

Albert Einstein

& Leopold Infeld

DƯƠNG MINH TRÍ dịch

Sự tiến hóa của vật lý

Từ những
khái niệm ban đầu
đến Thuyết Tương đối
và lượng tử



NHÀ XUẤT BẢN TRẺ

Table of Contents

[Tựa sách](#)

[Lời khen tặng](#)

[Lời mở đầu của người dịch](#)

[Lời mở đầu](#)

[I. BÌNH MINH CỦA TƯ DUY CƠ HỌC](#)

[Câu chuyện trình thám vĩ đại](#)

[Manh mối đầu tiên](#)

[Vecto](#)

[Bí ẩn của chuyển động](#)

[Manh mối còn sót lại](#)

[Nhiệt có phải là một chất?](#)

[Tàu lượn siêu tốc](#)

[Tỷ lệ trao đổi](#)

[Bối cảnh triết học](#)

[Thuyết động học của vật chất](#)

[Trang ảnh I](#)

[II. SỰ SỤY TÀN CỦA TƯ DUY CƠ HỌC](#)

[Hai lưu chất điện](#)

[Các lưu chất từ](#)

[Khó khăn nghiêm trọng đầu tiên](#)

[Vận tốc của ánh sáng](#)

[Ánh sáng như một chất](#)

[Bí ẩn của màu sắc](#)

[Sóng là gì?](#)

[Lý thuyết sóng của ánh sáng](#)

[Trang ảnh II](#)

[Ánh sáng là sóng dọc hay sóng ngang?](#)

[Ether và tư duy cơ học](#)

[III. TRƯỜNG, THUYẾT TƯƠNG ĐỐI](#)

[Trường là một phương thức diễn đạt](#)

[Hai cột trụ của lý thuyết trường](#)

[Hiện thực của trường](#)

[Trường và Ether](#)

[Hệ trục tọa độ cơ học](#)

[Ether và sự chuyển động](#)

[Thời gian, khoảng cách, tính tương đối](#)

[Thuyết tương đối và cơ học](#)

[Miền liên tục không-thời gian](#)

[Thuyết tương đối rộng](#)

[Bên ngoài và bên trong thang máy](#)

[Hình học và thí nghiệm](#)

[Thuyết tương đối rộng và sự xác minh](#)

[Trường và vật chất](#)

[IV. LƯỢNG TỬ](#)

[Sự liên tục – sự gián đoạn](#)

[Lượng tử sơ cấp của vật chất và điện](#)

[Lượng tử ánh sáng](#)

[Quang phổ](#)

[Trang ảnh III](#)

[Sóng vật chất](#)

[Sóng xác suất](#)

[Vật lý và hiện thực](#)

[Bảng chú dẫn và từ vựng Việt-Anh](#)

Chia sẻ ebook : <http://downloadsachmienphi.com/>

Tham gia cộng đồng chia sẻ sách : Fanpage : <https://www.facebook.com/downloadsachfree>

Cộng đồng Google : <http://bit.ly/downloadsach>

Lời khen tặng

Trình bày một cách tài tình về tư tưởng vật lý kể từ sau thời Galileo... các giai đoạn chính trong sự tiến hóa của vật lý hiện đại mà không cần sử dụng toán học... là một thành tích phi thường, chỉ có thể được hoàn thành bởi bậc thầy về vật lý... để truyền đạt lại một trong những bước tiến hóa vĩ đại nhất của loài người.

—Giáo sư E.T.Bell, tác giả *Men of Mathematics*, báo Saturday Review

Tôi đã đọc từ trang bìa đầu tiên đến hết trang bìa cuối cùng, quyển sách này mở trong tôi một thế giới hoàn toàn mới.

—Paul de Kruif

Cuốn sách này không chỉ dành cho những người không chuyên mà còn dành cho những nhà vật lý và cả sinh viên mới vào đại học...

—Tiến sĩ R.J.Stevenson, Đại học Chicago.

Lời mở đầu của người dịch

Kể từ khi A. Einstein trình bày *thuyết tương đối hẹp* (thuyết tương đối đặc biệt) đến nay đã trên 100 năm. Vào năm 2005, cả thế giới không chỉ kỷ niệm sự kiện lớn lao này mà còn để nhớ đến nhiều công trình khác của Einstein đã đưa nền vật lý học cũng như nhận thức của con người về thế giới chung quanh vào một bước ngoặt mới, một tầm nhìn cao hơn.

Ra đời vào năm 1938, *Sự Tiến Hóa của Vật Lý* của A. Einstein và L. Infeld vẫn giữ nguyên giá trị theo thời gian và rất hữu ích cho bất cứ ai muốn tìm hiểu về vật lý học, muốn tìm hiểu giá trị thực sự của bộ óc con người... Quả thực quyển sách có sức hấp dẫn từ đầu đến cuối, không chỉ như một quyển truyện trinh thám hay khoa học viễn tưởng mà còn hơn thế nữa.

Với cuốn sách này, không chỉ những kiến thức của chúng ta về vật lý học và về triết học được bổ sung mà còn một cái gì khác quan trọng hơn chúng ta có thể học hỏi: Chúng ta phải luôn suy nghĩ, luôn phải đặt câu hỏi tại sao thay vì cho mọi thứ là có sẵn, nó là như thế... và chỉ việc học thuộc lòng mọi thứ theo thói quen đã hình thành một cách vô ý thức.

Dịch giả có một vài lưu ý đối với độc giả như sau. Tất cả khoảng thời gian được nhắc đến trong sách cần được cộng thêm khoảng 70 năm. Và như lời khuyên của tác giả quyển sách, để có thể hiểu những gì tác giả viết, độc giả nên đọc kỹ từng trang một, liên tục và chỉ có thể hiểu những gì mình đang đọc nếu đã đọc thật cẩn thận những trang trước đó, nghiền ngẫm từng vấn đề và sự liên hệ của chúng.

Quyển sách được dịch từ nguyên bản tiếng Anh *The Evolution of Physics*. Dịch giả có tham khảo thêm bản dịch tiếng Đức *Die Evolution der Physik* do W. Preusser dịch. Sách được dịch từng câu một, không một ý, một câu nào bị bỏ sót. Khi dịch thuật dịch giả gặp nhiều khó khăn vì nhiều từ trong tiếng Việt chưa có, hay có nhưng không hàm chứa hết ý nghĩa của từ cần dịch, v.d. nếu dịch abstraction (Anh/Pháp) hay abstraktion (Đức) là sự trừu tượng hay sự trừu tượng hóa thì chưa thể diễn đạt hết ý nghĩa của từ này trong một số trường hợp. Dù có nhiều cố gắng của dịch giả và nhà xuất bản Trẻ, dù bản dịch đã được sửa chữa nhiều lần, chúng tôi vẫn mong nhận được góp ý của quý độc giả về những sai sót nếu có của bản dịch.

Nếu muốn tìm hiểu thêm tiểu sử của Albert Einstein, độc giả có thể tham khảo rất nhiều tài liệu trên các trang web hay sách. Einstein không chỉ là một nhà vật lý lý thuyết, mà còn là nhà phát minh thực nghiệm. Trong năm 1930, ông nhận được bằng sáng chế về một loại máy làm lạnh, một nguyên tắc mới cho tủ lạnh. Einstein được rất nhiều đại học trên thế giới trao tặng bằng tiến sĩ danh dự trong khoa học, y khoa, triết học...

Sau đây người dịch chỉ muốn viết ngắn về những khía cạnh rất đặc biệt của Einstein. Ông không chỉ là một nhà khoa học mà còn là một con người khao khát một xã hội nhân bản, chống mọi thể chế chính trị độc tài, phát xít.

Einstein luôn có cái nhìn sáng suốt, rõ ràng về những vấn đề trong vật lý học và có quyết tâm kiên định để giải quyết chúng. Ông luôn tự vạch ra chiến lược và xác định rõ ràng các bước tiến để đến mục đích. Nhưng điều kỳ diệu mà Einstein đem đến cho loài người những công trình vĩ đại, những sản phẩm không có mặt trong tự nhiên chính là trí tuệ siêu việt của ông, một bộ óc hoạt động tự do và đầy sáng tạo. Einstein có câu nói rất nổi tiếng: "*Sự tưởng tượng quan trọng hơn kiến thức – Imagination is more important than the knowledge*". Kiến thức sẽ trở nên lạc hậu trong ánh sáng của những khám phá mới và con người luôn luôn cần có sức tưởng tượng đầy sáng tạo làm tiền đề cho những lao động gian khổ, không mệt mỏi để đạt đến những khám phá mới.

Einstein cũng thừa nhận rằng nối tiếp một thành công, một khám phá mới luôn làm nảy sinh ra những vấn đề khó khăn hơn nữa mà con người cần phải có những cố gắng to lớn hơn để có thể vượt qua với hy vọng đạt tới những điểm đột phá để nâng cao tầm nhìn và con người có một nhận thức càng lúc càng gần hơn với hiện thực.

Trong giờ rảnh rỗi Einstein chơi đàn vĩ cầm, đi thuyền buồm trên hồ nước ở Berlin...

Năm 1933 khi Hitler lên cầm quyền ở Đức, Einstein từ bỏ quốc tịch Phổ và xin ra khỏi Viện Hàn Lâm Phổ. Từ năm 1933 đến khi mất, Einstein giảng dạy và nghiên cứu tại đại học

Princeton (Mỹ). Trong thời gian này, ông cố gắng thành lập lý thuyết trường thống nhất để thống nhất lý thuyết trường hấp dẫn và lý thuyết trường điện từ. Rất tiếc là ông đã không thành công và cho đến nay, chưa một ai thành công trong việc này.

Không chỉ là một nhà khoa học xuất sắc vĩ đại, ông còn là một chiến sĩ đấu tranh cho hòa bình. Những chính trị gia ở phương Tây cũng như ở phương Đông đều không ưa thích những phát biểu, ý kiến của ông. Vào năm 1933 khi Hitler lên cầm quyền ở Đức, Einstein đã phát biểu như sau:

“Khi mà tôi vẫn còn khả năng để chọn lựa, tôi chỉ ở đất nước nào mà nơi đó có sự tự do về chính trị, sự khoan dung và sự bình đẳng giữa các công dân trước pháp luật. Tự do về chính trị là tự do phát biểu niềm tin chính trị bằng lời nói, bằng văn bản; khoan dung là sự tôn trọng cho từng niềm tin riêng biệt của mỗi cá thể. Những điều kiện này hiện nay không tồn tại ở nước Đức.”

Trong phần lớn cuộc đời, Einstein được coi như người theo chủ nghĩa xã hội, chống phát xít, chống chiến tranh. Tiểu luận *Tại sao chủ nghĩa xã hội – Why Socialism* là một trong những bài viết của Einstein mà ít người biết đến. Tạp chí *Monthly Review* công bố tiểu luận này lần đầu tiên vào năm 1949. Chúng ta hãy lắng nghe ý kiến của Einstein trong bài tiểu luận này về những vấn đề vô cùng bức xúc, đến ngày nay vẫn còn giá trị.

Đối với chủ nghĩa tư bản, ông phê phán như sau:

“Sản xuất chỉ cho lợi nhuận – chứ không cho nhu cầu. Không hề có dự phòng nào đảm bảo nào cho người có đủ khả năng và sẵn sàng lao động đều luôn có việc làm. Gần như luôn tồn tại một ‘Đội ngũ những người thất nghiệp.’ Người lao động luôn sống trong lo sợ bị mất việc làm...”

Những nhược điểm của chủ nghĩa tư bản ảnh hưởng sâu rộng đến cả hệ thống giáo dục:

“Sự cạnh tranh vô giới hạn dẫn đến một sự hoang phí vô cùng to lớn về lao động và làm tê liệt các ý thức xã hội của từng cá nhân như tôi đã cảnh báo trước đây. Sự tê liệt của từng cá thể là sự tồi tệ nhất của chủ nghĩa tư bản. Cả hệ thống giáo dục của chúng ta phải chịu đựng điều này. Sinh viên bị nhồi nhét vào đầu về một định hướng cạnh tranh thật cường điệu và họ được giáo dục cho mục đích này, coi thành công có tính trực lợi như là sự chuẩn bị cho sự nghiệp tương lai của anh ta.”

Để giải quyết vấn đề nêu trên, theo ông, cần xây dựng một hệ thống kinh tế có tính xã hội. Tuy nhiên đối với việc xây dựng chủ nghĩa xã hội, Einstein đòi hỏi quyền của từng cá thể phải được tôn trọng:

“Tuy nhiên, có một điều cần phải làm rõ, một nền kinh tế kế hoạch vẫn không phải là chủ nghĩa xã hội. Một nền kinh tế kế hoạch như thế có thể làm nô dịch toàn bộ từng cá thể. Chủ nghĩa xã hội đòi hỏi phải có giải pháp cho một vài vấn đề chính trị – xã hội cực kỳ khó khăn: Làm sao ngăn ngừa một bộ máy quan liêu trở nên có quyền lực vô hạn do sự tập trung hóa thể lực chính trị, kinh tế vô hạn định? Làm sao để có thể bảo vệ được quyền của từng cá thể và qua đó tạo được một đối trọng dân chủ đối với bộ máy quan liêu?”

Cả thế giới kính trọng Albert Einstein như một vĩ nhân, không chỉ vì ông là một nhà bác học vĩ đại của nhân loại mà còn vì phẩm chất đạo đức, tâm hồn cao thượng của ông. Một nét đặc trưng của Einstein cũng như các vĩ nhân khác, đó là sự lao động miệt mài cho đến giây phút cuối cùng của cuộc đời. Chúng ta nhớ đến câu nói thật sâu sắc của ông trong năm 1954: “*Kiến thức mới không đến từ kết quả giáo dục của nhà trường, mà chính là do sự cố gắng suốt cả đời người để tiếp thu nó – Weisheit ist nicht das Ergebnis der Schulbildung, sondern des lebenslangen Versuchs, sie zu erwerben*”. Dù bị bệnh, một tuần lễ trước khi mất Einstein đã cùng nhiều nhà khoa học nổi tiếng khác ký bản Tuyên Ngôn Russell-Einstein với mục đích đánh thức con người trong việc giải trừ quân bị, giải trừ vũ khí hạt nhân.

Tôi xin cảm ơn các anh chị trong Nhà xuất bản Trẻ, đặc biệt là Liêm Châu và Hải Vân đã giúp tôi rất nhiều trong việc hoàn tất quyển sách, đã đọc và sửa chữa bản thảo một cách thật kỹ lưỡng.

DƯƠNG MINH TRÍ

Lời mở đầu

Trước khi đến với bất kỳ tác phẩm nào, câu hỏi quen thuộc nhất của độc giả là: Quyển sách này sẽ dành cho ai và ai có thể hiểu được ý nghĩa của quyển sách này?

Việc trả lời một cách rõ ràng và thuyết phục câu hỏi này ngay từ những trang đầu là điều không hề đơn giản. Nhưng điều này sẽ dễ dàng hơn ở những trang cuối của cuốn sách này, dù rằng điều này là hoàn toàn không cần thiết. Chúng tôi nghĩ rằng điều đơn giản nhất là nên nói ngay ra những gì không phải là dự định của quyển sách này. Chúng tôi không viết một quyển sách giáo khoa vật lý. Đây không phải là giáo trình nhập môn một cách hệ thống các vấn đề vật lý sơ cấp và lý thuyết vật lý. Đúng hơn, mục đích của chúng tôi là muốn phác họa những đường nét chính về những cố gắng của trí tuệ con người trong việc tìm hiểu những liên kết giữa thế giới của các ý tưởng và thế giới của các hiện tượng. Chúng tôi cố gắng nêu lên các động lực mạnh mẽ nhất đã thúc đẩy khoa học sáng tạo ra những tư tưởng mới tương ứng với hiện thực của thế giới chúng ta. Nhưng chúng tôi cần phải trình bày những điều này theo một cách đơn giản nhất. Chúng tôi phải chọn lọc từ mê tran của các sự kiện và của các khái niệm những điều đặc trưng nhất và quan trọng nhất. Đồng thời chúng tôi cũng loại bỏ các sự kiện và lý thuyết không theo tiêu chí này. Để đạt được điều này, chúng tôi buộc phải chọn lọc kỹ lưỡng các sự kiện và ý tưởng. Tầm quan trọng của một vấn đề không nên được đánh giá qua số trang sách. Một số tư tưởng thiết yếu không được nhắc đến trong quyển sách này không phải vì chúng không quan trọng mà chỉ vì chúng không nằm trên con đường mà chúng tôi đã chọn.

Khi viết cuốn sách này, chúng tôi đã tranh luận rất nhiều về những đặc điểm của một độc giả lý tưởng và rất lo lắng cho anh ta. Chúng tôi nghĩ rằng, độc giả có thể thiếu hoàn toàn những hiểu biết cụ thể về vật lý và toán học, nhưng bù vào đấy, độc giả sẽ cần những đức tính đáng kể như: Sự hứng thú với các ý tưởng về vật lý và triết học. Thật đáng khâm phục về sự kiên nhẫn của độc giả khi phải cố tìm hiểu những điểm khó khăn và kém thú vị. Độc giả sẽ biết rằng, để hiểu bất cứ trang nào trong cuốn sách này cần phải đọc trang trước thật cẩn thận và không nên đọc một cuốn sách khoa học, dù thuộc loại phổ thông, như đọc một quyển tiểu thuyết.

Quyển sách này chỉ đơn giản là một cuộc chuyện trò giữa bạn và chúng tôi. Bạn có thể thấy nó dài dòng hay thú vị, u mê hay kích thích. Chúng tôi sẽ đạt được mục đích nếu những trang sách này đem đến cho bạn một vài khái niệm về cuộc chiến không ngừng nghỉ của trí tuệ con người đầy sáng tạo nhằm hiểu rõ những định luật thống trị các hiện tượng vật lý.

Albert Einstein
Leopold Infeld

I. BÌNH MINH CỦA TƯ DUY CƠ HỌC

Câu chuyện trình thám vĩ đại... Manh mối đầu tiên... Vectơ... Bí ẩn của chuyển động... Manh mối còn sót lại... Nhiệt có phải là một chất?... Tàu lượn siêu tốc... Tỷ số trao đổi... Bối cảnh triết học... Lý thuyết động học của vật chất.

CÂU CHUYỆN TRÌNH THẨM VĨ ĐẠI

Hãy tưởng tượng về một câu chuyện trình thẩm tuyệt hảo. Trong những câu chuyện như thế luôn có tất cả các manh mối quan trọng nhất buộc độc giả tự hình thành những lý luận riêng cho chính mình. Nếu theo dõi một cách cẩn thận, chúng ta sẽ tìm thấy đáp án của câu chuyện sớm hơn cả những tiết lộ của tác giả ở những trang cuối của quyển truyện. Khác với những bí ẩn khác trong câu chuyện, những đáp án này không những không làm chúng ta thất vọng, mà hơn thế nữa, còn xuất hiện đúng vào lúc chúng ta mong chờ nhất.

Liệu chúng ta có thể so sánh độc giả của một quyển tiểu thuyết như thế với các nhà khoa học, những người từ thế hệ này sang thế hệ khác luôn tìm kiếm đáp án cho những bí ẩn được viết trong quyển sách vĩ đại của tự nhiên? Sự so sánh khắp khiếm này cần được loại bỏ. Nhưng nó cũng có một lý lẽ mà chúng ta cũng có thể mở rộng và thay đổi để nó phù hợp hơn khi so sánh với những nỗ lực của khoa học nhằm giải đáp các bí ẩn của vũ trụ.

Cho đến nay, câu chuyện bí ẩn vĩ đại vẫn chưa đi đến hồi kết và chúng ta cũng không thể khẳng định được sự tồn tại của đáp án cuối cùng này. Tuy thế, việc không ngừng tìm hiểu những điều bí ẩn trong quyển sách vĩ đại này giúp chúng ta hiểu những điều cơ bản nhất của tự nhiên, lần ra những manh mối của khoa học, và tạo nên nguồn cảm hứng cho quá trình phát triển đầy vất vả và khó nhọc của khoa học. Dù đã đọc và tìm được nhiều đầu mối và đáp án trong quyển sách của tự nhiên, chúng ta nhận thấy rằng chúng ta hiện vẫn cách rất xa đáp án cuối cùng, nếu nó thật sự tồn tại! Trong mỗi giai đoạn tìm hiểu, điều chúng ta luôn làm là cố gắng tìm sự tương quan giữa đáp án vừa được tìm thấy với một số các manh mối đã được phát hiện trước đó. Những lý thuyết như thế đều mang tính tạm thời vì chúng có thể giải thích một số các sự kiện đã được biết đến. Tuy nhiên, không một lý thuyết tổng quát nào có thể đưa ra đáp án phù hợp với tất cả các manh mối đã được tìm thấy. Thông thường, một lý thuyết dường như rất hoàn hảo lại mâu thuẫn hoặc không thể giải thích được những khám phá mới. Càng tìm được nhiều manh mối, chúng ta càng nhận thức trọn vẹn hơn sự kết cấu hoàn hảo trong quyển sách của tự nhiên, dù rằng lời giải đáp cuối cùng dường như ngày càng lùi xa dần khi chúng ta ngày càng tiến bộ.

Trong hầu hết các cuốn tiểu thuyết trình thẩm xuất hiện vào thời của tác giả nổi tiếng Conan Doyle, một nhà thám tử tài ba luôn thu thập được hầu hết các dữ kiện, tối thiểu là cho việc điều tra một mặt nào đó của vụ án. Các dữ kiện này thường rất lộn xộn, rời rạc và hoàn toàn không liên quan với nhau. Tuy vậy, nhà thám tử tài ba này luôn hiểu rằng việc điều tra thêm là không cần thiết, chỉ có sự suy luận mới tìm ra được mối liên kết giữa các sự kiện thu thập được. Cho nên ông ta có thể chơi vĩ cầm hay nằm uòn trên ghế với một ống điếu và đột nhiên thật bất ngờ, ông đã tìm ra lời giải. Không những giải thích được các manh mối trong tay mà ông ta còn đoán được rằng một số sự kiện khác đã phải xảy ra. Do biết một cách chính xác nơi cần tìm, nếu thích thì ông ta có thể đi tìm thêm những bằng chứng khác cho suy luận của mình.

Chúng tôi xin phép nhắc lại một điều nhằm chán. Khi đọc quyển sách của tự nhiên, một nhà khoa học phải tự tìm cho mình lời giải đáp vì ông ta không thể nhanh chóng lật đến những trang cuối của quyển sách này như những độc giả thiếu kiên nhẫn thường làm khi theo dõi một quyển tiểu thuyết trình thẩm. Trong khoa học, độc giả cũng là một thám tử điều tra luôn tìm cách giải thích, dù chỉ một phần nào đó, mối liên hệ của các sự kiện với vô số các yếu tố khác. Để đạt được dù là một phần nhỏ của lời giải đáp, các nhà khoa học luôn phải thu thập các dữ kiện vô cùng rời rạc, và sau đó tìm sự liên kết giữa chúng bằng những suy luận đầy sáng tạo.

Mục đích của chúng tôi trong phần kế tiếp là phác họa sự tương đồng giữa tư duy của một nhà thám tử và những công việc của các nhà vật lý. Chúng tôi chủ yếu đề cập đến vai trò của tư duy và ý tưởng trong cuộc thám hiểm truy tìm sự hiểu biết trong thế giới vật lý.

MANH MỐI ĐẦU TIÊN

Những cố gắng tìm hiểu quyển sách vĩ đại của tự nhiên cũng cổ xưa như chính tư duy của loài người. Nhưng chỉ từ hơn 300 năm trước đây, các nhà khoa học mới bắt đầu hiểu ngôn ngữ của quyển sách này. Sự tìm hiểu những bí ẩn ấy phát triển vô cùng nhanh chóng, nhất là trong thời đại Galileo^[1] * (Galilei Galileo) và Newton.^[2] Người ta đã phát triển các phương pháp nghiên cứu một cách có hệ thống để khám phá và theo dõi những đầu mối của những bí ẩn trong tự nhiên. Nhiều bí ẩn của tự nhiên đã được khám phá mặc dù những lý giải cho những điều ấy tỏ ra chỉ có giá trị tạm thời và nông cạn dưới quan điểm của những nghiên cứu sau đó.

Một vấn đề cơ bản nhất, đã bị che giấu hàng nghìn năm bởi chính sự phức tạp của nó, chính là sự chuyển động. Mọi chuyển động mà chúng ta quan sát trong tự nhiên thực chất là một vấn đề rất phức tạp, rắc rối; ví dụ như một hòn đá được ném lên không trung, một chiếc tàu chạy trên mặt biển, một xe cút-kít được đẩy trên mặt đường...

Để hiểu được các hiện tượng này, tốt nhất ta nên bắt đầu với những trường hợp đơn giản nhất và đi dần đến các vấn đề phức tạp hơn. Hãy xét một vật nằm yên khi nó hoàn toàn không có sự chuyển động. Để thay đổi vị trí của nó, ta cần tác động lên nó, như đẩy hay nhấc nó lên, hoặc dùng sức kéo của ngựa hay các cỗ máy hơi nước. Trực giác của chúng ta thấy sự chuyển động của vật này gắn liền với các tác động như là đẩy, kéo hay nâng. Những kinh nghiệm lặp lại ấy đã khiến chúng ta mạo hiểm phát biểu: Nếu chúng ta muốn vật này chuyển động nhanh hơn thì chúng ta đẩy nó mạnh hơn. Dường như rất hiển nhiên để có thể kết luận rằng vật thể có vận tốc lớn hơn nếu được tác động mạnh hơn. Một xe kéo bốn ngựa sẽ chạy nhanh hơn một xe kéo chỉ có hai ngựa. Trực giác nói với chúng ta rằng tốc độ liên quan mật thiết với tác động.

Các độc giả tiểu thuyết trinh thám cũng nhận thấy điều tương tự vì các manh mối giả tạo làm rối tung câu chuyện và trì hoãn lời giải đáp. Phương pháp suy luận dựa vào trực giác dẫn đến quan niệm sai lầm về chuyển động đã tồn tại trong nhiều thế kỷ. Có lẽ uy tín của Aristotle^[2a] ở khắp Âu châu là lý do chính của sự tin tưởng vào phương pháp tư duy trực giác này. Trong tác phẩm *Mechanics* (*Cơ học*), được cho là của ông trong hai nghìn năm qua, chúng ta đọc được phát biểu sau:

“Vật thể đang chuyển động sẽ dừng lại khi lực tác động lên nó không còn nữa.”

Sự khám phá và sử dụng lý luận khoa học của Galileo là một trong những thành tựu khoa học quan trọng nhất trong lịch sử tư tưởng của loài người và đánh dấu bước khởi đầu thật sự của vật lý học.

Khám phá này cho chúng ta một bài học quan trọng là các kết luận bởi trực giác dựa trên sự quan sát trực tiếp không luôn đáng tin tưởng và đôi khi dẫn đến các manh mối sai lầm.

Nhưng trực giác sai lầm ở đâu? Không lẽ một cỗ xe tứ mã chạy nhanh hơn một cỗ xe song mã là sai?

Để hiểu rõ hơn về sự chuyển động, chúng ta hãy bắt đầu với những điều đơn giản và gần gũi nhất trong cuộc sống hằng ngày, từ sự khởi đầu của nền văn minh đến những kinh nghiệm qua cuộc đấu tranh sinh tồn của loài người.

Giả sử một người đang đi trên một con đường bằng phẳng với một chiếc xe đẩy bỗng nhiên không đẩy nữa. Chiếc xe sẽ tiếp tục chạy thêm một quãng đường nữa trước khi dừng hẳn lại. Hỏi rằng: Làm sao có thể kéo dài thêm quãng đường này? Ta có thể thực hiện bằng nhiều cách như bôi trơn các bánh xe và làm mặt đường thật bằng phẳng. Nếu bánh xe càng quay trơn tru hơn và con đường càng bằng phẳng hơn thì chiếc xe sẽ đi thêm một quãng đường xa hơn. Nhưng chúng ta đã đạt được điều gì qua việc bôi trơn bánh xe và làm phẳng mặt đường? Đơn giản là ta đã giảm thiểu các ảnh hưởng từ bên ngoài, hay còn gọi là sự ma sát, giữa trục quay với bánh xe và giữa bánh xe với con đường. Đây cũng chính là sự giải thích các sự kiện quan sát được bằng lý thuyết, dù rằng sự giải thích này rất tùy tiện. Chúng ta hãy tiến thêm một bước quan trọng để có được manh mối đích thực.

Hãy tưởng tượng một chiếc xe đi trên một con đường vô cùng bằng phẳng và các bánh xe hoàn toàn không có ma sát. Chiếc xe này sẽ tiếp tục chuyển động mãi mãi vì không có gì có thể

làm nó ngừng lại. Kết luận trên chỉ đúng trong điều kiện lý tưởng mà ta không thể đạt được trong thực tế, bởi vì chúng ta không thể loại bỏ tất cả ảnh hưởng bên ngoài. Tuy thế, thí nghiệm này trong điều kiện lý tưởng đã đưa ra những manh mối nhằm xây dựng nền tảng cho cơ học của sự chuyển động.

Ta hãy so sánh hai phương pháp tiếp cận vấn đề. Theo trực giác, chúng ta luôn nghĩ rằng nếu lực tác động càng mạnh thì vật sẽ di chuyển càng nhanh. Do đó, vận tốc là yếu tố cho biết ngoại lực có tác động lên vật thể hay không. Còn theo manh mối mới của Galileo thì: Nếu một vật thể không bị đẩy, kéo hoặc bất kỳ các tác động khác, hay rõ ràng hơn là không chịu ảnh hưởng của ngoại lực, nó sẽ chuyển động đều, nghĩa là luôn chuyển động theo một đường thẳng với vận tốc không đổi. Do đó, vận tốc không thể xác định được ngoại lực có tác động lên vật thể hay không. Và kết luận của Galileo đã được Newton công bố với tên gọi *định luật quán tính*. Đây là điều đầu tiên về vật lý học mà hầu hết chúng ta phải học thuộc lòng ở trường:

“Một vật luôn giữ nguyên trạng thái đứng yên hoặc chuyển động thẳng đều, trừ khi nó bị một lực tác động làm nó thay đổi trạng thái đang có.”

Cho nên, định luật quán tính không thể được suy diễn trực tiếp từ thực nghiệm, mà phải trải qua quá trình nghiên cứu và suy luận phù hợp với quan sát thực tế. Dù một thí nghiệm trong điều kiện lý tưởng hầu như không tồn tại trong tự nhiên, nhưng nó lại giúp chúng ta hiểu sâu sắc hơn các thí nghiệm trong điều kiện thực tế.

Trong tất cả sự phức tạp và đa dạng của các dạng chuyển động, thí dụ đầu tiên mà chúng ta sẽ đề cập là chuyển động đều, một trường hợp đơn giản nhất vì vật thể không chịu bất kỳ tác động nào của ngoại lực. Tuy nhiên, chúng ta hầu như là không thể thực hiện thí nghiệm cho một chuyển động đều tuyệt đối. Đối với một hòn đá rơi từ đỉnh tháp hay một chiếc xe được đẩy di chuyển trên đường, những chuyển động này không thể nào là chuyển động tuyệt đối đều, vì chúng ta không thể nào loại bỏ hoàn toàn những ảnh hưởng của ngoại lực.

Trong một câu chuyện trinh thám hay, các manh mối hiển nhiên nhất thường dẫn chúng ta đến các hoài nghi sai lầm. Cũng như thế, trong quá trình tìm hiểu quy luật của tự nhiên, một suy luận trực giác hiển nhiên nhất cũng thường dẫn đến những kết luận sai lầm.

Tư duy của loài người đã tạo nên một bức tranh thay đổi không ngừng của vũ trụ. Sự đóng góp của Galileo đã loại bỏ tư duy trực giác và thay thế bởi một tư duy mới. Đây là điều quan trọng nhất trong các khám phá của Galileo.

Nhưng một câu hỏi khác về sự chuyển động lại được đặt ra: Nếu không phải là vận tốc thì yếu tố nào sẽ xác định sự tác động của ngoại lực lên vật thể? Lời giải đáp được tìm ra bởi Galileo và được hoàn thiện bởi Newton, và đó cũng là một manh mối mới trong quá trình tìm hiểu của chúng ta.

Để tìm thấy câu trả lời chính xác, chúng ta cần phải suy nghĩ sâu hơn về trường hợp chiếc xe đẩy chuyển động trên con đường phẳng tuyệt đối. Trong điều kiện lý tưởng, chuyển động của chiếc xe là chuyển động đều vì nó không chịu bất kỳ tác động nào của ngoại lực. Bây giờ chúng ta hãy tưởng tượng đến điều sẽ xảy ra khi một lực đẩy tác động lên chiếc xe theo hướng chuyển động của nó. Dĩ nhiên tốc độ của nó sẽ tăng lên. Thật hiển nhiên nếu lực đẩy tác động theo hướng ngược với chiều di chuyển của chiếc xe sẽ làm nó giảm tốc độ. Trong trường hợp thứ nhất, chiếc xe được gia tốc bởi lực đẩy; trong trường hợp thứ hai, chiếc xe bị giảm tốc, có nghĩa là nó chạy chậm lại. Chúng ta có kết luận ngay lập tức: Tác động của ngoại lực làm thay đổi vận tốc của vật thể. Cho nên không phải vận tốc mà chính là sự thay đổi vận tốc mới là hệ quả của việc đẩy hay kéo. Một lực như thế sẽ làm gia tăng hay suy giảm vận tốc tùy theo hướng tác động cùng chiều hay ngược chiều đối với chuyển động. Galileo hiểu rõ điều này và ghi trong tác phẩm *Two New Sciences* (*Hai lĩnh vực khoa học mới*) của mình:

... vận tốc của một vật thể sẽ không đổi nếu các tác động bên ngoài gây tăng hay giảm tốc bị loại bỏ, điều này chỉ đúng cho các vật thể chuyển động trên một mặt phẳng nằm ngang. Một mặt phẳng dốc xuống sẽ làm vật thể tăng tốc, trong khi một mặt phẳng dốc lên sẽ làm vận tốc giảm đi. Do đó, nếu vật thể chuyển động với vận tốc đều trên một mặt phẳng nằm ngang thì chuyển động này là vĩnh cửu, và vận tốc chuyển động không thể bị suy giảm và càng không thể bị triệt tiêu.

Nhờ việc theo dõi những manh mối đúng đắn, chúng ta có được một hiểu biết sâu sắc hơn về chuyển động. Sự liên hệ giữa *lực* và *sự thay đổi của vận tốc*, chứ không phải mối liên hệ giữa *lực* và *vận tốc* như chúng ta vẫn thường suy nghĩ theo trực giác, chính là nền tảng của cơ học cổ điển đã được Newton sáng lập.

Cho đến nay, chúng ta đã tận dụng được hai khái niệm chính trong cơ học cổ điển là *lực* và *sự thay đổi của vận tốc*. Hai khái niệm này ngày càng được mở rộng và phổ quát cùng với sự phát triển của khoa học. Chính vì thế, chúng ta cần phải tìm hiểu một cách kỹ lưỡng hơn.

Lực là gì? Theo trực giác, chúng ta thường nghĩ là đã hiểu khái niệm này. Nó bắt nguồn từ việc đẩy, ném hay kéo, hay từ cảm giác do cơ bắp gắn liền với các hành động này. Tuy nhiên, sự khái quát của khái niệm *lực* còn vượt xa hơn cả các thí dụ đơn giản này. Chúng ta có thể nghĩ về *lực* dù không cần tưởng tượng về một con ngựa đang kéo xe! Chúng ta muốn nói đến *lực* hút giữa Mặt Trời và Trái Đất, giữa Trái Đất và Mặt Trăng, và những *lực* gây nên thủy triều. Chúng ta muốn nói đến *lực* mà Trái Đất trói buộc chúng ta và các vật xung quanh trong vòng ảnh hưởng của nó, *lực* của gió gây ra sóng biển và làm xao động lá cây. Nhìn chung, bất kỳ khi nào và ở đâu chúng ta quan sát thấy sự thay đổi của vận tốc, ở đấy có tác động của ngoại lực. Newton đã viết trong *Principia (Các nguyên lý)*:

Ngoại lực là sự tác động lên một vật thể và làm thay đổi trạng thái đứng yên hay chuyển động đều theo một đường thẳng của vật thể này.

Lực này chỉ tồn tại ngay vào thời điểm tác động lên vật thể và biến mất khi tác động này không được duy trì nữa. Nhờ vào quán tính – *vis inertiae*,^[3] vật thể giữ vững mọi trạng thái mới mà nó đạt được. Ngoại lực tác động lên vật thể bắt nguồn từ nhiều nguyên nhân khác nhau như sự va chạm, áp suất hay *lực* hướng tâm.

Chuyển động của một hòn đá được thả từ một ngọn tháp không phải là chuyển động đều mà là chuyển động với vận tốc nhanh dần. Chúng ta nói rằng: Ngoại lực đang tác động lên hòn đá theo hướng chuyển động của nó. Hay nói khác đi là Trái Đất đang hút hòn đá. Chúng ta hãy lấy một thí dụ khác. Điều gì sẽ xảy ra khi hòn đá được ném thẳng lên không trung? Vận tốc hòn đá sẽ giảm dần cho đến khi nó đạt đến một điểm cao nhất và bắt đầu rơi xuống đất. Sự giảm tốc trong trường hợp này cũng do cùng một loại ngoại lực đã làm tăng tốc hòn đá đang rơi. Trong trường hợp đầu tiên, *lực* tác động cùng hướng chuyển động và nghịch hướng chuyển động trong trường hợp sau. Do đó, cùng một loại ngoại lực nhưng nó làm tăng hay giảm tốc tùy theo trường hợp hòn đá rơi xuống hay được ném lên.

VECTƠ

Sau khi hiểu được những chuyển động thẳng của chương trên, chúng ta cần phải tiến thêm một bước xa hơn. Nhờ việc loại bỏ những trường hợp phức tạp, chúng ta hiểu rõ hơn các định luật của tự nhiên qua việc phân tích các trường hợp đơn giản nhất. Mặc dù một đường thẳng đơn giản hơn rất nhiều so với một đường cong nhưng chúng ta chưa thể thỏa mãn với hiểu biết duy nhất về chuyển động thẳng. Điểm quan trọng nhất của những chuyển động theo đường cong là việc ứng dụng thành công các định luật cơ học để mô tả chuyển động của Mặt Trăng, Trái Đất và các hành tinh khác. Quá trình chuyển đổi từ chuyển động thẳng sang chuyển động cong mang theo những khó khăn mới. Để nắm vững các định luật cơ bản của cơ học cổ điển, chúng ta cần phải vượt qua những khó khăn này. Các định luật này cũng là manh mối đầu tiên và là điểm xuất phát cho quá trình phát triển của nhiều ngành khoa học.

Bây giờ ta hãy xét một thí nghiệm lý tưởng khác với một hòn bi tròn hoàn hảo lăn đều với vận tốc không đổi trên một mặt bàn vô cùng phẳng. Vận tốc của viên bi sẽ thay đổi khi ta tác động một lực đẩy lên nó, hay nói cách khác, dưới tác động của một ngoại lực. Giả sử hướng của lực đẩy không trùng với hướng chuyển động của viên bi, như trong trường hợp chiếc xe đẩy, mà theo một hướng hoàn toàn khác, ví dụ như hướng vuông góc với hướng chuyển động của viên bi. Điều gì sẽ xảy ra đối với viên bi này?

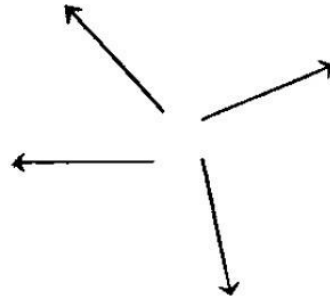
Chúng ta phân biệt được ba giai đoạn trong chuyển động của viên bi: Chuyển động ban đầu, chuyển động dưới tác động của lực đẩy và chuyển động khi không còn lực đẩy. Khi xét các giai đoạn này theo định luật quán tính, các vận tốc tại thời điểm trước và sau tác động của lực đẩy là vận tốc đều. Nhưng trong trường hợp này, ta nhận thấy sự khác biệt giữa chuyển động trước và sau thời điểm tác động của lực đẩy: Hướng chuyển động bị thay đổi. Hướng chuyển động ban đầu của viên bi và hướng của lực đẩy vuông góc với nhau. Do đó, hướng chuyển động cuối cùng của viên bi không theo một trong hai hướng này mà nằm ở giữa, gần với hướng của lực đẩy nếu lực đẩy khá mạnh và viên bi có vận tốc ban đầu nhỏ, hoặc gần với hướng di chuyển ban đầu hơn nếu lực đẩy tương đối yếu và viên bi có vận tốc ban đầu lớn. Dựa theo định luật quán tính, chúng ta đi đến một kết luận mới: Nhìn chung, tác dụng của ngoại lực không chỉ làm thay đổi vận tốc mà còn làm thay đổi cả hướng di chuyển của vật thể. Khi hiểu điều này, chúng ta sẵn sàng cho việc đưa khái niệm vectơ vào vật lý học.

Chúng ta có thể vẫn sử dụng phương pháp suy luận không phức tạp với điểm xuất phát là định luật quán tính của Galileo. Cho đến nay, chúng ta vẫn chưa thể sử dụng triệt để các hệ quả của định luật này để tìm lời giải đáp cho những manh mối rối bời của các dạng chuyển động khác nhau.

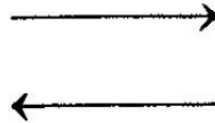
Xét hai viên bi chuyển động theo hai hướng khác nhau trên một mặt bàn bằng phẳng. Để việc hình dung được dễ dàng hơn, ta có thể giả sử hai viên bi chuyển động theo hai hướng vuông góc nhau. Do không chịu tác động của ngoại lực, cả hai viên bi sẽ chuyển động thẳng đều. Nếu chúng ta làm cả hai viên bi di chuyển những đoạn đường bằng nhau trong cùng một khoảng thời gian bằng nhau, có nghĩa là với cùng một tốc độ, liệu rằng hai viên bi có cùng vận tốc hay không? Câu trả lời là có nhưng cũng có thể là không. Thông thường nếu hai chiếc xe hơi đang di chuyển và cả hai đồng hồ hiển thị tốc độ cùng chỉ vị trí 50 km/h, chúng ta thường nghĩ rằng chúng có cùng tốc độ và cùng vận tốc, bất kể hướng di chuyển của chúng. Tuy nhiên, khoa học đã phải tạo ra cho chính nó một ngôn ngữ riêng, những khái niệm riêng để thích hợp với sự đòi hỏi của chính nó. Ta cũng cần hiểu rằng những khái niệm khoa học thường được bắt nguồn từ những khái niệm của ngôn ngữ trong cuộc sống hằng ngày, nhưng với một hướng phát triển hoàn toàn khác biệt. Chúng dần được thay đổi nhằm loại bỏ sự mơ hồ trong ngôn ngữ thông thường và đạt được sự chính xác để có thể áp dụng vào tư duy khoa học.

Theo quan điểm của nhà vật lý, tư duy khoa học sẽ chính xác hơn khi ta nói rằng hai viên bi chuyển động theo hai hướng khác nhau thì có vận tốc khác nhau. Ví dụ như bốn chiếc xe hơi cùng chạy theo những con đường khác nhau thì theo quy ước chung, vận tốc của chúng là khác nhau. Sự khác biệt giữa *tốc độ* (không định hướng) và *vận tốc* (có định hướng) là minh chứng cho thấy vật lý học bắt đầu dùng các khái niệm trong đời sống thường ngày rồi biến đổi nó nhằm tạo điều kiện thuận lợi cho sự phát triển xa hơn của khoa học.

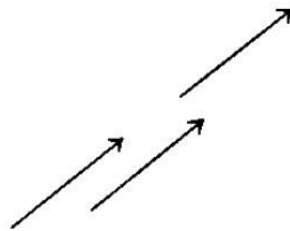
Khi đo lường vật nào đó, chúng ta thường biểu diễn kết quả đo bằng một con số theo sau là một đơn vị nào đó. Thí dụ như chiều dài của cây gậy có thể là 1,20 m; một vật nào đó có thể nặng 3,75 kg; một khoảng thời gian có thể bao gồm nhiều phút hoặc nhiều giây. Trong mỗi trường hợp trên, kết quả đo đặc đều được diễn tả bằng một con số. Tuy nhiên, một con số không đủ để diễn tả các khái niệm vật lý. Nhận thức này là một bước tiến vô cùng quan trọng trong sự phát triển của nghiên cứu khoa học. Do đó, khi nói về vận tốc thì ta phải nói về hướng di chuyển và một con số để biểu diễn độ lớn của vận tốc. Và đại lượng biểu thị cùng lúc phương hướng và độ lớn được gọi là vector, thường được ký hiệu bởi một mũi tên. Như thế, vận tốc có thể được diễn tả bằng một mũi tên, hay ngắn gọn hơn là bằng một vector có chiều dài biểu thị cho tốc độ và hướng mũi tên biểu thị cho hướng chuyển động của vật thể.



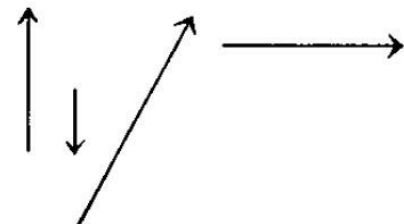
Nếu bốn chiếc xe hơi rời giao lộ với cùng một tốc độ 50 km/h thì vận tốc của chúng có thể được biểu diễn bằng bốn mũi tên có cùng độ dài. Vì chiều dài của các mũi tên trong hình là 2,5 cm nên ta có tỷ lệ 2,5 cm ứng với độ lớn 50 km/h. Như thế, bất cứ vận tốc nào đều có thể được mô tả bởi một vector và ngược lại khi biết tỷ lệ này, ta có thể xác định vận tốc từ biểu đồ vector. Nếu hai chiếc xe hơi gặp nhau trên xa lộ và đồng hồ tốc độ của chúng cùng chỉ 50 km/h, vận tốc của chúng được biểu diễn bởi hai vector có chiều dài bằng nhau nhưng theo hai hướng ngược nhau.



Cùng nguyên lý trên, những mũi tên chỉ các hướng ra vào thành phố của xe điện ngầm phải có hai hướng đối nghịch nhau. Tuy nhiên, với cách mô tả như trên thì *tất cả* các xe điện ra khỏi thành phố từ các trạm khác nhau trong thành phố hay chạy trên những đường ray khác nhau với cùng một tốc độ và cùng một vận tốc đều có thể được miêu tả bởi *một vector duy nhất*. Vector này không thể xác định một cách chính xác xe điện sẽ đi qua những trạm nào, xe điện sẽ dừng tại trạm nào, hay nó sẽ chạy trên đường ray nào trên những đường ray song song. Nói cách khác, theo quy ước chung, tất cả các vector được vẽ trong hình dưới đây được xem là như nhau. Chúng có cùng độ dài, có thể nằm trên cùng một đường thẳng hay trên những đường song song với nhau, có đầu mũi tên chỉ về cùng một hướng.

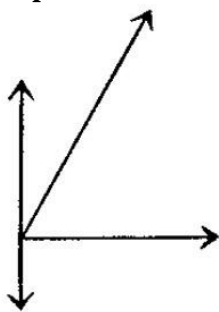


Hình kế tiếp biểu diễn những vector khác nhau vì chúng khác nhau về chiều dài, về hướng hoặc cả hai.

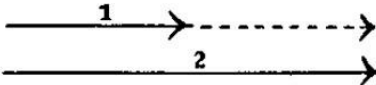


Nhưng nếu bốn vector này được vẽ theo một cách khác như trong hình sau, chúng sẽ cắt nhau

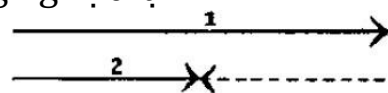
tại một điểm chung được gọi là điểm xuất phát.



Vì các điểm xuất phát trong hình trên là tùy ý, các vector này có thể mô tả vận tốc của bốn chiếc xe hơi cùng xuất phát từ một giao lộ hay xuất phát từ bất kỳ nơi nào với tốc độ và phương hướng được mô tả như trong hình vẽ. Từ giờ trở đi, ta có thể sử dụng vector để mô tả chuyển động thẳng đều của chiếc xe đẩy trong chương trước. Vận tốc của nó sẽ gia tăng khi chịu một tác động của ngoại lực có cùng hướng với hướng chuyển động của nó.

Ta có thể mô tả điều này bằng hai vector có độ dài khác nhau: Vector  ngắn hơn biểu diễn vận tốc trước thời điểm tác động của ngoại lực, vector dài hơn biểu diễn cho vận tốc sau thời điểm đó. Vector được vẽ bởi các nét đứt có ý nghĩa rất rõ ràng: Mô tả sự thay đổi vận tốc do ảnh hưởng của lực tác động.

Nếu ngoại lực có hướng ngược với chiều di chuyển của chiếc xe đẩy, chiếc xe sẽ chuyển động chậm lại và ta có biểu đồ được vẽ trên hình sau. Tương tự như trên, vector được vẽ bằng các nét đứt cũng biểu thị cho sự thay đổi của vận tốc, nhưng lần này theo hướng ngược lại.



Cho nên, một vector không những biểu thị vận tốc mà còn cho cả sự thay đổi của vận tốc. Ngoại lực lại là nguyên nhân duy nhất làm thay đổi vận tốc của chiếc xe, cho nên ngoại lực, hay ngắn gọn hơn là lực, phải được diễn tả bằng một vector. Do đó, khi mô tả đặc điểm của lực, nếu chỉ nói là ta đã đẩy chiếc xe mạnh như thế nào thì vẫn chưa đủ, mà còn phải cho biết chiếc xe đã được đẩy theo hướng nào. Cho nên lực, cũng giống như vận tốc hay sự thay đổi của vận tốc, cần phải được biểu diễn bằng một vector chứ không phải chỉ bằng một con số. Đến đây, ta có thể kết luận rằng: Ngoại lực là một vector và có hướng cùng với hướng của sự thay đổi vận tốc. Trong hai hình trên, các vector được vẽ bằng những nét đứt biểu thị cùng lúc hướng của lực đẩy và sự thay đổi của vận tốc.

Đến đây, một người hay hoài nghi có thể nghi ngờ việc sử dụng khái niệm vector vì anh ta không thể tìm được những ưu điểm của khái niệm này. Những gì chúng ta làm chỉ là tạo nên một ngôn ngữ xa lạ và phức tạp để mô tả những sự kiện đã biết trong quá khứ. Do đó, chúng ta hiện vẫn chưa thể thuyết phục anh ta rằng sự hoài nghi ấy là sai lầm. Thực ra, điều nghi ngờ này hiện vẫn hoàn toàn có lý. Nhưng chúng ta sẽ thấy được ngôn ngữ xa lạ này sẽ dẫn đến một sự tổng quát hóa quan trọng, trong đó vector giữ vai trò tối cần thiết.

BÍ ẨN CỦA CHUYỂN ĐỘNG

Nếu chúng ta vẫn chỉ tìm hiểu chuyển động theo đường thẳng thì chúng ta khó lòng hiểu được những dạng chuyển động trong tự nhiên. Chúng ta phải xem xét những chuyển động theo đường cong và bước kế tiếp của chúng ta là xác định các định luật chi phối các chuyển động này. Đây là việc không hề dễ dàng. Đối với chuyển động thẳng, các khái niệm về vận tốc, sự thay đổi vận tốc và lực đã tỏ ra rất hữu ích. Nhưng chúng ta chưa biết cách nào để có thể ứng dụng chúng nhằm mô tả các chuyển động theo đường cong. Quả thật chúng ta có thể nghĩ rằng những khái niệm cũ sẽ không còn thích hợp để mô tả tất cả các dạng chuyển động và chúng ta cần phải thiết lập một khái niệm mới. Thế chúng ta nên đi theo lối mòn cũ hay nên đi tìm một con đường mới?

Sự tổng quát hóa một khái niệm nào đó thành một khái niệm tổng quát là phương pháp thường được sử dụng trong khoa học và ta có rất nhiều cách thức để thực hiện điều này. Tuy nhiên, điều kiện tiên quyết cần được đáp ứng là bất kỳ khái niệm tổng quát nào cũng phải quy về khái niệm ban đầu khi các điều kiện ban đầu được đáp ứng đầy đủ.

Chúng ta có thể giải thích điều này một cách tốt nhất bằng việc tổng quát hóa những khái niệm mà chúng ta đã đề cập đến như vận tốc, sự thay đổi vận tốc và lực để tìm cách ứng dụng cho trường hợp chuyển động theo một đường cong. Chính xác hơn, khi nói đến đường cong, chúng ta cũng đã bao gồm cả đường thẳng, vì đường thẳng là một trường hợp đặc biệt và là một thí dụ đơn giản nhất của đường cong. Do vậy, nếu các khái niệm như vận tốc, sự thay đổi vận tốc và lực có thể mô tả được các chuyển động theo đường cong, thì chúng cũng sẽ mô tả được các chuyển động theo đường thẳng. Nhưng kết quả này tuyệt đối không được phủ nhận những kết quả trước đây của chúng ta. Khi một đường cong trở thành một đường thẳng, mọi khái niệm tổng quát phải được quy về giống như trường hợp chuyển động thẳng. Tuy nhiên, điều kiện này không chỉ giới hạn cho sự tổng quát hóa trong một chuẩn mực nào đó, mà hơn thế nữa, nó còn mở ra nhiều phương hướng mới. Lịch sử khoa học đã cho thấy rằng những sự tổng quát hóa đơn giản nhất thường dẫn đến sự thành công và đôi khi cũng dẫn đến sự thất bại. Điều đầu tiên cần làm là phỏng đoán. Trong trường hợp của chúng ta, điều đơn giản nhất là phỏng đoán một phương pháp đúng đắn cho việc tổng quát hóa. Các khái niệm mới tỏ ra rất hiệu quả, giúp chúng ta hiểu được chuyển động của một hòn đá được ném lên không trung cũng như chuyển động của các hành tinh.

Bây giờ chúng ta hãy tìm hiểu ý nghĩa các khái niệm như vận tốc, sự thay đổi vận tốc và lực trong một chuyển động theo đường cong. Hãy bắt đầu với vận tốc. Xét một vật thể vô cùng bé đang di chuyển theo một đường cong theo hướng từ trái sang phải. Trong khoa học, người ta thường đặt tên chung cho những vật thể nhỏ như thế là *hạt* (particle). Điểm đen trên đường cong ứng với vị trí của hạt tại một thời điểm nào đó. Làm sao chúng ta xác định được vận tốc của hạt ứng với thời điểm và vị trí này?



Khám phá của Galileo đã một lần nữa gợi ý cho chúng ta cách thức đưa khái niệm vận tốc vào trường hợp này. Một lần nữa, chúng ta hãy tưởng tượng đến một thí nghiệm lý tưởng. Tác động của ngoại lực làm hạt chuyển động trên đường cong, theo hướng từ trái sang phải. Hãy tưởng tượng vào một thời điểm nào đó và tại vị trí chấm đen, nếu tất cả ngoại lực tác động lên hạt bỗng nhiên biến mất thì chuyển động của hạt sẽ là chuyển động đều, đúng theo định luật quán tính. Trong thực tế, một vật thể chắc chắn không thể hoàn toàn thoát khỏi tác dụng của ngoại lực. Chúng ta chỉ có thể giả định “Điều gì có thể xảy ra nếu...?” và chỉ có thể phán đoán sự đúng đắn của giả định này bằng những kết luận phù hợp với thực nghiệm.

Trong hình vẽ kế tiếp, phỏng đoán về hướng chuyển động đều của hạt được mô tả bằng một vector khi tất cả ngoại lực đều biến mất. Đó là hướng của đường tiếp tuyến. Khi quan sát một hạt đang di chuyển theo đường cong dưới kính hiển vi, người ta thấy đường cong này được

hình thành bởi những đoạn thẳng rất nhỏ, và đường tiếp tuyến chính là đường kéo dài của những đoạn thẳng này. Như thế vector được vẽ trong hình trên nằm trên đường tiếp tuyến và biểu diễn vận tốc của hạt tại thời điểm đó. Độ dài của vector vận tốc biểu thị cho tốc độ (độ lớn của vận tốc), ví dụ như tốc độ của xe hơi được hiển thị trên đồng hồ đo tốc độ của nó.



Thí nghiệm lý tưởng trên tìm cách loại bỏ chuyển động để có thể xác định vector vận tốc. Điều này thật sự không quá quan trọng vì nó chỉ giúp chúng ta hiểu về khái niệm vector và xác định được vector vận tốc của hạt vào một thời điểm nhất định tại một vị trí nhất định.

Hình vẽ tiếp theo mô tả ba vector vận tốc ứng với ba vị trí khác nhau của hạt khi di chuyển theo một đường cong. Trong trường hợp này, các vector không những biểu thị cho hướng chuyển động mà còn biểu thị độ lớn của vận tốc bởi độ dài của mỗi vector. Độ dài này thay đổi khi hạt di chuyển trên đường cong.

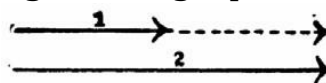


Liệu khái niệm mới về vận tốc có thỏa mãn điều kiện tiên quyết của sự tổng quát hóa hay không? Nghĩa là: Nó có thể được quy về khái niệm quen thuộc khi một đường cong trở thành một đường thẳng? Chắc chắn là thỏa mãn, vì đường tiếp tuyến của một đường thẳng cũng chính là đường thẳng ấy. Vector vận tốc cũng nằm trên đường chuyển động tương tự như trường hợp chiếc xe đẩy chuyển động thẳng hay một viên bi lăn tròn.

Trong bước tiếp theo, chúng ta sẽ trình bày sự thay đổi vận tốc của một hạt chuyển động theo đường cong. Dù có nhiều phương pháp khác nhau nhưng chúng ta sẽ chọn phương pháp đơn giản và tiện lợi nhất. Trong hình vẽ trên, ta có ba vector vận tốc ứng với ba điểm khác nhau trên đường cong. Hai vector đầu tiên có thể được vẽ lại, như trong hình dưới đây, với cùng một điểm xuất phát vì chúng ta đã biết rằng điều này có thể thực hiện được với vector.



Vector được vẽ bởi các nét đứt được gọi là vector của sự thay đổi của vận tốc. Điểm gốc của nó trùng với điểm ngọn của vector (1) và điểm ngọn của nó trùng với điểm ngọn của vector (2). Hiện giờ việc định nghĩa về sự thay đổi vận tốc dường như gương ép và vô nghĩa. Tuy nhiên, điều này sẽ trở nên rõ ràng hơn khi xét trường hợp đặc biệt nhất: Hai vector (1) và (2) có cùng một hướng. Đây cũng là trường hợp chuyển động trên đường thẳng mà chúng ta đã đề cập đến. Nếu cả hai vector có chung một gốc thì vector được vẽ bằng nét đứt sẽ nối hai ngọn của vector và làm hình vẽ sau sẽ đồng nhất với hình vẽ ở trang 32. Khái niệm trước đây đã trở thành trường hợp đặc biệt của khái niệm tổng quát. Nhưng chúng ta phải lưu ý rằng hai vector trên hình đã được vẽ riêng, nếu không chúng sẽ trùng lấp và không thể phân biệt được.



Bây giờ chúng ta sẽ thực hiện bước cuối cùng trong quá trình tổng quát hóa. Đây là bước quan trọng nhất trong mọi phỏng đoán của chúng ta: Xác định mối liên hệ giữa lực và sự thay đổi của vận tốc để từ đó thiết lập những yếu tố cho phép hiểu rõ vấn đề tổng quát của chuyển động.

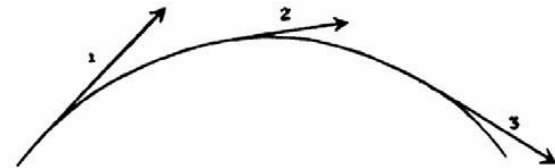
Đối với chuyển động thẳng, lời giải đáp thật đơn giản: Ngoại lực gây ra sự thay đổi vận tốc, vector lực có cùng hướng với sự thay đổi này. Nhưng chúng ta cần phải hiểu như thế nào về một chuyển động theo đường cong? Hoàn toàn như nhau! Sự khác biệt duy nhất đến từ khái niệm “sự thay đổi vận tốc” cần được mở rộng hơn. Các vector nét đứt trong hai hình trên cho ta thấy

rõ ràng: Nếu xác định được vận tốc tại tất cả các điểm trên đường cong, ta có thể suy ra được hướng tác động của lực tại bất kỳ điểm nào. Điều cần làm là vẽ hai vectơ vận tốc tại hai thời điểm rất gần nhau. Do vậy, hai thời điểm này sẽ ứng với hai vị trí rất gần nhau. Chính vectơ nối liền hai ngọn của hai vectơ vận tốc này biểu diễn cho hướng của lực. Nhưng điều thiết yếu của bước cuối cùng này chính là hai vectơ vận tốc chỉ cách nhau một quãng thời gian “rất ngắn.” Nhưng việc định nghĩa một cách chính xác hai từ “rất ngắn” và “rất gần” là điều không hề đơn giản. Quả thật việc phân tích khái niệm này đã dẫn dắt Newton và Leibnitz [\[3a\]](#) phát minh ra *phép tính vi phân*.

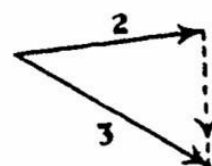
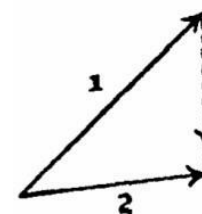
Con đường dẫn đến sự tổng quát hóa những ý tưởng của Galileo rõ ràng thật công phu và mệt mỏi. Dù chúng tôi không thể đề cập đến tất cả những thành quả được rút ra từ hệ quả của nó, nhưng nhìn chung, ý tưởng này đã giải thích một cách đơn giản và thuyết phục những sự kiện mà trước đó rất khó hiểu và rời rạc.

Trong vô số các dạng chuyển động, chúng ta chỉ chọn những trường hợp đơn giản nhất và giải thích chúng với định luật mà chúng ta vừa mới thành lập.

Khi bắn một viên đạn với một cây súng, ném một viên đá theo một góc nghiêng, hay tưới cây với một ống nước, chúng ta đều vẽ nên những đường cong giống nhau, được gọi là đường parabol. Nếu tưởng tượng rằng ta có thể gắn đồng hồ đo tốc độ vào viên đá, ta sẽ có thể vẽ được vectơ vận tốc tại bất kỳ thời điểm nào. Điều này được trình bày trong hình vẽ dưới đây.

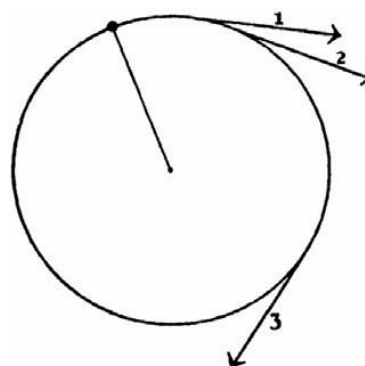


Như những trường hợp trước đây, ta hoàn toàn xác định được hướng của lực tác động lên viên đá, hay chính là sự thay đổi của vận tốc. Nhờ đó, ta biết được lực có phương thẳng đứng và có hướng chỉ xuống đất. Lực này cũng giống với lực tác động vào viên đá được thả rơi từ một ngọn tháp. Mặc dù hướng chuyển động, hay còn gọi là quỹ đạo chuyển động, và các vectơ vận tốc trong hai trường hợp này (của viên đá được ném và viên đá được thả rơi) là hoàn toàn khác nhau, nhưng điều bất biến ở đây là sự thay đổi vận tốc có *cùng một hướng*: Hướng vào tâm Trái Đất.



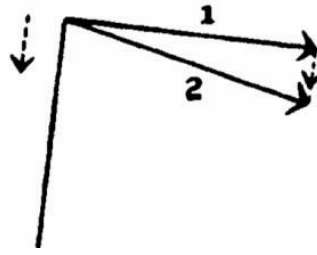
Khi một viên đá được cột vào một đầu dây và được quay trong một mặt phẳng nằm ngang, nó sẽ chuyển động theo quỹ đạo tròn.

Trên biểu đồ vectơ dưới đây, mọi vectơ ứng với chuyển động này sẽ có cùng độ dài nếu viên đá quay với tốc độ đều.



Tuy nhiên, dù vectơ có cùng độ dài nhưng vận tốc của viên đá không phải là vận tốc đều, vì quỹ đạo chuyển động của nó không phải là đường thẳng. Chỉ duy nhất chuyển động thẳng đều mới không cần sự tác động của ngoại lực. Trong trường hợp này, vận tốc chỉ thay đổi về hướng

chứ không thay đổi về độ lớn. Như thế, theo định luật của chuyển động, ta phải có một ngoại lực khác gây nên sự thay đổi hướng của vận tốc. Trong trường hợp này, lực đó là lực tác động giữa viên đá và bàn tay nắm sợi dây. Câu hỏi kế tiếp xuất hiện ngay tức khắc: Lực tác động vào viên đá theo hướng nào? Ta có thể tìm thấy lời giải đáp khi vẽ vector vận tốc tại hai điểm rất gần nhau và sau đó tìm vector thay đổi vận tốc. Vector này hướng vào tâm của vòng tròn, luôn vuông góc với vector vận tốc hay tiếp tuyến của vòng tròn. Nói cách khác là tay của chúng ta đã tác động một lực lên hòn đá thông qua sợi dây.



Một thí dụ tương tự nhưng vô cùng quan trọng là trường hợp Mặt Trăng quay quanh Trái Đất. Trường hợp này có thể được xem là một chuyển động tròn gần đều. Lực tác động có hướng chỉ về phía Trái Đất bởi cùng một nguyên nhân khiến lực trong thí dụ trước hướng về bàn tay. Dù không có sợi dây nào nối Trái Đất với Mặt Trăng nhưng ta có thể tưởng tượng một đường thẳng nối tâm giữa hai vật thể này. Vector lực sẽ nằm trên đường thẳng này và hướng vào tâm của Trái Đất, giống như lực tác động lên viên đá khi nó bị quay trong không khí hay rơi từ ngọn tháp.

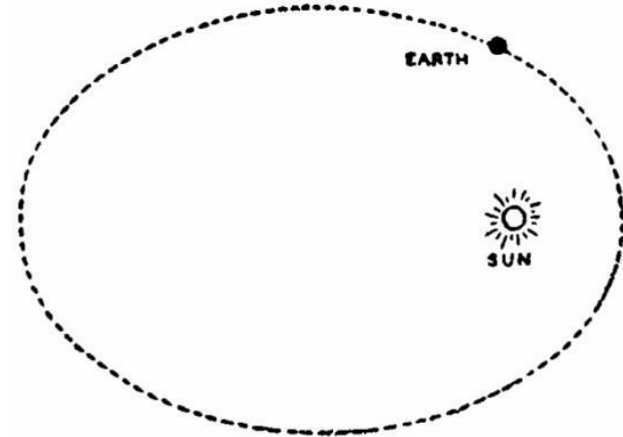
Tất cả những gì liên quan đến chuyển động mà chúng ta đã đề cập đến có thể tóm gọn trong một câu sau: *Lực và sự thay đổi vận tốc là những vector có cùng hướng*. Đây là manh mối đầu tiên để giải quyết các vấn đề về chuyển động, nhưng chắc chắn là không đủ để giải thích một cách triệt để mọi dạng chuyển động quan sát được trong tự nhiên. Sự chuyển đổi từ phương pháp tư duy trực giác của Aristotle sang tư duy khoa học của Galileo đã hình thành một nền tảng quan trọng nhất và mở đường cho sự phát triển tiếp theo của khoa học. Điều chúng ta quan tâm chính là giai đoạn đầu tiên của sự phát triển khoa học qua việc theo dõi những manh mối ban đầu để thấy được rằng một khái niệm mới chỉ có thể được hình thành qua sự đấu tranh gian khổ với các khái niệm vật lý đã được biết đến trước đó. Chúng ta chỉ quan tâm đến những công trình tiên phong của khoa học trong việc mở ra những con đường mới với những bất ngờ không thể đoán trước. Việc thám hiểm trong tư duy khoa học sẽ đem đến những hình ảnh không ngừng biến đổi của vũ trụ. Những bước đi đầu tiên và cơ bản nhất luôn mang tính cách mạng nhất. Tư duy khoa học sáng tạo luôn nhận thấy sự hạn hẹp của các khái niệm cũ và thay thế chúng bằng những khái niệm mới. Sự tiếp tục phát triển trên những con đường khoa học đã được vạch sẵn thực ra không gì hơn là bản chất của sự tiến hóa: Khi tiến đến một bước ngoặt, ta phải chinh phục một lĩnh vực mới. Tuy nhiên, để hiểu được những nguyên nhân và khó khăn buộc ta phải thay đổi các khái niệm quan trọng, chúng ta không những cần phải giải thích được những sự kiện đã được khám phá, mà còn phải hiểu những hệ quả từ những kết luận của chúng.

Một trong những tính chất quan trọng nhất của vật lý hiện đại là những kết luận rút ra từ những manh mối ban đầu phải có đồng thời tính định tính và tính định lượng. Khi quan sát một lần nữa thí dụ về viên đá rơi từ đỉnh tháp, chúng ta đều biết rằng nó sẽ tăng tốc khi rơi. Nhưng chúng ta còn muốn biết cụ thể rằng: Sự tăng tốc này có độ lớn bao nhiêu; làm sao xác định được vận tốc và vị trí của viên đá ở bất kỳ thời điểm nào? Chúng ta luôn mong muốn dự đoán được các sự kiện và xác định bằng thực nghiệm nhằm kiểm chứng tính chính xác của các dự đoán này, có nghĩa là kiểm chứng các giả thiết ban đầu.

Để rút ra những kết luận mang tính định lượng, chúng ta cần sự giúp đỡ của ngôn ngữ toán học. Hầu hết các ý tưởng cơ bản của khoa học thực chất đều đơn giản và có thể được diễn đạt bằng một ngôn ngữ dễ hiểu. Nhưng để có thể suy luận sâu sắc hơn những ý tưởng này, người ta cần phải nghiên cứu bằng một phương pháp tinh tế hơn. Do đó, toán học là công cụ tối quan trọng để có thể rút ra những kết luận và so sánh chúng với thực nghiệm. Nhưng khi chúng ta vẫn chỉ quan tâm đến các ý tưởng cơ bản của vật lý thì việc sử dụng ngôn ngữ toán học là chưa

thật cần thiết. Vì chúng ta chỉ chú trọng việc theo dõi các ý tưởng cơ bản trong quyển sách này, nên chúng ta sẽ hạn chế tiếp xúc với ngôn ngữ toán học và chỉ trích dẫn, không cần chứng minh, một vài kết quả toán học cần thiết cho việc tìm hiểu những manh mối quan trọng phát sinh trong sự phát triển tiếp theo khoa học. Cái giá phải trả khi chúng ta từ bỏ ngôn ngữ toán học là những suy luận ấy sẽ mất đi phần nào tính chính xác của nó, và đôi khi chúng ta sẽ phải trích dẫn một vài kết quả mà không trình bày phương pháp đã sử dụng để đạt được các kết quả này.

Một thí dụ rất quan trọng của sự chuyển động là chuyển động của Trái Đất xung quanh Mặt Trời. Như chúng ta đã biết, quỹ đạo chuyển động của Trái Đất xung quanh Mặt Trời tạo thành một đường cong khép kín và được gọi là hình elip. Khi vẽ biểu đồ các vector của sự thay đổi vận tốc, ta nhận thấy lực tác dụng lên Trái Đất hướng về phía Mặt Trời. Nhưng lượng thông tin này quá ít ỏi cho việc suy đoán vị trí của Trái Đất cũng như vị trí của những hành tinh khác tại bất kỳ thời điểm nào.



Chúng ta còn muốn biết được thời điểm và thời gian sẽ xảy ra hiện tượng nhật thực sắp tới và nhiều sự kiện thiên văn khác nữa. Chúng ta có thể thực hiện được các ước muốn này, nhưng không phải chỉ dựa trên những kiến thức ban đầu là đủ vì điều chúng ta cần không chỉ hướng của lực mà còn cả độ lớn của lực, hay còn gọi là cường độ của lực. Chính Newton đã dựa vào suy luận tuyệt vời của mình và đưa ra một tiên đoán và thiết lập *định luật vạn vật hấp dẫn*: Lực hút giữa hai vật thể bất kỳ chỉ phụ thuộc vào khoảng cách giữa chúng. Lực hút này sẽ giảm dần với khoảng cách. Một cách chính xác là lực hút giảm đi $2 \times 2 = 4$ lần khi khoảng cách tăng gấp hai lần, giảm $3 \times 3 = 9$ lần khi khoảng cách tăng gấp ba lần.

Như thế, chúng ta đã diễn đạt một cách đơn giản sự phụ thuộc của lực hấp dẫn vào khoảng cách giữa các vật thể chuyển động. Đối với tất cả các trường hợp khác, khi lực tác động có những dạng khác như điện, từ... chúng ta cũng sẽ cố gắng biểu diễn chúng bằng một công thức đơn giản. Một công thức như thế chỉ có giá trị khi các kết luận của công thức ấy được kiểm chứng bằng thực nghiệm.

Chỉ với những kiến thức này về lực hấp dẫn thì ta không thể mô tả các chuyển động phức tạp của các hành tinh. Chúng ta đã thấy rằng các vector lực và sự thay đổi vận tốc trong bất cứ quãng thời gian rất ngắn bất kỳ đều có cùng một hướng. Tuy nhiên, chúng ta phải đi cùng với Newton thêm một bước nữa và giả định một mối liên hệ đơn giản giữa chiều dài hai vector. Khi các yếu tố khác đều như nhau, nghĩa là cùng vật thể chuyển động và cùng những thay đổi trong những quãng thời gian như nhau, thì theo Newton, sự thay đổi của vận tốc sẽ tỷ lệ với lực.

Như thế, chúng ta cần thêm hai phỏng đoán nữa là ta có thể đưa ra các kết luận mang tính định lượng cho chuyển động của các hành tinh. Phỏng đoán thứ nhất mang tính tổng quát: Xác định mối liên hệ giữa lực và sự thay đổi của vận tốc. Phỏng đoán thứ hai là một trường hợp rất đặc biệt: Xác định chính xác sự phụ thuộc của một loại lực riêng biệt vào khoảng cách giữa các vật thể. Phỏng đoán đầu tiên là định luật tổng quát về chuyển động của Newton và phỏng đoán thứ hai là định luật vạn vật hấp dẫn. Chúng sẽ cho phép mô tả các dạng chuyển động. Điều này có thể được làm sáng tỏ qua những lý luận khá dài dòng. Giả sử ta có thể xác định được vị trí, vận tốc của một hành tinh bất kỳ tại một thời điểm bất kỳ và lực tác dụng lên hành tinh ấy thì theo định luật Newton, chúng ta sẽ biết được sự thay đổi vận tốc trong một khoảng thời gian

rất ngắn. Khi biết được vận tốc ban đầu và sự thay đổi của nó, chúng ta có thể xác định được vận tốc và vị trí của hành tinh tại thời điểm cuối cùng của khoảng thời gian này. Nếu tiếp tục lặp lại quá trình này, chúng ta có thể vẽ được toàn bộ quỹ đạo chuyển động của hành tinh mà không cần nhờ đến bất kỳ dữ liệu nào từ quá trình quan sát. Theo nguyên tắc, đây chính là phương pháp mà cơ học có thể tiên đoán được quỹ đạo di chuyển của một vật thể. Tuy nhiên, việc sử dụng phương pháp này lại thiếu thực tế vì việc tính toán từng bước một như thế sẽ rất khó khăn và không chính xác. May mắn thay, cách thức trên hoàn toàn không cần thiết vì sự trợ giúp của toán học giúp rút ngắn công việc này và chúng ta có thể diễn tả chính xác sự chuyển động bằng các công thức toán học, tốn ít mực hơn so với khi viết một câu đơn giản trong cuốn sách này. Những kết luận này có thể được công nhận hay bị bác bỏ bằng những quan sát thực tế.

Khi xét chuyển động của một viên đá rơi trong không khí, hay của Mặt Trăng quay theo quỹ đạo của nó, người ta nhận thấy rằng chúng chịu tác động của cùng một loại lực, đó chính là lực hút của Trái Đất lên mọi vật. Và Newton cũng đã nhận thấy rằng các chuyển động của một viên đá đang rơi, của Mặt Trăng hoặc của các hành tinh chỉ là các trường hợp đặc biệt của lực hấp dẫn giữa hai vật bất kỳ. Trong những trường hợp đơn giản, toán học có thể tiên đoán và diễn tả các chuyển động, nhưng đối với những trường hợp phức tạp hơn, như chuyển động đến từ tương tác của rất nhiều vật thể, việc mô tả bằng toán học thật không hề đơn giản, dù rằng về mặt cơ bản là như nhau.

Đến đây, chúng ta tìm được những kết luận bằng cách đi theo những manh mối ban đầu. Những kết luận này đã thể hiện qua chuyển động của một viên đá được ném đi, chuyển động của Mặt Trăng, Trái Đất và các hành tinh.

Quả thật cả hệ thống giả định của chúng ta cần được chứng minh hay bác bỏ bằng thực nghiệm. Không một giả định nào có thể được cô lập để thử nghiệm riêng lẻ. Phương pháp cơ học đã rất thành công trong việc mô tả chuyển động của các hành tinh xung quanh Mặt Trời. Và chúng ta có thể tưởng tượng rằng các phương pháp khác, dựa trên những giả định khác, cũng sẽ rất thành công.

Những khái niệm trong vật lý được bắt nguồn những sáng tạo đầy tự do của trí tuệ con người chứ không chỉ xuất phát từ thế giới bên ngoài như ta thường lầm tưởng. Khi nỗ lực để hiểu rõ hiện thực, chúng ta giống như một người đang cố gắng tìm hiểu hệ cơ học của một chiếc đồng hồ được đóng kín. Anh ta nhìn thấy mặt đồng hồ, chuyển động của các kim đồng hồ và nghe cả tiếng tíc tắc của nó, nhưng lại không được phép mở nó ra. Nếu thông minh, anh ta có thể suy nghĩ và tưởng tượng một bức tranh mô tả toàn bộ hệ thống cơ học bên trong chiếc đồng hồ ứng với những gì mà anh ta đã quan sát. Nhưng anh ta không bao giờ có thể tin chắc rằng đây là bức tranh duy nhất có khả năng giải thích những quan sát của mình. Nhưng một điều chắc chắn rằng anh ta không thể so sánh bức tranh của mình với hệ thống cơ học thật sự của chiếc đồng hồ ấy. Và anh ta càng không thể tưởng tượng được khả năng hay ý nghĩa của sự so sánh này. Nhưng một điều chắc chắn là, khi kiến thức của anh ta sâu rộng hơn, bức tranh về hiện thực sẽ ngày càng đơn giản hơn và giải thích ngày càng rõ ràng hơn những nhận định cảm tính của anh ta. Anh ta có lẽ cũng tin rằng con người đang tiến dần đến một giới hạn lý tưởng của kiến thức, và có thể đặt tên cho giới hạn này là chân lý khách quan.

MANH MỖI CÒN SỐT LẠI

Khi bắt đầu nghiên cứu về cơ học, người ta cảm tưởng rằng mọi vấn đề trong lĩnh vực khoa học này rất đơn giản, rất cơ bản và đã hoàn toàn được giải quyết một cách triệt để. Chưa một ai từng có ý tưởng rằng vẫn còn đây một manh mối vô cùng quan trọng chưa từng được khám phá trong suốt ba trăm năm. Manh mối ấy chính là một trong những khái niệm rất cơ bản của cơ học: *Khối lượng*.

Chúng ta hãy trở lại thí nghiệm lý tưởng và đơn giản với chiếc xe đẩy trên một con đường vô cùng phẳng. Nếu bạn đầu chiếc xe đứng yên, sau khi nhận một cú đẩy, nó sẽ chuyển động đều với một vận tốc nào đó. Giả sử rằng ta có thể lặp lại tác động này một cách tùy ý, có nghĩa là đẩy cùng một chiếc xe với cùng một lực đẩy. Dù chúng ta lặp lại thí nghiệm này bao nhiêu lần thì vận tốc của xe đẩy sẽ luôn như nhau. Nhưng điều gì sẽ xảy ra khi chúng ta thay đổi điều kiện thí nghiệm: Đặt lên chiếc xe đẩy một khối lượng bất kỳ. Vận tốc của xe đẩy chịu tải lúc này sẽ nhỏ hơn vận tốc xe đẩy không tải ban đầu. Điều này dẫn đến kết luận sau: Đối với hai vật thể khác nhau và có cùng vận tốc ban đầu bằng không, chúng sẽ di chuyển với vận tốc khác nhau dưới tác động của cùng một lực. Chúng ta nói rằng vận tốc phụ thuộc vào khối lượng của vật thể, vận tốc sẽ nhỏ hơn nếu khối lượng của vật lớn hơn. Như thế về mặt lý thuyết, ít nhất chúng ta cũng đã biết được làm thế nào để xác định khối lượng của một vật, hay nói chính xác hơn làm thế nào để xác định khối lượng của vật này lớn hơn gấp bao nhiêu lần khối lượng của vật kia. Khi tác động cùng một lực lên hai vật đang đứng yên, nếu vận tốc của vật thể thứ nhất lớn gấp ba lần vận tốc của vật thể thứ hai, chúng ta kết luận rằng khối lượng của vật thể đầu tiên nhỏ hơn ba lần so với khối lượng của vật thể thứ hai. Đây chắc chắn không phải là phương pháp thực tiễn để xác định tỷ lệ khối lượng của hai vật. Dù sao đi nữa, chúng ta cũng có thể tin rằng khi dựa vào định luật quán tính, khối lượng có thể được xác định bằng cách này hay cách khác.

Trong thực tế, người ta sẽ xác định khối lượng bằng cách nào? Dĩ nhiên không phải với cách thức mà chúng ta vừa mô tả. Bất kỳ người nào cũng biết rằng người ta cân một vật để xác định khối lượng của vật ấy.

Chúng ta hãy bàn luận chi tiết hơn về hai cách khác nhau để xác định khối lượng.

Thí nghiệm đầu tiên hoàn toàn không liên quan đến trọng lực hay còn gọi là sức hút của Trái Đất. Sau cú đẩy, chiếc xe chuyển động trên một mặt nằm ngang vô cùng phẳng. Trọng lực làm chiếc xe đứng yên trên mặt phẳng, lực này không đổi và không đóng bất kỳ vai trò nào trong việc xác định khối lượng. Bằng phương pháp cân, chúng ta xác định khối lượng một cách hoàn toàn khác. Chúng ta không thể dùng một cái cân nếu Trái Đất không hút mọi vật, hay nếu trọng lực không hiện hữu. Sự khác biệt giữa hai phương pháp trên là sự hiện diện và sự vắng mặt của trọng lực trong việc xác định khối lượng.

Câu hỏi được đặt ra ở đây là: Nếu xác định tỷ lệ hai khối lượng bằng cả hai cách trên, liệu chúng ta sẽ có cùng một kết quả hay không? Câu hỏi này đã được trả lời một cách rõ ràng bằng thực nghiệm. Các kết quả đo được là hoàn toàn giống nhau! Chúng ta không thể có được kết luận này bằng cách phỏng đoán hay suy luận mà phải dựa vào sự quan sát. Để đơn giản hóa các khái niệm, chúng ta hãy gọi khối lượng được xác định theo cách đầu tiên là *khối lượng quán tính* và theo cách thứ hai là *khối lượng hấp dẫn*. Trên Trái Đất, hai loại khối lượng này thường bằng nhau, nhưng chúng ta vẫn có thể tưởng tượng rằng điều này không nhất thiết phải như thế. Một câu hỏi khác xuất hiện ngay lập tức: Sự đồng nhất giữa hai loại khối lượng có phải hoàn toàn ngẫu nhiên hay nó chứa đựng một ý nghĩa sâu xa nào khác? Theo quan điểm của vật lý cổ điển, sự đồng nhất của hai loại khối lượng này chỉ là ngẫu nhiên và không mang ý nghĩa sâu xa nào. Câu trả lời của vật lý hiện đại lại hoàn toàn trái ngược: Sự đồng nhất của hai loại khối lượng này chứa đựng một ý nghĩa cơ bản trong quá trình hình thành một nền tảng mới dẫn đến sự hiểu biết tự nhiên một cách sâu sắc hơn. Sự đồng nhất của khối lượng quán tính và khối lượng hấp dẫn quả thực là một trong những nền tảng quan trọng nhất để từ đó hình thành nên thuyết tương đối rộng (thuyết tương đối tổng quát).

Một câu chuyện trình thám sẽ kém hấp dẫn nếu các tình tiết lạ thường đều bắt nguồn từ sự ngẫu nhiên. Câu chuyện sẽ thuyết phục người đọc hơn nếu các tình tiết diễn biến theo một trình tự hợp lý. Tương tự như thế, một lý thuyết giải thích được ý nghĩa của sự đồng nhất của khối lượng hấp dẫn và khối lượng quán tính vẫn tốt hơn một lý thuyết khác cho rằng sự đồng nhất này chỉ là ngẫu nhiên, dĩ nhiên với điều kiện là cả hai lý thuyết đều phù hợp với các sự kiện được quan sát.

Vì sự đồng nhất của khối lượng hấp dẫn và khối lượng quán tính là nền tảng để hình thành thuyết tương đối nên ở đây chúng ta cần xem xét vấn đề này một cách kỹ lưỡng hơn. Nhưng những thí nghiệm nào có thể chứng minh một cách thuyết phục rằng cả hai loại khối lượng là như nhau? Câu trả lời nằm trong thí nghiệm trước đây của Galileo: Thả những viên đá có khối lượng khác nhau từ đỉnh một ngọn tháp. Ông đã nhận thấy rằng những viên đá khác nhau lại có thời gian rơi như nhau và quá trình rơi của một vật không phụ thuộc vào khối lượng của nó. Chúng ta cần có thêm những lập luận phức tạp hơn để có thể liên kết các kết quả thực nghiệm tuy đơn giản nhưng vô cùng quan trọng này với sự đồng nhất của hai loại khối lượng quán tính và khối lượng hấp dẫn.

Một vật thể đứng yên sẽ chống lại tác động của một ngoại lực trước khi nó bắt đầu chuyển động và đạt được một vận tốc nào đó. Nó sẽ bắt đầu chuyển động một cách dễ dàng hay khó khăn là tùy thuộc vào khối lượng quán tính của nó. Nếu khối lượng quán tính lớn, vật thể sẽ chống lại sự chuyển động mạnh mẽ hơn so với khi khối lượng quán tính nhỏ. Nếu không cần đến sự chính xác tuyệt đối, ta có thể nói rằng: Sự sẵn sàng của một vật nhằm đáp lại tác động của một ngoại lực phụ thuộc vào khối lượng quán tính của nó. Nếu Trái Đất thật sự hút mọi vật với cùng một lực, vật nào có khối lượng quán tính lớn nhất sẽ rơi chậm nhất. Nhưng điều này lại không đúng với quan sát thực tế vì tất cả vật thể đều rơi nhanh như nhau. Nghĩa là Trái Đất hút các vật khác nhau với những lực khác nhau. Đó đó, Trái Đất sẽ hút một viên đá bằng một lực hấp dẫn mà không cần biết đến khối lượng quán tính của viên đá. Độ lớn của lực hút này sẽ tùy thuộc vào khối lượng hấp dẫn của viên đá. Và viên đá sẽ “đáp ứng” lại bằng một chuyển động nhanh hay chậm tùy thuộc vào khối lượng quán tính của nó. Vì sự “đáp ứng” chuyển động của mọi vật là như nhau – mọi vật đều rơi như nhau nếu xuất phát từ cùng một độ cao – nên ta suy ra rằng khối lượng hấp dẫn và khối lượng quán tính là bằng nhau.

Một nhà vật lý có thể trình bày nhận thức này một cách “mô phạm” hơn: Gia tốc của một vật rơi tỷ lệ thuận với khối lượng hấp dẫn và tỷ lệ nghịch với khối lượng quán tính của nó. Vì mọi vật đều rơi với cùng một gia tốc cố định nên hai loại khối lượng phải bằng nhau.

Trong quyển sách tự nhiên vĩ đại của chúng ta, vẫn chưa có vấn đề nào được giải quyết hoàn toàn triệt để và có hiệu lực mãi mãi. Sau ba trăm năm, chúng ta lại phải quay về vấn đề đầu tiên của chuyển động, kiểm tra lại phương pháp nghiên cứu nhằm tìm ra những điều bị bỏ sót, để từ đó, vẽ nên một bức tranh mới về vũ trụ quanh ta.

NHIỆT CÓ PHẢI LÀ MỘT CHẤT?

Bây giờ chúng ta sẽ bắt đầu với một manh mối mới, một manh mối xuất phát từ lĩnh vực của các hiện tượng nhiệt. Tuy nhiên, khoa học không thể bị chia cắt thành những ngành hoàn toàn riêng biệt và độc lập với nhau. Thật vậy, chúng ta sẽ sớm nhận ra rằng những khái niệm mới được trình bày ở đây sẽ đan dệt với những khái niệm mà chúng ta đã biết và với những khái niệm mà chúng ta sẽ còn gặp gỡ. Thông thường, một ý tưởng chính được phát triển trong một lĩnh vực khoa học nhất định cũng có thể được áp dụng để mô tả các sự kiện khác, gần như hoàn toàn khác biệt về mặt bản chất. Khi đó, một khái niệm nguyên bản thường được thay đổi, vừa để phù hợp với các hiện tượng đã làm phát sinh ra chính khái niệm ấy, vừa để giải thích các hiện tượng mới.

Các khái niệm cơ bản nhất để mô tả hiện tượng nhiệt là *nhiệt* và *nhiệt độ*. Trong lịch sử khoa học, người ta đã cần một thời gian dài đến mức khó tin để có thể phân biệt được hai khái niệm này. Nhưng khi sự phân biệt này được thực hiện, quá trình phát triển khoa học đã tiến bước nhanh chóng. Mặc dù các khái niệm này hiện vô cùng quen thuộc với bất kỳ ai trong chúng ta, nhưng chúng ta hãy thử khảo sát thật kỹ lưỡng và đi sâu vào sự khác biệt của chúng.

Xúc giác giúp chúng ta phân biệt rõ ràng khi vật này nóng hay vật kia lạnh. Nhưng điều này chỉ có thể cho ta biết về định tính chứ không đủ để mô tả về định lượng và đôi khi cũng rất mơ hồ. Chúng ta hãy thực hiện một thí nghiệm đơn giản sau: Lần lượt nhúng tay vào ba chậu riêng biệt chứa nước lạnh, nước ấm và nước nóng. Khi nhúng một tay vào chậu nước lạnh và tay còn lại vào chậu nước nóng, chúng ta nhận thấy chậu thứ nhất lạnh và chậu thứ hai nóng. Nhưng nếu ngay sau đó, chúng ta nhúng cùng lúc hai bàn tay vào chậu nước ấm, mỗi bàn tay sẽ cho chúng ta những cảm giác trái ngược nhau. Tương tự như vậy, khi một người Eskimo và một cư dân đến từ vùng xích đạo gặp nhau ở New York trong một ngày mùa xuân, họ sẽ có ý kiến hoàn toàn khác nhau về độ nóng lạnh của khí hậu ở đây. Đáp án của vấn đề này đã được giải quyết bằng một cái nhiệt kế, một loại dụng cụ mà hình thức sơ khởi nhất đã được thiết kế bởi Galileo. Chúng ta lại một lần nữa gặp lại Galileo. Khi sử dụng công cụ này, chúng ta phải chấp nhận một số giả thiết hiển nhiên được chấp nhận trong vật lý. Chúng ta hãy trích dẫn vài dòng từ các bài giảng cách đây hơn 150 năm của Black,^[4] người đã đóng góp rất nhiều công sức vào việc loại bỏ các khó khăn liên quan đến hai khái niệm nhiệt và nhiệt độ:

Qua việc sử dụng công cụ này chúng ta đã học được rằng: Khi lấy 1000 hay nhiều hơn thế nữa các loại vật chất khác nhau như kim loại, gỗ, đá, muối, lông chim, len, nước và nhiều loại chất lỏng khác nhau, ngay cả khi vào lúc ban đầu, các vật này có những *nhiệt* (heats) khác nhau; khi để chung các vật này trong một căn phòng không có lửa và không có ánh sáng Mặt Trời, nhiệt sẽ chuyển từ những vật nóng hơn sang những vật lạnh hơn. Quá trình này có thể kéo dài vài giờ nhưng cũng có thể là vài ngày. Sau quãng thời gian này, khi lần lượt dùng nhiệt kế để đo các vật này, nhiệt kế sẽ chỉ một cách chính xác cùng một độ cho tất cả các vật.

Theo thuật ngữ ngày nay, chữ *nhiệt* được in nghiêng trong bài giảng trên nên được thay thế bằng chữ *nhiệt độ*.

Khi quan sát một nhiệt kế vừa được lấy ra từ miệng của một bệnh nhân, một người bác sĩ có thể sẽ suy luận như sau: “Nhiệt kế biểu thị nhiệt độ của chính nó bằng chiều dài của cột thủy ngân bên trong nhiệt kế. Giả sử rằng sự gia tăng chiều cao của cột thủy ngân tỷ lệ thuận với sự gia tăng nhiệt độ. Vì nhiệt kế đã tiếp xúc với bệnh nhân trong vài phút nên nhiệt kế và bệnh nhân có cùng nhiệt độ. Như thế tôi kết luận rằng nhiệt độ của bệnh nhân là nhiệt độ được chỉ thị trên nhiệt kế.” Trong khi đó, người bác sĩ ấy cũng có thể đo nhiệt độ một cách máy móc, nhưng ông ta cũng đã áp dụng nguyên lý trên mà không cần biết về nó.

Nhưng liệu rằng nhiệt kế có chứa cùng một nhiệt lượng như cơ thể của bệnh nhân hay không? Dĩ nhiên là không. Nhưng nếu ta cho rằng hai vật thể có nhiệt lượng giống nhau chỉ vì nhiệt độ của chúng bằng nhau, ta hãy nghe nhận xét của Black:

... với một quan điểm đơn giản. Chúng ta thường nhầm lẫn giữa nhiệt lượng của vật thể với độ lớn, hay còn gọi là cường độ, của nhiệt trong các vật thể này. Hai khái niệm này hoàn toàn khác nhau và cần được phân biệt rõ ràng, nhất là khi ta nghĩ đến sự phân bố của nhiệt.

Chúng ta có thể phân biệt hai khái niệm này bằng một thí nghiệm vô cùng đơn giản. Khi đun sôi một lít nước trên một ngọn lửa, lượng nước này sẽ cần một khoảng thời gian để thay đổi từ nhiệt độ phòng đến nhiệt độ sôi. Với cùng ngọn lửa ấy và cùng một bình chứa, ta cần một khoảng thời gian dài hơn rất nhiều để đun sôi mười hai lít nước. Chúng ta hãy giải thích sự kiện này bằng cách cho rằng cần phải có thêm một “cái gì đó.” Chúng ta đặt tên là “cái gì đó *nhiệt*”.

Thí nghiệm tiếp theo sẽ dẫn chúng ta đến một khái niệm quan trọng của nhiệt là *nhiệt dung riêng*: Đun một lít nước và một lít thủy ngân với cùng một cách hoàn toàn giống nhau. Thủy ngân sẽ nóng nhanh hơn nước, điều này cho thấy ta cần ít “nhiệt” hơn để tăng thêm cho thủy ngân một độ. Cụ thể hơn, để làm tăng nhiệt độ của các chất khác nhau có cùng một khối lượng như nước, thủy ngân, sắt, đồng, gỗ... từ 10°C lên 11°C , chúng ta cần những lượng “nhiệt” khác nhau. Chúng ta nói rằng mỗi chất có đều có một *nhiệt dung* của riêng nó hay còn gọi là *nhiệt dung riêng*.

Một khi đã biết được khái niệm của nhiệt, chúng ta có thể tìm hiểu rõ hơn bản chất của nó. Chúng ta hãy xét hai vật, một nóng, một lạnh hay nói một cách chính xác hơn, một vật có nhiệt độ cao hơn vật kia. Chúng ta để chúng tiếp xúc với nhau và loại bỏ mọi ảnh hưởng bên ngoài. Chúng ta biết rằng cuối cùng chúng sẽ có cùng một nhiệt độ. Nhưng quá trình này diễn ra như thế nào? Điều gì đã xảy ra giữa thời điểm chúng bắt đầu tiếp xúc cho đến khi chúng có nhiệt độ bằng nhau? Chính câu hỏi này đã gợi cho ta một hình ảnh rằng nhiệt “chảy” từ vật này sang vật khác, tương tự với hình ảnh nước chảy từ chỗ cao đến chỗ thấp. Dù thô sơ nhưng việc so sánh này dường như phù hợp với nhiều sự kiện:

Nước — Nhiệt
Mức nước cao — Nhiệt độ cao
Mức nước thấp — Nhiệt độ thấp

Dòng chảy sẽ tiếp diễn cho đến khi hai mức này, hay chính xác hơn là hai nhiệt độ, bằng nhau. Ý tưởng đơn giản này có thể trở nên hữu ích bằng những khảo sát mang tính định lượng. Khi hòa tan một lượng nước vào một lượng cồn, nếu biết được khối lượng và nhiệt độ của mỗi chất, nhiệt dung riêng của chúng cho phép tiên đoán nhiệt độ cuối cùng của hỗn hợp. Ngược lại, nếu biết nhiệt độ cuối cùng của hỗn hợp, chúng ta có thể tìm được tỷ lệ của hai nhiệt dung riêng bằng vài phép tính đơn giản.

Chúng ta thấy rằng khái niệm nhiệt ở đây rất giống với các khái niệm vật lý khác. Như thế, ta có thể nghĩ rằng nhiệt là một loại vật chất tương tự như khối lượng trong cơ học. “Số lượng” của nó có thể thay đổi hoặc giữ nguyên, tương tự như một số tiền được cất giữ trong két sắt hay được đem đi tiêu xài. Số tiền trong tủ sắt sẽ giữ nguyên khi tủ sắt vẫn còn khóa kín, cũng giống như khối lượng và nhiệt lượng được đặt trong hộp kín cách ly với môi trường bên ngoài. Ta có thể xem dạng hộp kín này như một chiếc bình thủy lý tưởng. Hơn nữa, trong một hệ cô lập, tổng khối lượng của vật chất luôn không đổi dù có xảy ra bất kỳ biến đổi hóa học nào. Tương tự như thế, nhiệt trong một hệ cô lập sẽ được bảo toàn dù nó “chảy” từ vật này sang vật khác. Ngay cả trong trường hợp nhiệt không được dùng để nâng cao nhiệt độ một vật thể, thí dụ như nó được dùng để làm tan chảy nước đá hay làm bay hơi nước, chúng ta vẫn có thể nghĩ rằng nhiệt là một chất vì chúng ta vẫn thu được nhiệt trở lại khi làm đông nước hay làm ngưng tụ hơi nước. Trước đây, người ta thường gọi các nhiệt này là ẩn nhiệt bay hơi và ẩn nhiệt nóng chảy. Những tên gọi này đều bắt nguồn từ hình ảnh nhiệt là chất. Tương tự như nhiệt, ẩn nhiệt chỉ tạm thời được cất giấu vào một nơi an toàn, giống như việc ta cất tiền trong tủ sắt nhưng vẫn có thể lấy số tiền ấy nếu ta biết mật mã của tủ sắt.

Nhưng chắc chắn rằng nhiệt không phải là một chất như những vật chất có khối lượng mà ta biết. Người ta xác định khối lượng vật chất bằng phương pháp cân, nhưng với nhiệt thì bằng cách nào? Không lẽ mảnh sắt nóng đỏ sẽ nặng hơn so với khi nó đông lạnh? Thực nghiệm cho ta thấy điều này không đúng. Nếu nhiệt vẫn được coi là một chất thì nó là loại vật chất “không trọng lượng.” Trước đây, “chất-nhiệt” (thường được gọi là caloric) là thành viên đầu tiên trong đại gia đình các chất không trọng lượng. Sau này chúng ta sẽ có dịp theo dõi lịch sử gia đình này cũng như sự hình thành và tan rã của nó. Tạm thời chúng ta ghi nhận sự ra đời loại chất đặc biệt này.

Mục đích của bất cứ lý thuyết vật lý nào là tìm cách giải thích càng nhiều hiện tượng càng tốt. Một lý thuyết vẫn luôn đúng khi nó vẫn còn giải thích được các sự kiện được khám phá trong tự nhiên. Chúng ta đã thấy rằng lý thuyết về chất đã giải thích được nhiều hiện tượng của nhiệt. Tuy nhiên, chúng ta sẽ sớm thấy rằng, đây lại là một nhận thức sai lệch, vì nhiệt không thể được coi là chất dù chỉ là chất không có trọng lượng. Điều này sẽ trở nên dễ dàng hơn nếu chúng ta quay lại với vài thí nghiệm đơn giản từ thuở sơ khai của nền văn minh nhân loại.

Chúng ta thường xem chất là một thứ không thể được tạo ra hay bị hủy diệt. Nhưng người nguyên thủy đã biết nhóm lửa bằng lượng nhiệt sinh ra từ sự cọ xát. Chúng ta cũng không cần phải điếm qua tất cả các thí dụ tương tự. Tuy nhiên, trong tất cả các trường hợp này, lý thuyết về chất khó có thể giải thích hiện tượng tạo nhiệt bằng sự cọ xát. Quả thật, một người bệnh vực cho lý thuyết này có thể tưởng tượng ra những luận chứng sau để giải thích hiện tượng này: "Với lý thuyết chất, người ta có thể giải thích rõ ràng về sự tạo nhiệt. Hãy lấy một thí dụ đơn giản: Cọ xát hai thanh gỗ với nhau. Sự cọ xát này sẽ làm ảnh hưởng và thay đổi tính chất của gỗ. Rất có thể rằng tính chất của gỗ bị biến đổi bằng cách nào đó làm một lượng nhiệt không đổi có thể gia tăng nhiệt độ của các thanh gỗ này. Quá trình đó có thể xảy ra bằng một cách nào đó và ta chỉ có thể nhận thấy kết quả cuối cùng là sự gia tăng của nhiệt độ. Có thể sự cọ xát chỉ làm thay đổi nhiệt dung riêng của gỗ chứ tổng số lượng nhiệt trong gỗ vẫn không hề thay đổi."

Đến đây, cuộc thảo luận sẽ trở nên vô nghĩa nếu tiếp tục tranh cãi với người bệnh vực cho lý thuyết chất của nhiệt. Chỉ có thực nghiệm là giải pháp duy nhất để đưa ra kết luận đúng đắn. Giả sử ta có hai thanh gỗ giống hệt nhau và nhiệt độ của chúng được thay đổi như nhau bằng hai cách khác nhau, thí dụ một thanh do cọ xát và một thanh do tiếp xúc với một vật nóng. Nếu hai thanh gỗ có cùng nhiệt dung riêng tại nhiệt độ vừa đạt được, cả lý thuyết chất trở nên vô giá trị và sụp đổ. Có rất nhiều phương pháp đơn giản để xác định nhiệt dung riêng và kết quả thực nghiệm ấy sẽ quyết định vận mệnh của lý thuyết này. Các thí nghiệm có khả năng phán quyết sự tồn vong của một lý thuyết rất thường thấy trong lịch sử vật lý học và được gọi là *experimentum crucis* – thí nghiệm mấu chốt. Khi tìm hiểu về một hiện tượng bất kỳ, tính mấu chốt của một thí nghiệm chỉ được thể hiện qua cách đặt vấn đề, lý thuyết sẽ phân xét về hiện tượng có thể được thử thách qua thí nghiệm này. Ví dụ điển hình chính là thí nghiệm mấu chốt xác định nhiệt dung riêng của hai vật giống nhau khi đã đạt tới cùng một nhiệt độ nhất định bằng cách cọ xát và truyền nhiệt. Thí nghiệm này đã được thực hiện bởi Rumford^[5] cách đây khoảng 150 năm và đã chấm dứt sự tồn tại của lý thuyết chất của nhiệt.

Trích dẫn từ ghi chép của Rumford mô tả quá trình diễn biến như sau:

Trong đời sống thường ngày, chúng ta có rất nhiều cơ hội để tiếp xúc và quan sát các hiện tượng lạ thường nhất trong tự nhiên. Và những thí nghiệm mang tính triết lý to lớn lại thường được thực hiện bằng những phương tiện đơn giản và ít tốn kém, ví dụ như các máy móc cơ khí được dùng trong nghề thủ công hay trong việc sản xuất.

Tôi thường có rất nhiều cơ hội để thực hiện những quan sát này và luôn tin chắc rằng thói quen quan sát mọi việc, dù là bình thường nhất trong cuộc sống thường ngày, luôn đem đến những nghi ngờ hữu ích cho việc nghiên cứu và phát triển, còn hơn cả sự trầm tư mặc tưởng của các nhà triết học vào những giờ nhất định trong ngày...

Cách đây không lâu, khi giám sát việc khoan nòng súng trong xưởng chế tạo máy tại kho vũ khí quân sự ở Munich, tôi vô cùng ngạc nhiên với lượng nhiệt sinh ra trong một thời gian rất ngắn trên nòng súng bằng đồng thau trong quá trình gia công. Nhưng các mảnh dăm bào kim loại văng ra từ lưỡi khoan còn nóng hơn nữa (tôi nhận thấy chúng nóng hơn cả nước sôi...).

Nhiệt thật sự phát sinh từ đâu trong quá trình gia công nòng súng? Có phải do chính dăm bào kim loại khi được lưỡi khoan tách ra khỏi khối kim loại?

Nếu đúng như thế thì theo học thuyết mới về ẩn nhiệt và chất nhiệt, dung lượng nhiệt không chỉ thay đổi, mà sự thay đổi phải rất lớn để có thể giải thích được lượng nhiệt được sinh ra.

Nhưng sự thay đổi như thế không hề xảy ra. Quá trình thí nghiệm được mô tả như sau: Lấy từ cùng một khối kim loại một lượng dăm bào có được khi khoan nòng súng và một lá kim loại được tách ra bởi một cái cưa sắt. Sau khi nâng nhiệt độ của hai lượng kim loại này lên bằng nhau (nhiệt độ của nước sôi), tôi đặt chúng vào hai lượng nước riêng biệt có cùng thể tích và cùng nhiệt độ (15,3°C). Tôi nhận thấy nhiệt độ của khối nước chứa dăm bào không cao hơn

và cũng không thấp hơn nhiệt độ của khối nước chứa lá kim loại.

Cuối cùng Rumford đi đến kết luận:

Như thế qua việc lập luận về vấn đề này, chúng ta không được bỏ qua sự kiện rất đáng chú ý, đó là nguồn nhiệt được tạo ra từ sự ma sát trong thí nghiệm này rõ ràng là vô tận!

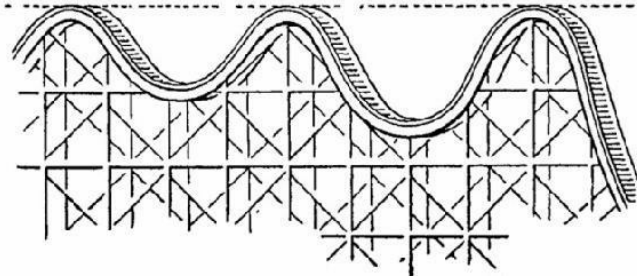
Ta cũng không cần nói thêm về tính phi lý khi một thứ gì đó, có thể cung cấp cho các vật hay một hệ thống vật thể bị cách ly một cách *vô tận*, có thể là vật chất được. Đối với tôi, thật vô cùng khó khăn hay đúng hơn là gần như không thể đưa ra bất kỳ những ý tưởng rõ ràng nào về thứ được sinh ra và truyền đi với cùng một cách thức như *nhiệt* đã được sinh ra và truyền đi trong thí nghiệm này, trừ khi nó chính là SỰ CHUYỂN ĐỘNG.

Như vậy chúng ta đi đến sự sụp đổ của lý thuyết cũ về nhiệt, hay chính xác hơn, chúng ta nhận thấy rằng lý thuyết về chất không thể giải thích được hiện tượng truyền nhiệt. Như Rumford đã gợi ý, chúng ta cần phải một lần nữa tìm kiếm một manh mối mới. Để thực hiện được điều này, chúng ta hãy tạm gác lại vấn đề về nhiệt và quay về với cơ học.

TÀU LƯỢN SIÊU TỐC

Chúng ta hãy mô tả chuyển động của một chiếc tàu lượn siêu tốc, một trò chơi cảm giác mạnh rất phổ biến. Tàu lượn được đưa lên điểm cao nhất của đường ray và sau đó được thả ra. Do ảnh hưởng của trọng lực, toa tàu bắt đầu lăn bánh xuống dốc, rồi sau đó chạy lên xuống theo những đường cong kỳ thú, làm hành khách thót tim khi tàu lượn bất ngờ thay đổi vận tốc. Các tàu lượn siêu tốc luôn bắt đầu di chuyển tại điểm cao nhất của nó, và không bao giờ có thể đạt lại độ cao này trong suốt quá trình di chuyển. Việc mô tả hoàn toàn quỹ đạo chuyển động này là vô cùng phức tạp. Trước hết, ta có các vấn đề về mặt cơ học: Sự thay đổi vận tốc và vị trí theo thời gian. Mặt khác, sự ma sát tạo ra nhiệt trên đường ray và các bánh xe. Lý do duy nhất cho việc chia cắt quá trình vật lý này thành hai khía cạnh khác nhau là để ta có thể sử dụng các khái niệm đã đề cập trước đây. Sự chia cắt này dẫn đến một thí nghiệm lý tưởng về một quá trình vật lý chỉ chứa đựng duy nhất yếu tố cơ học. Chúng ta chỉ có thể tưởng tượng chứ không thể thực hiện được thí nghiệm này.

Trong thí nghiệm lý tưởng này, chúng ta có thể tưởng tượng rằng một người kỹ sư có thể loại bỏ hoàn toàn sự ma sát luôn hiện hữu trong quá trình chuyển động. Anh ta quyết định ứng dụng những khám phá của mình để xây dựng một hệ thống tàu lượn siêu tốc cho chính mình. Chiếc tàu lượn chạy lên xuống từ điểm bắt đầu của nó, ví dụ như cách mặt đất 30 m. Sau nhiều thử nghiệm, anh ta khám phá rằng phải tuân theo một quy tắc rất đơn giản: Ta có thể xây dựng đường ray có bất kỳ hình dạng nào, miễn sao không có điểm nào trên đường ray cao hơn điểm xuất phát. Nếu tàu lượn chạy một cách tự do từ điểm đầu tiên đến điểm cuối cùng của đường ray, nó sẽ đạt đến chiều cao 30 m bao nhiêu lần cũng được, nhưng không bao giờ vượt quá giới hạn này. Trong thực tế, do sự ma sát, chiếc xe không bao giờ đạt đến chiều cao ban đầu trên một đường ray, nhưng người kỹ sư giả định của chúng ta không cần biết đến điều này.

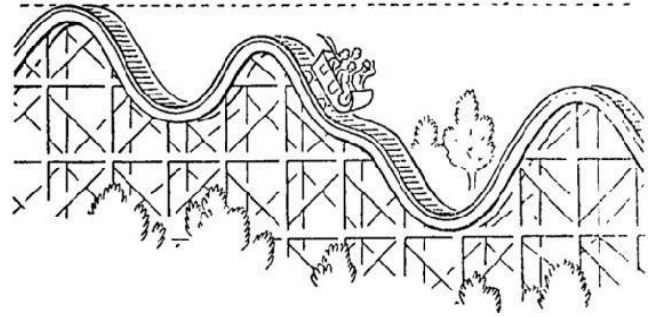


Chúng ta hãy theo dõi chuyển động của chiếc tàu lượn lý tưởng chuyển động trên đường ray lý tưởng ngay khi nó bắt đầu lăn bánh sau điểm xuất phát. Trong quá trình di chuyển, khoảng cách giữa tàu lượn và mặt đất được rút ngắn lại, nhưng vận tốc của nó lại gia tăng. Điều này làm chúng ta nhớ lại một câu nào đó trong bài học sinh ngữ: “Tôi không có cây bút chì nào, nhưng anh có sáu quả cam.” Tuy nhiên, câu nói này không hoàn toàn vô nghĩa. Dù không có sự liên hệ nào giữa việc tôi không có cây bút chì và anh có sáu quả cam, nhưng ta quả thật có sự liên hệ giữa khoảng cách của chiếc tàu với mặt đất và tốc độ của nó. Chúng ta có thể tính được tốc độ của chiếc tàu tại bất kỳ thời điểm nào nếu biết khoảng cách giữa nó và mặt đất. Tuy nhiên, chúng ta sẽ bỏ qua điểm này vì tính định lượng của vận tốc chỉ có thể được diễn tả tốt nhất bằng các công thức toán học.

Tại điểm cao nhất của đường ray, toa tàu có vận tốc bằng không và cách mặt đất 30 m. Khi đến điểm thấp nhất sát mặt đất, nó có vận tốc lớn nhất. Điều này có thể được diễn đạt bằng những thuật ngữ khác. Ở điểm cao nhất, tàu lượn chỉ có *thế năng* nhưng không có *động năng* hay còn gọi là năng lượng của sự chuyển động. Ở điểm sát với mặt đất, tàu lượn có động năng lớn nhất và không còn giữ một thế năng nào. Ở những vị trí giữa hai điểm này, nơi mà chiếc tàu có một vận tốc nào đó và một độ cao nào đó, nó có cả *thế năng* lẫn *động năng*. Thế năng gia tăng theo độ cao so với mặt đất, trong khi động năng gia tăng với vận tốc. Các nguyên tắc cơ học đủ để giải thích các hình thái chuyển động này.

Nếu mô tả bằng toán học, ta sẽ có hai biểu thức về năng lượng, mỗi biểu thức có thể thay đổi nhưng tổng của chúng luôn không đổi. Do vậy chúng ta có thể mô tả một cách chặt chẽ và chính xác sự phụ thuộc của thế năng vào vị trí và động năng vào vận tốc. Việc đặt tên cho hai khái niệm này dĩ nhiên là tùy ý, không bó buộc và hoàn toàn vì mục đích tiện lợi. Tổng số hai

đại lượng này được gọi là hằng số chuyển động. Năng lượng toàn phần, động năng cộng với thế năng, có thể được so sánh như giá trị của một số tiền bất kỳ luôn không đổi, nhưng người ta có thể liên tục chuyển đổi nó từ một loại tiền tệ này sang loại tiền tệ khác, ví như từ đô la Mỹ sang đồng bảng Anh và ngược lại, tùy theo tỷ giá hối đoái.



Trên thực tế, đối với một chiếc tàu lượn, sự ma sát sẽ cản trở nó đạt lại độ cao tại điểm xuất phát, nhưng ta vẫn có sự chuyển đổi liên tục giữa động năng và thế năng. Tuy nhiên, tổng của chúng không còn được giữ nguyên mà ngày càng giảm dần. Bây giờ, chúng ta cần tiến thêm một bước quan trọng và dũng cảm hơn để tìm ra mối liên hệ giữa cơ học và nhiệt của chuyển động. Về sau chúng ta sẽ thấy được tầm quan trọng của những hệ quả và sự tổng quát hóa của bước tiến này.

Chúng ta cần chú ý rằng ngoài động năng và thế năng, ta hiện có thêm nhiệt được tạo ra từ sự ma sát. Có phải nhiệt tương ứng với sự giảm sút cơ năng, nghĩa là thế năng và động năng? Ta có thể đưa ra một phỏng đoán mới: Nếu nhiệt được coi là một dạng của năng lượng, có lẽ tổng số năng lượng của cả ba loại năng lượng nhiệt, thế năng và cơ năng luôn không đổi. Không phải chỉ duy nhất nhiệt mà là nhiệt và các hình thái năng lượng khác hợp thành một loại chất không thể bị hủy diệt. Điều này cũng giống như một người phải trả tiền huê hồng bằng đồng quan Pháp khi muốn chuyển đổi đô la thành bảng Anh. Nếu tính luôn số tiền huê hồng này, tổng số tiền đô la, bảng Anh và đồng quan Pháp được giữ cố định theo tỷ giá hối đoái nào đó.

Sự tiến bộ của khoa học đã phá bỏ khái niệm chất của nhiệt. Chúng ta cố gắng tạo ra một chất mới, đó là năng lượng và nhiệt là một hình thái của nó.

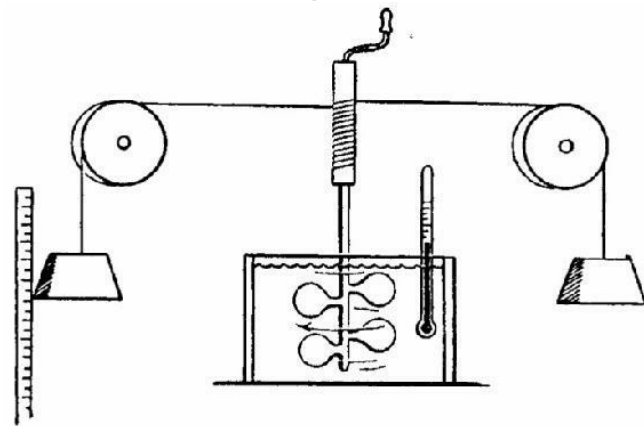
TỶ LỆ TRAO ĐỔI

Cách đây khoảng một trăm năm, Mayer^[6] đã dự đoán một manh mối mới dẫn đến khái niệm xem nhiệt như một dạng năng lượng và sau đó Joule^[7] đã khẳng định điều này bằng thực nghiệm. Có một điều trùng hợp lạ lùng là hầu hết các công trình cơ bản về bản chất của nhiệt đều được hoàn thiện bởi những nhà vật lý nghiệp dư. Những người này hầu như coi vật lý chỉ là sở thích riêng của họ. Đó là Black, một người Scotland uyên bác; Mayer, một bác sĩ người Đức và Bá tước Rumford, một nhà thám hiểm nổi tiếng người Mỹ. Rumford sau này sống ở Âu châu và giữ chức Bộ trưởng Chiến tranh của Bavaria (ngày nay là một bang phía nam của CHLB Đức – ND). Và Joule, một nhà ủ bia người Anh, trong thời gian rảnh rỗi, ông ta đã thực hiện những thí nghiệm quan trọng nhất về sự bảo toàn năng lượng.

Bằng thực nghiệm, Joule đã kiểm chứng được sự phỏng đoán cho rằng nhiệt là một dạng năng lượng và đã xác định được tỷ lệ trao đổi. Thật là đáng công để chúng ta tìm hiểu những kết quả mà Joule đã đạt được.

Tổng động năng và thế năng của một hệ hợp thành *cơ năng* của hệ đó. Đối với trường hợp tàu lượn siêu tốc, chúng ta hãy thử giả định rằng một phần cơ năng sẽ biến đổi thành nhiệt năng. Nếu điều này là đúng thì trong trường hợp này và trong các quá trình vật lý tương tự khác, ta phải xác định được rõ ràng *tỷ số trao đổi* của hai dạng năng lượng này. Đây là một câu hỏi nghiêm túc về tính định lượng, nhưng một lượng cơ năng biết trước có thể chuyển thành một lượng nhiệt năng xác định là một sự kiện vô cùng quan trọng. Chúng ta muốn biết giá trị của tỷ số trao đổi năng lượng, hay nói cách khác, chúng ta sẽ nhận được bao nhiêu nhiệt năng từ một lượng cơ năng đã dùng.

Việc xác định tỷ số này là mục đích nghiên cứu của Joule. Nguyên lý của hệ thống thí nghiệm của ông ta rất giống nguyên lý hoạt động của một chiếc đồng hồ trọng lượng. Chiếc đồng hồ này được lên dây cót bằng cách tăng độ cao của hai quả cân để làm tăng thế năng của cả hệ thống. Nếu đồng hồ không chịu bất kỳ tác động nào khác, hệ thống này có thể được coi như một hệ kín. Khi quả cân từ từ rơi xuống thì đồng hồ sẽ hoạt động. Khi hai quả cân này rơi đến vị trí thấp nhất thì đồng hồ sẽ dừng lại. Điều gì đã xảy ra với năng lượng? Thế năng của hai quả cân đã chuyển thành cơ năng của hệ thống cơ học và tiêu tán dần dưới dạng nhiệt.



Với một cải tiến khéo léo về hoạt động của hệ thống này, Joule đã đo được lượng nhiệt mất đi và xác định được tỷ lệ trao đổi năng lượng. Trong thiết bị của ông, hai quả cân được thiết kế để làm quay các cánh quạt đặt chìm trong nước. Thế năng của quả cân đã biến đổi thành động năng của các bộ phận chuyển động, sau đó động năng này lại chuyển thành nhiệt năng và làm gia tăng nhiệt độ của nước. Joule đã đo lường sự thay đổi nhiệt này và từ nhiệt dung riêng của nước đã biết, ông đã tìm được lượng nhiệt năng bị nước hấp thụ. Ông tóm tắt những kết quả của những thí nghiệm như sau:

1. Lượng nhiệt được tạo ra do sự ma sát của các vật thể dù là chất rắn hay chất lỏng luôn tỷ lệ với lượng năng lượng đã dùng.
2. Lượng nhiệt cần thiết để gia tăng nhiệt độ của một cân Anh (453,6 g) nước (cân trong chân không và có nhiệt độ trong khoảng từ 55°F đến 60°F (13°C đến 16°C)) lên 1°F (0,56°C)

tương đương với sự mất mát năng lượng cơ học khi một vật nặng 772 cân Anh (khoảng 350 kg) rơi từ độ cao một bộ Anh (30,48 cm).

Nói một cách khác, thế năng của một vật nặng 772 cân Anh được nâng lên cách mặt đất một bộ Anh tương đương với lượng nhiệt cần thiết để nâng nhiệt độ của 453,6 g nước từ 55°F lên 56°F. Những thí nghiệm sau đó đã đưa ra những kết quả chính xác hơn, nhưng một cách cơ bản, *đương lượng cơ học của nhiệt* đã được Joule tìm ra trong công trình tiên phong của mình.

Một khi điều quan trọng nhất đã được giải quyết, sự phát triển kế tiếp sẽ xảy ra nhanh chóng. Người ta sớm hiểu rằng cơ năng và nhiệt năng cũng chỉ là hai trong số nhiều dạng năng lượng. Bất kỳ hình thái nào nếu có thể được biến đổi thành cơ năng hoặc nhiệt năng, đều là một dạng năng lượng. Bức xạ đến từ Mặt Trời cũng là năng lượng vì một phần bức xạ này được biến đổi thành nhiệt năng làm nóng Trái Đất. Một dòng điện cũng có năng lượng vì nó làm nóng dây điện hay làm quay các bánh xe trong các động cơ. Than đá chứa đựng hóa năng và phóng thích nhiệt năng khi bị đốt cháy. Trong tất cả các sự kiện trong tự nhiên, dạng năng lượng này sẽ chuyển đổi sang dạng năng lượng khác và luôn tuân theo một tỷ lệ biến đổi xác định. Trong một hệ kín được cách ly với mọi ảnh hưởng bên ngoài, năng lượng sẽ được bảo toàn và đóng một vai trò như là một loại vật chất. Do đó, tổng số tất cả các dạng năng lượng trong một hệ kín là bất biến, dù cho lượng của từng loại có thể luôn thay đổi. Nếu xem vũ trụ như là một hệ kín, chúng ta có thể hãnh diện tuyên bố với các nhà vật lý ở thế kỷ thứ 19 rằng tổng năng lượng của vũ trụ là không đổi, không có thành phần nào của nó được sinh ra hay bị hủy diệt.

Như thế chúng ta có hai khái niệm về chất đó là *vật chất* và *năng lượng*. Cả hai khái niệm này đều tuân các định luật bảo toàn: Một hệ cô lập không thể có sự thay đổi về khối lượng cũng như về tổng số năng lượng. Vật chất có trọng lượng nhưng năng lượng thì không. Do đó chúng ta có hai khái niệm khác nhau và hai định luật bảo toàn. Chúng ta có nên tiếp tục tìm hiểu kỹ hơn nữa các ý tưởng này hay không? Hãy bức tranh có vẻ vững chắc này sẽ trở nên lu mờ dưới chân lý của những phát triển về sau? Đúng thế! Sự thay đổi sau này của hai khái niệm vật chất và năng lượng sẽ liên hệ trực tiếp đến thuyết tương đối. Chúng ta sẽ trở lại điểm này.

BỐI CẢNH TRIẾT HỌC

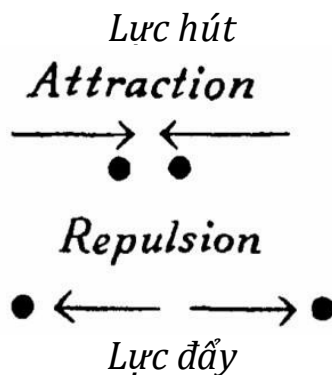
Những kết quả nghiên cứu khoa học thường gây nên những thay đổi bắt buộc trong quan điểm triết học của một số vấn đề khi sự mở rộng của những chính những vấn đề này lại vượt khỏi khuôn khổ giới hạn bởi khoa học. Mục đích của khoa học là gì? Người ta muốn gì ở một lý thuyết cố gắng mô tả các hiện tượng tự nhiên? Dù các câu hỏi này không thuộc lĩnh vực vật lý nhưng chúng vẫn liên quan chặt chẽ đến vật lý, vì khoa học tự nhiên hình thành một cơ sở mà từ đó phát sinh ra các câu hỏi này. Các kết quả nghiên cứu khoa học phải chứa đựng sự tổng quát hóa mang tính triết học. Nhưng một khi được hình thành và công nhận rộng rãi, sự tổng quát hóa mang tính triết học thường sẽ ảnh hưởng sâu rộng đến sự phát triển của tư duy khoa học bằng một trong những khả năng của quá trình này. Một tư duy mới nếu thành công trong việc thay đổi tư duy đã được thừa nhận thì nó thường đem đến những phát triển bất ngờ, hoàn toàn mới và trở thành cội nguồn cho những quan điểm triết học mới. Những nhận xét này sẽ vẫn còn mơ hồ và vô nghĩa cho đến khi chúng được minh họa bằng một vài thí dụ trong lịch sử vật lý học.

Bây giờ, chúng ta sẽ cố gắng tìm hiểu lại những quan điểm triết học đầu tiên được đưa ra vì mục đích khoa học. Trước đây, các tư tưởng này ảnh hưởng vô cùng mạnh mẽ đến sự phát triển của vật lý học. Nhưng trong khoảng một trăm năm gần đây, chúng đã bị loại bỏ bởi các bằng chứng mới, các sự kiện mới và các lý thuyết mới. Sự diễn biến của những tư tưởng này đã hình thành một bối cảnh mới cho khoa học.

Trong lịch sử khoa học, từ thời triết học Hy Lạp cho đến nền vật lý hiện đại, người ta luôn tìm cách đơn giản hóa các hiện tượng phức tạp trong tự nhiên thành các ý tưởng và các mối liên hệ cơ bản và đơn giản nhất. Đây là nguyên tắc nền tảng của toàn bộ nền triết học tự nhiên. Điều này đã được diễn tả ngay trong công trình của những nhà khoa học theo thuyết nguyên tử cổ xưa. Cách đây 2300 năm, Democritus^[8] đã viết:

Thông thường ngọt là ngọt, đắng là đắng, nóng là nóng, lạnh là lạnh, màu sắc là màu sắc. Nhưng sự thật chỉ có các nguyên tử và khoảng trống. Có nghĩa là sự nhận thức bằng các giác quan được chúng ta cho là thật và thông thường chúng được coi là thật, nhưng thật sự thì chúng không là gì hết. Chỉ có các nguyên tử và khoảng trống là thật.

Tàn tích của tư tưởng này trong triết học cổ đại không gì hơn là một thuyết lý được bịa đặt bởi trí tưởng tượng. Người Hy Lạp thời ấy không biết rằng những quy luật tự nhiên luôn liên kết chặt chẽ những sự kiện tiếp diễn liên tục với nhau. Một nền khoa học có sự liên kết chặt chẽ giữa lý thuyết và thực nghiệm chỉ thật sự bắt đầu từ các công trình của Galileo. Chúng ta đã hiểu được các quy luật của chuyển động từ những manh mối ban đầu. Trong suốt 200 năm nghiên cứu khoa học, lực và vật chất là những khái niệm nền tảng cho mọi nỗ lực trong việc tìm hiểu tự nhiên. Ta không thể nói đến lực mà không nói đến vật chất hay ngược lại, vì sự hiện hữu của vật chất cũng chính là nguồn gốc của lực thông qua các tác động của nó đến vật chất khác.



Chúng ta hãy xét một thí dụ đơn giản nhất: Hai hạt và những lực tương tác giữa chúng. Lực mà chúng ta dễ tưởng tượng đến nhất là lực hút và lực đẩy. Trong cả hai trường hợp, vector lực nằm trên đường thẳng nối liền hai chất điểm vật chất. Để đơn giản hóa vấn đề, chúng ta chỉ nghĩ đến hai hạt hút hay đẩy lẫn nhau. Trong thực tế, mọi giả thuyết về hướng tác động của lực đều dẫn đến một hình ảnh vô cùng phức tạp. Liệu chúng ta cũng có thể đặt một giả thuyết đơn

giản như trường hợp chiều dài của vectơ lực? Ngay cả khi chúng ta cố tránh các giả thuyết thật đặc biệt, chúng ta vẫn có thể phát biểu như sau: Lực tương tác giữa hai hạt bất kỳ tương tự như lực hấp dẫn và chỉ phụ thuộc duy nhất vào khoảng cách giữa hai hạt này. Phát biểu này tỏ ra đủ đơn giản. Chúng ta còn có thể tưởng tượng đến những lực khác còn phức tạp hơn nhiều, những lực này không chỉ phụ thuộc vào khoảng cách mà còn phụ thuộc vào vận tốc của hai hạt. Chỉ với những khái niệm cơ bản là vật chất và lực, chúng ta khó lòng đòi hỏi những giả thuyết đơn giản hơn cả giả thuyết về các lực tác động nằm trên đường thẳng nối liền các hạt và có cường độ chỉ phụ thuộc vào khoảng cách. Nhưng liệu chúng ta có thể diễn tả tất cả hiện tượng vật lý chỉ với duy nhất một loại lực này?

Cơ học đã đạt được những thành tựu vĩ đại trong mọi lĩnh vực, sự thành công ấn tượng trong thiên văn học cùng với sự ứng dụng các ý tưởng cơ học cho các vấn đề hoàn toàn khác biệt và không thuộc lĩnh vực cơ học. Tất cả những thành tựu này đều góp phần cho sự tin tưởng rằng cơ học có thể diễn tả mọi hiện tượng trong tự nhiên với những lực đơn giản giữa các vật thể cố định. Và điều này đã tồn tại, dù có ý thức hay vô ý thức, trong hầu hết các sáng tạo khoa học trong suốt 200 năm sau thời đại Galileo. Vào giữa thế kỷ 19, Helmholtz^[9] đã phát biểu điều này một cách rõ ràng như sau:

Cuối cùng, chúng ta thấy rằng vấn đề của khoa học vật lý về vật chất là quy các hiện tượng tự nhiên về những lực hút và lực đẩy không đối, có cường độ chỉ phụ thuộc vào khoảng cách. Giải đáp vấn đề này là điều kiện để đạt đến sự hiểu biết hoàn toàn về tự nhiên.

Như thế, đối với Helmholtz thì con đường phát triển của khoa học đã được xác định và đi theo một tiến trình duy nhất:

Công việc sẽ kết thúc khi ta hoàn thành việc quy các hiện tượng tự nhiên về các lực đơn giản, và chứng minh rằng chỉ có sự đơn giản này là khả năng duy nhất.

Tư duy này thật ngờ nghệch và buồn nản đối với một nhà vật lý học ở thế kỷ 20. Điều này làm ông ta hoảng sợ khi nghĩ rằng chuyến phiêu lưu vĩ đại của mình trong nghiên cứu khoa học sẽ sớm chấm dứt một cách buồn chán khi bức tranh kém hào hứng dù chính xác của vũ trụ đã được thiết lập mãi mãi.

Mặc dù các thuyết lý này có thể quy các hiện tượng tự nhiên về các lực đơn giản, nhưng chi tiết về sự phụ thuộc của chúng vào khoảng cách vẫn là một câu hỏi còn bị bỏ ngỏ. Cũng có thể là sự phụ thuộc này không giống nhau đối với những hiện tượng khác nhau. Việc cần thiết phải đưa ra nhiều loại lực khác nhau cho các sự kiện khác nhau chắc chắn sẽ không thỏa mãn các quan điểm triết học. Tuy nhiên, điều mà ta gọi là *tư duy cơ học* được thiết lập bởi Helmholtz có vai trò rất quan trọng trong thời đại này. Sự phát triển của thuyết động lực học của vật chất là một trong những thành tựu vĩ đại nhất chịu ảnh hưởng trực tiếp từ tư duy cơ học.

Trước khi đề cập đến sự suy tàn của tư duy cơ học, chúng ta hãy tạm chấp nhận quan điểm của các nhà vật lý trong thế kỷ 19 và hãy tìm cách rút ra các kết luận từ những bức tranh của họ về thế giới xung quanh.

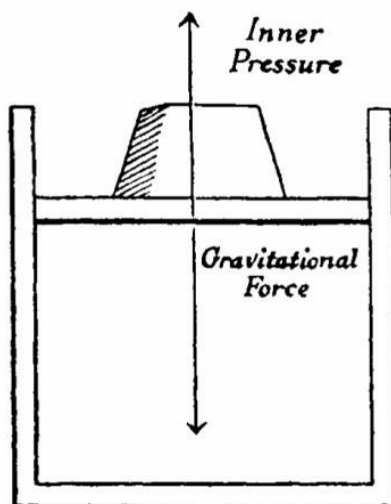
THUYẾT ĐỘNG HỌC CỦA VẬT CHẤT

Liệu chúng ta có thể giải thích những hiện tượng liên quan đến nhiệt bằng những chuyển động của các hạt tương tác với nhau bởi lực đơn giản? Một bình kín chứa hơi (khí), chẳng hạn như không khí, ở một nhiệt độ nhất định. Khi được đun nóng, chúng ta làm gia tăng nhiệt độ của bình hơi và do vậy năng lượng cũng phải tăng theo. Nhưng đâu là mối liên hệ nhiệt và sự chuyển động? Ý tưởng về mối liên hệ này đã được gợi ý cùng lúc bởi tư duy cơ học, điều mà chúng ta vừa tạm chấp nhận, và hiện tượng sinh nhiệt do sự chuyển động. Nhiệt phải là năng lượng cơ học nếu tất cả các hiện tượng đều có nguồn gốc từ cơ học. Mục đích của *thuyết động lực học* là diễn đạt khái niệm về vật chất theo quan điểm này. Theo lý thuyết này, mỗi loại khí nào đều tồn tại dưới dạng một tập hợp các hạt có số lượng vô cùng lớn được gọi là những *phân tử*, chúng chuyển động khắp mọi hướng, va chạm với nhau và đổi hướng chuyển động sau mỗi lần va chạm. Một hệ hạt chuyển động như thế buộc các phân tử phải có vận tốc trung bình, giống như tuổi thọ trung bình hoặc tài sản trung bình trong xã hội loài người. Điều này dẫn đến khái niệm động năng trung bình cho mỗi hạt khí. Bình hơi càng nóng thì động năng trung bình càng lớn. Như thế, bức tranh này cho thấy nhiệt không phải là một dạng năng lượng khác với cơ năng mà chính là động năng của các phân tử đang chuyển động. Ở một nhiệt độ xác định, mỗi phân tử đều có một động năng trung bình tương ứng với nhiệt độ đó. Đây quả thật không phải là một giả thuyết mơ hồ. Một khi chúng ta muốn hoàn thành bức tranh chặt chẽ về tư duy cơ học của vật chất, chúng ta bắt buộc phải xem động năng của một phân tử khí cũng chính là thước đo nhiệt độ của chính chất khí này.

Lý thuyết này không chỉ là một trò chơi của trí tưởng tượng. Chúng ta sẽ thấy rằng thuyết động năng của chất khí không chỉ đúng qua các thí nghiệm mà nó còn thật sự dẫn dắt chúng ta đến một tầm nhìn sâu sắc hơn về những sự kiện diễn ra trong tự nhiên. Chúng ta sẽ lấy vài thí dụ để hiểu rõ điều này.

Xét một cái bình được ngăn cách với môi trường bên ngoài bởi một pittông có thể chuyển động lên xuống một cách tự do. Trong bình có chứa một lượng không khí nhất định và được giữ ở một nhiệt độ ổn định. Pittông sẽ dịch chuyển lên trên nếu ta lấy quả cân đi và dịch chuyển xuống dưới nếu ta thêm một quả cân khác. Nghĩa là để pittông dịch chuyển xuống, ta cần có một lực lớn hơn áp suất của khí bên trong bình. Thuyết động lực học sẽ giải thích như thế nào về cơ chế của áp suất bên trong bình khí? Khí trong bình được cấu thành bởi một số cực kỳ lớn các hạt luôn di chuyển khắp mọi hướng. Chúng bắn phá vào vách bình và mặt pittông rồi dội ngược lại như một quả banh bị ném vào tường. Chính sự bắn phá liên tục của một số vô cùng lớn các hạt đã chống lại ảnh hưởng của lực hấp dẫn của Trái Đất trên pittông và quả cân, và giữ pittông ở một vị trí nhất định. Một mặt chúng ta có lực hấp dẫn không đổi và hướng về mặt đất, mặt khác chúng ta lại có vô số sự va chạm lộn xộn của các phân tử khí vào mặt pittông. Để pittông ở vị trí cân bằng thì hiệu ứng thật của tất cả các lực hỗn độn tí hon này trên mặt pittông phải cân bằng với lực hấp dẫn tác dụng quả cân và pittông.

Áp suất trong bình



Trọng lực

Nếu bây giờ pittông được ấn xuống và thể tích của khí trong bình bị nén nhỏ lại. Chúng ta giả sử rằng thể tích khí chỉ còn một nửa so với thể tích ban đầu và nhiệt độ của khí vẫn được giữ nguyên. Chúng ta chờ đợi điều gì xảy ra nếu dựa theo thuyết động lực học? Tác động của lực bắn phá của các hạt khí sẽ mạnh hơn hay yếu hơn trước? Các hạt khí trong bình bây giờ bị nén lại gần nhau hơn. Dù rằng động năng trung bình của các hạt này vẫn như trước, nhưng chúng sẽ bắn phá mặt pittông thường xuyên hơn nên tổng số lực của tất cả các cú va chạm này phải lớn hơn. Qua bức tranh này, thuyết động lực học đã cho thấy rằng để giữ pittông ở vị trí thấp hơn ta cần một khối lượng lớn hơn. Thí nghiệm đơn giản này thực rất quen thuộc, nhưng dự đoán này đã được phát xuất một cách logic từ tư duy động lực học của vật chất.

Bây giờ chúng ta hãy thay đổi một chút thí nghiệm này. Dùng hai bình có cùng thể tích để chứa hai chất khí khác nhau, thí dụ như khí hydro (H) và khí nitrogen (N). Cả hai bình chứa khí có cùng nhiệt độ. Giả sử cả hai bình được đẩy kín với hai pittông giống hệt nhau, và các quả cân được đặt trên pittông có khối lượng như nhau. Ta nói ngắn gọn hơn là cả hai chất khí có cùng thể tích, nhiệt độ và áp suất. Vì nhiệt độ là như nhau nên, theo thuyết động lực học, động năng trung bình của từng hạt ở cả hai bình đều như nhau. Vì áp suất như nhau nên các tổng lực bắn phá của hạt lên hai pittông là như nhau. Tính trung bình, mỗi hạt đều có cùng năng lượng và cả hai bình chứa khí có thể tích giống nhau. Do vậy *số hạt khí, hay chính xác hơn là số phân tử khí, ở hai bình phải bằng nhau* dù hai chất khí này khác nhau về mặt hóa học. Kết quả này rất quan trọng vì nó giúp chúng ta hiểu rõ hơn rất nhiều hiện tượng hóa học khác. Điều này có nghĩa là số phân tử khí trong một thể tích cho trước, ở nhiệt độ và áp suất nhất định là như nhau đối với tất cả loại khí, chứ không chỉ riêng biệt cho một loại khí nào. Điều đáng kinh ngạc nhất là thuyết động lực học không chỉ tiên đoán sự tồn tại của con số phổ quát mà còn giúp chúng ta tính được con số này! Chúng ta sẽ nhanh chóng trở lại điều này.

Thuyết động lực học của vật chất không những đã định tính các định luật của các chất khí mà còn định lượng được chúng thông qua các thực nghiệm. Hơn thế nữa, giá trị của lý thuyết này không chỉ giới hạn cho các chất khí, dù rằng đây là lĩnh vực mà nó đã đạt những thành tựu rất vĩ đại.

Một chất khí có thể bị hóa lỏng bằng cách giảm nhiệt độ của nó. Nhiệt độ của vật chất giảm đi đồng nghĩa với sự suy giảm của động năng trung bình của hạt trong khối vật chất này. Như thế, động năng trung bình của các phân tử trong chất lỏng chắc chắn sẽ nhỏ hơn động năng trung bình của các phân tử trong chất khí tương ứng.

Chuyển động Brown là công bố đầu tiên đầy ấn tượng về chuyển động của các hạt trong một chất lỏng. Một hiện tượng đáng kinh ngạc kỳ lạ mà người ta không thể giải thích được nếu không có sự giúp đỡ của thuyết động lực học của vật chất. Ông Brown, một nhà thực vật học, là người đầu tiên đã quan sát hiện tượng này và mãi đến 80 năm sau, vào đầu thế kỷ 19, hiện tượng này mới được giải thích rõ ràng. Dụng cụ duy nhất để quan sát chuyển động Brown là một kính hiển vi rất bình thường.

Brown đã thí nghiệm trên nhiều loại phấn hoa, và đã viết rằng:

Những hạt hay hột nhỏ có kích cỡ từ bốn đến năm phần nghìn của một inch (1 inch=2,54 cm).

Sau đó, ông ta viết tiếp:

Trong khi quan sát hình dạng của các hạt này được ngâm trong nước, tôi quan sát thấy nhiều hạt trong số này rõ ràng đang chuyển động... Sau nhiều lần quan sát, tôi chắc chắn rằng nguyên nhân của những chuyển động này không đến từ các dòng chảy trong chất lỏng, cũng không phải do sự bốc hơi từ từ của nước mà do chính bản thân của các hạt này.

Những gì mà Brown đã thấy qua kính hiển vi là sự di động liên tục của các hạt phấn hoa lơ lửng trong nước. Đây quả thật là bức tranh vô cùng ấn tượng!

Có phải việc lựa chọn phấn hoa của những loài cây đặc biệt là điều cần thiết để có hiện tượng này? Brown đã tìm được câu trả lời bằng cách lặp lại thí nghiệm với phấn hoa của rất nhiều loài cây khác nhau. Ông đã nhận thấy rằng tất cả các hạt phấn hoa, nếu có kích cỡ đủ nhỏ, đều liên tục di động khi nằm lơ lửng trong nước. Hơn thế nữa, ông ta còn nhận thấy rằng sự di động lộn xộn không ngừng nghỉ này hiện hữu trên các hạt làm từ chất vô cơ cũng như hữu cơ. Hiện

tượng này cũng xảy ra ngay cả với bột được nghiền ra từ một phần cơ thể của một con bướm đêm.

Làm sao giải thích được chuyển động này? Những gì chúng ta vừa quan sát được dường như trái ngược với kinh nghiệm trước đây. Nếu theo dõi vị trí của một hạt lơ lửng trong nước, ví dụ như trong mỗi 30 giây, chúng ta sẽ có một quỹ đạo di chuyển rất lạ lùng. Điều đáng ngạc nhiên nhất chính là tính vĩnh cửu của sự di động này. Khi bị chìm xuống nước, một con lắc đồng hồ sẽ ngừng chuyển động nếu ta không tác động lên nó một ngoại lực. Sự tồn tại của một chuyển động vĩnh cửu dường như trái ngược lại với kinh nghiệm mà chúng ta đã có. Sự khó khăn này đã được thuyết động lực học của vật chất làm sáng tỏ một cách xuất sắc.

Dù chúng ta quan sát nước bằng kính hiển vi tối tân nhất, chúng ta cũng không thể nào thấy được các phân tử nước và sự chuyển động của chúng như được mô tả bởi thuyết động lực học của vật chất. Chúng ta phải kết luận rằng nếu lý thuyết *nước được cấu thành bởi một tập hợp của các hạt* là đúng, thì kích thước của các hạt này phải nhỏ hơn rất nhiều so với khả năng phóng đại của những kính hiển vi tối tân nhất. Tuy nhiên, chúng ta vẫn sẽ chấp nhận thuyết động lực học của vật chất và giả sử rằng lý thuyết này đã đưa ra được một bức tranh chặt chẽ và phù hợp với sự thật. Những hạt Brown quan sát qua kính hiển vi bị bắn phá bởi các hạt bé hơn. Các hạt bé hơn này chính là thành phần cấu tạo của nước. Chuyển động Brown sẽ tồn tại nếu các hạt bị bắn phá có kích thước đủ nhỏ. Chuyển động này bắt nguồn từ sự bắn phá không đồng nhất từ các phía và không thể tự triệt tiêu lẫn nhau do tính chất ngẫu nhiên và không có quy luật của sự bắn phá này. Như thế chuyển động Brown của các hạt mà ta quan sát được lại là kết quả của chuyển động của những hạt mà ta không nhìn thấy được. Sự chuyển động của các hạt phấn hoa phản ánh một cách nào đó sự chuyển động của các phân tử nước, hay có thể nói rằng nó khuếch đại chuyển động của các phân tử nước đến mức chúng ta có thể quan sát rõ ràng bằng kính hiển vi. Quỹ đạo di chuyển ngẫu nhiên và không theo quy luật của các hạt Brown cũng phản ánh quỹ đạo chuyển động của các hạt bé hơn cấu tạo nên vật chất. Do vậy, chúng ta có thể thấy rằng một nghiên cứu mang tính định lượng của chuyển động Brown giúp chúng ta hiểu sâu sắc hơn về thuyết động lực học của vật chất. Chuyển động Brown của các hạt nhìn thấy được hiển nhiên sẽ tùy thuộc vào kích cỡ của các phân tử bắn phá không nhìn thấy được. Chuyển động Brown sẽ không tồn tại nếu các phân tử bắn phá không có một năng lượng nào đó, hay nói cách khác là nếu chúng hoàn toàn không có khối lượng và vận tốc. Như vậy thật không có gì đáng ngạc nhiên khi việc khảo sát chuyển động Brown có thể dẫn chúng ta đến việc xác định được khối lượng của một phân tử.

Qua rất nhiều công trình nghiên cứu khó nhọc về cả lý thuyết lẫn thực nghiệm, tính định lượng của thuyết động lực học đã dần thành hình. Mạnh mẽ bắt nguồn từ hiện tượng chuyển động Brown là một trong những manh mối dẫn đến những dữ liệu mang tính định lượng. Chúng ta có thể có được những dữ liệu như thế bằng nhiều cách, bắt đầu từ những đầu mối hoàn toàn khác nhau. Điều quan trọng nhất là tất cả các phương pháp này đều củng cố cho cùng một lý thuyết. Đây là bằng chứng cho tính nhất quán trong các ý tưởng cấu thành thuyết động lực học của vật chất.

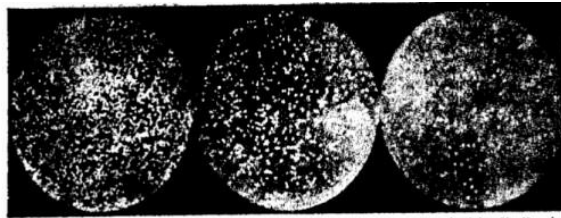
Chúng ta sẽ chỉ nhắc lại duy nhất một trong nhiều các kết quả mang tính định lượng đạt được từ thực nghiệm lẫn lý thuyết. Giả sử chúng ta có một gam của nguyên tố nhẹ nhất, nguyên tố hydro, và đặt câu hỏi: Có bao nhiêu phân tử hydro trong một gam hydro? Đáp án của câu hỏi này không chỉ đúng cho hydro mà cho tất cả chất khí khác, vì chúng ta biết những điều kiện để hai chất khí có số phân tử giống nhau.

Lý thuyết giúp chúng ta trả lời câu hỏi này từ nhiều thực nghiệm đo đạc chuyển động Brown của một hạt lơ lửng trong nước. Câu trả lời là một con số khổng lồ đáng kinh ngạc: Con số 3 theo sáu bởi hai mươi ba con số khác. Số phân tử hydro trong một gam hydro là:

303 000 000 000 000 000 000 000

Hãy tưởng tượng rằng các phân tử trong một gam hydro được phóng lớn đủ để quan sát được dưới kính hiển vi: Giả sử đường kính của mỗi phân tử hydro là năm phần nghìn inch, tương đương đường kính một hạt có chuyển động Brown. Nếu muốn xếp chúng sát nhau thì chúng ta phải cần một cái hộp có mỗi cạnh dài khoảng 400 m!

TRANG ẢNH I



Các hạt Brown dưới kính hiển vi.
(Người chụp ảnh: J. Perrin)



Ảnh của một hạt Brown chụp phơi sáng.
(Người chụp ảnh: Brumberg và Vavolov)



Trái: Vị trí liên tiếp của một hạt Brown
Phải: Quỹ đường trung bình suy ra từ những vị trí liên tiếp

Chúng ta có thể tính được khối lượng của một phân tử hydro một cách dễ dàng bằng cách lấy 1 chia cho con số trên. Chúng ta có được một con số cực kỳ bé:

0,000 000 000 000 000 000000 0033 gam

là khối lượng của một phân tử hydro.

Những thí nghiệm tìm hiểu về chuyển động Brown chỉ là một số trong nhiều thí nghiệm khác nhau dẫn đến con số trên, một con số có vai trò vô cùng quan trọng trong vật lý học.

Trong thuyết động lực học của vật chất và trong các thành tựu quan trọng của lý thuyết này, chúng ta thấy rõ phương hướng của các ý tưởng triết học tổng quát là tìm cách quy mọi hiện tượng tự nhiên về sự tương tác giữa các hạt cấu thành vật chất.

Chúng ta tóm tắt:

Trong cơ học, người ta có thể tiên đoán được quỹ đạo chuyển động cũng như xác định được quá khứ của một vật thể nếu biết tình trạng hiện tại và lực tác động lên vật ấy. Ví dụ như ta có thể tiên đoán được quỹ đạo tương lai của tất cả các hành tinh. Lực tác động là các lực hấp dẫn Newton và chỉ phụ thuộc duy nhất vào khoảng cách. Những thành quả vĩ đại của cơ học cổ điển cho rằng tư duy cơ học có thể được ứng dụng một cách nhất quán trong mọi lĩnh vực của vật lý học, và rằng mọi hiện tượng trong tự nhiên có thể được giải thích bằng sự chi phối của các lực, hoặc lực hút hay lực đẩy. Các lực này chỉ phụ thuộc vào khoảng cách và tương tác giữa các vật thể không thay đổi.

Trong thuyết động lực học của vật chất, chúng ta thấy cách mà một lý thuyết, được phát sinh từ những vấn đề cơ học, đã được mở rộng cho cả các hiện tượng nhiệt, và cuối cùng, vẽ nên một

bức tranh hoàn hảo về cấu trúc của vật chất.

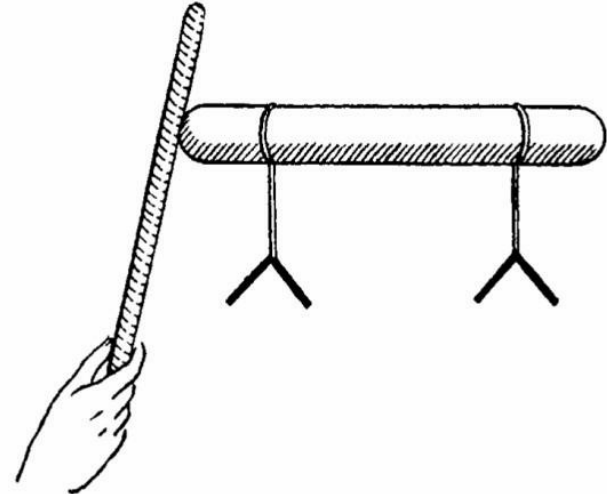
II. SỰ SUY TÀN CỦA TƯ DUY CƠ HỌC

Hai lưu chất điện... Các lưu chất từ... Khó khăn quan trọng đầu tiên... Vận tốc của ánh sáng... Ánh sáng như một chất... Bí ẩn của màu sắc... Sóng là gì?... Lý thuyết sóng của ánh sáng... Ánh sáng là sóng dọc hay sóng ngang?... Ether và tư duy cơ học.

HAI LƯU CHẤT ĐIỆN

Trong những trang sau đây, chúng ta sẽ điếm qua một bản tường trình tẻ nhạt về những thí nghiệm rất đơn giản. Nguyên nhân gây buồn tẻ không phải chỉ vì việc mô tả các thí nghiệm kém thú vị nếu so sánh với hiệu quả thực tế của chúng, mà còn vì các thí nghiệm chỉ có nghĩa khi một lý thuyết đưa ra kết luận về những ý nghĩa này. Mục đích kế tiếp của chúng ta là đưa ra một ví dụ làm nổi bật vai trò của lý thuyết trong vật lý học.

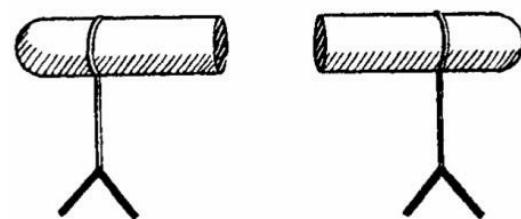
1. Một thanh kim loại nằm trên một giá đỡ bằng thủy tinh. Mỗi đầu của thanh kim loại được nối với một tĩnh điện nghiệm bằng một sợi dây kim loại. Một tĩnh điện nghiệm là gì? Đây là một thiết bị có thành phần chính là hai lá vàng được treo ở đầu cuối của một thanh kim loại ngắn. Cả hệ thống này được đặt trong một bình thủy tinh, các vật làm bằng kim loại chỉ được nối với các vật phi kim loại được gọi là vật cách điện. Ngoài tĩnh điện nghiệm và thanh kim loại, chúng ta sẽ sử dụng thêm một thanh cao su cứng và một miếng nỉ.



Thí nghiệm được tiến hành như sau: Chúng ta hãy xem các lá vàng có nằm sát với nhau không, vì đây là vị trí bình thường của chúng. Nếu không, chúng ta chỉ việc sờ tay vào thanh kim loại thì chúng sẽ trở lại vị trí sát nhau. Sau khi chuẩn bị xong bước đầu tiên, chúng ta chà thật mạnh miếng nỉ lên thanh cao su và chạm thanh cao su này lên *một đầu* thanh kim loại. Các lá vàng tách xa nhau tức khắc. Chúng sẽ vẫn tách xa nhau dù sau đó thanh cao su được dời khỏi thanh kim loại.

2. Chúng ta thực hiện một thí nghiệm khác với cùng những thiết bị như trước đây và cũng bắt đầu với các lá vàng treo sát nhau. Lần này, chúng ta sẽ không chạm thanh cao su vào thanh kim loại mà chỉ đưa nó đến gần thanh kim loại mà thôi. Các lá vàng lại tách xa nhau! Nhưng ở đây, chúng ta có một sự khác biệt. Khi chúng ta dời thanh cao su ra xa thanh kim loại, các lá vàng tức khắc trở lại vị trí bình thường của chúng thay vì vẫn tách xa nhau.

3. Chúng ta thay đổi một chút các thiết bị để thực hiện thí nghiệm thứ ba. Giả sử thanh kim loại gồm hai phần được gắn với nhau. Chúng ta chà xát thanh cao su với miếng nỉ và đưa nó lại gần thanh kim loại. Hiện tượng giống như trước lại xảy ra, các lá vàng tách xa nhau. Bây giờ chúng ta tách rời hai phần của thanh kim loại và sau đó dời thanh cao su ra xa. Trong trường hợp này, chúng ta thấy các lá vàng vẫn cách xa nhau thay vì trở về vị trí sát nhau như trong thí nghiệm thứ hai.



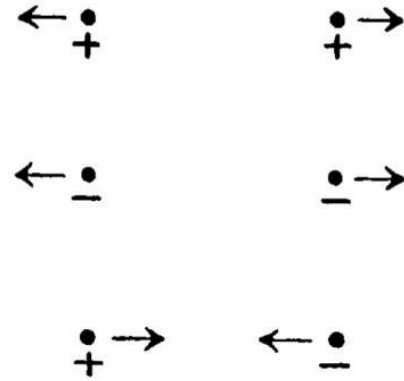
Chắc không ai sẽ hứng thú với những thí nghiệm đơn giản và ngớ ngẩn này. Trong thời Trung Cổ, những người thực hiện thí nghiệm này có thể bị lên án. Đối với chúng ta những thí nghiệm này vừa tẻ nhạt vừa không logic. Sau khi đọc qua một lần bản liệt kê các thí nghiệm trên, nếu

bạn muốn thực hiện các thí nghiệm ấy mà không bị nhầm lẫn thì chắc chắn bạn sẽ gặp nhiều khó khăn. Một số khái niệm lý thuyết sẽ giúp các thí nghiệm trên dễ hiểu hơn. Chúng ta có thể nói rằng: Thật khó mà tưởng tượng các thí nghiệm này được thực hiện một cách tình cờ nếu trước đó không có ít nhiều ý tưởng về ý nghĩa của chúng.

Bây giờ chúng ta sẽ phác thảo những ý tưởng cơ bản cho một lý thuyết, dù còn rất đơn giản và thô sơ, để giải thích tất cả các sự kiện trong các thí nghiệm trên.

Ta có hai loại *lưu chất điện*, một lưu chất *dương* (+) và một lưu chất *âm* (-). Về mặt nào đó thì những lưu chất này cũng giống như *chất* đã được đề cập qua: Số lượng của chúng có thể tăng lên hay giảm bớt, nhưng tổng số lượng của chúng trong một hệ cô lập được bảo toàn. Tuy nhiên, sự khác biệt cơ bản trong trường hợp này so với nhiệt, vật chất hay năng lượng là chúng ta có hai chất điện khác nhau. Chúng ta chỉ có thể dùng sự tương đồng với tiền bạc như trước đây nếu chúng ta có thể tìm ra phương pháp tổng quát hóa cho vấn đề này. Một vật thể sẽ trung hòa về điện nếu lưu chất điện dương triệt tiêu một cách chính xác lưu chất điện âm. Một người không có tiền bởi vì anh ta thật sự không có tiền, hoặc số tiền anh ta có trong két sắt bằng đúng với số tiền mà anh ta còn nợ. Chúng ta có thể so sánh hai khoản thu và chi trong sổ ngân hàng của anh ta với hai loại lưu chất điện này.

Giả định tiếp theo cho lý thuyết của chúng ta là hai lưu chất điện cùng dấu sẽ đẩy nhau và khác dấu sẽ hút nhau. Điều này có thể được minh họa như trong hình vẽ sau:



Và giả định cuối cùng của chúng ta là: Có hai loại vật thể, loại thứ nhất cho phép lưu chất điện di chuyển một cách tự do, được gọi là *vật dẫn điện*; loại thứ hai không cho phép lưu chất điện di chuyển tự do, được gọi là *vật cách điện*. Như ta đã biết, sự phân chia như trên không nên quá khe khắt trong các trường hợp như thế này. Vật dẫn điện hay vật cách điện lý tưởng chỉ tồn tại trong trí tưởng tượng chứ không hề có trong thực tế. Kim loại, đất, cơ thể con người là vật dẫn điện, dù khả năng dẫn điện của chúng không hoàn toàn như nhau. Thủy tinh, cao su, gốm sứ... là những vật cách điện. Không khí chỉ là vật dẫn điện một phần, như đã được mô tả qua những thí nghiệm trên. Chúng ta dễ dàng đổ lỗi cho độ ẩm của không khí là nguyên nhân gây sai sót trong các thí nghiệm tĩnh điện vì độ ẩm không khí làm gia tăng độ dẫn điện của không khí.

Những giả định lý thuyết nêu trên đủ để giải thích ba thí nghiệm vừa mô tả. Chúng ta sẽ xem xét các thí nghiệm trên với cùng một thứ tự, nhưng với kiến thức lý thuyết về lưu chất điện.

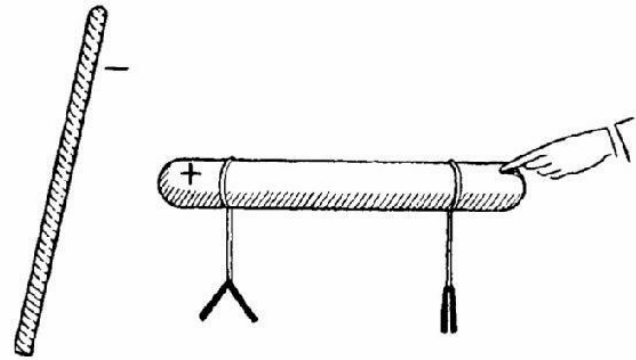
1. Như mọi vật thể khác ở điều kiện bình thường, một thanh cao su là trung tính về điện. Nó chứa hai lượng lưu chất điện âm và dương bằng nhau. Khi chà xát với miếng nilon, chúng ta tách chúng ra. Cách nói này chỉ là quy ước chung nhằm sử dụng các thuật ngữ đưa ra bởi lý thuyết để mô tả quá trình cọ xát. Loại điện mà thanh cao su thừa ra sau khi bị cọ xát được quy ước là điện âm. Tên gọi này cũng chỉ thuần túy là quy ước chung. Nếu ta thực hiện thí nghiệm tương tự nhưng cọ xát một thanh thủy tinh vào lông mèo thì chúng ta phải gọi điện dư thừa trên thanh thủy tinh là điện dương để phù hợp với quy ước chung này. Khi bắt đầu thí nghiệm, chúng ta đưa lưu chất điện vào thanh kim loại bằng cách chạm thanh cao su vào một đầu của thanh kim loại. Ngay tại thời điểm này, lưu chất điện di chuyển tự do trên thanh cao su sẽ lan tỏa trên toàn bộ thanh kim loại, kể cả các lá vàng. Vì tác động của điện âm đối với điện âm tạo nên một lực đẩy nên hai lá vàng sẽ tách nhau ra càng xa càng tốt. Sự phân tách này cũng là kết quả thí nghiệm mà chúng ta đã quan sát. Vì thanh kim loại được đặt trên giá thủy tinh cách điện, hay bất kỳ vật cách điện nào khác, nên lưu chất điện được giữ trên vật dẫn điện trong một

khoảng thời gian, tùy thuộc vào độ dẫn điện của không khí. Bây giờ chúng ta hiểu vì sao cần phải chạm ngón tay vào thanh kim loại trước khi bắt đầu thí nghiệm. Khi đó, thanh kim loại, cơ thể con người và Trái Đất hợp thành một vật dẫn điện khổng lồ, lưu trữ điện bị phân tán cho đến khi không còn gì sót lại trên tĩnh điện nghiệm.

2. Tương tự như thí nghiệm trên, nhưng thay vì chạm thanh cao su vào một đầu thanh kim loại, chúng ta chỉ để chúng gần nhau. Hai loại lưu trữ điện đang di chuyển tự do trên thanh kim loại sẽ bị phân tách ra. Điện tích âm trên thanh cao su sẽ hút lưu trữ điện dương và đẩy lưu trữ điện âm. Khi thanh cao su được dời ra xa thanh kim loại, hai lưu trữ điện này lại hòa lẫn vào nhau vì hai lưu trữ điện khác nhau luôn hút lẫn nhau.

3. Bây giờ chúng ta lặp lại thí nghiệm tương tự, nhưng chúng ta sẽ tách thanh kim loại thành hai phần trước khi dời thanh cao su ra xa. Trong trường hợp này, hai lưu trữ điện trong thanh kim loại không thể hòa trộn lẫn nhau như trước, do vậy các lá vàng luôn dư thừa một loại lưu trữ điện và chúng tiếp tục đẩy nhau.

Trong ánh sáng của lý thuyết đơn giản này, dường như chúng ta có thể hiểu được các hiện tượng xảy ra trong các thí nghiệm trên. Hơn thế nữa, lý thuyết này còn giúp chúng ta hiểu thêm những hiện tượng khác trong lĩnh vực “tĩnh điện.” Mục đích của mỗi lý thuyết là dẫn dắt chúng ta đến những ý tưởng mới, gợi ý các thí nghiệm mới và mở đường cho quá trình khám phá những hiện tượng mới cùng những quy luật mới. Điều này sẽ rõ ràng hơn qua một thí dụ cụ thể. Hãy tưởng tượng một thay đổi nhỏ trong thí nghiệm thứ hai. Giả sử chúng ta đặt thanh cao su đến gần một đầu thanh kim loại và đồng thời chạm một ngón tay lên đầu kia của thanh kim loại. Hiện tượng gì sẽ xảy ra? Lý thuyết sẽ giải thích như sau: Lưu trữ điện âm, bị đẩy bởi lưu trữ điện âm trên thanh cao su, sẽ thoát qua cơ thể của chúng ta nên thanh kim loại chỉ còn duy nhất một lưu trữ điện dương. Chỉ duy nhất những lá vàng của tĩnh điện kế gần thanh cao su là vẫn tách xa nhau. Một thực nghiệm thật sự khẳng định tiên đoán này của lý thuyết.



Lý thuyết mà chúng ta đang tìm hiểu thật rất thô sơ và chưa phù hợp với quan điểm của vật lý hiện đại. Tuy thế, đây lại là một thí dụ điển hình cho thấy những nét đặc trưng của tất cả các lý thuyết trong vật lý.

Trong khoa học, không một lý thuyết nào có thể tồn tại mãi mãi. Chúng ta vẫn thường thấy nhiều sự kiện đã được tiên đoán bởi lý thuyết nhưng lại bị bác bỏ bởi thực nghiệm. Mỗi lý thuyết đều trải qua giai đoạn phát triển từng bước, đạt đến đỉnh điểm của vinh quang, và sau đó có thể suy tàn nhanh chóng. Sự trỗi dậy và suy tàn của lý thuyết chất của nhiệt mà chúng ta đã thảo luận qua là một trong vô vàn các thí dụ. Sau này, chúng ta sẽ có dịp thảo luận về những lý thuyết quan trọng hơn. Mỗi bước tiến vĩ đại trong khoa học tự nhiên hầu như đều bắt nguồn từ những nỗ lực trong việc tìm lối thoát cho sự khủng hoảng của các lý thuyết cũ. Chúng ta luôn phải quay lại với các ý tưởng cũ và các lý thuyết lỗi thời mặc dù chúng thuộc về quá khứ, vì chỉ có như thế chúng ta mới hiểu được tầm quan trọng của các lý thuyết mới và phạm vi hiệu lực của chúng.

Trong những trang đầu của cuốn sách này, chúng ta đã so sánh một nhà khoa học với một nhà thám tử tài ba. Sau khi thu thập các dữ liệu cần thiết, ông đã tìm ra thủ phạm của vụ án hoàn toàn nhờ vào suy luận của mình. Nếu xét về mặt bản chất, ta có thể coi sự so sánh này là quá hời hợt. Việc phạm tội luôn xảy ra trong đời sống hằng ngày và trong cả truyện tiểu thuyết. Các nhà thám tử luôn phải tìm kiếm thư từ, dấu vân tay, súng, đạn, nhưng ít nhất ông ta

biết rằng tội ác đã xảy ra. Công việc của một nhà khoa học lại không đơn giản như thế. Thật không khó để tưởng tượng một người nào đó hoàn toàn không biết gì về điện, vì những người cổ đại vẫn sống rất hạnh phúc dù họ hoàn toàn không có kiến thức về điện. Hãy đưa cho người này một thanh kim loại, các lá vàng, bình thủy tinh, một thanh cao su và một miếng nỉ, nói chung là tất cả các thứ cần thiết để thực hiện ba thí nghiệm trên. Ông ta có thể là một người học thức, nhưng có lẽ ông ấy sẽ dùng bình thủy tinh để đựng rượu, dùng miếng nỉ làm giẻ lau chứ chưa từng nghĩ đến việc thực hiện các thí nghiệm mà chúng ta đã mô tả. Đối với một nhà thám tử, nếu tội phạm đã xảy ra có nghĩa là vấn đề đã được đặt ra: Ai đã giết Cock Robin? Còn đối với một nhà khoa học, về mặt nào đó ông ta phải tự phạm tội rồi sau đó mới bắt đầu việc điều tra. Hơn nữa công việc của một nhà khoa học không phải chỉ đơn giản là giải thích từng trường hợp nhất định, mà phải giải thích tất cả các hiện tượng đã hoặc có thể sẽ xảy ra.

Khi nói đến các khái niệm về lưu chất, chúng ta nhận ra tầm ảnh hưởng của các ý tưởng cơ học trong việc cố gắng giải thích mọi hiện tượng bằng khái niệm về chất và sự tương tác giữa các chất qua những lực đơn giản. Để tìm hiểu tính khả thi của việc ứng dụng quan điểm cơ học trong việc mô tả hiện tượng điện, chúng ta cần xem xét vấn đề sau đây: Xét hai quả cầu rất nhỏ cùng chứa một loại điện tích, nghĩa là cả hai đều có thừa một loại lưu chất điện mang dấu âm hoặc dương. Chúng ta biết rằng các quả cầu này hoặc hút hoặc đẩy nhau. Nhưng có phải lực hút hay lực đẩy này chỉ phụ thuộc duy nhất vào khoảng cách, và nếu như thế thì sự phụ thuộc sẽ như thế nào? Phỏng đoán đơn giản nhất là lực này sẽ phụ thuộc vào khoảng cách tương tự như lực vạn vật hấp dẫn. Có nghĩa là độ lớn ban đầu của lực tĩnh điện sẽ giảm đi chín lần nếu khoảng cách giữa hai quả cầu được tăng gấp ba lần. Những thí nghiệm của Coulomb^[10] đã chứng minh cho giá trị của định luật này. Đúng một trăm năm sau khi Newton khám phá định luật vạn vật hấp dẫn, Coulomb cũng tìm thấy sự phụ thuộc tương tự của lực tĩnh điện theo khoảng cách. Hai điểm khác biệt chính giữa hai định luật Newton và Coulomb là: Lực hấp dẫn luôn tồn tại, trong khi các lực tĩnh điện chỉ tồn tại trên các vật thể chứa điện tích; lực hấp dẫn là lực hút, nhưng lực điện trường có thể là lực hút hay lực đẩy.

Ở đây xuất hiện câu hỏi giống như khi chúng ta khảo sát hiện tượng nhiệt: Lưu chất điện là những chất có trọng lượng hay không? Hay nói cách khác, có phải khối lượng của một miếng kim loại khi tích điện và không tích điện là như nhau? Phương pháp cân hoàn toàn không tìm thấy sự khác biệt nào. Chúng ta kết luận rằng lưu chất điện thuộc về nhóm các chất không trọng lượng.

Để tiếp tục phát triển lý thuyết điện, chúng ta cần phải có thêm hai khái niệm mới. Chúng ta sẽ một lần nữa sử dụng sự tương đồng với các khái niệm quen thuộc và tránh các định nghĩa quá chuyên sâu. Chúng ta biết rằng việc phân biệt nhiệt và nhiệt độ là cần thiết như thế nào để hiểu rõ hiện tượng nhiệt. Cho nên việc phân biệt điện thế và điện tích cũng sẽ quan trọng như thế. Sự khác biệt giữa hai khái niệm được làm rõ qua sự tương đồng sau:

Điện thế — Nhiệt độ

Điện tích — Nhiệt

Xét hai vật dẫn điện, thí dụ như hai quả cầu có kích thước khác nhau có thể chứa cùng một lượng điện tích, nghĩa là chúng có cùng một lượng dư thừa của một loại lưu chất điện, nhưng có điện thế khác nhau. Quả cầu lớn có điện thế thấp hơn và quả cầu nhỏ có điện thế cao hơn. Trên quả cầu nhỏ, lưu chất điện có mật độ cao hơn và do vậy bị nén mạnh hơn. Vì lực đẩy gia tăng với mật độ điện tích, nên điện tích trên quả cầu nhỏ có khuynh hướng thoát ly cao hơn ở quả cầu lớn. Khuynh hướng thoát ly của điện tích khỏi một vật dẫn điện cũng chính là thước đo trực tiếp điện thế của nó. Để làm rõ sự khác biệt giữa điện tích và điện thế, chúng ta sẽ nêu lên vài dòng diễn tả sự tương đồng của vật được đun nóng và vật dẫn điện có tích điện.

NHIỆT — ĐIỆN

Hai vật thể có nhiệt độ ban đầu khác nhau, sẽ có cùng nhiệt độ sau một thời gian tiếp xúc với nhau.

— Hai vật dẫn điện được cách ly, có điện thế khác nhau, chúng sẽ nhanh chóng có cùng điện thế khi tiếp xúc với nhau.

Hai vật thể có nhiệt dung khác nhau, lượng nhiệt giống nhau làm nhiệt độ của chúng thay đổi khác nhau.

—Hai vật thể có điện dung khác nhau, lượng điện tích giống nhau làm điện thế của chúng thay đổi khác nhau.

Một nhiệt kế tiếp xúc với một vật thể sẽ chỉ thị – bằng chiều cao của cột thủy ngân – nhiệt độ của chính nó và cũng là nhiệt độ của vật thể.

—Một tĩnh điện kế tiếp xúc với một vật dẫn điện sẽ chỉ thị – bằng độ lớn của khoảng cách giữa những lá vàng – điện thế của chính nó và cũng là điện thế của vật dẫn điện.

Chúng ta không nên đi quá xa trong sự tương đồng này. Thí dụ sau sẽ cho thấy những khác biệt cũng như những tương đồng giữa nhiệt và điện. Khi một vật nóng tiếp xúc với một vật lạnh, nhiệt sẽ chảy từ vật nóng hơn sang vật lạnh hơn. Mặt khác, nếu giả sử có hai vật dẫn điện được cách ly và có cùng một lượng điện tích nhưng trái dấu, một âm, một dương, thì cả hai vật sẽ có điện thế khác nhau. Theo quy ước chung, chúng ta cho rằng điện thế tương ứng với một điện tích âm thấp hơn điện thế tương ứng với một điện tích dương. Theo lý thuyết lưu chất điện, nếu hai vật dẫn điện này tiếp xúc nhau, hoặc được nối với nhau bằng một dây dẫn điện, chúng sẽ không còn điện tích nữa và do vậy, điện thế giữa chúng là như nhau. Chúng ta phải tưởng tượng có một “dòng chảy” của các điện tích từ vật dẫn điện này sang vật dẫn điện khác trong một thời gian rất ngắn và làm cân bằng điện thế. Nhưng điều này xảy ra như thế nào? Chúng ta có nên giả thiết lưu chất dương chảy sang vật thể chứa lưu chất âm hay ngược lại, lưu chất âm chảy sang vật thể chứa lưu chất dương?

Theo những dữ kiện có được, chúng ta hoàn toàn không có cơ sở nào để đưa ra kết luận cho một trong hai giả thiết trên. Chúng ta có thể giả sử một trong hai khả năng hoặc cũng có thể có dòng chảy đồng thời theo cả hai hướng. Đây hoàn toàn chỉ là vấn đề quy ước, dù chúng ta có sự chọn lựa nào đi nữa, sự chọn lựa ấy không có ý nghĩa gì cả vì hiện chúng ta vẫn chưa có phương pháp nào để trả lời câu hỏi này bằng thực nghiệm. Sự phát triển kế tiếp của khoa học tự nhiên sẽ dẫn dắt chúng ta đến lý thuyết sâu hơn về điện và tìm ra lời giải đáp cho vấn đề này. Đáp án này sẽ hoàn toàn vô nghĩa khi chúng ta cố diễn đạt nó bằng sự đơn giản và thô sơ của lý thuyết lưu chất điện này. Để đơn giản hóa vấn đề, chúng ta chấp nhận cách diễn đạt sau: Lưu chất điện chảy từ vật dẫn điện có điện thế cao sang vật dẫn điện có điện thế thấp. Trong trường hợp hai viên bi dẫn điện của chúng ta, điện tích sẽ chạy từ viên bi tích điện dương sang viên bi tích điện âm.



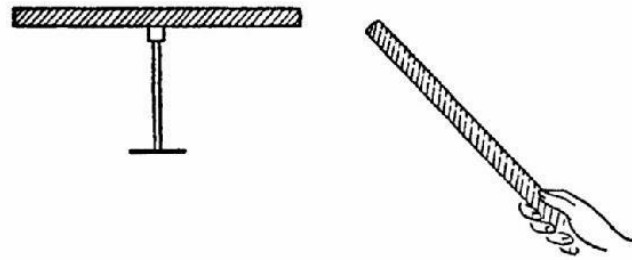
Cách diễn đạt này hoàn toàn là quy ước chung và điều này hoàn toàn tự do. Những khó khăn này cho chúng ta thấy sự khiếm khuyết khi tương tự hóa hai khái niệm nhiệt và điện.

Chúng ta đã thấy khả năng ứng dụng của tư duy cơ học trong việc mô tả các sự kiện cơ bản của tĩnh điện. Phương pháp này cũng có thể thích hợp để tìm hiểu về hiện tượng từ.

CÁC LƯU CHẤT TỪ

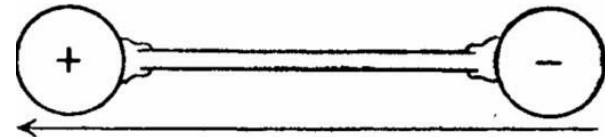
Chúng ta sẽ tiếp tục với cùng một phương pháp: Bắt đầu với những sự kiện rất đơn giản và tìm cách giải thích bằng lý thuyết.

1. Chúng ta có hai thanh nam châm, một thanh được treo lơ lửng tại điểm giữa của nó, thanh còn lại được giữ trên tay. Hai đầu của hai thanh nam châm được đưa gần nhau cho đến khi lực hút giữa chúng trở nên rất mạnh. Bất kỳ ai cũng thực hiện được thí nghiệm này. Nếu chúng không hút lẫn nhau, chúng ta chỉ cần trở đầu thanh nam châm trên tay. Chúng ta chắc chắn sẽ nhận thấy lực hút này nếu hai thanh nam châm đã được từ hóa. Các đầu mút của thanh nam châm được gọi là *các cực*. Chúng ta tiếp tục thí nghiệm bằng cách dịch chuyển một cực của nam châm trên tay dọc theo thanh nam châm kia. Lực hút giảm dần, và khi cực nam châm đến điểm giữa của thanh nam châm lơ lửng, chúng ta nhận thấy rằng không có bất kỳ dấu hiệu của một lực nào cả. Nếu tiếp tục dịch chuyển cực nam châm trên tay, chúng ta lại nhận thấy một lực đẩy. Lực đẩy này lớn nhất tại cực thứ hai của thanh nam châm lơ lửng.



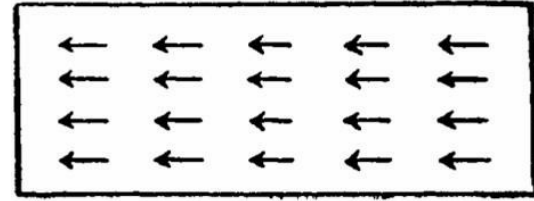
2. Thí nghiệm trên gợi ý cho chúng ta một thí nghiệm tiếp theo. Mỗi thanh nam châm có hai cực, liệu chúng ta có thể cách ly một trong hai cực này được không? Ý tưởng để thực hiện điều này thực rất đơn giản: Chúng ta bẻ thanh nam châm thành hai phần bằng nhau. Như chúng ta đã biết, lực hút không tồn tại giữa cực của thanh nam châm cầm trên tay và điểm giữa của thanh nam châm được treo lơ lửng. Nhưng với thanh nam châm bị bẻ đôi, chúng ta có kết quả vô cùng bất ngờ. Khi lặp lại thí nghiệm (1) với chỉ một nửa thanh nam châm, chúng ta có kết quả giống hệt trước! Chúng ta có một cực nam châm rất mạnh ngay tại nơi trước đây không có cực nào.

Làm sao giải thích hiện tượng này? Chúng ta có thể cố gắng thiết lập một lý thuyết từ theo khuôn mẫu của lý thuyết lưu chất điện. Cơ sở lập luận này được gọi lên bởi sự tương đồng với hiện tượng tĩnh điện, chúng ta có lực hút và lực đẩy. Chúng ta hãy tưởng tượng có hai vật dẫn điện hình cầu chứa lượng điện tích bằng nhau, nhưng khác dấu. "Bằng nhau" được hiểu ở đây là theo giá trị tuyệt đối; ví dụ như $+5$ và -5 có cùng giá trị tuyệt đối. Chúng ta hãy tưởng tượng thêm hai quả cầu này được nối với nhau bằng một vật cách điện, ví dụ như một thanh thủy tinh.



Để đơn giản hơn, chúng ta sẽ diễn tả hệ thống trên bằng một mũi tên có hướng từ vật dẫn điện chứa điện tích âm sang vật dẫn điện chứa điện tích dương. Chúng ta sẽ gọi hệ thống này là một *lưỡng cực điện*. Rõ ràng hai lưỡng cực như thế sẽ hoạt động tương tự như hai thanh nam châm trong thí nghiệm (1). Nếu giả định mô hình này tương tự như một nam châm thật sự và có sự tồn tại của những *lưu chất từ*, thì chúng ta được phép phát biểu rằng: Một nam châm không khác gì một *lưỡng cực từ* chứa hai lưu chất từ khác nhau ở hai đầu của nó. Bằng sự mô phỏng theo lý thuyết điện, lý thuyết đơn giản này có thể giải thích được thí nghiệm thứ nhất. Chúng ta có lực hút ở đầu này, lực đẩy ở đầu kia và sự cân bằng giữa những lực bằng nhau nhưng trái dấu ở giữa. Nhưng với thí nghiệm thứ hai thì sao? Nếu bẻ đôi thanh thủy tinh của một lưỡng cực điện, chúng ta có hai cực tĩnh điện cách ly. Đối với thanh nam châm có lưỡng cực từ, chúng ta chờ đợi điều tương tự, tuy nhiên kết quả này lại trái ngược với kết quả của thí nghiệm thứ hai. Sự mâu thuẫn này buộc chúng ta phải tìm kiếm một lý thuyết tinh tế hơn.

Thay vì mô hình trước đây, chúng ta có thể tưởng tượng rằng thanh nam châm được cấu thành từ nhiều lưỡng cực từ *sơ cấp* vô cùng bé và không thể bị tách thành những cực từ cách ly. Sự sắp xếp của các lưỡng cực bên trong nam châm là đồng nhất: Tất cả các lưỡng cực sơ cấp đều có cùng một hướng.



Như thế chúng ta hiểu ngay tại sao khi bẻ đôi thanh nam châm, ta lại có hai cực mới ở hai đầu mút mới và tại sao lý thuyết này có thể giải thích được các hiện tượng trong thí nghiệm (1) và (2).

Có nhiều trường hợp mà một lý thuyết đơn giản là đủ để giải thích nhiều sự kiện mà không cần đến một lý thuyết quá phức tạp. Ví dụ như: Chúng ta biết rằng nam châm sẽ hút một mảnh sắt. Tại sao? Trong mảnh sắt bình thường thì hai lưu chất từ luôn hòa lẫn với nhau, do vậy ta không thể quan sát được bất kỳ hiện tượng từ nào. Khi chúng ta đem cực dương của nam châm đến gần miếng sắt, điều này giống như một “mệnh lệnh phân chia” các lưu chất, cực dương của nam châm sẽ hút lưu chất âm và đẩy lưu chất dương. Và như thế, chúng ta có lực hút giữa sắt và nam châm. Nếu thanh nam châm được dời ra xa, các lưu chất từ sẽ quay về trạng thái ban đầu sau một thời gian ngắn hay dài tùy thuộc vào “trí nhớ” của chúng về “mệnh lệnh phân chia của ngoại lực.”

Chúng ta không cần phải thảo luận thêm về tính định lượng của vấn đề này. Nếu sử dụng hai thanh nam châm thật dài, chúng ta có thể tìm hiểu về lực đẩy (hoặc lực hút) giữa các cực của chúng khi đưa các cực này lại gần nhau. Ảnh hưởng của hai cực còn lại của hai thanh nam châm này có thể coi như không đáng kể nếu các thanh nam châm là khá dài. Các lực đẩy và lực hút của các cực sẽ phụ thuộc như thế nào vào khoảng cách? Các thí nghiệm của Coulomb đã cho thấy rằng các lực này cũng sẽ phụ thuộc vào khoảng cách tương tự như định luật vạn vật hấp dẫn của Newton và định luật tĩnh điện của Coulomb.

Chúng ta lại thấy một lần nữa trong thí nghiệm này khuynh hướng mô tả mọi hiện tượng bằng sự phụ thuộc vào khoảng cách của những lực hút và lực đẩy giữa các hạt không thay đổi.

Chúng ta hãy nói đến một điều vô cùng quen thuộc, vì sau này chúng ta cần sử dụng hệ quả của nó. Trái Đất là một lưỡng cực từ vĩ đại. Hiện vẫn chưa có bất kỳ giải thích nào, dù là nhỏ nhất, về sự tồn tại này. Nhìn chung, Bắc Cực được xem là cực từ âm (-) còn Nam Cực là cực từ dương (+) của Trái Đất. Dù việc đặt tên cực âm hay cực dương chỉ là quy ước chung nhưng nếu được thống nhất thì quy ước này sẽ giúp ta đặt tên cho các cực trong những trường hợp khác nhau. Một kim nam châm đặt trên một trục thẳng đứng tuân theo lực từ của Trái Đất. Cực dương (+) của nó sẽ hướng về Bắc Cực, nghĩa là hướng về cực từ âm (-) của Trái Đất.

Mặc dù chúng ta có thể sử dụng tư duy cơ học để giải thích một cách chặt chẽ các hiện tượng về điện và từ, nhưng chúng ta vẫn không có một lý do nào để hài lòng hay hãnh diện về việc này. Nhiều tính chất của lý thuyết này vẫn chưa được lý giải một cách hợp lý, nếu không nói là làm chúng ta nản lòng. Các loại chất mới như các lưu chất điện và các lưỡng cực từ cơ bản cũng chỉ là sản phẩm của sự hư cấu. Sự phong phú của chúng bắt đầu vượt quá tầm kiểm soát của chúng ta!

Bản chất của các lực này thật rất đơn giản. Chúng được dùng để mô tả các loại lực hấp dẫn, lực điện và lực từ. Nhưng cái giá phải trả cho việc đơn giản hóa này quả thực rất lớn: Ta phải đưa ra các khái niệm về các chất mới không trọng lượng. Đúng hơn là các khái niệm này mang tính giả tạo và không hề liên quan đến chất cơ bản nhất: Khối lượng.

KHÓ KHĂN NGHIÊM TRỌNG ĐẦU TIÊN

Đã đến lúc chúng ta phải cần phải chú ý đến khó khăn nghiêm trọng đầu tiên khi ứng dụng quan điểm triết học tổng quát của chúng ta. Về sau chúng ta sẽ thấy điều khó khăn này cùng với một khó khăn lớn hơn nữa làm tan vỡ hoàn toàn niềm tin cho rằng mọi hiện tượng đều có thể được giải thích bằng tư duy cơ học.

Sự phát triển vô cùng nhanh chóng của lĩnh vực điện học như một ngành khoa học và kỹ thuật đã được khởi đầu bằng khám phá về dòng điện. Đây cũng là một ví dụ về một trong vài trường hợp trong lịch sử khoa học khi sự tình cờ đóng vai trò quan trọng nhất. Có vô số câu chuyện với những tình tiết khác nhau được kể lại xung quanh sự co giật của chân con ếch. Bất kể thực hư ra sao nhưng điều không thể nghi ngờ đó là sự khám phá tình cờ của Galvani^[11] đã thúc đẩy Volta^[12] phát minh ra pin Volta vào cuối thế kỷ 18. Dù loại pin này hiện không còn được sử dụng, nó vẫn được dùng như một nguồn điện cho giờ thực tập trong trường và được mô tả trong nhiều sách giáo khoa.

Nguyên lý về cấu trúc của pin Volta tương đối đơn giản. Chúng ta cần vài lọ thủy tinh chứa nước với một ít axit sulphuric. Ta nhúng hai tấm kim loại, một bằng đồng và một bằng kẽm, vào mỗi lọ. Tấm đồng ở lọ này sẽ được nối với tấm kẽm ở lọ bên cạnh, như thế chỉ có tấm kẽm ở lọ đầu tiên và tấm đồng ở lọ cuối cùng được để tự do. Với một tĩnh điện nghiệm khá tốt, chúng ta có thể đo được sự chênh lệch điện thế giữa tấm đồng ở lọ thứ nhất và tấm kẽm ở lọ cuối cùng, nếu chúng ta có khá nhiều “phần tử” của pin điện. Mỗi phần tử bao gồm một lọ thủy tinh chứa nước, axit và các tấm kim loại.

Mục đích chính của việc giới thiệu pin Volta có nhiều phần tử là để chúng ta có thể đo đạc dễ dàng bằng dụng cụ hiện có. Trong thảo luận tiếp theo, chúng ta sẽ xem xét duy nhất một phần tử của pin điện. Ta nhận thấy điện thế của tấm đồng cao hơn điện thế của tấm kẽm. “Cao hơn” trong ý nghĩa số +2 lớn hơn số -2. Nếu nối một dây dẫn điện vào tấm đồng còn trống và một dây dẫn điện khác vào tấm kẽm, cả hai dây dẫn điện sẽ được nạp điện: Dây thứ nhất tích điện dương và dây thứ hai tích điện âm. Hiện vẫn chưa có gì đặc biệt hay đáng chú ý. Chúng ta hãy thử ứng dụng các ý tưởng trước đây về sự chênh lệch điện thế. Chúng ta đã thấy rằng sự chênh lệch về điện thế giữa hai vật dẫn điện có thể được triệt tiêu khi nối liền chúng bằng một sợi dây dẫn điện. Như thế lưu chất điện từ vật dẫn điện này sẽ chảy sang vật dẫn điện khác. Quá trình này giống như sự cân bằng nhiệt bởi dòng “chảy” của nhiệt. Liệu điều này sẽ xảy ra với pin Volta hay không? Volta đã viết trong công trình nghiên cứu của ông ấy rằng các tấm kim loại hoạt động như những vật dẫn điện:

... dù được nạp điện một cách yếu ớt nhưng pin điện lại hoạt động liên tục, hoặc cũng có thể điện tích của pin tự động phục hồi sau mỗi lần phóng điện. Tóm lại, pin điện hoặc liên tục cung cấp điện tích, hoặc liên tục kích hoạt hay tạo xung động lên lưu chất điện.

Điều đáng ngạc nhiên trong thí nghiệm của Volta là sự chênh lệch điện thế giữa tấm đồng và tấm kẽm không biến mất như trong trường hợp hai vật dẫn điện đã nạp điện và được nối với nhau. Theo lý thuyết lưu chất điện, sự chênh lệch điện thế luôn hiện hữu và phải tạo nên một dòng chảy liên tục của lưu chất điện từ nơi có điện thế cao (tấm đồng) sang nơi có điện thế thấp (tấm kẽm). Nếu muốn cứu vãn lý thuyết lưu chất này, chúng ta có thể giả sử sự tồn tại của một lực nào đó tác động lên các tấm kim loại nhằm tái tạo sự chênh lệch điện thế và tạo dòng chảy của lưu chất điện. Nhưng từ quan điểm về năng lượng thì hiện tượng này thật là lạ lùng. Khi có dòng điện chạy qua, dây dẫn điện còn sinh ra một nhiệt lượng đáng kể, đủ làm nóng chảy một dây dẫn tương đối mảnh. Do đó, năng lượng nhiệt phải được tạo ra bên trong dây dẫn điện. Nhưng cấu trúc của pin Volta lại là một hệ kín vì nó không được cung cấp năng lượng từ bên ngoài. Nếu muốn cứu vãn định luật bảo toàn năng lượng, chúng ta phải giải thích được nguyên nhân của sự biến đổi năng lượng này và nguồn gốc của lượng nhiệt phát sinh trên dây dẫn. Không quá khó khăn để hiểu rằng các quá trình hóa học xảy ra trong pin Volta là vô cùng phức tạp. Trong quá trình này các tấm đồng và kẽm được nhúng trong dung dịch, và cũng như chính dung dịch là những thành phần tích cực. Theo quan điểm năng lượng ta có một chuỗi

biến đổi năng lượng xảy ra: Năng lượng hóa học $\rightarrow$ năng lượng của dòng chảy lưu chất điện – hay chính xác hơn là dòng điện $\rightarrow$ nhiệt. Pin Volta không thể hoạt động vĩnh viễn, nhưng biến đổi hóa học để tạo ra dòng điện làm cho pin trở nên vô dụng sau một thời gian.

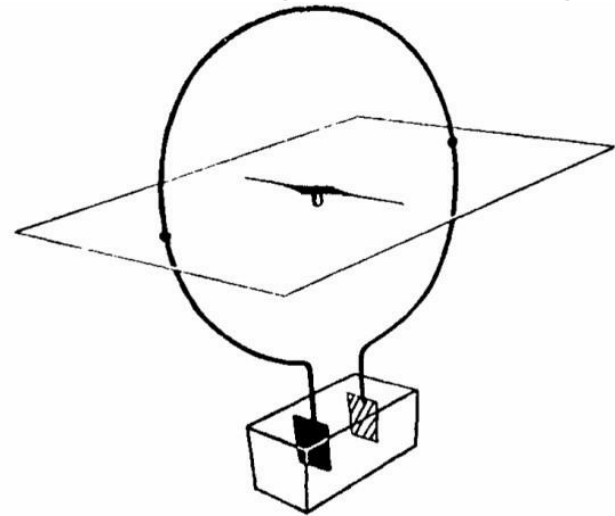
Một thí nghiệm có thể vạch ra những khó khăn của tư duy cơ học được coi là vô cùng lạ lùng đối với bất kỳ ai lần đầu tiên nghe đến nó. Thí nghiệm như thế đã được Oersted^[13] thực hiện cách đây 120 năm. Ông ta đã mô tả như sau:

Các thí nghiệm này cho thấy kim nam châm dịch chuyển khỏi vị trí của nó dưới ảnh hưởng của một pin điện, và chỉ khi dòng điện được khép kín. Hiện tượng này không xảy ra đối với dòng điện hở như trong những thử nghiệm thất bại của nhiều nhà vật lý nổi tiếng một vài năm trước đây.

Giả sử chúng ta có một pin Volta và một sợi dây dẫn điện. Nếu chúng ta nối sợi dây này với tấm đồng nhưng không nối với tấm kẽm, chúng ta vẫn có một hiệu điện thế nhưng không có dòng điện. Giả sử dây dẫn điện được uốn thành một vòng tròn và đặt một kim nam châm ở tâm vòng tròn này. Cả vòng dây dẫn và kim nam châm đều nằm trên một mặt phẳng.

Không có gì xảy ra khi dây dẫn chưa được nối với tấm kẽm. Không có lực tác động, sự tồn tại của một hiệu thế không làm ảnh hưởng đến vị trí của kim nam châm. Thật là khó hiểu tại sao “các nhà vật lý lừng danh”, như Oersted đã gọi họ như thế, lại chờ đợi một tác dụng như thế.

Nhưng bây giờ chúng ta hãy nối sợi dây dẫn điện với tấm kẽm. Ngay lập tức một việc lạ lùng xảy ra. Kim nam châm quay khỏi vị trí ban đầu của nó. Một trong hai cực của nó sẽ chỉ thẳng vào độc giả nếu giả sử như trang sách này trùng với mặt phẳng của vòng tròn dây điện. Hiệu ứng này được tạo nên bởi sự tác động của một lực *vuông góc* với mặt phẳng lên cực từ. Với một kết quả như thế, chúng ta không thể tránh việc rút ra một kết luận về hướng của lực tác dụng.

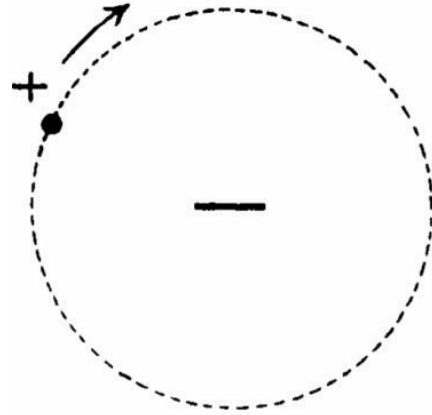


Trước hết, thí nghiệm này thực sự thú vị vì nó cho thấy sự liên kết giữa hai hiện tượng là hoàn toàn khác biệt, hiện tượng từ và dòng điện. Chúng ta dĩ nhiên còn có những khía cạnh khác quan trọng hơn nữa. Lực tác động giữa cực từ và các phân đoạn nhỏ của dây dẫn có điện không thể nằm trên các đường thẳng nối từ vòng dây điện và kim nam châm hay trên các đường thẳng nối các hạt của dòng chảy của lưu chất điện và các lưỡng cực từ sơ cấp. Lực mà ta quan sát thấy qua thí nghiệm trên nằm vuông góc với các đường thẳng này. Lần đầu tiên xuất hiện một loại lực mới, khác hẳn với loại lực tương ứng với tư duy cơ học của chúng ta, mà theo đấy, chúng ta nghĩ là giải thích được mọi hiện tượng trong vũ trụ. Hãy nhớ lại các loại lực mà chúng ta đã biết qua như: Lực vạn vật hấp dẫn, lực tĩnh điện và lực từ tuân theo các định luật của Newton và Coulomb. Các lực này tác động dọc theo đường thẳng nối liền hai vật thể hút hay đẩy nhau.

Thí nghiệm mà Rowland đã khéo léo thực hiện cách đây gần 60 năm làm khó khăn này trở nên trầm trọng. Nếu không để ý đến các chi tiết kỹ thuật, thí nghiệm này có thể được mô tả như sau. Hãy tưởng tượng một viên bi nhỏ được tích điện chuyển động rất nhanh trên một vòng tròn và ta đặt tại tâm của nó một kim nam châm. Theo nguyên tắc, thí nghiệm này tương tự với thí nghiệm của Oersted. Điểm khác biệt duy nhất chính là sự tác động của cơ học lên

chuyển động của điện tích thay cho dòng điện thông thường. Rowland^[14] đã nhận thấy rằng thí nghiệm này quả thật có cùng kết quả như khi có dòng điện chạy trong dây dẫn điện được cuốn tròn. Kim nam châm bị lệch bởi một lực vuông góc với mặt phẳng.

Bây giờ chúng ta hãy làm cho viên bi này di chuyển nhanh hơn nữa. Kết quả là lực tác động lên trên cực từ gia tăng, làm kim nam châm lệch một cách rõ ràng hơn khỏi vị trí ban đầu của nó.



Hiện tượng này đem đến cho chúng ta một sự phức tạp nghiêm trọng khác. Không những là lực không nằm trên đường thẳng nối liền điện tích và nam châm, mà cường độ của nó còn phụ thuộc vào vận tốc của viên bi. Toàn bộ tư duy cơ học dựa trên sự tin tưởng rằng tất cả các hiện tượng đều có thể được giải thích bằng sự phụ thuộc duy nhất của các lực vào khoảng cách, chứ không phụ thuộc vào vận tốc. Kết quả này của Rowland chắc chắn làm lung lay niềm tin này. Tuy nhiên, chúng ta hãy là những người bảo thủ và hãy cố tìm một đáp án cho hiện tượng trên trong khuôn khổ của tư duy cổ điển.

Những khó khăn như thế, những trở ngại đột ngột và bất ngờ trong thời vàng son của một lý thuyết, rất thường xảy ra trong khoa học. Đôi khi một sự khái quát hóa lý thuyết cũ cũng là một lối thoát, dù rằng chỉ là nhất thời. Trong trường hợp trước mắt, có lẽ cũng tạm đủ nếu ta mở rộng quan điểm trước đây để tìm ra những loại lực tổng quát hơn nữa giữa những hạt sơ cấp. Tuy nhiên, một lý thuyết cũ thường không thể được chấp vá, những điều bất cập của nó sẽ dẫn đến sự sụp đổ của lý thuyết này cùng lúc với sự ra đời của một lý thuyết mới. Trong trường hợp này, sự đổ vỡ của các lý thuyết cơ học vững chắc không chỉ đến từ sự dịch chuyển của một kim nam châm tí hon mà còn đến từ sự công kích dữ dội của một vấn đề đến từ một góc độ hoàn toàn khác. Nhưng đây là một câu chuyện khác, chúng ta sẽ đề cập đến sau.

VẬN TỐC CỦA ÁNH SÁNG

Trong tác phẩm *Hai lĩnh vực khoa học mới* của Galileo, chúng ta hãy theo dõi cuộc thảo luận của một người thầy và học trò của mình về vận tốc của ánh sáng:

Sagredo: Nhưng chúng ta phải xét xem ánh sáng thuộc loại nào và vận tốc của nó lớn bao nhiêu? Sự lan truyền ánh sáng là tức thời hay nó cũng cần thời gian như những loại chuyển động khác? Chúng ta không thể xác định được điều này qua thí nghiệm hay sao?

Simplicio: Kinh nghiệm thường ngày cho thấy sự lan truyền ánh sáng là tức khắc, bởi vì khi chúng ta quan sát một khẩu đại bác khai hỏa từ rất xa, ánh chớp tức thì truyền đến mắt chúng ta, nhưng âm thanh truyền đến tai chúng ta sau một quãng thời gian khá dài.

Sagredo: Tốt thôi, Simplicio, chỉ có một điều mà tôi có thể suy ra từ kinh nghiệm thông thường là âm thanh được truyền đến tai của chúng ta với một tốc độ chậm hơn ánh sáng. Tôi không thể biết được ánh sáng đến với tôi ngay tức khắc hay không, dù ánh sáng lan truyền rất nhanh nhưng nó cũng cần thời gian...

Salviati: Kết luận đơn giản về vấn đề này và về những quan sát tương tự đã thúc đẩy tôi nghĩ ra một phương pháp để có thể xác định được sự chiếu sáng, hay đúng hơn là sự lan truyền của ánh sáng, có thật sự tức thời hay không...

Salviati tiếp tục giải thích phương pháp thí nghiệm của mình. Để hiểu được ý tưởng của ông ta, chúng ta phải tưởng tượng vận tốc ánh sáng không chỉ có giới hạn mà còn tương đối nhỏ, sự di chuyển của ánh sáng được làm chậm lại như những chuyển động trong một phim chuyển động chậm. Hai người, A và B, được trang bị hai đèn lồng có chắn sáng và đứng cách nhau một khoảng cách, ví dụ như một dặm (1,6 km). Người đầu tiên, A, mở chắn sáng. Cả hai đã nhất trí là B sẽ mở chắn sáng trên đèn của mình khi thấy ánh sáng đến từ A. Chúng ta giả sử rằng trong thí nghiệm “phim chuyển động chậm” của chúng ta, ánh sáng chỉ di chuyển một dặm trong một giây. A phát tín hiệu bằng cách mở chắn sáng. B nhận được tín hiệu ánh sáng sau một giây và gửi tín hiệu trả lời. Có nghĩa là A nhận được tín hiệu trả lời hai giây sau khi phát tín hiệu. Như thế có thể nói, nếu ánh sáng di chuyển với vận tốc một dặm mỗi giây thì thời gian từ lúc A phát và nhận tín hiệu là 2 giây, với giả thiết là B cách A một dặm. Hay ngược lại, nếu A không biết trước vận tốc ánh sáng nhưng giả sử bạn ông ta giữ đúng thỏa thuận, ông ta sẽ nhận được tín hiệu từ đèn lồng của B hai giây sau khi ông ta mở chắn đèn lồng. Ông ta có thể kết luận rằng vận tốc của ánh sáng là một dặm trong một giây.

Với thiết bị kỹ thuật vào thời đó, Galileo có rất ít khả năng để có thể xác định được vận tốc của ánh sáng theo cách này. Nếu khoảng cách là một dặm, ông ta phải đo được quãng thời gian cực ngắn, khoảng một phần trăm nghìn của một giây!

Galileo đã trình bày phương pháp để xác định được vận tốc của ánh sáng, nhưng ông không đưa ra được lời giải đáp. Thường thì việc đặt ra vấn đề còn quan trọng hơn là việc đưa ra lời giải đáp vì đáp án có thể chỉ hoàn toàn phụ thuộc vào khả năng khéo léo trong toán học hay trong việc thực hiện các thí nghiệm. Đưa ra những vấn đề mới, những khả năng mới, xem xét những vấn đề cũ từ những góc nhìn mới, đây là công việc của những bộ óc đầy sáng tạo và cũng chính là sự tiến bộ thật sự của khoa học. Nguyên lý quán tính và định luật bảo toàn năng lượng chỉ có được từ những suy nghĩ mới mẻ, độc đáo về những thí nghiệm hay hiện tượng vô cùng quen thuộc. Trong những trang kế tiếp của quyển sách này, chúng ta sẽ có nhiều thí dụ tương tự để nhấn mạnh tầm quan trọng của cái nhìn mới vào những sự kiện vô cùng quen thuộc với chúng ta.

Trở lại câu hỏi tương đối đơn giản về việc xác định vận tốc của ánh sáng, điều đáng ngạc nhiên là tại sao Galileo đã không nhận ra rằng, ông ta có thể thực hiện thí nghiệm của mình một cách đơn giản và chính xác hơn chỉ với một người. Thay vì cần đến một người cộng sự ở cách xa một quãng, ông ta có thể đặt ở đấy một tấm gương, nó sẽ phản chiếu ngay tức khắc ánh sáng mà nó nhận được.

Khoảng 250 năm sau, Fizeau^[15] là người đầu tiên đã ứng dụng nguyên tắc đơn giản này để xác định được vận tốc ánh sáng bằng những thí nghiệm được thực hiện trên mặt đất. Mặc dù không chính xác bằng Roemer,^[15a] người đã xác định được vận tốc ánh sáng từ rất lâu bằng

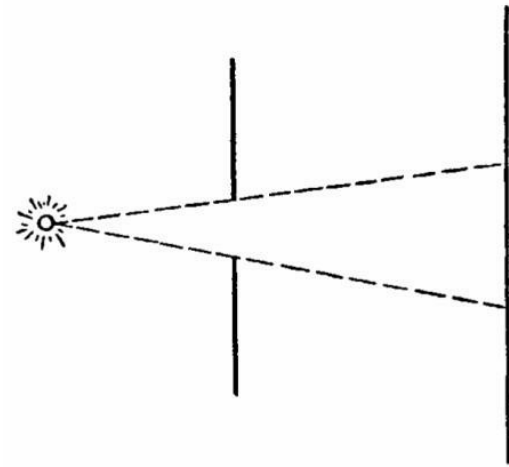
những quan sát thiên văn.

Vì vận tốc ánh sáng rõ ràng là vô cùng lớn cho nên ta chỉ có thể thực hiện việc đo đạc với những khoảng cách có tầm cỡ với khoảng cách từ Trái Đất đến một hành tinh khác trong hệ thống thái dương hệ, hay bằng những kỹ thuật thí nghiệm hết sức tinh vi. Roemer^[16] đã thực hiện phương pháp đầu tiên và Fizeau đã thực hiện phương pháp thứ hai. Sau những thí nghiệm đầu tiên này, một con số rất quan trọng của vận tốc ánh sáng đã được xác định lại rất nhiều lần và càng lúc càng chính xác hơn. Cùng mục đích này, trong thế kỷ của chúng ta, Michelson^[16a] đã phát minh ra một kỹ thuật có độ tinh vi rất cao để đo được vận tốc của ánh sáng. Kết quả của các thí nghiệm này có thể được trình bày một cách đơn giản: Vận tốc của ánh sáng trong chân không – *in vacuo* – khoảng chừng 186.000 dặm trong một giây hay khoảng 300.000 kilômét trong một giây.

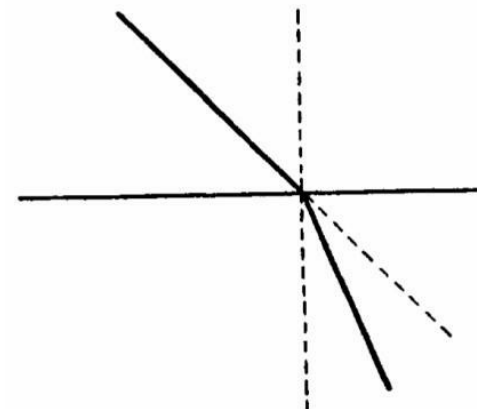
ÁNH SÁNG NHƯ MỘT CHẤT

Một lần nữa, chúng ta sẽ bắt đầu với một vài thí nghiệm quen thuộc. Con số mà chúng ta vừa nói đến là vận tốc ánh sáng trong *chân không*. Nếu ánh sáng không bị ảnh hưởng gì hết, nó sẽ lan truyền với vận tốc này trong chân không. Chúng ta có thể nhìn xuyên qua một bình chân không bằng thủy tinh khi không khí trong bình được rút ra hết. Chúng ta thấy các hành tinh, các ngôi sao, các tinh vân mặc dù ánh sáng của chúng truyền đến mắt chúng ta xuyên qua khoảng không trống rỗng. Vì chúng ta có thể nhìn xuyên qua một bình thủy tinh dù nó có chứa không khí hay không, nên không khí có vai trò không đáng kể. Cho nên các kết quả thí nghiệm quang học trong một căn phòng thông thường cũng tương tự như trong một căn phòng không chứa không khí.

Một trong những sự kiện quang học đơn giản nhất chính là sự lan truyền của ánh sáng theo đường thẳng. Chúng ta sẽ mô tả hiện tượng này bằng một thí nghiệm rất đơn giản. Trước một điểm sáng, chúng ta đặt một màn chắn có khoét một lỗ nhỏ. Điểm sáng là một nguồn sáng rất nhỏ, ví dụ như khe hở rất nhỏ trên màn chắn của một cái đèn lồng. Hình ảnh của cái lỗ nhỏ trên màn chắn sẽ hiện trên một vách tường cách đó vài mét và có dạng như một vệt sáng trên nền đen. Sự tương quan giữa hiện tượng này và sự truyền thẳng của ánh sáng được mô tả trong hình sau. Giả thiết về sự truyền thẳng của ánh sáng trong chân không hay trong không khí có thể giải thích tất cả các trường hợp phức tạp như ánh sáng, vùng tối và vùng mờ.

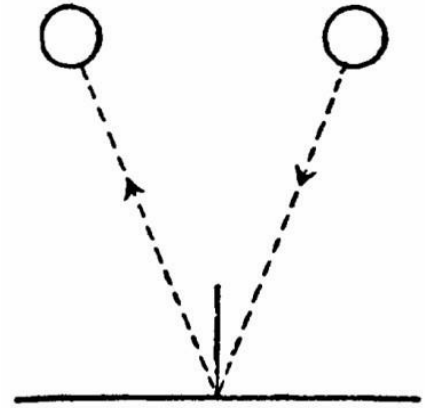


Chúng ta hãy xét một thí dụ khác, trường hợp ánh sáng xuyên qua vật chất. Chúng ta có một tia sáng truyền qua chân không và chiếu vào một tấm thủy tinh. Điều gì sẽ xảy ra? Nếu quy luật chuyển động thẳng vẫn còn giá trị thì ánh sáng sẽ phải truyền theo hướng biểu diễn bởi nét đứt trong hình sau, nhưng điều này lại không xảy ra trong thực tế. Đường truyền bị bẻ gãy như được mô tả trong hình vẽ. Hiện tượng quan sát được ở đây được gọi là *sự khúc xạ*. Chúng ta thường thấy hiện tượng này khi nhúng một nửa cây gậy trong nước, cây gậy dường như bị bẻ cong ngay tại điểm chính giữa của nó.



Những sự kiện này đủ để chúng ta đưa ra một lý thuyết cơ học đơn giản cho ánh sáng. Mục đích của chúng ta là trình bày quá trình thâm nhập của những khái niệm về chất, hạt và lực vào lĩnh vực quang học và cuối cùng là sự sụp đổ của quan điểm triết học cũ.

Lý thuyết này có bản chất đơn giản nhất và thô sơ nhất. Chúng ta giả sử rằng tất cả vật thể phát sáng đều phóng thích những hạt ánh sáng, hay còn gọi là những *hạt*, chúng chiếu vào mắt chúng ta và tạo nên cảm giác ánh sáng. Vì chúng ta đã quá quen thuộc với việc sáng tạo những chất mới nếu các chất ấy thật sự cần thiết cho việc giải thích theo tư duy cơ học, nên chúng ta có thể thực hiện điều này thêm một lần nữa. Những hạt sáng này phải được truyền theo một đường thẳng, xuyên qua không gian trống rỗng với vận tốc xác định, và truyền đến mắt chúng ta thông tin của các vật thể phát sáng. Mọi hiện tượng cho thấy ánh sáng lan truyền theo đường thẳng sẽ củng cố thêm cho lý thuyết hạt của ánh sáng, vì dạng chuyển động này cũng đã được áp dụng cho các hệ thống hạt. Lý thuyết này đã giải thích được sự phản chiếu của ánh sáng trên một tấm gương cũng đơn giản như những quả banh dọi lại khi bị ném vào tường. Điều này được minh họa trong hình vẽ kế tiếp.



Chúng ta sẽ gặp nhiều khó khăn hơn cho việc lý giải hiện tượng khúc xạ. Dù không đi vào chi tiết, chúng ta cũng thấy được khả năng ứng dụng của tư duy cơ học để giải thích vấn đề này. Thí dụ như khi các hạt ánh sáng chiếu lên bề mặt của một tấm thủy tinh, một lực nào đó của tấm thủy tinh sẽ tác động lên chúng. Điều khá lạ lùng là lực này chỉ tác động lên các hạt nằm sát trên tấm thủy tinh. Như chúng ta đã biết rằng bất cứ lực nào tác động lên một hạt đang chuyển động đều làm thay đổi vận tốc của nó. Nếu lực thực (net force) tác động lên các hạt sáng là một lực hút vuông góc với bề mặt thủy tinh, thì quỹ đạo của chuyển động mới sẽ phải nằm trong khoảng giữa hướng chuyển động cũ và hướng vuông góc ấy. Sự giải thích đơn giản này tạm hứa hẹn cho sự thành công của lý thuyết hạt ánh sáng. Tuy nhiên, để xác định tính hữu ích và phạm vi giá trị của lý thuyết này, chúng ta cần xét thêm nhiều trường hợp mới hơn và phức tạp hơn.

BÍ ẨN CỦA MÀU SẮC

Một lần nữa, nhà thiên tài Newton là người đầu tiên giải thích cho nhân loại về sự đa dạng của màu sắc. Trích dẫn sau mô tả của một trong các thí nghiệm của Newton do chính ông viết:

Trong năm 1666 (thời gian này tôi đang bận rộn với việc mài các loại kính quang học có hình thù khác với loại hình cầu), tôi tìm được một lăng kính hình tam giác. Với lăng kính này, tôi có thể thử nghiệm một hiện tượng rất đặc biệt của màu sắc. Tôi che tối căn phòng của mình và khoét một lỗ nhỏ trên rèm che cửa sổ để cho một lượng vừa đủ ánh sáng Mặt Trời lọt vào phòng. Tôi đặt lăng kính trước tia nắng để nó bị khúc xạ và chiếu lên tường. Lần đầu tiên tôi có cảm giác vô cùng thú vị khi thấy xuất hiện những màu sắc vô cùng sinh động.

Ánh sáng Mặt Trời có màu “trắng.” Sau khi xuyên qua lăng kính, nó cho chúng ta thấy được tất cả các màu sắc trong tự nhiên. Và tự nhiên cũng đã làm được điều này bằng những cầu vồng có nhiều màu sắc rực rỡ. Từ thời xa xưa, người ta đã cố gắng giải thích hiện tượng này. Truyền thuyết được ghi lại trong kinh thánh cho rằng cầu vồng chính là chữ ký của Chúa trong một hợp đồng với loài người, và đó cũng chỉ là “lý thuyết” của họ. Nhưng người ta không thể giải thích một cách đầy đủ tại sao cầu vồng thỉnh thoảng lại xuất hiện và luôn liên quan với những cơn mưa? Lần đầu tiên Newton đã công kích một cách khoa học toàn bộ vấn đề rắc rối của màu sắc và đáp án đã được đưa ra trong công trình vĩ đại của ông.

Một bên của cầu vồng luôn có màu đỏ và bên kia là màu tím. Các màu khác được sắp xếp giữa hai màu này. Newton đã giải thích hiện tượng này như sau: Tất cả các màu đều có mặt trong màu trắng. Chúng luôn hòa quyện với nhau, cùng đi xuyên qua không gian liên hành tinh và xuyên qua bầu khí quyển, để cuối cùng cho ta hiệu ứng của màu trắng. Có thể nói rằng màu trắng là một sự tổng hợp của các loại hạt sáng khác nhau của các màu sắc khác nhau. Trong trường hợp thí nghiệm của Newton, lăng kính đã chia các màu sắc này trong không gian. Theo lý thuyết cơ học, khúc xạ là do ảnh hưởng của các lực tác động lên các hạt của ánh sáng, các lực này phát xuất từ các hạt của thủy tinh. Tùy theo màu sắc khác nhau, ta có lực tác động khác nhau lên các hạt, lực mạnh nhất đối với màu tím và yếu nhất đối với màu đỏ. Do vậy, mỗi màu bị khúc xạ theo một con đường khác nhau và bị tách ra khỏi các màu khác khi ánh sáng rời lăng kính. Trong trường hợp cầu vồng, các giọt nước đóng vai trò như một lăng kính.

Lý thuyết chất của ánh sáng trở nên phức tạp hơn trước rất nhiều. Chúng ta không chỉ có một chất ánh sáng duy nhất mà có nhiều loại khác nhau, mỗi loại thuộc về một màu khác nhau. Tuy nhiên, nếu lý thuyết này đúng phần nào đó, các hệ quả của nó phải đồng nhất với sự quan sát.

Chuỗi sắc màu trong ánh sáng trắng của Mặt Trời mà chúng ta có được qua thí nghiệm của Newton được gọi là *quang phổ* của Mặt Trời, hay nói một cách chính xác hơn là *quang phổ trông thấy được* của Mặt Trời. Sự phân ly màu trắng thành từng thành phần của nó như chúng ta đã mô tả là sự *tán sắc* của ánh sáng. Do các màu sắc của quang phổ bị phân tách bởi một lăng kính, nên chúng sẽ có thể được hòa trộn trở lại với một lăng kính thứ hai được hiệu chỉnh chính xác. Nếu không thể thực hiện được như thế, sự giải thích của chúng ta coi như sai. Quá trình này là sự đảo ngược của thí nghiệm trước. Chúng ta phải có được ánh sáng trắng từ các màu bị phân ly trước đây. Newton đã chứng minh bằng thực nghiệm rằng chúng ta có thể hòa trộn quang phổ thành ánh sáng trắng và phân tách ánh sáng trắng thành quang phổ một cách đơn giản và bao nhiêu lần cũng được. Các thí nghiệm này đã củng cố lý thuyết cho rằng các hạt khác nhau tương ứng cho từng màu sắc và chúng là những chất không thay đổi. Newton đã viết:

... màu sắc không tự nhiên sinh ra, chúng chỉ xuất hiện qua sự phân ly; vì rằng nếu chúng được hòa trộn và phối hợp lại với nhau hoàn toàn một lần nữa, chúng sẽ tổng hợp thành một màu như trước khi phân ly. Tương tự như thế, sự biến đổi không xảy ra khi ta tổng hợp các màu khác nhau, vì khi các tia sáng bị phân ly lần nữa, chúng lại cho ta các màu sắc giống như trước khi tổng hợp lại. Cũng giống như khi ta trộn một cách kỹ lưỡng bột màu xanh da trời và màu vàng, mắt của chúng ta sẽ chỉ nhận thấy rằng bột vừa được pha trộn có màu xanh lá cây, mặc dù màu sắc của các hạt thật sự không hề thay đổi, chúng chỉ pha trộn với nhau. Khi chúng ta quan sát chúng dưới một kính hiển vi tốt, chúng ta lại thấy các hạt màu xanh da trời và màu vàng xen kẽ nhau khắp nơi.

Giả sử chúng ta cô lập được một vạch rất hẹp của quang phổ. Có nghĩa là trong tất cả các màu của ánh sáng trắng, chúng ta chỉ cho phép một màu duy nhất đi qua một khe sáng, các màu khác bị chặn lại bởi một màn chắn. Tia sáng xuyên qua khe này là ánh sáng đơn sắc, loại ánh sáng mà ta không thể phân ra thành nhiều thành phần hơn nữa. Đây là một hệ quả của lý thuyết chất của ánh sáng và có thể dễ dàng xác minh bằng thực nghiệm. Không có cách nào có thể phân tách thêm nữa các tia sáng *đơn sắc*. Có nhiều cách đơn giản để tạo được các nguồn sáng đơn sắc. Thí dụ như kim loại natri (Na) khi nóng sáng sẽ phóng thích ánh sáng đơn sắc màu vàng. Để thuận tiện, ta nên dùng ánh sáng đơn sắc cho các thí nghiệm quang học vì các kết quả thí nghiệm được sẽ đơn giản và dễ hiểu hơn.

Chúng ta hãy tưởng tượng một sự kiện thực lạ lùng xảy ra: Mặt Trời của chúng ta chỉ phóng thích ánh sáng đơn sắc của một màu nào đó, ví dụ như màu vàng. Sự phong phú của các sắc màu trên Trái Đất sẽ lập tức biến mất. Mọi vật chỉ có màu vàng hay màu đen! Dự đoán này là một hệ quả của lý thuyết chất của ánh sáng, vì chúng ta không thể tạo thêm các màu sắc mới. Tính đúng đắn của lý thuyết này có thể được kiểm chứng bằng thực nghiệm: Trong một phòng tối, nếu nguồn sáng duy nhất là natri nóng sáng thì mọi vật sẽ chỉ có màu vàng hay đen. Thế giới ngập tràn màu sắc phản ánh sự phong phú của các sắc màu hợp thành ánh sáng trắng.

Lý thuyết chất của ánh sáng dường như hoàn hảo trong việc lý giải các trường hợp này, mặc dù chúng ta có thể băn khoăn về việc nhiều loại chất sẽ phải được đưa ra cho nhiều loại màu sắc khác nhau. Điều giả định rằng tất cả các hạt ánh sáng có cùng một vận tốc trong chân không dường như rất giả tạo.

Chúng ta có thể tưởng tượng rằng có một hệ thống giả thuyết khác, một lý thuyết khác với một tính chất hoàn toàn khác, cũng hợp lý và cũng có thể đưa ta được tất cả các lời giải đáp cần thiết. Quả thật là như thế, chúng ta sẽ sớm chứng kiến sự trỗi dậy của một lý thuyết khác, dựa trên những khái niệm hoàn toàn mới, nhưng vẫn có thể đưa ra lời giải đáp cho các hiện tượng trong lĩnh vực quang học. Tuy nhiên, trước khi thiết lập những giả thuyết nền tảng cho lý thuyết mới này, chúng ta phải trả lời một câu hỏi không hề liên quan đến vấn đề quang học. Chúng ta phải trở lại với cơ học và hỏi:

SÓNG LÀ GÌ?

Một tin vịt nào đó được tung ra ở Washington sẽ lan truyền rất nhanh đến New York dù không ai trong những người tung tin thật sự đi từ thành phố này đến thành phố kia. Chúng ta có hai loại chuyển động hoàn toàn khác nhau, đó là tin đồn lan truyền từ Washington đến New York và những cá nhân loan tin đồn. Khi ngọn gió lướt qua cánh đồng lúa, nó tạo nên một làn sóng của những ngọn lúa và lan tỏa trên cả cánh đồng. Ở đây, chúng ta phải phân biệt một lần nữa chuyển động của sóng lúa và chuyển động của từng cây lúa, mỗi cây lúa chỉ chịu một dao động rất nhỏ. Khi một hòn đá được ném xuống ao nước, chúng ta thấy những làn sóng lan tỏa với những vòng tròn càng lúc càng rộng hơn. Sự chuyển động của sóng nước thật khác biệt với chuyển động của nước. Nước hầu như chỉ nhấp nhô lên xuống. Sự lan truyền sóng mà chúng ta quan sát được chỉ là sự lan truyền trạng thái của vật chất chứ không phải của bản thân vật chất. Một cái phao nổi trên sóng nước cho thấy rất rõ ràng điều này, nó chỉ nhấp nhô lên xuống theo sự chuyển động thật sự của nước thay vì được mang đi bởi sự lan truyền của sóng nước.

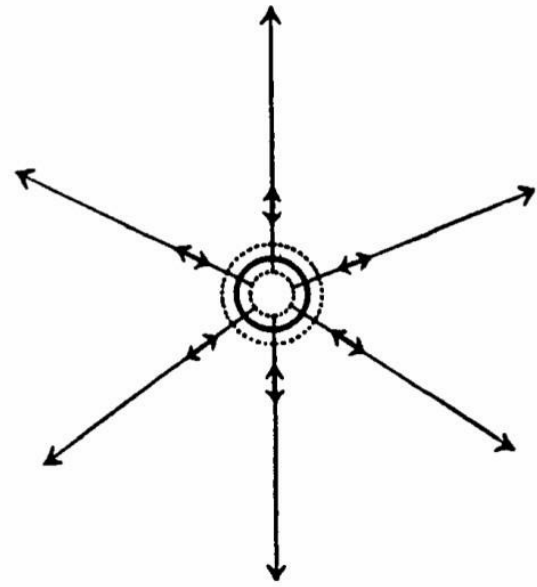
Để hiểu rõ hơn cơ chế của sóng, chúng ta hãy xét một thí nghiệm lý tưởng. Giả sử ta có một không gian khá lớn, chứa đầy nước hoặc không khí hay bất kỳ một chất nào khác. Tại gần tâm của không gian này có một quả cầu. Lúc mới bắt đầu thí nghiệm, cả hệ thống này hoàn toàn không có sự chuyển động. Bất thành linh, quả cầu bắt đầu "thở" đều đặn, nó co giãn thể tích nhưng vẫn giữ dạng hình cầu của nó. Điều gì sẽ xảy ra trong môi trường này? Đầu tiên, chúng ta hãy xem xét ngay tại thời điểm mà quả cầu bắt đầu giãn nở. Các hạt của môi trường xung quanh nằm sát quả cầu bị đẩy ra, lớp nước hay không khí hay một chất nào đó bao quanh quả cầu trong trường hợp này có mật độ cao hơn mật độ bình thường của nó. Tương tự như thế, khi quả cầu co lại mật độ của thành phần môi trường bao quanh quả cầu sẽ giảm đi tức thì. Những sự thay đổi mật độ này sẽ lan truyền ra toàn bộ môi trường vật chất. Các phần tử kiến tạo nên môi trường chỉ có sự dao động rất nhỏ, nhưng toàn bộ chuyển động của chúng tạo nên sóng lan truyền. Điều quan trọng nhất ở đây là lần đầu tiên chúng ta chú ý đến chuyển động của một dạng nào đó không phải là vật chất, mà là của năng lượng lan truyền xuyên qua vật chất.

Từ thí nghiệm với quả cầu biết thở, chúng ta có thể đưa ra hai khái niệm vật lý có tính tổng quát và quan trọng cho việc mô tả đặc điểm của sóng. Khái niệm đầu tiên là vận tốc mà sóng lan truyền. Vận tốc này phụ thuộc vào môi trường và sẽ khác nhau khi lan truyền trong nước hay trong không khí. Khái niệm thứ hai là *bước sóng* (chiều dài sóng). Trong trường hợp sóng ở sông hay ở biển, bước sóng là khoảng cách giữa hai hõm sóng liền kề hay giữa hai đỉnh sóng liền kề. Như thế, sóng biển có bước sóng lớn hơn bước sóng của sóng sông. Trong trường hợp sóng được tạo nên bởi sự rung động của một quả cầu có nhịp đập, bước sóng là khoảng cách giữa hai lớp vật chất hình cầu liền kề tại một thời điểm nhất định, có mật độ cao nhất hoặc thấp nhất. Rõ ràng khoảng cách này không chỉ phụ thuộc vào môi trường. Tốc độ nhịp đập của quả cầu hẳn phải đóng vai trò rất lớn trong việc tạo ra bước sóng ngắn hơn nếu nhịp đập nhanh hơn, hoặc bước sóng dài hơn nếu nhịp đập chậm hơn.

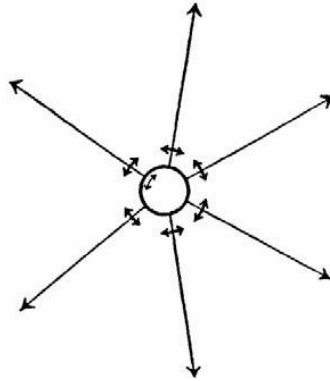
Khái niệm sóng tỏ ra rất thành công trong vật lý học. Khái niệm này chắc chắn là một khái niệm cơ học. Các hiện tượng sóng được quy về sự chuyển động của các hạt, mà theo thuyết động lực học, các hạt này cũng chính là thành phần cấu tạo nên vật chất. Do vậy, một cách khái quát, lý thuyết nào dùng khái niệm của sóng có thể được coi là một lý thuyết cơ học. Ví dụ như việc giải thích các hiện tượng âm thanh dựa trên cơ sở của khái niệm này. Các vật thể rung động, như dây thanh quản hay dây đàn vĩ cầm, là những nguồn sóng âm thanh lan truyền trong không khí với cùng nguyên lý mà chúng ta đã giải thích cho quả cầu có nhịp đập. Do vậy, chúng ta có thể quy mọi hiện tượng âm thanh về hiện tượng cơ học bằng khái niệm sóng.

Điều mà chúng ta đã nhấn mạnh là sự phân biệt giữa chuyển động của các hạt và chuyển động của sóng, vì chuyển động của sóng biểu thị cho trạng thái của môi trường. Dù hai khái niệm này rất khác nhau, nhưng trong thí nghiệm với quả cầu có nhịp đập, cả hai chuyển động (của hạt và sóng) đều xảy ra trên cùng một đường thẳng. Các hạt của môi trường dao động dọc theo những phân đoạn thẳng và ngắn ứng với nhịp đập của quả cầu, trong khi đó mật độ của

chúng tăng giảm một cách tuần hoàn tương ứng với chuyển động này. Vì hướng lan truyền của sóng và đường thẳng được tạo nên bởi dao động của các hạt là đồng nhất, nên loại sóng này được gọi là *sóng dọc*.

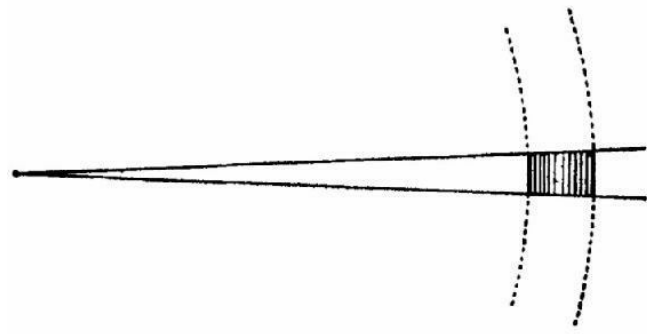


Nhưng sóng dọc có phải là loại sóng duy nhất không? Điều quan trọng trong những khảo sát tiếp theo là chúng ta phải nhận thức rõ khả năng tồn tại của một loại sóng khác được gọi là *sóng ngang*. Chúng ta thử thay đổi thí nghiệm trên. Cũng với quả cầu này, nhưng chúng ta nhúng nó vào một loại mứt trái cây (có tính bám dính như keo – ND) thay vì vào nước hay không khí. Ngoài ra, quả cầu này không còn “thở” theo nhịp mà xoay một góc nhỏ theo một hướng rồi xoay ngược lại, luôn theo cùng một nhịp điệu và quanh một trục nhất định. Mút sẽ kết dính vào quả cầu và do vậy, phần mứt dính vào quả cầu sẽ bị cuốn theo chuyển động xoay. Phần mứt này lại lôi cuốn và làm chuyển động những phần mứt ở xa hơn một chút và cứ tiếp tục như thế. Cuối cùng sóng được hình thành trong môi trường mứt. Nếu chúng ta còn nhớ về sự phân biệt giữa chuyển động của môi trường và chuyển động của sóng, thì trong trường hợp này, chúng không cùng nằm trên một đường thẳng. Trong thí nghiệm này, sóng lan truyền theo hướng của đường bán kính của quả cầu, trong khi các phần tử của môi trường lại dịch chuyển theo hướng vuông góc với hướng này. Như thế chúng ta đã tạo được *sóng ngang*.



Các con sóng lan truyền trên mặt nước là sóng ngang. Một phao bần chỉ nhấp nhô lên xuống, trong khi sóng nước lan truyền theo một mặt phẳng nằm ngang. Ngược lại, sóng âm thanh lại là thí dụ điển hình nhất của sóng dọc.

Chúng ta cần phải lưu ý thêm một điều: Sóng được tạo ra từ quả cầu rung động hay dao động trong một môi trường đồng nhất là sóng (*mặt*) cầu. Nó được gọi như thế là vì vào một thời điểm nhất định, mọi điểm trên một mặt cầu bất kỳ bao quanh tâm của nguồn sóng đều có cùng trạng thái. Chúng ta thử xét một phần của mặt cầu vật chất cách rất xa nguồn sóng. Nếu chúng ta chọn phần mặt cầu vật chất càng xa và càng nhỏ thì nó sẽ càng giống một mặt phẳng. Nếu không cần sự chính xác tuyệt đối, ta có thể nói rằng không có sự khác biệt lớn giữa một phần của một mặt phẳng và một phần của mặt cầu có bán kính đủ lớn. Trong thực tế, chúng ta thường coi một phần của sóng hình cầu cách rất xa nguồn sóng của nó như *sóng phẳng*.



Nếu phần vạch sọc trong hình vẽ của chúng ta càng xa tâm hình cầu và góc giữa hai bán kính càng nhỏ, thì sự mô tả sóng phẳng của chúng ta càng đúng hơn. Cũng như nhiều khái niệm vật lý khác, khái niệm sóng phẳng chỉ tồn tại trong trí tưởng tượng và chỉ có thể được tạo ra với một độ chính xác nhất định. Tuy nhiên, đây là một khái niệm hữu ích cho những khám phá tiếp theo của chúng ta.

LÝ THUYẾT SÓNG CỦA ÁNH SÁNG

Hãy nhớ lại lý do khiến chúng ta phải tạm dừng việc mô tả các hiện tượng quang học. Mục đích của chúng ta là đưa ra một lý thuyết ánh sáng mới, khác với lý thuyết hạt nhưng vẫn có thể giải thích được các quy luật của các sự kiện trong cùng lĩnh vực. Để thực hiện điều này, chúng ta đã tạm dừng câu chuyện về lý thuyết hạt của ánh sáng và đề cập đến khái niệm về sóng. Bây giờ đã có thể trở lại vấn đề của chúng ta.

Huygens,^[17] người cùng thời với Newton, đã đưa ra một lý thuyết hoàn toàn mới. Trong luận thuyết về ánh sáng của mình, ông đã viết:

Hơn nữa, nếu ánh sáng phải cần một khoảng thời gian để lan truyền đó là điều mà chúng tôi muốn nghiên cứu kỹ hơn, nó sẽ lan truyền tuần tự qua các môi trường trung gian. Từ vấn đề này chúng tôi nhận thấy rằng vật chất truyền đạt chuyển động này một cách tuần tự; do đó, nó sẽ lan truyền, tương tự như sự lan truyền của âm thanh, theo các mặt cầu và các sóng cầu. Cho nên tôi gọi chúng là sóng vì nó giống như sóng nước khi ném một hòn đá xuống mặt nước. Các con sóng có dạng vòng tròn xuất hiện một cách tuần tự. Tuy nhiên, sóng nước xuất hiện do một nguyên nhân khác và hơn nữa, chỉ lan truyền trên một mặt phẳng.

Theo Huygens, ánh sáng là sóng, là một sự chuyển tải năng lượng chứ không phải sự chuyển tải vật chất. Chúng ta đã thấy lý thuyết hạt đã giải thích nhiều sự kiện quan sát được. Liệu lý thuyết sóng có thể làm được điều tương tự? Chúng ta phải đặt lại các câu hỏi đã được lý giải bởi lý thuyết hạt, để biết nếu lý thuyết sóng cũng có thể trả lời được hay không. Chúng ta sẽ thực hiện việc này dưới hình thức một cuộc thảo luận giữa hai người N và H . N là người theo lý thuyết hạt của Newton, H theo lý thuyết sóng của Huygens. Không ai được phép dùng các lý luận được phát triển sau thời điểm kết thúc các nghiên cứu của hai nhà bác học.

N : Theo lý thuyết hạt, vận tốc của ánh sáng mang một ý nghĩa xác định. Đó là vận tốc của các hạt di chuyển trong chân không. Theo lý thuyết sóng thì nó có nghĩa như thế nào?

H : Đó chính là vận tốc của sóng ánh sáng. Mỗi loại sóng mà chúng ta biết đều lan truyền với một vận tốc xác định và sóng ánh sáng cũng sẽ như thế.

N : Vấn đề này không đơn giản như thế. Sóng âm thanh lan truyền trong không khí, sóng biển lan truyền trong nước biển. Mỗi loại sóng phải có một môi trường vật chất để có thể lan truyền. Nhưng ánh sáng lại đi xuyên qua chân không, nhưng âm thanh thì không thể thực hiện điều này được. Thật là một nghịch lý khi chúng ta nói về sự tồn tại của sóng trong chân không.

H : Đúng thế, đây quả là một điều khó khăn, tuy nhiên, đây không phải là điều mới đối với tôi. Thầy của tôi đã suy nghĩ rất cẩn thận về điều này và đã quyết định rằng, lối thoát duy nhất là giả định về sự tồn tại của một chất có tên là *ether*, một môi trường trong suốt và tràn ngập khắp vũ trụ. Chúng ta có thể nói rằng vũ trụ chìm đắm trong *ether*. Một khi chúng ta can đảm đưa ra khái niệm này, mọi việc trở nên rõ ràng và có sức thuyết phục.

N : Nhưng tôi phản đối giả thiết này. Đầu tiên, chúng ta lại đưa ra một chất mới chỉ mang tính giả thuyết và chúng ta đã có quá nhiều loại chất trong vật lý. Tôi còn một lý lẽ khác để chống lại giả định này. Cũng như tôi, bạn cũng tin tưởng rằng chúng ta phải giải thích mọi hiện tượng theo tư duy cơ học. Nhưng *ether* là gì? Liệu bạn có thể trả lời một câu hỏi đơn giản sau: *Ether* được kiến tạo từ những hạt cơ bản của chính nó như thế nào và *ether* thể hiện chính nó trong các hiện tượng khác như thế nào?

H : Ý kiến phản đối đầu tiên của ông hoàn toàn đúng. Nhưng khi chúng ta đưa ra đây khái niệm rằng *ether* là một chất không trọng lượng, dù có phần nào giả tạo, nhưng ngay lập tức chúng ta thoát khỏi những hạt ánh sáng có tính chất giả tạo hơn nhiều. Chúng ta chỉ còn lại một chất "bí ẩn" thay cho vô số các chất tương ứng với vô số các màu sắc khác nhau trong quang phổ. Ông không nghĩ đây là một sự tiến bộ thật sự? Ít nhất, mọi khó khăn đều tập trung tại một điểm. Chúng ta không còn cần đưa ra những giả định hư cấu cho rằng các hạt tương ứng với các màu sắc khác nhau của ánh sáng di chuyển với cùng một vận tốc xuyên qua chân không. Lập luận thứ hai của ông cũng rất đúng. Chúng tôi chưa thể giải thích khái niệm *ether*

theo tư duy cơ học. Nhưng không có gì để nghi ngờ rằng những nghiên cứu trong tương lai về các hiện tượng quang học hay các hiện tượng khác sẽ giúp chúng ta sẽ phát hiện được cấu trúc của nó. Hiện nay, chúng ta vẫn phải chờ những thí nghiệm mới và các kết luận mới, nhưng cuối cùng, tôi hy vọng rằng chúng ta có thể làm sáng tỏ vấn đề về cấu trúc cơ học của ether.

N: Bây giờ chúng ta hãy rời bỏ vấn đề này vì chúng ta không thể đưa ra một kết luận hợp lý. Ngay cả khi quên đi những khó khăn này, tôi rất muốn biết lý thuyết của ông giải thích như thế nào những hiện tượng rất rõ ràng và dễ hiểu theo quan điểm của lý thuyết hạt. Hãy thử lấy một thí dụ, ánh sáng lan truyền trong chân không hay trong không khí theo những đường thẳng. Một mảnh giấy đặt trước một cây đèn cây sẽ cho ta một bóng đen có đường viền sắc sảo và rõ nét trên vách tường. Nếu lý thuyết sóng của ánh sáng là đúng, chúng ta không thể nào có một cái bóng sắc nét như thế được vì sóng sẽ uốn cong xung quanh các cạnh của tấm giấy và làm mờ cái bóng. Ông biết rằng một con thuyền nhỏ trên biển không phải là vật cản của các con sóng và các con sóng chỉ uốn lượn quanh con thuyền mà không tạo nên cái bóng nào hết.

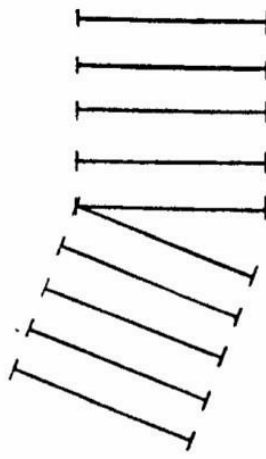
H: Đây không phải là một lập luận đáng tin cậy. Hãy quan sát những con sóng ngắn trên sông khi chúng đánh vào một bên mạn của một con tàu lớn. Chúng ta sẽ không thấy những con sóng này ở mạn bên kia. Nếu các con sóng đủ nhỏ và con tàu đủ lớn, chúng ta sẽ thấy một cái bóng xuất hiện rất rõ ràng. Rất có khả năng là ánh sáng dường như truyền theo đường thẳng chỉ vì bước sóng của chúng quá nhỏ so với kích thước của vật cản hay so với khẩu độ thông thường được dùng trong thực nghiệm. Nếu chúng ta có thể tạo ra một vật cản đủ nhỏ, bóng của nó sẽ không còn nữa. Chúng ta sẽ gặp phải rất nhiều khó khăn trong thực nghiệm khi thiết kế các thiết bị có khả năng kiểm chứng sự uốn cong của ánh sáng. Tuy nhiên, nếu chúng ta vượt qua những khó khăn này, kết quả thí nghiệm sẽ mang tính quyết định cho một trong hai lý thuyết sóng hay hạt của ánh sáng.

N: Lý thuyết sóng có thể dẫn dắt chúng ta đến những sự kiện mới trong tương lai. Nhưng trước mắt, tôi chưa thấy một thí nghiệm nào đáng tin cậy và có thể khẳng định lý thuyết này. Cho đến chừng nào thực nghiệm có thể chứng minh một cách chính xác rằng ánh sáng có thể uốn cong, tôi không thấy bất kỳ lý do nào để không tin vào lý thuyết hạt vì theo tôi, đó là một lý thuyết đơn giản hơn và do đó nó sẽ tốt hơn lý thuyết sóng.

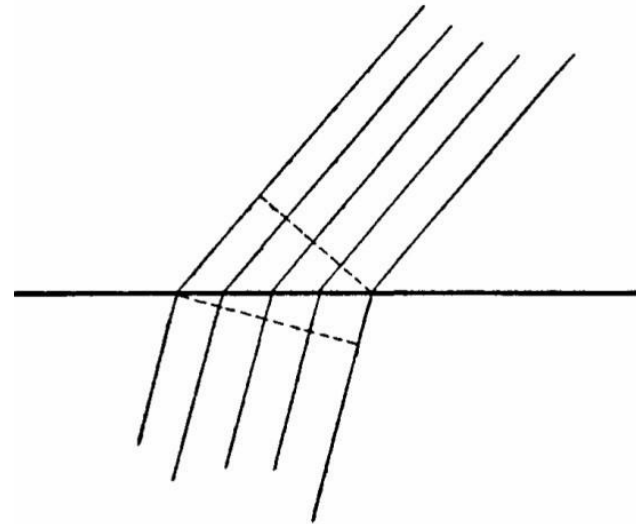
Chúng ta tạm ngưng cuộc thảo luận tại đây dù vẫn chưa được thảo luận triệt để mọi khía cạnh này.

Vấn đề còn lại đó là việc lý thuyết sóng giải thích thế nào về sự khúc xạ của ánh sáng và sự đa dạng của màu sắc. Như chúng ta đã biết, lý thuyết hạt có thể giải thích được hiện tượng này. Trước tiên, chúng ta hãy bắt đầu với vấn đề khúc xạ và giải thích hiện tượng này bằng một thí dụ không hề liên quan đến quang học.

Có hai người đang đi trên một mặt phẳng rộng rãi, mỗi người cầm một đầu của một cây sào cứng. Đầu tiên, hai người này tiến tới với cùng một vận tốc. Nếu vận tốc của hai người vẫn không đổi, không lớn hơn mà cũng không nhỏ hơn vận tốc ban đầu, cây sào vẫn dịch chuyển song song, nghĩa là cây sào không bị xoay hoặc bị thay đổi hướng dịch chuyển. Tất cả các vị trí kế tiếp của cây sào luôn song song với nhau. Nhưng bây giờ chúng ta hãy thử tưởng tượng vào một lúc nào đó, khoảng chừng một phần nhỏ của một giây, hai người này di chuyển không đồng nhất. Điều gì sẽ xảy ra? Thật rõ ràng trong khoảng thời gian này cây sào sẽ xoay lệch đi, và do vậy nó không còn dịch chuyển song song với vị trí đầu tiên của nó. Khi vận tốc của hai người lại một lần nữa bằng nhau, cây sào sẽ dịch chuyển theo một hướng khác với hướng ban đầu. Điều này được mô tả rõ ràng trong hình vẽ sau đây. Sự thay đổi hướng dịch chuyển của cây sào xảy ra trong khoảng thời gian mà hai người đi bộ với vận tốc khác nhau.



Thí dụ này giúp chúng ta hiểu được sự khúc xạ của sóng. Một sóng phẳng lan truyền trong ether và chạm vào bề mặt của một tấm thủy tinh. Trong hình kế tiếp, chúng ta nhận thấy một sóng lan truyền được biểu thị với một mặt đầu sóng tương đối rộng. Chúng ta hiểu mặt đầu sóng là một mặt phẳng mà trên đó tất cả các phần tử của ether đều có cùng trạng thái vào cùng một thời điểm. Vì vận tốc ánh sáng tùy thuộc vào môi trường lan truyền, nên vận tốc của nó trong thủy tinh sẽ khác với vận tốc trong chân không. Trong khoảng thời gian rất ngắn khi mặt đầu sóng truyền vào thủy tinh, các phần tử khác nhau của mặt đầu sóng sẽ có những vận tốc khác nhau. Phần tử nào đã đến mặt thủy tinh sẽ lan truyền với vận tốc ánh sáng trong thủy tinh, trong khi các phần tử khác vẫn còn di chuyển với vận tốc ánh sáng trong ether. Do sự khác biệt về vận tốc dọc theo mặt đầu sóng trong thời gian “nhúng vào” trong thủy tinh, hướng của sóng sẽ phải thay đổi.



Như thế, chúng ta thấy rằng không chỉ lý thuyết hạt mà lý thuyết sóng cũng đưa ra được đáp án cho sự khúc xạ của ánh sáng. Nếu nghiên cứu kỹ hơn lý thuyết sóng với một ít kiến thức toán học, chúng ta sẽ thấy rằng việc giải thích bằng lý thuyết sóng sẽ đơn giản hơn, đạt được kết quả tốt hơn, và các kết luận được rút ra là hoàn toàn phù hợp với sự quan sát. Quả thật các phương pháp định lượng có thể giúp ta suy ra được vận tốc ánh sáng trong một môi trường khúc xạ, nếu chúng ta biết tia sáng bị khúc xạ như thế nào khi đi vào môi trường này. Các đo đạc trực tiếp đã khẳng định một cách tuyệt vời dự đoán này và như thế, cũng khẳng định được tính đúng đắn của lý thuyết sóng của ánh sáng.

Ta vẫn còn lại câu hỏi về màu sắc.

Chúng ta phải nhớ rằng sóng được mô tả bởi hai con số, vận tốc và bước sóng. Giả định cơ bản của lý thuyết sóng về ánh sáng là *các bước sóng khác nhau tương ứng các màu sắc khác nhau*. Bước sóng của ánh sáng vàng đơn sắc khác với bước sóng của màu đỏ hay màu tím. Thay vì gượng ép sự phân biệt các hạt ứng với các màu sắc khác nhau, chúng ta có sự khác biệt tự nhiên của bước sóng.

So sánh sau đây cho thấy các thí nghiệm của Newton về sự tán sắc của ánh sáng có thể được diễn tả bởi hai ngôn ngữ khác nhau, ngôn ngữ của lý thuyết hạt và ngôn ngữ của lý thuyết sóng.

Thí dụ như:

Ngôn ngữ hạt — Ngôn ngữ sóng

Các hạt ứng với các màu khác nhau có cùng vận tốc trong chân không, nhưng có vận tốc khác nhau trong thủy tinh.

—Các tia sáng, có bước sóng khác nhau ứng với các màu khác nhau, có cùng vận tốc trong ether, nhưng có vận tốc khác nhau trong thủy tinh.

Ánh sáng trắng là sự tổng hợp của các hạt ứng với các màu khác nhau, các hạt này bị phân ly trong quang phổ.

—Ánh sáng trắng là sự tổng hợp của các sóng có mọi bước sóng, chúng bị phân ly trong quang phổ.

Dường như sẽ khôn ngoan hơn nếu ta có thể né tránh sự mâu thuẫn đến từ sự tồn tại của hai lý thuyết khác nhau cho cùng một hiện tượng bằng cách ưu tiên cho một trong hai lý thuyết sau khi xem xét kỹ lưỡng các ưu khuyết điểm của chúng. Cuộc tranh luận giữa N và H cho thấy đây không phải là một vấn đề dễ dàng. Đến đây, quyết định có lẽ nghiêng về sở thích hơn là lập trường khoa học. Trong thời đại của Newton và trong hơn một trăm năm sau đó, hầu hết các nhà vật lý học đều nghiêng về lý thuyết hạt.

Khá lâu sau, khoảng giữa thế kỷ thứ mười chín, lịch sử mới có phán quyết nghiêng về lý thuyết sóng và chống lại lý thuyết hạt. Trong cuộc thảo luận với H , N đã phát biểu rằng: Theo nguyên tắc, thực nghiệm có thể chứng minh tính đúng đắn của một lý thuyết. Lý thuyết hạt không cho phép ánh sáng uốn cong và đòi hỏi sự tồn tại những cái bóng sắc nét. Trái lại theo lý thuyết sóng, một vật cản đủ nhỏ sẽ không có bóng. Trong công trình của Young^[18] và Fresnel, ^[19] kết quả này đã được thực hiện bằng thực nghiệm và các kết luận lý thuyết đã được rút ra từ đấy.

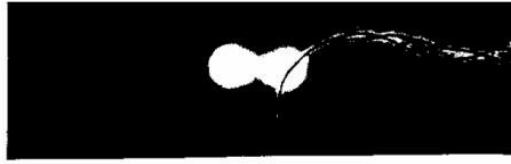
Chúng ta đã đề cập đến thí nghiệm vô cùng đơn giản về màn chắn với một cái lỗ nhỏ được đặt trước một điểm sáng, và ta có một cái bóng trên tường. Chúng ta sẽ đơn giản hóa thí nghiệm hơn nữa bằng cách giả sử rằng nguồn sáng chỉ phát ra ánh sáng đơn sắc. Và để có kết quả tốt nhất, ta sẽ dùng một nguồn sáng mạnh. Chúng ta hãy tưởng tượng rằng cái lỗ trên màn được thu lại càng lúc càng nhỏ hơn. Nếu chúng ta dùng một nguồn sáng đủ mạnh và cái lỗ đủ nhỏ thì một hiện tượng mới bất ngờ sẽ xuất hiện và không thể giải thích được bằng quan điểm của lý thuyết hạt. Bây giờ ta không thể phân biệt rõ ràng giữa vùng sáng và vùng tối nữa. Ánh sáng xuất hiện như một chuỗi những vòng sáng và vòng tối, và mờ dần trên nền tối. Sự xuất hiện các vòng sáng tối này là điểm rất đặc trưng của lý thuyết sóng. Nếu chúng ta thay đổi một vài chi tiết trong thí nghiệm này, chúng ta có thể giải thích được sự xen kẽ của các vòng sáng và tối. Trên một tấm giấy màu đen, giả sử chúng ta đục hai lỗ kim để ánh sáng có thể đi qua. Nếu các lỗ kim rất nhỏ, nằm sát nhau và nếu nguồn sáng đơn sắc đủ mạnh, rất nhiều vân sáng và vân tối sẽ xuất hiện trên tường, mờ dần về hai phía rồi chìm vào bóng tối. Hiện tượng này được giải thích rất đơn giản. Vân tối là nơi mà đáy sóng của ánh sáng từ một lỗ kim gặp đỉnh sóng của sóng ánh sáng từ lỗ kim còn lại, chúng triệt tiêu lẫn nhau. Vân sáng là nơi mà hai đáy sóng hay hai đỉnh sóng đến từ hai lỗ kim gặp nhau và gia tăng cường độ lẫn nhau. Đối các vòng sáng tối trong thí dụ trước đây, khi chúng ta dùng một màn chắn chỉ có một lỗ kim, sự giải thích sẽ phức tạp hơn nhưng nguyên tắc thì vẫn như nhau. Chúng ta nên ghi nhớ sự xuất hiện của các vân sáng và vân tối trong trường hợp với hai lỗ kim và các trường hợp các vòng sáng và tối trong trường hợp một lỗ kim. Chúng ta sẽ quay lại với điều này với hai bức tranh khác nhau. Những thí nghiệm này diễn tả sự nhiễu xạ của ánh sáng, đó là sự lệch khỏi sự lan truyền theo đường thẳng của ánh sáng khi các lỗ kim hay các vật cản nhỏ nằm trên đường đi của sóng ánh sáng.

Với một ít kiến thức toán học, ta có thể tiến xa hơn rất nhiều. Ta có thể tính toán và tìm được độ lớn hay độ nhỏ của bước sóng làm xuất hiện một mô hình nhiễu xạ cụ thể. Như thế, các thí nghiệm trên có thể giúp ta đo được bước sóng của ánh sáng đơn sắc khi nó được dùng như một nguồn sáng. Để hình dung được con số này nhỏ như thế nào, chúng ta nêu lên hai bước sóng tiêu biểu cho những cực điểm của quang phổ Mặt Trời, đó là ánh sáng đỏ và tím.

Bước sóng của ánh sáng đỏ là 0,00008 cm.

Bước sóng của ánh sáng tím là 0,00004 cm.

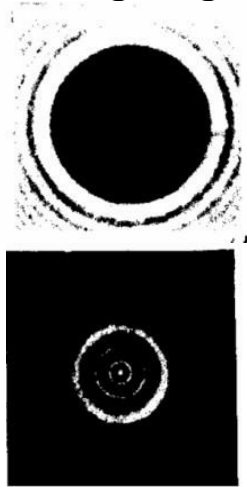
TRANG ẢNH II



Các đốm sáng sau khi hai tia sáng lần lượt đi qua hai lỗ kim (một lỗ kim được mở rồi bị che khuất và lỗ kim còn lại mở)



Các vạch sáng và tối khi ánh sáng cùng lúc xuyên qua cả hai lỗ kim



Trái: Sự nhiễu xạ của ánh sáng làm nó uốn cong quanh một vật cản rất bé.

Phải: Sự nhiễu xạ của ánh sáng khi xuyên qua một lỗ nhỏ

Chúng ta không nên ngạc nhiên vì những con số này lại nhỏ như thế. Trong tự nhiên, chúng ta quan sát thấy bóng của mọi vật rất sắc nét là bởi vì đó là hiện tượng ánh sáng lan truyền theo đường thẳng. Lý do chính của sự sắc nét này là vì mọi vật và các khẩu độ của các lỗ thông sáng thường có kích thước vô cùng lớn so với bước sóng của ánh sáng. Chỉ khi chúng ta sử dụng các vật cản hay các khe hở rất nhỏ thì ánh sáng mới biểu lộ bản chất sóng của nó.

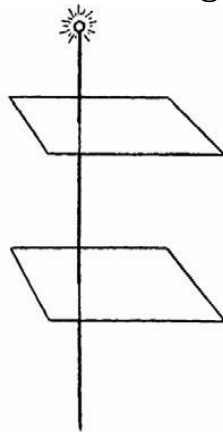
Nhưng việc tìm kiếm một lý thuyết thích hợp cho ánh sáng vẫn chưa thể chấm dứt. Phán quyết của thế kỷ thứ mười chín vẫn chưa phải là phán quyết cuối cùng. Bởi vì đối với các nhà vật lý hiện đại, sự tranh chấp giữa sóng và hạt vẫn tiếp tục tồn tại, và lần này vấn đề trở nên sâu sắc và phức tạp hơn. Chúng ta hãy chấp nhận sự thất bại của lý thuyết hạt của ánh sáng cho đến khi chúng ta nhận thấy những điều đáng ngờ trong chiến thắng của lý thuyết sóng.

ÁNH SÁNG LÀ SÓNG DỌC HAY SÓNG NGANG?

Tất cả các hiện tượng quang học mà chúng ta đã nói đến đều củng cố cho lý thuyết sóng. Sự uốn cong của ánh sáng quanh một vật cản rất nhỏ và việc lý giải hiện tượng khúc xạ là những luận chứng thuyết phục nhất của lý thuyết này. Theo quan điểm cơ học, chúng ta nhận thấy rằng vẫn có một vấn đề chưa được giải quyết: Xác định các tính chất cơ học của ether. Điều cơ bản để giải quyết vấn đề này là cần phải xác định được sóng ánh sáng truyền trong ether là sóng dọc hay là sóng ngang. Hay nói cách khác: Sự lan truyền của ánh sáng có giống như sự lan truyền của âm thanh hay không? Có phải sóng ánh sáng được hình thành bởi sự thay đổi mật độ của môi trường, cho nên sự dao động của các hạt của ether phải có cùng hướng với hướng lan truyền của sóng? Hay là ether giống với mút trái cây có tính đàn hồi, một môi trường chỉ có thể tạo nên sóng ngang và các hạt của môi trường này dịch chuyển theo hướng vuông góc với hướng lan truyền của sóng?

Trước khi giải quyết vấn đề này, chúng ta hãy thử quyết định lời giải đáp nào sẽ được ưu tiên hơn. Rõ ràng là chúng ta sẽ rất may mắn nếu ánh sáng là những sóng dọc. Vì nếu thế thì những khó khăn trong việc kiến tạo cơ sở cơ học cho ether sẽ trở nên đơn giản hơn. Hình ảnh ether của chúng ta có thể có những nét tương đồng với hình ảnh cơ học của chất khí khi lý giải sự lan truyền của sóng âm thanh. Sẽ khó khăn hơn nhiều nếu chúng ta muốn xây dựng hình ảnh ether có thể mang theo sóng ngang. Thật không dễ tưởng tượng rằng mút là một môi trường hạt, và sóng lại được lan truyền bởi chính những hạt này. Huygens đã tin rằng tính chất của ether sẽ “giống không khí” hơn là “giống mút.” Nhưng tự nhiên không quan tâm đến những hạn chế của chúng ta. Thử hỏi trong trường hợp này, tự nhiên có khoan dung cho các nhà vật lý khi họ đang cố lý giải mọi sự kiện bằng quan điểm cơ học? Để trả lời câu hỏi này, chúng ta phải thảo luận thêm một vài thí nghiệm mới.

Chúng ta chỉ xem xét chi tiết về một trong rất nhiều thí nghiệm có thể trả lời câu hỏi trên. Giả sử chúng ta có một tấm tinh thể tourmaline (khoáng vật dạng tinh thể) rất mỏng, được cắt bằng một cách rất đặc biệt mà chúng ta không cần mô tả ở đây. Tấm tinh thể này có độ mỏng đủ để chúng ta có thể thấy được một nguồn sáng xuyên qua nó. Bây giờ chúng ta lấy hai tấm tinh thể như thế và đặt chúng giữa nguồn sáng và mắt chúng ta. Chúng ta sẽ quan sát được gì? Vẫn là một điểm sáng nếu các tấm tinh thể đủ mỏng. Chúng ta sẽ rất may mắn nếu thí nghiệm này khẳng định sự chờ đợi của chúng ta. Để tránh những quan điểm cho rằng điều chúng ta làm có thể chỉ đến từ sự may mắn, hãy giả sử rằng chúng ta luôn nhìn thấy điểm sáng xuyên qua hai tấm tinh thể. Bây giờ ta từ từ thay đổi vị trí một trong hai tấm tinh thể bằng cách xoay nó. Thí nghiệm này chỉ có nghĩa khi tấm tinh thể được xoay quanh một trục cố định. Ta hãy chọn trục xoay là đường ánh sáng xuyên qua hai tấm tinh thể. Điều này có nghĩa là chúng ta thay đổi vị trí của tất cả các điểm trên tấm tinh thể ngoại trừ các điểm nằm trên trục.



Một điều kỳ lạ xảy ra! Ánh sáng trở nên càng lúc càng yếu dần cho đến khi nó hoàn toàn biến mất. Nếu chúng ta tiếp tục xoay tấm tinh thể, ánh sáng sẽ dần xuất hiện trở lại và khi tấm tinh thể trở về vị trí ban đầu, chúng ta sẽ có lại điểm sáng như trước.

Dù không đi sâu vào chi tiết của thí nghiệm này và các thí nghiệm tương tự, chúng ta vẫn có thể đặt câu hỏi sau: Liệu hiện tượng này có thể giải thích được nếu sóng ánh sáng là sóng dọc?

Đối với sóng dọc, các hạt của ether sẽ di động theo hướng của trục, cũng là hướng lan truyền của ánh sáng. Nếu tất cả tinh thể xoay quanh trục thì không có gì thay đổi trên chính trục xoay này. Các điểm trên trục không dịch chuyển và sự dịch chuyển của các điểm gần trục hầu như là rất nhỏ. Nếu ánh sáng là sóng dọc, chúng ta không thể có sự thay đổi rõ ràng như điểm sáng mờ dần đi trước khi biến mất để rồi xuất hiện trở lại. Hiện tượng này và các hiện tượng tương tự chỉ có thể được giải thích nếu sóng ánh sáng là sóng ngang chứ không phải sóng dọc. Hay nói cách khác, chúng ta phải giả định rằng ether có đặc tính “giống nút.”

Thật đáng buồn! Chúng ta phải chuẩn bị tinh thần để đương đầu với những khó khăn kinh khủng khi cố gắng mô tả ether theo tư duy cơ học.

ETHER VÀ TƯ DUY CƠ HỌC

Việc bàn luận về vô số các cố gắng nhằm xác định bản chất cơ học của ether, như một môi trường lan truyền của ánh sáng, là một câu chuyện rất dài. Chúng ta biết rằng sự hình thành tư duy cơ học dựa trên quan điểm cho rằng vật chất được cấu tạo từ các hạt có những lực tương tác nằm trên đường thẳng nối liền chúng và chỉ phụ thuộc vào khoảng cách giữa chúng. Để xây dựng chất ether như một chất cơ học “giống mứt”, các nhà vật lý đã đưa ra nhiều giả định rất giả tạo và không tự nhiên. Ở đây, chúng ta không cần trích dẫn các công việc này vì hầu như chúng thuộc về quá khứ quên lãng. Tuy nhiên, kết quả của các công trình này rất quan trọng và đáng chú ý. Tính chất giả tạo của tất cả các giả định này, sự cần thiết phải đưa vào quá nhiều giả định hầu như không liên hệ với nhau, đã đủ làm tiêu tan lòng tin vào quan điểm cơ học.

Ta còn có những ý kiến phản bác khác và đơn giản hơn rất nhiều so với những khó khăn trong việc kiến tạo ether. Nếu muốn giải thích các hiện tượng quang học theo tư duy cơ học, chúng ta cần phải giả định ether có mặt khắp nơi. Không gian trống rỗng không thể tồn tại trong vũ trụ nếu ánh sáng thật sự chỉ có thể lan truyền trong một môi trường.

Cơ học cho chúng ta biết rằng khoảng không liên hành tinh không cản trở sự di chuyển các vật thể mang tính vật chất. Thí dụ như các hành tinh du hành trong “ether giống như mứt” mà không gặp bất kỳ cản trở nào như trong môi trường vật chất mà các hành tinh này chắc chắn gặp phải. Nếu ether không ảnh hưởng gì đến chuyển động của các hành tinh, các hạt của ether cũng sẽ không tương tác với các hạt của vật chất. Ánh sáng đi xuyên qua ether và cũng xuyên qua thủy tinh và nước, nhưng vận tốc của nó chỉ thay đổi khi lan truyền qua thủy tinh và nước. Làm sao lý giải sự kiện này bằng tư duy cơ học? Rõ ràng là chỉ có thể dựa vào giả định về sự tương tác giữa các hạt của ether và các hạt của vật chất. Chúng ta vừa thấy rằng, nếu các vật thể có thể di chuyển tự do thì những tương tác này phải được giả định là không thể tồn tại. Hay nói cách khác, tương tác giữa ether và vật chất chỉ xuất hiện trong hiện tượng quang học và không tồn tại trong hiện tượng cơ học. Đây quả thật là một kết luận đầy nghịch lý!

Dường như ta chỉ có một con đường duy nhất để thoát khỏi những khó khăn này. Trong suốt quá trình phát triển khoa học cho đến thế kỷ hai mươi, những cố gắng tìm hiểu các hiện tượng tự nhiên bằng quan điểm cơ học đều dựa trên việc đưa ra các chất giả định, như lưu chất điện và từ, các hạt ánh sáng hay là ether. Kết quả có được chính là mọi khó khăn đều được tập hợp ở một vài điểm cơ bản, ví dụ như ether trong các hiện tượng quang học. Ở đây, các cố gắng vô ích để kiến tạo ether theo cách đơn giản, cũng như những phản đối khác, cho thấy sự sai lầm dường như ở những giả định cơ bản cho rằng tất cả hiện tượng trong tự nhiên đều có thể được giải thích bằng tư duy cơ học. Khoa học đã không thành công trong tiến trình theo đuổi tư duy cơ học một cách toàn diện và có tính thuyết phục. Và ngày nay, không một nhà vật lý nào tin vào việc tư duy cơ học đủ khả năng để lý giải cho mọi sự việc.

Trong các bài thảo luận về những ý tưởng chính trong vật lý, chúng ta đã gặp vài vấn đề nan giải, nhiều khó khăn và trở ngại làm nản chí những cố gắng trong việc thiết lập một tư duy thống nhất đáng tin tưởng cho tất cả các hiện tượng của thế giới bên ngoài. Vẫn còn đó manh mối vẫn chưa được chú ý trong cơ học cổ điển về sự đồng nhất giữa khối lượng hấp dẫn và khối lượng quán tính. Vẫn còn đó tính giả tạo của các lưu chất điện và từ. Vẫn còn đó lực tương tác giữa dòng điện và kim nam châm, một khó khăn chưa được giải quyết. Chúng ta cũng phải nhớ rằng lực này không những không tác dụng theo các đường thẳng nối liền dây điện và cực nam châm, mà còn phụ thuộc vào vận tốc chuyển động của điện tích. Định luật cho phép mô tả hướng và cường độ của lực này là vô cùng phức tạp. Và cuối cùng chúng ta gặp phải khó khăn rất lớn với ether.

Vật lý học hiện đại đã tấn công tất cả các vấn đề này và đã có lời giải đáp cho chúng. Nhưng những nỗ lực này lại làm nảy sinh nhiều vấn đề mới hơn và sâu sắc hơn. Dù chúng ta có tầm hiểu biết rộng hơn và sâu hơn so với các nhà vật lý ở thế kỷ thứ mười chín, nhưng những nghi ngờ và khó khăn thì vẫn giống như họ đã có trước đây.

Chúng ta tóm tắt:

Trong các lý thuyết cũ của lưu chất điện, trong các lý thuyết sóng và hạt của ánh sáng, chúng

ta chứng kiến những cố gắng trong việc tiếp tục ứng dụng tư duy cơ học. Nhưng trong phạm vi của các hiện tượng điện học và quang học, chúng ta gặp phải những khó khăn vô cùng trầm trọng khi ứng dụng tư duy này.

Chuyển động của một điện tích sẽ tác động lên kim nam châm với lực tác động tùy thuộc không những vào khoảng cách, mà còn vào vận tốc của điện tích. Lực này không phải là lực hút hay lực đẩy, nó tác dụng vuông góc với đường nối liền kim nam châm và điện tích.

Trong lĩnh vực quang học, chúng ta đã phải chọn lý thuyết sóng (wave theory) để chống lại lý thuyết hạt (corpuscular theory) của ánh sáng. Sóng lan truyền trong môi trường cấu thành từ hạt (particles) tương tác với nhau bởi các lực cơ học, đây chắc chắn là một khái niệm cơ học. Nhưng môi trường lan truyền của ánh sáng là gì và có những đặc tính cơ học nào? Chúng ta không có hy vọng quy các hiện tượng quang học về hiện tượng cơ học trước khi trả lời câu hỏi này. Nhưng những khó khăn trong việc giải quyết vấn đề này lại lớn đến nỗi chúng ta phải từ bỏ ý muốn này, và như thế, cũng phải từ bỏ cả tư duy cơ học.

III. TRƯỜNG, THUYẾT TƯƠNG ĐỐI

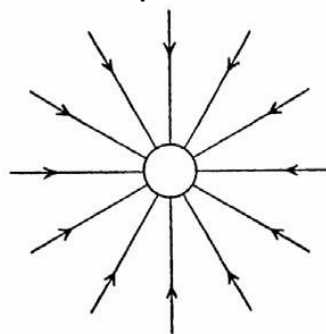
Trường là một phương thức diễn đạt... Hai cột trụ của lý thuyết trường... Hiện thực của trường... Trường và ether... Hệ trục tọa độ cơ học... Ether và sự chuyển động... Thời gian, khoảng cách, tính tương đối... Thuyết tương đối và cơ học... Miền liên tục không – thời gian... Thuyết tương đối rộng... Bên ngoài và bên trong thang máy... Hình học và thí nghiệm... Thuyết tương đối rộng và sự xác minh... Trường và vật chất.

TRƯỜNG LÀ MỘT PHƯƠNG THỨC DIỄN ĐẠT

Trong nửa cuối thế kỷ 19, những ý tưởng mới mang tính cách mạng đã được đưa vào vật lý học. Những ý tưởng này đã mở đường cho một tư duy triết học mới khác với tư duy cơ học. Những công trình nghiên cứu của Faraday,[\[20\]](#) Maxwell[\[21\]](#) và Hertz[\[22\]](#) đã mở đường cho sự phát triển của nền vật lý hiện đại, cho sự sáng tạo các khái niệm mới, và từ đó hình thành một thế giới quan mới.

Công việc của chúng ta bây giờ là mô tả những điều mà sự thay đổi này đã đem đến cho khoa học tự nhiên qua những khái niệm mới và trình bày quá trình củng cố và kết tinh của chúng. Chúng ta sẽ cố gắng mô tả lại quá trình này một cách logic mà không cần chú ý quá nhiều đến thứ tự thời gian.

Dù sự ra đời của các khái niệm mới đều xuất phát từ hiện tượng điện, nhưng để cho đơn giản hơn, chúng ta sẽ sử dụng cơ học để dẫn luận các khái niệm này. Chúng ta biết rằng hai hạt hút nhau bằng một lực hút có cường độ giảm dần theo bình phương khoảng cách giữa chúng. Chúng ta sẽ diễn tả sự kiện này theo một cách thức mới, dù những lợi điểm của cách thức này sẽ tương đối khó hiểu. Vòng tròn nhỏ trong hình vẽ dưới đây tượng trưng cho một vật thể có lực hút, ví dụ như Mặt Trời. Thật ra, chúng ta nên tưởng tượng hình vẽ này là một mô hình trong không gian chứ không phải được vẽ trên một mặt phẳng. Như thế, vòng tròn nhỏ của chúng ta tượng trưng cho một quả cầu trong không gian, đó là Mặt Trời. Một vật thể, được gọi là *vật thử nghiệm*, được đặt trong vùng lân cận của Mặt Trời sẽ bị hút theo một đường thẳng nối liền tâm của vật thể và tâm của Mặt Trời. Như thế, những đường thẳng trong hình cho ta biết hướng lực hút của Mặt Trời ứng với các vị trí khác nhau của vật thử nghiệm.



Các mũi tên trên đường thẳng cho thấy lực tương tác hướng về phía Mặt Trời nên lực này phải là lực hút. Chúng là *những đường sức của một trường hấp dẫn*. Đây chỉ là một cái tên và chúng ta chẳng có lý do gì phải tìm hiểu sâu hơn. Tuy nhiên, hình vẽ này có một nét đặc trưng riêng mà về sau chúng ta sẽ tìm hiểu kỹ hơn. Các đường sức được kiến tạo trong không gian mà không cần sự hiện diện của vật chất. Trước mắt, tất cả các đường sức, hay ngắn gọn hơn là *trường*, cho ta thấy một vật thử nghiệm sẽ bị tác động ra sao nếu nó được đặt trong vùng lân cận của trường được hình thành xung quanh quả cầu.

Các đường thẳng trong mô hình không gian của chúng ta luôn vuông góc với bề mặt của quả cầu. Vì các đường thẳng này phân kỳ từ một điểm, chúng sẽ dày đặc hơn khi ở gần quả cầu và thưa hơn khi chúng ở xa quả cầu. Nếu chúng ta tăng khoảng cách, tính từ quả cầu, lên gấp hai hay gấp ba lần, thì mật độ các đường thẳng của mô hình trong không gian – dù không trình bày trên hình vẽ – sẽ giảm đi bốn hay chín lần. Như thế các đường thẳng này giúp chúng ta đạt được hai mục đích. Một mặt, chúng mô tả hướng của lực tác động lên một vật thể khi vật thể ấy được đặt gần quả cầu Mặt Trời. Mặt khác, mật độ các đường sức trong không gian cho thấy sự phụ thuộc của lực vào khoảng cách. Nếu ta giải thích một cách rõ ràng, hình vẽ của trường tượng trưng cho hướng của lực hấp dẫn và sự phụ thuộc của nó vào khoảng cách. Người ta cũng có thể hiểu định luật hấp dẫn từ một hình vẽ như thế, cũng giống như khi mô tả tác động của định luật này bằng từ ngữ hay bằng ngôn ngữ chính xác và ngắn gọn của toán học. *Phương thức diễn đạt trường* hay *biểu diễn trường*, như chúng ta sẽ gọi nó như thế, có thể rõ ràng và thú vị, nhưng không có lý do nào để tin rằng phương thức diễn đạt này đánh dấu một bước tiến bộ thật sự. Thật khó để chứng minh sự hữu dụng của nó cho trường hợp hiện tượng hấp dẫn. Một số người có thể thấy rằng phương thức diễn đạt này sẽ hữu dụng khi hình dung các đường

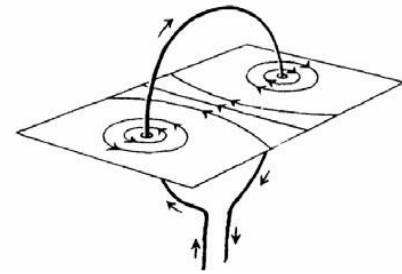
thẳng này không đơn thuần là những hình vẽ, và tưởng tượng rằng các tác động thật sự của lực qua các đường thẳng này. Điều này có thể là như thế, nhưng mặt khác ta phải thấy rằng tốc độ tác động dọc theo các đường sức phải được giả định là vô tận! Theo định luật Newton, lực tác động giữa hai vật thể chỉ tùy thuộc vào khoảng cách mà không hề liên hệ đến thời gian. Như thế, lực sẽ tác động tức thời từ vật thể này đến vật thể khác mà không cần thời gian! Vì không ai hình dung được tính hợp lý của một chuyển động với vận tốc vô tận, cho nên việc cố gắng suy diễn từ hình vẽ của chúng ta như một điều gì đó khác với một mô hình sẽ chẳng dẫn đến đâu cả.

Tuy nhiên, chúng ta không có ý định thảo luận về vấn đề của hiện tượng hấp dẫn ở đây. Mô hình này chỉ là sự dẫn nhập nhằm đơn giản hóa các phương pháp lý luận tương tự trong việc lý giải cho lý thuyết về điện học.

Chúng ta sẽ bắt đầu thảo luận về thí nghiệm đã gây rất nhiều khó khăn cho tư duy cơ học. Chúng ta có một dòng điện chạy qua một dây điện được uốn tròn. Đặt một kim nam châm ở tâm của vòng dây điện. Ngay khi dòng điện bắt đầu chạy, một lực mới sẽ xuất hiện, tác động lên cực nam châm và có hướng vuông góc với mọi đường thẳng nối liền dây điện và cực nam châm. Theo thí nghiệm của Rowland, nếu lực này phát xuất từ sự luân chuyển của điện tích thì nó sẽ phụ thuộc vào vận tốc của chúng. Kết quả của thí nghiệm này phủ nhận quan điểm triết học cho rằng tất cả các lực phải tác động theo đường thẳng nối liền các hạt và chỉ có thể phụ thuộc vào khoảng cách.

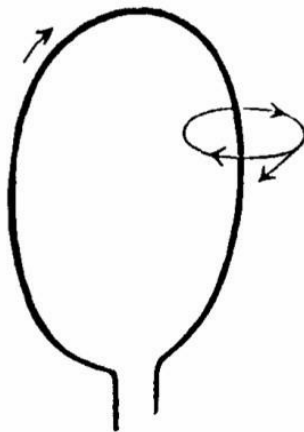
Quả thật việc mô tả chính xác lực của một dòng điện tác động lên một cực nam châm phức tạp hơn nhiều so với việc mô tả lực hấp dẫn. Tuy nhiên, chúng ta có thể cố gắng tạo một hình ảnh của tác động của lực này như đã làm đối với lực hấp dẫn. Câu hỏi của chúng ta là: Dòng điện đã dùng lực gì để tác động lên một cực nam châm được đặt trong vòng ảnh hưởng của nó? Thật không đơn giản để diễn tả lực này bằng lời nói, và cũng sẽ rất phức tạp và rắc rối với một công thức toán học. Tốt nhất chúng ta nên diễn đạt tất cả những gì đã biết về lực tác động này bằng một hình vẽ, hay đúng hơn là bằng một mô hình không gian và những đường sức. Điều khó khăn của chúng ta là một cực nam châm chỉ tồn tại khi liên kết với một cực nam châm khác và hình thành một lưỡng cực từ. Tuy nhiên, chúng ta có thể tưởng tượng một kim nam châm đủ dài, sao cho chỉ có lực tác động lên cực nam châm nằm gần dòng điện là đáng kể. Cực còn lại của thanh nam châm cách khá xa dòng điện, lực tác động lên nó xem như không đáng kể. Để tránh sự nhầm lẫn, chúng ta chỉ dùng *cực dương* của thanh nam châm trong mô hình này.

Tính chất của lực tác động lên một cực dương của nam châm được mô tả như trong hình vẽ.



Đầu tiên chúng ta hãy chú ý đến các mũi tên nằm gần dây dẫn, chúng chỉ hướng đi của dòng điện, từ nơi có điện thế cao đến nơi có điện thế thấp. Tất cả những đường khác chính là những đường sức của dòng điện và cùng nằm trên một mặt phẳng bất kỳ. Nếu được vẽ chính xác, các đường sức này sẽ cho chúng ta biết hướng của vector lực tương ứng với sự tác động của dòng điện lên cực dương của nam châm cũng như vài chi tiết về độ dài của vector này. Lực, như chúng ta đã biết, là một vector và để xác định nó chúng ta cần biết hướng cũng như chiều dài của nó. Điều chúng ta quan tâm nhất ở đây chính là vấn đề hướng của lực tác động lên một cực nam châm. Câu hỏi đặt ra là: Làm thế nào để từ hình vẽ có thể tìm được hướng của lực tại bất kỳ điểm nào trong không gian?

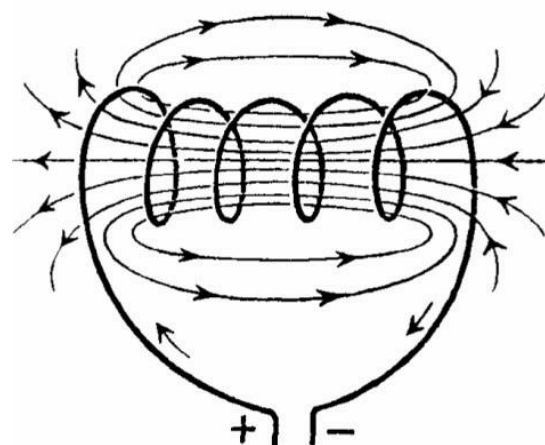
Quy tắc để tìm ra hướng của lực từ mô hình này lại không đơn giản như trong thí dụ trước, nơi mà các đường sức là những đường thẳng. Trong hình vẽ kế tiếp, ta chỉ vẽ duy nhất một đường sức để có thể giải thích rõ hơn quy luật này.



Trong hình vẽ này, các vector lực nằm trên đường tiếp tuyến với đường sức. Các mũi tên lực và các mũi tên trên đường sức đều chỉ cùng một hướng. Như thế, đây chính là hướng mà lực tác động lên một cực nam châm ở điểm này. Một hình vẽ tốt, đúng hơn là một mô hình tốt, sẽ cho ta biết vài chi tiết về chiều dài của vector lực tại bất kỳ điểm nào. Vector này phải dài hơn ở nơi có nhiều đường sức hơn, ví dụ như ở gần dây dẫn điện, ngắn hơn ở nơi mà các đường sức thưa hơn, ví dụ như ở xa dây dẫn điện.

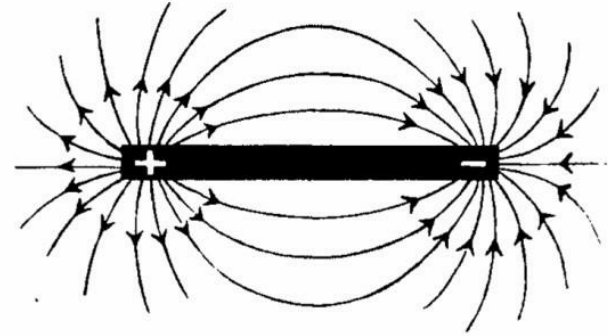
Như thế, các đường sức, hay nói cách khác là trường, giúp chúng ta xác định các lực tác động lên một cực nam châm ở bất kỳ điểm nào trong không gian. Và đây cũng là sự biện minh duy nhất cho việc tìm hiểu và xây dựng khái niệm trường của chúng ta. Khi biết trường điện từ điều gì, chúng ta sẽ tìm hiểu kỹ hơn về những đường sức tương ứng với một dòng điện. Những đường sức này là những đường tròn bao quanh dây dẫn điện và nằm trên một mặt phẳng vuông góc với mặt phẳng chứa dây dẫn điện ấy. Nếu tìm hiểu tính chất của lực trong hình vẽ, chúng ta đi đến một kết luận mới: Lực tác dụng theo hướng vuông góc với bất cứ đường thẳng nào nối liền dây dẫn điện và cực nam châm, vì đường tiếp tuyến của một vòng tròn luôn vuông góc với bán kính của vòng tròn đó. Toàn bộ hiểu biết của chúng ta về lực tác dụng có thể được tóm tắt trong kiến trúc của trường. Chúng ta đưa khái niệm “trường” vào giữa khái niệm “dòng điện” và “cực nam châm” nhằm mục đích diễn đạt các lực tác dụng theo một cách đơn giản.

Mỗi dòng điện đều liên kết với một từ trường, có nghĩa là luôn có một lực tác động lên một cực nam châm khi nó được đặt gần một dây dẫn có điện. Khi lưu ý đến điều này, chúng ta thấy rằng các tính chất này cho phép thiết kế những dụng cụ rất nhạy để dò tìm dòng điện. Một khi biết được tính chất của lực từ mô hình trường của một dòng điện, chúng ta sẽ luôn vẽ được trường xung quanh bất cứ dây dẫn có điện nào để mô tả tác dụng của các lực từ tại bất cứ điểm nào trong không gian. Trước hết, chúng ta hãy thảo luận về một thứ được gọi là solenoid, đó chỉ là một cuộn dây được thiết kế như trong hình vẽ. Mục đích của chúng ta là tìm hiểu bằng thực nghiệm tất cả những mối liên hệ giữa từ trường và dòng điện chạy qua solenoid, và sử dụng các kiến thức này để kiến tạo trường. Hình vẽ sẽ diễn đạt kết quả của chúng ta. Những đường sức uốn cong, khép kín và bao quanh solenoid theo cách đặc trưng như từ trường của một dòng điện.



Trường của một thanh nam châm có thể được biểu diễn tương tự như trường của dòng điện. Hình vẽ tiếp theo sẽ cho ta thấy điều này. Những đường sức hướng từ cực dương sang cực âm.

Các vectơ lực luôn nằm trên tiếp tuyến của đường sức và có chiều dài lớn nhất khi ở gần các cực vì các đường sức có mật độ lớn nhất ở những điểm này. Các vectơ lực cho ta thấy một nam châm tác động lên một cực dương của nam châm như thế nào. Trong trường hợp này, nam châm là “nguồn” của trường chứ không phải là dòng điện.



Chúng ta hãy so sánh hai hình vẽ trên một cách cẩn thận. Trong hình vẽ đầu tiên, chúng ta có từ trường của một dòng điện chạy qua một solenoid, trong hình vẽ thứ hai chúng ta có từ trường của một thanh nam châm. Nếu chúng ta không nghĩ tới solenoid và thanh nam châm, mà chỉ xét đến hai trường này, chúng ta sẽ nhận thấy ngay rằng chúng giống hệt nhau. Trong mỗi trường hợp, các đường sức đi từ đầu này đến đầu kia của solenoid hay thanh nam châm.

Khái niệm trường gặt hái kết quả đầu tiên! Thật không đơn giản để chúng ta nhận thấy sự tương đồng rõ nét giữa dòng điện chạy qua một solenoid và một thanh nam châm nếu điều này không được bộc lộ qua khái niệm trường.

Bây giờ khái niệm trường có thể được kiểm chứng một cách khắt khe hơn. Chúng ta sẽ sớm thấy rằng trường là một khái niệm khác lạ hơn hay chỉ là sự diễn đạt các lực tác dụng theo một cách mới. Chúng ta có thể lý luận như sau: Giả sử trường là hình thức diễn đạt đúng và duy nhất cho mọi tác động xuất phát từ những nguồn phát của nó. Đây chỉ là dự đoán. Nhưng dự đoán này sẽ đúng khi một solenoid và một thanh nam châm nếu có cùng một loại trường thì tất cả các ảnh hưởng của chúng phải như nhau. Điều này có nghĩa là hai solenoid có dòng điện chạy qua sẽ ảnh hưởng lẫn nhau giống như hai thanh nam châm. Chúng có thể hút hay đẩy nhau tùy theo vị trí tương đối của chúng. Điều này cũng có nghĩa là một solenoid và một thanh nam châm sẽ hút hay đẩy nhau tương tự như hai thanh nam châm. Một cách ngắn gọn hơn, điều này có nghĩa là mọi tác động của một solenoid có điện và một thanh nam châm tương ứng đều giống nhau, bởi vì các tác động này có thể quy kết về trường, và trường trong cả hai trường hợp đều giống nhau. Các thí nghiệm đã hoàn toàn khẳng định dự đoán của chúng ta.

Sẽ rất khó khăn để tìm ra được những sự kiện nêu trên nếu chúng ta không có khái niệm trường. Biểu thức toán học dùng để diễn tả lực tác dụng giữa một dây dẫn có điện và một cực nam châm là rất phức tạp. Nếu phải tìm hiểu những lực mà hai dòng điện tác dụng lẫn nhau trong trường hợp hai solenoid và nếu dùng phương tiện trường để giải quyết vấn đề này, chúng ta sẽ nhận thấy ngay lập tức rằng tất cả các tính chất của lực này giống như lực giữa trường của một solenoid và của một thanh nam châm.

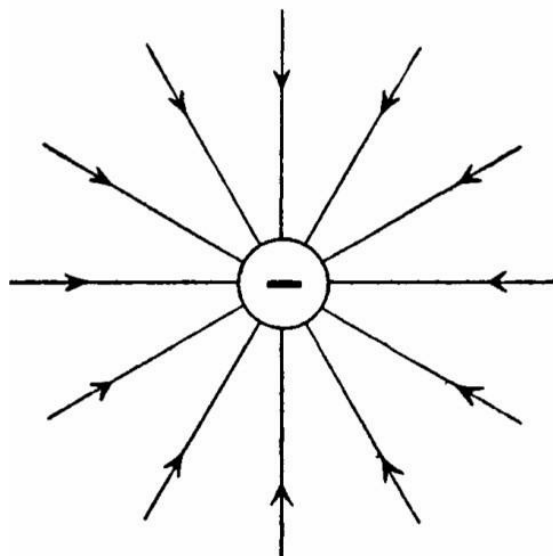
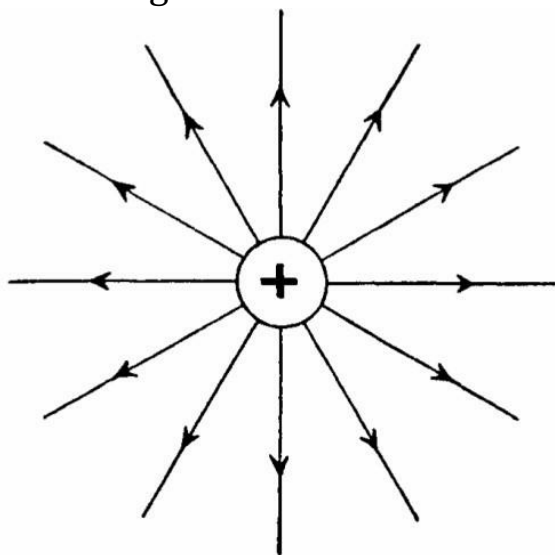
Chúng ta có cơ sở để nói rằng trường có ý nghĩa hơn cả những gì mà chúng ta đã nghĩ trước kia. Chỉ những tính chất của trường thôi dường như cũng là yếu tố cơ bản để diễn đạt các hiện tượng; sự khác biệt của các nguồn lực là không quan trọng. Khái niệm trường trở nên càng lúc càng quan trọng vì nó dẫn đến các thí nghiệm chứa đựng nhiều khám phá mới.

Trường đã chứng tỏ là một khái niệm đầy hữu ích. Đầu tiên, trường được đưa vào giữa nguồn lực và kim nam châm với mục đích mô tả lực tác dụng ở nơi này. Chúng ta có thể coi trường như một “người trung gian” thể hiện các hiệu ứng của dòng điện. Nhưng bây giờ “người trung gian” lại kiêm thêm vai trò của người phiên dịch trong việc chuyển đổi các quy luật trong tự nhiên thành một ngôn ngữ đơn giản, dễ hiểu và rõ ràng.

Thành công đầu tiên của khái niệm trường có thể giúp ta thuận tiện hơn trong việc xem xét mọi ảnh hưởng của dòng điện, nam châm và điện tích theo một cách gián tiếp. Trường được sử dụng như một người phiên dịch và được xem như một cái gì đó luôn liên kết với một dòng điện ngay khi ta không dùng đến nam châm để kiểm tra sự hiện hữu của trường. Chúng ta hãy cố

gắt theo dõi thật kiên định mạnh mẽ mới này.

Trường của một vật dẫn điện đã tích điện có thể được hiểu theo một cách gần giống như trường hấp dẫn hay trường của dòng điện hoặc nam châm. Một lần nữa, chúng ta sẽ chọn một thí dụ đơn giản nhất! Để vẽ được trường của một quả cầu tích điện dương, chúng ta phải biết loại lực nào tác dụng lên một vật thử nghiệm tích điện dương, có kích thước đủ nhỏ, khi nó được đem đến gần nguồn lực tạo nên bởi một quả cầu khác được tích điện dương. Việc chúng ta dùng một vật thử nghiệm tích điện dương chứ không phải tích điện âm chỉ là quy ước chung để có thể vẽ được hướng của các mũi tên trên các đường sức. Mô hình này cũng giống như mô hình của một trường hấp dẫn do sự tương đồng giữa định luật Coulomb và định luật Newton. Điều khác biệt duy nhất là các mũi tên chỉ theo hướng nghịch nhau, vì hai điện tích dương thì đẩy nhau còn hai khối lượng thì hút nhau. Tuy nhiên, trường của một quả cầu tích điện âm cũng giống như một trường hấp dẫn, vì vật thử nghiệm nhỏ tích điện dương bị hút bởi nguồn của trường.



Nếu cả hai cực điện và cực từ đứng yên, chúng không ảnh hưởng lẫn nhau, chẳng hút cũng chẳng đẩy nhau. Khi diễn đạt sự kiện này bằng ngôn ngữ trường, chúng ta có thể nói rằng: Một trường tĩnh điện không ảnh hưởng đến một trường tĩnh từ và ngược lại. Những từ “trường tĩnh” hay “trường không đổi” có nghĩa là trường này không thay đổi theo thời gian. Các nam châm và các điện tích có thể nằm vĩnh viễn bên nhau nếu không có ngoại lực làm nhiễu chúng. Các trường tĩnh điện, trường tĩnh từ và trường hấp dẫn có đặc tính hoàn toàn khác biệt. Chúng không hòa lẫn vào nhau, mỗi loại trường giữ lấy đặc tính riêng của nó bất chấp sự tồn tại của các trường khác.

Chúng ta hãy quay trở lại quả cầu tích điện vẫn còn nằm yên như cũ và giả định rằng nó bắt đầu chuyển động do tác động của ngoại lực nào đó. Quả cầu tích điện chuyển động. Với ngôn ngữ trường, câu này có thể được hiểu là: Trường của quả cầu tích điện thay đổi theo thời gian.

Tuy nhiên như chúng ta đã biết qua thí nghiệm của Rowland, sự chuyển động của quả cầu tích điện này tương đương với một dòng điện. Hơn thế nữa, mỗi dòng điện luôn đi kèm với một từ trường. Như thế chuỗi lập luận của chúng ta là:

Chuyển động của điện tích → Thay đổi của điện trường

↓

Dòng điện → Từ trường liên kết

Do vậy chúng ta kết luận rằng: *Sự thay đổi của một điện trường do sự chuyển động của một điện tích luôn đi kèm với một từ trường.*

Kết luận của chúng ta dựa trên thí nghiệm của Oersted nhưng kết luận này còn chứa đựng nhiều điều hơn nữa. Việc thừa nhận một điện trường thay đổi theo thời gian luôn có một từ trường liên kết đi theo là nền tảng cho những luận chứng kế tiếp của chúng ta.

Khi một điện tích vẫn còn đứng yên, ta chỉ có một trường tĩnh điện. Nhưng từ trường sẽ xuất hiện ngay khi điện tích này bắt đầu chuyển động. Chúng ta còn có thể nói được nhiều điều hơn nữa. Từ trường, được tạo nên bởi sự di chuyển của điện tích, sẽ mạnh hơn nếu điện tích lớn hơn và chuyển động nhanh hơn. Đây là một hệ quả của thí nghiệm của Rowland. Một lần nữa, ngôn ngữ trường cho phép chúng ta có thể nói: Điện trường thay đổi càng nhanh thì từ trường liên kết xuất hiện sẽ càng mạnh.

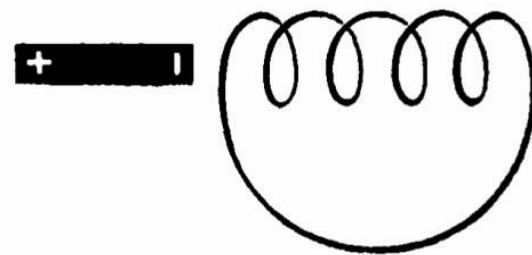
Ở đây, chúng ta đã cố gắng chuyển đổi các sự kiện quen thuộc từ ngôn ngữ lưu chất, một ngôn ngữ được phát triển từ tư duy cơ học cổ điển, sang ngôn ngữ trường. Về sau, chúng ta sẽ thấy ngôn ngữ mới của chúng ta sẽ rõ ràng ra sao, chứa đựng nhiều thông tin như thế nào và chúng ta sẽ tiến xa đến chừng nào.

HAI CỘT TRỤ CỦA LÝ THUYẾT TRƯỜNG

“Sự thay đổi của một điện trường luôn gắn liền với một từ trường.” Nếu các từ “điện” và “từ” được hoán chỗ cho nhau thì câu trên có thể được viết như sau: “Sự thay đổi của một từ trường luôn gắn liền với một điện trường.” Chỉ có thí nghiệm mới có thể quyết định tính đúng sai của phát biểu này. Nhưng ý tưởng cho việc đặt vấn đề này được gợi ý từ việc sử dụng ngôn ngữ trường.

Hơn một trăm năm trước đây, Faraday đã thực hiện một thí nghiệm dẫn tới phát minh vĩ đại về dòng điện cảm ứng.

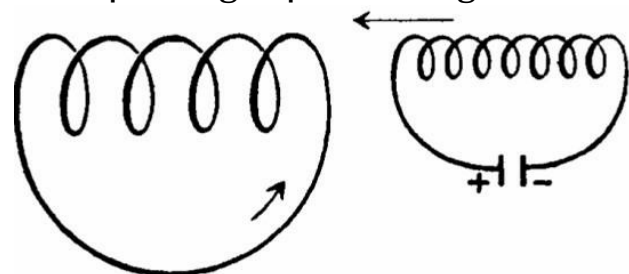
Chúng ta có thể minh họa hiệu ứng này theo cách đơn giản như sau. Chúng ta chỉ cần một solenoid hay vài vòng dây dẫn điện, một thanh nam châm và bất kỳ một loại máy đo nào có thể phát hiện sự có mặt của dòng điện. Trước hết, ta đặt một thanh nam châm nằm yên gần một solenoid với vòng dây dẫn điện khép kín. Không có dòng điện chạy qua dây dẫn điện vì không có nguồn cung cấp. Chỉ có một trường tĩnh từ của thanh nam châm không đổi theo thời gian. Bây giờ chúng ta thay đổi nhanh chóng vị trí của nam châm, hoặc là dời nó ra xa hoặc đem nó lại gần cuộn solenoid một cách tùy ý. Trong khoảnh khắc này, một dòng điện xuất hiện trong một thời gian rất ngắn rồi biến mất.



Mỗi khi thanh nam châm thay đổi vị trí, dòng điện lại xuất hiện và ta có thể đo được dòng điện này bằng một dụng cụ đủ nhạy. Nhưng theo quan điểm của lý thuyết trường, sự hiện hữu của dòng điện đồng nghĩa với sự hiện hữu của một điện trường gây ra dòng chảy của lưu chất điện xuyên qua dây dẫn điện. Dòng điện và dĩ nhiên là cả điện trường sẽ biến mất khi thanh nam châm nằm yên.

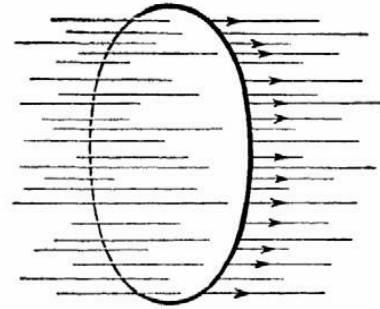
Hãy thử tưởng tượng rằng ngôn ngữ trường vẫn chưa được biết đến và những kết quả của thí nghiệm này cần phải được mô tả một cách định tính và định lượng theo ngôn ngữ của những khái niệm cơ học cổ điển. Thí nghiệm của chúng ta cho thấy: Sự di chuyển của một lưỡng cực từ đã tạo ra một lực mới, lực này làm chuyển động lưu chất điện trong dây dẫn. Câu hỏi tiếp theo sẽ là: Lực này tùy thuộc vào điều gì? Thật khó mà trả lời. Chúng ta phải tìm hiểu sự phụ thuộc của lực này vào vận tốc của thanh nam châm, hình thù của thanh nam châm và của cuộn dây. Khi chúng ta xem xét vấn đề với ngôn ngữ cổ điển, thí nghiệm này không hề gợi ý cho chúng ta câu hỏi: Liệu rằng một dòng điện cảm ứng có thể được kích hoạt với một cuộn dây dẫn điện khác có dòng điện chạy bên trong thay vì với chuyển động của một thanh nam châm hay không?

Ngược lại, nếu chúng ta dùng ngôn ngữ trường và tin tưởng vào một nguyên tắc: Tác dụng được xác định bởi trường. Chúng ta thấy ngay một solenoid có dòng điện chạy qua hoàn toàn có thể thay thế vai trò của một thanh nam châm. Hình vẽ sau cho thấy hai solenoid: Solenoid nhỏ có dòng điện chạy qua và solenoid lớn hơn dùng để phát hiện dòng điện cảm ứng.



Chúng ta có thể tạo nên hiện tượng cảm ứng trong solenoid lớn bằng cách dịch chuyển

solenoid nhỏ, như đã làm trước đây với thanh nam châm. Hơn thế nữa, thay vì dịch chuyển solenoid nhỏ, chúng ta có thể đóng ngắt mạch điện để làm dòng điện lúc chạy lúc không trong solenoid nhỏ và như thế làm cho từ trường lúc có lúc không. Những dự đoán được rút ra từ lý thuyết trường lại một lần nữa được minh chứng bằng thí nghiệm.



Chúng ta hãy xét một thí dụ đơn giản hơn. Chúng ta có một dây dẫn điện khép kín và không có nguồn dòng nào cả. Ta có một từ trường ở gần đấy. Đối với chúng ta, từ trường phát xuất từ một cuộn dây có dòng điện chạy qua hay từ một thanh nam châm đều không quan trọng. Hình vẽ của chúng ta mô tả một mạch điện kín và các đường sức từ. Tính định tính và tính định lượng của hiện tượng cảm ứng được mô tả hết sức đơn giản bởi ngôn ngữ trường. Hình vẽ này cho thấy có một số đường sức đi xuyên qua mặt phẳng được bao bọc bởi dây dẫn điện. Chúng ta phải xem xét những đường sức đi qua phần mặt phẳng giới hạn bởi dây điện. Dù trường này lớn tới đâu, nếu nó không thay đổi thì sẽ không có dòng điện nào xuất hiện. Nhưng dòng điện sẽ xuất hiện nếu số lượng đường sức từ đi qua mặt phẳng được giới hạn bởi dây dẫn điện có sự thay đổi. Dù dòng điện được tạo ra như thế nào, nó dứt khoát phải phụ thuộc vào sự thay đổi số lượng đường sức từ đi qua mặt phẳng đó. Sự thay đổi về số lượng các đường sức là khái niệm duy nhất cần thiết cho việc diễn đạt tính định tính và tính định lượng của dòng điện cảm ứng. “Số lượng đường sức thay đổi” có nghĩa là mật độ đường sức thay đổi, qua đó làm chúng ta nhớ lại rằng điều này còn có nghĩa là cường độ trường thay đổi.

Do vậy, những điểm sau chính là những điểm mấu chốt trong chuỗi lập luận của chúng ta: Thay đổi của từ trường $\rightarrow$ Dòng điện cảm ứng $\rightarrow$ Chuyển động của điện tích $\rightarrow$ Xuất hiện một điện trường.

Như vậy: *Một từ trường thay đổi luôn kèm theo một điện trường.*

Như thế chúng ta đã tìm ra hai cột trụ cho hai định luật quan trọng nhất của lý thuyết điện trường và từ trường. Định luật thứ nhất liên kết điện trường thay đổi với từ trường. Định luật này bắt nguồn từ thí nghiệm của Oersted khi ông nhận thấy kim nam châm bị lệch đi và dẫn đến kết luận: *Một điện trường thay đổi luôn kèm theo sự xuất hiện của một từ trường.*

Định luật thứ hai bắt nguồn từ thí nghiệm của Faraday về mối liên hệ giữa từ trường thay đổi và dòng điện cảm ứng. Cả hai định luật này hình thành một nền tảng cho sự mô tả mang tính định lượng.

Sự tồn tại của một điện trường luôn kèm theo một từ trường thay đổi phải được xem là sự thật. Trước đây, khi thảo luận về từ trường của một dòng điện, chúng ta đã thấy từ trường này vẫn tồn tại dù không dùng cực từ thử nghiệm. Cũng tương tự như vậy, chúng ta phải khẳng định rằng điện trường vẫn tồn tại dù không dùng dây điện để kiểm chứng sự hiện diện của dòng điện cảm ứng.

Thật ra, hai định luật này có thể được quy kết thành một định luật duy nhất dựa trên thí nghiệm của Oersted. Kết quả thí nghiệm của Faraday có thể được suy ra từ đây khi áp dụng định luật bảo toàn năng lượng. Việc sử dụng hai trụ cột này chỉ duy nhất nhằm mục đích rõ ràng và tiện lợi.

Chúng ta nên đề cập thêm một hệ quả khác của việc diễn đạt bằng khái niệm trường. Chúng ta có một mạch điện mà nguồn dòng là một pin Volta. Kết nối giữa dây dẫn và nguồn điện bỗng nhiên bị ngắt. Dĩ nhiên dây dẫn không còn điện nữa. Nhưng trong chính khoảng thời gian ngắn ngủi này, một quá trình phức tạp đã xảy ra, một lần nữa lý thuyết trường có thể tiên đoán được quá trình này. Trước khi dòng điện bị ngắt, từ trường luôn bao quanh dây dẫn điện. Từ trường

này lập tức biến mất ngay khi dòng điện bị ngắt. Số đường sức xuyên qua mặt phẳng tạo nên bởi dây dẫn thay đổi vô cùng nhanh chóng. Nhưng sự thay đổi từ trường nhanh như thế, dù với bất kỳ nguyên nhân nào, đều tạo nên một dòng điện cảm ứng. Điều thật sự quan trọng là từ trường sẽ tạo ra dòng điện cảm ứng mạnh hơn nếu nó thay đổi nhanh hơn. Kết luận này là một chứng cứ khác nữa cho lý thuyết trường. Do vậy, sự ngắt điện đột ngột này phải đi đôi với sự xuất hiện của một dòng điện cảm ứng, dù ngắn ngủi nhưng rất mạnh mẽ. Thực nghiệm đã một lần nữa minh chứng cho tiên đoán này. Bất cứ ai đã từng ngắt điện đều thấy xuất hiện một tia lửa điện. Tia lửa điện là biểu hiện của sự chênh lệch điện thế rất lớn xuất phát từ sự thay đổi nhanh chóng của từ trường.

Cùng quá trình này nhưng ta có thể xem xét dưới một quan điểm khác, quan điểm về năng lượng. Từ trường biến mất và một tia lửa điện xuất hiện. Một tia lửa điện tương trưng cho năng lượng và do vậy, từ trường cũng phải là một dạng năng lượng. Để có thể sử dụng khái niệm trường và ngôn ngữ của nó một cách thật hợp lý, chúng ta phải xem từ trường như một nơi tích trữ năng lượng. Chỉ với cách này chúng ta mới có thể mô tả các hiện tượng điện và từ một cách phù hợp với định luật bảo toàn năng lượng.

Khởi điểm như một mô hình hữu ích nhưng trường đã dần trở nên một cái gì đó rất gần với sự thật. Trường đã giúp chúng ta hiểu được những sự kiện trước đây và dẫn dắt chúng ta đến những điều mới hơn. Việc quy kết rằng trường là một dạng năng lượng đã giúp chúng ta tiến một bước xa hơn trong việc phát triển khái niệm này. Cùng với sự phát triển càng lúc càng nhanh của khái niệm trường, các khái niệm về chất, điều tối cần thiết dưới quan điểm cơ học, ngày càng mờ nhạt dần.

HIỆN THỰC CỦA TRƯỜNG

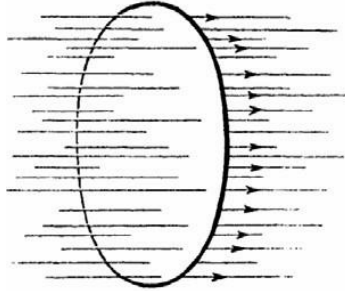
Sự mô tả tính định lượng và bằng toán học các định luật của trường được tóm tắt trong các phương trình Maxwell. Sự thành lập các phương trình này xuất phát từ những sự kiện mà chúng ta đã thảo luận. Tuy nhiên, các phương trình này chứa đựng nhiều hơn cả những gì mà chúng ta đã có thể trình bày. Mặc dù các công thức này rất đơn giản nhưng chúng lại che đậy một ý nghĩa rất sâu sắc và chỉ được hé mở nếu chúng ta nghiên cứu một cách cẩn thận.

Sự hình thành các phương trình này là sự kiện quan trọng nhất trong vật lý học kể từ thời của Newton, chúng quan trọng không chỉ vì nội dung phong phú, mà còn vì các phương trình này tạo nên một mô hình mới cho một dạng định luật mới.

Các tính chất đặc trưng của những phương trình Maxwell đều xuất hiện trong hầu hết các phương trình của vật lý học hiện đại, các tính chất này có thể được tóm tắt trong một câu: Những phương trình Maxwell là những định luật thể hiện *cấu trúc* của trường.

Điều gì tạo nên sự khác biệt về hình thức và tính chất giữa các phương trình Maxwell và các phương trình của cơ học cổ điển? Các phương trình này mô tả cấu trúc của trường, điều này có ý nghĩa gì? Từ các kết quả thí nghiệm của Oersted và Faraday, làm thế nào chúng ta có thể xây dựng một loại định luật mới, có tầm quan trọng to lớn trong sự phát triển kế tiếp của vật lý học?

Qua thí nghiệm của Oersted, chúng ta đã thấy từ trường uốn quanh một điện trường đang thay đổi như thế nào. Qua thí nghiệm của Faraday, chúng ta cũng đã thấy điện trường thay đổi như thế nào xung quanh một từ trường thay đổi. Để phác thảo một vài đường nét đặc trưng của lý thuyết Maxwell, bây giờ chúng ta hãy tập trung chú ý vào một trong hai thí nghiệm trên, ví dụ như thí nghiệm của Faraday. Chúng ta xem lại một lần nữa hình vẽ sau, trong đó, dòng điện cảm ứng được tạo nên bởi một từ trường thay đổi.



Chúng ta đã biết rằng một dòng điện cảm ứng sẽ xuất hiện bởi sự thay đổi của số lượng các đường sức đi qua mặt phẳng tạo bởi sợi dây điện. Như thế, dòng điện cảm ứng xuất hiện khi từ trường thay đổi hay vòng dây điện bị biến dạng hoặc được dịch chuyển: Như thế, để có dòng điện cảm ứng thì số lượng các đường sức đi qua vòng dây điện phải thay đổi dù dưới bất kỳ hình thức nào. Nếu một lý thuyết có thể mô tả tất cả các khả năng đa dạng này nhưng vẫn phải chú ý đến những ảnh hưởng đặc biệt của chúng thì lý thuyết này sẽ vô cùng phức tạp. Chúng ta phải làm sao để có thể đơn giản hóa bài toán này? Chúng ta hãy loại bỏ mọi thứ liên quan đến hình dạng của vòng dây điện, đến chiều dài của nó, đến mặt phẳng tạo nên bởi sợi dây điện. Chúng ta hãy tưởng tượng vòng dây điện trong hình vẽ trên trở nên càng lúc càng nhỏ và co lại thành một vòng tròn rất nhỏ, chỉ chứa đựng một điểm nào đó trong không gian. Như thế, mọi yếu tố liên quan đến hình thù và kích thước không còn đóng vai trò gì nữa. Trong quá trình thu nhỏ vòng tròn khép kín thành một điểm, kích thước và hình thù của nó sẽ tự động biến mất khỏi suy luận của chúng ta và chúng ta thành lập được các định luật nhằm liên kết sự thay đổi của từ trường và điện trường ở bất kỳ điểm nào trong không gian tại bất kỳ thời điểm nào.

Đây chính là một trong những bước đi quan trọng nhất dẫn đến các phương trình Maxwell. Một lần nữa chúng ta sẽ tưởng tượng điều kiện lý tưởng và lặp lại thí nghiệm của Faraday với vòng dây điện được thu nhỏ thành một điểm.

Thực ra, việc này chỉ mới là một nửa chứ chưa phải là toàn bộ quá trình. Đến nay, chúng ta

chỉ mới tập trung sự chú ý đến thí nghiệm của Faraday. Nhưng cột trụ còn lại của lý thuyết trường dựa trên thí nghiệm của Oersted cũng cần phải được cẩn thận xem xét. Trong thí nghiệm này, các đường sức từ uốn quanh một dòng điện. Khi chúng ta thu nhỏ các đường sức từ thành một điểm, đến đây nửa quá trình còn lại đã được thực hiện và toàn bộ quá trình này giúp chúng ta có sự liên kết giữa những sự thay đổi của từ trường và điện trường ở bất kỳ điểm nào trong không gian và tại bất kỳ thời điểm nào.

Nhưng chúng ta vẫn còn cần đến một bước cốt yếu nữa. Theo thí nghiệm của Faraday, chúng ta cần một dây dẫn điện khác để kiểm chứng sự hiện hữu của điện trường, cũng giống như chúng ta phải cần một cực từ hay một kim nam châm để kiểm chứng sự hiện hữu của từ trường trong thí nghiệm của Oersted. Nhưng lý thuyết mới của Maxwell còn đi xa hơn cả các hệ quả của những thí nghiệm này. Điện trường và từ trường, hay ngắn gọn hơn là *điện từ trường*, theo lý thuyết Maxwell là một sự tồn tại có thật. Một điện trường được tạo nên bởi sự thay đổi của từ trường, điều này hoàn toàn độc lập với việc dùng hay không dùng một dây dẫn điện để kiểm chứng sự hiện hữu này. Một từ trường sinh ra do sự thay đổi của điện trường, dù có hay không dùng một cực từ để kiểm chứng sự hiện hữu này.

Như thế ta cần hai bước thiết yếu để dẫn đến các phương trình Maxwell. Bước thứ nhất đến từ các thí nghiệm của Oersted và Rowland, các đường tròn của từ trường uốn quanh dòng điện và điện trường thay đổi, phải được co lại thành một điểm; tương tự với thí nghiệm của Faraday, các đường tròn của điện trường uốn quanh từ trường thay đổi phải được co lại thành một điểm. Bước thứ hai là việc hiện thực hóa trường như là một thực thể. Khi được tạo nên, trường điện từ sẽ tồn tại, tác động và thay đổi theo các định luật Maxwell.

Các phương trình Maxwell diễn đạt cấu trúc của *trường điện từ*. Toàn bộ không gian là hiện trường của các định luật này, chứ không như các định luật cơ học, chỉ có giá trị ở những điểm có sự tồn tại của vật chất hay điện tích.

Chúng ta hãy nhớ lại quá trình này trong cơ học. Khi biết được vị trí, vận tốc và cả lực tác động của một hạt vào một thời điểm bất kỳ, chúng ta có thể đoán được toàn bộ quỹ đạo của nó trong tương lai. Theo lý thuyết Maxwell, nếu biết được trường vào một thời điểm xác định, chúng ta có thể dùng những phương trình của lý thuyết này để suy ra được toàn bộ thay đổi của trường trong không gian và theo thời gian. Các phương trình Maxwell giúp chúng ta theo dõi diễn biến của trường, cũng giống như các phương trình cơ học giúp chúng ta theo dõi diễn biến của các hạt vật chất.

Tuy nhiên, ta vẫn có một sự khác biệt quan trọng giữa các định luật cơ học và các định luật Maxwell. Sự so sánh các định luật hấp dẫn của Newton và các định luật trường của Maxwell sẽ giúp chúng ta nhấn mạnh được vài nét đặc trưng của hai loại phương trình này.

Với các phương trình của Newton, chúng ta có thể suy ra được quỹ đạo di chuyển của Trái Đất từ lực tương tác giữa Mặt Trời và Trái Đất. Những định luật này liên kết chuyển động của Trái Đất với các lực tác động đến từ Mặt Trời xa xôi. Dù ở rất xa nhau, cả Trái Đất và Mặt Trời đều là các tác nhân của các lực tương tác lẫn nhau.

Lý thuyết Maxwell không chứa các tác nhân vật chất. Các phương trình toán học của lý thuyết này mô tả những quy luật thống trị đến trường điện từ. Các phương trình này không mô tả mối liên hệ giữa hai sự kiện xa cách như với các định luật Newton, chúng không liên kết những sự kiện xảy ra ở đây với những điều kiện ở *nơi nào đó*. Trường ở *đây* và *bây giờ* phụ thuộc vào trường *liền kề* vào thời gian *vừa mới trôi qua*. Những phương trình này cho phép chúng ta tiên đoán sự kiện xảy ra xa hơn một chút trong không gian và sau đó một ít theo thời gian nếu chúng ta biết được điều gì xảy ra ở đây và ngay bây giờ. Các phương trình này cũng giúp ta từng bước một hiểu sâu hơn về trường. Bằng cách tổng hợp những bước nhỏ này, chúng ta có thể suy ra được những sự kiện xảy ra ở ngay đây từ các sự kiện đã xảy ra ở cách đó rất xa. Ngược lại, lý thuyết Newton chỉ cho phép kết nối các sự kiện cách xa nhau bằng các bước rất lớn. Lý thuyết của Maxwell có thể kiến tạo lại các thí nghiệm của Oersted và Faraday, nhưng chỉ bằng cách tập hợp các bước nhỏ và mỗi bước này phải tuân theo các phương trình Maxwell.

Khi nghiên cứu cặn kẽ hơn tính chất toán học của các phương trình Maxwell, chúng ta sẽ rút

ra nhiều kết luận mới và vô cùng bất ngờ. Toàn bộ lý thuyết này có thể được phân xét qua khảo sát, thử thách ở một mức độ cao hơn rất nhiều vì các hệ quả của lý thuyết này đều mang tính định lượng và được biểu thị bằng cả một chuỗi lập luận logic.

Một lần nữa, chúng ta hãy tưởng tượng một thí nghiệm lý tưởng. Một quả cầu nhỏ được tích điện. Dưới tác động của một số ảnh hưởng từ bên ngoài, nó dao động nhanh chóng và theo một nhịp điệu giống như con lắc đồng hồ. Với kiến thức hiện có về sự thay đổi trường, chúng ta sẽ mô tả các diễn biến ở đây như thế nào bằng ngôn ngữ trường?

Sự dao động của điện tích tạo nên một điện trường thay đổi. Điện trường này luôn đi đôi với một từ trường thay đổi. Nếu một vòng dây dẫn khép kín được để gần đó, từ trường thay đổi này sẽ gây ra dòng điện cảm ứng trong vòng dây. Tất cả các điều này chỉ là một sự lặp lại các sự kiện đã biết, nhưng sự nghiên cứu kỹ hơn các phương trình Maxwell sẽ cho ta cái nhìn sâu hơn về vấn đề điện tích dao động. Bằng những suy luận toán học từ những phương trình Maxwell, chúng ta có thể tìm được tính chất của trường xung quanh một điện tích dao động, cấu trúc của nó ở gần hoặc xa nguồn điện tích và sự thay đổi của nó theo thời gian. Kết quả của suy luận này chính là *sóng điện từ*. Năng lượng phóng thích từ điện tích dao động sẽ lan truyền xuyên qua không gian với một vận tốc nhất định. Nhưng sự truyền tải năng lượng, sự thay đổi của một trạng thái lại chính là tính chất của tất cả hiện tượng sóng.

Chúng ta đã đề cập đến nhiều loại sóng khác nhau. Chúng ta hãy nhớ lại quả cầu có nhịp đập tạo ra sóng dọc và sự thay đổi mật độ của môi trường xung quanh quả cầu được lan truyền xuyên qua chính môi trường này. Trong môi trường giống như mứt, ta có sự lan tỏa của sóng ngang. Sự biến dạng của mứt gây nên bởi sự quay của quả cầu và lan truyền xuyên qua môi trường này. Trong trường hợp sóng điện từ thì loại thay đổi nào sẽ lan truyền? Đó chính là sự thay đổi của trường điện từ! Mỗi thay đổi của điện trường tạo nên một từ trường; mỗi thay đổi của từ trường sinh ra một điện trường; mỗi sự thay đổi..., và cứ tiếp tục như thế. Vì trường tượng trưng cho năng lượng nên tất cả các sự thay đổi này sẽ lan tỏa trong không gian với một vận tốc nhất định và tạo nên sóng. Hệ quả suy ra từ lý thuyết này là các đường sức điện và các đường sức từ luôn nằm trên các mặt phẳng vuông góc với hướng lan truyền của sóng. Như thế, sóng vừa được hình thành chính là sóng ngang. Những tính chất đầu tiên về hình ảnh của trường mà chúng ta đã đưa ra từ các thí nghiệm của Oersted và Faraday vẫn còn đó và được giữ nguyên. Tuy nhiên chúng ta phải hiểu rằng bây giờ trường mang một ý nghĩa sâu xa hơn.

Sóng điện từ lan truyền trong không gian trống rỗng và đó cũng chính là hệ quả của lý thuyết. Khi điện tích bỗng nhiên dừng dao động, trường của nó sẽ trở thành trường tĩnh điện. Tuy thế, các chuỗi sóng đã được hình thành trước đó do sự dao động của điện tích sẽ tiếp tục lan truyền. Sóng có sự tồn tại độc lập của chính nó và quá trình thay đổi của nó có thể được theo dõi như bất kỳ các vật thể vật chất khác.

Chúng ta biết rằng hình ảnh của chúng ta về sóng điện từ, lan truyền với một vận tốc nhất định trong không gian và thay đổi theo thời gian, chỉ có được từ những phương trình Maxwell vì các phương trình này mô tả cấu trúc của trường điện từ ở bất kỳ điểm nào trong không gian và vào bất kỳ thời điểm nào. Điều này dẫn đến một câu hỏi khác hết sức quan trọng. Sóng điện từ lan truyền trong không gian trống rỗng với vận tốc nào? Lý thuyết với sự hỗ trợ từ vài kết quả của những thí nghiệm đơn giản chẳng dính líu gì với sự lan truyền của sóng, đã trả lời câu hỏi này một cách rõ ràng: *Vận tốc lan truyền của sóng điện từ bằng với vận tốc ánh sáng*.

Các thí nghiệm của Oersted và Faraday đã hình thành nền tảng mà các định luật Maxwell được xây dựng trên đó. Tất cả các kiến thức của chúng ta có được đến nay đều bắt nguồn từ việc nghiên cứu rất cẩn thận các định luật này, chúng được diễn tả bằng ngôn ngữ trường. Việc khám phá ra sự lan truyền của sóng điện từ với vận tốc ánh sáng bằng những nghiên cứu lý thuyết là một trong những thành tựu vĩ đại nhất trong lịch sử khoa học.

Thực nghiệm đã minh chứng cho tiên đoán của lý thuyết này. Khoảng năm mươi năm trước đây, Hertz đã lần đầu tiên chứng minh được sự hiện hữu của sóng điện từ và dùng thực nghiệm để khẳng định vận tốc của sóng điện từ bằng với vận tốc của ánh sáng. Ngày nay, việc thu và phát sóng điện từ đã trở nên một việc bình thường của hàng triệu người. Các máy thu phát sóng hiện nay có cấu tạo phức tạp hơn nhiều so với công cụ mà Hertz đã dùng. Chúng có thể

phát hiện ra sóng điện từ được phát ra cách đó hàng nghìn dặm thay vì chỉ vài mét như trước đây.

TRƯỜNG VÀ ETHER

Sóng điện từ là sóng ngang và lan truyền với tốc độ ánh sáng trong không gian trống rỗng. Sự bằng nhau của vận tốc của ánh sáng và vận tốc của sóng điện từ gợi ý rằng cả hai hiện tượng quang học và điện từ phải có sự liên hệ mật thiết.

Khi chúng ta đã phải chọn lựa giữa lý thuyết hạt và lý thuyết sóng, chúng ta đã nghiêng về lý thuyết sóng. Hiện tượng nhiễu xạ của ánh sáng là lý lẽ mạnh nhất ảnh hưởng đến quyết định của chúng ta. Chúng ta không tạo nên mâu thuẫn nào khi lý giải các sự kiện quang học trước đây với giả thiết *sóng ánh sáng là một loại sóng điện từ*. Hơn nữa, chúng ta còn có thể rút ra nhiều kết luận khác. Nếu thật sự là như thế, người ta có thể dựa vào lý thuyết này để suy ra mối liên hệ giữa các tính chất quang học và điện học của vật chất. Việc mà các kết luận về mối liên hệ này đã được tìm thấy và đã luôn đứng vững qua các kiểm chứng thực nghiệm chính là luận chứng quan trọng nhất của lý thuyết điện từ của ánh sáng.

Kết quả vĩ đại này hoàn toàn bắt nguồn từ lý thuyết trường. Hai ngành khoa học dường như không liên quan đến nhau lại được thống nhất bởi cùng một lý thuyết. Các phương trình Maxwell mô tả cùng lúc cả hai hiện tượng cảm ứng điện và khúc xạ quang học. Nếu mục đích của chúng ta là diễn đạt mọi việc đã hay sẽ xảy ra với chỉ cùng một lý thuyết, thì sự hợp nhất giữa quang học và điện học là một bước tiến rất lớn. Theo quan điểm vật lý, điểm khác biệt duy nhất giữa sóng điện từ thông thường và ánh sáng chính là bước sóng: Bước sóng của ánh sáng rất nhỏ và mắt người nhìn thấy được, còn bước sóng của sóng điện từ rất lớn và chỉ được phát hiện bởi các máy thu sóng vô tuyến.

Tư duy cơ học cổ điển đã cố gắng quy tất cả các hiện tượng trong tự nhiên về các lực tương tác giữa các hạt vật chất. Tư duy này cũng là nền tảng của các lưu chất điện. Vào đầu thế kỷ 19, các nhà vật lý chưa có khái niệm trường nên theo họ, chỉ có chất và sự thay đổi của chất là thật sự tồn tại. Họ cố gắng mô tả sự tương tác của hai điện tích chỉ bằng các khái niệm liên quan trực tiếp đến hai điện tích này.

Vào lúc ban đầu, khái niệm trường không gì khác hơn một phương tiện thuận tiện hơn cho việc tìm hiểu các hiện tượng theo quan điểm cơ học. Trong ngôn ngữ mới của trường, yếu tố chính yếu để hiểu những tương tác giữa hai điện tích là sự mô tả trường giữa hai điện tích ấy chứ không phải bản thân các điện tích. Sự công nhận các khái niệm mới ngày càng lan rộng cho đến khi khái niệm trường làm lu mờ hẳn khái niệm chất. Người ta nhận thấy một điều gì đó có tầm quan trọng to lớn đã xảy ra trong vật lý học. Một hiện thực mới được hình thành, một khái niệm mới không nằm trong khuôn khổ tư duy cơ học. Chậm rãi và bền bỉ, khái niệm trường đã chiếm lĩnh vị trí chủ đạo trong vật lý học và được coi như một trong các khái niệm cơ bản của vật lý học. Đối với nhà vật lý hiện đại, trường điện từ là một hiện thực như chính cái ghế mà ông ta ngồi trên đó.

Tuy nhiên, chúng ta sẽ không công bằng nếu nghĩ rằng khái niệm về trường sẽ giải thoát khoa học khỏi các sai lầm của lý thuyết cũ về lưu chất điện hay sẽ xóa nhòa các thành tựu của lý thuyết cũ. Lý thuyết mới cho ta thấy những giá trị cũng như những hạn chế của lý thuyết cũ, cho phép chúng ta quay lại các khái niệm cũ này dưới một góc độ cao hơn. Điều này không chỉ đúng cho lý thuyết lưu chất điện và lý thuyết trường mà còn đúng cho mọi chuyển biến trong các lý thuyết vật lý, dù chúng có tính cách mạng như thế nào đi nữa. Thí dụ như chúng ta vẫn bắt gặp khái niệm điện tích trong lý thuyết Maxwell mặc dù điện tích chỉ được hiểu như là nguồn của điện trường. Định luật Coulomb vẫn có giá trị và có thể được suy từ các phương trình Maxwell như một trong rất nhiều những hệ quả của các phương trình này. Chúng ta vẫn có thể ứng dụng những lý thuyết cũ đến khi nào các vấn đề cần tìm hiểu vẫn còn nằm trong vòng hiệu lực của chúng. Tuy nhiên, chúng ta hoàn toàn có thể dùng những lý thuyết mới vì vùng hiệu lực của chúng bao trùm các sự kiện đã biết.

Nếu muốn so sánh, chúng ta có thể nói rằng việc sáng tạo ra một lý thuyết mới không giống như phá hủy một lán gỗ và dựng lên đấy một tòa nhà chọc trời. Đúng hơn, nó giống như việc chinh phục một ngọn núi, chúng ta đạt tới những tầm nhìn mới và rộng hơn, khám phá những mối liên kết bất ngờ giữa điểm xuất phát của chúng ta và môi trường phong phú xung quanh.

nó. Tuy nhiên, điểm xuất phát của chúng ta vẫn luôn tồn tại và có thể nhận thấy được, dù rằng nó nhỏ hơn và chỉ còn là một phần nhỏ bé trong toàn cảnh rộng lớn mà chúng ta có được khi chinh phục những trở ngại trong chuyến phiêu lưu đầy mạo hiểm.

Người ta quả thật đã cần một thời gian rất dài trước khi nhận thức được toàn bộ nội dung của lý thuyết Maxwell. Đầu tiên, người ta đã tin rằng trường là một điều gì đó có thể giải thích theo tư duy cơ học với sự trợ giúp của ether. Theo thời gian, người ta nhận thấy rằng ý định này không thể thực hiện được. Những thành tựu của lý thuyết trường đã trở nên nổi bật và quan trọng, không lý gì người ta lại hy sinh nó cho những giáo điều cơ học. Mặt khác, vấn đề xây dựng một mô hình cơ học cho ether ngày càng kém thú vị và các kết quả thu được càng chán nản vì các giả thuyết đều rất gượng ép và giả tạo.

Dường như lối thoát duy nhất của chúng ta là mặc nhiên thừa nhận rằng không gian có tính chất vật lý dẫn truyền sóng điện từ và không nên quá lo lắng về ý nghĩa của điều này. Từ “ether” vẫn còn được dùng đến, nhưng chỉ để diễn giải một vài tính chất vật lý của không gian. Ý nghĩa của từ ether đã thay đổi nhiều lần trong quá trình phát triển của khoa học. Hiện nay, nó không còn được coi như một môi trường có cấu tạo từ hạt. Câu chuyện của nó vẫn chưa kết thúc và sẽ được tiếp tục với thuyết tương đối.

HỆ TRỤC TỌA ĐỘ CƠ HỌC

Đến giai đoạn này, chúng ta phải quay lại điểm xuất phát của chúng ta là định luật quán tính của Galileo. Chúng ta trích dẫn một lần nữa:

Mọi vật giữ nguyên trạng thái đứng yên hay chuyển động đều theo một đường thẳng, trừ khi có một lực tác động lên nó làm thay đổi trạng thái.

Một khi hiểu được ý tưởng về quán tính, người ta ắt hẳn sẽ tự hỏi rằng tại sao cần phải bàn thêm về vấn đề này. Mặc dù vấn đề này đã được bàn luận kỹ lưỡng nhưng không có nghĩa là nó đã hoàn tất.

Chúng ta thử tưởng tượng có một nhà khoa học nghiêm túc nào đó tin rằng định luật quán tính có thể được xác minh hay bác bỏ bởi các thí nghiệm thực tế. Ông ta đẩy những quả cầu nhỏ lăn tròn trên một mặt bàn nằm ngang và cố gắng loại trừ tối đa mọi sự ma sát. Ông ta nhận thấy rằng sự chuyển động này là chuyển động đều nếu mặt bàn và các quả cầu được làm trơn láng. Ngay khi ông ta sắp sửa tuyên bố về định luật quán tính, bỗng nhiên có một người nào đó muốn đùa với ông ấy. Nhà vật lý của chúng ta làm việc trong một căn phòng không có cửa sổ và hoàn toàn cách biệt với thế giới bên ngoài. Người thích đùa này thiết kế vài cơ chế cho phép ông ta điều khiển căn phòng xoay quanh trục đi qua tâm của nó một cách nhanh chóng. Khi căn phòng bắt đầu xoay, nhà vật lý có những nhận thức mới và bất ngờ. Quả cầu đang chuyển động đều trên bàn hiện đang cố gắng dịch chuyển rời xa trung tâm căn phòng và càng lúc càng đến gần các bức tường. Chính ông ta cảm giác được một lực lạ lùng nào đó đẩy ông ta về phía vách tường. Ông ta có cùng cảm giác như bất cứ ai ngồi trên một xe lửa hay xe hơi chạy nhanh qua một khúc quanh, hay hơn thế nữa với trò đu quay. Như thế, các kết quả nghiên cứu trước đây của nhà vật lý hoàn toàn tan vỡ.

Nhà vật lý của chúng ta hẳn phải từ bỏ định luật quán tính cùng tất cả các định luật cơ học khác. Vì định luật quán tính là điểm khởi đầu của ông ta, một khi định luật này thay đổi, các kết luận tiếp theo cũng sẽ thay đổi. Nếu một người quan sát dành trọn đời mình trong một gian phòng quay tròn và tiến hành các thí nghiệm trong đấy, ông ta sẽ tìm ra những định luật cơ học mới, khác với các định luật của chúng ta. Mặt khác, nếu ông ta bước vào gian phòng với một kiến thức uyên thâm và lòng tin vững chắc vào các nguyên tắc trong vật lý học, ông ta có thể giải thích sự sụp đổ của cơ học với giả thuyết là căn phòng đang xoay. Bằng các thí nghiệm cơ học, ông ta có thể xác định căn phòng xoay tròn như thế nào.

Tại sao chúng ta phải lưu ý quá nhiều vào người quan sát ngồi trong căn phòng đang xoay? Thật đơn giản, bởi vì trong một mức độ nào đó, bản thân chúng ta trên Trái Đất cũng giống như thế. Từ thời Copernicus,[\[23\]](#) chúng ta đã biết rằng Trái Đất xoay quanh trục của nó và di chuyển xung quanh Mặt Trời. Ngay cả ý tưởng đơn giản này, thật rõ ràng đối với mọi người, cũng không được để yên qua những bước tiến của khoa học. Chúng ta hãy tạm gác lại câu hỏi này và chấp nhận quan điểm của Copernicus. Nếu người quan sát trong gian phòng xoay tròn không thể xác nhận các định luật cơ học, những người ở trên Trái Đất như chúng ta cũng không có khả năng thực hiện điều này. Nhưng vì Trái Đất quay tương đối chậm cho nên hiệu ứng cũng không rõ rệt lắm. Tuy nhiên, nhiều thí nghiệm cho thấy sự sai lệch nhỏ so với các định luật cơ học và tính nhất quán của chúng có thể được coi là bằng chứng cho sự xoay tròn của Trái Đất.

Thật đáng tiếc là chúng ta không thể đứng giữa Mặt Trời và Trái Đất để có thể khẳng định tính chính xác của định luật quán tính và tận mắt nhìn thấy Trái Đất tự xoay quanh nó. Điều này chỉ có thể thực hiện bằng trí tưởng tượng. Tất cả các thí nghiệm của chúng ta phải được thực hiện trên Trái Đất, nơi mà chúng ta bắt buộc phải sống trên đó. Một sự kiện như thế thường được diễn tả một cách khoa học hơn: *Trái Đất là hệ trục tọa độ của chúng ta.*

Để tìm hiểu ý nghĩa của những từ này một cách rõ ràng hơn, chúng ta hãy lấy một thí dụ đơn giản. Chúng ta có thể tiên đoán được vị trí của một viên đá rơi từ một cái tháp vào bất kỳ thời điểm nào và có thể xác minh sự tiên đoán này bằng quan sát. Nếu chúng ta đặt một cây thước cạnh cái tháp, chúng ta có thể tiên đoán viên đá sẽ trùng khớp với vạch nào trên cây thước tại bất kỳ thời điểm nào. Cái tháp và cây thước không được làm bằng cao su hay vật liệu khác có

thể biến dạng trong quá trình thí nghiệm. Về mặt cơ bản, một chiếc đồng hồ tốt và một cây thước không đổi được gắn chặt vào Trái Đất là tất cả những gì cần thiết cho thí nghiệm này. Một khi đã có các thứ này rồi, chúng ta có thể không cần để ý đến kiến trúc và cả sự hiện diện của cái tháp này. Những giả định cho trước này là không đáng kể và thường không được mô tả rõ ràng trong những dạng thí nghiệm như thế này. Tuy nhiên, sự phân tích ở đây sẽ cho ta thấy mỗi phát biểu của chúng ta đã che dấu nhiều giả định đến nhường nào. Trong trường hợp của chúng ta, giả sử có một thước đo đáng tin tưởng, một đồng hồ lý tưởng, vì nếu thiếu những thứ này thì ta không thể kiểm chứng định luật Galileo cho các vật rơi. Với các thiết bị đơn giản nhưng cơ bản nhất của vật lý, đó là một cây thước và một đồng hồ, chúng ta có thể xác minh được định luật cơ học này với một mức độ chính xác nhất định. Khi tiến hành thí nghiệm một cách cẩn thận, chúng ta nhận thấy có sự sai lệch giữa lý thuyết và thực nghiệm bắt nguồn từ sự xoay vòng của Trái Đất. Hay nói cách khác là các định luật cơ học được thiết lập không có giá trị tuyệt đối trong một hệ trục tọa độ gắn liền với Trái Đất.

Trong tất cả các thí nghiệm cơ học, dù thuộc loại nào, chúng ta luôn phải xác định được các vị trí các chất điểm tại một thời điểm nhất định, giống như trong trường hợp thí nghiệm với vật rơi như trên. Tuy nhiên, vị trí của chất điểm phải luôn được đối chiếu với một vật nào khác, như trong trường hợp trên là tòa tháp và cây thước. Chúng ta cần có một thứ được gọi là *hệ quy chiếu*, đó là một khung cơ học để có thể xác định được vị trí của vật thể. Để mô tả vị trí của vật thể hay con người trong một thành phố, chúng ta phải dựa vào những cái khung được tạo nên bởi những đại lộ và đường phố. Đến đây, chúng ta không còn phải lo lắng về việc đưa ra một hệ quy chiếu khi thảo luận về các định luật cơ học, bởi vì chúng ta tình cờ sống trên Trái Đất và hoàn toàn không gặp khó khăn trong bất cứ trường hợp đặc biệt nào để thiết lập một hệ quy chiếu gắn chặt với Trái Đất. Một hệ được thiết lập với những vật rắn cố định mà chúng ta dùng để quy chiếu và liên hệ với mọi quan sát được gọi là hệ trục tọa độ. Vì những từ này được sử dụng rất thường xuyên nên chúng ta sẽ viết tắt HTTĐ ứng với hệ trục tọa độ.

Cho đến nay, mọi phát biểu về vấn đề vật lý của chúng ta đều thiếu một điều gì đó. Chúng ta chưa chú ý rằng mọi quan sát của chúng ta phải được căn cứ theo một HTTĐ nhất định. Thay vì mô tả cấu trúc của một HTTĐ, chúng ta đã bỏ qua sự tồn tại của nó. Thí dụ, khi viết “một vật thể chuyển động đều...”, thật ra chúng ta phải viết “một vật thể chuyển động đều, tương đối với một hệ trục tọa độ đã chọn...” Những thí nghiệm trong căn phòng xoay tròn đã giúp chúng ta nhận thấy rằng những kết quả của các thí nghiệm cơ học có thể sẽ tùy thuộc vào HTTĐ mà ta chọn.

Khi hai HTTĐ quay tương đối với nhau thì các định luật cơ học không thể cùng có giá trị cho cả hai hệ này. Giả sử có hai hồ bơi giống hệt nhau và quay tương đối với nhau. Nếu xem mặt nước nằm ngang của hồ bơi thứ nhất là một HTTĐ, thì mặt nước của hồ bơi thứ hai sẽ có dạng mặt cong, tương tự như bề mặt ly cà phê khi chúng ta khuấy bằng muỗng.

Và khi thiết lập các định luật cơ bản trong cơ học, chúng ta đã bỏ sót một điểm quan trọng. Chúng ta không đề cập đến việc các định luật này có giá trị đối với HTTĐ nào. Vì thế, toàn bộ nền cơ học cổ điển sẽ bị treo lơ lửng trong không khí bởi vì chúng ta không biết nó được quy chiếu theo hệ nào? Tuy nhiên, chúng ta hãy tạm gác lại khó khăn này và đưa ra một giả định, dù không hoàn toàn đúng, là các định luật cơ học cổ điển có giá trị trong mỗi HTTĐ gắn chặt với Trái Đất. Với giả định này, ít nhất chúng ta đã xác định được một HTTĐ, và như vậy, các phát biểu của chúng ta được sẽ có tính xác định. Mặc dù ý kiến cho rằng Trái Đất là một hệ quy chiếu thích hợp là không hoàn toàn đúng, nhưng trước mắt chúng ta sẽ tạm chấp nhận điều này.

Vậy thì chúng ta giả định rằng sự hiện hữu của một HTTĐ là cần thiết để các định luật cơ học có hiệu lực. Có phải ta chỉ cần một HTTĐ duy nhất mà thôi? Giả sử chúng ta có một HTTĐ như là một xe lửa, một tàu thủy hay một máy bay di chuyển tương đối với Trái Đất. Liệu các định luật cơ học sẽ đúng trong các HTTĐ mới này? Chúng ta biết chắc chắn rằng các định luật này không luôn đúng cho tất cả các trường hợp, ví dụ như trường hợp một xe lửa chạy qua một đường cong, một con tàu bị sóng nhồi trong cơn bão hay một máy bay bổ nhào theo đường xoắn ốc. Chúng ta hãy bắt đầu với một thí nghiệm đơn giản. Một HTTĐ chuyển động đều một cách tương đối với một HTTĐ “tốt” của chúng ta nghĩa là có một trong hai HTTĐ mà trong đó

các định luật cơ học đều có hiệu lực. Chúng ta hãy lấy thí dụ là một xe lửa lý tưởng hay một thuyền buồm lý tưởng di chuyển theo một đường thẳng với một vận tốc không đổi. Như chúng ta đã biết từ kinh nghiệm thường ngày, cả hai ví dụ này sẽ đúng, có nghĩa là các thí nghiệm vật lý được thực hiện trên chiếc xe lửa hay trên chiếc thuyền buồm đang chuyển động một cách lý tưởng đều cho các kết quả chính xác như trên mặt đất. Nhưng nếu xe lửa dừng lại hay tăng tốc một cách đột ngột hoặc mặt biển nổi sóng, nhiều hiện tượng lạ sẽ xảy ra. Trong xe lửa, các vali sẽ rơi khỏi các kệ để hành lý; trên thuyền buồm, bàn ghế bị quăng ném khắp nơi và hành khách bắt đầu say sóng. Theo quan điểm vật lý, điều này có nghĩa thật đơn giản: Không thể áp dụng các định luật cơ học trong HTTĐ này, bởi vì chúng là những HTTĐ “tồi.”

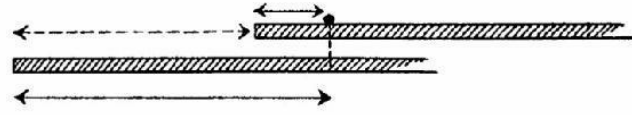
Kết quả này có thể được diễn đạt bằng nguyên lý tương đối của Galileo: Nếu những định luật vật lý có hiệu lực trong một HTTĐ, thì chúng sẽ có giá trị trong bất cứ HTTĐ nào khác chuyển động đều tương đối với hệ đầu tiên.

Nếu chúng ta có hai HTTĐ chuyển động không đều tương đối với nhau, các định luật cơ học không thể cùng lúc có giá trị cho cả hai hệ này. Những HTTĐ “tốt” là những hệ mà trong đó các định luật cơ học có hiệu lực, chúng ta gọi chúng là những *hệ quán tính*. Câu hỏi về sự tồn tại của một hệ quán tính hiện vẫn chưa có lời giải đáp. Nhưng nếu có thì số lượng các hệ này sẽ là vô tận. Mỗi HTTĐ chuyển động đều tương đối với một hệ quán tính thì cũng là một HTTĐ quán tính.

Chúng ta hãy xem xét trường hợp hai HTTĐ bắt đầu di chuyển từ một vị trí xác định và chuyển động đều tương đối với nhau với một vận tốc xác định. Nếu cần đến một hình ảnh cụ thể thì người ta hoàn toàn có thể nghĩ về một chiếc tàu thủy hay một toa xe lửa đang chuyển động tương đối với Trái Đất. Các định luật cơ học có thể được xác minh bằng thực nghiệm với cùng một độ chính xác khi được thực hiện trên mặt đất, trên xe lửa hoặc trên tàu thủy chuyển động đều. Vấn đề trở nên rắc rối khi những người quan sát ở hai hệ khác nhau so sánh cùng một sự kiện từ những quan điểm của họ ở những HTTĐ khác nhau. Mỗi người cố gắng diễn giải những quan sát của người khác theo ngôn ngữ của mình. Thí dụ như: Chuyển động của một hạt cùng lúc được quan sát từ hai HTTĐ, hệ của Trái Đất và hệ của một xe lửa chuyển động đều. Cả hai hệ này đều là HTTĐ quán tính. Liệu rằng chúng ta chỉ cần quan sát những sự kiện xảy ra trong một HTTĐ là đủ để giải đáp những gì xảy ra trong một HTTĐ khác, nếu chúng ta biết được các vận tốc tương đối và vị trí tương đối của hai HTTĐ vào một thời điểm nào đó? Để có thể mô tả một sự kiện, điều thiết yếu nhất là chúng ta phải tìm ra phương pháp chuyển đổi các sự kiện từ HTTĐ này sang HTTĐ khác, bởi vì cả hai HTTĐ đều tương đương và cùng thích hợp cho việc mô tả các sự kiện trong tự nhiên. Quả thực, chúng ta chỉ cần biết các kết quả quan sát của một người quan sát trong một HTTĐ thì sẽ biết được các kết quả quan sát của một người quan sát khác trong một hệ khác.

Bây giờ chúng ta hãy xem xét vấn đề này một cách trừu tượng hơn, không có tàu thủy lẫn xe lửa. Để đơn giản hóa vấn đề, chúng ta chỉ nghiên cứu chuyển động theo các đường thẳng. Do đó, chúng ta sẽ cần một cây thước có thang đo và một chiếc đồng hồ tốt. Trong trường hợp chuyển động thẳng, cây thước tương trưng cho một HTTĐ, tương tự như trường hợp cây sào có thang đo được đặt cạnh cái tháp trong thí nghiệm của Galileo. Sẽ đơn giản hơn và tốt hơn nếu chúng ta xem HTTĐ như một cây thước vững chắc trong trường hợp chuyển động thẳng, hoặc như một cái khung vững chắc được kiến tạo bởi các thanh song song và vuông góc với nhau trong trường hợp chuyển động bất kỳ trong không gian. Chúng ta không cần chú ý đến cái tháp, vách tường, đường phố hay bất kỳ thứ nào khác. Giả sử trong trường hợp đơn giản nhất, chúng ta có hai HTTĐ, ví dụ như hai thanh cứng; nếu chúng ta vẽ một thanh ở phía trên thanh kia và gọi chúng là HTTĐ “trên” và HTTĐ “dưới.” Chúng ta giả định cả hai HTTĐ chuyển động tương đối với nhau với một vận tốc xác định, như thế một thanh sẽ trượt dọc theo thanh kia. Ngoài ra, chúng ta hoàn toàn có thể giả định rằng cả hai thanh này đều có chiều dài vô tận, chúng đều có điểm ban đầu nhưng không có điểm cuối cùng. Chúng ta chỉ cần một chiếc đồng hồ cho cả hai HTTĐ vì thời gian trôi như nhau trong cả hai hệ. Khi bắt đầu quan sát, chúng ta thấy điểm ban đầu của cả hai thanh trùng khớp với nhau. Vào thời điểm ban đầu này, vị trí của một chất điểm được biểu thị bởi cùng một trị số trên cả hai HTTĐ. Vị trí của chất điểm trùng với vị trí của một vạch trên thước đo và cho ta một trị số xác định vị trí của chất điểm này.

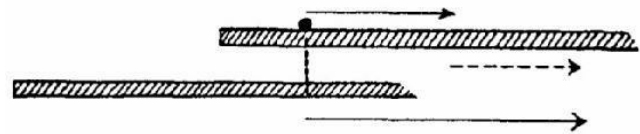
Nhưng nếu hai thanh này chuyển động đều tương đối với nhau, các con số chỉ định vị trí của chất điểm trên hai thanh sẽ khác nhau sau một khoảng thời gian nào đó, ví dụ như sau một giây. Chúng ta hãy xét các chất điểm nằm ở thanh trên. Con số xác định vị trí chất điểm ở HTTĐ trên không thay đổi theo thời gian. Nhưng con số tương ứng cho thanh đo bên dưới lại thay đổi. Thay vì “con số tương ứng với vị trí của một chất điểm”, chúng ta nói ngắn gọn là *tọa độ của một chất điểm*.



Do đó, chúng ta hiểu được từ hình vẽ trên rằng: *Tọa độ của một điểm nằm trong HTTĐ dưới bằng tọa độ của nó được xác định bởi HTTĐ trên cộng với tọa độ điểm gốc ban đầu của HTTĐ trên tương đối với HTTĐ dưới*. Mặc dù câu nói này có vẻ rối rắm, tuy nhiên nó rất đúng và diễn đạt một điều gì đó rất đơn giản. Điều quan trọng ở đây là chúng ta luôn có thể tính được vị trí của một phần tử trong một HTTĐ nếu biết được vị trí của nó trong một HTTĐ khác. Để đạt được mục đích này, chúng ta phải biết được các vị trí tương đối của hai hệ HTTĐ vào bất kỳ thời điểm nào. Mặc dù những điều này nghe qua có vẻ uyên thâm nhưng chúng thật sự rất đơn giản và không nhất thiết phải tìm hiểu một cách cặn kẽ, ngoại trừ sau này chúng ta sẽ thấy sự hữu ích của nó.

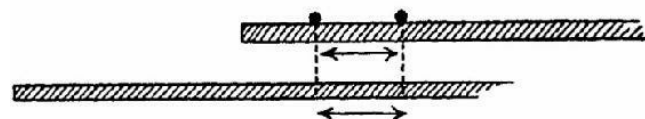
Điều chúng ta cần ghi nhớ là sự phân biệt rõ ràng giữa việc xác định vị trí của một điểm và thời điểm xảy ra một sự kiện. Mỗi người quan sát có thước đo của mình, và đó cũng chính là HTTĐ của anh ta, tuy nhiên chỉ có duy nhất một chiếc đồng hồ cho tất cả các quan sát viên. Thời gian là một cái gì đó “tuyệt đối” và trôi qua như nhau đối với tất cả các quan sát viên trong tất cả HTTĐ.

Bây giờ chúng ta hãy xét một thí dụ khác. Một người đi dạo với vận tốc 3 dặm/giờ trên boong của một con tàu biển. Đây là vận tốc tương đối của anh ta với con tàu, hay nói cách khác, là vận tốc tương đối với một HTTĐ gắn chặt vào con tàu. Nếu vận tốc của con tàu là 30 dặm/giờ tương đối với bờ biển và nếu vận tốc đều của người đi dạo và cả con tàu có cùng một hướng, như thế vận tốc tương đối của người đi dạo đối với một người quan sát đang ở trên bờ biển là 33 dặm/giờ, hay là 3 dặm/giờ tương đối với con tàu. Chúng ta có thể phát biểu sự kiện này một cách trừu tượng hơn: Vận tốc của một chất điểm chuyển động tương đối với HTTĐ dưới bằng vận tốc tương đối của chất điểm đối với HTTĐ trên cộng hoặc trừ với vận tốc của HTTĐ trên tương đối với HTTĐ dưới, tùy theo hướng cùng chiều hay trái chiều của các vận tốc này.



Như thế, chúng ta luôn có thể chuyển đổi không những vị trí mà còn cả vận tốc từ HTTĐ này sang HTTĐ khác nếu biết được vận tốc tương đối của hai HTTĐ. Vị trí, tọa độ, và vận tốc là những đại lượng có giá trị khác nhau trong những HTTĐ khác nhau, chúng được liên kết với nhau, rất đơn giản cho trường hợp này, bằng *những định luật biến đổi*.

Tuy thế, ta vẫn có những đại lượng có giá trị giống nhau ở trong cả hai HTTĐ và không cần sử dụng các định luật biến đổi. Chúng ta hãy xét một thí dụ: Lấy hai điểm cố định ở thanh bên trên và xem xét khoảng cách của chúng.



Khoảng cách này là sự chênh lệch, hay còn gọi là hiệu số, giữa hai tọa độ ứng với hai điểm. Để tìm những vị trí của hai điểm tương đối trong các HTTĐ khác nhau, chúng ta phải dùng định luật biến đổi. Nhưng trong quá trình tìm kiếm hiệu số của hai vị trí này, sự đóng góp của hai HTTĐ sẽ triệt tiêu lẫn nhau và biến mất, như được mô tả trong hình vẽ trên. Đầu tiên, chúng ta

phải cộng, và sau đó phải trừ khoảng cách giữa hai điểm gốc của hai HTTĐ. Do đó, khoảng cách giữa hai điểm là *bất biến*, có nghĩa là chúng độc lập với sự chọn lựa một HTTĐ bất kỳ.

Thí dụ kế tiếp cho thấy một đại lượng độc lập với HTTĐ, đó là sự thay đổi vận tốc, khái niệm quen thuộc của chúng ta trong cơ học. Một lần nữa, một chất điểm lại chuyển động theo đường thẳng được quan sát từ hai HTTĐ. Đối với người quan sát trong mỗi hệ, sự thay đổi vận tốc của chất điểm chính là hiệu số của hai vận tốc. Do sự chuyển động đều tương đối của hai HTTĐ nên khi ta tính toán hiệu số, sự đóng góp bởi chuyển động đều tương đối giữa hai HTTĐ sẽ triệt tiêu lẫn nhau. Như vậy, sự thay đổi vận tốc là một trị số bất biến, dĩ nhiên chỉ với điều kiện chuyển động tương đối của hai HTTĐ là chuyển động đều. Nếu không, sự thay đổi vận tốc sẽ khác nhau trong mỗi HTTĐ. Sự khác biệt này đến từ sự thay đổi vận tốc của chuyển động tương đối của hai thanh đo tượng trưng cho những hệ trục tọa độ của chúng ta.

Bây giờ chúng ta xét đến thí dụ cuối cùng! Chúng ta có hai chất điểm có lực tương tác giữa chúng chỉ phụ thuộc vào khoảng cách. Trong trường hợp chuyển động thẳng, nếu khoảng cách giữa hai chất điểm là một trị số bất biến thì lực tương tác giữa chúng cũng bất biến. Định luật Newton gắn liền lực với sự thay đổi vận tốc nên định luật này có hiệu lực trong cả hai HTTĐ. Một lần nữa, chúng ta có một kết luận được xác minh từ kinh nghiệm thường ngày: Nếu các định luật cơ học là đúng cho một HTTĐ, chúng cũng sẽ đúng cho tất cả HTTĐ di chuyển đều đối với HTTĐ ban đầu. Dĩ nhiên thí dụ của chúng ta rất đơn giản, đó là chuyển động thẳng mà trong đó HTTĐ có thể được biểu diễn bởi một thanh đo rắn chắc. Nhưng những kết luận của chúng ta có giá trị tổng quát và có thể được tóm tắt như sau:

1. Chúng ta không có khả năng chứng minh sự hiện hữu của một hệ quán tính. Nếu quả thật tồn tại một hệ như thế thì chúng ta có thể tìm thấy vô số hệ tương tự, bởi vì tất cả HTTĐ chuyển động đều, tương đối với mỗi HTTĐ khác sẽ là những hệ quán tính nếu một trong các HTTĐ này là hệ quán tính.

2. Thời gian tương ứng với một sự kiện là giống nhau trong tất cả HTTĐ, nhưng tọa độ và vận tốc sẽ khác nhau và thay đổi theo các định luật biến đổi.

3. Mặc dù các tọa độ và vận tốc thay đổi khi chuyển đổi từ một HTTĐ này sang HTTĐ khác, nhưng lực tác động, sự thay đổi vận tốc và vì thế các định luật cơ học là bất biến đối với các định luật biến đổi.

Định luật biến đổi được phát biểu ở đây cho tọa độ và vận tốc được gọi là định luật biến đổi của cơ học cổ điển hay ngắn gọn hơn là *phép biến đổi cổ điển*.

ETHER VÀ SỰ CHUYỂN ĐỘNG

Nguyên lý tương đối Galileo có giá trị cho các hiện tượng cơ học. Các định luật cơ học có giá trị đối với tất cả các hệ quán tính chuyển động tương đối với nhau. Liệu nguyên lý này cũng có giá trị cho tất cả các hiện tượng không thuộc lĩnh vực cơ học, đặc biệt đối với những hiện tượng mà các khái niệm trường đã tỏ ra rất quan trọng hay không? Mọi vấn đề xoay quanh câu hỏi này lập tức đưa chúng ta đến điểm xuất phát của thuyết tương đối.

Chúng ta hãy nhớ lại rằng vận tốc của ánh sáng trong chân không, hay nói cách khác là trong ether, là 186.000 dặm (300.000 kilômét) mỗi giây và ánh sáng là sóng điện từ lan truyền trong ether. Trường điện từ mang năng lượng và năng lượng này tồn tại độc lập một khi đã được phát ra từ nguồn phát. Trước mắt, chúng ta hãy tiếp tục tin rằng sóng điện từ và cả sóng ánh sáng lan truyền qua môi trường ether, mặc dù chúng ta gặp rất nhiều khó khăn trong việc thiết lập cấu trúc cơ học của ether.

Hãy tưởng tượng chúng ta đang ngồi trong một căn phòng kín, cô lập với thế giới bên ngoài, và không khí không thể lọt vào hay thoát ra. Nếu chúng ta ngồi yên và nói chuyện thì theo quan điểm vật lý, các sóng âm được phát ra từ một nguồn đứng yên và lan truyền theo vận tốc âm thanh trong không khí. Nếu giữa miệng và tai không có không khí hay bất kỳ môi trường vật chất nào khác, chúng ta không thể nghe được âm thanh. Thực nghiệm đã chứng minh rằng: Nếu không có gió và không khí đứng yên trong một HTTĐ đã chọn, thì âm thanh sẽ lan truyền theo mọi hướng trong không khí với cùng một vận tốc.

Bây giờ hãy tưởng tượng gian phòng của chúng ta chuyển động đều trong không gian. Một người bên ngoài gian phòng sẽ thấy diễn biến của mọi vật bên trong căn phòng xuyên qua các bức tường làm bằng thủy tinh của gian phòng di động (hay một xe lửa nếu bạn thích). Các kết quả đo đạc của một người bên trong gian phòng sẽ giúp anh ta (người ngồi ngoài gian phòng) suy ra được vận tốc âm thanh tương đối với HTTĐ của anh ta gắn chặt với vùng lân cận quanh anh ta. Ở đây chúng ta gặp lại vấn đề đã được thảo luận rất nhiều lần, đó là việc xác định vận tốc vật thể trong một HTTĐ nếu biết vận tốc của vật thể ấy trong một HTTĐ khác.

Người quan sát trong gian phòng quả quyết rằng: Đối với tôi, vận tốc âm thanh theo mọi hướng là như nhau.

Người quan sát bên ngoài phòng quả quyết rằng: Vận tốc âm thanh lan truyền bên trong gian phòng di động và được xác định trong HTTĐ của tôi là không giống nhau đối với các hướng khác nhau. Vận tốc này sẽ nhanh hơn vận tốc âm thanh bình thường nếu âm thanh lan truyền theo hướng di chuyển của gian phòng và chậm hơn đối với hướng ngược lại.

Các kết luận này được rút ra từ quy luật biến đổi cổ điển và có thể được chứng minh bằng thực nghiệm. Căn phòng chứa một môi trường vật chất đó là không khí, âm thanh lan truyền trong môi trường này. Do vậy, vận tốc âm thanh sẽ khác nhau đối với người quan sát bên trong và bên ngoài gian phòng.

Chúng ta có thể rút thêm những kết luận tiếp theo từ lý thuyết mô tả sóng âm như là một loại sóng lan truyền trong môi trường vật chất. Nếu bạn không muốn nghe tiếng nói của những người khác, bạn phải chạy với một vận tốc lớn hơn vận tốc âm thanh tương đối với không khí xung quanh, dù rằng việc thực hiện điều này là không hề đơn giản. Khi đó, sóng âm thanh được phát ra sẽ không bao giờ truyền đến tai bạn. Ngược lại, nếu bạn lỡ không nghe thấy một phát biểu quan trọng nào đó mà phát biểu này không được lặp lại, bạn phải chạy với vận tốc lớn hơn vận tốc âm thanh để đến gần sóng âm thanh đã được phát ra nhằm nghe lại được phát biểu này. Không có gì phi lý trong cả hai thí dụ trên, trừ việc bạn phải chạy với vận tốc khoảng chừng 400 bộ (350 mét) mỗi giây và chúng ta hoàn toàn có thể tưởng tượng đến những phát triển kỹ thuật trong tương lai sẽ thực hiện được điều này. Một viên đạn phát ra từ nòng súng bay với vận tốc lớn hơn vận tốc âm thanh và người ngồi trên viên đạn này sẽ không bao giờ nghe được tiếng súng nổ.

Tất cả các thí dụ trên hoàn toàn mang tính chất cơ học. Và bây giờ chúng ta có thể đặt một câu hỏi quan trọng: Liệu chúng ta có thể lặp lại những gì đã thảo luận đối với sóng âm thanh cho trường hợp sóng ánh sáng? Liệu chúng ta có thể ứng dụng nguyên lý tương đối Galileo và

sự biến đổi cổ điển cho các hiện tượng quang học và điện học giống như cho các hiện tượng cơ học? Chúng ta sẽ rất mạo hiểm nếu trả lời câu hỏi này một cách đơn giản là “được” hay “không được” mà không tìm hiểu kỹ hơn ý nghĩa của chúng.

Trong trường hợp sóng âm thanh lan truyền bên trong gian phòng chuyển động đều tương đối với người quan sát bên ngoài, những bước trung gian sau là vô cùng quan trọng cho kết luận của chúng ta:

Gian phòng di động chứa không khí và không khí này là môi trường lan truyền của sóng âm thanh.

Các vận tốc quan sát được trong hai HTTĐ chuyển động đều tương đối với nhau và được liên kết bởi phép biến đổi cổ điển.

Vấn đề tương ứng cho ánh sáng cần phải được xây dựng với một cách hơi khác biệt. Người quan sát bên trong căn phòng không nói chuyển mà phát ra tín hiệu ánh sáng, hay sóng ánh sáng, khắp mọi hướng. Chúng ta hãy giả định rằng các nguồn phát sáng luôn cố định tại một vị trí trong gian phòng. Sóng ánh sáng lan truyền trong ether cũng tương tự như sóng âm thanh lan truyền trong không khí.

Có phải ether cũng được mang theo cùng căn phòng như không khí trong trường hợp trên? Vì chúng ta không hề biết cấu trúc cơ học của ether, nên việc trả lời câu hỏi này là vô cùng khó khăn. Nếu căn phòng được đóng kín, không khí bên trong căn phòng buộc phải chuyển động theo căn phòng. Điều này rõ ràng là vô nghĩa đối với ether vì mọi vật chất chìm đắm trong ether và ether thâm nhập khắp mọi nơi. Không có cánh cửa nào ngăn cản được ether. “Căn phòng chuyển động” bây giờ chỉ có nghĩa là một HTTĐ chuyển động và nguồn sáng được gắn chặt vào đấy. Tuy nhiên, thật không khó tưởng tượng đến một căn phòng nào đó mang theo ether trong khi chuyển động với nguồn sáng của nó, giống như nguồn âm thanh và không khí được mang theo gian phòng đóng kín. Nhưng chúng ta có thể tưởng tượng ngược lại rằng, gian phòng di chuyển trong ether như một con thuyền lướt trên mặt biển phẳng lặng, chỉ chuyển động chứ không mang theo phần nào của môi trường ether. Trong bức tranh thứ nhất, căn phòng mang theo ether khi di chuyển cùng lúc với nguồn sáng của nó. Ta có thể rút ra những kết luận tương tự như trường hợp sóng âm thanh. Trong bức tranh thứ hai, gian phòng không mang theo ether khi di chuyển cùng với nguồn sáng của nó. Chúng ta không thể tìm được sự tương đồng nào với sóng âm thanh và những kết luận được rút ra trong trường hợp của sóng âm thanh không còn đứng vững đối với ánh sáng. Hai trường hợp này chính là hai khả năng giới hạn. Chúng ta có thể tưởng tượng đến một khả năng còn phức tạp hơn nhiều, ví dụ như chỉ một phần ether được mang theo bởi căn phòng đang di chuyển với nguồn sáng của nó. Nhưng chúng ta không có lý do nào để thảo luận những giả định phức tạp này trước khi tìm thấy sự tương thích của thực nghiệm với một trong hai trường hợp giới hạn đơn giản trên.

Chúng ta sẽ bắt đầu với bức tranh đầu tiên và giả định rằng ether được mang theo bởi căn phòng chuyển động có nguồn sáng được gắn chặt vào đấy. Nếu tin tưởng vào nguyên tắc biến đổi đơn giản cho vận tốc của sóng âm thanh, chúng ta hiện có thể áp dụng các kết luận của chúng ta một cách tương tự cho trường hợp ánh sáng. Chúng ta không có lý do nào để nghi ngờ định luật biến đổi cơ học đơn giản này, vì định luật này chỉ cho thấy rằng các vận tốc phải được cộng thêm trong những trường hợp này, hay trừ bớt trong những trường hợp khác. Do vậy, chúng ta đầu tiên phải giả định cả hai sự kiện: Ether được mang theo bởi căn phòng di động với nguồn sáng của nó và phép biến đổi cổ điển.

Nếu tôi bật đèn, nguồn sáng này được gắn chặt vào căn phòng của tôi, ánh sáng sẽ lan truyền với vận tốc đã được chứng minh qua thí nghiệm là 186.000 dặm (300.000 kilômét) mỗi giây. Vì người quan sát bên ngoài căn phòng sẽ ghi nhận chuyển động của gian phòng và như thế ghi nhận cả chuyển động của nguồn sáng, và vì ether được mang theo, cho nên anh ta phải kết luận: Vận tốc ánh sáng được quan sát từ HTTĐ bên ngoài sẽ khác nhau theo những hướng khác nhau. Vận tốc này lớn hơn vận tốc ánh sáng thông thường nếu theo hướng chuyển động của gian phòng, và nhỏ hơn nếu theo hướng ngược lại. Kết luận của chúng ta là: Nếu gian phòng với nguồn sáng của nó mang theo ether và nếu các định luật cơ học có giá trị thì vận tốc của ánh sáng phải phụ thuộc vào vận tốc của nguồn sáng. Ánh sáng đến mắt của chúng ta từ nguồn

sáng di động sẽ có vận tốc lớn hơn nếu ánh sáng tiến tới chúng ta và nhỏ hơn nếu nó rời xa chúng ta.

Nếu chúng ta đạt đến vận tốc lớn hơn vận tốc ánh sáng thì chúng ta có thể trốn thoát khỏi tín hiệu ánh sáng và đuổi kịp những sóng ánh sáng đã được phát đi trước đó. Chúng ta có thể thấy được những sự kiện xảy ra trong quá khứ, nhưng theo một thứ tự đảo ngược với thứ tự mà chúng đã xảy ra. Một chuỗi những việc xảy ra trên Trái Đất sẽ xuất hiện như một phim chiếu ngược theo thời gian và nó được bắt đầu với “phần kết có hậu.” Tất cả kết luận này đều được rút ra từ giả định cho rằng HTTĐ mang theo ether và các định luật biến đổi cơ học đều có hiệu lực. Nếu thật sự như thế, chúng ta có sự tương đồng hoàn hảo giữa ánh sáng và âm thanh.

Nhưng chúng ta lại không có bằng chứng nào cho thấy các kết luận trên là đúng. Ngược lại, những kết luận này lại hoàn toàn trái ngược với những quan sát được thực hiện để xác minh chúng. Chúng ta hoàn toàn không còn nghi ngờ gì nữa về nhận định rõ ràng này, mặc dù nó được rút ra từ những thí nghiệm gián tiếp vì những khó khăn rất lớn về mặt kỹ thuật để đo được giá trị khổng lồ của vận tốc ánh sáng. *Vận tốc ánh sáng luôn như nhau trong mọi hệ trục tọa độ, độc lập với việc nguồn sáng có chuyển động hay không và chuyển động như thế nào.*

Chúng ta sẽ không đi vào chi tiết việc mô tả những thí nghiệm được thực hiện để dẫn đến kết luận này. Tuy nhiên, chúng ta có thể dùng một số luận chứng rất đơn giản để có thể hiểu kết luận trên một cách rõ ràng hơn và thuyết phục hơn, mặc dù các luận chứng này không thể chứng minh được là vận tốc ánh sáng là độc lập với sự chuyển động của nguồn sáng.

Trong hệ hành tinh của chúng ta, Trái Đất và các hành tinh khác đều chuyển động xung quanh Mặt Trời. Chúng ta không biết về sự tồn tại của những hệ hành tinh khác tương tự với hệ của chúng ta. Tuy nhiên, có rất nhiều hệ ngôi sao kép được tạo thành bởi hai ngôi sao xoay quanh một điểm được gọi là trọng tâm của chúng. Khi quan sát chuyển động của các ngôi sao kép này, chúng ta thấy rằng định luật vạn vật hấp dẫn của Newton vẫn luôn có hiệu lực. Bây giờ chúng ta giả sử rằng vận tốc ánh sáng tùy thuộc vào vận tốc di chuyển của các nguồn phát ánh sáng này. Như thế tia sáng được phát ra từ một trong hai ngôi sao sẽ tăng tốc hay giảm tốc lại tùy vào vận tốc của ngôi sao này ngay vào thời điểm mà ánh sáng được phát ra. Trong trường hợp như thế, toàn bộ chuyển động của hai ngôi sao sẽ trở nên hỗn độn và người ta không thể chứng thực hiệu lực của định luật hấp dẫn cho các ngôi sao kép cách rất xa Trái Đất.

Chúng ta hãy xét một thí nghiệm khác dựa trên một ý tưởng rất đơn giản. Hãy tưởng tượng có một bánh xe quay rất nhanh. Theo giả định của chúng ta, chuyển động mang ether theo và khi bánh xe quay sẽ mang theo một phần ether. Như thế, một sóng ánh sáng khi đi gần sát bánh xe đang quay sẽ có vận tốc khác với khi bánh xe đứng yên. Vận tốc của ánh sáng trong ether đứng yên phải khác với vận tốc ánh sáng trong ether bị khuấy động xung quanh bánh xe. Trường hợp này tương tự với sự thay đổi của sóng âm thanh trong những ngày yên tĩnh và những ngày gió bão. Với ánh sáng, chúng ta không hề nhận thấy sự khác biệt này. Dù chúng ta tiến tới vấn đề theo một góc độ nào hay đặt ra một thí nghiệm quyết định nào đi nữa thì sự nhận định luôn chống lại giả định cho rằng chuyển động mang theo ether. Như thế kết quả nghiên cứu của chúng ta được củng cố với những lập luận chi tiết hơn và kỹ thuật hơn như sau:

Vận tốc ánh sáng không phụ thuộc vào sự chuyển động của nguồn phát sáng.

Không thể giả định rằng các vật thể chuyển động trong ether sẽ mang theo ether.

Như thế, chúng ta phải từ bỏ sự tương đồng giữa sóng ánh sáng và sóng âm thanh và quay lại với khả năng thứ hai: Tất cả vật chất chuyển động trong ether không mang theo ether, dù dưới bất kỳ hình thức nào. Điều này có nghĩa rằng chúng ta giả định có sự hiện hữu của một biến ether mà trong đó tất cả các HTTĐ đứng yên hay chuyển động tương đối với nó. Chúng ta hãy tạm gác lại câu hỏi liệu có hay không một thí nghiệm nào chứng minh được lý thuyết này. Tốt hơn chúng ta hãy cố làm quen với giả định mới này và các kết luận có thể rút ra từ đấy.

Lý thuyết mới này đòi hỏi phải có một HTTĐ đứng yên tương đối với biến ether. Trong cơ học, chúng ta không thể phân biệt bất cứ một hệ HTTĐ nào trong nhiều hệ HTTĐ có chuyển động đều tương đối với nhau. Tất cả các hệ như thế đều cùng có thể “tốt” hay “xấu” như nhau. Nếu chúng ta có hai HTTĐ chuyển động đều, tương đối với nhau thì việc đặt câu hỏi rằng hệ thống nào chuyển động, hệ thống nào đứng yên trong cơ học là hoàn toàn vô nghĩa. Chỉ có

chuyển động đều tương đối là có thể quan sát được. Theo nguyên lý tương đối Galileo, chúng ta không thể cố chuyển động đều tuyệt đối. Thật sự có nghĩa gì nếu ta tuyên bố rằng: Không chỉ tồn tại chuyển động đều *tương đối* mà còn tồn tại chuyển động đều *tuyệt đối*? Đơn giản là có một HTTĐ nào đó mà một vài định luật tự nhiên bên trong nó có hiệu lực khác biệt so với tất cả các HTTĐ khác. Như vậy, mỗi người quan sát có thể xác định HTTĐ của anh ta, đang đứng yên hay đang chuyển động, bằng cách so sánh những định luật có hiệu lực trong HTTĐ của anh ta với các định luật có hiệu lực trong một hệ thống chuẩn duy nhất. Trường hợp này thật sự khác hẳn so với cơ học cổ điển, khi mà chuyển động đều tuyệt đối là hoàn toàn vô nghĩa do định luật quán tính của Galileo.

Chúng ta có thể rút ra được kết luận gì cho lĩnh vực các hiện tượng về trường khi giả định có sự chuyển động trong ether? Điều này có nghĩa là có một HTTĐ, khác biệt với tất cả HTTĐ khác, nằm yên tương đối với “biển ether.” Một vài định luật tự nhiên đương nhiên sẽ phải khác biệt trong HTTĐ này, nếu không thì câu “chuyển động trong ether” sẽ trở nên vô nghĩa. Nếu nguyên lý tương đối Galileo có hiệu lực thì chuyển động trong ether sẽ trở nên vô nghĩa. Hai ý tưởng này không thể hòa hợp với nhau. Tuy nhiên, nếu có một HTTĐ đặc biệt được cố định bởi ether, trong một ý nghĩa nào đó, ta có thể nói đến “chuyển động tuyệt đối” hay “đứng yên tuyệt đối.”

Quả thực chúng ta không có một chọn lựa nào khác. Chúng ta đã cố gắng cứu vãn nguyên lý tương đối Galileo bằng các giả định rằng các hệ thống mang theo ether trong chuyển động của chúng, nhưng điều này lại tương phản với thực nghiệm. Lối thoát duy nhất của chúng ta là từ bỏ nguyên lý tương đối Galileo và thử giả định rằng mọi vật thể chuyển động xuyên qua một biển ether yên tĩnh.

Bước kế tiếp của chúng ta là xét một vài điểm trái ngược với nguyên lý tương đối Galileo nhằm củng cố quan điểm về chuyển động trong ether và tiến hành một số thử nghiệm. Chúng ta dễ dàng tưởng tượng về các thử nghiệm này nhưng việc thực hiện chúng là không hề đơn giản. Vì hiện giờ chúng ta chỉ quan tâm đến ý tưởng nên hãy bỏ qua những khó khăn về mặt kỹ thuật.

Chúng ta hãy một lần nữa quay lại với căn phòng chuyển động được quan sát bởi một người đứng bên trong và một người đứng bên ngoài. Người quan sát bên ngoài tương ứng với HTTĐ chuẩn, tương trưng bởi biển ether. Đối với HTTĐ chuẩn này, vận tốc ánh sáng luôn có một giá trị chuẩn giống nhau. Tất cả nguồn sáng dù chuyển động hay đứng yên trong biển ether yên tĩnh đều phát ra ánh sáng lan truyền với cùng một vận tốc. Căn phòng và người quan sát bên trong sẽ cùng di chuyển trong ether. Chúng ta hãy tưởng tượng rằng nguồn ánh sáng ở giữa phòng chớp tắt liên tục và các bức tường của căn phòng trở nên trong suốt để cả hai người quan sát bên trong và bên ngoài có thể đo được vận tốc ánh sáng. Nếu chúng ta hỏi hai người quan sát về kết quả nào mà họ mong muốn thì câu trả lời của họ có thể như sau:

Người quan sát bên ngoài: Hệ thống trục tọa độ của tôi được xác định bởi biển ether. Vận tốc ánh sáng trong HTTĐ này luôn có cùng một giá trị. Tôi không cần phải biết liệu nguồn sáng hay các vật thể khác có di chuyển hay không, bởi vì chúng không bao giờ mang theo ether. Khác biệt với tất cả HTTĐ khác, vận tốc ánh sáng trong HTTĐ của tôi phải có cùng giá trị chuẩn và độc lập với hướng lan truyền của tia sáng và sự chuyển động của nguồn sáng.

Người quan sát bên trong: Căn phòng của tôi chuyển động trong biển ether. Một trong những vách tường di chuyển ra xa khỏi nguồn sáng và vách tường khác di chuyển đến gần nguồn sáng. Nếu căn phòng của tôi di chuyển tương đối trong biển ether với vận tốc ánh sáng, thì ánh sáng được phát ra giữa căn phòng sẽ không bao giờ đến được vách tường di chuyển trước nó với vận tốc ánh sáng. Còn nếu căn phòng di chuyển với vận tốc nhỏ hơn vận tốc ánh sáng thì ánh sáng phát ra từ giữa căn phòng sẽ gặp một trong những vách tường trước những vách tường còn lại. Bức tường di chuyển đến gần sóng ánh sáng sẽ gặp ánh sáng trước bức tường di chuyển ra xa khỏi sóng ánh sáng. Cho nên, dù nguồn sáng được gắn cố định vào HTTĐ của tôi, vận tốc ánh sáng sẽ khác nhau khi lan truyền theo các hướng khác nhau. Vận tốc ánh sáng sẽ nhỏ hơn theo hướng chuyển động tương đối với biển ether vì bức tường phía trước của căn phòng rời xa khỏi sóng ánh sáng, và ngược lại, vận tốc ánh sáng sẽ lớn hơn theo hướng ngược lại vì bức tường phía sau của gian phòng di chuyển đến gần sóng ánh sáng và sẽ gặp ánh sáng

sớm hơn.

Như vậy, đối với một HTTĐ đặc biệt của biến ether, ánh sáng có cùng vận tốc theo mọi hướng. Đối với các HTTĐ khác chuyển động tương đối với biến ether, vận tốc ánh sáng sẽ phụ thuộc vào hướng mà ta đo.

Thử nghiệm có tính quyết định vừa được mô tả sẽ giúp chúng ta kiểm chứng lý thuyết về chuyển động trong biến ether. Tự nhiên đã đặt chúng ta trong một hệ tọa độ luôn chuyển động với một vận tốc khá cao: Trái Đất luôn xoay quanh Mặt Trời từ năm này qua năm khác. Nếu giả định của chúng ta đúng, vận tốc của ánh sáng theo hướng chuyển động của Trái Đất phải khác với vận tốc ánh sáng theo hướng ngược lại. Những khác biệt này có thể được tính toán và kiểm chứng lại bằng một thí nghiệm thích hợp. Theo lý thuyết này thì sự khác biệt về thời gian là rất nhỏ, do đó người ta phải nghĩ ra một phương pháp thực nghiệm rất tinh vi. Sự tinh vi này đã được hoàn thiện trong thí nghiệm nổi tiếng của Michelson – Morley. Kết quả này là một “bản án tử hình” đối với lý thuyết về vật chất chuyển động trong biến ether yên tĩnh. Người ta không thể tìm thấy sự phụ thuộc của vận tốc ánh sáng vào hướng lan truyền của tia sáng. Hơn nữa, nếu ta thừa nhận lý thuyết về biến ether thì không chỉ vận tốc ánh sáng mà những hiện tượng trường khác cũng phụ thuộc vào hướng của HTTĐ đang chuyển động. Tất cả các thí nghiệm khác về vấn đề này đều cho cùng kết quả phủ định như thí nghiệm của Michelson – Morley. Người ta chưa bao giờ nhận thấy bất kỳ mối liên hệ nào giữa vận tốc ánh sáng và hướng chuyển động của Trái Đất.

Vấn đề càng lúc càng trở nên nghiêm trọng hơn. Chúng ta đã thử dùng đến hai giả định. Giả định đầu tiên nói rằng các vật thể mang theo ether. Sự thật cho thấy vận tốc của ánh sáng không tùy thuộc vào chuyển động của nguồn sáng đã phủ nhận giả định này. Giả định thứ hai về sự tồn tại của một HTTĐ chuẩn, các vật thể chuyển động không mang theo ether mà đi trên một biến ether luôn yên tĩnh. Nếu sự thật là như thế, nguyên lý tương đối Galileo không còn hiệu lực nữa và vận tốc của ánh sáng sẽ khác nhau đối với các HTTĐ khác nhau. Một lần nữa chúng ta có sự trái ngược so với thực nghiệm.

Nhiều lý thuyết giả tạo đã được đưa ra để giả định rằng sự thật nằm ở giữa nơi nào đó của hai trường hợp giới hạn này: Giả định này cho rằng khi vật thể chuyển động thì sẽ mang theo một phần nào đó ether. Nhưng tất cả đều thất bại! Mọi cố gắng để giải thích các hiện tượng điện từ nằm bên trong một HTTĐ chuyển động với sự giúp đỡ của quan điểm chuyển động của ether hay quan điểm về vật thể chuyển động trong ether hay cả hai chuyển động này đều được chứng minh là thất bại.

Đây cũng là một trong những tình huống bi thảm nhất trong lịch sử khoa học. Tất cả giả định liên quan đến ether đều vô nghĩa! Các kết quả thực nghiệm đều phủ định các giả định này. Khi xem lại sự phát triển của vật lý học, chúng ta thấy rằng ngay từ khi chào đời, ether đã là một “đứa bé ngỗ nghịch – enfant terrible” trong gia đình các chất của vật lý. Đầu tiên, chúng ta phải từ bỏ việc xây dựng một mô hình cơ học đơn giản cho ether. Đây là nguyên nhân chính gây nên sự sụp đổ của tư duy cơ học. Sau đó, chúng ta phải từ bỏ hy vọng về sự tồn tại của một biến ether hay đúng hơn là một HTTĐ chuẩn gắn liền biến ether này để dẫn đến việc thừa nhận không chỉ chuyển động tương đối mà còn chuyển động tuyệt đối. Việc truyền dẫn sóng là lý do duy nhất để củng cố sự tồn tại của ether. Mọi cố gắng của chúng ta nhằm chứng minh sự tồn tại thật sự của ether đều thất bại. Chúng ta không thể xây dựng cấu trúc cơ học của ether cũng như không thể chứng minh được chuyển động tuyệt đối trong ether. Trong tất cả các tính chất của ether, duy nhất một tính chất được giữ lại và là tính chất mà ether được tạo nên: Khả năng truyền dẫn sóng điện từ. Các cố gắng của chúng ta để khám phá các tính chất của ether đều gặp khó khăn và mâu thuẫn. Sau những thất bại như thế, đây là lúc chúng ta nên hoàn toàn quên đi ether và không bao giờ sẽ nhắc đến cái tên này. Chúng ta sẽ phát biểu một cách đơn giản như sau: Tính chất vật lý của không gian của chúng ta là dẫn truyền sóng điện từ; và tránh sử dụng lại từ ether mà chúng ta đã quyết định từ bỏ trong mọi trường hợp.

Sự loại bỏ một từ trong từ vựng của chúng ta dĩ nhiên không phải là một biện pháp khắc phục. Thực ra, những vấn đề của chúng ta còn phức tạp hơn nhiều và không thể được giải quyết theo cách này.

Bây giờ chúng ta hãy ghi nhớ các sự kiện đã được minh chứng bằng thực nghiệm mà không phải nghĩ thêm về vấn đề e_{r} .

1. Vận tốc của ánh sáng trong không gian trống rỗng luôn có trị số chuẩn của nó, độc lập với sự chuyển động của nguồn phát hay bộ phận thu ánh sáng.

2. Bên trong hai HTTĐ chuyển động đều tương đối với nhau, tất cả định luật của tự nhiên đều hoàn toàn đồng nhất và không thể phân biệt được những chuyển động đều tuyệt đối.

Rất nhiều thí nghiệm đã xác minh cho hai phát biểu này và chưa có thí nghiệm nào phủ nhận các điều nói trên. Phát biểu đầu tiên diễn đạt tính chất bất biến của vận tốc ánh sáng; phát biểu thứ hai tổng quát hóa nguyên lý tương đối Galileo được xây dựng cho các hiện tượng cơ học diễn biến trong tự nhiên.

Chúng ta đã thấy trong cơ học: Nếu vận tốc của một chất điểm có một giá trị nào đó tương đối với một HTTĐ thì giá trị này sẽ khác đi trong một HTTĐ khác đang chuyển động đều tương đối với HTTĐ đầu tiên. Điều này được suy ra từ những nguyên tắc biến đổi cơ học đơn giản. Trực giác của chúng ta lập tức nhận ra tính đúng đắn của điều này, như trường hợp một người đi chuyển tương đối với con tàu và bờ biển. Tuy nhiên định luật biến đổi này lại mâu thuẫn với tính chất bất biến của vận tốc ánh sáng! Hay nói cách khác, chúng ta phải có thêm nguyên tắc thứ ba:

3. Vị trí và vận tốc được biến đổi từ một hệ thống quán tính sang một hệ thống khác tuân theo phép biến đổi cổ điển.

Sự mâu thuẫn trở nên rõ ràng: Chúng ta không thể phối hợp các nguyên tắc (1), (2) và (3) với nhau.

Phép biến đổi cổ điển dường như quá rõ ràng và đơn giản cho bất kỳ nỗ lực nào muốn thay đổi nó. Chúng ta cũng đã cố gắng cải biến nguyên tắc (1) và (2), nhưng kết quả lại bất đồng với thực nghiệm. Tất cả lý thuyết liên quan đến chuyển động của e_{r} đều cần đến việc sửa đổi điểm (1) và (2). Và như chúng ta đã thấy, điều này không tốt. Một lần nữa, chúng ta nhận thức được tính chất nghiêm trọng của những khó khăn này. Chúng ta cần một manh mối mới. Chúng ta sẽ có được manh mối này nếu *chấp nhận các giả định (1) và (2)* và, dù điều này thực lạ lùng, *chúng ta từ bỏ giả định (3)*. Chúng ta bắt đầu con đường mới này bằng việc phân tích các khái niệm cơ bản nhất và nguyên thủy nhất. Chúng ta sẽ thấy rằng với sự phân tích này sẽ buộc chúng ta phải thay đổi tư duy lỗi thời và đồng thời dọn sạch các khó khăn trước mắt.

THỜI GIAN, KHOẢNG CÁCH, TÍNH TƯƠNG ĐỐI

Những giả định mới của chúng ta là:

1. Vận tốc của ánh sáng trong chân không là bất biến trong tất cả HTTĐ chuyển động đều, tương đối với nhau.
2. Tất cả định luật tự nhiên là đồng nhất trong tất cả các HTTĐ chuyển động đều, tương đối với nhau.

Thuyết tương đối khởi đầu với hai giả định này. Từ bây giờ trở đi, chúng ta sẽ không dùng phương pháp biến đổi cổ điển vì chúng ta biết rằng nó mâu thuẫn với các giả định của chúng ta.

Điều tối cần thiết thường thấy trong khoa học là chúng ta cần phải giữ bỏ các thành kiến đã thâm nhập một cách vô ý thức và đã bén rễ sâu trong suy nghĩ của chúng ta. Như chúng ta đã thấy, những cải biến trong (1) và (2) dẫn đến sự mâu thuẫn với thực nghiệm, chúng ta phải can đảm nói rõ tính hiệu lực của chúng một cách rõ ràng và công kích một điểm có lẽ là yếu kém của sự cải biến này: Phương pháp chuyển đổi vị trí và vận tốc từ một HTTĐ này sang HTTĐ khác. Để thực hiện việc này, chúng ta cần rút ra các kết luận từ (1) và (2), tìm hiểu căn cứ ở đâu và ở mức độ nào mà các giả định này mâu thuẫn với phép biến đổi cổ điển và tìm được ý nghĩa vật lý của các kết quả đạt được.

Một lần nữa, chúng ta trở lại với ví dụ về căn phòng chuyển động với người quan sát bên trong và người quan sát bên ngoài căn phòng. Một tín hiệu ánh sáng lại được phát ra từ giữa căn phòng và chúng ta lại một lần nữa hỏi hai người quan sát về điều mà họ nghĩ rằng sẽ nhận thấy với duy nhất hai giả định của chúng ta và quên đi những thảo luận trước đây liên quan đến môi trường lan truyền của ánh sáng. Chúng ta trích dẫn ra đây các câu trả lời của họ:

Người quan sát bên trong: Tín hiệu ánh sáng từ giữa căn phòng sẽ *cùng lúc* đến các vách tường, bởi vì các vách tường có cùng khoảng cách với nguồn sáng và vận tốc ánh sáng là như nhau theo mọi hướng.

Người quan sát bên ngoài: Trong hệ của tôi, vận tốc ánh sáng có cùng một giá trị như trong hệ mà người quan sát chuyển động cùng với căn phòng. Việc nguồn sáng di động hay đứng yên hoàn toàn không ảnh hưởng đến HTTĐ của tôi vì sự chuyển động của nguồn sáng không làm thay đổi vận tốc ánh sáng. Những gì tôi quan sát được là tín hiệu ánh sáng lan truyền với cùng một vận tốc và giống nhau theo mọi hướng. Một trong các vách tường cố gắng “trốn thoát” khỏi ánh sáng và vách tường đối diện với vách tường này chuyển động đến gần ánh sáng. Do vậy bức tường “trốn thoát” sẽ gặp tín hiệu ánh sáng chậm hơn một chút so với bức tường “đến gần” tín hiệu ánh sáng. Mặc dù sự khác biệt này sẽ rất nhỏ nếu vận tốc của căn phòng rất nhỏ so với vận tốc ánh sáng, nhưng tín hiệu ánh sáng cũng không thể đến được hai bức tường đối diện này cùng một lúc. Hai bức tường này vuông góc với hướng di chuyển của căn phòng.

Khi so sánh những tiên đoán của hai người quan sát, chúng ta nhận thấy một kết quả hết sức bất ngờ và hoàn toàn trái ngược với những khái niệm có cơ sở vững chắc của vật lý cổ điển. Hai sự kiện, tức là hai tia ánh sáng đến hai vách tường đối diện nhau, là cùng lúc đối với người quan sát bên trong, nhưng không cùng lúc đối với người quan sát bên ngoài. Trong vật lý cổ điển, chúng ta chỉ có một chiếc đồng hồ và một dòng chảy của thời gian cho tất cả các người quan sát ở trong tất cả các HTTĐ. Thời gian và dĩ nhiên các từ như “đồng thời”, “sớm hơn”, “muộn hơn” có một ý nghĩa tuyệt đối độc lập đối với bất kỳ HTTĐ nào. Hai biến cố xảy ra cùng một lúc trong một HTTĐ cũng phải xảy ra cùng một lúc trong tất cả HTTĐ khác.

Các giả định (1) và (2), cũng chính là thuyết tương đối, buộc chúng ta phải từ bỏ quan điểm này. Chúng ta vừa mô tả hai biến cố xảy ra đồng thời trong một HTTĐ, nhưng lại xảy ra ở những thời gian khác nhau trong HTTĐ khác. Nhiệm vụ của chúng ta là tìm hiểu kết luận này và tìm hiểu ý nghĩa của câu nói: “Hai biến cố xảy ra cùng một lúc trong một HTTĐ, có thể không đồng thời xảy ra trong một HTTĐ khác.”

Chúng ta muốn nói gì khi phát biểu “hai biến cố đồng thời trong một HTTĐ”? Theo trực giác,

mọi người dường như đều hiểu ý nghĩa câu nói này. Nhưng chúng ta hãy cẩn trọng và cố gắng đưa ra những định nghĩa chính xác, vì chúng ta đã biết về sự nguy hiểm của việc đánh giá quá cao trực giác của chúng ta. Đầu tiên hãy trả lời một câu hỏi đơn giản: Đồng hồ là gì?

Cảm tính chủ quan và sơ khai về dòng thời gian giúp chúng ta điều khiển cảm giác của bản thân để nói rằng sự kiện này xảy ra trước, sự kiện kia xảy ra sau. Tuy nhiên, để xác định quãng thời gian giữa hai sự kiện là 10 giây, chúng ta cần một chiếc đồng hồ. Việc dùng đồng hồ để đo thời gian làm cho khái niệm thời gian trở nên khách quan. Bất cứ hiện tượng vật lý nào đều có thể được dùng như một chiếc đồng hồ, với điều kiện là hiện tượng vật lý này có thể lặp lại một cách chính xác và không giới hạn số lần lặp lại. Nếu lấy khoảng thời gian từ lúc bắt đầu đến lúc kết thúc một biến cố là một đơn vị thời gian, chúng ta có thể đo được bất cứ khoảng thời gian nào bằng sự lặp lại của quá trình vật lý ấy. Mọi loại đồng hồ, từ đồng hồ cát đơn giản nhất cho đến những máy đo tinh vi nhất đều dựa trên nguyên tắc này. Đối với đồng hồ cát, đơn vị thời gian là khoảng thời gian mà cát chảy từ bình thủy tinh bên trên xuống bình thủy tinh bên dưới. Quá trình vật lý này có thể được lặp lại bằng cách đảo ngược chiếc đồng hồ cát.

Tại hai điểm cách xa nhau, chúng ta có hai chiếc đồng hồ hoàn hảo cùng chỉ chính xác một thời khắc giống nhau. Phát biểu này là sự thật, bất chấp mọi kiểm chứng thận trọng của chúng ta. Nhưng lời phát biểu này thật sự có ý nghĩa gì? Chúng ta làm thế nào để đảm bảo rằng hai đồng hồ ở xa nhau luôn chỉ chính xác một thời điểm như nhau? Một trong những phương pháp khả dĩ là sử dụng máy truyền hình. Chúng ta phải hiểu là máy truyền hình được dùng đến như một thí dụ và nó không phải là một điều quan trọng trong suy luận của chúng ta. Ta có thể đứng gần một chiếc đồng hồ và xem hình ảnh chiếc đồng hồ thứ hai qua máy truyền hình. Ta có thể đánh giá nếu cả hai chiếc đồng hồ cùng chỉ một thời điểm như nhau hay không. Tuy nhiên, đây không phải là một chứng cứ tốt. Hình ảnh của máy truyền hình được truyền đi bằng sóng điện từ nên có vận tốc bằng với vận tốc của ánh sáng. Do đó, hình ảnh mà chúng ta đang xem trên máy truyền hình là hình ảnh tại một thời điểm trước đó, trong khi với một chiếc đồng hồ trước mắt, ta nhìn thấy điều đang xảy ra tại thời điểm này. Chúng ta có thể tránh được khó khăn này một cách dễ dàng. Ta phải có hình ảnh truyền hình của hai chiếc đồng hồ và quan sát chúng tại một điểm nằm giữa hai chiếc đồng hồ. Như thế, nếu tín hiệu truyền hình được phát ra đồng thời, chúng sẽ được truyền đến chúng ta tại cùng một thời điểm. Nếu hai chiếc đồng hồ, được quan sát từ trung điểm của khoảng cách giữa chúng, luôn chỉ cùng một thời gian thì chúng rất thích hợp cho việc xác định thời gian của những biến cố ở hai điểm cách xa nhau.

Trong cơ học, chúng ta chỉ dùng một chiếc đồng hồ. Nhưng điều này đã không thật sự phù hợp vì chúng ta cần phải thực hiện mọi việc đo đạc trong vùng lân cận của chiếc đồng hồ duy nhất này. Khi xem đồng hồ từ xa, ví dụ qua máy truyền hình, chúng ta luôn phải nhớ rằng những sự kiện mà chúng ta hiện đang quan sát đã xảy ra tại một thời điểm trước đó, cũng giống như khi quan sát buổi hoàng hôn, chúng ta nhận được ánh sáng 8 phút sau khi nó được phát ra từ Mặt Trời đang lặn. Cả khi chúng ta xem giờ, chúng ta cũng cần phải hiệu chỉnh thời gian tương ứng với khoảng cách giữa chúng ta và chiếc đồng hồ.

Do vậy, thật rất bất tiện nếu chúng ta chỉ dùng duy nhất một chiếc đồng hồ. Tuy nhiên, vì chúng ta đã biết cách đánh giá liệu hai hay nhiều chiếc đồng hồ có hoạt động với cùng một nguyên lý và đồng thời chỉ đúng giờ như nhau hay không, nên chúng ta có thể tưởng tượng ra số lượng đồng hồ tùy thích trong một HTTĐ bất kỳ. Mỗi chiếc đồng hồ giúp ta xác định thời gian của một biến cố xảy ra trong vùng lân cận của nó. Chúng nằm yên tương đối với HTTĐ. Những chiếc đồng hồ này là những đồng hồ “tốt” và chạy *đồng bộ* với nhau, điều này có nghĩa là chúng chỉ thị cùng một thời gian như nhau.

Không có gì đặc biệt nổi bật hay lạ lùng về sự sắp xếp những chiếc đồng hồ của chúng ta. Hiện giờ chúng ta đang dùng không chỉ một, mà nhiều chiếc đồng hồ chạy đồng bộ với nhau, do đó ta có thể xét đoán tính đồng thời của hai sự kiện cách xa nhau trong một HTTĐ bất kỳ. Các sự kiện sẽ xảy ra đồng thời nếu các đồng hồ đồng bộ ở gần chúng chỉ thị cùng một thời gian vào thời điểm xảy ra các sự kiện. Đối với hai sự kiện cách xa nhau, khi chúng ta nói rằng một trong hai sự kiện xảy ra trước sự kiện kia, điều này bây giờ có một ý nghĩa xác định. Điều này được đánh giá bởi những đồng hồ được đồng bộ hóa và được giữ cố định trong HTTĐ của chúng ta.

Mọi lập luận trên đều phù hợp với vật lý cổ điển, vẫn chưa xuất hiện mâu thuẫn nào đối với phép biến đổi cổ điển.

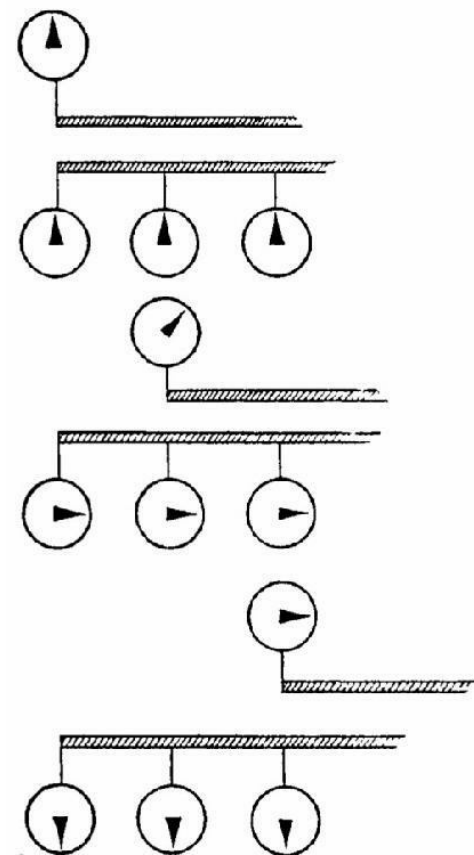
Để xác định các sự kiện đồng thời, các đồng hồ được đồng bộ hóa bởi tín hiệu. Hệ thống thí nghiệm của chúng ta chỉ khả dụng khi các tín hiệu được truyền đi với vận tốc ánh sáng, vận tốc đồng nhất một vai trò cơ bản trong thuyết tương đối.

Bởi vì chúng ta muốn giải quyết vấn đề quan trọng của hai HTTĐ chuyển động đều tương đối với nhau, cho nên chúng ta hãy quan sát hai thanh rắn, lần này chúng được trang bị với hai đồng hồ. Người quan sát trong mỗi HTTĐ chuyển động tương đối với nhau đều có một thanh rắn của chính mình và một bộ đồng hồ riêng gắn chặt lên thanh rắn này.

Khi thảo luận về vấn đề đo đạc trong cơ học cổ điển, chúng ta chỉ dùng một chiếc đồng hồ duy nhất cho mọi HTTĐ. Còn trong trường hợp này, chúng ta có nhiều đồng hồ cho mỗi HTTĐ. Sự khác biệt này không quan trọng. Dùng một chiếc đồng hồ cũng đủ, nhưng không ai phản đối việc dùng nhiều chiếc đồng hồ hơn nếu chúng hoạt động một cách đáng tin cậy như những đồng hồ tốt, được đồng bộ hóa với nhau.

Bây giờ chúng ta đang tiến đến điểm chính yếu cho thấy điểm mâu thuẫn giữa phép biến đổi cổ điển và thuyết tương đối. Điều gì xảy ra nếu hai bộ đồng hồ đang chuyển động đều và tương đối với nhau? Nhà vật lý học cổ điển sẽ trả lời rằng: Chẳng có gì cả, các đồng hồ vẫn chạy với cùng một nhịp và chúng ta có thể sử dụng các đồng hồ đang di chuyển hoặc đang đứng yên để xác định thời gian. Theo vật lý cổ điển, hai biến cố xảy ra đồng thời trong một HTTĐ sẽ xảy ra đồng thời trong bất cứ HTTĐ nào khác.

Nhưng đây không phải là đáp án duy nhất. Chúng ta cũng có thể hình dung rằng một chiếc đồng hồ chuyển động sẽ có nhịp chậm hay nhanh hơn so với một đồng hồ đứng yên. Bây giờ, chúng ta hãy thử bàn về khả năng này và tạm gác lại việc chiếc đồng hồ khi di chuyển có thật sự chạy khác đi hay không. Một đồng hồ chạy khác đi khi nó di chuyển, điều này có ý nghĩa gì? Để đơn giản hóa vấn đề, chúng ta hãy giả định rằng chỉ có một chiếc đồng hồ ở HTTĐ trên và rất nhiều chiếc đồng hồ ở HTTĐ dưới. Tất cả các đồng hồ trong hai HTTĐ đều có cấu trúc cơ học giống nhau và các đồng hồ nằm bên dưới chạy đồng bộ với nhau, có nghĩa là chúng cùng chỉ một thời gian như nhau. Hình vẽ tiếp theo bao gồm ba hình vẽ mô tả ba vị trí liên tiếp của hai HTTĐ chuyển động tương đối với nhau.



Trong hình đầu tiên, các vị trí của kim đồng hồ ở HTTĐ trên và dưới được quy ước giống

nhau vì chúng ta đã sắp đặt như thế. Tất cả các đồng hồ cùng chỉ thị cùng một thời điểm giống nhau. Hình thứ hai mô tả vị trí tương đối của hai HTTĐ sau một khoảng thời gian. Tất cả đồng hồ ở HTTĐ bên dưới đều chỉ cùng một thời điểm, nhưng đồng hồ ở HTTĐ trên đã sai nhịp. Chiếc đồng hồ này đã chạy khác đi và chỉ một thời điểm khác biệt bởi vì nó di chuyển tương đối với HTTĐ dưới. Trong hình vẽ thứ ba, chúng ta nhận thấy sự khác biệt giữa các vị trí kim đồng hồ gia tăng với thời gian.

Một người quan sát ngồi yên trong HTTĐ dưới sẽ nhận thấy rằng chiếc đồng hồ đang di chuyển sẽ thay đổi nhịp hoạt động của nó. Chúng ta chắc chắn sẽ có cùng kết quả nếu chiếc đồng hồ di chuyển tương đối với người quan sát ngồi ở HTTĐ bên trên. Trong trường hợp này, chúng ta sẽ có nhiều chiếc đồng hồ ở HTTĐ trên và chỉ một chiếc đồng hồ ở HTTĐ dưới. Trong hai HTTĐ chuyển động tương đối với nhau, các định luật tự nhiên phải giống nhau.

Trong cơ học cổ điển, người ta luôn giả định ngầm rằng một chiếc đồng hồ di chuyển sẽ không thay đổi nhịp độ hoạt động của nó. Điều dường như hiển nhiên này khiến người ta ít khi phải chú ý đến nó. Nhưng không có gì có thể được xem là quá hiển nhiên và nếu thật sự cẩn thận, chúng ta phải phân tích, thẩm tra các giả định đến nay vẫn được xem như là điều hiển nhiên trong vật lý học.

Chúng ta không nên xem một giả định là vô lý chỉ vì nó không phù hợp với vật lý cổ điển. Chúng ta hoàn toàn có thể hình dung được rằng một chiếc đồng hồ chuyển động sẽ thay đổi nhịp điệu của nó, với điều kiện là định luật về sự thay đổi này là như nhau trong mọi HTTĐ quán tính.

Hãy xét một thí dụ nữa. Chúng ta hãy xét một cây thước có chiều dài 1 thước Anh (1 yard = 0,9144 mét); điều này có nghĩa là cây thước này vẫn luôn dài 1 thước Anh, miễn là nó vẫn còn nằm yên trong một HTTĐ. Bây giờ nó chuyển động đều, trượt trên một thanh cứng tượng trưng cho HTTĐ này. Liệu chiều dài của nó vẫn còn là 1 thước Anh? Chúng ta phải biết trước cách xác định chiều dài của nó. Khi cây thước vẫn nằm yên, các đầu của nó trùng với các vạch cách nhau 1 thước Anh, được đánh dấu trên HTTĐ. Điều này dẫn đến kết luận: Chiều dài của cây thước nằm yên là 1 thước Anh. Chúng ta đo cây thước này trong khi nó chuyển động như thế nào? Có thể thực hiện như sau: Vào một thời điểm nhất định, hai người quan sát chụp đồng thời hai bức ảnh, một bức chụp gốc của cây thước 1 thước Anh và bức còn lại chụp đầu còn lại của cây thước. Vì các bức ảnh được chụp đồng thời, chúng ta có thể so sánh các vạch trên thanh HTTĐ với gốc và ngọn của cây thước 1 thước Anh. Như thế, chúng ta đã xác định được chiều dài của cây thước. Chúng ta cần hai người quan sát để ghi nhận hai sự kiện cùng xảy ra tại một thời điểm ở những phần khác nhau của HTTĐ. Chúng ta không có một lý lẽ nào để tin rằng kết quả đo đạc vừa rồi cũng giống như trường hợp cây thước nằm yên. Vì các hình ảnh phải được chụp đồng thời với nhau, nhưng như chúng ta đã biết, đồng thời là một khái niệm tương đối tùy thuộc vào HTTĐ, do vậy hoàn toàn có khả năng các kết quả của việc đo đạc này sẽ khác nhau trong các HTTĐ khác nhau chuyển động tương đối với nhau.

Chúng ta hoàn toàn có thể tưởng tượng không chỉ chiếc đồng hồ di chuyển hoạt động khác đi, mà cả một cây thước chuyển động cũng thay đổi chiều dài của nó, với điều kiện là các định luật của phép biến đổi này giống nhau trong tất cả HTTĐ quán tính.

Chúng ta chỉ mới thảo luận khả năng của một vài giả thuyết mới chứ chưa hề chứng minh được tính đúng đắn của chúng.

Chúng ta hãy nhớ lại rằng: Ánh sáng có cùng vận tốc trong mọi HTTĐ quán tính. Điều này không thể phù hợp với phép biến đổi cổ điển. Hãy tìm cách thoát khỏi tình thế khó xử này. Liệu chúng ta có thể thực hiện điều này ngay bây giờ? Liệu chúng ta có thể không giả định về sự thay đổi nhịp hoạt động của chiếc đồng hồ đang di chuyển hay về chiều dài của cây thước đang di chuyển để có thể trực tiếp kết luận về tính bất biến của vận tốc ánh sáng từ những giả định này? Quả thực là chúng ta có thể! Đây là giai đoạn đầu tiên mà thuyết tương đối và cơ học cổ điển có sự khác biệt triệt để. Lập luận của chúng ta có thể được đảo ngược như sau: Nếu vận tốc ánh sáng là bất biến trong mọi HTTĐ thì sự chuyển động của cây thước sẽ làm thay đổi chiều dài của nó, sự chuyển động của đồng hồ làm nó hoạt động khác đi và các định luật chi phối các sự thay đổi này được xác định một cách nghiêm ngặt, chính xác.

Tất cả những điều này hoàn toàn không có gì lạ lùng và vô lý cả. Trong vật lý cổ điển, người ta luôn cho rằng một chiếc đồng hồ sẽ hoạt động như nhau, khi chuyển động cũng như khi đứng yên, và chiều dài cây thước sẽ không thay đổi dù nó chuyển động hay đứng yên. Nếu vận tốc ánh sáng là như nhau trong mọi HTTĐ và nếu thuyết tương đối là đúng, chúng ta phải từ bỏ giả định này. Thật khó khăn để có thể loại bỏ các thành kiến thâm căn cố đế này, nhưng chúng ta không thể tìm được cách nào khác. Từ quan điểm của thuyết tương đối, chúng ta thấy các khái niệm cũ tỏ ra rất tùy tiện. Điều gì khiến chúng ta phải tin rằng thời gian tuyệt đối sẽ trôi như nhau trong mọi HTTĐ, như chúng ta đã tin ở vài trang trước đây? Tại sao chúng ta phải tin rằng khoảng cách là không thay đổi? Thời gian được đo đạc bằng đồng hồ, các tọa độ trong không gian được xác định bằng thước đo và hoàn toàn có khả năng là các kết quả đo đặc phụ thuộc trạng thái của những chiếc đồng hồ và những cây thước khi đang chuyển động. Không có bất kỳ lý do nào để tin rằng trạng thái của chúng phải là trạng thái mà chúng ta mong muốn. Những quan sát gián tiếp bằng các hiện tượng điện từ trường đã cho thấy rằng khi di chuyển, đồng hồ chạy khác đi và chiều dài cây thước thay đổi. Đây cũng là điều không thể xảy ra nếu chúng ta dựa vào các hiện tượng cơ học. Chúng ta buộc phải chấp nhận khái niệm về thời gian tương đối trong mọi HTTĐ, vì đây là cách tốt nhất để thoát ra khỏi những khó khăn của chúng ta. Những tiến bộ khoa học phát triển từ thuyết tương đối cho thấy khía cạnh mới này không thể xem là một *tai họa cần thiết* – *malum necessarium* – bởi vì những giá trị vô cùng ấn tượng của thuyết tương đối.

Cho đến nay, chúng ta đã trình bày những ý tưởng dẫn dắt đến những giả định cơ bản cho thuyết tương đối. Và làm thế nào lý thuyết này đã buộc chúng ta phải xem xét lại và thay đổi phép biến đổi cổ điển bằng cách nghiên cứu thời gian và không gian theo một cách thức mới. Mục đích của chúng ta là trình bày những ý tưởng nền tảng của một tư duy mới về vật lý và triết học. Những ý tưởng này đơn giản, nhưng theo cách thức mà chúng được xây dựng ở đây thì chúng không đủ khả năng dẫn đến những kết luận cả về định tính lẫn định lượng. Chúng ta phải quay lại với phương pháp cũ: Chỉ giải thích những nguyên tắc chính và đưa ra một số vấn đề khác trong khuôn khổ trình bày nhưng không cần minh chứng cụ thể.

Để phân biệt rõ quan điểm của một nhà vật lý cổ điển, chúng ta sẽ gọi ông ta là ông *CD*, người tin vào phép biến đổi cổ điển và quan điểm của một nhà vật lý hiện đại, chúng ta gọi ông ta là ông *HD*, người hiểu biết về thuyết tương đối. Chúng ta sẽ tưởng tượng một cuộc đối thoại giữa hai nhà vật lý này.

CD. Tôi tin vào nguyên lý tương đối Galileo trong cơ học, vì tôi biết rằng những định luật cơ học là như nhau trong hai HTTĐ chuyển động đều tương đối với nhau, hay nói cách khác, các định luật này bất biến theo ý nghĩa của phép biến đổi cổ điển.

HD. Nhưng nguyên lý tương đối phải được áp dụng cho tất cả hiện tượng xảy ra trong thế giới vật chất của chúng ta. Không chỉ các định luật cơ học mà tất cả các định luật tự nhiên phải giống nhau trong mọi HTTĐ chuyển động đều, tương đối với nhau.

CD. Nhưng làm sao tất cả các định luật tự nhiên có thể giống nhau trong tất cả HTTĐ chuyển động tương đối với nhau? Các phương trình trường, hay còn gọi là các phương trình Maxwell, không bất biến theo phép biến đổi cổ điển. Điều này đã được mô tả rất rõ ràng trong thí dụ với vận tốc ánh sáng. Theo phép biến đổi cổ điển, vận tốc ánh sáng sẽ không có cùng trị số trong hai HTTĐ chuyển động tương đối với nhau.

HD. Điều này chỉ cho thấy rằng ta không thể áp dụng phép biến đổi cổ điển cho trường hợp này, rằng sự liên hệ giữa hai HTTĐ phải được thực hiện với cách thức khác, rằng chúng ta không nên kết nối các tọa độ và các vận tốc bằng phép biến đổi cổ điển. Chúng ta phải thay thế bằng những định luật mới được suy ra từ những giả thuyết cơ bản của thuyết tương đối. Chúng ta không cần quan tâm đến các biểu thức toán học dùng cho phép biến đổi mới này và chỉ cần biết rằng nó khác biệt so với phép biến đổi cổ điển. Chúng ta sẽ gọi ngắn gọn là *phép biến đổi Lorentz*.[\[23a\]](#) Chúng ta có thể chứng minh rằng các phương trình Maxwell chính là các định luật trường bất biến đối với phép biến đổi Lorentz, và giống như các định luật cơ học, cũng sẽ bất biến đối với phép biến đổi cổ điển. Hãy nhớ lại những mối tương quan trong vật lý cổ điển là như thế nào. Chúng ta đã có phép biến đổi cho các tọa độ, phép biến đổi cho các vận tốc, nhưng

các định luật cơ học có giá trị như nhau cho hai HTTĐ chuyển động đều, tương đối với nhau. Chúng ta đã có phép biến đổi cho không gian nhưng không có phép biến đổi cho thời gian, vì thời gian trôi như nhau trong mọi HTTĐ. Tuy nhiên, điều này không còn như thế trong thuyết tương đối. Khác với phép biến đổi cổ điển, chúng ta có những phép biến đổi cho không gian, thời gian và vận tốc. Vẫn giống như trước đây, các định luật tự nhiên vẫn giống nhau trong tất cả HTTĐ chuyển động đều tương đối với nhau. Các định luật tự nhiên sẽ không còn bất biến đối với phép biến đổi cổ điển như trước mà bất biến đối với phép biến đổi mới được gọi là phép biến đổi Lorentz. Trong mọi HTTĐ quán tính, các định luật tự nhiên đều như nhau và sự chuyển đổi từ một HTTĐ này sang một HTTĐ khác phải tuân theo phép biến đổi Lorentz.

CĐ. Tôi tạm tin những gì ông nói, nhưng tôi rất muốn biết những khác biệt giữa phép biến đổi cổ điển và phép biến đổi Lorentz.

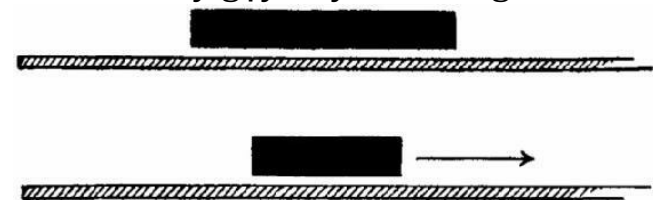
HĐ. Câu hỏi của ông tốt nhất được trả lời như sau: Ông hãy đưa ra vài tính chất đặc trưng của phép biến đổi cổ điển và tôi sẽ tìm cách giải thích cho ông biết rằng các tính chất này đã sẽ thay đổi hay vẫn giữ nguyên theo phép biến đổi Lorentz.

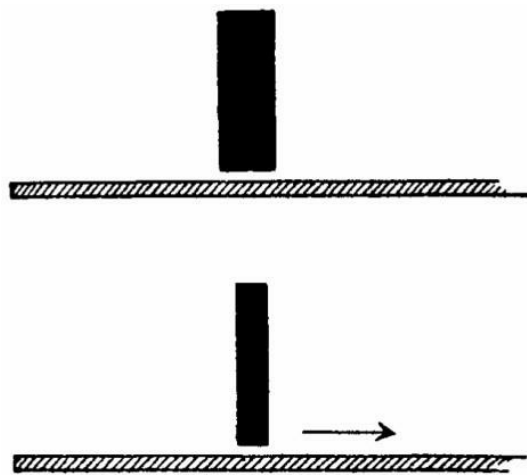
CĐ. Nếu có một sự kiện xảy ra ở một điểm nào đó vào một thời điểm nào đó trong HTTĐ của tôi, một người quan sát đứng trong một HTTĐ khác chuyển động đều, tương đối với HTTĐ của tôi, sẽ quan sát thấy sự kiện này đã xảy ra ở một vị trí khác nhưng dĩ nhiên vào cùng một thời điểm. Chúng ta dùng cùng một chiếc đồng hồ cho mọi HTTĐ của chúng ta và dù nó có di chuyển hay không, đó không phải là điều quan trọng. Điều này có đúng với phép biến đổi của ông không?

HĐ. Không, dứt khoát không. Mỗi HTTĐ phải được trang bị với những đồng hồ riêng cho nó bởi vì sự chuyển động sẽ làm các đồng hồ này thay đổi nhịp hoạt động. Hai người quan sát trong hai HTTĐ khác nhau sẽ không chỉ nhận thấy những trị số khác nhau cho tọa độ mà cả những trị số khác nhau cho thời điểm xảy ra sự kiện.

CĐ. Điều này có nghĩa là thời gian không còn là một đại lượng bất biến nữa. Trong phép biến đổi cổ điển, thời gian luôn trôi qua như nhau trong tất cả HTTĐ. Còn theo phép biến đổi Lorentz thì thời gian thay đổi giống như sự thay đổi của các tọa độ trong phép biến đổi cổ điển. Tôi rất muốn biết điều gì sẽ xảy ra với khoảng cách? Theo cơ học cổ điển, một cây gậy sẽ giữ nguyên chiều dài của nó khi chuyển động hay đứng yên. Điều này cũng sẽ như thế trong phép biến đổi của ông phải không?

HĐ. Chắc chắn là không! Theo phép biến đổi của Lorentz, chiều dài của một gậy đang chuyển động sẽ co lại theo hướng chuyển động và sự co rút này sẽ gia tăng nếu vận tốc gia tăng. Cây gậy chuyển động càng nhanh, nó càng ngắn lại. Nhưng điều này chỉ xảy ra theo hướng chuyển động. Theo hình vẽ sau, ông nhận thấy một cây gậy sẽ co lại còn phân nửa nếu nó di chuyển với một vận tốc khoảng chừng 90% vận tốc ánh sáng. Tuy nhiên, như tôi đã cố gắng biểu diễn trên hình vẽ, cây gậy này sẽ không co rút theo hướng vuông góc với hướng di chuyển của chính nó.





CD. Điều này có ý nghĩa rằng khi chuyển động, đồng hồ chạy khác đi và chiều dài của cây thước cũng thay đổi tùy theo vận tốc. Nhưng sự tùy thuộc này sẽ như thế nào?

HD. Sự thay đổi trở nên rõ ràng hơn khi vận tốc gia tăng. Theo phép biến đổi Lorentz, chiều dài của một cây thước sẽ co lại bằng không và biến mất nếu nó đạt tới vận tốc ánh sáng. Tương tự như thế, nhịp hoạt động của chiếc một đồng hồ sẽ trở nên chậm hơn khi nó di chuyển so với các đồng hồ nằm yên trên thanh cứng mà nó lướt qua. Đồng hồ này sẽ ngừng hẳn nếu nó di chuyển với vận tốc ánh sáng, với điều kiện nó là một chiếc đồng hồ “tốt.”

CD. Điều này dường như trái ngược lại với tất cả kinh nghiệm của chúng ta. Chúng ta thấy rằng một chiếc xe hơi không thể trở nên ngắn hơn nếu nó di chuyển và chúng ta cũng biết rằng người lái xe có thể so sánh chiếc đồng hồ “tốt” của anh ta với những chiếc đồng hồ ở hai bên đường, anh ta sẽ thấy rằng tất cả các đồng hồ này hầu như đều chỉ cùng một thời gian, tất cả các điều này đều trái ngược với phát biểu của ông.

HD. Điều này hoàn toàn đúng. Nhưng những vận tốc cơ học này lại vô cùng nhỏ so với vận tốc ánh sáng và như vậy, thực nực cười khi áp dụng thuyết tương đối vào các hiện tượng này. Mỗi người lái xe hơi vẫn hoàn toàn có thể an tâm khi áp dụng vật lý cổ điển, ngay cả khi anh ta gia tăng vận tốc xe của anh ta gấp một trăm ngàn lần. Chúng ta chỉ có thể trông chờ sự khác biệt, giữa thực nghiệm và phép biến đổi cổ điển, với những vận tốc gần với vận tốc ánh sáng. Tính đúng đắn của phép biến đổi Lorentz chỉ có thể đánh giá được bởi những vận tốc vô cùng lớn.

CD. Nhưng vẫn còn một khó khăn khác. Theo cơ học, tôi có thể tưởng tượng đến những vật thể có vận tốc còn lớn hơn vận tốc của ánh sáng. Nếu một vật thể di chuyển tương đối với một con tàu với vận tốc bằng vận tốc ánh sáng, thì vật thể này sẽ chuyển động tương đối với bờ biển với vận tốc lớn hơn vận tốc ánh sáng. Điều gì xảy ra với một cây thước có chiều dài co lại bằng không khi di chuyển với vận tốc ánh sáng? Thật khó có thể hình dung được một chiều dài âm (nhỏ hơn không) nếu vận tốc của nó vượt quá vận tốc ánh sáng.

HD. Thật không có lý do nào để ông có thể mỉa mai như thế. Từ quan điểm của thuyết tương đối, một vật thể vật chất không thể nào có vận tốc lớn hơn vận tốc ánh sáng. Vận tốc ánh sáng chính là giới hạn lớn nhất đối với vận tốc của mọi vật thể vật chất. Khi một vật thể chuyển động tương đối với một con tàu với vận tốc ánh sáng, thì nó cũng sẽ chuyển động tương đối với bờ biển với vận tốc ánh sáng. Định luật cơ học đơn giản cho việc cộng và trừ vận tốc không còn hiệu lực ở đây, hay nói chính xác hơn là nó chỉ có hiệu lực một cách tương đối cho các vận tốc bé và không thể áp dụng cho các vận tốc gần bằng vận tốc ánh sáng. Trị số của vận tốc ánh sáng luôn xuất hiện rất rõ ràng trong phép biến đổi Lorentz và đóng vai trò là trị số giới hạn, giống như vận tốc vô cực trong cơ học cổ điển. Lý thuyết này cho ta một sự khái quát hóa rộng hơn và không mâu thuẫn với phép biến đổi cổ điển và cơ học cổ điển. Ngược lại, chúng ta nên xem các khái niệm cũ như một trường hợp giới hạn khi các vận tốc có trị số nhỏ. Từ quan điểm của lý thuyết mới, ta có thể phân biệt rõ ràng những trường hợp mà vật lý cổ điển có hiệu lực và đâu là giới hạn của nó. Thực là buồn cười nếu ai đó muốn ứng dụng thuyết tương đối vào sự chuyển động của xe hơi, xe lửa, tàu thủy, giống như một người nào đó cần sử dụng đến máy tính trong khi chỉ cần dùng những phép cộng trừ.

THUYẾT TƯƠNG ĐỐI VÀ CƠ HỌC

Thuyết tương đối được sinh ra từ nhu cầu tất yếu, từ những mâu thuẫn sâu sắc trong lý thuyết cũ tưởng chừng như không lối thoát. Sức mạnh của lý thuyết mới đến từ tính hợp lý và thuyết tương đối đã giải quyết tất cả những khó khăn này chỉ với một ít giả định rất thuyết phục.

Mặc dù thuyết tương đối được sinh ra từ những vấn đề về trường, nhưng nó cần phải bao trùm tất cả định luật vật lý. Dường như một khó khăn lại vừa xuất hiện ở đây. Các định luật trường, ở mặt này, và các định luật cơ học, ở mặt khác, là những thể loại hoàn toàn khác biệt. Các phương trình điện từ trường là bất biến đối với phép biến đổi Lorentz, còn các phương trình cơ học lại bất biến đối với phép biến đổi cổ điển. Nhưng thuyết tương đối đòi hỏi rằng tất cả định luật tự nhiên phải bất biến đối với phép biến đổi Lorentz, nhưng không bất biến đối với phép biến đổi cổ điển. Phép biến đổi cổ điển chỉ là một trường hợp đặc biệt và là giới hạn của phép biến đổi Lorentz khi các vận tốc tương đối của hai HTTĐ là rất nhỏ. Nếu đúng như thế, cơ học cổ điển phải được thay đổi để có thể thích nghi với sự đòi hỏi về tính bất biến của phép biến đổi Lorentz. Hay nói cách khác, cơ học cổ điển không thể còn hiệu lực nếu vận tốc đạt tới vận tốc ánh sáng. Chỉ duy nhất một phép biến đổi từ HTTĐ này sang HTTĐ khác có thể tồn tại, đó chính là phép biến đổi Lorentz.

Thật đơn giản để thay đổi cơ học cổ điển theo một cách thức nào đó để nó không mâu thuẫn với thuyết tương đối và cũng không mâu thuẫn với những kết quả thu được từ sự quan sát và được giải thích bằng cơ học cổ điển. Cơ học cổ điển có hiệu lực đối với vận tốc bé và hình thành một trường hợp giới hạn của lý thuyết mới.

Điều thú vị bây giờ là việc xem xét một vài thí dụ cụ thể về sự thay đổi trong cơ học cổ điển bởi thuyết tương đối. Có lẽ việc này sẽ dẫn dắt chúng ta đến những kết luận có thể được chứng minh hay bị bác bỏ bởi thực nghiệm.

Chúng ta hãy giả sử có một vật thể có khối lượng xác định di chuyển dọc theo một đường thẳng và chịu tác động bởi một ngoại lực theo hướng chuyển động. Như đã biết, lực tỷ lệ với sự thay đổi vận tốc. Một cách rõ ràng: Tỷ lệ này luôn tồn tại dù vật thể này gia tăng vận tốc từ 100 đến 101 bộ mỗi giây, từ 100 đến 101 dặm mỗi giây, hay từ 180.000 đến 180.001 dặm mỗi giây. Lực tác động lên một vật thể luôn không đổi nếu vật thể có cùng một sự thay đổi vận tốc trong cùng một khoảng thời gian.

Phát biểu trên có đúng hay không theo quan điểm của thuyết tương đối? Không thể được! Định luật này chỉ có hiệu lực đối với những vận tốc nhỏ. Theo thuyết tương đối, định luật nào sẽ được sử dụng khi vận tốc đạt tới vận tốc ánh sáng? Đối với một vận tốc rất lớn, chúng ta cần một lực vô cùng lớn để làm tăng thêm vận tốc này! Việc tăng thêm 1 bộ mỗi giây cho một vận tốc khoảng 100 bộ mỗi giây là hoàn toàn khác biệt cho một vận tốc gần bằng vận tốc ánh sáng. Càng tiếp cận vận tốc ánh sáng, vận tốc càng khó được gia tăng. Khi vận tốc bằng vận tốc ánh sáng thì ta không thể gia tăng thêm nữa. Chúng ta không phải ngạc nhiên về những sự thay đổi đến từ thuyết tương đối. Vận tốc ánh sáng là giới hạn cho mọi vận tốc. Không lực nào, dù lớn đến đâu, có thể gia tăng vận tốc vượt qua giới hạn này. Ta có định luật khác phức tạp hơn thay cho định luật cơ học cũ về mối liên hệ giữa lực và sự thay đổi vận tốc. Từ quan điểm mới của chúng ta, cơ học cổ điển tỏ ra đơn giản vì gần như trong tất cả các sự kiện mà chúng ta có thể quan sát, vận tốc luôn rất nhỏ so với vận tốc ánh sáng.

Một vật thể đang đứng yên có một khối lượng xác định, được gọi là *khối lượng tĩnh* (hay *khối lượng nghỉ*). Trong cơ học, chúng ta đã biết rằng mọi vật thể đều chống lại sự thay đổi chuyển động của nó; khối lượng càng lớn, sức ì càng lớn và ngược lại. Nhưng trong thuyết tương đối, chúng ta còn có thêm nhiều điều khác. Vật thể sẽ chống lại sự thay đổi chuyển động của nó mạnh mẽ hơn không chỉ nếu khối lượng tĩnh của nó lớn hơn, mà còn nếu nó có vận tốc lớn hơn. Các vật thể có vận tốc gần bằng vận tốc ánh sáng sẽ có sức ì rất lớn đối với ngoại lực. Trong cơ học cổ điển, sức ì của một vật thể là không đổi và được xác định bởi khối lượng của nó. Trong thuyết tương đối, sức ì tùy thuộc đồng thời vào khối lượng tĩnh và vận tốc. Do đó, sức ì trở nên

rất lớn và tiến đến vô cực, khi vận tốc tiến gần đến vận tốc ánh sáng.

Những kết quả vừa đạt được cho phép chúng ta kiểm chứng lại lý thuyết này bằng thực nghiệm. Liệu rằng những viên đạn được bắn ra với vận tốc gần bằng vận tốc ánh sáng sẽ chống lại tác động của ngoại lực theo cách thức mà thuyết tương đối đã tiên đoán? Vì bản thân phát biểu của thuyết tương đối đã có tính định lượng, nên chúng ta có thể chứng minh hay bác bỏ lý thuyết này nếu chúng ta có thể bắn được những viên đạn với vận tốc gần bằng vận tốc ánh sáng.

Thực vậy, chúng ta có thể tìm thấy trong tự nhiên những vật thể được phóng thích với những vận tốc như thế. Nguyên tử của chất phóng xạ, ví dụ như radium, giống như những đội pháo binh bắn đi những viên đạn với vận tốc vô cùng lớn. Chúng ta sẽ không đi sâu vào chi tiết mà chỉ trích dẫn một trong những luận thuyết rất quan trọng của vật lý học và hóa học hiện đại. Mọi vật chất trong vũ trụ được cấu tạo từ một số loại *hạt cơ bản*. Giống như trong một thành phố, các tòa nhà dù khác nhau về kích cỡ, cấu tạo, kiến trúc, nhưng từ những ngôi nhà bình thường đến các tòa nhà chọc trời đều được xây dựng bởi một số rất ít các loại gạch khác nhau. Những nguyên tố được biết đến trong thế giới vật chất của chúng ta, từ nguyên tố nhẹ nhất là hydro (Hydrogen) cho đến nguyên tố nặng nhất là urani (Uranium) được cấu tạo từ cùng một số loại “gạch” hay chính xác hơn là từ cùng một số loại hạt cơ bản. Các nguyên tố nặng nhất, có cấu trúc phức tạp nhất, thì không bền vững và từ từ bị phân hủy hay như chúng ta thường nói là chúng có *tính phóng xạ*. Đôi khi một vài “viên gạch”, hay đúng hơn là những hạt cơ bản cấu tạo nên nguyên tử phóng xạ, bị bắn ra với vận tốc vô cùng lớn, gần bằng vận tốc ánh sáng. Theo quan điểm hiện nay của chúng ta, và cũng đã được khẳng định bởi rất nhiều thí nghiệm, nguyên tử của một nguyên tố, chẳng hạn như radium, có cấu trúc phức tạp và sự phân hủy do phóng xạ là một trong những hiện tượng giúp chúng ta biết được rằng nguyên tử được cấu tạo từ những “viên gạch” đơn giản hơn nhiều, đó là những hạt cơ bản.

Với những thí nghiệm rất tinh vi và phức tạp, chúng ta có thể biết được các hạt này chống lại tác dụng của một ngoại lực như thế nào. Các thí nghiệm cho thấy sức ì của các hạt cơ bản này tùy thuộc vào vận tốc, theo cách thức mà thuyết tương đối đã tiên đoán. Trong những trường hợp khác, một khi phát hiện sự phụ thuộc của sức ì vào vận tốc thì ta có thể chứng minh được tính nhất quán giữa lý thuyết và thực nghiệm. Chúng ta lại thấy được chức năng cơ bản của việc sáng tạo trong khoa học: Tiên đoán sự việc bằng lý thuyết và sau đó chứng minh bằng thực nghiệm.

Kết quả này còn gợi lên một khái niệm tổng quát quan trọng hơn nữa. Một vật thể đứng yên chỉ có khối lượng nhưng không có động năng, nghĩa là năng lượng của chuyển động. Một vật thể chuyển động sẽ có cả khối lượng lẫn động năng. Vật thể đang chuyển động sẽ chống lại sự thay đổi vận tốc mạnh mẽ hơn so với một vật thể đang đứng yên. Dường như động năng của vật thể đang chuyển động làm tăng sức ì của chính vật thể này. Nếu hai vật thể có cùng khối lượng tĩnh thì vật thể có động năng lớn hơn sẽ chống lại tác động của ngoại lực mạnh hơn.

Hãy tưởng tượng chúng ta có một cái hộp chứa các viên bi; cả cái hộp lẫn các viên bi đều nằm yên trong HTTĐ của chúng ta. Chúng ta cần tác động một lực để di chuyển hay gia tăng vận tốc của chúng. Nhưng liệu rằng lực này sẽ làm gia tăng vận tốc với cùng một trị số trong cùng một thời gian cho các viên bi chuyển động nhanh chóng theo mọi hướng bên trong hộp, như các phân tử khí, và liệu rằng chúng có thể đạt đến vận tốc trung bình tiếp cận với vận tốc ánh sáng? Chúng ta sẽ phải cần một lực lớn hơn nữa, vì khi động năng của các viên bi gia tăng thì sức ì của cả cái hộp cũng sẽ tăng theo. Năng lượng, dưới dạng động năng ở bất kỳ mức độ nào, sẽ chống lại sự chuyển động theo cách thức giống như khối lượng tĩnh. Liệu rằng điều này cũng sẽ đúng cho các loại năng lượng khác?

Qua những giả định cơ bản, thuyết tương đối đã tìm được một đáp án rõ ràng và thuyết phục cho câu hỏi trên. Một đáp án, lại một lần nữa, mang tính định lượng: Mọi loại năng lượng đều chống lại sự thay đổi của chuyển động; mọi loại năng lượng có trạng thái như vật chất; một thanh sắt nóng đỏ cân nặng hơn so với khi nó nguội; tia bức xạ lan truyền trong không gian và được phóng thích từ Mặt Trời chứa đựng năng lượng và do vậy nó phải có khối lượng; Mặt Trời và tất cả các ngôi sao phát ra bức xạ đều mất dần khối lượng khi chúng phóng thích bức xạ. Kết luận có tính tổng quát này là một thành tựu quan trọng của thuyết tương đối và nó phù hợp

với mọi thử nghiệm đã được thực hiện.

Vật lý cổ điển đã đưa ra hai loại chất: Vật chất và năng lượng. Chất thứ nhất có khối lượng nhưng chất còn lại thì không. Trong vật lý cổ điển, chúng ta đã có hai định luật bảo toàn, một cho vật chất và một cho năng lượng. Chúng ta đã từng hỏi: Liệu rằng vật lý hiện đại vẫn giữ hai khái niệm về chất và hai định luật bảo toàn hay không? Câu trả lời là “không”! Theo thuyết tương đối thì ta không có sự khác biệt cơ bản nào giữa khối lượng và năng lượng. Năng lượng có khối lượng và khối lượng tương trưng cho năng lượng. Thay vì hai định luật bảo toàn, chúng ta chỉ có một, đó là định luật bảo toàn “khối lượng – năng lượng.” Nhận thức mới này đã tỏ ra rất thành công và gặt hái nhiều kết quả trong quá trình phát triển của vật lý.

Người ta phải tự hỏi rằng tại sao việc năng lượng chứa đựng khối lượng và khối lượng tương trưng cho năng lượng bị che lấp một thời gian dài như thế? Có phải trọng lượng của một miếng sắt nung đỏ lớn hơn trọng lượng của nó khi nguội? Tại thời điểm này, câu trả lời là “đúng” nhưng ở trang cuối của phần “Có phải nhiệt là khối chất” thì câu trả lời là “không.” Dù có rất nhiều trang sách giữa hai câu trả lời nhưng chúng cũng không đủ che lấp điểm mâu thuẫn này.

Điều mà chúng ta đang phải đối đầu cũng tương tự với những khó khăn mà chúng ta đã gặp trước đây. Sự thay đổi khối lượng, được tiên đoán bởi thuyết tương đối, là vô cùng nhỏ để có thể được cân đo một cách trực tiếp, dù với một cái cân tối tân nhất. Việc năng lượng không phải là không có trọng lượng có thể được chứng minh rất rõ ràng bằng nhiều phương pháp, dù chỉ là những phương pháp gián tiếp.

Chính vì tỷ lệ trao đổi giữa vật chất và năng lượng là vô cùng nhỏ nên người ta không thể chứng minh một cách trực tiếp. Việc so sánh năng lượng với khối lượng cũng giống như việc so sánh một loại tiền tệ mất giá với loại tiền tệ có giá trị cao. Một thí dụ cụ thể sẽ giúp chúng ta hiểu rõ điều này. Lượng nhiệt để làm bốc hơi ba mươi nghìn tấn nước chỉ cân nặng một gam! Sở dĩ năng lượng được coi là không trọng lượng trong một thời gian dài là bởi vì khối lượng tương trưng cho nó vô cùng nhỏ.

Khái niệm cổ điển của khối chất – năng lượng trở thành nạn nhân thứ hai của thuyết tương đối. Nạn nhân đầu tiên là môi trường lan truyền của ánh sáng, e_{tr} .

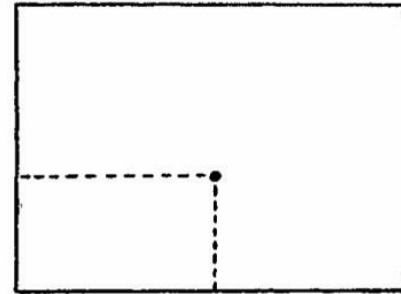
Tầm ảnh hưởng của thuyết tương đối vượt ra khỏi những vấn đề đã sinh ra nó. Thuyết tương đối giúp loại bỏ các khó khăn và mâu thuẫn trong lý thuyết trường, thiết lập các định luật cơ học có tính tổng quát hơn, thay thế hai định luật bảo toàn bằng một định luật bảo toàn, thay đổi khái niệm cổ điển của chúng ta về thời gian tuyệt đối. Hiệu lực của nó không bị hạn chế trong một lĩnh vực của vật lý, mà hơn thế nữa, nó còn xây dựng một hệ thống các nguyên lý bao trùm tất cả các hiện tượng tự nhiên.

MIỀN LIÊN TỤC KHÔNG-THỜI GIAN

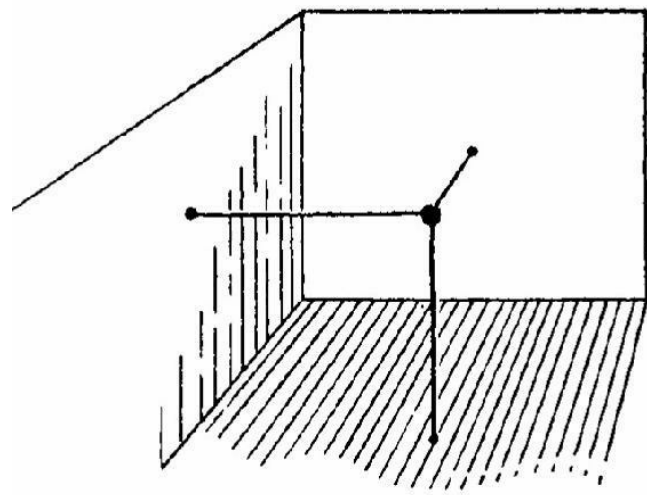
“Cách mạng Pháp đã bắt đầu tại Paris vào ngày 14 tháng 7 năm 1789.” Trong câu văn trên, ta biết được địa điểm và thời điểm xảy ra một sự kiện. Một người lần đầu tiên nghe câu văn trên, nếu không biết “Paris” có nghĩa gì thì chúng ta có thể giúp người này hiểu như sau: Paris là một thành phố trên Trái Đất, nằm ở 2 độ kinh đông và 49 độ vĩ bắc. Hai con số này xác định vị trí và “ngày 14 tháng 7 năm 1789” xác định thời điểm xảy ra biến cố. Trong vật lý học, việc xác định chính xác một sự kiện xảy ra lúc nào và ở đâu còn quan trọng nhiều hơn so với trong lịch sử, vì những dữ kiện này hình thành nền tảng cho những mô tả mang tính định lượng.

Để cho đơn giản, đến bây giờ chúng ta chỉ tìm hiểu những chuyển động dọc theo đường thẳng. HTTĐ của chúng ta là một cây thước chỉ có điểm đầu và không có điểm cuối (điểm cuối kéo dài đến vô tận). Chúng ta hãy giữ lấy giới hạn này. Vạch những điểm khác nhau trên thanh đo, mỗi vị trí của những vạch này đều được xác định bởi một con số duy nhất, còn gọi là tọa độ của điểm ấy. Khi ta nói một điểm có tọa độ 7,586 bộ có nghĩa là điểm đó cách điểm đầu của thanh đo 7,586 bộ. Ngược lại, nếu ai đó cho tôi bất cứ con số nào và đơn vị, tôi sẽ tìm ra một điểm trên cây thước tương ứng với con số này. Chúng ta có thể phát biểu như sau: Mỗi một con số tương ứng với một điểm xác định trên thanh đo và mỗi điểm trên thanh đo tương ứng với một con số xác định. Những nhà toán học diễn đạt điều này trong một câu như sau: Tất cả các điểm trên thanh đo hình thành một *miền liên tục một chiều*. Một điểm bất kỳ trên thanh đo đều có một điểm khác nằm gần nó. Chúng ta có thể nối hai điểm cách xa nhau trên thanh đo bằng những phân đoạn ngắn có độ nhỏ được lựa chọn một cách tùy thích. Do đó, các phân đoạn nối liền hai điểm xa nhau và có độ nhỏ tùy ý chính là đặc tính của miền liên tục (continuum).

Bây giờ chúng ta hãy xét một thí dụ khác. Chúng ta có một mặt phẳng, hay nếu bạn thích một hình ảnh cụ thể hơn thì có thể tưởng tượng đến một mặt bàn hình chữ nhật. Vị trí của mỗi điểm trên mặt bàn phải được xác định bằng hai con số, chứ không chỉ là một con số như trước đây. Hai con số này là hai khoảng cách từ hai cạnh bàn vuông góc với nhau. Mỗi điểm trên mặt bàn tương ứng với một cặp số xác định và mỗi cặp số tương ứng với một điểm xác định. Hãy nói cách khác: Mặt phẳng là một *miền liên tục hai chiều*. Mỗi điểm trên mặt phẳng này đều có những điểm gần nó. Chúng ta có thể nối hai điểm cách nhau bằng một đường cong được chia thành nhiều đoạn nhỏ tùy ý. Như vậy, đặc tính của miền liên tục hai chiều là các phân đoạn có độ nhỏ tùy ý nối liền hai điểm cách nhau, mỗi điểm có thể được mô tả bằng hai con số.



Hãy xét thêm một thí dụ nữa. Hãy tưởng tượng rằng bạn muốn xem căn phòng của mình như một HTTĐ. Điều này có nghĩa là bạn muốn mô tả tất cả các điểm ứng với các vách tường của căn phòng. Vị trí của cái đèn được treo lơ lửng và đang nằm yên có thể được diễn tả bởi ba con số: Hai trong chúng xác định khoảng cách giữa cái đèn đến hai bức tường vuông góc với nhau và con số thứ ba xác định khoảng cách từ cái đèn đến nền nhà hay trần nhà.



Mỗi điểm trong không gian tương ứng với ba con số xác định và mỗi ba con số tương ứng với một điểm xác định. Điều này được diễn tả như sau: Không gian của chúng ta là *một miền liên tục ba chiều*. Mỗi điểm trong không gian đều có những điểm khác nằm gần điểm ấy. Một lần nữa, các phân đoạn có độ nhỏ tùy ý của nối liền các điểm xa nhau và mỗi điểm ấy được thể hiện bằng ba con số, đó cũng chính là đặc tính của *miền liên tục ba chiều*.

Những gì chúng ta vừa thảo luận không hề liên quan gì đến vật lý. Để trở lại các vấn đề của vật lý, chúng ta phải tìm hiểu chuyển động của những chất điểm. Để quan sát và dự đoán được các sự kiện trong tự nhiên, chúng ta phải xem xét không chỉ nơi chốn mà cả thời điểm xảy ra sự kiện vật lý. Một lần nữa chúng ta hãy xét một ví dụ đơn giản.

Một hòn đá nhỏ, có thể coi như là một hạt, rơi từ một cái tháp có độ cao 256 bộ. Từ thời Galileo, chúng ta đã có thể dự đoán tọa độ của hòn đá đang rơi tại bất kỳ thời điểm nào. Sau đây là “bảng thời gian” mô tả vị trí của viên đá sau 0, 1, 2, 3 và 4 giây.

Thời gian [giây] — Khoảng cách từ mặt đất [bộ]

0	256
1	— 240
2	— 192
3	— 112
4	— 0

Có năm sự kiện được ghi nhận trong “bảng thời gian” của chúng ta, mỗi sự kiện được thể hiện bằng hai con số: Thời điểm và tọa độ trong không gian. Sự kiện đầu tiên là viên đá rơi từ độ cao 256 bộ vào lúc 0 giây. Sự kiện thứ hai là lúc viên đá trùng với vạch khắc trên “thanh đo” của chúng ta (cái tháp), có độ cao 240 bộ tính từ mặt đất. Sự kiện này xảy ra sau 1 giây đầu tiên. Sự kiện cuối cùng xảy ra khi viên đá chạm mặt đất.

Chúng ta có thể trình bày những dữ liệu trong “bảng thời gian” theo một cách khác. Chúng ta có thể trình bày năm cặp số trong bảng thời gian như là năm điểm trên một mặt phẳng. Đầu tiên, chúng ta phải thống nhất với nhau về tỷ lệ. Một phân đoạn tương ứng với một bộ và phân đoạn khác tương ứng với một giây. Thí dụ như:

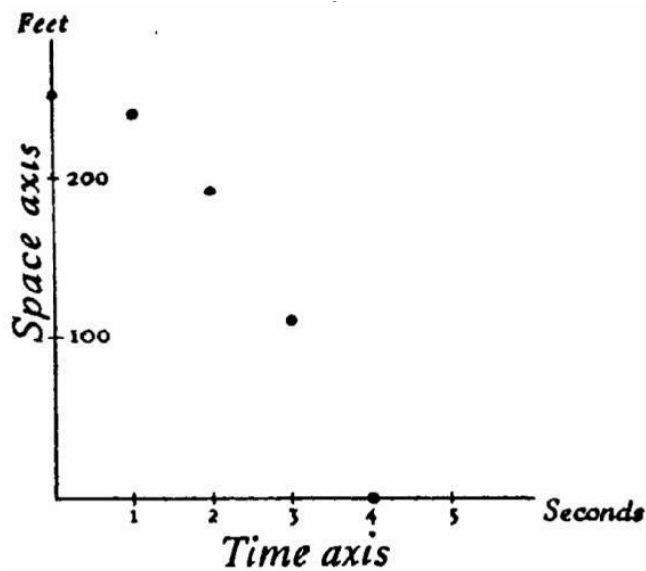
100 bộ	1 giây
 100 Ft.	 1 Sec.

1 giây

Sau đó, chúng ta vẽ hai đường vuông góc với nhau, một đường nằm ngang được gọi là trục thời gian và một đường thẳng đứng được gọi là trục không gian. Ngay tức khắc chúng ta sẽ nhận thấy “bảng thời gian” của chúng ta được trình bày bằng năm điểm trên mặt phẳng không gian – thời gian.

Khoảng cách từ mỗi điểm đến trục không gian tượng trưng cho tọa độ thời gian, như trong cột đầu tiên của bảng thời gian, và những khoảng cách từ mỗi điểm đến trục thời gian tượng trưng cho tọa độ không gian.

Bô



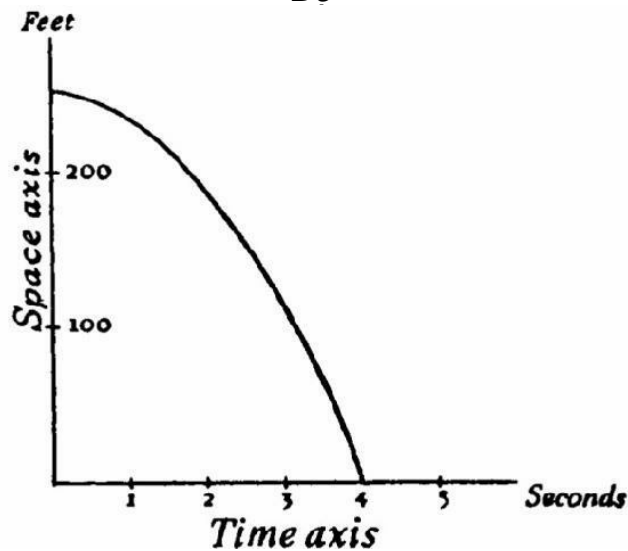
Giây

Trục thời gian

Cùng một vấn đề nhưng có thể được diễn đạt chính xác bằng hai phương pháp khác nhau: Bằng bảng thời gian và bằng những điểm trên mặt phẳng. Khi biết phương pháp này, ta có thể suy ra phương pháp kia. Sự chọn lựa giữa hai phương pháp này là tùy ý vì chúng thật sự có giá trị như nhau.

Chúng ta hãy tiến thêm một bước nữa. Hãy tưởng tượng có một bảng thời gian tốt hơn, biểu diễn không chỉ các vị trí cách nhau một giây mà có thể cách nhau một phần trăm hay một phần ngàn giây. Và chúng ta sẽ có rất nhiều điểm trên mặt phẳng không gian – thời gian. Cuối cùng, nếu xác định được vị trí cho mỗi thời điểm, hay theo cách nói của các nhà toán học, nếu trục không gian là một hàm số của thời gian thì chuỗi các điểm của chúng ta sẽ trở thành một đường liên tục. Do đó, hình vẽ kế tiếp của chúng ta sẽ biểu diễn không chỉ những phân đoạn như trước đây mà là một đường liên tục của toàn bộ chuyển động.

Bô



Giây

Trục thời gian

Chuyển động dọc theo một thước đo (cái tháp) cũng là chuyển động trong một không gian một chiều và được biểu diễn ở đây bằng một đường cong trong một miền liên tục không gian – thời gian hai chiều. Mỗi điểm trong miền liên tục không gian – thời gian này tương ứng với một cặp số, một số biểu thị tọa độ thời gian và một số biểu thị tọa độ không gian. Ngược lại, một điểm xác định trong mặt phẳng thời gian – không gian của chúng ta sẽ tương ứng với hai

con số đặc trưng cho một sự kiện. Hai điểm liền kề sẽ tương ứng với hai sự kiện xảy ra ở hai vị trí liền kề tại hai thời điểm hơi khác nhau.

Bạn có thể biện luận và chống lại cách trình bày của chúng tôi như sau: Việc biểu diễn một đơn vị thời gian bằng một phân đoạn, ghép thời gian theo cách thức cơ học với không gian, hình thành miền liên tục hai chiều từ hai miền liên tục một chiều thật không có nhiều ý nghĩa. Nhưng nếu thế thì bạn sẽ phải phản đối tất cả đồ thị biểu diễn, sự thay đổi nhiệt độ của thành phố New York trong mùa hè vừa qua, hay phải phản đối cách trình bày sự thay đổi chi phí sinh hoạt trong vài năm qua, bởi vì những trường hợp này được biểu diễn bởi cùng một phương pháp. Trong những đồ thị nhiệt độ, miền liên tục một chiều của nhiệt độ kết hợp với miền liên tục một chiều của thời gian để hình thành miền liên tục hai chiều nhiệt độ – thời gian.

Chúng ta hãy trở về việc hòn đá rơi từ ngọn tháp có độ cao 256 bộ. Việc diễn đạt chuyển động bằng đồ thị là một quy ước rất hữu ích vì nó cho ta biết rõ vị trí của viên đá vào bất kỳ thời điểm nào. Khi biết rõ viên đá chuyển động như thế nào, chúng ta có thể mô tả chuyển động của nó một cách sinh động hơn nữa. Chúng ta sẽ thực hiện công việc này bằng hai cách khác nhau.

Chúng ta nhớ lại hình ảnh của viên đá thay đổi vị trí của nó theo thời gian trong một không gian một chiều. Chuyển động ở đây là một chuỗi liên tiếp các sự kiện trong một miền liên tục không gian một chiều. Chúng ta không trộn lẫn thời gian và không gian vào nhau mà dùng một hình ảnh động, trong đó các vị trí *thay đổi* theo thời gian.

Nhưng chúng ta có thể mô tả chuyển động này theo một cách khác. Chúng ta có thể tạo một hình ảnh *tĩnh* bằng một đường trong một miền liên tục hai chiều thời gian – không gian. Bây giờ sự chuyển động được diễn đạt như là một *cái gì đó* tồn tại trong một miền liên tục hai chiều không – thời gian và không chỉ như một cái gì đó thay đổi trong một miền liên tục không gian một chiều.

Cả hai hình ảnh này hoàn toàn giống nhau và việc lựa chọn một trong hai phương pháp chỉ đơn thuần là quy ước và sở thích.

Tất cả những gì chúng ta nói về hai hình ảnh của chuyển động hoàn toàn không dính líu gì đến thuyết tương đối. Cả hai cách trình bày đều có giá trị như nhau, mặc dù vật lý cổ điển luôn thiên về việc dùng hình ảnh động để diễn tả chuyển động như là một chuỗi sự kiện trong không gian và không nhìn nhận sự chuyển động trong không – thời gian. Nhưng thuyết tương đối sẽ làm thay đổi cách nhìn này. Thuyết tương đối nghiêng về hình ảnh tĩnh vì lý thuyết này xem chuyển động như là một cái gì đó hiện hữu trong không gian – thời gian, một hình ảnh thuận tiện và thực tế hơn. Chúng ta vẫn phải tìm đáp án cho câu hỏi: Tại sao hai hình ảnh tĩnh và động này có cùng giá trị theo quan điểm của vật lý cổ điển, nhưng không cùng giá trị trong thuyết tương đối?

Nếu chúng ta lại chú ý đến hai HTTĐ chuyển động đều, tương đối với nhau thì đáp án sẽ trở nên rõ ràng.

Theo vật lý cổ điển, những người quan sát bên trong hai HTTĐ chuyển động đều, tương đối với nhau sẽ gán một sự kiện xảy ra cho những tọa độ không gian khác nhau nhưng có cùng tọa độ thời gian. Trong ví dụ của chúng ta, sự kiện viên đá chạm mặt đất được xác định trong HTTĐ của chúng ta bởi mốc thời gian “4 giây” và bởi tọa độ không gian “0 bộ.” Theo cơ học cổ điển, viên đá vẫn sẽ chạm mặt đất sau bốn giây đối với một người quan sát chuyển động đều, tương đối với HTTĐ đã chọn. Tuy nhiên, vào thời điểm viên đá chạm mặt đất, người quan sát này có một tọa độ không gian hoàn toàn khác vì anh ta phải quy khoảng cách theo HTTĐ của anh ta, dù rằng tọa độ thời gian cho biến cố này vẫn luôn không đổi đối với người quan sát này, hay tất cả những người quan sát khác đang chuyển động đều và tương đối với nhau. Trong vật lý cổ điển người ta chỉ biết có một thời gian “tuyệt đối”, trôi như nhau đối với tất cả những người quan sát. Đối với mỗi HTTĐ, miền liên tục hai chiều có thể được tách ra thành hai miền liên tục một chiều: Thời gian và không gian. Vì thời gian có tính “tuyệt đối” nên việc chuyển đổi từ hình ảnh “tĩnh” sang “động” của chuyển động có ý nghĩa khách quan đối với vật lý cổ điển.

Nhưng chúng ta đã biết, phép biến đổi cổ điển không thể ứng dụng cho tất cả các hiện tượng

vật lý. Từ quan điểm thực tiễn, phép biến đổi cổ điển vẫn có thể dùng được đối với vận tốc nhỏ, nhưng nó không thể giải quyết được các vấn đề cơ bản trong vật lý.

Theo thuyết tương đối, thời điểm chạm đất của viên đá đất sẽ không giống nhau đối với tất cả các người quan sát. Tọa độ thời gian và tọa độ không gian sẽ khác nhau biệt đối với hai HTTĐ khác nhau và khi vận tốc tương đối tiến gần đến vận tốc ánh sáng, các tọa độ thời gian sẽ có sự khác biệt rất lớn. Bây giờ miền liên tục hai chiều không thể được tách thành hai miền liên tục một chiều như trong vật lý cổ điển. Chúng ta hoàn toàn không thể khảo sát thời gian và không gian một cách độc lập trong việc xác định các tọa độ không gian – thời gian cho một HTTĐ khác với HTTĐ của mình. Từ quan điểm của thuyết tương đối, việc tách miền liên tục hai chiều thành hai miền liên tục một chiều là một việc làm tùy tiện và không có ý nghĩa khách quan.

Mọi việc trở nên rất đơn giản để khái quát hóa tất cả những điều vừa thảo luận cho những trường hợp chuyển động khác, không còn bị giới hạn là chuyển động thẳng. Chúng ta thật sự cần không chỉ hai con số mà đến bốn con số để mô tả các hiện tượng trong tự nhiên. Không gian thực, được thiết lập bởi các vật thể và chuyển động của chúng, là không gian ba chiều và vị trí của mỗi vật thể được xác định bằng ba con số. Thời điểm xảy ra sự kiện là con số thứ tư. Vì vậy, mỗi sự kiện xác định sẽ tương ứng với bốn con số, bốn con số xác định sẽ tương ứng với một sự kiện. Như vậy, thế giới của những sự kiện hình thành nên một *miền liên tục bốn chiều*. Vấn đề này không hề lạ lẫm và phát biểu trên có cùng giá trị cho vật lý cổ điển và cho thuyết tương đối. Nhưng khi hai HTTĐ chuyển động một cách tương đối với nhau, chúng ta lại có sự khác biệt. Khi một căn phòng đang chuyển động thì những người ngồi bên trong và bên ngoài căn phòng ấy phải tìm cách xác định các tọa độ không – thời gian của cùng những biến cố. Nhà vật lý cổ điển lại tách miền liên tục bốn chiều thành một không gian ba chiều và một miền liên tục thời gian một chiều. Nhà vật lý cổ điển chỉ quan tâm tới việc biến đổi không gian, còn thời gian đối với ông ta là tuyệt đối. Ông ta nhận thấy việc tách thế giới tạo bởi một liên tục bốn chiều thành không gian và thời gian là chuyện đương nhiên và thuận tiện. Nhưng theo quan điểm của thuyết tương đối, thời gian cũng như không gian phải thay đổi khi chuyển từ HTTĐ này sang HTTĐ khác, và phép biến đổi Lorentz luôn xét đến các tính chất của phép biến đổi miền liên tục bốn chiều không gian – thời gian đối với các sự kiện trong thế giới bốn chiều của chúng ta.

Thế giới của các sự kiện có thể diễn đạt theo cách thức “động” bằng một hình ảnh thay đổi theo thời gian và được “ném” vào một không gian ba chiều. Nhưng chúng cũng có thể được diễn đạt bằng một hình ảnh “tĩnh” được “ném” vào một liên tục bốn chiều không – thời gian. Theo tư duy của vật lý cổ điển, hai hình ảnh động và tĩnh là như nhau. Nhưng đối với thuyết tương đối, hình ảnh tĩnh có nhiều lợi điểm hơn và khách quan hơn.

Ngay cả trong thuyết tương đối, nếu cần thiết thì chúng ta vẫn có thể dùng hình ảnh động. Nhưng phải nhớ rằng việc phân tách thời gian và không gian không mang ý nghĩa khách quan vì thời gian không còn là “tuyệt đối” nữa. Trong những trang sau, chúng ta vẫn sẽ dùng cách diễn đạt “động” và không dùng cách diễn đạt “tĩnh”, tuy nhiên chúng ta cần để ý đến giới hạn của cách diễn đạt này.

THUYẾT TƯƠNG ĐỐI RỘNG

Vẫn có một điểm sót lại cần được làm sáng tỏ. Một trong những câu hỏi quan trọng nhất mà cho đến nay chưa giải quyết được: Hệ quán tính có tồn tại không? Chúng ta đã học được vài điều về các định luật tự nhiên, sự bất biến của chúng trong phép biến đổi Lorentz và hiệu lực của chúng trong mọi hệ quán tính chuyển động đều, tương đối với nhau. Chúng ta có những định luật nhưng không biết phải quy chiếu những định luật này vào hệ tọa độ nào.

Để có thể nhận thức rõ hơn khó khăn này, chúng ta hãy phỏng vấn nhà vật lý cổ điển và đặt ra vài câu hỏi đơn giản:

“Một hệ quán tính là gì?”

“Đó là một HTTĐ mà trong đó các định luật cơ học có hiệu lực. Một vật thể không chịu tác động của ngoại lực sẽ chuyển động đều trong một HTTĐ như thế. Tính chất này giúp chúng ta phân biệt một HTTĐ quán tính với các HTTĐ khác”

“Nhưng có ý nghĩa gì khi chúng ta nói không có lực nào đang tác động lên một vật thể?”

“Điều đó có ý nghĩa đơn giản là một vật thể chuyển động đều trong một HTTĐ quán tính.”

Đến đây chúng ta có thể đặt lại câu hỏi một lần nữa: “Một hệ quán tính là gì?” Vì có ít hy vọng để nhận được một câu trả lời khác, chúng ta cố gắng thay đổi câu hỏi để có được một vài giải thích cụ thể hơn:

“Có phải một HTTĐ gắn chặt với Trái Đất là một HTTĐ quán tính?”

“Không, do sự xoay tròn của Trái Đất nên những định luật cơ học không có hiệu lực tuyệt đối. Một HTTĐ gắn chặt với Mặt Trời có thể được coi như một HTTĐ quán tính cho nhiều vấn đề; tuy nhiên, khi chúng ta để ý đến sự xoay vòng của Mặt Trời thì một lần nữa chúng ta hiểu rằng một HTTĐ gắn chặt với Mặt Trời cũng không thể coi là một HTTĐ quán tính thật sự”

“Như thế hệ quán tính của ông cụ thể là hệ thống nào? Và chúng ta nên chọn trạng thái chuyển động của nó như thế nào?”

“Đơn thuần chỉ là một hư cấu hữu ích và tôi cũng không biết phải thực hiện nó như thế nào? Chỉ khi nào tôi ở cách xa tất cả các vật thể vật chất và hoàn toàn không chịu ảnh hưởng bởi ngoại lực, thì khi đó HTTĐ của tôi mới có thể là một HTTĐ quán tính.”

“Nhưng ý ông muốn nói gì về một HTTĐ hoàn toàn không bị ảnh hưởng bởi các ngoại lực?”

“Tôi muốn nói về một HTTĐ quán tính.”

Một lần nữa chúng ta lại quay trở lại câu hỏi đầu tiên.

Cuộc nói chuyện làm lộ rõ khó khăn nghiêm trọng trong vật lý cổ điển. Chúng ta có những định luật, nhưng không biết khung tọa độ nào dùng để quy chiếu và dường như toàn bộ lâu đài vật lý của chúng ta được xây dựng trên cát.

Chúng ta có thể tiếp cận với vấn đề hóc búa này từ một quan điểm khác. Hãy tưởng tượng rằng cả vũ trụ chỉ có duy nhất một vật thể và vật thể này cũng chính là HTTĐ của chúng ta. Vật thể này bắt đầu quay tròn. Theo cơ học cổ điển, các định luật vật lý cho một vật thể quay tròn khác với các định luật cho vật thể không quay tròn. Trong khi đó, nếu nguyên tắc quán tính có hiệu lực cho trường hợp này thì nó không thể có hiệu lực cho trường hợp kia. Nhưng điều này thực đáng ngờ. Liệu chúng ta có quyền xem xét sự chuyển động của một vật thể duy nhất trong cả vũ trụ hay không? Vì khi nói đến sự chuyển động của một vật thể thì chúng ta luôn hàm ý về sự thay đổi vị trí của vật thể này đối với một vật thể khác. Như thế, khi nói về sự chuyển động của một vật thể duy nhất là chúng ta đang mâu thuẫn với nhận định thông thường của con người. Cơ học cổ điển và tri giác thông thường của con người có sự bất đồng gay gắt ở điểm này. Theo Newton: Nguyên tắc quán tính có hiệu lực ở HTTĐ nào thì HTTĐ đó hoặc đang đứng yên hoặc đang chuyển động đều. Nếu nguyên tắc quán tính không còn hiệu lực thì vật thể sẽ chuyển động không đều. Như vậy, việc nhận định một vật thể chuyển động hay đứng yên là phụ thuộc vào việc tất cả các định luật vật lý có hiệu lực đối với HTTĐ gắn chặt vào vật thể này hay

không?

Hãy lấy thí dụ hai vật thể: Mặt Trời và Trái Đất. Chúng ta lại quan sát được một chuyển động *tương đối*. Chuyển động này có thể được diễn đạt bằng cách gắn chặt HTTĐ của chúng ta với Mặt Trời hay với Trái Đất. Thành tựu to lớn của Copernicus là ông đã chuyển đổi HTTĐ từ Trái Đất lên Mặt Trời. Tuy nhiên, vì chuyển động là tương đối và người ta có thể sử dụng bất kỳ khung tọa độ nào, nên không có lý do gì phải chọn hệ này mà không chọn hệ khác.

Một lần nữa vật lý học lại can thiệp và làm thay đổi quan niệm thông thường của chúng ta. HTTĐ gắn liền với Mặt Trời giống một hệ thống quán tính hơn là HTTĐ gắn với Trái Đất. Do vậy các định luật vật lý nên dựa vào HTTĐ của Copernicus hơn là dựa vào HTTĐ của Ptolemy. [24] Chỉ từ quan điểm vật lý mới đánh giá đúng mức được sự vĩ đại về khám phá của Copernicus. Người ta có rất nhiều thuận lợi khi dùng một HTTĐ gắn chặt vào Mặt Trời để mô tả chuyển động của các hành tinh.

Trong vật lý cổ điển, chúng ta không có chuyển động đều tuyệt đối. Khi hai HTTĐ đang chuyển động đều, tương đối với nhau, thật hoàn toàn vô nghĩa khi chúng ta nói: HTTĐ này đang đứng yên và HTTĐ kia đang chuyển động. Tuy nhiên nếu hai HTTĐ chuyển động không đều, tương đối với nhau, thì thật hợp lý khi nói rằng: Vật thể này chuyển động và vật thể kia đứng yên (hay chuyển động đều). Chuyển động tuyệt đối ở đây có ý nghĩa thật xác định. Điểm này thật sự là một vực thẳm ngăn cách giữa ý nghĩa thông thường và vật lý cổ điển. Những khó khăn trên cho ta thấy được sự liên kết chặt chẽ giữa hệ quán tính và chuyển động tuyệt đối. Chuyển động tuyệt đối chỉ có thể tồn tại bởi ý tưởng về một hệ quán tính mà trong đó các định luật tự nhiên đều có hiệu lực.

Dường như không có lối thoát cho những khó khăn này, dường như không có lý thuyết vật lý nào có thể lẩn tránh được chúng. Trọng tâm của vấn đề chính là việc các định luật tự nhiên chỉ có hiệu lực cho một loại HTTĐ đặc biệt, đó là HTTĐ quán tính. Khả năng giải quyết các khó khăn này tùy thuộc vào lời giải đáp cho câu hỏi sau đây. Liệu chúng ta có thể thành lập được các định luật vật lý có hiệu lực cho mọi HTTĐ, không chỉ riêng cho HTTĐ chuyển động đều mà còn cho các HTTĐ có thể chuyển động bất kỳ, tương đối với nhau? Nếu thực hiện được điều này, chúng ta sẽ vượt qua tất cả các khó khăn. Và như thế, chúng ta sẽ có thể ứng dụng các định luật tự nhiên vào bất kỳ HTTĐ nào. Sự tranh cãi vô cùng gay gắt vào thuở ban đầu của khoa học, giữa quan điểm Ptolemy và quan điểm Copernicus, sẽ vì thế mà trở nên hoàn toàn vô nghĩa. Người ta có thể dùng bất kỳ HTTĐ nào, chúng đều đúng như nhau. Cả hai câu “Mặt Trời xoay quanh Trái Đất đang đứng yên” hay “Trái Đất xoay quanh, Mặt Trời đang đứng yên” đều chỉ có ý nghĩa đơn giản là hai quy ước khác nhau cho hai HTTĐ khác nhau.

Liệu chúng ta có thể thật sự xây dựng một lý thuyết vật lý tương đối có hiệu lực cho mọi HTTĐ, một lý thuyết vật lý mà trong đó không tồn tại chuyển động tuyệt đối mà chỉ có chuyển động tương đối? Việc này quả thực có thể!

Tối thiểu chúng ta cũng có một điểm tựa, dù rất mong manh, để tìm cách xây dựng một lý thuyết vật lý mới. Một lý thuyết vật lý tương đối thật sự phải được ứng dụng cho tất cả HTTĐ và dĩ nhiên cho cả trường hợp đặc biệt của HTTĐ quán tính. Chúng ta đã biết các định luật cho HTTĐ quán tính này. Các định luật tổng quát mới nếu có hiệu lực cho các HTTĐ thì trong trường hợp đặc biệt của HTTĐ quán tính, thì chúng phải được quy về các định luật cũ đã biết.

Việc thiết lập các định luật vật lý cho mọi HTTĐ đã được giải đáp bằng một lý thuyết được gọi là *thuyết tương đối rộng* (*general relativity theory*). Lý thuyết trước đây, chỉ ứng dụng trong các hệ quán tính, được gọi là *thuyết tương đối hẹp* (*special relativity theory*). Dĩ nhiên hai lý thuyết không thể mâu thuẫn với nhau bởi vì các định luật cũ trong thuyết tương đối hẹp phải được bao hàm trong định luật tổng quát cho một hệ quán tính. Tất cả các định luật trước đây đều được thiết lập cho duy nhất các HTTĐ quán tính, giờ đây sẽ trở thành một trường hợp giới hạn đặc biệt vì các định luật mới có hiệu lực cho tất cả các HTTĐ có chuyển động bất kỳ, tương đối với nhau.

Như thế chúng ta đã có một kế hoạch cho thuyết tương đối rộng. Nhưng khi phác thảo con đường để thực hiện kế hoạch này, chúng ta sẽ còn cảm thấy mơ hồ hơn tất cả những gì chúng ta đã trải qua. Những khó khăn nảy sinh trong quá trình phát triển của khoa học sẽ khiến cho

lý thuyết của chúng ta ngày càng trở nên trừu tượng hơn. Những cuộc phiêu lưu bất ngờ vẫn luôn chờ đón chúng ta. Nhưng mục đích cuối cùng của chúng ta là có cái nhìn rõ ràng hơn về hiện thực. Những mắt xích sẽ dần được thêm vào chuỗi logic nối liền lý thuyết và sự quan sát. Để dọn sạch các giả định không cần thiết, có tính giả tạo trên con đường từ lý thuyết đến thực nghiệm và để quy kết một phạm vi rộng lớn các quy luật, chúng ta cần phải ngày càng mở rộng chuỗi mắt xích này. Nếu những giả định của chúng ta càng đơn giản hơn, càng cơ bản hơn thì các công cụ toán học dùng để biện luận và chứng minh sẽ càng trở nên phức tạp hơn và con đường dẫn từ lý thuyết đến quan sát sẽ càng dài hơn, tinh tế hơn và phức tạp hơn. Mặc dù có vẻ nghịch lý nhưng chúng ta vẫn có thể nói: Vật lý hiện đại đơn giản hơn vật lý cổ điển và do vậy, nó dường như khó khăn và phức tạp hơn. Nếu chúng ta nhận định về thế giới tự nhiên càng đơn giản hơn, càng bao quát nhiều quy luật hơn, thì sự hài hòa của vũ trụ càng phản ánh mạnh mẽ hơn vào tâm trí chúng ta.

Ý tưởng mới của chúng ta thật sự rất đơn giản: Xây dựng một vật lý học có hiệu lực cho mọi HTTĐ. Việc hoàn thành ý tưởng này sẽ đòi hỏi nhiều sự phức tạp về mặt hình thức và ép buộc chúng ta phải dùng những công cụ toán học khác hẳn với những gì đã được dùng đến trong vật lý. Ở đây chúng ta chỉ sẽ trình bày mối liên hệ giữa việc thực hiện kế hoạch này và hai vấn đề chính: Hiện tượng hấp dẫn và hình học.

BÊN NGOÀI VÀ BÊN TRONG THANG MÁY

Định luật quán tính đánh dấu bước tiến vĩ đại đầu tiên của vật lý học, hay đúng hơn là đánh dấu sự ra đời thật sự của vật lý học. Định luật quán tính là kết quả bắt nguồn từ những suy nghĩ sâu sắc về một thí nghiệm lý tưởng: Vật thể sẽ chuyển động mãi mãi nếu không bị tác động của lực ma sát hay bất kỳ ngoại lực khác. Từ thí dụ này và các thí dụ khác nữa, chúng ta thấy tầm quan trọng của thí nghiệm lý tưởng được sáng tạo từ suy nghĩ của con người. Một lần nữa, chúng ta sẽ thảo luận về những thí nghiệm lý tưởng. Mặc dù điều này có vẻ kỳ lạ, không tưởng, nhưng nó sẽ giúp chúng ta càng lúc càng hiểu rõ hơn về thuyết tương đối qua những thực nghiệm đơn giản.

Trước đây, chúng ta thảo luận về những thí nghiệm lý tưởng cho một căn phòng chuyển động đều. Bây giờ chúng ta sẽ thay đổi một chút và sẽ nói về một buồng thang máy đang rơi.

Hãy tưởng tượng một buồng thang máy được treo trên đỉnh của một tòa nhà chọc trời, cao hơn bất kỳ tòa nhà nào khác. Bất ngờ dây treo bị đứt và thang máy rơi tự do xuống đất. Những người quan sát bên trong thang máy thực hiện các thí nghiệm khi thang máy đang rơi. Ta không cần phải chú ý tới lực ma sát và lực cản của không khí vì đây là một thí nghiệm lý tưởng. Một trong những người quan sát lấy một chiếc khăn tay, một chiếc đồng hồ và thả chúng ra. Điều gì xảy ra với hai vật này? Đối với người quan sát ở bên ngoài đang nhìn vào cửa sổ buồng thang máy thì cả khăn tay lẫn đồng hồ đều rơi xuống đất theo một cách thức hoàn toàn giống nhau và với cùng một gia tốc. Chúng ta hãy nhớ rằng gia tốc của một vật thể đang rơi hầu như không phụ thuộc vào khối lượng của nó, và chính điều này đã khám phá ra sự đồng nhất giữa khối lượng hấp dẫn và khối lượng quán tính (Xem chương “Manh mối còn sót lại”). Chúng ta hãy nhớ rằng sự tương đồng của khối lượng hấp dẫn và khối lượng quán tính theo quan điểm của cơ học cổ điển là hoàn toàn ngẫu nhiên và không đóng bất kỳ vai trò nào trong cơ học cổ điển. Tuy nhiên, sự tương đồng trong trường hợp này, được phản ánh qua sự đồng nhất về gia tốc của mọi vật rơi, lại là yếu tố cơ bản để thiết lập toàn bộ lập luận của chúng ta.

Chúng ta hãy trở lại với chiếc khăn tay và đồng hồ đang rơi. Đối với người quan sát bên ngoài thang máy, cả hai vật này rơi với cùng một gia tốc. Điều tương tự cũng xảy ra đối với các vách, trần, sàn, và toàn bộ buồng thang máy. Chính vì thế: Khoảng cách giữa hai vật thể này và sàn thang máy là không đổi. Đối với người quan sát bên trong thang máy, hai vật thể sẽ đứng yên tại vị trí mà chúng được thả ra. Người bên trong thang máy có thể không cần quan tâm đến trường hấp dẫn, bởi vì nguồn của trường này lại nằm bên ngoài HTTĐ của ông ta. Ông ta nhận thấy không có bất kỳ lực nào tác động lên hai vật thể này cho nên chúng đang đứng yên như khi đang ở bên trong một HTTĐ quán tính. Những việc lạ lùng xảy ra bên trong thang máy! Nếu tại thời điểm này người quan sát đẩy một vật thể về bất cứ hướng nào, ví dụ về phía trên hay phía dưới, vật thể này sẽ luôn chuyển động đều cho đến khi nào nó va vào trần hay sàn thang máy. Nói một cách ngắn gọn, các định luật cơ học cổ điển có hiệu lực đối với người ngồi bên trong thang máy. Tất cả các vật thể ứng xử theo đúng dự đoán của định luật quán tính. HTTĐ mới của chúng ta, gắn chặt vào thang máy đang rơi, chỉ có một điểm khác biệt duy nhất so với HTTĐ quán tính: Trong một HTTĐ quán tính, một vật thể đang chuyển động, nếu không chịu ảnh hưởng của ngoại lực thì nó sẽ chuyển động đều vĩnh viễn. Trong vật lý cổ điển, HTTĐ quán tính không bị hạn chế về thời gian cũng như không gian. Tuy nhiên, trường hợp người quan sát bên trong thang máy thì khác biệt. Tính chất quán tính của HTTĐ của anh ta bị giới hạn trong không gian và thời gian. Sớm muộn gì thì các vật thể chuyển động cũng va chạm vào vách thang máy và phá hủy chuyển động đều. Sớm muộn gì thì thang máy cũng chạm đất, người quan sát và các thí nghiệm của ông ta đều bị phá hủy. HTTĐ này chỉ là một “phiên bản bỏ túi” của một HTTĐ quán tính thật sự.

Tính chất *cục bộ* của HTTĐ là điều kiện tiên quyết cần thiết. Nếu thang máy tưởng tượng của chúng ta có kích thước kéo dài từ bắc cực đến xích đạo, chiếc khăn tay rơi từ bắc cực và chiếc đồng hồ rơi từ xích đạo, thì đối với người quan sát bên ngoài thang máy, cả hai vật sẽ có gia tốc khác nhau; chúng không đứng yên tương đối với nhau. Mọi lập luận của chúng ta là hoàn

toàn sai lầm. Do đó, kích thước của thang máy phải được giới hạn sao cho đối với người quan sát bên ngoài, tất cả các vật thể đều có cùng gia tốc so với bên ngoài.

Với giới hạn như thế, HTTĐ của người quan sát bên trong thang máy là một hệ quán tính. Chúng ta ít nhất cũng có thể hình dung ra một HTTĐ tuân theo tất cả định luật vật lý, dù cho hệ thống này bị giới hạn về thời gian và không gian. Nếu chúng ta tưởng tượng một HTTĐ khác, ví dụ như một buồng thang máy khác đang di chuyển đều, tương đối với một buồng thang máy đang rơi tự do thì cả hai HTTĐ này là hai HTTĐ quán tính cục bộ. Mọi định luật đều hoàn toàn giống nhau trong cả hai HTTĐ này. Mọi chuyển đổi từ hệ thống này sang hệ thống kia được thực hiện bởi phép biến đổi Lorentz.

Chúng ta hãy xem thử người quan sát bên ngoài và bên trong thang máy mô tả những gì xảy ra trong thang máy như thế nào.

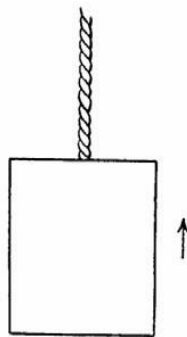
Người quan sát bên ngoài ghi nhận rằng chuyển động của buồng thang máy và mọi vật thể bên trong nó đều tuân theo định luật hấp dẫn của Newton. Đối với ông ta, đây không phải là chuyển động đều mà là chuyển động tăng tốc do sức hút của trường hấp dẫn (trọng lực) của Trái Đất.

Tuy nhiên, một thế hệ các nhà vật lý được sinh ra và lớn lên trong thang máy sẽ suy luận theo một cách khác. Những người này tin rằng họ sống trong một hệ quán tính và sẽ quy tất cả các định luật tự nhiên cho thang máy của họ và có quyền nói rằng các định luật này có một hình thức đặc biệt đơn giản trong HTTĐ của họ. Đối với họ, thật hiển nhiên để kết luận rằng buồng thang máy đang đứng yên và HTTĐ của họ là một HTTĐ quán tính.

Chúng ta không thể giải quyết sự bất đồng giữa người quan sát bên trong và bên ngoài thang máy. Mỗi người đều có quyền đòi hỏi tất cả các hiện tượng phải được quy chiếu theo HTTĐ của mình và sự mô tả của cả hai người về các sự kiện này đều hợp lý.

Thí dụ này cho ta nhận thức rằng một hiện tượng vật lý có thể được quy về hai HTTĐ khác nhau một cách hợp lý, cho dù hai HTTĐ không chuyển động đều, tương đối với nhau. Nhưng chúng ta cũng phải cần xét đến vai trò của lực hấp dẫn trong việc xây nên một “cây cầu” chuyển đổi từ HTTĐ này sang HTTĐ khác. Trường hấp dẫn chỉ tồn tại đối với người quan sát bên ngoài nhưng không tồn tại đối với người bên trong thang máy. Chuyển động tăng tốc của thang máy trong trường hấp dẫn tồn tại đối với người quan sát bên ngoài, còn đối với người quan sát bên trong thang máy là sự đứng yên và sự vắng mặt của trường hấp dẫn. Để có thể giúp chúng ta diễn đạt các sự kiện của cả hai HTTĐ, “cái cầu” hay trường hấp dẫn dựa trên một trụ cột rất quan trọng: Sự tương đồng giữa khối lượng hấp dẫn và khối lượng quán tính. Dù không được chú ý trong cơ học cổ điển nhưng nếu không có nhận thức này thì lập luận của chúng ta sẽ hoàn toàn sụp đổ.

Bây giờ chúng ta dùng một thí nghiệm lý tưởng khác để làm sáng tỏ vấn đề. Giả định rằng có một HTTĐ quán tính và định luật quán tính có hiệu lực bên trong hệ này. Chúng ta cũng vừa mô tả những gì xảy ra bên trong thang máy, được xem là một HTTĐ quán tính. Bây giờ chúng ta thay đổi một chút. Người quan sát bên ngoài cột một sợi dây vào buồng thang máy và kéo lên với một lực không đổi theo hướng mũi tên như trong hình vẽ. Chúng ta không quan tâm đến việc điều này được thực hiện như thế nào.



Vì các định luật cơ học đều có hiệu lực trong HTTĐ này, nên toàn bộ buồng thang máy chuyển động với một gia tốc không đổi theo hướng chuyển động. Một lần nữa chúng ta hãy nghe cả hai người quan sát bên ngoài và bên trong thang máy giải thích các hiện tượng xảy ra

bên trong thang máy.

Người quan sát bên ngoài: HTTĐ của tôi là một HTTĐ quán tính. Buồng thang máy chuyển động với một gia tốc không đổi dưới tác động của một lực không đổi. Những người bên trong thang máy đang ở trong một chuyển động tuyệt đối, đối với họ, các định luật cơ học không còn hiệu lực. Họ không thể nhận thấy rằng các vật thể sẽ đứng yên khi không chịu tác động của ngoại lực. Nếu một vật được thả rơi tự do, nó sẽ nhanh chóng chạm vào mặt sàn thang máy bởi vì thang máy chuyển động đi lên và tiến gần đến vật này. Điều này cũng xảy ra theo cùng một cách thức đối với chiếc khăn tay và cái đồng hồ. Đối với tôi, dường như thật là lạ lùng khi người quan sát bên trong thang máy luôn bị gắn chặt trên sàn thang máy, bởi vì mỗi khi ông ta nhảy lên khỏi mặt sàn, thang máy lại sẽ bắt kịp ông ta.

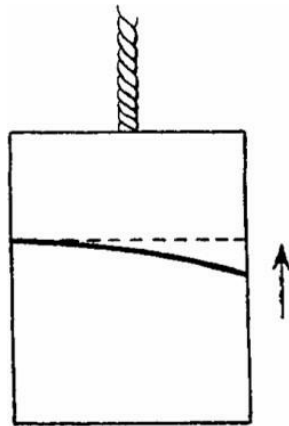
Người quan sát bên trong: Tôi không tìm được lý do nào để tin rằng thang máy của tôi đang ở trong trạng thái chuyển động tuyệt đối. Tôi đồng ý rằng HTTĐ của tôi, được gắn chặt vào thang máy, không thật sự là một HTTĐ quán tính, nhưng tôi không tin rằng nó có liên quan đến chuyển động tuyệt đối. Đồng hồ, khăn tay và mọi vật đó đều rơi xuống vì toàn bộ thang máy của tôi ở trong trường hấp dẫn. Tôi nhận thấy các chuyển động này tương tự với các chuyển động của con người trên Trái Đất. Anh ta sẽ giải thích đơn giản rằng các chuyển động này là do sự tác động của trường hấp dẫn Trái Đất, đối với tôi cũng thế.

Hai sự mô tả, một của người bên ngoài và một của người bên trong thang máy, là hoàn toàn hợp lý cho nên ta không thể quyết định được sự mô tả nào là đúng nhất. Chúng ta có thể dùng bất cứ mô tả nào để diễn đạt các hiện tượng bên trong thang máy: Hoặc là chuyển động không đều và sự vắng mặt của trường hấp dẫn đối với người quan sát bên ngoài, hoặc là đứng yên và sự hiện diện của một trường hấp dẫn đối với người bên trong thang máy.

Người quan sát bên ngoài có thể thừa nhận rằng thang máy trong trạng thái chuyển động không đều tuyệt đối. Nhưng khi trọng trường không còn là tác nhân gây nên chuyển động thì chuyển động này không thể được coi là một chuyển động tuyệt đối.

Chúng ta cũng có thể tìm được một lối thoát cho sự mơ hồ của hai cách mô tả này và có thể quyết định sẽ nghiêng về lời giải thích nào. Chúng ta hãy tưởng tượng có một tia sáng chiếu vào thang máy qua cửa sổ theo hướng nằm ngang và đến một vách thang máy đối diện cửa sổ này sau một thời gian rất ngắn. Một lần nữa hãy thử xem hai người quan sát sẽ dự đoán đường đi của tia sáng như thế nào.

Người quan sát bên ngoài: Anh ta tin tưởng với chuyển động tăng tốc của thang máy và lập luận như sau: Tia sáng đi vào cửa sổ thang máy di chuyển nằm ngang, theo một đường thẳng với một vận tốc không đổi, rồi đến bức tường đối diện. Tuy nhiên, do thang máy chuyển động hướng lên nên trong thời gian tia sáng di chuyển từ cửa sổ đến vách tường đối diện, thang máy đã thay đổi vị trí của chính nó. Do vậy, tia sáng sẽ chạm đến một điểm không hoàn toàn chính xác là điểm đối diện với điểm mà tia sáng đi vào, và điểm này hơi dịch về phía dưới một ít. Dù sự khác biệt này rất nhỏ nhưng nó vẫn tồn tại. Do đó, tia sáng lan truyền, tương đối với thang máy, không theo một đường thẳng mà theo một đường hơi cong. Sự khác biệt này phụ thuộc vào quãng đường dịch chuyển của thang máy trong thời gian cần thiết để ánh sáng xuyên qua buồng thang máy.



Người quan sát bên trong: Vì tin tưởng rằng trường hấp dẫn tác động lên mọi vật bên trong

thang máy nên anh ta sẽ phát biểu: Không có chuyển động tăng tốc đối với thang máy, chỉ có sự tác động của trường hấp dẫn. Tia sáng không có khối lượng nên trường hấp dẫn không ảnh hưởng đến nó. Nếu tia sáng được phóng đi theo một đường thẳng nằm ngang, nó sẽ đến bức tường đối diện tại một điểm đối diện một cách chính xác với điểm mà nó đi vào thang máy.

Cuộc thảo luận trên đã giúp ta tìm ra một khả năng để chọn một trong hai quan điểm đối nghịch. Cùng một hiện tượng được hai người quan sát diễn giải khác nhau. Nếu chúng ta không tìm được điểm bất hợp lý của một trong hai diễn giải trên, chúng ta phải từ bỏ tất cả các lập luận trước đây và chúng ta không thể diễn đạt tất cả hiện tượng theo hai quan điểm hợp lý: Có và không có trường hấp dẫn.

Nhưng may mắn thay, suy luận của người quan sát bên trong thang máy đã vấp phải một lỗi rất nặng và như thế, lập luận trên của chúng ta vẫn được giữ nguyên. Anh ta đã nói: “Tia sáng không có khối lượng nên trường hấp dẫn không ảnh hưởng đến nó.” Điều này không đúng! Một tia sáng mang theo năng lượng và bản thân năng lượng lại là khối lượng. Vì khối lượng quán tính tương đồng với khối lượng hấp dẫn nên mọi khối lượng quán tính đều bị hút bởi trường hấp dẫn. Một tia sáng bị bẻ cong bởi trường hấp dẫn, hoàn toàn tương tự với chuyển động của một vật thể khi ném đi theo đường nằm ngang với vận tốc ánh sáng. Nếu người quan sát bên trong thang máy lập luận đúng và chú ý đến độ lệch của tia sáng dưới tác dụng của trường hấp dẫn thì kết quả tiên đoán của anh ta cũng giống như người quan sát từ bên ngoài.

Trường hấp dẫn của Trái Đất dĩ nhiên là quá yếu để chúng ta có thể chứng minh độ lệch của tia sáng bằng những thí nghiệm trực tiếp. Tuy nhiên, những thí nghiệm rất nổi tiếng được thực hiện trong thời điểm nhật thực đã chứng minh, một cách rất thuyết phục dù chỉ là gián tiếp, ảnh hưởng của trường hấp dẫn đối với đường đi của tia sáng.

Những thí nghiệm này đem đến một hy vọng mới để thiết lập vật lý học theo thuyết tương đối. Nhưng để thực hiện được mục đích này, việc đầu tiên mà chúng ta cần làm là phải giải quyết một cách triệt để câu hỏi về hiện tượng hấp dẫn.

Từ thí dụ về thang máy, chúng ta đã thấy được tính thuyết phục của cả hai cách mô tả. Chúng ta có thể cần nhưng cũng có thể không cần phải đưa ra giả định về chuyển động không đều. Chúng ta có thể loại bỏ chuyển động “tuyệt đối” trong những thí dụ trên khi sử dụng trường hấp dẫn. Nhưng như thế thì chuyển động không đều sẽ không còn gì là tuyệt đối nữa và trường hấp dẫn có thể loại bỏ hoàn toàn điều này.

Chúng ta có thể loại bỏ những bóng ma về chuyển động tuyệt đối và về HTTĐ quán tính trong vật lý để xây dựng một ngành vật lý mới theo thuyết tương đối. Những thí nghiệm lý tưởng cho ta thấy những liên hệ chặt chẽ giữa thuyết tương đối rộng và hiện tượng hấp dẫn và tại sao sự tương đương giữa khối lượng quán tính và khối lượng hấp dẫn lại là yếu tố cơ bản trong mối liên hệ này. Điều rõ ràng là đáp án cho sự hấp dẫn được đưa ra bởi thuyết tương đối rộng sẽ phải khác với lý thuyết của Newton. Tương tự như các định luật tự nhiên khác, các định luật hấp dẫn phải được thành lập và có giá trị cho càng nhiều HTTĐ càng tốt, trong khi đó, các định luật của cơ học cổ điển được Newton thành lập chỉ có giá trị cho HTTĐ quán tính.

HÌNH HỌC VÀ THÍ NGHIỆM

Thí dụ sắp tới của chúng ta còn kì lạ hơn cả thí dụ với buồng thang máy đang rơi. Chúng ta phải tiếp cận một vấn đề mới: Sự liên hệ giữa thuyết tương đối rộng và hình học. Chúng ta hãy bắt đầu mô tả một thế giới chỉ có hai chiều, khác với thế giới của chúng ta, nơi sinh sống của các sinh vật “ba chiều.” Ngành điện ảnh đã làm chúng ta quen thuộc với những sinh vật hai chiều chuyển động trên một màn ảnh hai chiều. Bây giờ chúng ta hãy tưởng tượng rằng các hình bóng này, đó là các diễn viên trên màn ảnh, thật sự tồn tại, có khả năng suy luận, có thể xây dựng một nền khoa học riêng và đối với chúng, màn ảnh hai chiều sẽ chính là không gian hình học. Các sinh vật này không có khả năng tưởng tượng một cách cụ thể sự tồn tại của một không gian ba chiều, cũng như chúng ta không thể tưởng tượng được một thế giới bốn chiều. Các sinh vật này có thể làm lệch một đường thẳng, biết một vòng tròn là gì nhưng không thể kiến tạo một quả cầu, vì điều này có nghĩa là các sinh vật này phải từ bỏ màn ảnh hai chiều của chúng. Chúng ta cũng ở trong một tình thế như vậy. Chúng ta có thể làm lệch các đường thẳng và uốn cong một mặt phẳng, nhưng chúng ta không thể hình dung được một không gian ba chiều bị làm lệch hay bị uốn cong.

Khi các hình bóng thật sự sống, suy nghĩ và làm thí nghiệm, chúng cuối cùng cũng có thể sử dụng thành thạo các kiến thức hình học Euclid trong không gian hai chiều. Thí dụ như chúng có thể chứng minh tổng các góc của một tam giác là 180 độ. Chúng có thể xây dựng hai vòng tròn đồng tâm, một cái rất nhỏ và cái còn lại lớn hơn. Chúng có thể tìm thấy tỷ lệ chu vi hai vòng tròn bằng với tỷ lệ bán kính, một kết quả đặc trưng của hình học Euclid. Nếu màn ảnh trở nên rộng lớn vô tận, các hình bóng có thể nhận thấy rằng một khi chúng bắt đầu cuộc hành trình thẳng tới phía trước, chúng có thể sẽ không bao giờ quay trở lại được điểm khởi hành.

Bây giờ chúng ta hãy tưởng tượng các sinh vật hai chiều này sống trong những điều kiện mới. Hãy tưởng tượng một người từ bên ngoài, từ không gian “ba chiều”, dời chúng từ màn ảnh sang bề mặt của một quả cầu có bán kính vô cùng lớn. Nếu các bóng hình này vô cùng nhỏ so với toàn bộ bề mặt quả cầu, nếu chúng không có phương tiện giao thông liên lạc và cũng không thể di chuyển thật xa, thì chúng không thể cảm nhận được sự thay đổi này. Tổng số góc của một tam giác vẫn là 180 độ. Hai vòng tròn nhỏ đồng tâm vẫn cho thấy tỷ lệ bán kính bằng với tỷ lệ chu vi. Một cuộc du hành dọc theo đường thẳng không bao giờ đưa chúng trở lại điểm xuất phát.

Nhưng hãy để cho các sinh vật này có thời gian để phát triển kiến thức lý thuyết và kỹ thuật. Chúng ta giả định rằng chúng tìm ra phương tiện giao thông liên lạc để có thể nhanh chóng vượt qua những khoảng cách xa xôi. Chúng sẽ nhận thấy rằng khi du hành thẳng tới phía trước thì cuối cùng chúng cũng quay lại điểm khởi hành. “Thẳng tới phía trước” có ý nghĩa là đi dọc theo một vòng tròn rất lớn của quả cầu. Chúng sẽ thấy rằng tỷ lệ chu vi của hai vòng tròn đồng tâm sẽ khác với tỷ lệ bán kính của chúng, nếu một bán kính rất nhỏ và một bán kính rất lớn.

Nếu các sinh vật hai chiều của chúng ta bảo thủ, nếu chúng đã học phương pháp hình học Euclid từ nhiều thế hệ từ lúc mà chúng không thể du hành xa được và các hiện tượng quan sát đều phù hợp với hình học Euclid, chắc chắn các sinh vật này sẽ cố gắng với mọi khả năng để giữ nguyên cách suy nghĩ như trước, bất chấp những bằng chứng từ các kết quả đo đạc. Chúng sẽ đưa ra những nguyên nhân vật lý để bào chữa cho những sự không nhất quán này, ví dụ như sự khác biệt về nhiệt độ làm biến dạng các đường thẳng và gây ra sự sai lệch đối với hình học Euclid. Nhưng sớm hay muộn thì chúng cũng tìm ra được một cách thức logic hơn, thuyết phục hơn để mô tả các sự cố này. Rồi cuối cùng chúng cũng hiểu rằng thế giới của chúng là một thế giới có giới hạn với những nguyên tắc hình học, khác với những gì mà chúng đã học hỏi. Chúng sẽ hiểu rằng thế giới của chúng là bề mặt hai chiều của một hình cầu dù rằng chúng không có khả năng tưởng tượng một hình cầu là như thế nào. Chúng sẽ tiếp thu nhanh chóng các nguyên tắc mới của hình học khác biệt với hình học Euclid. Tuy nhiên, loại hình học mới này vẫn được thiết lập theo cách thức logic và nhất quán với thế giới hai chiều của chúng. Đối với thế hệ mới được tiếp thu kiến thức hình học về hình cầu, hình học Euclid dường như phức tạp và giả tạo vì

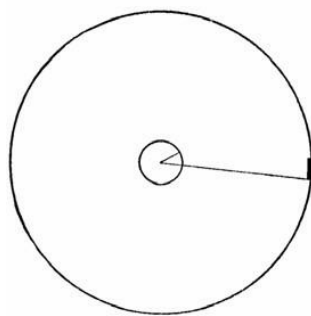
nó không phù hợp với những sự kiện được quan sát.

Chúng ta hãy trở lại với những sinh vật ba chiều của thế giới chúng ta.

Khi nói rằng không gian ba chiều của chúng ta có đặc tính Euclid, điều này có ý nghĩa gì? Không gì khác hơn là tất cả các diễn đạt bằng công thức của hình học Euclid đã được chứng minh một cách logic đều có thể được xác minh bằng những thí nghiệm thực tế. Chúng ta có thể kiến tạo những vật thể tương ứng với những vật thể lý tưởng trong hình học Euclid bằng những vật cứng hay các tia sáng. Cạnh của một cây thước hay một tia sáng tương ứng với một đường thẳng, tổng các góc của một tam giác được làm từ các thanh cứng và mỏng là 180° , tỷ lệ giữa hai bán kính của hai vòng tròn đồng tâm được tạo thành từ những sợi dây mỏng bằng với tỷ lệ chu vi của chúng. Khi trình bày theo cách này, hình học Euclid là một chương của vật lý học, nhưng chỉ là một chương rất đơn giản.

Nhưng chúng ta có thể hình dung được rằng có những điểm không thống nhất đã được tìm thấy, thí dụ như tổng các góc của một tam giác lớn được kiến tạo từ những thanh mà vì nhiều lý do đã được coi như cứng rắn, không còn là 180° nữa. Do chúng ta đã chấp nhận ý tưởng cho sự diễn đạt cụ thể về các vật thể trong hình học Euclid bằng những vật rắn, có lẽ chúng ta phải tìm một vài lực vật lý để lý giải những kết quả bất ngờ này. Chúng ta sẽ cố gắng tìm ra bản chất vật lý của các lực này và ảnh hưởng của nó lên các hiện tượng khác. Để có thể cứu vãn hình học Euclid, chúng ta nên quy lỗi cho các vật thể không thật sự rắn chắc và không hoàn toàn tương thích với các khái niệm của hình học Euclid. Chúng ta có lẽ nên cố gắng tìm kiếm một phương pháp tốt hơn để biểu diễn vật thể nhằm đáp ứng các đòi hỏi của hình học Euclid. Tuy nhiên, nếu chúng ta không thành công trong việc phối hợp hình học Euclid và vật lý học để hình thành một bức tranh đơn giản và hài hòa, chúng ta nên từ bỏ ý tưởng cho rằng không gian của chúng ta là một không gian Euclid và nên tìm kiếm một bức tranh thuyết phục hơn về hiện thực, với những giả định tổng quát hơn về tính chất hình học của không gian chúng ta. Sự cần thiết cho vấn đề trên có thể được làm sáng tỏ bằng một thí nghiệm lý tưởng, chúng ta sẽ thấy rằng một nền vật lý hiện thực theo thuyết tương đối không thể dựa trên nền tảng hình học Euclid. Những luận chứng của chúng ta sẽ dựa trên những kinh nghiệm có được từ HTTĐ quán tính và thuyết tương đối đặc biệt (thuyết tương đối hẹp).

Hãy tưởng tượng một cái đĩa thật lớn, ta vẽ hai vòng tròn đồng tâm trên cái đĩa ấy, một rất nhỏ và một rất lớn.



Cái đĩa quay rất nhanh, tương đối với một người quan sát bên ngoài, còn người quan sát bên trong thì ở trên cái đĩa. Ta giả định thêm rằng HTTĐ của người quan sát bên ngoài là hệ quán tính. Người quan sát bên ngoài có thể vẽ trong HTTĐ quán tính của ông ta hai vòng tròn, nhỏ và lớn, và hai vòng tròn này trùng lấp với hai vòng tròn trên cái đĩa quay. Hình học Euclid có hiệu lực trong HTTĐ của ông ta vì đây là một HTTĐ quán tính, do đó, ông ta sẽ nhận thấy tỷ lệ giữa chu vi của hai vòng tròn bằng với tỷ lệ giữa hai bán kính. Nhưng điều này sẽ ra sao đối với người quan sát ngồi trên cái đĩa? Từ quan điểm vật lý cổ điển và thuyết tương đối hẹp, HTTĐ của ông ta là một HTTĐ bị cấm. Tuy nhiên, nếu chúng ta có ý định xem lại và đổi mới các định luật vật lý để chúng có hiệu lực trong bất kỳ HTTĐ nào, chúng ta phải có cùng một thái độ nghiêm túc đối với người quan sát trên đĩa và người quan sát bên ngoài. Khi quan sát từ bên ngoài, chúng ta thấy người trên cái đĩa đang cố gắng đo đạc bán kính và chu vi của các vòng tròn trên cái đĩa đang quay. Ông ta dùng cây thước đo giống hệt thước đo của người quan sát bên ngoài. “Giống hệt” ở đây có nghĩa là người bên ngoài đưa cho người bên trong đĩa cây thước của mình hay là một trong hai cây thước có cùng chiều dài khi chúng nằm yên trong

cùng một HTTĐ.

Người quan sát trên cái đĩa bắt đầu đo bán kính và chu vi của vòng tròn nhỏ. Ông ta bắt buộc phải tìm ra cùng kết quả với người quan sát bên ngoài. Trục quay của đĩa đi xuyên qua tâm vòng tròn. Những phần khác ở gần tâm của cái đĩa có vận tốc rất nhỏ. Nếu vòng tròn đủ nhỏ thì chúng ta có thể áp dụng cơ học cổ điển một cách an toàn mà không cần đến thuyết tương đối hẹp. Điều này có nghĩa là cây thước có cùng chiều dài đối với người quan sát bên trong và bên ngoài và do vậy, kết quả của hai lần đo đặc của hai người này đều như nhau. Bây giờ người quan sát trên cái đĩa đo bán kính của vòng tròn lớn. Đối với người quan sát bên ngoài, cây thước sẽ chuyển động khi được đặt trên bán kính của vòng tròn lớn. Tuy nhiên, chiều dài cây thước này không có lại và nó có cùng chiều dài đối với cả hai người quan sát vì hướng chuyển động của cái đĩa là vuông góc với cây thước. Như thế, ba phép đo có cùng kết quả đối với cả hai người quan sát: Hai bán kính và chu vi vòng tròn nhỏ. Nhưng điều này lại không đúng đối với phép đo thứ tư! Chiều dài của chu vi vòng tròn lớn sẽ có sự khác biệt đối với hai người quan sát. Đối với người quan sát bên ngoài, cây thước đặt trên chu vi vòng tròn và theo hướng chuyển động của cái đĩa sẽ co lại và trở nên ngắn hơn so với khi nó nằm yên. Vận tốc tại đây lớn hơn rất nhiều so với tại vòng tròn bên trong và sự co lại này phải được tính đến. Vì thế, nếu chúng ta áp dụng các kết quả của thuyết tương đối hẹp thì kết luận của chúng ta sẽ là: Chiều dài của chu vi vòng tròn lớn sẽ khác nhau khi được đo đặc bởi hai người quan sát. Vì một trong bốn chiều dài được đo đặc bởi hai người quan sát là không giống nhau đối với cả hai người, tỷ lệ giữa hai bán kính không thể bằng với tỷ lệ giữa hai chu vi đối với người quan sát bên trong, nhưng nó lại bằng nhau đối với người quan sát bên ngoài. Điều này có nghĩa là người quan sát ở trên cái đĩa không thể xác minh được hiệu lực của hình học Euclid trong HTTĐ của ông ta.

Sau khi có được kết quả này, người quan sát trên đĩa có thể nói rằng ông ta không muốn xem xét một HTTĐ nếu hình học Euclid không có hiệu lực trong HTTĐ ấy. Sự sụp đổ của hình học Euclid là do chuyển động quay tuyệt đối, do HTTĐ của ông ta là một HTTĐ tồi và bị cấm. Nhưng nếu suy luận theo cách này, ông ta từ bỏ ý tưởng cơ bản của thuyết tương đối rộng. Mặt khác, nếu chúng ta muốn từ bỏ chuyển động tuyệt đối nhưng giữ lại ý tưởng của thuyết tương đối rộng, thì vật lý học phải được xây dựng trên một nền tảng của hình học có tính tổng quát hơn cả hình học Euclid. Chúng ta không thể tránh khỏi kết luận này nếu tất cả HTTĐ đều có giá trị như nhau.

Những đối thay đến từ thuyết tương đối rộng không thể chỉ bị giới hạn trong không gian. Trong thuyết tương đối hẹp, chúng ta đã có những chiếc đồng hồ nằm yên trong mỗi HTTĐ, chúng chạy cùng nhịp và đồng bộ với nhau, có nghĩa là chúng cùng chỉ một thời điểm. Điều gì xảy ra đối với một chiếc đồng hồ trong một HTTĐ quán tính? Chúng ta hãy dùng một lần nữa thí nghiệm lý tưởng với cái đĩa. Bên trong HTTĐ quán tính của mình, người quan sát bên ngoài có những chiếc đồng hồ hoàn hảo chạy cùng nhịp và đồng bộ. Người quan sát bên trong lấy hai chiếc đồng hồ giống hệt nhau và đặt một chiếc trên vòng tròn nhỏ, một chiếc trên vòng tròn lớn. Đồng hồ ở vòng tròn nhỏ có vận tốc tương đối với người quan sát bên ngoài rất nhỏ. Vì thế, chúng ta có thể kết luận một cách an toàn rằng chiếc đồng hồ này có cùng nhịp hoạt động với những chiếc đồng hồ bên ngoài. Nhưng chiếc đồng hồ đặt trên vòng tròn lớn có một vận tốc đáng kể và có nhịp hoạt động thay đổi so với chiếc đồng hồ của người quan sát bên ngoài, Vì thế, nó cũng thay đổi so với chiếc đồng hồ đặt trên vòng tròn nhỏ. Như vậy, hai chiếc đồng hồ khi chuyển động tròn sẽ chạy khác nhịp. Do đó, khi áp dụng kết quả của thuyết tương đối hẹp trong HTTĐ có chuyển động quay, chúng ta không có được kiểu mẫu tương tự như trong HTTĐ quán tính.

Để làm rõ những kết luận có thể được rút ra từ điều này và từ những thí nghiệm lý tưởng trước đây, chúng ta hãy trích dẫn cuộc thảo luận giữa một nhà vật lý cổ điển *CĐ* tin vào vật lý cổ điển và một nhà vật lý hiện đại *HĐ* hiểu về thuyết tương đối rộng. *CĐ* là người quan sát bên ngoài, trong một HTTĐ quán tính, trong khi đó *HĐ* là người quan sát trên chiếc đĩa quay.

CĐ. Trong HTTĐ của ông, hình học Euclid không còn hiệu lực. Tôi đã quan sát các phép đo của ông và đồng ý rằng trong HTTĐ của ông, tỷ lệ giữa hai chu vi không bằng tỷ lệ giữa hai bán kính. Điều này cho thấy rằng HTTĐ của ông là một HTTĐ bị cấm. Còn HTTĐ của tôi là một HTTĐ quán tính nên tôi có thể ứng dụng hình học Euclid một cách an toàn. Cái đĩa của ông ở

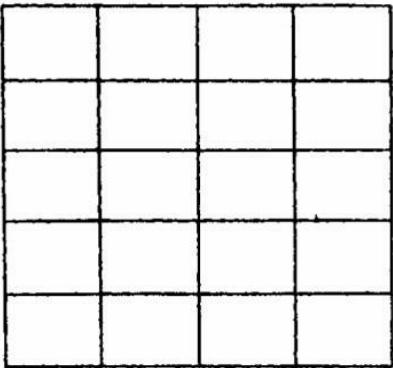
trạng thái chuyển động tuyệt đối và theo lập trường của vật lý cổ điển, nó cũng ở trong một HTTĐ bị cấm. Do đó, các định luật vật lý không có hiệu lực.

HD. Tôi không quan tâm đến chuyển động tuyệt đối. HTTĐ của tôi cũng tốt như HTTĐ của ông. Điều mà tôi nhận thấy được là ông quay tương đối xung quanh cái đĩa của tôi. Không ai có thể ngăn cấm tôi quy chiếu mọi chuyển động về cái đĩa của tôi.

CD. Nhưng ông có cảm nhận một lực kỳ lạ liên tục đẩy ông ra khỏi tâm của cái đĩa? Nếu cái đĩa của ông không phải là một cái vòng đu quay xoay tròn rất nhanh, hai sự kiện mà ông quan sát được chắc chắn sẽ không xảy ra. Ông sẽ không nhận thấy một lực nào đó luôn đẩy ông ra bên ngoài cũng không nhận thấy hình học Euclid không thể áp dụng cho HTTĐ của ông. Liệu các sự kiện này đủ để thuyết phục ông nhận thấy rằng HTTĐ của ông đang chuyển động tuyệt đối hay không?

HD. Hoàn toàn không! Dĩ nhiên là tôi đã chú ý đến hai sự kiện mà ông đề cập đến, nhưng tôi cho rằng trường hấp dẫn lạ kỳ tác động lên cái đĩa của tôi chính là nguyên nhân gây ra hai sự kiện trên. Trường hấp dẫn hướng về bên ngoài cái đĩa đã làm biến dạng cây thước và thay đổi nhịp hoạt động của những chiếc đồng hồ của tôi. Đối với tôi, trường hấp dẫn, hình học phi-Euclid và đồng hồ có nhịp hoạt động khác biệt đều liên hệ với nhau một cách chặt chẽ. Một khi thừa nhận rằng tất cả các HTTĐ có giá trị như nhau, ngay tức khắc tôi phải giả định một trường hấp dẫn thích hợp có sự ảnh hưởng lên các thanh cứng và các đồng hồ.

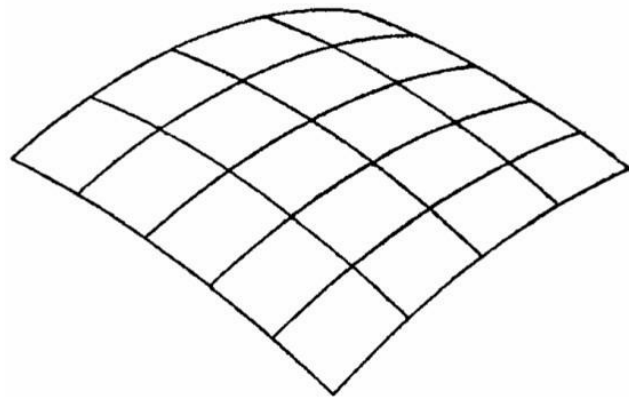
CD. Nhưng ông có nhận thấy rằng những khó khăn này đều nảy sinh từ thuyết tương đối rộng của ông hay không? Tôi sẽ làm rõ quan điểm của mình bằng một thí dụ đơn giản không liên quan đến vật lý. Chúng ta hãy tưởng tượng một thành phố lý tưởng ở Mỹ có các con đường song song tạo thành góc vuông với các đại lộ song song. Khoảng cách giữa các con đường hay giữa các đại lộ luôn không đổi. Với giả định này, các khối nhà đều có cùng kích cỡ. Và như thế, tôi có thể định vị bất cứ khối nhà nào một cách dễ dàng. Cấu trúc này không thể được thiết lập nếu không có hình học Euclid. Cho nên chúng ta không thể bao phủ một cấu trúc như thế lên toàn bộ Trái Đất. Chỉ cần nhìn vào Trái Đất thì ông sẽ bị thuyết phục. Và chúng ta cũng không thể bao phủ cái đĩa của ông bằng một “cấu trúc Mỹ” như thế. Ông đã cho rằng các cây thước của ông đã bị trường hấp dẫn làm cong đi. Việc mà ông không thể xác minh được các định lý Euclid, qua sự bằng nhau giữa các tỷ lệ bán kính và chu vi, cho chúng ta thấy rõ rằng nếu ông càng sử dụng cấu trúc lưới đều đặn với các đường phố và đại lộ thì dù sớm hay muộn ông sẽ càng gặp phải nhiều khó khăn và sẽ thấy nhận thấy rằng không thể thực hiện việc này trên cái đĩa của ông. Hệ thống hình học trên cái đĩa xoay của ông giống như một mặt phẳng bị uốn cong mà người ta hiển nhiên không thể xây dựng các hệ thống đường – đại lộ như thế trên một phần có diện tích đủ lớn của mặt phẳng. Bây giờ chúng ta hãy xét một thí dụ có tính chất vật lý hơn. Chúng ta có một mặt phẳng được làm nóng không đồng đều với những nhiệt độ khác nhau trên những phần khác nhau của bề mặt. Liệu rằng ông có thể thực hiện cấu trúc “song song – vuông góc” như hình vẽ dưới đây với những que sắt co giãn theo nhiệt độ hay không? Dĩ nhiên là không! Chắc là “trường hấp dẫn” của ông cũng là nguyên nhân gây nên sự thay đổi nhiệt độ trên những que sắt như đã làm biến dạng những cây thước của ông.



HD. Tôi hoàn toàn không lo lắng về tất cả những điều này. Cấu trúc con đường– đại lộ là cần thiết để xác định vị trí các điểm, và một chiếc đồng hồ để xác định trình tự các sự kiện. Chúng ta không nhất thiết phải theo khuôn mẫu một thành phố ở Mỹ, hệ thống đường phố ở Âu châu cổ kính cũng giúp chúng ta theo đuổi sự so sánh này. Hãy tưởng tượng rằng thành phố lý

tường của ông được làm bằng chất dẻo và sau đó ông làm biến dạng nó. Tôi vẫn có thể đếm được các khu phố và nhận ra được những con đường và đại lộ, mặc dù chúng không còn thẳng tắp và không còn cách đều nhau nữa. Cũng giống như thế, chúng ta có thể định vị mọi điểm trên Trái Đất theo vĩ độ và kinh độ cho dù chúng ta không có những cấu trúc lưới theo kiểu mẫu đường phố ở Mỹ.

CD. Tôi vẫn còn thấy một khó khăn nữa. Ông bắt buộc phải dùng đến “cấu trúc thành phố của Âu châu.” Tôi đồng ý rằng ông có thể sắp đặt một cách có hệ thống các điểm hay thời điểm, nhưng cấu trúc này sẽ làm xáo trộn những đo đạc về khoảng cách. Cấu trúc của ông không có *tính chất của hệ mét* như trong không gian của tôi. Chúng ta hãy lấy một thí dụ. Tại thành phố Mỹ, tôi biết rằng để đi một đoạn xa bằng mười khối nhà, tôi phải đi qua hai đoạn đường dài bằng năm khối nhà. Do biết rằng tất cả các khối nhà có chiều dài bằng nhau, tôi có thể xác định ngay các khoảng cách.



HD. Hoàn toàn đúng. Trong cấu trúc “thành phố Âu châu”, tôi không thể trực tiếp đo đạc các khoảng cách bằng việc đếm các khối nhà đã bị biến dạng. Tôi cần phải thêm một số điều nữa; tôi phải biết các tính chất hình học trong mặt phẳng này. Cũng như mọi người đều biết khoảng cách từ 0 độ đến 10 độ kinh độ trên đường xích đạo sẽ không giống như khoảng cách từ 0 độ đến 10 độ kinh độ ở gần bắc cực. Nhưng mỗi thủy thủ đều tính được khoảng cách giữa hai điểm này trên Trái Đất vì họ hiểu được tính chất hình học của Trái Đất. Họ có thể tính toán dựa trên kiến thức lượng giác cầu, hoặc cũng có thể dựa vào thực nghiệm để điều khiển chiếc thuyền đi trên hai khoảng cách với cùng một vận tốc. Trong trường hợp của ông – một thành phố Mỹ – thì vấn đề trở nên đơn giản vì tất cả con đường và đại lộ được sắp xếp cách đều nhau. Trong trường hợp Trái Đất của chúng ta thì vấn đề phức tạp hơn nhiều vì hai kinh tuyến 0 độ và 10 độ gặp nhau ở các cực của Trái Đất, cách xa nhau nhất tại xích đạo. Cũng giống như vậy, để xác định được khoảng cách, với cấu trúc thành phố Âu châu, tôi cần có nhiều dữ kiện hơn so với “cấu trúc thành phố Mỹ” của ông. Tôi sẽ có được những dữ kiện này khi nghiên cứu các tính chất hình học về miền liên tục của tôi trong từng trường hợp đặc biệt.

CD. Nhưng quả thật tất cả điều này đều chứng tỏ cho sự phức tạp và bất lợi khi từ bỏ sự đơn giản của hình học Euclid và thay bởi một mô hình phức tạp mà ông dự định sử dụng. Điều này có thực là cần thiết hay không?

HD. Tôi lo lắng rằng, điều này thật sự cần thiết nếu chúng ta muốn áp dụng các định luật vật lý của chúng ta vào bất kỳ HTTĐ nào mà không cần tới HTTĐ quán tính khó hiểu. Tôi đồng ý rằng công cụ toán học của tôi phức tạp hơn của ông, nhưng các giả định vật lý của tôi đơn giản hơn và tự nhiên hơn.

Cuộc thảo luận đã được giới hạn trong miền liên tục hai chiều. Việc tranh cãi về thuyết tương đối rộng còn phức tạp hơn nhiều, vì đây là miền liên tục không gian – thời gian bốn chiều chứ không chỉ là hai chiều. Nhưng những ý tưởng cơ bản vẫn tương tự với trường hợp miền liên tục hai chiều. Trong thuyết tương đối rộng, chúng ta không thể dùng khung cơ học tạo thành từ các thanh song song, vuông góc và các đồng hồ chạy đồng bộ như trong thuyết tương đối hẹp. Trong một HTTĐ bất kỳ, chúng ta không thể xác định vị trí và thời điểm xảy ra sự kiện bằng cách dùng các thanh thẳng cứng rắn, các đồng hồ cùng nhịp và đồng bộ như trong một HTTĐ quán tính của thuyết tương đối hẹp. Chúng ta vẫn có thể sắp xếp các sự kiện bằng các thanh phi-Euclid và các đồng hồ hoạt động không cùng nhịp. Nhưng những phép đo thật sự cần đến

các thanh rắn và các đồng hồ cùng nhịp và đồng bộ chỉ có thể thực hiện trong một HTTĐ quán tính cục bộ. Toàn bộ thuyết tương đối hẹp có hiệu lực cho một hệ thống như thế; nhưng HTTĐ “tốt” của chúng ta chỉ là một HTTĐ cục bộ và tính chất quán tính của nó bị hạn chế trong không gian và thời gian. Ngay cả trong một HTTĐ bất kỳ, chúng ta cũng có thể dự đoán các kết quả đo đạc được thực hiện trong một HTTĐ quán tính cục bộ. Nhưng nếu muốn thế, chúng ta phải biết tính chất hình học của miền liên tục không gian – thời gian.

Các thí nghiệm lý tưởng của chúng ta chỉ có thể nêu lên tính tổng quát của những quan điểm vật lý mới theo thuyết tương đối. Chúng cũng cho thấy vấn đề cơ bản của chúng ta chính là sự hấp dẫn. Chúng cũng cho thấy thuyết tương đối rộng sẽ dẫn đến sự tổng quát hơn nữa các khái niệm về thời gian và không gian.

THUYẾT TƯƠNG ĐỐI RỘNG VÀ SỰ XÁC MINH

Thuyết tương đối rộng luôn cố gắng thiết lập các định luật vật lý có hiệu lực cho mọi HTTĐ. Vấn đề cơ bản của lý thuyết này là hiện tượng hấp dẫn. Kể từ thời Newton đến nay, đây là lần đầu tiên mà một lý thuyết cố gắng một cách nghiêm túc trong việc thiết lập lại định luật hấp dẫn. Điều này có thật sự cần thiết hay không? Chúng ta đã biết đến những thành tựu của lý thuyết của Newton, biết đến những bước tiến vĩ đại của ngành thiên văn học dựa vào lý thuyết này. Cho đến nay, lý thuyết của Newton vẫn luôn là nền tảng cho việc tính toán trong ngành thiên văn học. Nhưng chúng ta cũng đã biết đến những ý kiến phản đối lý thuyết xưa cũ này. Định luật Newton chỉ có giá trị trong một HTTĐ quán tính của vật lý cổ điển. Hãy nhớ rằng HTTĐ này chỉ được xác định với điều kiện là các định luật cơ học phải có hiệu lực trong HTTĐ này. Lực tương tác giữa hai khối lượng tùy thuộc vào khoảng cách giữa chúng. Như chúng ta đã biết, sự liên hệ giữa lực và khoảng cách là không đổi trong phép biến đổi cổ điển. Nhưng định luật này lại không thích hợp cho khuôn khổ của thuyết tương đối hẹp. Khoảng cách không còn bất biến đối với phép biến đổi Lorentz. Tương tự những thành công của chúng ta đối với các định luật chuyển động, chúng ta có thể cố gắng tổng quát hóa định luật hấp dẫn để nó phù hợp với thuyết tương đối hẹp. Hay nói cách khác, chúng ta phải thiết lập lại định luật hấp dẫn sao cho nó phải bất biến đối với phép biến đổi Lorentz chứ không phải đối với phép biến đổi cổ điển. Tuy nhiên, định luật hấp dẫn của Newton luôn ngoan cố chống lại mọi cố gắng của chúng ta để đơn giản hóa và làm cho nó phù hợp với khuôn khổ của thuyết tương đối hẹp. Ngay cả khi thành công, chúng ta vẫn cần một bước kế tiếp. Đó là bước chuyển đổi từ HTTĐ quán tính của thuyết tương đối hẹp sang HTTĐ bất kỳ của thuyết tương đối rộng. Mặt khác, qua thí nghiệm lý tưởng về một buồng thang máy rơi tự do, chúng ta thấy rằng không thể nào có thể thiết lập được thuyết tương đối rộng một khi chưa giải quyết được những vấn đề về hiện tượng hấp dẫn. Từ lập luận của chúng ta, chúng ta sẽ thấy rõ tại sao lời giải đáp cho vấn đề về sự hấp dẫn phải có sự khác biệt giữa vật lý cổ điển và thuyết tương đối rộng.

Chúng ta đã cố gắng chỉ ra con đường dẫn đến thuyết tương đối rộng và những lý do buộc chúng ta phải thay đổi những quan điểm xưa cũ. Không cần đi sâu vào những cấu trúc hình thức của lý thuyết này, chúng ta mô tả một số điểm đặc trưng của thuyết hấp dẫn mới để so sánh với thuyết hấp dẫn cũ. Sẽ không quá khó để có thể hiểu thấu đáo bản chất của những khác biệt này qua những gì đã thảo luận trước đây.

1. Các phương trình hấp dẫn của thuyết tương đối rộng có thể áp dụng cho bất kỳ HTTĐ nào. Nếu chúng ta chọn một HTTĐ đặc thù cho một trường hợp đặc biệt, thì đó cũng chỉ là do sự tiện lợi mà thôi. Về mặt lý thuyết, mọi HTTĐ đều được phép. Khi không có hiện tượng hấp dẫn, chúng ta tự động quay lại trường hợp HTTĐ quán tính trong thuyết tương đối hẹp.

2. Định luật hấp dẫn của Newton liên kết chuyển động của một vật thể tại đây và ngay bây giờ với sự tác động tại thời điểm này của một vật thể khác ở xa. Định luật này hình thành một chuẩn mực cho toàn bộ tư duy cơ học. Nhưng tư duy cơ học đã sụp đổ. Trong các phương trình Maxwell, chúng ta thiết lập một chuẩn mực mới cho các định luật tự nhiên. Các phương trình Maxwell là những định luật cấu trúc. Các phương trình này liên kết các biến cố xảy ra ở đây và bây giờ với những biến cố xảy ra ngay sau đó và trong vùng lân cận gần nhất. Chúng là các định luật diễn tả sự thay đổi của trường điện từ. Các phương trình hấp dẫn mới của chúng ta cũng chính là các định luật cấu trúc diễn tả sự thay đổi của trường hấp dẫn. Chúng ta có thể nói một cách đơn giản là: Sự chuyển đổi từ định luật hấp dẫn của Newton qua thuyết tương đối rộng cũng có phần tương tự với sự chuyển đổi từ lý thuyết lưu chất điện của định luật Coulomb đến lý thuyết Maxwell.

3. Thế giới chúng ta không có tính chất của một thế giới Euclid. Bản chất hình học của thế giới chúng ta được định dạng bởi khối lượng và vận tốc của chúng. Các phương trình hấp dẫn của thuyết tương đối rộng cố gắng tìm hiểu các tính chất hình học của thế giới chúng ta.

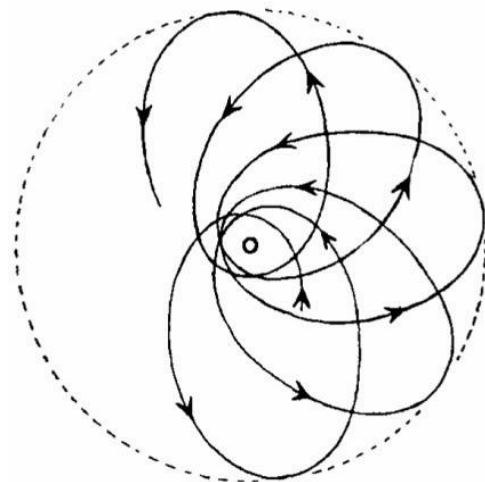
Hãy giả sử trong thời điểm này, chúng ta đã thành công trong việc thực hiện một cách triệt để các kế hoạch của thuyết tương đối rộng. Liệu có nguy hiểm không khi những suy đoán của

chúng ta quá xa rời thực tế? Chúng ta biết lý thuyết cũ đã giải thích tốt như thế nào các quan sát thiên văn. Liệu chúng ta có khả năng xây dựng một cầu nối giữa lý thuyết mới và các quan sát? Mỗi suy đoán đều phải được kiểm tra bằng thực nghiệm và các kết quả, dù hấp dẫn đến đâu, đều phải bị loại bỏ nếu chúng không phù hợp với thực tế. Làm sao lý thuyết mới cho hiện tượng hấp dẫn có thể đứng vững qua các thử nghiệm? Câu hỏi này có thể được trả lời trong một câu: Lý thuyết cũ là một trường hợp giới hạn đặc biệt của lý thuyết mới. Nếu các lực hấp dẫn tương đối yếu, thì định luật Newton trở nên sự gần đúng đối với các định luật hấp dẫn mới. Như vậy mọi quan sát minh chứng cho tính đúng đắn của lý thuyết cổ điển cũng sẽ minh chứng cho tính đúng đắn của thuyết tương đối rộng. Chúng ta có lại lý thuyết cũ từ một lý thuyết mới ở mức độ cao hơn.

Ngay cả khi chưa có thêm bất kỳ quan sát nào để củng cố cho lý thuyết mới, nếu những lý giải của nó cũng tốt tương đương với lý thuyết cũ, thì nếu phải chọn một trong hai, chúng ta vẫn nên ưu tiên cho lý thuyết mới. Về mặt hình thức, các phương trình của lý thuyết mới phức tạp hơn nhiều; nhưng từ quan điểm các nguyên tắc cơ bản, các giả định của chúng lại đơn giản hơn nhiều. Hai bóng ma đáng sợ là thời gian tuyệt đối và HTTĐ quán tính đã không còn xuất hiện nữa. Manh mối về sự tương đương giữa khối lượng hấp dẫn và khối lượng quán tính đã được chú ý đến. Các giả định cho các lực hấp dẫn và cho sự phụ thuộc của chúng vào khoảng cách là không cần thiết nữa. Các phương trình của trường hấp dẫn mang hình thức cấu trúc, đây cũng là hình thức bắt buộc của mọi định luật vật lý kể từ sự xuất hiện của lý thuyết trường và những thành tựu to lớn của nó.

Một vài suy diễn có thể được rút ra từ các định luật hấp dẫn mới mà trước đây không thể được suy ra từ định luật hấp dẫn của Newton. Đầu tiên là sự uốn cong của tia sáng trong trường hấp dẫn mà chúng ta đã đề cập tới. Còn có hai hệ quả nữa sẽ được nói đến ngay sau đây.

Nếu các định luật cũ được dẫn xuất từ các định luật mới khi trường hấp dẫn yếu, thì chúng ta chỉ có thể chờ đợi sự sai lệch của định luật Newton về trường hấp dẫn khi các lực hấp dẫn trở nên mạnh hơn. Chúng ta hãy quan sát các hành tinh trong thái dương hệ. Các hành tinh này, kể cả Trái Đất của chúng ta, chuyển động theo những quỹ đạo elip quanh Mặt Trời. Sao Thủy là hành tinh gần Mặt Trời nhất, do đó lực hút giữa Mặt Trời và sao Thủy mạnh hơn so với lực hút giữa Mặt Trời và tất cả các hành tinh khác. Cơ may lớn nhất để tìm thấy sự sai lệch của định luật Newton mà chúng ta có thể có được đó là trường hợp sao Thủy. Theo lý thuyết cổ điển, quỹ đạo của sao Thủy cũng tương tự như quỹ đạo của các hành tinh khác, điểm khác biệt duy nhất là nó ở gần Mặt Trời hơn. Theo thuyết tương đối rộng, chuyển động của sao Thủy phải hơi khác đi so với chuyển động của các hành tinh khác. Sao Thủy chuyển động không chỉ xung quanh Mặt Trời, mà chính quỹ đạo elip do nó vẽ nên cũng xoay quanh Mặt Trời một cách chậm chạp, tương đối với HTTĐ gắn liền với Mặt Trời.



Sự quay tròn của quỹ đạo elip biểu lộ một hiệu ứng mới của thuyết tương đối rộng. Lý thuyết mới tiên đoán được cả độ lớn của hiệu ứng này. Quỹ đạo elip của sao Thủy hoàn tất một chu kỳ xoay quanh Mặt Trời trong ba triệu năm! Chúng ta thấy hiệu ứng này bé nhỏ như thế nào và thật vô vọng để tìm thấy hiệu ứng này cho những hành tinh ở xa Mặt Trời hơn.

Thật ra, sự chuyển động lệch ra khỏi quỹ đạo elip của sao Thủy đã được biết đến trước khi thuyết tương đối rộng được thành lập, tuy nhiên điều này vẫn chưa được giải thích. Mặt khác, thuyết tương đối rộng được phát triển không phải vì chính vấn đề đặc biệt này. Chỉ sau khi thiết lập được các phương trình hấp dẫn mới, người ta đã đưa ra được kết luận về quỹ đạo hình elip của các hành tinh quay quanh Mặt Trời. Trong trường hợp sao Thủy, lý thuyết mới đã giải thích thành công sự lệch của chuyển động đối với định luật Newton.

Nhưng vẫn còn một kết luận khác được rút ra từ thuyết tương đối rộng và được xác minh bởi thực nghiệm. Chúng ta nhận thấy rằng chiếc đồng hồ đặt trên vòng tròn lớn của một cái đĩa quay tròn có nhịp hoạt động khác với đồng hồ đặt trên vòng tròn nhỏ. Tương tự như thế, theo thuyết tương đối rộng, cùng chiếc đồng hồ này nếu được đặt trên Mặt Trời, nó sẽ hoạt động khác nhịp so với khi đặt ở Trái Đất, vì trường hấp dẫn trên Mặt Trời có ảnh hưởng mạnh hơn nhiều so với trên Trái Đất.

Chúng ta hãy nhớ lại trong chương “Điều bí ẩn của màu sắc”, khi nóng sáng, kim loại natri (Na) phóng thích ánh sáng vàng đơn sắc có bước sóng xác định. Trong quá trình bức xạ này, nguyên tử natri đã bộc lộ một trong những nhịp hoạt động của nó. Ta có thể coi nguyên tử natri như một chiếc đồng hồ và bước sóng của ánh sáng được phát ra chính là một trong những nhịp hoạt động của nó. Theo thuyết tương đối rộng, bước sóng của ánh sáng được phóng thích từ một nguyên tử natri ở trên Mặt Trời hơi dài hơn so với bước sóng của ánh sáng được phóng thích từ nguyên tử natri ở trên Trái Đất của chúng ta.

Vấn đề xác minh bằng thực nghiệm các kết luận của thuyết tương đối rộng bằng quan sát là một vấn đề phức tạp, khó khăn và không được phép xem như đã được giải quyết triệt để. Vì chúng ta chỉ quan tâm đến những ý tưởng cơ bản nên chúng ta sẽ không đi sâu vào vấn đề này và có thể nói rằng, cho đến nay, những phán quyết có được từ các thí nghiệm có thể khẳng định được sự đúng đắn của các kết luận được rút ra từ thuyết tương đối rộng.

TRƯỜNG VÀ VẬT CHẤT

Chúng ta đã thấy nguyên nhân và quá trình sụp đổ của tư duy cơ học. Người ta không thể giải thích tất cả các hiện tượng tự nhiên bằng cách quy chúng về sự tương tác của các lực đơn giản giữa các hạt cổ điển. Cố gắng đầu tiên của chúng ta là phá vỡ khuôn khổ hạn hẹp của tư duy cơ học và đưa vào khái niệm trường, điều này đã đem đến những kết quả cực kỳ hữu ích cho hiện tượng điện từ trường. Các định luật cấu trúc cho trường điện từ đã được thiết lập, đây là các định luật cho phép liên kết các sự việc xảy ra kế tiếp và rất gần với nhau trong không gian và thời gian. Các định luật này phù hợp với khuôn khổ của thuyết tương đối hẹp bởi vì chúng bất biến đối với phép biến đổi Lorentz. Sau đó, thuyết tương đối rộng đã thiết lập các định luật hấp dẫn. Các định luật cấu trúc này diễn tả trường hấp dẫn giữa các hạt vật chất. Chúng ta không gặp khó khăn khi tổng quát hóa các định luật Maxwell để chúng có thể được áp dụng vào mọi HTTĐ, giống như các định luật hấp dẫn của thuyết tương đối rộng.

Chúng ta có hai thực tại: *vật chất và trường*. Bây giờ, chúng ta hoàn toàn không thể nghĩ rằng toàn bộ nền vật lý chỉ được xây dựng trên khái niệm vật chất như các nhà vật lý ở đầu thế kỷ thứ mười chín. Trước mắt, chúng ta phải chấp nhận cả hai khái niệm. Liệu chúng ta có thể nghĩ rằng vật chất và trường như hai thực thể riêng biệt và khác nhau? Khi xét một hạt vật chất, chúng ta có thể hình dung rằng – dù với một hình ảnh thật thô sơ – trên hạt này có một bề mặt xác định. Bề mặt này chấm dứt sự hiện hữu của vật chất và là nơi khởi đầu của trường hấp dẫn. Trong bức tranh của chúng ta, phạm vi hiệu lực của các định luật trường bị chia cắt một cách đột ngột với phạm vi hiện diện của vật chất. Nhưng tiêu chuẩn vật lý nào cho phép ta phân biệt vật chất và trường? Trước khi biết đến thuyết tương đối, có lẽ chúng ta có thể trả lời theo cách như sau: Vật chất có khối lượng còn trường thì không. Trường tượng trưng cho năng lượng, vật chất tượng trưng cho khối lượng. Nhưng chúng ta đã biết rằng câu trả lời này vẫn còn hạn chế theo quan điểm của những kiến thức thu thập được sau đó. Từ thuyết tương đối, chúng ta đã biết rằng vật chất tượng trưng cho sự tích trữ của một lượng năng lượng vô cùng lớn và rằng năng lượng cũng tượng trưng cho vật chất. Theo đó, chúng ta không thể phân biệt giữa vật chất và trường về mặt định tính, bởi vì sự phân biệt giữa khối lượng và năng lượng không mang tính định tính. Hầu hết năng lượng tập trung bên trong vật chất; tuy nhiên trường bao quanh phần tử vật chất cũng chứa đựng năng lượng, dù chỉ với một lượng rất nhỏ. Do đó chúng ta có thể nói rằng: Vật chất là nơi tập trung rất nhiều năng lượng và trường là nơi tập trung ít năng lượng. Tuy nhiên, nếu đúng như thế thì sự khác biệt giữa vật chất và trường có bản chất định lượng hơn là định tính. Sẽ hoàn toàn vô nghĩa nếu chúng ta xem vật chất và trường như hai đại lượng hoàn toàn khác nhau. Chúng ta cũng không thể hình dung được một bề mặt ngăn cách rõ ràng giữa trường và vật chất.

Chúng ta cũng có cùng một khó khăn như thế giữa điện tích và trường của nó. Dường như chúng ta không có khả năng tìm ra một tiêu chuẩn rõ ràng về mặt định tính để phân biệt vật chất và trường hay điện tích và trường.

Những định luật cấu trúc của chúng ta, chính là các định luật Maxwell và định luật hấp dẫn, không còn hiệu lực ở những nơi có sự tập trung rất lớn năng lượng, hay nói cách khác, là nơi hiện diện của các nguồn phát ra trường, đó chính là nơi hiện diện của các điện tích hay vật chất. Nhưng liệu chúng ta thật sự không thể sửa đổi một chút các phương trình để chúng có hiệu lực khắp nơi, ngay cả trong những vùng tập trung năng lượng vô cùng lớn hay sao?

Chúng ta không thể xây dựng nền vật lý học mà chỉ dựa trên nền tảng của khái niệm vật chất. Nhưng khi ta có nhận thức về sự tương đồng giữa khối lượng và năng lượng, sự phân biệt giữa vật chất và trường trở nên một điều mang tính giả tạo và không rõ ràng. Liệu chúng ta có thể từ bỏ ý niệm vật chất và xây dựng một vật lý trường thuần túy? Chúng ta có ấn tượng thế nào nếu vật chất quả thật là một sự tập trung năng lượng rất lớn trong một không gian tương đối nhỏ. Chúng ta có thể coi vật chất như những vùng trong không gian, nơi mà trường trở nên vô cùng mạnh. Theo cách này, một bối cảnh triết học mới có thể được hình thành. Mục đích cuối cùng của nó là giải đáp tất cả các sự kiện trong tự nhiên bằng các định luật cấu trúc luôn có hiệu lực tại bất kỳ nơi nào. Từ quan điểm này, một hòn đá được ném đi là một trường thay đổi, và cũng là nơi mà trạng thái của cường độ trường lớn nhất chuyển động trong không gian với

vận tốc bằng với vận tốc của hòn đá. Trong vật lý mới không có chỗ cho cả hai khái niệm trường và vật chất; trường được coi như là một thực thể duy nhất. Quan điểm này đã được đề xuất bởi những thành tựu to lớn của vật lý trường, bởi những thành công trong việc diễn đạt các định luật về điện, từ, hiện tượng hấp dẫn theo hình thức các định luật cấu trúc và cuối cùng bởi sự tương đương giữa khối lượng và năng lượng. Mục đích tối cao của chúng ta là tìm cách sửa đổi các định luật trường để các định luật này không sụp đổ trong những vùng có sự tập trung năng lượng vô cùng to lớn.

Nhưng cho đến nay, chúng ta vẫn chưa thành công trong việc thực hiện dự định này một cách thuyết phục và nhất quán. Việc quyết định khả năng này có thực hiện được hay không vẫn còn thuộc về tương lai. Trước mắt, chúng ta vẫn phải chấp nhận giả định của hai thực thể cho tất cả các khái niệm lý thuyết của chúng ta là: trường và vật chất.

Những vấn đề cơ bản vẫn còn nằm ở phía trước. Chúng ta biết rằng tất cả vật chất có cấu tạo chỉ từ một vài loại hạt. Làm thế nào mà nhiều hình thái của vật chất lại có thể được tạo thành từ những hạt cơ bản này? Các hạt cơ bản này tương tác với trường như thế nào? Trong quá trình cố gắng tìm kiếm lời giải đáp cho các câu hỏi này, nhiều ý tưởng mới đã được đưa vào vật lý, sự kết tinh của các ý tưởng này chính là thuyết lượng tử.

Chúng ta tóm tắt:

Một khái niệm mới xuất hiện trong vật lý, cũng là một phát minh quan trọng nhất kể từ thời Newton: Trường. Chúng ta phải cần đến trí tưởng tượng khoa học vô cùng phong phú để nhận thức rằng điều cần thiết để diễn đạt các hiện tượng vật lý không phải là điện tích hay hạt mà chính là trường nằm tại khoảng cách giữa các điện tích và các hạt. Khái niệm trường chứng tỏ có sự thành công rất lớn, dẫn đến việc thiết lập các phương trình Maxwell nhằm diễn đạt cấu trúc của trường điện từ, bao gồm cả các hiện tượng quang học cũng như điện học.

Thuyết tương đối được phát sinh từ chính những khó khăn của khái niệm trường. Sự mâu thuẫn và không nhất quán của các lý thuyết cũ buộc chúng ta phải quy thêm một số tính chất mới cho miền liên tục không gian – thời gian cho tất cả các sự kiện xảy ra trong thế giới vật chất của chúng ta.

Thuyết tương đối đã kết tinh trong hai giai đoạn. Giai đoạn đầu tiên dẫn dắt chúng ta đến với thuyết tương đối hẹp chỉ được ứng dụng cho các hệ quán tính, những hệ mà trong đó định luật quán tính của Newton có hiệu lực. Thuyết tương đối hẹp dựa trên hai giả định cơ bản: Các định luật vật lý có hiệu lực như nhau trong tất cả các hệ trục tọa độ chuyển động đều, tương đối với nhau; vận tốc ánh sáng là một hằng số. Những giả định này cho phép suy ra các tính chất của các thanh đo và đồng hồ đang di chuyển. Đó là sự thay đổi chiều dài và nhịp hoạt động tùy thuộc vào vận tốc. Thuyết tương đối thay đổi các định luật cơ học. Các định luật cũ sẽ không còn hiệu lực khi vận tốc của các vật thể tiến tới vận tốc của ánh sáng. Các định luật mới được hình thành từ thuyết tương đối cho các vật thể chuyển động đã được xác minh một cách hoàn hảo bởi thực nghiệm. Hệ quả tiếp theo của thuyết tương đối (hẹp) là sự liên hệ giữa khối lượng và năng lượng. Khối lượng chính là năng lượng và năng lượng mang khối lượng. Hai định luật bảo toàn năng lượng và khối lượng đã được thuyết tương đối sáp nhập thành một định luật duy nhất: Định luật bảo toàn khối lượng – năng lượng.

Thuyết tương đối rộng đem đến cho chúng ta sự phân tích sâu sắc hơn nữa về miền liên tục không gian – thời gian. Hiệu lực của thuyết tương đối rộng không còn bị giới hạn trong hệ quán tính. Lý thuyết này đã công kích hiện tượng hấp dẫn và hình thành các định luật cấu trúc mới cho trường hấp dẫn. Nó buộc chúng ta phải phân tích vai trò của hình học trong việc mô tả thế giới vật chất. Lý thuyết mới xem sự đồng nhất giữa khối lượng hấp dẫn và khối lượng quán tính là tối cần thiết, chứ không chỉ là sự tình cờ như trong cơ học cổ điển. Những hệ quả thực nghiệm từ thuyết tương đối rộng có khác biệt rất nhỏ so với những hệ quả thực nghiệm từ cơ học cổ điển. Chúng đã đứng vững qua những thử thách thực nghiệm tại bất kỳ nơi nào có thể so sánh được. Tuy nhiên, sức mạnh của lý thuyết này nằm ở tính logic nội tại và sự đơn giản của các giả định cơ bản của nó.

Ý nghĩa vật lý của khái niệm trường được đánh giá rất cao trong khuôn khổ thuyết tương đối rộng. Nhưng cho đến nay, chúng ta vẫn chưa thành công trong việc thiết lập một vật lý trường

thuần túy. Hiện tại chúng ta phải chấp nhận hai thực thể: Trường và vật chất.

IV. LƯỢNG TỬ

Sự liên tục – sự gián đoạn... Lượng tử sơ cấp của vật chất và điện... Lượng tử ánh sáng... Quang phổ... Sóng vật chất... Sóng xác suất... Vật lý và hiện thực.

SỰ LIÊN TỤC – SỰ GIÁN ĐOẠN

Trước mặt chúng ta là bản đồ thành phố New York và các vùng phụ cận. Chúng ta hỏi rằng: Chúng ta có thể đến những điểm nào trên bản đồ bằng xe lửa? Sau khi tìm những điểm này trong thời gian biểu trong ga xe lửa, chúng ta đánh dấu chúng trên bản đồ. Bây giờ chúng ta thay đổi câu hỏi: Chúng ta có thể đến những điểm nào bằng xe hơi? Nếu chúng ta vẽ lên bản đồ những con đường bắt đầu từ New York, quả thực chúng ta có thể đến mọi điểm trên những con đường này bằng xe hơi. Trong cả hai trường hợp, chúng ta có những tập hợp điểm. Trong trường hợp đầu tiên, những điểm này bị phân cách với nhau và tượng trưng cho các ga xe lửa. Trong trường hợp thứ hai, những điểm này nằm trên cùng một đường kẻ tượng trưng cho những con đường. Câu hỏi kế tiếp của chúng ta là: Khoảng cách từ mỗi điểm này đến thành phố New York hay chính xác hơn là đến một nơi nào đó ở thành phố này là bao nhiêu? Trong trường hợp thứ nhất, một số các con số sẽ tương ứng với những điểm trên bản đồ. Những con số này thay đổi không theo bất kỳ quy tắc nào nhưng hữu hạn, lúc lớn lúc nhỏ. Chúng ta có thể nói: Những khoảng cách giữa thành phố New York và những nơi chỉ đến được bằng xe lửa thay đổi một cách *không liên tục*. Còn khoảng cách từ New York đến những nơi có thể đến bằng xe hơi có thể được thay đổi từng đoạn ngắn tùy ý, những khoảng cách này thay đổi một cách *liên tục*. Sự thay đổi khoảng cách có thể lớn nhỏ tùy ý nhưng chỉ trong trường hợp xe hơi chứ không thể thực hiện được trong trường hợp xe lửa.

Sản lượng của một mỏ than có thể thay đổi một cách liên tục. Số lượng than đá được sản xuất có thể tăng hay giảm với những lượng nhỏ tùy ý, nhưng con số công nhân làm việc tại mỏ than chỉ có thể thay đổi một cách *không liên tục*. Hoàn toàn vô nghĩa nếu người ta nói rằng: “Kể từ hôm qua, số công nhân đã tăng thêm 3,783 người.”

Khi ai hỏi bạn còn bao nhiêu tiền trong túi, bạn chỉ có thể đưa ra một con số với hai phân số thập phân. Một số tiền chỉ có thể thay đổi theo cách nhảy bậc một cách không liên tục. Ở Mỹ, sự thay đổi nhỏ nhất được phép của tiền tệ là một xu, chúng ta sẽ gọi nó là “lượng tử sơ cấp” của đồng tiền Mỹ. Lượng tử sơ cấp của đồng tiền Anh là một farthing, chỉ có giá trị bằng một nửa lượng tử sơ cấp của đồng tiền Mỹ. Ở đây, chúng ta có thí dụ về hai lượng tử sơ cấp, giá trị của chúng có thể được so sánh với nhau. Tỷ số các giá trị của chúng có một ý nghĩa xác định vì một trong hai trị số có giá trị gấp hai lần trị số kia.

Chúng ta có thể nói rằng: Một vài đại lượng có thể thay đổi một cách liên tục trong khi đó vài đại lượng khác chỉ có thể thay đổi một cách không liên tục, nghĩa là thay đổi theo từng nấc, từng lượng nhỏ không thể chia nhỏ hơn được nữa. Những nấc không thể chia nhỏ hơn nữa được gọi là *lượng tử sơ cấp* của một đại lượng đặc trưng.

Chúng ta có thể cân một số lượng lớn của cát và cho rằng khối lượng của nó là liên tục, dù rằng nó được tạo thành từ những hạt cát rời rạc. Nhưng nếu vì một lý do nào đó mà cát trở nên rất đắt và phải được cân bằng những cái cân rất nhạy, thì chúng ta phải xét đến sự thay đổi liên tục của khối lượng của cát đến từ những giá trị đo khác nhau của một hạt cát. Khối lượng của một hạt cát này có thể được coi là lượng tử sơ cấp của chúng ta. Thí dụ này cho chúng ta thấy rằng một đại lượng vẫn được xem là liên tục, nhưng nếu cân với độ chính xác cao hơn thì ta sẽ nhận thấy tính chất không liên tục của nó.

Nếu muốn phác thảo ý tưởng cơ bản của thuyết lượng tử trong một câu, chúng ta có thể nói: *Chúng ta phải giả định rằng có một vài đại lượng vật lý dù đến nay vẫn được xem như liên tục, nhưng chúng lại được cấu thành từ những lượng tử sơ cấp.*

Thuyết lượng tử bao trùm những sự kiện có phạm vi vô cùng to lớn. Những sự kiện này đã được khám phá bởi những thí nghiệm hiện đại với công nghệ cao cấp. Vì không thể trình bày cũng như mô tả các thí nghiệm này, dù rất cơ bản, nên chúng ta thường sẽ trích dẫn các kết quả một cách giáo điều. Mục đích của chúng ta chỉ là giải thích các ý tưởng cơ bản.

LƯỢNG TỬ SƠ CẤP CỦA VẬT CHẤT VÀ ĐIỆN

Theo lý thuyết động học, mọi nguyên tố được cấu tạo từ những phân tử. Chúng ta hãy lấy một trường hợp đơn giản nhất của nguyên tố nhẹ nhất, đó là hydro. Trong chương “Thuyết động học của vật chất” chúng ta đã biết được quá trình nghiên cứu các chuyển động Brown đã dẫn đến việc xác định được khối lượng của một phân tử hydro và trị số của nó là:

0,000 000 000 000 000 000 000 0033 gam.

Điều này cho ta thấy rằng khối lượng là không liên tục. Do vậy khối lượng của một lượng khí hydro chỉ có thể thay đổi bằng một con số nguyên các bước nhỏ và mỗi bước ứng với khối lượng của một phân tử hydro. Nhưng trong các quá trình hóa học, người ta thấy rằng một phân tử hydro có thể được phân ra làm hai phần, hay nói cách khác, một phân tử hydro bao gồm hai nguyên tử. Trong các quá trình hóa học, chính các nguyên tử, chứ không phải các phân tử, có vai trò như một lượng tử sơ cấp. Nếu chia hai con số ở trên, chúng ta có được khối lượng của một nguyên tử hydro khoảng chừng:

0,000 000 000 000 000 000 000 0017 gam.

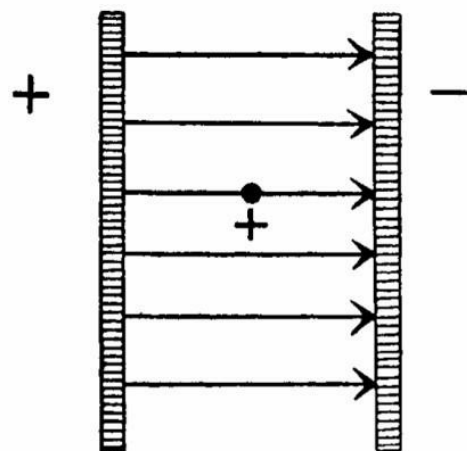
Khối lượng là một đại lượng không liên tục. Tuy nhiên, khi cân khối lượng vật thể, chúng ta thường không phải lo lắng về điều này. Vì ngay cả những cái cân nhạy nhất cũng không đủ nhạy để phát hiện được tính không liên tục của sự thay đổi khối lượng.

Chúng ta hãy trở lại một hiện tượng quen thuộc. Một dây điện được nối với một nguồn điện. Dòng điện “chảy” trong dây điện từ nơi có điện thế cao đến nơi có điện thế thấp. Chúng ta nhớ lại rằng nhiều kết quả thực nghiệm đã được giải thích bằng lý thuyết lưu chất điện chảy trong dây điện. Chúng ta cũng nhớ lại rằng sự lựa chọn của chúng ta, hoặc lưu chất dương chảy từ điện thế cao sang điện thế thấp hoặc lưu chất âm chảy từ điện thế thấp sang điện thế cao, hoàn toàn chỉ là quy ước chung. Trước mắt chúng ta tạm gác lại những kết quả đã đạt với khái niệm trường. Ngay cả khi nghĩ về các lưu chất điện, chúng ta vẫn còn những câu hỏi chưa tìm được đáp án. Như cái tên “lưu chất” đã gợi ý, điện đã từng được coi như là một đại lượng liên tục. Theo các quan điểm cũ, số lượng điện tích có thể được thay đổi theo từng lượng nhỏ tùy ý. Ta không cần phải có giả định về các lượng tử sơ cấp điện. Các thành tựu trong thuyết động học của vật chất đã dẫn đến một câu hỏi khác: Liệu các lượng tử sơ cấp của lưu chất điện có thật sự tồn tại? Và một câu hỏi khác được đặt ra là: Dòng điện gồm có lưu chất dương, lưu chất âm hay là cả hai?

Ý tưởng của tất cả các thí nghiệm nhằm trả lời các câu hỏi này là tìm cách tách rời lưu chất điện ra khỏi dây điện và cố gắng dẫn nó đi vào không gian trống rỗng, giải phóng nó khỏi bất cứ sự ràng buộc nào đối với vật chất và để rời nghiên cứu các tính chất của nó, những tính chất phải xuất hiện thật rõ ràng dưới những điều kiện như thế. Nhiều thí nghiệm như thế đã được thực hiện trong cuối thế kỷ thứ mười chín. Trước khi giải thích ý tưởng của các thí nghiệm này, chúng ta sẽ trích dẫn kết quả của một thí nghiệm điển hình. Lưu chất điện chảy qua sợi dây điện là lưu chất âm, nên nó hướng từ điện thế thấp sang điện thế cao. Nếu biết điều này ngay từ đầu, khi mà lý thuyết các lưu chất điện mới được thiết lập, chắc chắn chúng ta đã thay đổi cách đặt tên và gọi điện tích trên thanh cao su là dương, còn trên thanh thủy tinh là âm. Và sẽ thuận tiện hơn cho chúng ta khi đặt tên cho lưu chất điện đang chảy là lưu chất điện dương. Vì sự phỏng đoán ban đầu của chúng ta sai, nên chúng ta phải chấp nhận sự bất tiện này. Câu hỏi quan trọng tiếp theo là: Có phải lưu chất âm này có cấu trúc “hạt rời rạc”, có phải lưu chất âm được cấu tạo bởi những lượng tử điện hay không? Một loạt các thí nghiệm độc lập cho thấy rằng sự hiện hữu của một lượng tử sơ cấp của điện âm này là không còn nghi ngờ gì nữa. Lưu chất điện âm được cấu tạo từ những hạt nhỏ như một bãi biển hình thành từ hạt cát hay một ngôi nhà được xây bằng nhiều viên gạch. Kết quả này được J.J. Thomson^[25] trình bày một cách rõ ràng cách đây khoảng chừng bốn mươi năm. Các lượng tử sơ cấp của điện âm được gọi là các electron. Như vậy, mỗi điện tích âm được hình thành từ nhiều điện tích sơ cấp được gọi là những electron. Giống như khối lượng, điện tích âm chỉ có thể thay đổi một cách không liên tục. Tuy nhiên, vì điện tích sơ cấp quá nhỏ nên để thuận tiện hơn trong nhiều thí nghiệm, người ta xem điện tích như một đại lượng liên tục. Như vậy, các lý thuyết nguyên tử và electron đưa vào khoa học những đại lượng vật lý không liên tục và chỉ có thể thay đổi bằng

những bước nhảy.

Hãy tưởng tượng hai tấm kim loại song song được đặt ở nơi không có không khí. Một tấm có điện tích dương, tấm còn lại có điện tích âm. Một vật thử nghiệm có điện tích dương được đặt ở giữa hai tấm kim loại, nó sẽ bị đẩy bởi tấm có điện tích dương và hút bởi tấm có điện tích âm. Như thế các đường sức của điện trường sẽ hướng từ tấm kim loại có điện tích dương đến tấm kim loại có điện tích âm. Lực tác động lên một vật thể mang điện tích âm sẽ có hướng ngược lại. Nếu hai tấm kim loại đủ lớn thì mật độ các đường sức khắp mọi nơi bên trong chúng sẽ như nhau. Vị trí của vật thử nghiệm là không quan trọng vì lực và mật độ các đường sức luôn giống nhau. Các electron được đặt ở nơi nào đó giữa hai tấm kim loại sẽ giống những hạt mưa rơi trong trường hấp dẫn của Trái Đất.



Chúng sẽ chuyển động song song với nhau và hướng từ tấm kim loại nạp điện tích âm tới tấm kim loại nạp điện tích dương. Người ta có nhiều phương pháp thực nghiệm để đem mưa electron vào một điện trường như thế và điện trường này sẽ hướng các electron với cùng một cách thức. Một trong những cách đơn giản nhất là đặt một dây điện được nung nóng giữa hai tấm kim loại có tích điện. Dây điện này sẽ phóng thích các electron, sau đấy chúng sẽ bị định hướng bởi các đường sức của trường bên ngoài. Thí dụ như các bóng đèn điện tử quen thuộc được dùng trong máy radio cũng hoạt động dựa theo nguyên tắc này.

Nhiều thí nghiệm với một chùm electron đã được thực hiện một cách khéo léo. Sự thay đổi đường đi của chúng trong các điện trường và từ trường đã được khảo sát kỹ lưỡng. Thậm chí người ta có thể cách ly từng electron để xác định điện tích sơ cấp và khối lượng của nó, bởi vì khối lượng của electron chính là quán tính của nó chống lại tác động của một ngoại lực. Ở đây, chúng ta chỉ trích dẫn trị số khối lượng của một electron. Nó nhỏ hơn *hai ngàn lần* so với khối lượng của một nguyên tử hydro. Như thế, khối lượng vô cùng nhỏ của một nguyên tử hydro lại trở nên rất lớn khi so với khối lượng của một electron. Từ quan điểm của lý thuyết trường nhất quán, toàn bộ khối lượng – cũng chính là toàn bộ năng lượng – của một electron là năng lượng của trường của electron này. Phần lớn lực của trường tập trung trong một không gian hình cầu rất nhỏ và nó trở nên càng yếu khi ở càng xa “tâm” của electron.

Trước đây chúng ta đã nói rằng nguyên tử của bất kỳ nguyên tố nào cũng là lượng tử sơ cấp nhỏ nhất của nguyên tố đó. Người ta đã tin tưởng điều này trong một thời gian rất dài, nhưng ngày nay không còn ai tin điều này nữa! Khoa học đã hình thành một quan điểm mới và cho thấy sự hạn chế của quan điểm cũ. Hầu như không có luận cứ nào dựa trên những sự kiện đã xảy ra lại chắc chắn hơn cả những luận cứ về cấu trúc phức tạp của nguyên tử. Đầu tiên người ta nhận thức rằng electron, lượng tử sơ cấp của lưu chất điện âm, là một trong những thành phần tử của nguyên tử, một trong những viên gạch sơ cấp cấu thành mọi vật chất. Thí dụ trước đây về sợi dây điện phóng thích các electron khi bị nung nóng chỉ là một trong vô số các thí dụ của việc tách các phần tử này ra khỏi vật chất. Kết quả này cho thấy mối liên hệ mật thiết giữa vấn đề về cấu trúc của vật chất và vấn đề về điện. Nhận thức này đã được củng cố hoàn toàn bởi một loạt các thí nghiệm độc lập với nhau.

Việc tách một vài electron từ một nguyên tử cấu thành vật chất là tương đối đơn giản. Chúng ta có thể thực hiện điều này bằng nhiệt, như trong thí dụ với dây điện nung nóng, hay bằng

cách khác, như bắn phá các nguyên tử với các electron khác.

Giả sử một sợi dây kim loại mảnh, nóng đỏ được đưa vào khí hydro loãng, dây kim loại này sẽ phóng thích electron theo mọi hướng. Dưới tác dụng của một điện trường ngoài, các electron sẽ đạt tới một vận tốc nhất định nào đó và cũng sẽ tăng tốc như một hòn đá rơi trong trọng trường. Với phương pháp này, chúng ta có thể tạo nên một chùm tia electron di chuyển với một vận tốc xác định và theo một hướng xác định. Hiện nay chúng ta có thể đạt được vận tốc gần bằng vận tốc ánh sáng nếu để các electron dưới tác dụng của những trường rất mạnh. Điều gì xảy ra nếu chùm tia electron có vận tốc xác định va chạm với các phân tử của khí hydro loãng? Khi một electron có vận tốc đủ lớn, sự va chạm này không chỉ phá vỡ phân tử hydro thành hai nguyên tử mà còn tách một electron ra khỏi một trong hai nguyên tử.

Chúng ta chấp nhận rằng các electron là những phần tử của vật chất. Như thế một nguyên tử bị mất đi electron sẽ không còn trung tính về điện nữa. Nếu trước đây nó trung tính, bây giờ nó không thể như thế nữa vì nó thiếu một điện tích sơ cấp. Cho nên phần còn lại của nguyên tử phải có điện tích dương. Hơn nữa, do khối lượng của một electron nhỏ hơn nhiều so với nguyên tử nhẹ nhất, chúng ta có thể kết luận rằng phần lớn khối lượng của nguyên tử không phải đến từ những electron mà từ các hạt sơ cấp còn lại, chúng nặng hơn electron rất nhiều. Chúng ta gọi phần nặng của một nguyên tử là *hạt nhân nguyên tử*.

Vật lý thực nghiệm hiện đại đã phát triển nhiều phương pháp nhằm phá vỡ hạt nhân nguyên tử, thay đổi những nguyên tử của nguyên tố này thành nguyên tử của nguyên tố khác và tách các hạt sơ cấp nặng từ nhân nguyên tử. Trong vật lý học, lĩnh vực này được gọi là “Vật lý hạt nhân”, đã được Rutherford[\[26\]](#) đóng góp rất nhiều và cũng là lĩnh vực thú vị nhất theo quan điểm thực nghiệm. Tuy nhiên, ta vẫn chưa tìm thấy một lý thuyết dựa trên những ý tưởng cơ bản đơn giản và có thể liên kết được những dữ kiện rất phong phú trong phạm vi của vật lý hạt nhân. Vì trong những trang sách này chúng ta chỉ quan tâm đến những ý tưởng vật lý tổng quát nên chúng ta hãy quên đi vấn đề này mặc dù nó rất quan trọng trong vật lý hiện đại.

LƯỢNG TỬ ÁNH SÁNG

Chúng ta hãy xét một bức tường dọc theo bờ biển. Sóng biển đánh liên tục vào bức tường, làm trôi một số thứ trên bề mặt của bức tường, rồi lại rút đi để dọn đường cho các đợt sóng kế tiếp. Khối lượng của bức tường giảm đi và chúng ta có thể đặt ra nhiều câu hỏi, ví dụ như trong một năm khối lượng của bức tường bị cuốn đi là bao nhiêu. Bây giờ chúng ta hãy hình dung một quá trình khác. Chúng ta muốn làm giảm cùng một khối lượng của bức tường nhưng bằng một cách khác. Chúng ta bắn vào bức tường và làm sút mẻ bức tường tại những điểm va chạm với những viên đạn. Chúng ta hoàn toàn có thể tưởng tượng rằng chúng ta có thể làm cho bức tường mất đi cùng một khối lượng trong cả hai trường hợp. Nhưng khi quan sát bề mặt của bức tường, chúng ta có thể phân biệt được một cách dễ dàng khối lượng bức tường mất đi là do tác động liên tục của sóng biển hay do sự bắn phá không liên tục của mưa đạn. Việc ghi nhớ sự khác biệt giữa sóng biển và mưa đạn sẽ rất hữu ích trong việc tìm hiểu những hiện tượng mà chúng ta sẽ mô tả sau đây.

Trước đây, chúng ta đã nói rằng một dây điện được nung nóng sẽ phóng thích electron. Chúng ta sẽ trình bày ở đây một cách khác để tách các electron ra khỏi kim loại. Như chúng ta đã biết, ánh sáng đơn sắc, ví dụ ánh sáng màu tím có bước sóng xác định, khi va chạm lên bề mặt của kim loại có thể làm các electron bị bắn ra khỏi kim loại. Một trận mưa electron được hình thành và chúng di chuyển với một vận tốc nào đó trong không gian. Theo nguyên tắc năng lượng, chúng ta có thể nói rằng một phần năng lượng của ánh sáng đã được biến đổi thành động năng của các electron bị bắn ra khỏi kim loại. Kỹ thuật thực nghiệm hiện đại giúp chúng ta có khả năng ghi nhận dấu vết của những “viên đạn” electron này, xác định được vận tốc của chúng và suy ra năng lượng của chúng. Việc tách các electron ra bằng ánh sáng chiếu lên kim loại được gọi là *hiệu ứng quang điện*.

Điểm xuất phát của chúng ta là tác động của một ánh sáng đơn sắc có cường độ xác định. Cũng như trong các thí nghiệm khác, bây giờ chúng ta phải thay đổi những điều kiện thí nghiệm nhằm khảo sát những ảnh hưởng của hiệu ứng vừa được quan sát.

Chúng ta sẽ bắt đầu bằng việc thay đổi cường độ của ánh sáng đơn sắc màu tím chiếu lên bề mặt kim loại và ghi nhận mức độ phụ thuộc của năng lượng của các electron vào cường độ của ánh sáng. Chúng ta hãy tìm ra câu trả lời bằng lý luận thay vì bằng thực nghiệm. Ta có thể lập luận như sau: Trong hiệu ứng quang điện, một phần năng lượng của năng lượng bức xạ được biến đổi thành động năng của các electron. Nếu chúng ta chiếu sáng kim loại bằng ánh sáng có cùng bước sóng như trước, nhưng từ một nguồn sáng mạnh hơn, thì năng lượng của các electron được phóng thích phải lớn hơn vì bức xạ có nhiều năng lượng hơn. Do vậy, chúng ta nghĩ rằng vận tốc của các electron được phóng thích sẽ gia tăng nếu cường độ ánh sáng gia tăng. Nhưng thực nghiệm lại cho ta một kết quả trái ngược với dự đoán này. Một lần nữa chúng ta nhận thấy các định luật tự nhiên không tuân theo mong muốn của chúng ta, lại một lần nữa kết quả thí nghiệm không trùng hợp với dự đoán và làm sụp đổ lý thuyết mà chính chúng phải dựa trên đó. Từ quan điểm của lý thuyết sóng, kết quả của thí nghiệm này vô cùng bất ngờ. Tất cả các electron đều có cùng vận tốc, cùng năng lượng dù năng lượng ánh sáng được gia tăng.

Lý thuyết sóng không thể tiên đoán kết quả thực nghiệm này. Ở đây, một lần nữa một lý thuyết mới lại được khai sinh từ những xung đột giữa lý thuyết cũ và thực nghiệm.

Bây giờ chúng ta hãy cố ý phê phán lý thuyết sóng một cách chủ quan, hãy quên đi những thành tựu to lớn của nó, sự giải thích thật tuyệt vời của nó về sự uốn cong của ánh sáng quanh những vật thể rất nhỏ. Chúng ta hãy tập trung trên hiệu ứng quang điện và hãy đòi hỏi lý thuyết này một giải thích thỏa đáng về hiệu ứng quang điện. Hiển nhiên chúng ta không thể suy ra được từ lý thuyết sóng việc năng lượng electron không phụ thuộc vào cường độ của ánh sáng đã làm các electron này bắn ra khỏi kim loại. Do đó chúng ta phải tìm đến một lý thuyết khác. Hãy nhớ lại lý thuyết hạt của Newton, lý thuyết này giải thích nhiều hiện tượng quan sát được của ánh sáng, nhưng lại thất bại trong việc giải thích sự uốn cong của ánh sáng. Bây giờ chúng ta hãy cố ý quên đi khuyết điểm này. Trong thời đại Newton, người ta chưa biết đến

khái niệm năng lượng. Theo Newton, những hạt ánh sáng không có trọng lượng, mỗi màu sắc thể hiện khối chất riêng của nó. Sau này khi khái niệm năng lượng xuất hiện và người ta nhận thấy rằng ánh sáng mang theo năng lượng, không ai đã nghĩ đến việc ứng dụng các khái niệm này vào lý thuyết hạt của ánh sáng. Lý thuyết của Newton đã được coi như đã chết, cho đến thế kỷ của chúng ta, chưa ai quan tâm một cách nghiêm túc đến sự hồi sinh của nó.

Để hướng theo ý tưởng chính của lý thuyết Newton, chúng ta phải giả định rằng ánh sáng đơn sắc gồm những *hạt năng lượng* và chúng ta phải thay thế các hạt ánh sáng cũ bằng các lượng tử ánh sáng mà chúng ta gọi là *photon*. Đó là những phần năng lượng nhỏ, đi trong không gian trống rỗng với vận tốc ánh sáng. Sự hồi sinh bằng một hình thức mới của lý thuyết Newton đã dẫn chúng ta đến với *thuyết lượng tử của ánh sáng*. Không chỉ vật chất và điện tích, mà ngay cả năng lượng của bức xạ cũng có một cấu trúc hạt rời rạc, nghĩa là chúng cấu thành từ những lượng tử ánh sáng. Ngoài lượng tử của vật chất và lượng tử của điện, ta cũng có lượng tử của năng lượng.

Planck^[27] đã trình bày ý tưởng về các lượng tử năng lượng đầu tiên vào đầu thế kỷ này để giải thích một vài hiệu ứng phức tạp hơn nhiều so với hiệu ứng quang điện. Nhưng hiệu ứng quang điện lại cho chúng ta thấy một cách rõ ràng, đơn giản nhất sự cần thiết phải thay đổi những khái niệm cũ.

Chúng ta thấy ngay rằng lý thuyết lượng tử ánh sáng giải đã thích được hiệu ứng quang điện. Một trận mưa photon chiếu lên một bề mặt kim loại. Sự tương tác giữa bức xạ và vật liệu là tổng hợp của rất nhiều quá trình đơn lẻ mà trong đó một photon va chạm với nguyên tử và rút khỏi nguyên tử một electron. Những quá trình đơn lẻ này đều giống nhau và các electron bị rút đi đều có cùng năng lượng trong tất cả các trường hợp. Theo ngôn ngữ mới của chúng ta, chúng ta phải hiểu rằng gia tăng cường độ của ánh sáng có nghĩa là gia tăng số lượng photon chiếu lên bề mặt kim loại. Trong trường hợp ấy, ta có số lượng electron bị rút ra khỏi bề mặt của kim loại nhiều hơn nhưng năng lượng của từng photon lại không đổi. Như thế chúng ta thấy rằng thuyết lượng tử của ánh sáng hoàn toàn phù hợp với quan sát.

Điều gì xảy ra khi một tia sáng đơn sắc – ví dụ như màu đỏ thay vì ánh sáng màu tím – chiếu lên bề mặt kim loại? Chúng ta hãy để thực nghiệm trả lời câu hỏi này. Năng lượng của electron bị ánh sáng đỏ rút ra, được đo và so sánh với năng lượng của electron bị rút ra bởi ánh sáng màu tím. Năng lượng của electron bị rút ra với ánh sáng đỏ lại nhỏ hơn so với năng lượng của electron với ánh sáng tím. Điều này có nghĩa là năng lượng của lượng tử ánh sáng sẽ khác nhau đối với các màu sắc khác nhau. Năng lượng của các photon thuộc về ánh sáng màu đỏ chỉ bằng phân nửa năng lượng của các photon thuộc về ánh sáng màu tím. Hay nói chính xác hơn: Năng lượng của một lượng tử ánh sáng đơn sắc giảm đi với một tỷ lệ nhất định khi bước sóng ánh sáng tăng lên. Chúng ta có sự khác biệt cơ bản giữa những lượng tử năng lượng và những lượng tử điện. Mỗi bước sóng ánh sáng có những lượng tử ánh sáng khác nhau, trong khi đó các lượng tử điện là luôn như nhau. Nếu chúng ta làm phép so sánh tương tự như những lần trước, chúng ta có thể so sánh lượng tử ánh sáng với lượng tử nhỏ nhất của tiền tệ, lượng tử này khác nhau đối với các nước khác nhau.

Chúng ta hãy tiếp tục loại bỏ lý thuyết sóng cho ánh sáng và giả định rằng ánh sáng có cấu trúc rời rạc và tạo bởi những lượng tử ánh sáng, hay đúng hơn là những photon đi trong không gian với vận tốc ánh sáng. Như vậy theo nhận thức mới của chúng ta, ánh sáng là một trận mưa photon và photon là lượng tử sơ cấp của năng lượng ánh sáng. Tuy nhiên, nếu chúng ta loại bỏ lý thuyết sóng thì khái niệm về “bước sóng” sẽ biến mất. Khái niệm mới nào có thể thay thế cho khái niệm sóng? Đó chính là năng lượng của lượng tử ánh sáng! Sự diễn đạt theo thuật ngữ của lý thuyết sóng có thể được chuyển đổi bằng sự diễn đạt với thuyết lượng tử của bức xạ. Thí dụ như:

THUẬT NGỮ CỦA LÝ THUYẾT — SÓNG THUẬT NGỮ CỦA THUYẾT LƯỢNG TỬ

Ánh sáng đơn sắc có bước sóng xác định. Bước sóng của vạch đỏ cuối cùng trong quang phổ lớn gấp hai lần bước sóng của vạch tím cuối cùng trong quang phổ

—Ánh sáng đơn sắc bao gồm các photon có năng lượng xác định. Năng lượng photon của vạch đỏ cuối cùng trong quang phổ chỉ bằng phân nửa của năng lượng photon vạch tím trong quang phổ.

Vấn đề của chúng ta có thể tóm tắt như sau:

Có những hiện tượng chỉ có thể giải thích bằng thuyết lượng tử chứ không thể bằng lý thuyết sóng. Hiệu ứng quang điện là một thí dụ điển hình, ngoài ra người ta còn biết đến rất nhiều hiện tượng tương tự. Có những hiện tượng chỉ có thể giải thích với lý thuyết sóng nhưng không thể với thuyết lượng tử. Một thí dụ điển hình đó là sự uốn cong của ánh sáng xung quanh một vật cản. Và cuối cùng có những hiện tượng, như sự lan truyền của ánh sáng, lại có thể được giải thích bằng cả thuyết lượng tử lẫn lý thuyết sóng của ánh sáng.

Nhưng ánh sáng thật sự là gì? Nó là sóng hay là mưa photon? Trước đây chúng ta đã từng một lần đặt một câu hỏi tương tự khi hỏi: Bản chất của ánh sáng là sóng hay nó bao gồm nhiều hạt ánh sáng? Vào thời đó, người ta có mọi lý lẽ để bác bỏ lý thuyết hạt và chấp nhận lý thuyết sóng vì lý thuyết sóng đủ để giải thích mọi hiện tượng được biết đến. Tuy nhiên, vấn đề hiện đang trở nên phức tạp hơn. Chúng ta dường như không có nhiều khả năng để mô tả các hiện tượng của ánh sáng một cách hợp lý nếu chỉ chọn một trong hai lý thuyết. Dường như chúng ta lúc phải chọn lý thuyết này, lúc phải chọn lý thuyết kia và lắm lúc chúng ta phải sử dụng cả hai lý thuyết. Chúng ta phải đương đầu với một khó khăn mới: Hai quan điểm trái ngược cho cùng một thực tế. Với chỉ một trong hai lý thuyết, chúng ta không thể giải thích tất cả các hiện tượng quang học, nhưng điều này lại khả thi với cùng lúc hai lý thuyết!

Làm thế nào để phối hợp hai nhận thức này với nhau? Chúng ta có thể hiểu hai khía cạnh hoàn toàn khác nhau của ánh sáng như thế nào? Thật không đơn giản để có thể giải quyết khó khăn này. Chúng ta lại một lần nữa phải đối mặt với một vấn đề cơ bản.

Trước mắt, chúng ta hãy chấp nhận lý thuyết photon của ánh sáng và cố gắng vận dụng lý thuyết này để tìm hiểu các sự kiện đã được giải thích bằng lý thuyết sóng. Theo cách này, chúng ta có thể nhấn mạnh vào những điểm khó khăn của hai lý thuyết dường như không thể hòa hợp với nhau ngay từ ban đầu.

Chúng ta hãy nhớ rằng: Một tia sáng đơn sắc xuyên qua một lỗ kim rất nhỏ cho ta những vòng sáng và tối. Chúng ta có thể hiểu hiện tượng này như thế nào với thuyết lượng tử mà không cần đến lý thuyết sóng? Một photon đi xuyên qua một cái lỗ. Chúng ta nghĩ rằng tấm màn sẽ sáng lên khi có một photon đi qua cái lỗ trên màn chắn và ngược lại, màn chắn sẽ tối khi không có photon nào đi qua. Nhưng thực tế là chúng ta lại quan sát được những vòng sáng và tối. Chúng ta có thể giải thích hiện tượng này theo cách như sau: Có lẽ một vài tương tác nào đó giữa viền ngoài của cái lỗ với các photon là nguyên nhân gây xuất hiện các vòng nhiễu xạ. Phỏng đoán này hiển nhiên không thể coi như một sự giải thích được. Tốt nhất là chúng ta hãy phác thảo một kế hoạch cho tương lai với hy vọng, dù rất mong manh, có thể giải thích được sự nhiễu xạ đến từ sự tương tác giữa vật chất và các photon.

Nhưng ngay cả hy vọng mong manh này cũng đã tiêu tan bởi những thảo luận trước đây về một thí nghiệm khác. Hãy xét hai lỗ kim rất nhỏ, ánh sáng đơn sắc đi qua hai lỗ kim này tạo nên những vạch sáng và tối trên màn ảnh. Hiệu ứng này có thể hiểu như thế nào với thuyết lượng tử của ánh sáng? Chúng ta có thể lập luận như sau: Một photon chỉ có thể đi xuyên qua một trong hai lỗ. Nếu một photon của ánh sáng đơn sắc là một hạt sơ cấp của ánh sáng, chúng ta thật khó mà có thể tưởng tượng rằng nó còn có thể được chia làm hai và cả hai cùng đi qua hai cái lỗ trong cùng một thời điểm. Nếu một photon chỉ đi qua một lỗ kim thì ta phải có hiệu ứng giống như trường hợp đầu tiên với các vòng sáng tối chứ không phải các vạch sáng tối. Điều gì tạo nên hiệu ứng hoàn toàn khác biệt khi ta có thêm một lỗ kim khác? Cũng có thể sự hiện diện của lỗ kim mà photon không đi qua, dù ở cách khá xa lỗ kim ban đầu, đã biến các vòng thành các vạch. Nếu photon cũng có tính chất giống như hạt trong vật lý cổ điển, nó buộc phải đi qua một trong hai lỗ kim. Nhưng trong trường hợp này, dường như chúng ta hoàn toàn không thể hiểu được hiện tượng nhiễu xạ.

Khoa học buộc chúng ta phải tạo nên những ý tưởng mới, những lý thuyết mới để phá vỡ những sự mâu thuẫn, cũng chính là một bức tường thường xuyên ngăn chặn con đường phát triển của khoa học. Tất cả các ý tưởng nền tảng nhất của khoa học đều được sinh ra trong sự xung đột tốt độ giữa hiện thực và những cố gắng để hiểu hiện thực của chúng ta. Ở đây, vấn đề cần được giải thích lại một lần nữa và phải cần đến những nguyên lý mới. Trước khi chúng ta

thử trình bày các cố gắng của vật lý hiện đại trong việc giải thích sự mâu thuẫn giữa tính chất lượng tử và tính chất sóng của ánh sáng, chúng ta sẽ nêu lên những khó khăn tương tự khi làm việc với lượng tử vật chất thay vì với lượng tử ánh sáng.

QUANG PHỔ

Như chúng ta đã biết, toàn bộ vật chất được cấu tạo bởi một số ít các loại hạt. Electron đã là hạt sơ cấp đầu tiên được phát hiện. Tuy nhiên, các electron cũng chính là các lượng tử sơ cấp của điện âm. Ngoài ra, chúng ta cũng đã biết rằng một vài hiện tượng khác đã ép buộc chúng ta phải giả định rằng ánh sáng bao gồm các lượng tử ánh sáng sơ cấp có bước sóng khác nhau. Trước khi tiếp tục, chúng ta hãy thảo luận về vai trò cơ bản của vật chất cũng như bức xạ trong một vài hiện tượng vật lý.

Bức xạ Mặt Trời có thể được tách thành nhiều phần khác nhau bởi một lăng kính. Do đó, chúng ta có được quang phổ liên tục của ánh sáng với các bước sóng nằm giữa hai giới hạn của quang phổ nhìn thấy được. Chúng ta hãy lấy một thí dụ khác. Trước đây, chúng ta đã từng nhắc đến việc ánh sáng đơn sắc được phóng thích bởi kim loại natri nóng sáng, đó là ánh sáng chỉ có một màu duy nhất hay chỉ có một bước sóng duy nhất. Nếu natri nóng sáng được đặt trước một lăng kính, chúng ta chỉ có một vạch sáng màu vàng. Nhìn chung, nếu một vật thể phát ra bức xạ được đặt trước một lăng kính thì ánh sáng do nó phát ra được tách thành nhiều thành phần và hình thành một quang phổ đặc trưng cho vật thể này.

Sự phóng điện trong một ống chứa khí tạo nên một nguồn ánh sáng giống như các đèn neon dùng cho các bảng quảng cáo. Giả sử một ống chiếu sáng như thế được đặt trước một kính quang phổ. Kính quang phổ là một dụng cụ hoạt động như một lăng kính, nhưng chính xác và nhạy hơn nhiều. Nó phân chia ánh sáng thành ra nhiều thành phần, có nghĩa là nó phân tích ánh sáng. Ánh sáng Mặt Trời đi qua kính quang phổ sẽ cho ta một quang phổ liên tục; tất cả các bước sóng đều có mặt trong quang phổ này. Tuy nhiên, nếu với một nguồn sáng được phát ra khi một dòng điện đi qua một chất khí thì quang phổ thu được sẽ có tính chất khác hẳn. Thay vì một quang phổ có màu sắc rực rỡ và liên tục, ta có những vạch sáng riêng biệt trên một nền tối liên tục. Nếu mỗi vạch sáng rất mảnh, nó sẽ tương ứng với một màu hay theo thuật ngữ của lý thuyết sóng, tương ứng với một bước sóng. Thí dụ nếu ta có hai mươi vạch hiển thị trong quang phổ, mỗi vạch được chỉ định bởi một trong hai mươi con số và ứng với một bước sóng nhất định. Hơi của các nguyên tố khác nhau có những hệ thống vạch khác nhau và do đó, tùy theo các bước sóng của quang phổ mà ta sẽ có các tổ hợp số khác nhau. Không có hai nguyên tố nào có hai hệ thống vạch giống hệt nhau trong các quang phổ đặc trưng của chúng, cũng giống không có hai người nào có cùng dấu vân tay. Trong quá trình tiến hành việc phân loại và liệt kê các vạch, các nhà vật lý dần nhận thấy rằng các vạch trong quang phổ tuân theo một quy luật nhất định. Và ta có thể thay thế những chuỗi trị số bước sóng, dường như không liên quan đến nhau, bằng một công thức toán học đơn giản.

Những gì chúng ta vừa nói giờ có thể được chuyển sang ngôn ngữ photon. Các vạch tương ứng với những bước sóng xác định hay nói cách khác là chúng tương ứng với những photon có năng lượng xác định. Vì thế, các khí phát sáng không phóng thích các photon với toàn bộ năng lượng có thể có mà chỉ phóng thích các photon đặc trưng cho chất khí đó. Một lần nữa, thực tại lại giới hạn sự phong phú của khả năng.

Nguyên tử của một nguyên tố, ví dụ như hydro, chỉ có thể phóng thích các photon với những trị số lượng tử năng lượng nhất định, tất cả những lượng tử năng lượng khác đều bị cấm. Để đơn giản hơn, chúng ta hãy tưởng tượng một nguyên tố nào đó chỉ cho ta một vạch quang phổ, điều đó có nghĩa là nguyên tố này chỉ phóng thích những photon với cùng một trị số năng lượng. Nguyên tử có nhiều năng lượng hơn trước khi phóng thích photon và có ít năng lượng hơn ngay sau đó. Theo nguyên tắc về năng lượng, *mức năng lượng* của một nguyên tử phải ở mức cao hơn trước khi phát xạ và rơi xuống mức thấp hơn ngay sau đó. Hiệu số của hai mức năng lượng phải bằng với năng lượng của photon được phóng thích. Như vậy, một nguyên tử của một nguyên tố nào đó phát ra bức xạ chỉ có một bước sóng duy nhất nghĩa là nó phóng thích những photon chỉ có một trị số năng lượng nhất định. Điều này có thể được diễn đạt theo một cách khác: Chỉ có hai mức năng lượng được cho phép trong nguyên tử của nguyên tố này; sự phóng thích một photon đồng nghĩa với việc nguyên tử chuyển biến từ mức năng lượng cao sang mức năng lượng thấp.

Nhưng thông thường ta có nhiều vạch xuất hiện trong quang phổ của các nguyên tố. Các

photon được phóng thích từ một nguyên tử tương ứng với nhiều mức năng lượng khác nhau chứ không chỉ một mức. Hay nói cách khác, chúng ta phải giả định rằng trong một nguyên tử có nhiều mức năng lượng cho phép. Việc phóng thích một photon sẽ tương ứng với việc một nguyên tử chuyển từ mức năng lượng cao sang mức năng lượng thấp. Nhưng điều cơ bản chúng ta phải thấy là không phải tất cả các mức năng lượng đều được cho phép trong một nguyên tử, vì không phải tất cả các bước sóng, tất cả các giá trị năng lượng của photon đều xuất hiện trong quang phổ của một nguyên tử. Thay vì nói rằng quang phổ của mỗi nguyên tử bao gồm những vạch xác định, những bước sóng xác định, chúng ta có thể nói rằng mỗi nguyên tử có một vài mức năng lượng xác định và rằng sự phóng thích các lượng tử ánh sáng ứng với việc một nguyên tử chuyển từ một mức năng lượng này sang một mức năng lượng khác. Các mức năng lượng trong một nguyên tử không liên tục, mà là gián đoạn. Một lần nữa chúng ta lại thấy rằng hiện thực luôn giới hạn sự lựa chọn khả năng trong sự phong phú của tự nhiên.

Bohr[28] là người đầu tiên giải thích tại sao chỉ một số những vạch đặc trưng, mà không là những vạch khác, xuất hiện trong một quang phổ. Hai mươi lăm năm trước đây, ông ta đưa ra một lý thuyết về cấu trúc nguyên tử để có thể tính toán được các quang phổ của các nguyên tử, dù chỉ là trong những trường hợp đơn giản. Và với sự xuất hiện của lý thuyết này, các con số dường như không liên hệ với nhau và vô nghĩa lại trở nên có ý nghĩa.

Lý thuyết của Bohr là một nhịp cầu dẫn đến một lý thuyết tổng quát hơn, sâu sắc hơn, đó là cơ học lượng tử hay còn gọi là cơ học sóng. Mục đích của những trang cuối cùng trong quyển sách này là nêu lên những ý tưởng chính yếu của lý thuyết này. Nhưng trước đó, chúng ta cần phải làm sáng tỏ một trường hợp đặc biệt về mặt lý thuyết lẫn thực nghiệm.

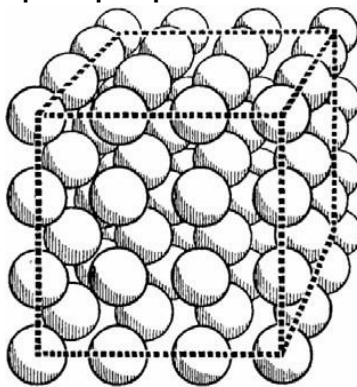
Quang phổ nhìn thấy được của chúng ta bắt đầu với một bước sóng nào đó của màu tím và chấm dứt với một bước sóng nào đó của màu đỏ. Hay nói cách khác là năng lượng của các photon trong quang phổ thấy được luôn nằm trong giới hạn của các trị số năng lượng photon của ánh sáng đỏ và tím. Dĩ nhiên giới hạn này đến từ các đặc tính của mắt người. Nếu hiệu số năng lượng của hai mức năng lượng là tương đối lớn, một photon *cực tím* sẽ được phóng thích và tạo nên một vạch nằm ngoài quang phổ nhìn thấy được. Mắt của chúng ta không thể nhận thấy các bức xạ cực tím mà phải cần đến một kính ảnh.

Các tia X (tia Roentgen) cũng được cấu tạo bởi các photon có năng lượng lớn hơn rất nhiều so với năng lượng của các photon của ánh sáng thấy được hay nói cách khác là bước sóng của chúng phải nhỏ hơn hàng ngàn lần so với bước sóng của ánh sáng thấy được.

Chúng ta có thể xác định các bước sóng ngắn như thế bằng thực nghiệm hay không? Điều này cũng rất khó khăn ngay cả đối với ánh sáng thông thường. Chúng ta cần phải có vật cản nhỏ hay một khe sáng nhỏ. Hai lỗ kim phải sát nhau để có được hiệu ứng nhiễu xạ của ánh sáng thông thường. Nhưng đối với tia X thì hai lỗ kim này phải nhỏ và gần hơn hàng ngàn lần để ta có được hiệu ứng nhiễu xạ tia X.

Vậy làm sao mới có thể đo được bước sóng của bức xạ này? Chính tự nhiên đã giúp chúng ta.

Tinh thể là sự khối kết của các nguyên tử sát nhau theo một trật tự hoàn hảo trên một mặt phẳng. Hình vẽ dưới đây trình bày một mô hình đơn giản của cấu trúc một tinh thể. Thay vì các khe sáng rất nhỏ, chúng ta có những vật cản rất nhỏ chính là các nguyên tử của nguyên tố, chúng sắp xếp rất sát nhau và theo một trật tự hoàn hảo.



Theo lý thuyết về cấu trúc tinh thể, khoảng cách giữa các nguyên tử nhỏ đến nỗi chúng có thể

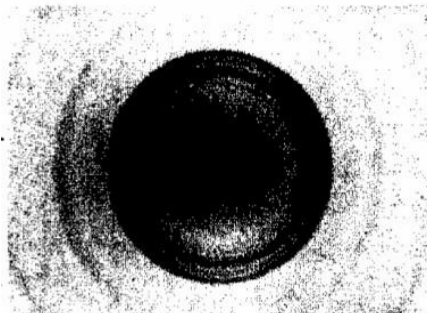
tạo nên hiệu ứng nhiễu xạ tia X. Thực nghiệm đã chứng minh rằng chúng ta quả thực có thể làm nhiễu xạ tia X bằng những vật cản nằm gần nhau một cách trật tự trong không gian ba chiều bên trong một tinh thể.

Nếu một chùm tia X đi xuyên qua một tinh thể và sau đó chiếu lên một kính ảnh, ta thu được hình ảnh nhiễu xạ. Người ta đã nghiên cứu quang phổ tia X bằng nhiều phương pháp khác nhau để suy ra những dữ kiện có liên quan đến bước sóng tia X từ hình ảnh nhiễu xạ. Những gì mà chúng ta mới nhắc đến qua vài dòng chữ sẽ lấp đầy nhiều bộ sách nếu chúng ta tiếp tục trình bày chi tiết các vấn đề này cả về lý thuyết lẫn thực nghiệm. Trong trang ảnh III, chúng tôi trình bày một ảnh nhiễu xạ thu được bằng một trong số nhiều phương pháp khác nhau. Chúng ta nhận thấy các vòng sáng và tối đặc trưng cho lý thuyết sóng. Ở giữa, chúng ta có hình ảnh tia X không nhiễu xạ. Nếu tinh thể không được đặt giữa các tia X và tấm kính ảnh, chúng ta chỉ thu được duy nhất vệt sáng này. Từ những ảnh chụp loại này người ta có thể tính được các bước sóng của các quang phổ tia X và ngược lại, nếu biết bước sóng, người ta có thể rút ra nhiều kết luận về cấu trúc của tinh thể.

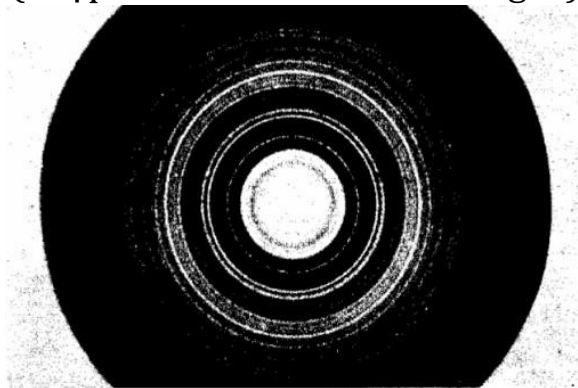
TRANG ẢNH III



Các vạch quang phổ
(chụp bởi A. G. Shenstone)



Sự nhiễu xạ của các tia Roentgen
(chụp bởi Lastowiecki và Gregor)



Nhiễu xạ của sóng electron
(chụp bởi Loria và Klinger)

SÓNG VẬT CHẤT

Làm sao chúng ta có thể giải thích rằng chỉ những bước sóng đặc trưng mới xuất hiện trong quang phổ của các nguyên tố khác nhau?

Trong vật lý học, chúng ta thường đạt được những tiến bộ nền tảng khi dùng suy luận để tìm được những điểm tương đồng của những hiện tượng dường như không có bất kỳ mối liên hệ nào với nhau. Trong quyển sách này, chúng ta rất thường thấy các ý tưởng đã được sáng tạo và phát triển ra sao trong một lĩnh vực khoa học nào đó và sau đó được ứng dụng thành công vào lĩnh vực khoa học khác. Sự phát triển của cơ học và trường đã cho ta rất nhiều thí dụ như việc kết hợp những vấn đề đã được giải quyết với những vấn đề chưa được giải quyết có thể đem đến một quan điểm mới và ý tưởng mới cho những khó khăn trước mắt. Thật dễ dàng để tìm thấy một sự tương đồng nông cạn và vô nghĩa. Nhưng nếu ta khám phá ra một vài đường nét chung cơ bản ẩn dấu bên dưới những khác biệt bên ngoài để thành công trong việc hình thành nên một lý thuyết mới dựa trên chính nền tảng này thì đó là một công việc đầy sáng tạo. Khoảng mười lăm năm trước, cơ học sóng đã được de Broglie^[29] và Schrödinger^[30] phát triển. Đây là một thí dụ điển hình về thành tựu của một lý thuyết được khơi nguồn từ sự tương đồng sâu sắc và vô cùng may mắn.

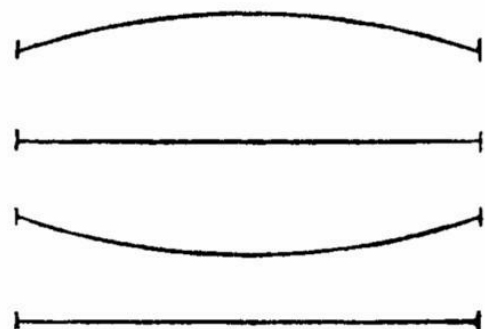
Chúng ta sẽ bắt đầu với một thí dụ cổ điển không liên quan gì đến vật lý hiện đại. Chúng ta nắm lấy đầu cuối của một ống cao su dài và dẻo, hay một lò xo dài, sau đó cố gắng đưa lên xuống nhịp nhàng để làm dao động đầu kia của ống cao su hay lò xo.



Như chúng ta đã thấy trong nhiều thí dụ, sóng được tạo nên bởi sự dao động và lan truyền trên toàn ống cao su với một vận tốc xác định. Nếu ống cao su có chiều dài vô hạn, một khi được hình thành, một con sóng sẽ tiếp tục lan truyền mãi mãi mà không gặp trở ngại.

Bây giờ chúng ta có một trường hợp khác. Hai đầu của ống cao su được giữ chặt. Nếu muốn, chúng ta có thể dùng dây đàn vĩ cầm thay vì một ống cao su. Điều gì xảy ra nếu sóng được tạo ra ở một đầu của ống cao su hay dây đàn? Sóng bắt đầu lan truyền như trong thí dụ trước, nhưng nó sớm bị phản xạ bởi đầu kia của ống. Chúng ta hiện có hai loại sóng khác nhau: Sóng được tạo ra do dao động và sóng đến từ sự phản xạ. Hai sóng này lan truyền theo hướng đối nghịch và giao thoa lẫn nhau. Chúng ta có thể dễ dàng theo dõi sự giao thoa của hai sóng này để tìm được sóng tạo nên từ sự chồng chập của hai sóng ban đầu, còn được gọi là *sóng đứng*. Dù hai từ “sóng” và “đứng” dường như đối lập nhau, nhưng khi kết hợp với nhau thành một khái niệm thống nhất thì khái niệm này có thể được dùng để diễn tả kết quả của sự chồng chập của hai sóng.

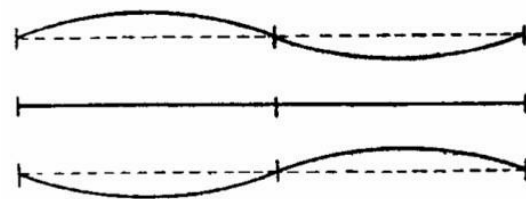
Thí dụ đơn giản nhất của sóng đứng là sự chuyển động lên xuống của một đoạn dây có hai đầu được giữ chặt như trong hình vẽ.



Chuyển động này là kết quả thu được khi hai sóng lan truyền theo hướng đối nghịch và chồng chập lên nhau. Chuyển động của sóng đứng có đặc tính là duy nhất hai đầu cuối của đoạn dây là đứng yên, được gọi là các *nút sóng*. Ta có thể nói sóng đứng yên ở giữa hai nút này và tất cả các điểm trên đoạn dây đều đạt tới độ lệch cực đại và độ lệch cực tiểu của chúng một

cách đồng thời.

Nhưng đây chỉ là một loại sóng đứng đơn giản nhất, chúng ta còn có nhiều loại khác. Thí dụ như sóng đứng có thể có ba nút sóng, hai ở hai đầu và một ở giữa. Trong trường hợp này ta có ba điểm luôn nằm yên. Trên những hình sau, ta có thể thấy bước sóng chỉ còn phân nửa so với một sóng đứng có hai nút.



Cũng tương tự như thế, các sóng đứng khác có thể có đến bốn, năm hay nhiều nút sóng hơn. Bước sóng trong mỗi trường hợp sẽ tùy thuộc vào số lượng nút sóng. Số nút sóng chỉ có thể là số nguyên và chỉ có thể thay đổi theo từng bậc.

Câu nói “số nút của một sóng đứng là 3,576” là hoàn toàn vô nghĩa. Như thế bước sóng cũng chỉ có thể thay đổi một cách không liên tục. Trong vấn đề rất cổ điển này, chúng ta lại nhận ra những nét tương đồng với thuyết lượng tử. Thật ra, sóng đứng tạo nên bởi một người chơi đàn vĩ cầm còn phức tạp hơn nhiều vì nó được hòa trộn từ rất nhiều sóng với hai, ba, bốn, năm hay nhiều nút sóng hơn nữa, như vậy ta có sự hòa trộn nhiều bước sóng khác nhau. Vật lý học có thể phân tích sự hòa trộn như thế thành ra nhiều sóng đứng đơn giản. Hay với thuật ngữ trước đây, chúng ta có thể nói rằng sự dao động của dây đàn vĩ cầm cũng chứa đựng phổ của nó giống như một nguyên tử phát ra bức xạ. Và cũng như quang phổ của một nguyên tử, chỉ có một số bước sóng là được phép, còn tất cả các bước sóng khác đều bị cấm.

Như vậy chúng ta đã khám phá ra vài điểm tương đồng giữa sợi dây đàn dao động và nguyên tử phát ra bức xạ. Dù sự tương đồng này tỏ ra khá lạ lùng, nhưng chúng ta hãy cố tìm thêm những kết luận từ sự tương đồng này và tiếp tục cố gắng thực hiện việc so sánh này. Các nguyên tử của từng nguyên tố cấu tạo từ những hạt cơ bản, những hạt nặng hơn tạo thành hạt nhân và những hạt nhẹ hơn chính là những electron. Một hệ thống các hạt như thế sẽ hoạt động như một dụng cụ âm thanh tí hon phát ra những sóng đứng.

Sóng đứng là kết quả của sự giao thoa của hai hay thậm chí rất nhiều sóng đang lan truyền. Nếu sự tương đồng của chúng ta có phần đúng thì phải có một thực thể nào đó còn đơn giản hơn một nguyên tử để có thể tương ứng với sóng lan truyền. Vậy thực thể đơn giản nhất là gì? Trong thế giới vật chất của chúng ta, không có gì đơn giản hơn một electron, một hạt sơ cấp không chịu tác dụng của bất kỳ lực nào, có nghĩa là nó hoặc đang đứng yên hoặc đang chuyển động đều. Chúng ta có thể dự đoán thêm một liên kết nữa trong chuỗi mắt xích của sự tương đồng: *Electron chuyển động đều* → *Sóng có bước sóng xác định*. Đây là ý tưởng mới và táo bạo của de Broglie.

Trước đây chúng ta thấy những hiện tượng về tính chất sóng của ánh sáng và cả những hiện tượng khác về tính chất hạt của ánh sáng. Sau khi chúng ta thích nghi với ý tưởng cho rằng bản chất của ánh sáng là sóng, chúng ta lại vô cùng ngạc nhiên khi thấy rằng ánh sáng hoạt động như mưa photon trong một vài trường hợp khác, ví dụ như hiệu ứng quang điện. Hiện nay, chúng ta lại trong tình trạng đối nghịch đối với những vấn đề của electron. Chúng ta đã quen thuộc với ý tưởng cho rằng electron là hạt, là lượng tử sơ cấp của điện và vật chất. Điện tích và khối lượng của nó đã được nghiên cứu kỹ lưỡng. Nếu ý tưởng của de Broglie có phần nào là sự thật thì phải có một vài hiện tượng nào đó biểu lộ bản chất tương tự như sóng của vật chất. Đầu tiên, kết luận này đến từ sự tương đồng với âm thanh, một kết luận dường như rất lạ lùng và khó hiểu. Làm thế nào để một hạt chuyển động lại liên quan đến sóng? Nhưng đây không phải là lần đầu tiên mà chúng ta phải đối diện với một khó khăn như thế trong vật lý. Chúng ta cũng đã gặp cùng một vấn đề trong lĩnh vực các hiện tượng của ánh sáng.

Các ý tưởng cơ bản đóng vai trò thiết yếu trong việc hình thành một lý thuyết vật lý. Các bộ sách về vật lý luôn đầy ắp các công thức toán học phức tạp. Nhưng khởi nguồn của mỗi lý

thuyết vật lý đều đến sự suy tư, từ các ý tưởng chứ không phải từ những công thức. Sau đó, các ý tưởng này phải được diễn đạt dưới hình thức toán học của một lý thuyết có tính định lượng để có thể được so sánh với thực nghiệm. Điều này có thể giải thích bằng một thí dụ về vấn đề mà chúng ta đang quan tâm. Phỏng đoán chính của chúng ta là cho rằng electron chuyển động đều sẽ biểu lộ tính chất sóng trong một vài hiện tượng nào đó. Chúng ta giả định một electron hay một cơn mưa electron và tất cả các electron đều chuyển động đều với cùng vận tốc. Khối lượng, điện tích và vận tốc của từng electron đều đã biết. Nếu chúng ta muốn liên kết theo cách thức nào đó khái niệm sóng với một hay nhiều electron chuyển động đều, thì câu hỏi kế tiếp của chúng ta phải là: Bước sóng của electron là gì? Đây là một câu hỏi định lượng, cho nên một lý thuyết mang ít nhiều tính định lượng cần được thiết lập để trả lời câu hỏi này. Đây chỉ là một việc đơn giản. Công trình của de Broglie có thể đưa ra lời giải đáp cho câu hỏi này. Sự đơn giản về khía cạnh toán học của công trình này làm chúng ta phải ngạc nhiên. Khi so sánh với những phương pháp toán học rất phức tạp của những lý thuyết vật lý cùng thời, các công thức của de Broglie thật sự rất đơn giản. Phương pháp toán học cho lời giải của vấn đề sóng vật chất thật sự rất cơ bản và đơn giản, nhưng những ý tưởng nền tảng lại hết sức sâu sắc và có ảnh hưởng rất lớn.

Trước đây, trong trường hợp sóng ánh sáng và các photon, tất cả các luận cứ đã được thiết lập theo ngôn ngữ của sóng có thể chuyển đổi thành ngôn ngữ của photon hay hạt ánh sáng. Điều này cũng đúng đối với sóng electron. Đối với các electron chuyển động đều, chúng ta đã biết đến ngôn ngữ hạt. Nhưng từng ý tưởng được diễn đạt trong ngôn ngữ hạt lại có thể được chuyển đổi sang ngôn ngữ sóng, giống như trong trường hợp của photon. Chúng ta có hai manh mối cho việc thiết lập các quy tắc chuyển đổi. Một là sự tương tự giữa sóng ánh sáng và sóng electron hay giữa photon và electron: Chúng ta sẽ cố gắng sử dụng cùng một phương pháp chuyển đổi cho vật chất và cho ánh sáng. Hai là chúng ta có thuyết tương đối hẹp: Các định luật của tự nhiên phải bất biến đối với phép biến đổi Lorentz nhưng không đối với phép biến đổi cổ điển. Sự kết hợp của hai manh mối này dẫn đến việc xác định bước sóng của một electron đang chuyển động. Lý thuyết đã tính ra được một cách rất đơn giản bước sóng của một electron đang chuyển động. Với vận tốc chuyển động của một electron khoảng 16.000 km trong một giây, ta có bước sóng của electron nằm trong khoảng bước sóng của tia X. Do vậy chúng ta có thể kết luận thêm rằng nếu muốn phát hiện bản chất sóng của vật chất, chúng ta phải có những điều kiện thực nghiệm tương tự theo cách thức đối với tia X.

Chúng ta hãy tưởng tượng có một tia electron chuyển động đều với một vận tốc xác định, hay theo thuật ngữ sóng, ta có một sóng electron đơn sắc. Chúng ta hãy tưởng tượng thêm rằng sóng electron bắn lên một lớp tinh thể rất mỏng có vai trò như một mạng lưới nhiễu xạ. Khoảng cách giữa các vật cản trong một tinh thể là vô cùng nhỏ để có thể gây nên hiện tượng nhiễu xạ tia X. Ta có thể chờ đợi một hiệu ứng tương tự đến từ sóng electron có bước sóng gần giống với tia X. Chúng ta sẽ dùng một tấm kính ảnh để ghi lại sự nhiễu xạ của các sóng electron sau khi đi qua một lớp tinh thể mỏng. Thí nghiệm này đã thật sự đem đến cho ta một trong những thành tựu vĩ đại không thể nghi ngờ của lý thuyết này: Hiện tượng nhiễu xạ của sóng electron. Sự tương tự của hiện tượng nhiễu xạ của tia X và sóng electron có thể nhận thấy rất rõ ràng khi ta so sánh các bức ảnh trong trang ảnh III. Chúng ta đã thấy rằng những bức ảnh này có thể giúp chúng ta xác định được bước sóng của tia X. Ta cũng có điều tương tự đối với sóng electron. Ảnh nhiễu xạ cho ta thấy bước sóng của một sóng vật chất và cũng cho ta sự phù hợp hoàn hảo về tính định lượng giữa lý thuyết và thực nghiệm. Điều này khẳng định chuỗi lập luận của chúng ta một cách tuyệt vời.

Tuy thế, thành quả này chỉ nói rộng và đào sâu thêm những khó khăn trước đây của chúng ta. Chúng ta sẽ thấy điều này rõ ràng hơn với một thí dụ giống như trong trường hợp với sóng ánh sáng. Một electron được bắn vào một lỗ kim rất nhỏ sẽ uốn cong như một sóng ánh sáng và tạo nên những vòng sáng và tối trên một kính ảnh. Chúng ta có lẽ còn một vài hy vọng để giải thích hiện tượng này bằng sự tương tác giữa electron và mép lỗ kim, dù rằng sự giải thích này dường như không có nhiều hứa hẹn. Nhưng điều gì xảy ra khi có đến hai lỗ kim? Những vạch sáng và tối xuất hiện thay vì những vòng sáng và tối. Điều gì làm thay đổi hoàn toàn hiệu ứng này khi xuất hiện lỗ kim thứ hai? Electron không thể được chia nhỏ và cũng chỉ có thể đi xuyên qua

một trong hai lỗ kim. Làm sao một electron khi xuyên qua một lỗ kim lại “biết đến” sự tồn tại của lỗ kim khác cách đây một quãng?

Trước đây chúng ta đã hỏi: Ánh sáng là gì? Ánh sáng là một cơn mưa hạt hay là sóng? Bây giờ chúng ta lại hỏi: Vật chất là gì, electron là gì? Electron là hạt hay là sóng? Khi chuyển động trong một điện trường hay một từ trường, electron có tính chất hạt nhưng nó lại biểu lộ bản chất sóng khi nhiễu xạ với một tinh thể. Khi nghiên cứu các lượng tử sơ cấp của vật chất, chúng ta cũng gặp phải cùng một khó khăn như trong trường hợp lượng tử ánh sáng. Một trong những câu hỏi cơ bản nhất xuất hiện trong những tiến bộ gần đây của nền khoa học là làm sao có thể kết hợp được hai quan điểm trái ngược nhau về vật chất và sóng. Đây chính là một trong những khó khăn cốt yếu của khoa học, nhưng một khi đã được đặt ra, dù sớm hay muộn cũng sẽ đem đến những tiến bộ to lớn cho sự phát triển của khoa học. Những nhà vật lý đã cố gắng giải quyết vấn đề này. Tuy nhiên, tương lai sẽ quyết định liệu các giải pháp được đưa ra bởi vật lý học hiện đại là bền vững hay chỉ là tạm thời.

SÓNG XÁC SUẤT

Trong cơ học cổ điển, nếu biết vị trí, vận tốc của một chất điểm và dĩ nhiên cả những tác động của ngoại lực, chúng ta có thể tiên đoán toàn bộ quỹ đạo của chất điểm. Câu nói: “Chất điểm có vị trí này và vận tốc như thế kia ở vào một thời điểm nào đó” có một ý nghĩa rõ ràng trong cơ học cổ điển. Nếu điều khẳng định trên mất đi ý nghĩa thì những dự đoán của chúng ta về các sự kiện trong tương lai sẽ trở nên vô nghĩa.

Trong đầu thế kỷ thứ mười chín, các nhà khoa học đã cố gắng quy các hiện tượng vật lý về các lực đơn giản tác động lên các chất điểm có vị trí và vận tốc xác định tại bất kỳ thời điểm nào. Chúng ta hãy nhắc lại quá trình mô tả về chuyển động khi chúng ta vừa mới bắt đầu chuyển du hành vào thế giới của những vấn đề vật lý. Chúng ta đã vẽ nhiều điểm dọc theo con đường di chuyển, các điểm này là những vị trí chính xác của vật thể vào những thời điểm nào đó và các vectơ tiếp tuyến của các điểm này cho chúng ta biết được hướng và cường độ vận tốc của vật thể tại các điểm đó. Đây là phương pháp đơn giản và có tính thuyết phục, tuy nhiên nó lại không thể áp dụng cho các lượng tử sơ cấp của vật chất như electron hay cho các lượng tử của năng lượng như photon. Chúng ta không thể mô tả quỹ đạo của một electron hay một photon theo cách mà chúng ta đã mô tả những chuyển động trong cơ học cổ điển. Thí dụ về hai lỗ kim đã cho chúng ta thấy rõ ràng điều này. Dường như electron và photon đi xuyên qua cả hai lỗ kim. Chúng ta không thể giải thích hiện tượng này nếu mô tả đường đi của một electron hay một photon theo phương pháp cổ điển.

Dĩ nhiên chúng ta phải giả định sự có mặt các tác động sơ cấp như việc các electron hay photon đi xuyên qua các lỗ kim. Không thể nghi ngờ gì về sự tồn tại của các lượng tử sơ cấp của vật chất và năng lượng. Tuy nhiên, chúng ta lại không thể thiết lập các định luật sơ cấp bằng cách thức đơn giản của cơ học cổ điển để xác định vị trí và vận tốc vào một thời điểm bất kỳ.

Vì vậy chúng ta hãy thử nghiệm theo cách khác. Chúng ta hãy liên tục lặp lại cùng một quá trình sơ cấp. Từng electron lần lượt được bắn đi theo hướng của hai lỗ kim. Chúng ta chỉ nói ở đây về electron để đơn giản hóa vấn đề, nhưng lập luận của chúng ta cũng có giá trị cho các photon.

Cùng một thí nghiệm được lặp đi lặp lại theo cùng một cách thức chính xác; các electron này đều có cùng vận tốc và di chuyển theo hướng của hai lỗ kim. Chúng ta phải chú ý rằng đây chỉ là một thí nghiệm lý tưởng, dù không thể thực hiện được nhưng chúng ta có thể tưởng tượng được. Chúng ta không thể bắn đi từng photon hay từng electron vào từng thời điểm nhất định giống như bắn các viên đạn từ một khẩu súng.

Kết quả của các thí nghiệm lặp lại vẫn là sự xuất hiện các vòng sáng và tối với một lỗ kim và các vạch sáng và tối với hai lỗ kim. Tuy nhiên, chúng ta có một sự khác biệt cơ bản. Kết quả thực nghiệm cho trường hợp với một electron duy nhất lại rất khó hiểu. Thí nghiệm tỏ ra dễ hiểu hơn khi chúng được lặp lại nhiều lần. Giờ đây chúng ta có thể nói rằng các vạch sáng xuất hiện tại vị trí có nhiều electron bắn đến, các vạch sáng trở nên tối đi tại vị trí có ít electron bắn đến. Một điểm đen hoàn toàn có nghĩa là không có electron nào bắn đến đó cả. Dĩ nhiên chúng ta được phép giả định rằng tất cả các electron chỉ đi qua một lỗ kim duy nhất. Nếu điều này là thật thì việc che hay không che lỗ kim còn lại sẽ không đem lại bất cứ sự khác biệt nào dù là nhỏ nhất. Nhưng chúng ta đã biết rằng khi che lỗ thứ hai, chúng ta sẽ có một kết quả khác. Vì một hạt không thể được chia làm hai nên chúng ta không thể tưởng tượng rằng nó cùng lúc xuyên qua cả hai lỗ kim. Việc lặp lại nhiều lần cùng một thí nghiệm cho phép chúng ta có cách giải thích khác. Có thể có vài electron đi qua lỗ kim thứ nhất và một số electron khác đi qua lỗ kim thứ hai. Quả thật chúng ta không thể giải thích được vì sao mỗi electron riêng biệt lại chọn những lỗ kim riêng biệt. Tuy nhiên kết quả cuối cùng của các thí nghiệm lặp lại cho thấy cả hai lỗ kim đều góp phần trong việc chuyển tải các electron từ nguồn phát đến màn ảnh. Nếu chúng ta chỉ quan tâm đến những gì xảy ra đối với một nhóm electron trong những thí nghiệm được lặp lại và bỏ qua ảnh hưởng của từng electron riêng biệt, thì chúng ta sẽ hiểu được nguyên

nhân gây xuất hiện lúc thì các vạch, lúc thì các vòng sáng tối. Việc quan sát một chuỗi các thí nghiệm đã đem đến một ý tưởng mới về việc một nhóm các hạt riêng biệt biểu lộ theo một tính chất không thể biết trước. Chúng ta không thể tiên đoán được đường đi của từng electron, nhưng có thể tiên đoán được kết quả cuối cùng trên màn ảnh có các vạch tối và sáng.

Bây giờ chúng ta hãy tạm rời bỏ vật lý lượng tử trong chốc lát.

Như đã biết trong cơ học cổ điển, nếu ta biết vị trí và vận tốc của một chất điểm tại một thời điểm nhất định và các lực tác dụng lên nó, chúng ta có thể tiên đoán được quỹ đạo di chuyển của chất điểm đó trong tương lai. Chúng ta cũng đã nhận thấy quan điểm cơ học đã được áp dụng vào lý thuyết động học của vật chất như thế nào. Nhưng ngay cả lý thuyết này lại làm nảy sinh một ý tưởng mới từ chính những lập luận của chúng ta. Để có thể hiểu được dễ dàng các lập luận kế tiếp, chúng ta cần phải hiểu thông suốt ý tưởng này.

Chúng ta có một bình chứa khí. Nếu muốn nghiên cứu chuyển động của mỗi hạt, chúng ta phải biết được trạng thái ban đầu, đó là vị trí và vận tốc ban đầu của tất cả các hạt khí. Dù cho chúng ta có thể thực hiện được điều này, chúng ta sẽ mất cả đời người để ghi chép các kết quả vì số lượng các phần tử khí thật vô cùng khổng lồ. Nếu một người nào đó cố gắng dùng các phương pháp đã biết trong cơ học cổ điển để tính toán vị trí cuối cùng của các hạt khí, ông ta sẽ gặp phải những khó khăn không thể vượt qua được. Trên nguyên tắc, người ta có thể dùng phương pháp đã áp dụng để xác định quỹ đạo của các hành tinh, nhưng trong thực tế, điều này là vô nghĩa và phải nhường chỗ cho *phương pháp của thống kê*. Phương pháp này không cần biết một cách chính xác các trạng thái ban đầu. Chúng ta càng có ít thông tin về trạng thái của hệ thống vào một thời điểm xác định thì càng không thể phán đoán chính xác về quá khứ hay về tương lai của nó. Chúng ta không quan tâm đến số phận của từng hạt khí. Vấn đề của chúng ta có bản chất khác hẳn. Thí dụ: Chúng ta không hỏi “Vận tốc của từng hạt ở tại một thời là bao nhiêu?”, nhưng có thể hỏi “Có bao nhiêu hạt đạt tới vận tốc trong khoảng 1.000 bộ và 1.100 bộ mỗi giây?” Chúng ta không quan tâm đến từng hạt riêng biệt. Điều mà chúng ta muốn xác định đó là các trị số trung bình điển hình cho cả tập hợp. Phương pháp thống kê dĩ nhiên chỉ cho ta kết quả hữu ích khi hệ thống đang xét bao gồm rất nhiều phần tử riêng biệt.

Khi ứng dụng phương pháp thống kê, chúng ta không thể tiên đoán được diễn biến của mỗi phần tử riêng lẻ trong một tập hợp. Chúng ta chỉ có thể nói trước khả năng, hay còn gọi là *xác suất*, rằng điều đó sẽ diễn biến theo một cách thức đặc biệt nào đó. Nếu các định luật thống kê cho biết rằng một phần ba số hạt có vận tốc trong khoảng 1.000 bộ và 1.100 bộ mỗi giây, thì điều này có nghĩa là nếu chúng ta lặp lại sự quan sát trên rất nhiều hạt, chúng ta sẽ thật sự có được kết quả trung bình, hay nói cách khác, xác suất để chúng ta tìm thấy một phần tử nằm bên trong hai giới hạn này là một phần ba.

Tương tự như thế, khi biết tỷ lệ sinh đẻ của một cộng đồng lớn không có nghĩa là chúng ta biết được một gia đình nào đó may mắn có một đứa trẻ. Điều này có nghĩa là con số này chỉ là một kết quả thống kê và sự góp phần của các cá thể hoàn toàn không có ý nghĩa.

Khi chúng ta quan sát biến số xe của một số lượng lớn xe hơi, chúng ta sẽ thấy rằng một phần ba các con số này chia hết cho ba. Nhưng chúng ta không thể đoán được chiếc xe sắp chạy qua sẽ có số xe chia hết cho ba hay không. Các định luật thống kê chỉ có thể áp dụng cho những tập hợp lớn chứ không thể cho những thành phần riêng lẻ của tập hợp này.

Bây giờ chúng ta có thể trở lại với vấn đề lượng tử.

Các định luật của vật lý lượng tử đều mang tính chất thống kê. Điều này có nghĩa là: Các định luật này không liên quan đến một hệ đơn lẻ mà liên quan đến tập hợp của những hệ đồng nhất. Chúng không thể được kiểm chứng bằng những phép đo cho từng phần tử riêng biệt mà phải bằng một chuỗi lặp lại của các phép đo.

Sự phân rã phóng xạ là một trong các sự kiện mà vật lý lượng tử cố gắng thiết lập các định luật chi phối sự chuyển đổi tự phát từ nguyên tố này thành nguyên tố khác. Thí dụ sau khoảng 1.600 năm, một gam radium sẽ có nửa gam bị phân rã và chỉ còn lại nửa gam. Chúng ta có thể dự đoán số nguyên tử bị phân rã trong nửa giờ tới, nhưng lại không thể biết được, ngay với sự mô tả lý thuyết, tại sao chỉ duy nhất những nguyên tử này bị phân rã. Với những kiến thức hiện tại, chúng ta chưa có khả năng chỉ rõ những nguyên tử riêng biệt nào sẽ bị phân rã. Số phận của

một nguyên tử không tùy thuộc tuổi tác của nó. Chúng ta vẫn chưa hề có bất kỳ dấu vết nào, dù là nhỏ nhất, về định luật chi phối diễn biến của từng nguyên tử. Người ta chỉ có thể thiết lập các định luật thống kê chi phối những tập hợp lớn của nguyên tử.

Chúng ta hãy lấy một thí dụ khác. Một khí phát sáng của một nguyên tố bất kỳ khi được đặt trước một kính quang phổ sẽ cho ta những vạch sáng có bước sóng xác định. Sự xuất hiện của một nhóm các bước sóng xác định và không liên tục là đặc trưng của những hiện tượng thuộc về nguyên tử bộc lộ sự tồn tại của các lượng tử sơ cấp. Tuy nhiên, chúng ta còn có một khía cạnh khác trong vấn đề này. Một vài vạch quang phổ rất rõ ràng, sắc nét trong khi đó một vài vạch khác lại mờ nhạt hơn. Một vạch sắc nét ứng với sự phóng thích của một lượng tương đối lớn các photon ứng với bước sóng đặc thù đó, một vạch mờ nhạt ứng với sự phóng thích của một lượng tương đối ít các photon có bước sóng tương ứng. Lý thuyết vẫn chỉ cung cấp cho chúng ta những dữ kiện mang tính thống kê. Mỗi vạch ứng với sự chuyển đổi từ mức năng lượng cao sang mức năng lượng thấp. Lý thuyết cũng chỉ cho chúng ta biết xác suất xảy ra những chuyển đổi này, nhưng lại không thể xác định sự chuyển đổi thật sự của từng nguyên tử riêng biệt. Lý thuyết này có hiệu lực tốt vì các hiện tượng trên đều xảy ra trong các tập hợp lớn chứ không phải trong mỗi phần tử riêng lẻ.

Dường như vật lý lượng tử hiện đại có phần tương tự với thuyết động học của vật chất, bởi vì cả hai lý thuyết đều có bản chất mang tính thống kê và liên quan đến những tập hợp lớn. Nhưng thật ra không phải thế! Trong sự tương tự này, điều quan trọng nhất không phải chỉ hiểu được những điểm tương đồng mà chính là phải hiểu được những điểm khác biệt. Sự tương đồng giữa thuyết động học và vật lý lượng tử chính là tính chất thống kê. Nhưng đâu là những điểm khác biệt?

Nếu chúng ta muốn biết có bao nhiêu nam và nữ trên hai mươi tuổi sống trong một thành phố, chúng ta phải yêu cầu mỗi người dân trong thành phố điền vào mục “nam”, “nữ” và “tuổi” trên một phiếu phỏng vấn. Khi mỗi câu trả lời đều đúng, chúng ta sẽ có một kết quả thống kê sau khi đếm và tách riêng các câu trả lời này. Chúng ta không cần quan tâm đến tên và địa chỉ của từng người. Tuy nhiên, chúng ta lại có được kết quả thống kê từ sự hiểu biết của từng trường hợp. Cũng giống như thế, trong thuyết động học của vật chất, chúng ta có những định luật có hiệu lực cho tập hợp, những định luật này đều dựa trên những định luật riêng lẻ.

Nhưng tình huống này hoàn toàn khác hẳn đối với vật lý lượng tử. Ở đây định luật thống kê được thiết lập ngay lập tức mà không cần đến các định luật riêng lẻ. Trong thí dụ một photon hay một electron và hai lỗ kim, chúng ta thấy rằng chúng ta không thể mô tả chuyển động có thể được của các hạt sơ cấp trong không gian và thời gian tương tự như trong vật lý cổ điển. Vật lý lượng tử từ bỏ hoàn toàn các định luật riêng lẻ cho các hạt sơ cấp và thiết lập một cách *trực tiếp* các định luật thống kê có hiệu lực cho tập hợp. Không như trong vật lý cổ điển, vật lý lượng tử không thể mô tả vị trí và vận tốc của một hạt sơ cấp hay tiên đoán quỹ đạo kế tiếp của nó. Vật lý lượng tử chỉ làm việc với các tập hợp, các định luật của nó chỉ có hiệu lực trên số đông chứ không cho từng trường hợp riêng lẻ.

Sự cần thiết thay đổi tư duy cổ điển xuất phát từ một nhu cầu thật sự quan trọng chứ không phải đến từ sự ước đoán hay đòi hỏi những điều mới lạ. Hiện tượng nhiễu xạ cũng chính là một thí dụ điển hình về những khó khăn trong việc ứng dụng lý thuyết cũ. Tuy nhiên, người ta còn có thể đưa ra rất nhiều trường hợp khác cũng rất đáng thuyết phục. Việc liên tục thay đổi tư duy là nhân tố không thể thiếu trong nỗ lực tìm hiểu sự thật. Tuy nhiên, cũng chỉ có tương lai mới quyết định được liệu chúng ta đã thật sự chọn được một lối thoát duy nhất hay không và liệu chúng ta có thể tìm được một giải pháp tốt hơn cho những khó khăn của chúng ta hay không.

Chúng ta đã phải từ bỏ việc mô tả từng trường hợp riêng biệt như những sự kiện xảy ra một cách khách quan, độc lập trong không gian và thời gian, thay vào đấy, chúng ta phải đưa vào các định luật có tính thống kê. Đây là những đặc điểm chính của vật lý lượng tử hiện đại.

Trước đây, khi đưa vào những thực tại vật lý mới, như trường điện từ và trường hấp dẫn, chúng ta luôn phác thảo những nét đặc trưng chung của các phương trình theo một hình thức tổng quát mà thông qua đó các ý tưởng đã được trình bày bằng toán học. Chúng ta sẽ thực hiện

điều này với vật lý lượng tử dựa trên những trich dẫn ngắn gọn của các công trình của Bohr, de Broglie, Schrödinger, Heisenberg,[\[31\]](#) Dirac[\[32\]](#) và Born.[\[33\]](#)

Chúng ta hãy xét trường hợp một electron. Electron này có thể hoặc chịu ảnh hưởng bởi một trường điện từ bên ngoài hoặc không chịu bất kỳ ảnh hưởng nào đến từ bên ngoài. Nó có thể chuyển động trong trường của một nhân nguyên tử, hay cũng có thể nhiễu xạ trên một tinh thể. Vật lý lượng tử luôn dạy cho chúng ta cách thiết lập các phương trình toán học như thế nào cho bất kỳ trường hợp nào của các vấn đề này.

Chúng ta đã nhận thấy sự tương đồng giữa một mặt là một nguyên tử phát bức xạ và mặt khác là một dây đàn rung động, màng của một cái trống, một nhạc khí thổi hay bất cứ thiết bị âm thanh nào khác. Chúng ta cũng có một vài điểm tương đồng giữa các phương trình toán học có hiệu lực cho các vấn đề âm thanh và các vấn đề vật lý lượng tử. Nhưng sự mô tả vật lý cho các đại lượng được xác định trong hai trường hợp trên là hoàn toàn khác nhau. Những đại lượng vật lý mô tả dây đàn dao động và những đại lượng vật lý mô tả nguyên tử phát xạ có ý nghĩa hoàn toàn khác nhau, mặc dù những phương trình toán học của chúng có một vài hình thức giống nhau. Trong trường hợp sợi dây đàn, chúng ta quan tâm đến sự lệch của một điểm bất kỳ trên dây đàn khỏi vị trí bình thường của nó tại một thời điểm bất kỳ. Nếu chúng ta biết được hình dạng của dây đàn đang dao động vào một thời điểm xác định, chúng ta sẽ biết tất cả những gì cần biết. Từ những phương trình toán học của dây đàn dao động, chúng ta có thể tính được độ lệch khỏi vị trí bình thường vào bất kỳ thời điểm nào. Sự lệch từ vị trí bình thường của sợi dây đàn tương ứng với tất cả các điểm trên dây đàn có thể được trình bày một cách chính xác hơn như sau: Vào bất cứ thời điểm nào, sự lệch khỏi vị trí bình thường là *hàm số* của các tọa độ của dây đàn. Tất cả các điểm trên dây đàn hình thành một miền liên tục một chiều và sự lệch là một hàm số được xác định trong miền liên tục một chiều này và có thể được tính toán bằng những phương trình của dây đàn dao động.

Tương tự như thế cho trường hợp một electron, đối với bất kỳ điểm nào trong không gian tại bất kỳ thời điểm nào, ta đều có một hàm số xác định. Chúng ta gọi hàm số này là *sóng xác suất*. Tương tự, chúng ta có sóng xác suất tương ứng với sự lệch khỏi vị trí bình thường trong vấn đề âm học. Vào một thời điểm nhất định, sóng xác suất là một hàm số của một miền liên tục ba chiều, trong khi đó trong trường hợp của dây đàn, sự lệch của dây đàn vào một thời điểm nhất định là một hàm số của một miền liên tục một chiều. Sóng xác suất hình thành một danh mục chứa đựng tất cả những hiểu biết của chúng ta về hệ thống lượng tử đang được xem xét, nó giúp chúng ta có thể trả lời các câu hỏi có tính thống kê cụ thể liên quan đến hệ thống. Sóng xác suất không cho chúng ta biết vị trí và vận tốc của một electron vào thời điểm bất kỳ, vì một câu hỏi như thế là hoàn toàn vô nghĩa đối với vật lý lượng tử. Nhưng nó sẽ cho chúng ta biết xác suất để gặp một electron ở một vị trí đặc biệt nào đó hay nơi nào có cơ hội nhiều nhất để gặp một electron. Kết quả được tham khảo không chỉ từ một mà từ việc lặp lại của rất nhiều phép đo. Như thế, những phương trình của vật lý lượng tử sẽ xác định sóng xác suất, cũng như phương trình Maxwell xác định trường điện từ hay phương trình hấp dẫn xác định trường hấp dẫn. Các định luật của vật lý lượng tử vẫn là các định luật cấu trúc. Ý nghĩa của các khái niệm vật lý được xác định từ các phương trình của vật lý lượng tử còn trừu tượng hơn nhiều so với trường hợp của trường điện từ và trường hấp dẫn. Các khái niệm này chỉ là những phương tiện toán học dùng để trả lời các vấn đề có tính thống kê.

Cho đến bây giờ, chúng ta chỉ thảo luận về một electron dưới tác dụng của một trường bên ngoài. Nếu thay vì electron này, điện tích nhỏ nhất mà ta có thể có, ta có một số lượng điện tích đáng kể gồm hàng tỉ electron, chúng ta có thể quên đi vật lý lượng tử và giải quyết các vấn đề bằng các phương pháp vật lý thông thường có trước sự ra đời của vật lý lượng tử. Khi nói về những dòng điện trong một dây điện, về một vật dẫn đã được nạp điện, về các sóng điện từ, chúng ta có thể ứng dụng các ý tưởng vật lý cũ chứa đựng trong các phương trình Maxwell. Nhưng chúng ta không thể làm như thế đối với các hiện tượng mang tính lượng tử của vật chất và của năng lượng, ví dụ như hiệu ứng quang điện, cường độ của các vạch quang phổ, hiện tượng phóng xạ, sự nhiễu xạ của sóng electron và nhiều hiện tượng khác nữa. Vì thế ta có thể nói rằng, chúng ta phải bước lên một nấc cao hơn. Trước kia trong vật lý cổ điển, chúng ta đã tìm hiểu về vị trí và vận tốc của một hạt, hiện nay chúng ta phải xem xét vấn đề của chính hạt

này bằng các sóng xác suất trong một miền liên tục ba chiều.

Vật lý lượng tử có những quy định riêng của nó để giải quyết một vấn đề, các quy định này có tính chất hoàn toàn khác với các quy định mà chúng ta đã biết để giải quyết các vấn đề tương tự bằng quan điểm của vật lý cổ điển.

Đối với một hạt sơ cấp như electron hay photon, chúng ta có những sóng xác suất trong một miền liên tục ba chiều. Những sóng xác suất này mô tả tính chất thống kê của hệ thống khi những thực nghiệm được lặp lại nhiều lần. Nhưng điều gì sẽ xảy ra khi chúng ta không chỉ có một mà đến hai hạt tương tác lẫn nhau, thí dụ như hai electron, một electron và một photon hay một electron và một nhân nguyên tử. Do sự tương tác lẫn nhau, chúng ta không thể xem hai hạt này một cách độc lập và mô tả mỗi một hạt bằng một sóng xác suất ba chiều. Thật không quá khó để đoán ra phương pháp mô tả một hệ gồm hai phần tử tương tác nhau trong vật lý lượng tử. Bây giờ chúng ta hãy bước xuống một nấc và trở về với vật lý cổ điển trong chốc lát. Vị trí của hai chất điểm trong không gian vào thời điểm bất kỳ được xác định bằng sáu con số vì mỗi điểm được xác định bởi ba con số. Tất cả vị trí có thể có của hai chất điểm hình thành một miền liên tục sáu chiều chứ không còn là ba chiều như trong trường hợp một chất điểm. Bây giờ chúng ta bước trở lên một nấc để trở về với vật lý lượng tử. Chúng ta sẽ có những sóng xác suất trong một miền liên tục sáu chiều chứ không phải một miền liên tục ba chiều như trong trường hợp một hạt duy nhất. Cũng tương tự như thế đối với ba, bốn và nhiều phần tử hơn nữa, các sóng xác suất sẽ là những hàm số trong một miền liên tục của chín chiều, mười hai chiều hay nhiều hơn nữa.

Điều này cho thấy các sóng xác suất trừu tượng hơn so với sự tồn tại và trải dài của trường điện từ và trường hấp dẫn trong không gian ba chiều của chúng ta. Miền liên tục nhiều chiều hình thành nền tảng cơ bản cho sóng xác suất, chỉ khi ta xét một hạt duy nhất thì số chiều của sóng xác suất mới bằng với số chiều trong không gian vật chất. Đặc điểm vật lý duy nhất của sóng xác suất đó là nó giúp chúng ta có thể trả lời các câu hỏi cụ thể có tính chất thống kê cho trường hợp nhiều hạt cũng như trường hợp chỉ có một hạt. Như vậy đối với một electron, chúng ta có thể hỏi về xác suất để bắt gặp một electron ở một vài vùng đặc thù nào đó. Đối với hai electron, chúng ta có thể đặt câu hỏi: Xác suất để bắt gặp hai electron ở hai vùng xác định vào một thời điểm nào đó là bao nhiêu?

Khi chúng ta từ bỏ việc mô tả các trường hợp đơn lẻ như những sự kiện khách quan trong không gian và thời gian, thì đó cũng chính là bước đầu tiên mà chúng ta tách rời khỏi vật lý cổ điển. Chúng ta bắt buộc phải áp dụng phương pháp thống kê có từ sóng xác suất. Một khi đã chọn con đường này, chúng ta bị bắt buộc phải tiến sâu hơn vào sự trừu tượng. Như thế chúng ta buộc phải sử dụng sóng xác suất nhiều chiều để có thể giải đáp các vấn đề của nhiều hạt.

Để đơn giản hơn, chúng ta gọi những vấn đề không thuộc vật lý lượng tử là vật lý cổ điển. Vật lý cổ điển và vật lý lượng tử là hai khái niệm hoàn toàn khác biệt. Vật lý cổ điển hướng vào sự mô tả các vật thể tồn tại trong không gian, vào việc thiết lập các định luật chi phối sự thay đổi của các vật thể này theo thời gian. Tuy nhiên, chúng ta buộc phải từ bỏ tư duy này với các hiện tượng biểu lộ bản chất hạt và sóng của vật chất và của bức xạ, với các tính chất thống kê của những biến cố sơ cấp như sự phân rã có tính phóng xạ, sự nhiễu xạ, sự phóng thích các vạch quang phổ và nhiều hiện tượng khác. Vật lý lượng tử không nhằm mục đích mô tả các vật thể đơn lẻ trong không gian hay sự thay đổi của chúng theo thời gian. Trong vật lý lượng tử, không có chỗ đứng cho một phát biểu như: "Vật thể này là thế này, hay nó có tính chất như thế kia." Thay vì thế chúng ta có thể nói rằng: "Có một xác suất nào đó cho biết vật thể riêng lẻ là như thế này và có đặc tính như thế kia." Trong vật lý lượng tử, không có chỗ đứng cho các định luật chi phối những sự thay đổi theo thời gian của vật thể riêng lẻ. Thay vào đó, chúng ta có những định luật chi phối những thay đổi theo thời gian của xác suất. Thuyết lượng tử đã đem đến cho vật lý những thay đổi cơ bản này, nó đã cho chúng ta những giải thích đúng đắn về tính chất thống kê và tính không liên tục của những sự kiện trong thế giới các hiện tượng có biểu lộ sự tồn tại của các lượng tử sơ cấp của vật chất và bức xạ.

Vấn đề vừa mới xuất hiện còn khó khăn hơn và hiện vẫn chưa có một giải pháp hoàn chỉnh. Chúng ta cũng sẽ đề cập đến một vài vấn đề chưa được giải quyết. Khoa học tự nhiên sẽ không và không bao giờ là một cuốn sách khép kín. Mỗi bước tiến quan trọng lại đem đến những câu

hỏi mới. Mỗi sự phát triển lại làm lộ ra những khó khăn mới nặng nề hơn.

Chúng ta đã biết rằng trong trường hợp đơn giản với một hay nhiều hạt, chúng ta có thể đi từ sự mô tả theo vật lý cổ điển đến sự mô tả theo thuyết lượng tử, từ sự mô tả khách quan các biến cố trong không gian và thời gian đến các sóng xác suất. Nhưng chúng ta hãy ghi nhớ khái niệm trường, một khái niệm cực kỳ quan trọng trong vật lý cổ điển. Làm sao chúng ta có thể mô tả sự tương tác giữa các lượng tử sơ cấp của vật chất và trường? Nếu ta cần một sóng xác suất với ba mươi chiều để mô tả mười hạt, thì để mô tả trường theo cách thức của thuyết lượng tử, chúng ta cần một sóng xác suất có số chiều vô cực. Sự chuyển đổi từ khái niệm trường trong vật lý cổ điển sang vấn đề tương ứng của sóng xác suất trong vật lý lượng tử là một bước đi vô cùng khó khăn. Cho đến nay, tất cả những cố gắng để giải quyết vấn đề này vẫn coi như thất bại. Chúng ta cũng còn có một vấn đề cơ bản khác. Trong tất cả các lập luận của chúng ta về sự chuyển đổi từ vật lý cổ điển sang vật lý lượng tử, chúng ta đã dùng phương pháp mô tả cũ có trước thuyết tương đối, trong đó không gian và thời gian được xử lý theo cách khác nhau. Tuy nhiên, nếu chúng ta cố gắng đặt nền tảng những nhận thức cổ điển theo chiều hướng của thuyết tương đối thì việc tiếp cận vấn đề lượng tử càng trở nên phức tạp hơn. Đây là một vấn đề khác mà các nhà vật lý hiện đại muốn khắc phục, nhưng tới nay, một giải pháp trọn vẹn và có thể làm chúng ta hài lòng vẫn còn rất xa vời. Chúng ta vẫn còn một khó khăn tiếp theo khi xây dựng và phát triển một cách đúng đắn, logic cho vật lý các hạt nặng kiến tạo nên nhân nguyên tử. Dù thu thập được nhiều dữ liệu thực nghiệm và rất cố gắng làm sáng tỏ vấn đề hạt nhân, chúng ta vẫn còn mờ mịt về những câu hỏi rất cơ bản trong lĩnh vực này.

Không còn gì để nghi ngờ khi vật lý lượng tử đã giải thích được nhiều sự kiện rất đa dạng và đạt được sự phù hợp giữa lý thuyết và sự quan sát. Vật lý lượng tử hiện đại ngày càng tách xa chúng ta khỏi tư duy cơ học cũ và việc quay về vị trí cũ là một điều không thể. Nhưng điều không thể nghi ngờ chính là vật lý lượng tử vẫn phải dựa trên hai khái niệm về vật chất và trường. Do đó, vật lý lượng tử là một lý thuyết kép, hay còn gọi là thuyết nhị nguyên. Nó cũng không giúp chúng ta đến gần hiện thực hơn cho các vấn đề cũ, khi mà chúng ta muốn quy mọi quá trình, mọi sự vật về khái niệm trường.

Liệu rằng sự phát triển kế tiếp sẽ theo con đường mà vật lý lượng tử đã chọn hay sẽ có nhiều khả năng xuất hiện những ý tưởng mới mang tính cách mạng trong vật lý? Liệu con đường phát triển cũng sẽ có một bước ngoặt lớn như trước đây?

Trong vài năm qua, mọi những khó khăn của vật lý lượng tử tập trung quanh một vài điểm chính. Các nhà vật lý chờ đợi lời giải đáp của các vấn đề này một cách thiếu kiên nhẫn. Nhưng không ai có thể tiên đoán được khi nào và ở đâu các khó khăn này sẽ được làm sáng tỏ.

VẬT LÝ VÀ HIỆN THỰC

Đâu là những kết luận tổng quát có thể được rút ra từ sự phát triển của vật lý và từ những ý tưởng cơ bản nhất đã được đề cập đến trong quyển sách này?

Khoa học tự nhiên không phải là một bộ sưu tầm các định luật, cũng không phải là một bản danh mục liệt kê các sự kiện không liên hệ với nhau. Nó chính là sự sáng tạo của trí tuệ con người với những khái niệm và tư tưởng được phát minh một cách tự do. Các lý thuyết vật lý cố gắng kiến tạo hình ảnh của hiện thực và xây dựng mối liên hệ của nó với thế giới rộng mở của tri giác. Do vậy, sự đánh giá duy nhất cho các công trình tinh thần của chúng ta chính là việc các lý thuyết có tạo được mối liên hệ này hay không và nếu có thì theo cách nào.

Chúng ta đã thấy sự tiến bộ của vật lý đã tạo nên những hiện thực mới. Theo chuỗi mắt xích của sáng tạo này, chúng ta có thể trở về nơi còn xa hơn cả khởi điểm của vật lý học. Một trong những khái niệm nguyên thủy nhất chính là vật thể. Những khái niệm như “cây cối”, “con ngựa” hay bất kỳ vật thể vật chất nào đều là những sáng tạo mà con người có được dựa trên nền tảng của kinh nghiệm, dấu rằng những ấn tượng mà sự sáng tạo đặt làm nền tảng này vẫn còn thô sơ nếu so sánh với thế giới của những hiện tượng vật lý. Khi một con mèo đùa giỡn với một con chuột, nó thu lượm được một hiện thực sơ khởi bằng chính suy nghĩ của nó. Việc mà con mèo này luôn có cùng một phản ứng khi gặp bất cứ con chuột nào đã chứng tỏ rằng nó tự hình thành cho mình những khái niệm và những lý thuyết tạo nên phương hướng trong chính thế giới trực giác của nó.

“Ba cây” là một cái gì đó khác với “hai cây” và cũng thế “hai cây” thì khác với “hai cục đá.” Những khái niệm về những con số thuần túy 2, 3, 4... thoát thai từ những chính những vật thể đó là những sáng tạo của trí tuệ và giúp chúng ta mô tả hiện thực của thế giới.

Cảm giác chủ quan tâm lý về thời gian giúp chúng ta thiết lập thứ tự những ấn tượng của chúng ta, để nói rằng một sự việc này xảy ra trước sự việc kia. Nhưng sáng tạo của chúng ta chính là việc dùng một chiếc đồng hồ để đánh số mọi thời điểm trong dòng chảy của thời gian, coi thời gian như một miền liên tục một chiều. Cho nên những khái niệm hình học Euclid và phi-Euclid về không gian của chúng ta cũng được hiểu như một liên tục ba chiều.

Vật lý học đã thật sự bắt đầu với những sáng tạo về khối lượng, lực và hệ quán tính. Các khái niệm này là những sáng tạo tự do. Chúng dẫn đến sự hình thành của tư duy cơ học. Đối với một nhà vật lý vào đầu thế kỷ thứ mười chín, hiện thực của thế giới bên ngoài chỉ bao gồm các phần tử và những lực tương tác đơn giản giữa chúng, các lực này chỉ tùy thuộc vào khoảng cách. Ông ta luôn cố gắng giữ càng lâu càng tốt niềm tin rằng ông ta luôn thành công trong việc giải thích được tất cả các sự kiện trong tự nhiên với những khái niệm hiện thực cơ bản này. Mãi đến khi những khó khăn liên quan đến sự lệch của kim nam châm, liên quan đến cấu trúc của ether đã làm chúng ta phải sáng tạo một hiện thực tinh tế hơn. Sự khám phá hết sức quan trọng về trường điện từ xuất hiện. Sự tưởng tượng phong phú đầy sáng tạo và táo bạo trong khoa học là điều vô cùng cần thiết để ta có thể nhận thức rõ rằng điều cơ bản trong việc sắp xếp và tìm hiểu các sự kiện tự nhiên không phải là trạng thái của các vật thể mà chính là trạng thái của một cái gì đó nằm giữa các vật thể này, đó chính là trường.

Những phát triển kế tiếp của khoa học đã hủy bỏ những khái niệm cũ và tạo nên những khái niệm mới. Trong thuyết tương đối, người ta đã từ bỏ thời gian tuyệt đối và hệ trục tọa độ quán tính. Nền tảng cho tất cả biến cố trong tự nhiên không còn là một miền liên tục thời gian một chiều và một miền liên tục không gian ba chiều nữa mà là một miền liên tục không – thời gian bốn chiều. Đây cũng chính là một sáng tạo tự do với những tính chất mới của phép biến đổi. Hệ trục tọa độ quán tính không còn cần thiết nữa và mọi hệ trục tọa độ đều thích hợp trong việc mô tả các sự kiện trong tự nhiên.

Thuyết lượng tử lại tạo nên những đường nét mới và cơ bản của thế giới hiện thực. Sự gián đoạn thay thế cho sự liên tục. Những định luật chi phối từng phần tử riêng biệt được thay thế bởi những định luật xác suất chi phối cả một tập hợp.

Vật lý hiện đại tạo nên một hiện thực mới, ngày càng xa rời hiện thực của những ngày xa xưa. Nhưng mục đích của từng lý thuyết vật lý vẫn giữ nguyên như cũ.

Với sự giúp đỡ của những lý thuyết vật lý, chúng ta cố gắng tìm kiếm phương hướng trong mê trận của những sự kiện mà chúng ta quan sát được, chúng ta cố gắng sắp xếp và tìm hiểu những cảm nhận của chúng ta qua tri giác. Chúng ta luôn muốn rằng những sự kiện quan sát được phải tuân theo một cách logic những khái niệm hiện thực của chúng ta. Nếu không có sự tin tưởng rằng chúng ta có thể hiểu được hiện thực bằng những kiến tạo lý thuyết, nếu không có sự tin tưởng về sự hài hòa bên trong thế giới của chúng ta, thì không thể có khoa học. Sự tin tưởng này luôn giữ vững và cũng chính là động lực cơ bản cho tất cả các sáng tạo khoa học. Xuyên suốt tất cả những cố gắng của chúng ta, trong tất cả các cuộc đấu tranh đầy cam go giữa nhận thức mới và cũ, chúng ta luôn nhận thấy lòng khao khát muôn thuở cho sự hiểu biết và lòng tin tuyệt đối vào sự hài hòa của vũ trụ. Lòng khao khát muôn thuở và sự tin tưởng này ngày càng được củng cố thêm bởi những trở ngại cho sự nhận thức ngày càng gia tăng.

Chúng ta tóm tắt:

Sự đa dạng của những sự kiện trong thế giới của những hiện tượng nguyên tử buộc chúng ta phải sáng tạo những khái niệm vật lý mới. Vật chất có cấu trúc "hạt" và được hình thành từ những hạt sơ cấp được gọi là những lượng tử sơ cấp của vật chất. Như thế, điện tích có cấu trúc hạt và điện tích cũng có năng lượng, điều quan trọng nhất theo quan điểm của thuyết lượng tử. Ánh sáng hình thành từ photon, photon là những lượng tử năng lượng.

Ánh sáng là sóng hay là mưa photon? Một chùm tia electron là một cơn mưa hạt sơ cấp hay là sóng? Những vấn đề cốt yếu này đều bắt nguồn từ những thí nghiệm trong vật lý. Trong quá trình tìm kiếm lời giải đáp cho những vấn đề này, chúng ta phải từ bỏ việc mô tả các quá trình thuộc về nguyên tử như là những biến cố xảy ra trong không gian và thời gian, và chúng ta cần phải tách xa hơn nữa khỏi tư duy cơ học cũ. Vật lý lượng tử thiết lập những định luật chi phối số đông, tập hợp chứ không chi phối từng phần tử riêng biệt. Không phải các tính chất mà là các xác suất được mô tả, không phải các định luật cho biết tương lai của các hệ thống được thiết lập, mà chính là những định luật chi phối sự thay đổi của các xác suất theo thời gian và chính là những định luật có hiệu lực cho những tập hợp lớn của các phần tử riêng lẻ.

Bảng chú dẫn và từ vựng Việt-Anh

Ánh sáng, bị uốn cong do trọng trường — Light, bending in gravitational field 252, 270
Ánh sáng đơn sắc — Homogeneous light 119, 134-135, 292-296, 298, 300
Ánh sáng/ chất — Light/ substance 118-120
Ánh sáng trắng — White light 118-120, 133
Ẩn nhiệt — Latent heat 57, 60
Bất biến — Invariant 187
Biểu diễn trường — Field representation 148
Black 54, 55, 66
Bohr 303, 323
Bối cảnh — Background 69
Born 323
Brown 78
Bước sóng (chiều dài sóng) — Wave - Length 122, 132
Cấu trúc của trường — Structure of field 166, 172
Copernicus 178, 242-243
Cơ học lượng tử — Quantum mechanics 303
Cơ học sóng — Wave mechanics 303, 307
Cơ năng — Mechanical Energy 65
Chân không — Vacuum, Vacuo 113-114, 127-129, 133, 189, 204
Chất, vật chất — Substance 52-56
Chất điện 86
Chất điểm — Material point 71
Chất không có trọng lượng — Weightless substances 58, 95, 128
Chất nhiệt — Caloric 58
Chất phóng xạ — Radioactive matter 224
Chuyển động Brown — Brownian movement 78-83, 285
Chuyển động thẳng — Rectilinear motion 20, 114, 184, 238
Chuyển động đều tương đối — Relative uniform motion 181-188, 197
Coulomb 94, 102
Cực từ — Magnetic pole 100
De Broglie 307, 311, 312, 323
Democritus 70
Dirac 323
Dòng điện — Electric current 103
Dòng điện cảm ứng — Induced current 159
Đồng hồ chạy đồng bộ — Synchronized clocks 209, 268
Động năng — Kinetic energy 63
Điện thế — Electric potential 95-97
Điện tích — Electric charge 95-97
Điện tích sơ cấp — Elementary charge 287
Định luật biến đổi — Transformation laws 187
Định luật (vạn vật) hấp dẫn — Law of gravitation 44-45, 94, 102, 195
Định luật quán tính — Law of inertia 22, 27, 35, 49, 177-179, 197, 245, 247, 250
Định luật chuyển động — Law of motion 22, 177-179, 245
Đương lượng cơ học của nhiệt — Mechanical equivalent of heat 68
Đường sức — Lines of force 148
Electron — Electron 287
Ether 127, 128, 131, 133, 137, 138, 140-143, 173, 189, 192-202
Faraday 146, 159
Fizeau 112
Fresnel 134
Galileo 19, 20, 22-24, 27, 35, 37, 39, 42, 51, 54, 71, 109-112, 177, 180, 183-184, 192, 197-198,

203, 231,
 Galvani 103
 Hai khoa lĩnh vực học mới — Two new sciences 24, 109
 Hằng số chuyển động — Constant of the motion 64
 Hạt — particle 35
 Hạt ánh sáng — Corpuscles of light 115, 116, 120, 128, 142, 294, 297, 312
 Hạt cơ bản — Elementary particle 224
 Hạt nhân — Nucleus 291
 Heisenberg 323
 Helmholtz 72, 73
 Hertz 146, 173
 Huygens 126, 127, 138
 Hệ thống (trục) tọa độ, hệ thống qui chiếu — Co-ordinate system, frame of reference, 177
 Hệ (thống) quán tính — Inertial system 183, 242
 Hệ (thống) quán tính cục bộ — Local inertial system 248
 Hiệu ứng quang điện — Photoelectric effect 292
 Hình ảnh động của chuyển động — Dynamic picture of motion 235, 236, 239
 Hình ảnh tĩnh của chuyển động — Static picture of motion 233, 236, 239
 Joule 66-68
 Khối lượng — Mass 48
 Khối lượng của một electron — Mass of one electron 289, 290
 Khối lượng của một nguyên tử hydro — Mass of one hydrogen 285 atom
 Khối lượng của một phân tử hydro — Mass of one hydrogen 83, 285 molecule
 Khối lượng hấp dẫn — Gravitational mass 50-52, 142, 246, 242, 254, 255, 272
 Khối lượng quán tính — Inertial mass Inertial mass 255, 272
 Khối lượng/ Năng lượng — Mass/ Energy
 Khối lượng tĩnh (nghỉ) — Rest mass 227
 Không gian trống rỗng — Empty space 115
 Khúc xạ — Refraction 114, 116-118, 130-132, 137
 Kính quang phổ — Spectroscope 300, 320
 Lan truyền của ánh sáng — Propagation of light 110, 113, 138, 140, 205, 229, 297
 Lan truyền thẳng của ánh sáng — Rectilinear propagation 113, 135 of light
 Leibnitz 39
 Lực Force 20, 22-28, 32, 36-38
 Lực từ — Magnetic force 102, 103, 107, 151, 153, 169
 Lực và vật chất — Force and matter 71-72
 lưỡng cực điện — Electric dipole 100
 lưỡng cực từ — Magnetic dipole 100-102, 107, 150, 160
 lưỡng cực từ sơ cấp — Elementary magnetic 101, 107 dipole
 Lượng tử (lý thuyết) — Quantum (theory) 281
 Lượng tử ánh sáng — Light quanta 291, 294-296, 299, 302, 315
 Lượng tử sơ cấp — Elementary quantum 283-287, 289, 296, 299, 311, 315, 316, 321, 329
 (Lý) thuyết động lực học — Kinetic theory 73-83
 Lý thuyết sóng của ánh sáng — The wave theory of light 126, 129, 132, 137, 297
 Lý thuyết trường điện từ của ánh sáng — Electromagnetic theory 172 of light
 Lý thuyết tương đối hẹp (đặc biệt) — Special relativity theory 244, 259-262, 268-270, 275, 313
 Lý thuyết tương đối rộng (tổng quát) — General Relativity Theory 48, 239, 244, 255, 262-264, 267-276
 Maxwell 146
 Mayer 65-66
 Mặt đầu sóng — Wave front 131
 Mét hệ (tính chất) — Metric (property) 266
 Michelson 112, 200, 201

(Miền) liên tục — Continuum 228
(Miền) liên tục một chiều — one-dimensional continuum 229, 235, 237, 324, 325, 332
(Miền) liên tục hai chiều — two-dimensional continuum 230, 235, 237, 267, 268
(Miền) liên tục ba chiều — three-dimensional continuum 231, 324, 326, 327, 332
(Miền) liên tục bốn chiều — four-dimensional continuum 238-239
Morley 200, 201
Mức năng lượng — Energy level 302, 303, 321
Natri (Na) — Sodium 119
Natri nóng sáng — Incandescent sodium 120, 274-275, 300
Nguyên lý tương đối — Galileo Galilean relativity principle 189, 192, 197, 198, 201, 203
Nhiệt — Heat 52-68
Nhiệt dung — Heat capacity 55
Nhiệt dung riêng — Specific heat 55, 56, 59, 67
Nhiệt độ — Temperature 53-61, 67, 68, 74-77, 96, 96, 235, 257, 265
Nhiệt/ năng lượng — Heat/ Energy 65-58
Nhiệt/ Chất — Heat/ Substance 56-58
Newton 19, 22-25, 39, 44-46, 94, 102, 108, 116-118, 126, 127, 133, 149, 156, 165, 169, 170, 188, 195, 241, 248, 255, 269-274, 294
Nhiều xạ — Diffraction 135, 136, 173, 298, 299, 304-306, 313-315, 322, 323, 326, 328
Nhiều xạ của ánh sáng — Diffraction of light 135, 136, 173, 304
Nhiều xạ của sóng electron — Diffraction of electronic wave 306, 314, 326
Nhiều xạ của tia X (tia Roentgen) — Diffraction of X rays 314
Nút (sóng) — Node(s) 309-310
Oersted 106, 158, 163, 166, 168, 170, 172
Phản chiếu ánh sáng — Reflection of light 112, 115
Phân tử — Molecule(s) 74-83
Phép biến đổi cổ điển — Classical transformation 189, 192, 194, 203, 205, 209, 210, 214-218, 220-222, 237, 269, 313
Phép biến đổi Lorentz — Lorentz transformation 217-222, 238, 239, 248, 269, 275, 313
Photon — Photon 294-204, 311-317, 321-322, 326
Photon cực tím (tử ngoại) — Ultraviolet photon 303
Phương trình Maxwell — Maxwell's equations 165-175, 216, 217, 271, 325
Pin Volta — Voltaic battery 103-106, 164
Planck 294
Principia 25
Ptolemy 242-243
Phân rã phóng xạ — Radioactive disintegration 320
Quang phổ — Spectrum 118-119, 128, 233, 235, 296, 300-307, 310, 321, 326, 328
Quang phổ nhìn thấy được — Visible spectrum 300, 303
Radium 224-225, 302
Roemer 112
Rowland 108-109, 149, 158-159, 168
Rumford 59-61, 66
Rutherford 291
Sao Thủy — Mercury 273-274
Schrödinger 307-323
Solenoid — Solenoid 153-155, 159-161
Sóng dọc — Longitudinal wave 123-125, 137-140, 171
Sóng điện từ — Electromagnetic wave 171-176, 189, 202, 208, 325
Sóng electron — Electronic wave 306, 312-304, 314, 326
Sóng mặt cầu — Spherical wave 125
Sóng đứng — Standing wave 308-310
Sóng ngang — Transverse wave 124-125, 137-138, 171-173
Sóng phẳng — Plane wave 125, 131

Sóng xác suất — Probability wave 324-329
Tán sắc (của ánh sáng) — Dispersion (of light) 118, 133
Thay đổi vận tốc — Change of velocity 24-27, 32-38, 40-42, 46, 62, 187-189, 205, 223, 226
Thế năng — Potential Energie 63-68
Mút — Jelly 124, 138, 140-141, 171
Thí nghiệm quyết định — Crucial experiment 59, 196
Thomson, J.J., 287
Thống kê (học) — Statistics 319-328
Thuyết tương đối — Relativity 50, 189, 204, 206
Thuyết tương đối rộng (tổng quát) — General relativity General relativity 276
Thuyết tương đối hẹp (đặc biệt) — Special relativity 244, 259-262, 268-270, 275, 280, 313,
Tỷ số trao đổi — Rate of exchange 66
Tia X (Roentgen) — X-rays
Tinh thể — Crystal 301, 304
Sức ì, tính chống lại — Resistance, Inertia 224-226
Tĩnh điện — Electrostatic
Tĩnh điện nghiệm — Electroscope 87, 90, 104
Tĩnh từ — Magnetostatic 157-158, 160
Tọa độ của một điểm — Co-ordinate of a point 185
Tổng quát hóa — Generalization 34-39, 65, 70, 89, 203, 269, 276
Trường, trường lực — Field 146
Trường điện từ — Electromagnetic field 168-171, 175, 189, 215, 222, 271, 275, 279, 323,
325, 327, 332
Trường tĩnh, trường không đổi — Static field 157
Trường hấp dẫn — Gravitational field 148, 156, 158, 247, 249, 251, 253-254, 264-265, 271-
276, 288, 323, 325, 327
Tư duy cơ học — Mechanical view 73-75, 98, 102-103, 106, 107, 115-116, 128, 140-143, 146,
149, 159, 174-106, 202, 271, 275, 330, 332
Vạch quang phổ — Spectral lines 301, 306, 321, 326, 328
Vận tốc sóng — Wave velocity 122, 172
Vận tốc của sóng điện từ — Velocity of electromagnetic wave 173
Vận tốc của ánh sáng — Velocity of light 109-112, 173, 189, 194-196, 200-204, 208, 214, 221
Vật cách điện — Insulators 87, 90-91, 100
Vật chất – Năng lượng — Matter – Energy 69
Vật chất và trường — Matter and field 275-280, 329-330
Vật dẫn điện — Conductor 90-91, 95-97, 100, 104-105, 156
Vật lý học — Physics 20
Vật lý hạt nhân — Nuclear physics 291
Vật thử nghiệm — Test body 147-148, 156, 287-288
Vectơ — Vector 27
Vectơ vận tốc — Velocity vectors 36-41
Volta 103
Vùng tối — Shadow 113, 134
Xác suất — Probability 319
Young 134

SỰ TIẾN HÓA CỦA VẬT LÝ

ALBERT EINSTEIN – LEOPOLD INFELD

Dương Minh Trí dịch

Chịu trách nhiệm xuất bản:

Giám đốc – Tổng biên tập NGUYỄN MINH NHỰT

Chịu trách nhiệm nội dung:

Phó Giám đốc – Phó Tổng biên tập NGUYỄN THẾ TRUẬT

Biên tập & sửa bản in:

PHẠM TRỌNG LIÊM CHÂU
NGUYỄN PHAN NAM AN

Bìa:
BÙI NAM
Kỹ thuật vi tính:
NGUYỄN MAI KHANH

NHÀ XUẤT BẢN TRẺ

161B Lý Chính Thắng – Quận 3 – Thành phố Hồ Chí Minh
ĐT: 39316289-39316211-38465595-38465596-39350973
Fax: 84.8.38437450 – E-mail: hopthubandoc@nxbtre.com.vn
Website: <http://www.nxbtre.com.vn>

CHI NHÁNH NHÀ XUẤT BẢN TRẺ TẠI HÀ NỘI

Số 21, dãy A11, khu Đầm Trấu, p. Bạch Đằng, q. Hai Bà Trưng, Hà Nội
ĐT: (04)37734544 – Fax: (04)35123395
E-mail: chinhanh@nxbtre.com.vn

CÔNG TY TNHH SÁCH ĐIỆN TỬ TRẺ (YBOOK)

161B Lý Chính Thắng, P.7, Q.3, Tp. HCM
ĐT: 08 35261001 – Fax: 08 38437450
Email: info@ybook.vn
Website: www.ybook.vn

Chia sẻ ebook : <http://downloadsachmienphi.com/>

Tham gia cộng đồng chia sẻ sách : Fanpage :

<https://www.facebook.com/downloadsachfree>

Cộng đồng Google : <http://bit.ly/downloadsach>

Lời khêu gợi

Trình bày một cách tài tình về tư tưởng vật lý kể từ sau thời Galileo...các giai đoạn chính trong sự tiến hóa của vật lý hiện đại mà không cần sử dụng toán học...là một thành tích phi thường, chỉ có thể được hoàn thành bởi bậc thầy về vật lý...để truyền đạt lại một trong những bước tiến hóa vĩ đại nhất của loài người.

—Giáo sư E.T. Bell, tác giả *Men of Mathematics*, báo *Saturday Review*

Tôi đã đọc từ trang bìa đầu tiên đến hết trang bìa cuối cùng, quyển sách này mở trong tôi một thế giới hoàn toàn mới.

—Paul de Kruif

Cuốn sách này không chỉ dành cho những người không chuyên mà còn dành cho những nhà vật lý và cả sinh viên mới vào đại học.

—Tiến sĩ R. J. Stevenson, Đại học Chicago



Wongkai, West Street 7, South 7, Phnom, 200



[facebook.com/downloadsachfree](https://www.facebook.com/downloadsachfree)

nxbtre.com.vn

* – Tất cả những chú thích được trình bày ở cuối quyển sách.

[\[1\]](#) Galilée Galileo, 1564-1642, nhà thiên văn và vật lý người Ý, được coi như nhà sáng lập cơ học cổ điển. Lần đầu tiên ông phát biểu nguyên lý quán tính và năm 1609 ông chế tạo được kính thiên văn. Từ những kết quả quan sát các hành tinh, ông khẳng định sự đúng đắn của lý thuyết của Copernic – Trái Đất quay quanh mặt trời – đi ngược lại quan điểm của Nhà thờ và Kinh Thánh, năm 1641 ông nghĩ ra việc dùng chu kỳ con lắc để đo thời gian.

[\[2\]](#) Isaac Newton, 1642-1727, nhà vật lý, toán học và thiên văn học người Anh, ông thiết lập phép tính vi tích phân, định luật hấp dẫn, cơ học Newton, ông nghiên cứu về sự tán sắc của ánh sáng...

[\[2a\]](#) Aristotle, 384-322 trước C.N, nhà triết học, nhà sinh học người Hy Lạp, ông đã thực hiện nhiều công trình, để lại nhiều tác phẩm về triết học (Bàn về triết học...), khoa học tự nhiên (Historia Animalium, De Plantis, Physica, De Mundo, Mechanica...), chính trị kinh tế (Politica, Oeconomica...)...

[\[3\]](#) Vis inertiac – vis mortua: lực quán tính, lực chết hay không có lực trái với vis viva: lực sống (= khối lượng $\times$ bình phương vận tốc).

[\[3a\]](#) Gottfried Wilhelm Leibnitz, 1646-1716, nhà triết học và toán học người Đức, ông đã đưa khái niệm vi phân, tích phân vào toán học, phát minh ra phép tính vi phân.

[\[4\]](#) Joseph Black, 1728-1799, nhà vật lý và hóa học người Anh, năm 1760 ông là người đầu tiên phân biệt rõ nhiệt lượng và nhiệt độ.

[\[5\]](#) Benjamin Thompson Rumford, 1753-1814, nhà vật lý học và hóa học người Mỹ, năm 1798 ông phá tan lý thuyết nhiệt là khối chất, ông chứng minh kim loại tỏa nhiệt khi có ma sát, nhưng nhiệt dung riêng của kim loại không thay đổi.

[\[6\]](#) Robert von Mayer, 1814-1878, nhà vật lý và thầy thuốc người Đức, năm 1842 ông đưa ra đương lượng cơ của đơn vị nhiệt lượng.

[\[7\]](#) James Prescott Joule, 1818-1889, nhà vật lý người Anh, ông đã từ bỏ chức giám đốc nhà máy bia ở Salford để nghiên cứu khoa học, năm 1841 ông phát biểu định luật về sự tỏa nhiệt do dòng điện, còn gọi là hiệu ứng Joule. Vào năm kế tiếp, ông xác định được đương lượng cơ của calorie.

[\[8\]](#) Democritus, 460-361 trước công nguyên, nhà triết học và khoa học người Hy Lạp. Ông có đóng góp quan trọng cho triết học đó là thuyết nguyên tử của vũ trụ.

[\[9\]](#) Hermann von Helmholtz, 1821-1894, nhà vật lý và sinh học người Đức, giáo sư vật lý Đại học Berlin, năm 1847 trong một báo cáo khoa học ông khẳng định rằng các hiện tượng vật lý chỉ là những thay đổi giữa các dạng năng lượng, ông đưa vào khái niệm thế năng và định luật bảo toàn năng lượng.

[\[10\]](#) Charles de Coulomb, 1736-1806, nhà vật lý người Pháp, ông khám phá ra định luật Coulomb cho biết lực tương tác của hai điện tích điểm.

[\[11\]](#) Galvani Luigi, nhà vật lý và thầy thuốc người Ý, 1737-1798, năm 1786 ông đã tình cờ nhận thấy chân con ếch bị co giật khi dùng điện kích thích dây thần kinh của chúng, Galvani gọi hiện tượng này là điện sinh vật.

[\[12\]](#) Volta Alessandro, nhà vật lý người Ý, 1745-1827, khám phá ra pin điện năm 1800.

[\[13\]](#) Oersted Hans Christian, 1777-1851, nhà vật lý người Đan Mạch. Năm 1820 Oersted khám phá hiện tượng điện từ mô tả trong sách.

[\[14\]](#) Rowland Henry Angustus, nhà vật lý học người Mỹ, 1848-1901, ông nghiên cứu vật lý ở Berlin với sự hướng dẫn của Helmholtz, năm 1876 ông chứng minh điện tích chuyển động tạo ra từ trường.

[\[15\]](#) Fizeau Hippolyte, 1819-1896, nhà vật lý người Pháp, vào năm 1849 Fizeau đã đo được vận tốc ánh sáng là 315.300 km/s.

[\[15a\]](#) Römer Olaüs; 1644-1710, nhà thiên văn học người Đan Mạch. Năm 1676 ông là người đầu tiên đã xác định được vận tốc ánh sáng bằng sự quan sát thiên văn. Ông cũng là người phát triển các thang nhiệt độ đầu tiên.

[\[16\]](#) Ole Christensen Roemer; 1644-1710, nhà thiên văn học người Đan Mạch, người đầu tiên xác định được vận tốc ánh sáng vào năm 1676 bằng quan sát thiên văn. Ông cũng là người phát triển một trong những thang nhiệt độ đầu tiên, hệ thống đèn chiếu sáng (bằng đèn dầu) cho thành phố (Copenhagen).

[\[16a\]](#) Michelson, Albert Abraham; 1852-1931 nhà vật lý người Mỹ, năm 1881 với sự cộng tác của E. W. Morley, ông đã tiến hành nhiều thí nghiệm nổi tiếng về vận tốc của ánh sáng ở Berlin.

[\[17\]](#) Huygens Christiaan, 1629-1695, nhà toán học và thiên văn học người Hà Lan, trong tác phẩm “Khảo luận về ánh sáng” năm 1678, Huygens đưa ra lý thuyết sóng cho ánh sáng.

[\[18\]](#) Thomas Young, 1773-1829, nhà khoa học người Anh, thông thạo trên 10 ngôn ngữ lúc 14 tuổi. Năm 1796, ông xong tiến sĩ vật lý ở đại học Goettingen (Đức). Năm 1802 qua thí nghiệm khe kép (Double-slit experiment), Young chứng minh bản chất của ánh sáng là sóng với hiện tượng giao thoa và cả nhiễu xạ.

[\[19\]](#) Fresnel Augustin, 1788-1827, nhà vật lý người Pháp, năm 1819 ông đưa ra khảo luận về sự nhiễu xạ ánh sáng.

[\[20\]](#) Faraday Michael, 1791-1867, nhà hóa học và vật lý học người Anh, năm 1831 ông phát hiện ra hiện tượng cảm ứng điện từ.

[\[21\]](#) Maxwell James Clerk, 1831-1879, nhà vật lý người Anh, trong năm 1873 các phương trình Maxwell được trình bày trong tác phẩm “Treatise on Electricity and Magnetism”

[\[22\]](#) Hertz Heinrich, 1857-1894, nhà vật lý người Đức, năm 1887 Hertz lần đầu tiên tạo ra được sóng điện từ bằng một bộ dao động.

[23] Copernicus Nicolas, 1473-1543, nhà thiên văn học người Ba Lan, năm 1543 ông cho in chuyên luận hết sức nổi tiếng và quan trọng “De revolutionibus orbium coelestium libri VI”, theo ông Mặt Trời là trung tâm và Trái Đất quay xung quanh. Đây là một khám phá cực kỳ quan trọng của con người đối với tự nhiên.

[\[23a\]](#) Hendrik Antoon Lorentz, 1853-1928, nhà vật lý người Hà Lan, ông đã suy ra công thức biến đổi Lorentz. Để giải thích kết quả của thí nghiệm MichelsonMorley, ông đưa ra ý kiến về sự co giãn của vật thể theo hướng chuyển động (Fitz Gerald-Lorentz Contraction).

[\[24\]](#) Ptolemy (Claudius Ptolemaeus), 100-178, nhà thiên văn, toán học và địa lí người Ai Cập. Tác phẩm vĩ đại của ông là Almagest, trong đó ông phát triển một lý thuyết cho rằng Trái Đất là trung tâm của vũ trụ, Mặt Trăng, Mặt Trời và các vì tinh tú khác xoay quanh Trái Đất.

[\[25\]](#) Thomson Joseph John, 1856-1940, nhà vật lý người Anh. Năm 1894 ông xác định được tỉ số e/m của electron và năm sau ông xác định được trị số tuyệt đối điện tích của electron.

[\[26\]](#) Rutherford of Nelson, 1871-1937, nhà vật lý học người Anh, lãnh đạo phòng thí nghiệm Cavendish, năm 1925 chủ tịch Hội Hoàng Gia Luân Đôn, năm 1911 ông đưa ra mẫu nguyên tử giống như một hệ mặt trời. Nobel hóa học 1908

[\[27\]](#) Max Planck, 1858-1947, nhà vật lý người Đức. Ngày 14-12-1900 Max Planck trình bày lý thuyết lượng tử của ông tại Hội Vật lý Đức ở Berlin. Ông nhận giải Nobel về vật lý năm 1918.

[\[28\]](#) Niels Bohr, 1885-1962, nhà vật lý người Đan Mạch. Năm 1913 ông xây dựng một lý thuyết về cấu trúc nguyên tử. Nobel vật lý năm 1922.

[\[29\]](#) Louis De Broglie, 1892-1987, nhà vật lý người Pháp. De Broglie đưa ra giả thuyết sóng hạt với biểu thức $p = h \times k$ là biểu thức toán học về tính chất sóng của các hạt vật chất.

[\[30\]](#) Schrödinger Erwin, 1887-1961, nhà vật lý người Áo. Phương trình Schrödinger là cơ sở của các phép tính trong quang phổ học. Nobel vật lý năm 1933.

[\[31\]](#) Werner Karl Heisenberg, 1901-1976, nhà vật lý người Đức, một trong những nhà sáng lập cơ học lượng tử, Nobel vật lý năm 1932.

[\[32\]](#) Paul Dirac, 1902-1984, nhà vật lý người Anh, tiên đoán sự tồn tại của positron, phản vật chất, thiết lập lý thuyết thống kê Fermi-Dirac, Nobel vật lý năm 1933.

[\[33\]](#) Max Born, 1882-1970, nhà vật lý người Đức, ông có nhiều đóng góp trong việc xây dựng lý thuyết lượng tử, Nobel vật lý năm 1954.