng làm thợ đặt ống nước, thể chân cho người cha bị ngã bệnh. Sau đó ông theo học khoa học ở trường City College ở New York, và tốt nghiệp cử nhân vật lý ở đó năm 1962. Trong một bài báo đăng trên tờ Los Angeles Times, Susskind có nhắc lại cuộc trò chuyện với cha ông về sự đối nghịch của mình. “Khi tôi nói với cha tôi rằng tôi muốn trở thành nhà vật lý, ông đã nói với tôi: ‘Ồ không, con sẽ phải trở thành dược sĩ’. Tôi nói với ông là không, con sẽ không trở thành dược sĩ đâu. Tôi đã nói ‘như Einstein’ vậy. Ông đã đập nhẹ đoạn ống dẫn nước vào bụng tôi và nói: ‘Thì con sẽ thành nhà vật lý và sẽ trở thành Einstein!’”. Sau đó, ông theo học nghiên cứu sinh ở Đại học Cornell dưới sự hướng dẫn của Peter A. Carruthers và ở đây ông đã nhận được học vị tiến sĩ vào năm 1965. Ông đã kết hôn hai lần, lần đầu vào năm 1960 và có bốn con.

Susskind là trợ giảng về vật lý, rồi sau đó thành Phó Giáo sư ở ĐH Yeshiva (1966 – 1970), sau đó ông tới giảng dạy ở ĐH Tel Aviv, Israel (1971 – 1972) rồi quay về ĐH Yeshiva với cương vị là Giáo sư vật lý (1970 – 1979). Từ năm 1979 ông là GS Vật lý của ĐH Stanford và từ năm 2000 ông được phong danh hiệu “Giáo sư Felix Bloch” về vật lý. Ông đã được bầu vào Viện Hàn lâm Khoa học quốc gia và Viện Hàn lâm Nghệ thuật và Khoa học của Hoa Kỳ. Ông đã nhận được giải thưởng Sakurai về vật lý lý thuyết và cũng được chọn làm Giáo sư danh dự của Viện Nghiên cứu tiên tiến của Hàn Quốc.

Ông là tác giả của hai cuốn sách phổ biến khoa học nổi tiếng: *Quang cảnh Vũ trụ: lý thuyết dây và ảo tưởng về thiết kế trí tuệ* và quyển sách mà bạn đang cầm trên tay.

