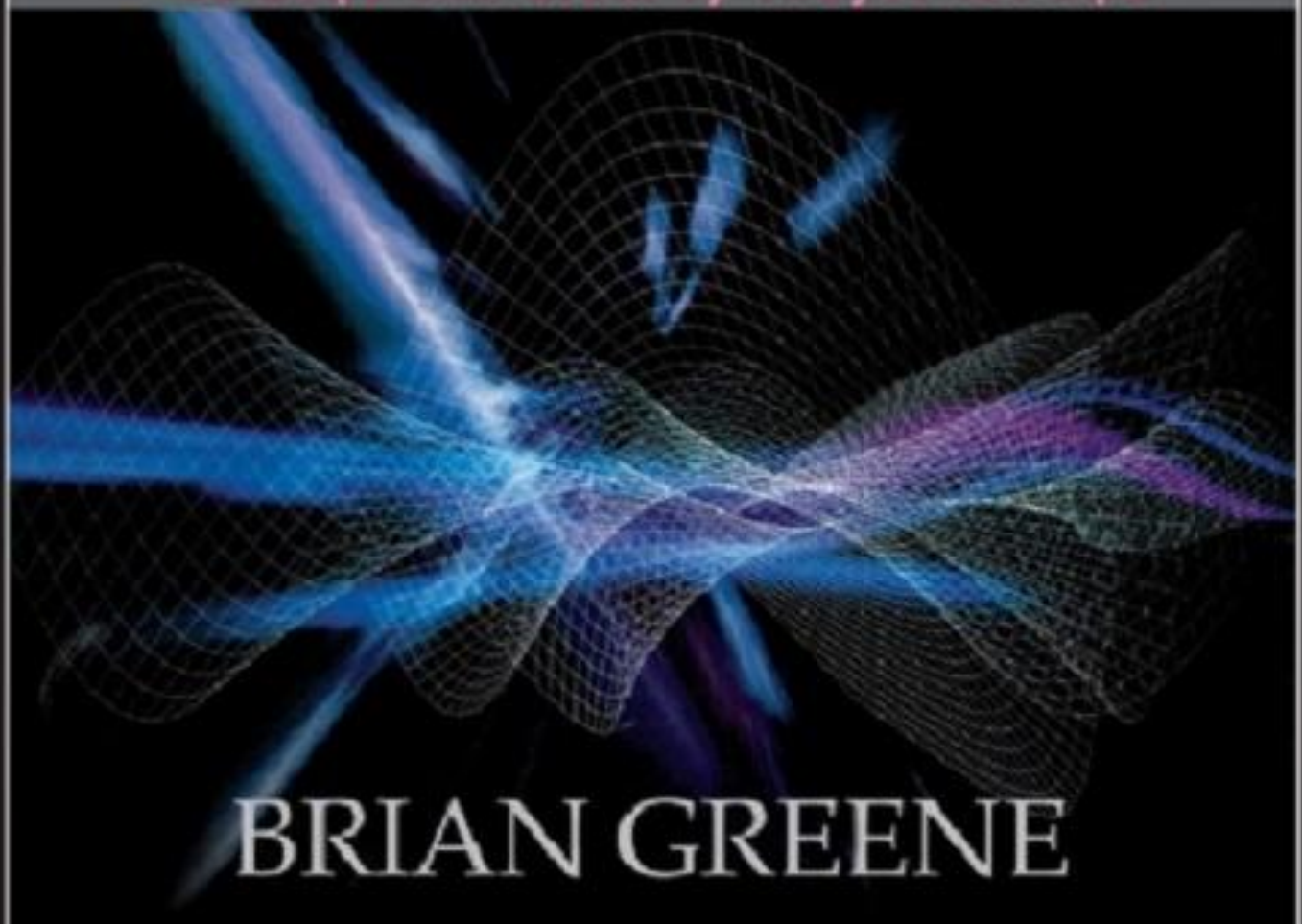
KHOA HỌC KHÁM PHÁ

GIAI ĐIỆU DÂY VÀ BẢN GIAO HƯỞNG CỦA VŨ TRỤ

THE ELEGANT UNIVERSE

Dây, những chiều ẩn giấu, và cuộc tìm kiếm lý thuyết tối hậu



BRIAN GREENE

NHÀ XUẤT BẢN TRẺ

ebookinfo

Brian Greene

GIAI ĐIỆU DÂY VÀ BẢN GIAO HƯỞNG VŨ TRỤ

iSach.info

Thông tin về ebook

Giai Điệu Dây Và Bản Giao Hưởng Vũ Trụ

Tác giả: Brian Greene

Thể loại: Khoa Học

Dịch giả: Phạm Văn Thiều

Biên tập: Nguyen Nghiem

Bìa: hoang viet

Thư viện online isach.info

Định dạng ebook PDF-A4

Ngày xuất bản: 10-December-2016

Tổng số 407 trang

Click vào đây để đọc online

iSach.info

CHƯƠNG 1

ĐƯỢC KẾT NỐI BỞI CÁC DÂY

Nói rằng người ta cố tình ỉm đi thì kể cũng hơi quá đáng. Nhưng từ hơn một nửa thế kỷ nay, thậm chí ngay cả khi dấn thân vào một trong số những cuộc phiêu lưu khoa học vĩ đại nhất của thời đại chúng ta, các nhà vật lý cũng cố lờ đi các đám mây đen mà họ đã nhìn thấy lấp ló ở phía chân trời. Nguyên do là thế này: vật lý hiện đại dựa trên hai trụ cột. Một là lý thuyết tương đối rộng của Albert Einstein mô tả tự nhiên ở thang lớn nhất, thang của các sao, các thiên hà và thậm chí của toàn Vũ trụ. Và hai là lý thuyết lượng tử mô tả tự nhiên ở thang nhỏ nhất, thang của các phân tử, nguyên tử và các thành phần sơ cấp của vật chất, chẳng hạn như các quark và các electron. Những tiên đoán của cả hai lý thuyết đều được khẳng định hùng hồn bởi rất nhiều thực nghiệm với một độ chính xác không thể tưởng tượng nổi. Tuy nhiên, chính hai công cụ lý thuyết này lại không tránh khỏi dẫn tới một kết luận đáng lo ngại: theo như cách chúng được trình bày hiện nay thì thuyết tương đối rộng và cơ học lượng tử không thể cả hai đều đúng được. Hai lý thuyết đặt cơ sở cho sự tiến bộ vĩ đại của vật lý trong suốt một trăm năm trở lại đây lại không tương thích với nhau.

Nếu trước đây bạn chưa bao giờ được nghe nói tới sự đối kháng gay gắt đó thì chắc chắn bạn sẽ thấy rất ngạc nhiên. Nhưng điều này cũng chẳng có gì là khó hiểu cả: thường thì trừ những tình huống cực đoan nhất, còn thì các nhà vật lý hoặc là chỉ nghiên cứu những hệ rất nhỏ và rất nhẹ (các nguyên tử hoặc các thành phần cấu tạo nên nó) hoặc là các hệ cực lớn và cực nặng (như các sao và các thiên hà), nhưng chưa bao giờ nghiên cứu đồng thời cả hai loại hệ đó. Điều này có nghĩa là, các nhà vật lý hoặc chỉ cần dùng cơ học lượng tử hoặc chỉ dùng thuyết tương đối rộng. Và như vậy, trong suốt năm mươi năm nay, họ cứ hài lòng như vậy trong cảnh bình an chẳng khác gì kẻ điếc không sợ súng.

Khốn nỗi, tự nhiên cũng rất có thể là "cực đoan". Trong sâu thẳm ở trung tâm của một lỗ đen, có một khối lượng rất lớn được giam trong

một thể tích cực nhỏ. Hoặc ở thời điểm Big Bang, toàn bộ Vũ trụ được phun ra từ một điểm nhỏ tới mức mà ở bên cạnh nó một hạt cát cũng trở nên khổng lồ. Những hiện tượng này vừa có khối lượng cực lớn vừa có kích thước cực nhỏ, nên cần phải có cả thuyết tương đối rộng lẫn cơ học lượng tử mới mô tả được. Vì những lý do mà rồi dần dần chúng ta sẽ biết: khi kết hợp các phương trình của thuyết tương đối rộng với các phương trình của cơ học lượng tử, lý thuyết sẽ bắt đầu lọc xọc và phun khói mù mịt như một cỗ xe đã hết hơi. Nói một cách khác, trong cuộc hôn phối bất hạnh của hai lý thuyết đó, những bài toán vật lý được đặt một cách nghiêm chỉnh lại cho những câu trả lời vô nghĩa. Thậm chí, ngay cả khi chúng ta sẵn sàng chấp nhận để mặc cho những chuyện bên trong lỗ đen và sự sáng tạo ra Vũ trụ vẫn nằm trong vòng bí mật đi nữa thì chúng ta không thể không cảm thấy rằng sự đối địch giữa thuyết tương đối rộng và cơ học lượng tử đang đòi hỏi khẩn thiết phải có một trình độ hiểu biết sâu sắc hơn. Liệu có đúng là Vũ trụ, ở mức cơ bản nhất của nó, đã được phân chia một cách rạch ròi: có một tập hợp những định luật dùng để mô tả những hiện tượng ở thang nhỏ và một tập hợp các định luật khác, không tương thích với tập thứ nhất, dùng để mô tả các hiện tượng ở thang rất lớn?

Lý thuyết siêu dây, một kẻ ngổ ngáo trẻ tuổi so với các bậc lão làng là thuyết tương đối rộng và cơ học lượng tử, đã kiêu hãnh trả lời phủ định câu hỏi ở trên. Những nghiên cứu ráo riết hơn một chục năm qua của các nhà vật lý và toán học trên khắp thế giới đã cho thấy rằng lý thuyết mới này, lý thuyết mô tả vật chất ở mức cơ bản nhất của nó, đã giải tỏa được sự căng thẳng giữa lý thuyết lượng tử và lý thuyết tương đối rộng. Thực tế, lý thuyết siêu dây còn cho thấy hơn thế: trong khuôn khổ của lý thuyết mới, hai lý thuyết này còn trở nên cần thiết cho nhau để làm cho lý thuyết mới có nghĩa. Theo lý thuyết siêu dây thì cuộc hôn phối giữa hai lý thuyết đó không những chỉ là hạnh phúc mà còn không thể tránh được.

Đó mới chỉ là một phần của tin tức tốt lành. Lý thuyết siêu dây – mà sau này để ngắn gọn ta gọi là lý thuyết dây – còn xem sự kết hợp này là một bước tiến khổng lồ. Trong suốt ba chục năm ròng, Einstein đã tìm kiếm một lý thuyết thống nhất của vật lý, một lý thuyết có khả năng đan bện tất cả các lực của tự nhiên và tất cả các thành phần tạo nên vật chất trong một tấm thảm lý thuyết duy nhất. Nhưng ông đã thất bại. Giờ đây, vào buổi bình minh của thiên niên kỷ mới, những chuyên gia của

lý thuyết siêu dây tuyên bố rằng những đầu mối của tấm thảm thống nhất khó nắm bắt này cuối cùng đã được hé lộ. Lý thuyết dây có khả năng chứng tỏ rằng tất cả những điều kỳ diệu của Vũ trụ đều xuất phát từ một nguyên lý vật lý duy nhất, từ một phương trình cơ bản duy nhất, từ vũ điệu cuồng loạn của hạt quark trong nguyên tử tới điệu van nhịp nhàng của các hệ sao đôi, từ vụ nổ nguyên tử (Big Bang) tới vòng xoáy tuyệt đẹp của các thiên hà...

Nhưng tất cả những điều đó đòi hỏi chúng ta phải thay đổi một cách căn bản quan niệm của chúng ta về không gian, thời gian và vật chất, vì vậy phải có thời gian để quen dần, thấm dần tới mức ta cảm thấy thật thoải mái. Như chúng ta sẽ thấy, khi được nhìn nhận trong bối cảnh riêng của nó, lý thuyết dây xuất hiện như một hệ quả tự nhiên và đầy kịch tính của những phát minh có tính cách mạng của vật lý học trong suốt một trăm năm qua. Thực tế, sự xung đột giữa thuyết tương đối rộng và lý thuyết lượng tử không phải là cuộc xung đột đầu tiên mà là thứ ba trong dãy những xung đột có tính chất bước ngoặt trong một thế kỷ qua. Cứ mỗi lần một cuộc xung đột được giải quyết là một lần sự hiểu biết của chúng ta về tự nhiên lại có những biến đổi đáng ngạc nhiên.

•◎Ba cuộc xung đột

Cuộc xung đột đầu tiên khởi nguồn từ cuối những năm 1800, liên quan tới một số tính chất lạ lùng của ánh sáng. Nói một cách vắn tắt, theo các định luật về chuyển động của Newton, nếu chạy thật nhanh thì ta nhất định sẽ đuổi kịp tia sáng. Tuy nhiên, theo những định luật điện từ của Maxwell, thì điều đó là không thể. Như chúng ta sẽ thấy ở Chương 2, Einstein đã giải quyết được xung đột đó thông qua thuyết tương đối hẹp của ông, một lý thuyết đã làm đảo lộn những quan niệm của chúng ta về không gian và thời gian. Theo thuyết tương đối hẹp, không gian và thời gian không phải là những khái niệm tuyệt đối như trước: chúng không được mọi người tiếp nhận theo cách như nhau mà tuỳ thuộc vào trạng thái chuyển động của mỗi người.

Sự phát triển của thuyết tương đối hẹp ngay lập tức đã gây ra cuộc xung đột thứ hai. Thực vậy, một trong số những kết luận trong công trình của Einstein nói rằng không có một vật nào, cũng như không có một thông tin hay một ảnh hưởng nào có thể truyền đi nhanh hơn ánh sáng. Nhưng ở Chương 3, lý thuyết hấp dẫn của Newton, một lý thuyết rất

hợp với trực giác và đã được thực nghiệm kiểm chứng nhiều lần, lại xem rằng những ảnh hưởng của lực hấp dẫn đã được truyền đi một cách tức thời, ngay cả khi truyền trên những khoảng cách khổng lồ. Và lại một lần nữa, Einstein đã giải quyết được xung đột này bằng cách đưa ra một cách mô tả mới về hấp dẫn, đó là thuyết tương đối rộng được công bố năm 1915. Cũng như thuyết tương đối hẹp, lý thuyết mới này cũng làm đảo lộn những quan niệm của chúng ta về không gian và thời gian: chúng giờ đây bị cong và bị xoắn đi để đáp ứng lại sự hiện diện của vật chất hoặc năng lượng. Và chính những biến dạng này của cấu trúc không-thời gian đã truyền lực hấp dẫn từ nơi này đến nơi khác. Không gian và thời gian, do đó, không còn được xem như một màn ảnh đơn giản và trơ mà các hiện tượng tự nhiên được chiếu lên: giờ đây chúng còn là một phần không tách rời của chính các hiện tượng mà vật lý học tìm cách mô tả.

Lại một lần nữa, sự phát minh ra thuyết tương đối rộng, trong khi giải quyết được một xung đột, lại dẫn tới một xung đột khác. Từ đầu thế kỷ XX cho tới tận những năm 30, các nhà vật lý đã xây dựng lý thuyết lượng tử (xem Chương 4) để trả lời một loạt những vấn đề nóng bỏng được đặt ra ngay khi người ta định dùng vật lý của thế kỷ XIX để mô tả thế giới vi mô. Và chính ở đây, như đã nói ở trên, đã ra đời cuộc xung đột thứ ba, cũng là cuộc xung đột sâu sắc nhất, xuất hiện từ sự không tương thích giữa cơ học lượng tử và thuyết tương đối rộng. Như chúng ta sẽ thấy trong Chương 5, độ cong trơn tru của không-thời gian mà thuyết tương đối rộng ban cho lại hoàn toàn không phù hợp với sự sôi động điên cuồng mà lý thuyết lượng tử gán cho thế giới vi mô. Do mãi tới giữa những năm 1980, lượng tử dây mới đưa được ra một giải pháp, nên cuộc xung đột này được gọi rất đúng là bài toán trung tâm của vật lý hiện đại. Hơn thế nữa, là hậu duệ của thuyết tương đối hẹp và rộng, lý thuyết dây cũng đòi hỏi phải xem xét lại những quan niệm về không gian và thời gian theo cách riêng của nó. Chẳng hạn, phần lớn chúng ta đều tin rằng thế giới của chúng ta đang sống có ba chiều không gian. Tuy nhiên, điều này không đúng đối với lý thuyết dây bởi lẽ lý thuyết này tiên đoán rằng ngoài những chiều mà chúng ta có thể nhìn thấy được còn có những chiều khác không nhìn thấy bị cuộn chặt lại trong những chi tiết nhỏ nhất của cấu trúc không gian. Những điều mới mẻ đầy ấn tượng đó sẽ là sợi dây dẫn đường cho chúng ta trong các bước tiếp sau. Và thực tế, lý thuyết dây là phần tiếp nối của lịch sử về không-thời gian bắt đầu từ Einstein.

Để có một ý niệm chính xác về lý thuyết dây, chúng ta hãy tạm lùi lại một bước để mô tả vắn tắt những điều mà chúng ta đã biết được trong suốt thế kỷ trước về cấu trúc vi mô của Vũ trụ.

... Tất cả những tương tác giữa các vật và chất khác nhau, cũng như hàng triệu tương tác khác mà chúng ta gặp hằng ngày, đều có thể quy về những tổ hợp của bốn lực cơ bản. Một trong số bốn lực đó là lực hấp dẫn. Ba lực khác là lực điện từ và hai lực hạt nhân mạnh và yếu...

•◎Vũ trụ dưới kính lúp: chúng ta biết gì về vật chất

Các nhà triết học cổ Hy Lạp cho rằng Vũ trụ được cấu thành từ những phần tử nhỏ bé không thể "cắt nhỏ" được nữa mà họ gọi là các nguyên tử. Họ đoán rằng các đối tượng vật chất đều được tạo thành từ tổ hợp của một số ít các viên gạch sơ cấp đó, cũng gần giống như các từ là tổ hợp chỉ của dăm ba chữ cái. Và họ đã đoán đúng. Hơn 2000 năm sau, chúng ta vẫn còn tin rằng điều đó là đúng, mặc dù bản chất của những viên gạch cơ bản nhất đó cũng đã tiến hóa rất nhiều. Ở thế kỷ XIX, nhiều nhà khoa học đã chứng tỏ được rằng nhiều chất quen thuộc như ôxy và cácbon đều có một thành phần nhỏ nhất có thể nhận dạng được và theo truyền thống Hy Lạp họ cũng gọi chúng là các nguyên tử. Cái tên thì vẫn thế, nhưng lịch sử đã chứng tỏ rằng nó là một cái tên không đạt, bởi lẽ các nguyên tử thực sự vẫn có thể cắt nhỏ được. Vào đầu những năm 1930, những công trình tập thể của Joseph John Thomson, Ernest Rutherford, Niels Bohr và James Chadwick đã cho ra đời một mô hình nguyên tử giống như hệ mặt trời (vì thế mô hình này còn được gọi là "mẫu hành tinh") mà phần lớn chúng ta đều đã rất quen thuộc. Trong mô hình này, nguyên tử không phải là thành phần sơ cấp nhất của vật chất mà là được tạo thành từ một hạt nhân chứa proton và nơtron với đám mây các electron bao quanh.

Có một thời, nhiều nhà vật lý đã tưởng rằng proton, nơtron và các electron chính là các "nguyên tử" theo định nghĩa của người cổ Hy Lạp. Nhưng vào năm 1968, những thí nghiệm được tiến hành trên máy gia tốc tuyến tính ở Stanford, Hoa Kỳ, đã cho thấy rằng các proton và nơtron cũng không phải là các hạt cơ bản nhất, chúng lại được cấu tạo bởi ba hạt nhỏ hơn, đó là các hạt quark. Cái tên kỳ cục này đã được Murrey Gell-Mann – người đầu tiên tiên đoán sự tồn tại của chúng – lấy từ cuốn tiểu thuyết Finnegan' Wake của nhà văn nổi tiếng người Scotlen

– James Joyce. Thực nghiệm cũng khẳng định sự tồn tại của hai loại quark: quark u (up) và quark d (down). Proton được tạo bởi hai quark u và một quark d, còn nơtron bởi hai quark d và một quark u.

Tất cả mọi vật mà bạn thấy trong thế giới ở mặt đất cũng như trên trời đều được tạo từ tổ hợp các electron, các quark u và các quark d. Không có một bằng chứng thực nghiệm nào chỉ ra rằng các hạt này không phải là sơ cấp nhất, tức là được cấu tạo nên từ các hạt khác nhỏ hơn. Nhưng cũng có rất nhiều bằng chứng cho thấy Vũ trụ còn có những hạt sơ cấp khác nữa. Vào giữa những năm 1950, Frederick Reines và Clyde Cowan đã tìm được một bằng chứng thực nghiệm xác thực cho loại hạt cơ bản thứ tư gọi là hạt nơtrinô và Wolfgang Pauli đã tiên đoán sự tồn tại của nó vào đầu những năm 1930. Nơtrinô là những hạt rất khó phát hiện vì chúng rất hiếm khi tương tác với các hạt vật chất khác: Một nơtrinô có năng lượng trung bình có thể đi qua một tấm chì dày hàng ngàn kilômét mà chuyển động của nó không mảy may chịu một ảnh hưởng nào. Điều này sẽ khiến bạn cảm thấy yên tâm hơn rất nhiều, bởi lẽ ngay khi bạn đang đọc những dòng này, thì hàng tỷ nơtrinô do Mặt Trời phóng vào không gian đang xuyên qua cơ thể bạn và qua cả Trái Đất nữa, như một phần trong hành trình đơn độc của chúng trong Vũ trụ. Một hạt cơ bản khác có tên là muon đã được phát hiện vào cuối những năm 30 bởi các nhà vật lý nghiên cứu tia Vũ trụ (đó là những trận mưa hạt tới từ không gian Vũ trụ thường xuyên tới bắn phá Trái Đất). Muon rất giống electron chỉ có điều khối lượng của nó lớn hơn cỡ 200 lần. Do không có gì trong trật tự của Vũ trụ, không có một vấn đề nào chưa được giải quyết cũng như chẳng có một vị trí thích hợp nào đòi hỏi phải có sự tồn tại của hạt muon, nên nhà vật lý hạt nào được giải thưởng Nobel Isaac Isidor Rabi đã đón tiếp sự phát minh ra nó với lời chúc mừng không mấy hào hứng: “Ai đã ra lệnh để có mày trên đời này?”. Tuy nhiên, muon vẫn hiện diện đó và chúng ta vẫn sẽ còn chưa hết ngạc nhiên.

Nhờ những công nghệ ngày càng tân tiến hơn, các nhà vật lý tiếp tục bắn phá các khối vật chất với năng lượng ngày càng cao hơn, và bằng cách đó, có lúc, họ đã tạo lại được những điều kiện chưa từng thấy kể từ Big Bang. Họ đào bới trong các mảnh vỡ nhằm tìm kiếm những hạt cơ bản mới để thêm vào danh sách ngày càng dài của các hạt. Và họ đã phát hiện thêm 4 hạt quark mới, đó là quark c (charm), quark s (strange), quark b (bottom), quark t (top) và hạt họ hàng thứ hai của electron có tên là hạt tau còn nặng hơn cả muon cùng với hai hạt khác

nữa tương tự như hạt nơtrinô (mà người ta gọi là nơtrino-mu và nơtrino-tau để phân biệt với nơtrino đầu tiên có tên là nơtrino-e hay nơtrino-electron). Tất cả những hạt được tạo ra trong những va chạm ở năng lượng cao này đều rất phù du và không thuộc số những thành phần tạo nên vật chất của thế giới xung quanh chúng ta.

Tuy nhiên, chúng ta vẫn còn chưa hoàn toàn ở tận cùng của bản danh sách, bởi vì ứng với mỗi một hạt còn có một phản – hạt, có cùng khối lượng với hạt, nhưng một số đặc tính khác của nó thì ngược lại, chẳng hạn như điện tích hay một số tích khác tương ứng với các lực khác mà chúng ta sẽ giới thiệu ngay dưới đây. Ví dụ, phản-hạt của electron gọi là positron, nó có khối lượng đúng như electron, nhưng diện tích của nó là +1 thay vì là -1 như electron. Khi vật chất gặp phản vật chất, chúng sẽ huỷ nhau để chỉ tạo ra năng lượng thuần tuý, chính vì lẽ đó mà chỉ có rất ít phản vật chất có trong tự nhiên của thế giới bao quanh chúng ta.

Các nhà vật lý cũng đã phát hiện được một loại sơ đồ sắp xếp các hạt: các thành phần cấu tạo nên vật chất được tổ chức thành ba nhóm hay thường được gọi là ba họ như được trình bày trong Bảng 1.1. Mỗi họ đều chứa hai quark, một electron hay một trong số hai hạt họ hàng của nó cùng với nơtrino gắn với chúng. Các loại hạt tương ứng trong cả ba họ đều có tính chất như nhau, chỉ có điều khối lượng của chúng lớn dần từ họ thứ nhất tới họ thứ ba. Kết quả là, hiện nay các nhà vật lý đã thăm dò được cấu trúc của vật chất tới các thang khoảng một phần tỷ mét và chứng tỏ được rằng mọi thứ mà ta gặp – dù là có trong tự nhiên hay được con người tạo ra từ những máy va chạm nguyên tử khổng lồ - đều được tạo thành chỉ từ một tổ hợp nào đó của các hạt trong ba họ đó và các phản-hạt của chúng.

Họ I◎Họ II◎Họ III

Hạt◎Khối lượng◎Hạt◎Khối lượng◎Hạt◎Khối lượng

electron◎0,00054◎muon◎0,11◎tau◎1,9

nơtrino-e◎< 10-8◎nơtrino-mu◎< 0,0003◎nơtrino-tau◎< 0,033

quark u◎0,0047◎quark c◎1,6◎quark t◎189

quark d◎0,0074◎quark s◎0,16◎quark b◎5,2

Bảng 1.1. Ba họ các hạt sơ cấp. Khối lượng của chúng được tính theo

khối lượng của proton lấy làm đơn vị. Giá trị khối lượng của nơtrino luôn lảng tránh sự xác định bằng thực nghiệm.

Nhìn vào Bảng 1.1., ta hiểu rõ hơn sự lúng túng của Rabi khi đối mặt với sự phát hiện ra hạt muon: sự sắp xếp các họ hạt dường như khá có tổ chức nhưng cũng lại đặt ra nhiều câu hỏi. Tại sao lại có nhiều hạt cơ bản đến thế, nhất là khi hầu hết các vật trong thế giới xung quanh chúng ta lại chỉ được tạo bởi electron, quark u và quark d? Tại sao lại cần tới những ba họ chứ không phải là một? Và tại sao lại không phải là bốn họ hay bất cứ một số họ nào khác? Tại sao khối lượng của các hạt lại có vẻ như được gán cho một cách ngẫu nhiên như vậy? Chẳng hạn, tại sao hạt tau lại nặng hơn electron tới ba ngàn năm trăm hai mươi lần? Và tại sao quark t lại nặng hơn hạt đồng loại với nó là quark u tới bốn mươi ngàn hai trăm lần? Đó là những con số thật lạ lùng và dường như khá ngẫu nhiên. Liệu chúng có phải kết quả của sự ngẫu nhiên hay do một đấng thần thánh nào đó tạo ra, hoặc có một cách giải thích khoa học có thể hiểu được đối với tất cả những đặc điểm cơ bản đó của Vũ trụ chúng ta.

•◎Các lực hay bản chất của photon

Mọi chuyện trở nên phức tạp hơn khi chúng ta xét tới các lực của tự nhiên. Thế giới xung quanh chúng ta đầy rẫy những phương tiện gây tác động: những chiếc vợt dập vào quả bóng, những vận động viên nhảy cầu có thể tung mình lao xuống từ những cầu nhảy cao, các nam châm lớn nâng những đoàn tàu cao tốc trên được ray riêng của chúng, các máy đếm Geiger phát tín hiệu khi có chất phóng xạ, những quả bom hạt nhân phát nổ... Và bản thân chúng ta cũng có thể tác động lên các vật bằng cách kéo, đẩy hoặc lắc chúng, bằng cách ném hoặc bắn các vật khác vào chúng, bằng cách kéo giãn, vặn xoắn hoặc nghiền nát chúng, hoặc bằng cách làm lạnh, đốt nóng, hoặc đốt cháy chúng... Trong suốt thế kỷ XX, các nhà vật lý đã tích luỹ được rất nhiều bằng chứng cho thấy tất cả những tương tác đó giữa các vật và các chất khác nhau, cũng như hàng triệu tương tác khác mà chúng ta gặp hằng ngày, đều có thể quy về những tổ hợp của bốn lực cơ bản. Một trong số bốn lực đó là lực hấp dẫn. Ba lực khác là lực điện từ và hai lực hạt nhân mạnh và yếu.

Trong số bốn lực trên, lực hấp dẫn là lực quen thuộc nhất. Chính lực này đã giữ cho Trái Đất của chúng ta quay quanh Mặt Trời và cũng nhờ nó mà bàn chân chúng ta bám chặt được vào mặt đất. Khối lượng của một vật là thước đo lực hấp dẫn mà nó có thể tác dụng cũng như lực

hấp dẫn mà nó có thể bị tác dụng. Nó là nền tảng của những tiện nghi trong đời sống hiện đại (điện, TV, điện thoại, máy tính...), cũng như của sức mạnh đầy ấn tượng của sấm sét và ngay cả của cái vuốt ve dịu dàng của bàn tay. Ở thang vi mô, điện tích của hạt đóng vai trò đối với lực điện từ như là khối lượng đối với lực hấp dẫn: nó xác định cường độ của lực điện từ mà hạt đó có thể tác dụng cũng như cường độ phản ứng của nó đối với lực ấy.

Các lực hạt nhân mạnh và yếu ít quen thuộc hơn, đơn giản là vì cường độ của chúng giảm rất nhanh ở ngoài thang kích thước dưới nguyên tử. Chính vì thế mà rất gần đây, các nhà vật lý mới phát hiện ra chúng. Nhờ lực hạt nhân mạnh mà các quark vẫn còn "dính" với nhau ở bên trong các proton và nơtron cũng như giữ chặt chính các hạt này bên trong hạt nhân nguyên tử. Còn lực yếu là lực gây ra sự phân rã phóng xạ của một số nguyên tố như urani, coban...

Trong suốt thế kỷ trước, các nhà vật lý cũng đã phát hiện ra hai điểm chung của tất cả các lực cơ bản. Thứ nhất, như chúng ta sẽ thấy trong Chương 5, ở mức vi mô, mỗi một lực đều tương ứng với một loại hạt mà ta có thể hiểu như là một "bó" nhỏ nhất của lực đó. Nếu bạn bắn một chùm laser – tức cũng là một chùm tia của bức xạ điện từ – thì có nghĩa là bạn đã bắn một chùm hạt photon – những bó nhỏ nhất của tương tác điện từ. Cũng tương tự, các lực yếu và mạnh có các bó sơ cấp tương ứng là các hạt boson yếu và các hạt gluon. (Cái tên gluon ở đây là rất gợi: chúng có thể được xem như là các thành phần vi mô của một "chất keo" (tiếng Anh là glue) đảm bảo sự gắn kết của các hạt nhân nguyên tử). Ngay từ năm 1984, các nhà thực nghiệm đã xác lập được sự tồn tại cũng như tính chất của ba loại "hạt tương tác" (xem Bảng 1.2). Còn graviton – hạt tương tác gắn với lực hấp dẫn, mặc dù còn chưa có những khẳng định bằng thực nghiệm, nhưng các nhà vật lý hầu như đã tin vào sự tồn tại của chúng.

Lực◎Hạt tương tác◎Khối lượng

lực hạt nhân mạnh◎gluon◎0

lực điện từ◎photon◎0

lực hạt nhân yếu◎các boson yếu◎86-97

lực hấp dẫn◎graviton◎0

Bảng 1.2. Đối với mỗi lực cơ bản đều cho hạt tương tác tương ứng và khối lượng của nó (tính theo đơn vị là khối lượng của proton). Đối với lực hạt nhân yếu, có nhiều hạt tương tác với khối lượng nhận một trong hai giá trị cho trong bảng. Sự không có khối lượng của graviton vẫn chỉ là giả thuyết.

Điểm chung thứ hai của tất cả các lực cơ bản liên quan tới các "tích": cũng hệt như khối lượng của các hạt do tác dụng của lực hấp dẫn lên nó, điện tích xác định cường độ của lực điện từ tác dụng lên hạt, các hạt mang "tích yếu" hoặc "tích mạnh" là những tính xác định cường độ của các lực yếu và lực mạnh tương ứng tác dụng lên hạt đó. (Chi tiết về tính chất của các hạt cơ bản được cho trong bảng ở phần Chú thích của bài này [1]). Điện tích và khối lượng đã được các nhà vật lý thực nghiệm đo đạc rất chính xác, nhưng thật không may, cho tới nay chưa có ai có thể giải thích được tại sao Vũ trụ của chúng ta lại tạo bởi những hạt mang đúng những giá trị khối lượng và điện tích đó?

Mặc dù có những điểm chung, nhưng việc xem xét bốn lực cơ bản lại đặt ra nhiều câu hỏi mới. Trước hết, tại sao lại là bốn lực? Tại sao không phải là năm, là ba hay thậm chí chỉ là một lực duy nhất? Tại sao các lực lại thể hiện những tính chất rất khác nhau như vậy? Tại sao các lực hạt nhân mạnh và yếu lại bị buộc chỉ đứng hoạt động ở mức vi mô, trong khi các lực hấp dẫn và điện từ lại có tầm tác dụng vô hạn? Và cũng tại sao, cường độ của bốn lực đó lại khác biệt nhiều như vậy?

Để bạn có được một ý niệm về sự khác biệt đó, hãy tưởng tượng mỗi tay bạn đều giữ một electron và cố đưa chúng lại gần nhau. Hai hạt tích điện và giống hệt nhau này sẽ hút nhau bởi lực hấp dẫn và đẩy nhau bởi lực điện từ. Vậy lực nào sẽ thắng thế? Các electron sẽ hút lại gần nhau hay đẩy nhau ra xa? Tất nhiên là lực đẩy sẽ thắng thế vì lực điện từ mạnh hơn lực hấp dẫn tới một triệu tỷ tỷ tỷ tỷ (1042) lần. Và nếu như cơ bắp ở tay phải bạn tượng trưng cho lực hấp dẫn, thì khi đó để tượng trưng cho lực điện từ, cơ bắp tay trái bạn phải kéo dài tới tận bên ngoài biên giới tận cùng của Vũ trụ mà ta quan sát được! Lý do duy nhất để giải thích tại sao lực điện từ không lấn át lực hấp dẫn trong thế giới bao quanh chúng ta là bởi vì phần lớn các vật được tạo bởi lượng điện tích dương và âm ngang nhau, do đó lực điện từ triệt tiêu lẫn nhau. Trong khi đó, lực hấp dẫn chỉ là hút, nên không có sự triệt tiêu như thế: càng có nhiều vật chất thì lực hấp dẫn chỉ càng mạnh thêm. Hơn thế nữa, về

bản chất lực hấp dẫn là một lực cực yếu. (Điều này giải thích tại sao khẳng định bằng thực nghiệm sự tồn tại của graviton là một việc rất khó. Do vậy, việc tìm kiếm cái bó nhỏ nhất đó của lực yếu nhất này quả là một thách thức). Thực nghiệm cũng đã chứng tỏ được rằng lực mạnh lớn gấp một trăm lần lực điện từ và lớn gấp một ngàn lần lực yếu. Và ở đây, một lần nữa, một câu hỏi được đặt ra là: do đâu mà Vũ trụ chúng ta lại có những đặc điểm đó?

Đây không phải là câu hỏi được sinh ra từ sự triết lý bàn trà kiểu như tại sao một số chi tiết lại xảy ra theo cách này mà không theo cách khác. Vấn đề là ở chỗ Vũ trụ sẽ khác đi rất nhiều nếu ta làm thay đổi, dù chỉ là tí chút, những tính chất của vật chất và các hạt tương tác. Ví dụ, sự tồn tại của các hạt nhân bền vững tạo nên hơn một trăm nguyên tố trong Bảng tuần hoàn phụ thuộc một cách sít sao vào tỷ số giữa cường độ của lực hạt nhân mạnh và cường độ của lực điện từ. Thực vậy, lực điện từ giữa các proton bị giam bên trong hạt nhân làm cho chúng đẩy nhau, trong khi đó, thật may mắn, lực hạt nhân mạnh tác dụng giữa các hạt quark tạo nên chúng lại thắng lực đẩy này và giữ chặt các proton lại với nhau. Nhưng chỉ cần một thay đổi nhỏ trong cường độ tương đối của hai lực đó là sự cân bằng giữa chúng sẽ bị phá vỡ và có thể sẽ làm cho phần lớn các hạt nhân nguyên tử bị phân rã. Một ví dụ khác: nếu khối lượng của electron lớn hơn một chút, các electron và proton sẽ có xu hướng kết hợp với nhau để tạo thành nơtron, khi đó thì nguyên tử hiđrô (nguyên tố đơn giản nhất trong Vũ trụ với hạt nhân chỉ gồm một proton duy nhất) sẽ biến mất và do đó làm cho quá trình sản xuất ra các nguyên tố phức tạp hơn bị ngừng trệ. Các ngôi sao chỉ tồn tại được là nhờ vào sự tổng hợp các hạt nhân trong lòng của chúng, với sự thay đổi này, cũng sẽ không còn các ngôi sao nữa. Ở đây cường đồ của lực hấp dẫn cũng đóng vai trò quan trọng. Mật độ lớn của vật chất trong lõi của các ngôi sao có tác dụng duy trì lò lửa hạt nhân trong đó và dẫn tới sự phát sáng của các ngôi sao. Nếu như lực hấp dẫn mạnh hơn một chút, lõi của các ngôi sao sẽ hút mạnh hơn và do đó sẽ làm tăng nhịp độ diễn ra các phản ứng tổng hợp hạt nhân. Cũng giống như các bó đuốc sáng sẽ tiêu thụ nhiên liệu nhanh hơn một ngọn nến cháy chậm rãi, nếu nhịp độ xảy ra các phản ứng tổng hợp hạt nhân gia tăng, thì các ngôi sao như Mặt Trời của chúng ta sẽ tắt nhanh hơn và do đó việc tạo thành sự sống như chúng ta đã biết sẽ hoàn toàn là chuyện đáng ngờ. Trái lại, nếu lực hấp dẫn yếu hơn một chút, vật chất sẽ phân tán và do đó sẽ không có các ngôi sao cũng như chẳng có các thiên hà.

Những ví dụ trên còn có rất nhiều, nhưng ý tưởng này đã là rõ ràng: Vũ trụ của chúng ta như nó hiện nay là bởi vì vật chất và các tương tác của chúng có những tính chất như chúng đang có. Nhưng liệu có một giải thích khoa học cho câu hỏi: Tại sao chúng lại có những tính chất đó?

[1] Bảng dưới đây khá chi tiết hơn so với Bảng 1.1., trong đó liệt kê khối lượng, tích lực của các hạt thuộc cả ba họ. Mỗi loại quark mang ba tích lực mạnh khả dĩ được gọi văn vẻ là ba tích màu, tượng trưng cho giá trị bằng số của ba tích lực mạnh. Các tích yếu thực chất là "thành phần thứ ba" của isospin yếu.

Họ I

Hạt◎Khối lượng◎Điện tích◎Tích yếu◎Tích mạnh

Êlectron◎0,00054◎-1◎-1/2◎0

Nơtrinô-eclectron◎< 10-8◎0◎1/2◎0

Quark u◎0,0047◎2/3◎1/2◎đỏ, lục, lam

Quark d◎0,0074◎-1/3◎-1/2◎đỏ, lục, lam

Họ II

Hạt◎Khối lượng◎Điện tích◎Tích yếu◎Tích mạnh

Muon◎0,11◎-1◎-1/2◎0

Nơtrinô-muon◎< 0,0003◎0◎1/2◎0

Quark c◎1,6◎2/3◎1/2◎đỏ, lục, lam

Quark s◎0,16◎-1/3◎-1/2◎đỏ, lục, lam

Họ III

Hạt◎Khối lượng◎Điện tích◎Tích yếu◎Tích mạnh

Tau◎1,9◎-1◎-1/2◎0

Nơtrinô-tau◎< 0,033◎0◎1/2◎0

Quark t◎189◎2/3◎1/2◎đỏ, lục, lam

Quark b◎5,2◎-1/3◎-1/2◎đỏ, lục, lam

Lý thuyết dây cho chúng ta một khuôn khổ giải thích duy nhất cho vật chất và tất cả các tương tác của nó mà chỉ dựa trên một nguyên lý duy nhất: ở cấp độ nhỏ nhất, tất cả chỉ là những tổ hợp của các dây dao động.

•◎Lý thuyết dây: ý tưởng cơ bản

Lý thuyết dây lần đầu tiên đã cho một khuôn mẫu khái niệm mạnh mẽ cho phép trả lời được những câu hỏi mà chúng ta đã nêu ở trên. Trước hết chúng ta hãy làm quen với ý tưởng cơ bản của nó.

Các hạt được liệt kê trong Bảng 1.1 là "những chữ cái" của vật chất. Cũng giống như bảng các chữ cái, chúng không có cấu trúc nội tại. Nhưng lý thuyết dây lại tuyên bố khác. Theo lý thuyết này, nếu chúng ta có thể xem xét các hạt đó với độ chính xác cao hơn – cao hơn nhiều bậc so với độ chính xác của khả năng công nghệ hiện nay – thì chúng ta sẽ thấy rằng mỗi một hạt đó không có dạng điểm, mà thay vì thế chúng gồm một vòng dây nhỏ xíu một chiều. Giống như một dải cao su cực mảnh, mỗi một hạt này chứa một sợi dây nhảy múa và dao động, mà các nhà vật lý do không có cái duyên văn học của Gell-Mann đã đặt tên cho nó là dây. Hình 1.1. minh hoạ ý tưởng căn bản này của lý thuyết dây: xuất phát từ một mẩu vật chất thông thường – một quả táo – và liên tiếp được phóng đại để nhìn rõ những thành phần ngày càng ở thang nhỏ hơn của nó. Lý thuyết dây đã thêm một cấp độ vi mô mới, nhỏ bé nhất – cấp độ của các vòng dây dao động – vào tiến trình mà ta đã biết trước, từ quả táo tới các nguyên tử qua proton, notron, rồi electron đến quark [1].

Hình 1.1. Vật chất được cấu tạo từ các nguyên tử, rồi các nguyên tử lại được tạo thành từ các quark và electron. Theo lý thuyết dây, tất cả các hạt đó lại được tạo thành từ các dây dao động.

Mặc dù điều này đã hoàn toàn rõ ràng, nhưng chúng ta sẽ thấy trong Chương 6 rằng việc thay thế các thành phần cơ bản nhất của vật chất có dạng điểm bằng các dây đã giải quyết được sự không tương thích giữa cơ học lượng tử và thuyết tương đối rộng. Và như vậy lý thuyết dây đã cho phép ta gỡ được cái nút nan giải nhất của vật lý hiện đại. Đây là một thành tựu to lớn, nhưng mới chỉ là một phần của cái lý do khiến cho lý thuyết dây đã tạo ra được một sự phấn khích đến như vậy.

•◎Lý thuyết dây – lý thuyết của tất cả?

Vào thời Einstein, các lực hạt nhân yếu và mạnh còn chưa được phát hiện, nhưng ông đã thấy rằng sự tồn tại của hai lực khác biệt là lực hấp dẫn và lực điện từ đã gây ra những khó khăn rất sâu sắc. Einstein đã không chấp nhận chuyện tự nhiên lại được xây dựng trên một bản thiết kế phung phí như vậy. Ông đã lao vào một cuộc hành trình kéo dài 30 năm để tìm kiếm cái gọi là lý thuyết trường thống nhất mà ông hy vọng sẽ chứng tỏ được hai lực này thực sự chỉ là những biểu hiện khác nhau của một nguyên lý lớn. Cuộc tìm kiếm đầy ảo tưởng đó đã tách Einstein ra khỏi dòng chính của vật lý học thời đó. Những nhà vật lý cùng thời với ông đang mải mê lao vào những nghiên cứu sôi động hơn nhiều trong khuôn khổ của vật lý lượng tử vừa mới xuất hiện. Vào đầu những năm 1940, ông đã viết cho một người bạn: "Tôi đã trở thành một lão già đơn độc được biết tới chỉ vì không mang vớ và được trưng bày trong những dịp lễ lạt lớn như là một thứ của lạ" [2].

Chẳng qua đơn giản là vì Einstein đã đi trước thời đại mình. Hơn một nửa thế kỷ sau, giấc mơ về một lý thuyết thống nhất của ông đã trở thành mục tiêu của vật lý hiện đại. Hiện nay, một bộ phận đáng kể của cộng đồng các nhà vật lý và toán học đang ngày càng tin rằng lý thuyết dây đang đi theo con đường đúng. Lý thuyết này cho chúng ta một khuôn khổ giải thích duy nhất cho vật chất và tất cả các tương tác của nó mà chỉ dựa trên một nguyên lý duy nhất: ở cấp độ nhỏ nhất, tất cả chỉ là những tổ hợp của các dây dao động.

Chẳng hạn, lý thuyết dây khẳng định rằng các tính chất của những hạt đã biết (được liệt kê trong các Bảng 1.1. và 1.2.) chỉ là sự phản ánh những cách dao động khác nhau của các dây. Cũng giống như các dây đàn Piano hay Violon có thể dao động theo nhiều tần số cộng hưởng mà tai ta cảm nhận như những nốt nhạc khác nhau và các họa ba bậc cao của chúng, điều này cũng đúng đối với các vòng của lý thuyết dây. Nhưng như chúng ta sẽ thấy, những mode dao động của dây trong lý thuyết dây không tạo ra những nốt nhạc mà chúng là các hạt có khối lượng và điện tích được xác định bởi mode dao động đó. Electron là một kiểu dao động của dây, quark u là một kiểu dao động khác v.v. Những tính chất mà lý thuyết dây trao cho các hạt hoàn toàn không phải là một tập hợp hổ lốn các sự kiện thực nghiệm mà chúng là sự thể hiện của cùng một đặc điểm vật lý, đó là các mode dao động cộng

hưởng, hay có thể nói là giai điệu của những vòng dây sơ cấp đó. Chính ý tưởng này cũng được áp dụng cho các lực của tự nhiên. Chúng ta cũng sẽ thấy rằng các hạt lực cũng được gắn với những mode dao động cụ thể của dây, và từ đó mà toàn bộ vật chất và tất cả các lực sẽ được thống nhất trong cùng một khuôn khổ những dao động vi mô của các dây, như những nốt nhạc khác nhau mà các dây có thể tạo ra.

Do đó đây là lần đầu tiên trong lịch sử vật lý chúng ta có được một khuôn khổ có thể giải thích được từng đặc trưng cơ bản của tự nhiên. Vì lý do đó mà lý thuyết dây đôi khi được xem là "lý thuyết cuối cùng". Với những lời lẽ to tát đó, thực ra người ta chỉ muốn nói rằng lý thuyết này sẽ là một lý thuyết sâu sắc nhất của tất cả những lý thuyết khác và không phải dựa trên một lý thuyết nào. Tuy nhiên, nhiều nhà lý thuyết dây có một cách tiếp cận thực tế hơn, họ xem lý thuyết về "tất cả" đơn giản chỉ là một lý thuyết có khả năng giải thích được những tính chất của các hạt cơ bản và các tương tác giữa chúng. Một nhà quy giản luận thuần tuý và cứng rắn chắc sẽ nói với bạn rằng đó hoàn toàn không phải là sự hạn chế, rằng sự hiểu biết các quá trình vi mô sơ cấp, về nguyên tắc, là đủ để chúng ta giải thích được tất cả những thứ còn lại, từ Big Bang cho tới tận những giấc mơ của chúng ta.

Triết lý quy giản luận đã gây ra những cuộc tranh luận gay gắt. Nhiều người thấy rằng sẽ thật là ngớ ngẩn và dễ gây phẫn nộ nếu cho rằng những điều kỳ diệu của sự sống và của Vũ trụ chỉ đơn giản là kết quả của cái vũ điệu tẻ nhạt của các hạt cơ bản dưới sự chỉ huy của các định luật vật lý. Lẽ nào niềm vui hay nỗi buồn thực sự chỉ là kết quả của những phản ứng hóa học ở bên trong bộ não của chúng ta – những phản ứng giữa các phân tử và nguyên tử, những hạt mà ở thang nhỏ hơn lại là kết quả của những phản ứng giữa các hạt được liệt kê trong Bảng 1.1. và chính những hạt này lại chỉ đơn giản là các sợi dây nhỏ bé dao động? Đối mặt với kiểu phê phán đó, lời lẽ của nhà vật lý được giải Nobel Steven Weinberg trong cuốn Giấc mơ về một lý thuyết cuối cùng vẫn còn rất thận trọng:

"Ở đầu phổ bên kia là những người phản đối quy giản luận những người hoảng sợ trước cái mà họ cảm thấy sẽ là cảnh tiêu điều khô cằn của khoa học hiện đại. Trong bất kỳ phạm vi nào, họ và thế giới của họ đều có thể quy về khuôn khổ của các hạt hoặc trường cùng với những tương tác của chúng và điều đó khiến cho họ cảm thấy giá trị của mình

bị hạ thấp... Tôi không có ý định trả lời những ý kiến phê bình đó bằng một bản trình bày hùng hồn về những vẻ đẹp của khoa học hiện đại. Hẳn nhiên, quan điểm quy giản luận khiến chúng ta đều cảm thấy ớn lạnh sống lưng. Nhưng chúng ta đã chấp nhận nó như vốn có, không phải bởi vì nó khiến chúng ta thích thú mà bởi vì thế giới của chúng ta vận hành đúng như vậy" [3].

Một số người đồng ý với quan điểm khắc nghiệt nhưng thực tế đó, song không phải là tất cả.

Một số người đã viện đến, chẳng hạn như lý thuyết hỗn độn, để biện luận rằng mỗi khi độ phức tạp của một hệ thống tăng lên thì sẽ lại xuất hiện những dạng định luật mới. Việc hiểu được hành trạng của các electron hay các quark là một chuyện, còn áp dụng những tri thức này để mô tả một cơn lốc, chẳng hạn, lại là một chuyện khác. Gần như không có phản đối điều đó. Nhưng các ý kiến bắt đầu phân kỳ ngay khi nói về tính đa dạng và đặc tính đôi khi bất ngờ của các hiện tượng có thể xuất hiện từ những hệ thống phức tạp hơn những hạt đơn lẻ. Phải chăng chúng là hệ quả của những nguyên lý mới? Hay những hiện tượng đó có thể được suy ra một cách cực kỳ phức tạp từ những quy luật vật lý chi phối một số rất lớn các thành phần sơ cấp? Cảm giác riêng của tôi là chúng không phải là thể hiện của những định luật vật lý mới và độc lập. Tất nhiên, sẽ là rất khó khăn khi phải mô tả một cơn lốc bằng những định luật của vật lý hạt cơ bản, nhưng tôi thấy vấn đề ở đây chỉ là do thiếu các phương tiện tính toán chứ không phải là dấu hiệu của sự cần phải có những định luật mới. Nhưng lại một lần nữa không phải mọi người đều đồng ý với quan điểm đó.

Một điểm có tầm quan trọng hàng đầu đối với cuộc phiêu lưu được mô tả trong cuốn sách này và không ai có thể nghi ngờ, đó là: thậm chí ngay cả khi ta chấp nhận quan điểm quy giản luận thuần tuý và cứng rắn nhất đi nữa thì lý thuyết và thực tiễn vẫn là hai chuyện khác nhau. Hầu hết mọi người đều thừa nhận rằng việc tìm ra "lý thuyết về tất cả" hoàn toàn không có nghĩa là tất cả những vấn đề của tâm lý học, sinh học, hóa học và thậm chí của vật lý học nữa sẽ được giải quyết hết. Vũ trụ cực kỳ đa dạng và phức tạp tới mức sự phát minh ra lý thuyết cuối cùng theo nghĩa chúng ta mô tả ở đây không hề là lời tuyên bố cáo chung của khoa học. Mà hoàn toàn ngược lại. Lý thuyết này, lý thuyết cho sự giải thích tối hậu về Vũ trụ ở cấp độ vi mô nhất của nó và không dựa trên một

cách giải thích nào khác ở cấp độ sâu hơn, sẽ cung cấp cho ta một nền tảng vững chắc nhất để xây dựng nên sự hiểu biết của chúng ta về thế giới. Sự phát minh ra lý thuyết đó đánh dấu một sự khởi đầu chứ không phải kết thúc. Lý thuyết tối hậu mang lại cho chúng ta một cơ sở vững chắc cho sự nhất quán và vĩnh viễn đảm bảo cho chúng ta rằng Vũ trụ là có thể hiểu được.

[1] Ngoài các vòng dây kín như minh hoạ trên Hình 1.1, các dây cũng có thể có hai đầu tự do (gọi là các dây hở). Để dễ trình bày, chúng tôi chủ yếu tập trung xét các dây kín, nhưng phần lớn những điều chúng tôi nói áp dụng được cả cho hai loại dây.

[2] Albert Einstein, trong bức thư gửi cho một người bạn năm 1942, được trích trong cuốn Einstein‘s Mirror của Tony Hey và Patrick (Cambridge University Press, 1997).

[3] Steven Weinberg, Dreams of a Final Theory (Pantheon, 1992), trang 52.

•◎Hiện trạng của lý thuyết dây

Mục đích chủ yếu của cuốn sách này là giải thích sự hoạt động của Vũ trụ theo lý thuyết dây và đặc điểm nhấn mạnh tới những hệ quả của nó đối với sự nhận thức của chúng ta về không gian và thời gian. Không giống như nhiều tác phẩm khác viết về sự tiến bộ của khoa học, cuốn sách mà bạn đang cầm trong tay đây không mô tả một lý thuyết đã hoàn toàn sáng tỏ, đã được khẳng định bởi nhiều quan sát thực nghiệm và đã được toàn thể cộng đồng khoa học thế giới chấp nhận. Sở dĩ như vậy là do, lý thuyết dây là một cấu trúc lý thuyết rất sâu sắc và tinh xảo tới mức, mặc dù đã có những tiến bộ rất lớn trong hai chục năm trở lại đây, nhưng chúng ta còn xa mới có thể tuyên bố là đã làm chủ được hoàn toàn.

Do vậy, lý thuyết dây nên được xem như một công trình đang thi công, nhưng những bộ phận đã được hoàn tất của nó đã hé lộ những đặc trưng lạ lùng của vật chất, không gian và thời gian. Sự kết hợp hài hòa được thuyết tương đối rộng với cơ học lượng tử là một thành công chủ yếu. Hơn nữa, không giống như những lý thuyết trước đó, lý thuyết dây có khả năng trả lời được những câu hỏi căn bản nhất về những thành phần và các lực cơ bản của tự nhiên, đó là sự thanh nhã của cả những câu trả lời lẫn khuôn khổ để trả lời mà lý thuyết dây đã đưa ra. Chẳng

hạn, rất nhiều đặc điểm của tự nhiên tưởng như chỉ đơn giản là những chi tiết có tính kỹ thuật (như số lượng các hạt cơ bản và những tính chất tương ứng của chúng) thì hóa ra lại là hệ quả của một số đặc trưng căn bản và cụ thể là đặc trưng hình học của Vũ trụ. Nếu như lý thuyết dây là đúng, thì cấu trúc vi mô của Vũ trụ chúng ta sẽ là một mê lộ đa chiều đan xen nhau, trong đó các dây của Vũ trụ không ngừng dao động và vặn xoắn nhịp theo những định luật của Vũ trụ. Các tính chất của những viên gạch sơ cấp cấu tạo nên Vũ trụ hoàn toàn không phải là dãy những chi tiết ngẫu nhiên mà gắn bó một cách mật thiết với cấu trúc của không gian và thời gian.

Tuy nhiên, theo những phân tích mới nhất, lý thuyết này vẫn chưa có những tiên đoán có tính chất quyết định có thể kiểm chứng bằng thực nghiệm để xác định dứt khoát nó đã thực sự vén được bức màn bí mật che giấu những chân lý sâu xa nhất của Vũ trụ chúng ta hay chưa. Có lẽ phải cần một thời gian nữa, khi mà sự hiểu biết của chúng ta đạt tới đủ độ sâu cần thiết, chúng ta mới có thể đến được mục tiêu đó. Tuy nhiên, như chúng ta sẽ thấy trong Chương 9, những kiểm chứng thực nghiệm trong vòng chục năm tới vẫn có thể tạo ra được những bằng chứng gián tiếp nhưng vững chắc về sự đúng đắn của một số kết quả do lý thuyết dây tiên đoán. Hơn thế nữa, như chúng ta sẽ thấy trong Chương 13, lý thuyết dây vừa mới giải quyết được một bài toán trung tâm của vật lý các lỗ đen, liên quan tới cái gọi là entropy Bekenstein – Hawking, mà các phương pháp thông thường đã bất lực trong suốt 25 năm. Nhờ có thành công đó, nhiều người đã tin rằng lý thuyết dây sẽ cho chúng ta một sự hiểu biét sâu sắc nhất về sự hoạt động vủa Vũ trụ.

Edward Witten, một chuyên gia hàng đầu và là nhà vật lý tiên phong trong lĩnh vực này, đã tổng kết tình hình trên trong nhận xét rằng: "lý thuyết dây là một bộ phận của vật lý thế kỷ XXI đã tình cờ rơi xuống thế kỷ XX" [1] - (một đánh giá được nêu ra đầu tiên bởi nhà vật lý nổi tiếng người Italia – Daniele Amati). Về một phương diện nào đó, điều này cũng tương tự như chúng ta đặt các nhà bác học của thế kỷ XIX trước một siêu máy tính mà không có tài liệu hướng dẫn sử dụng. Dần dà, bằng những bước đi dò dẫm, rồi họ cũng sẽ hiểu được sức mạnh của chiếc máy đó, nhưng họ sẽ còn phải bỏ ra nhiều sức lực và thời gian mới có thể làm chủ được nó. Những mách bảo về tiềm năng của chiếc máy đó (cũng như chúng ta cảm nhận được sức mạnh giải thích của lý thuyết dây) sẽ mang lại cho họ một động cơ cực kỳ mạnh mẽ để chinh phục hết

những tính năng của nó. Ngày hôm nay, một động cơ tương tự cũng đang thôi thúc cả một thế hệ các nhà vật lý hăm hở tìm kiếm một sự hiểu biết đầy đủ và chính xác về lý thuyết dây.

Ý kiến của Witten và của nhiều chuyên gia khác trong lĩnh vực này chỉ ra rằng phải mất hàng chục thậm chí hàng trăm năm nữa chúng ta mới triển khai được đầy đủ và mới thực sự hiểu hết lý thuyết dây. Có lẽ đúng là như vậy. Thực tế, cơ sở toán học của lý thuyết dây phức tạp tới mức, cho tới nay chưa có ai biết được những phương trình chính xác chi phối lý thuyết này là như thế nào. Các nhà nghiên cứu chỉ mới biết một số dạng gần đúng của các phương trình đó, nhưng dù thế chúng cũng đã quá phức tạp và do đó mới chỉ giải được một phần. Tuy nhiên, vào cuối những năm 1900 người ta đã chứng kiến nhiều đột phá lý thuyết quan trọng cho phép trả lời được nhiều câu hỏi cực kỳ khó về mặt lý thuyết. Và điều này khiến người ta nghĩ rằng sự hiểu biết lý thuyết dây một cách đầy đủ về mặt định tính không phải quá xa vời như người ta tưởng. Các nhà vật lý trên khắp thế giới đang phát triển những kỹ thuật mới hòng vượt qua nhiều phương pháp gần đúng đã được dùng cho tới nay. Họ cùng nhau lắp ghép những mảnh rời rạc của câu đố ghép hình là lý thuyết dây của chúng ta với một tốc độ rất đáng khích lệ.

Một điều lạ lùng là, những tiến bộ mới đây đã làm xuất hiện nhiều quan niệm mới cho phép giải thích lại một số khía cạnh kiến trúc của lý thuyết mà người ta tưởng là đã được xác lập. Chẳng hạn, nhìn hình 1.1. bạn có thể nảy ra một câu hỏi rất tự nhiên là: tại sao lại là dây? Tại sao không phải là các đĩa? Hay không phải là những giọt cực nhỏ? Hay thậm chí không là tổ hợp của ba khả năng đó? Như chúng ta sẽ thấy trong Chương 12, những thành tựu mới nhất cho thấy rằng các phần tử khác nhau này thực tế đều đóng một vai trò quan trọng trong lý thuyết dây và đã phát hiện ra rằng lý thuyết dây thực sự chỉ là bộ phận của một sự tổng hợp rộng lớn hơn thường được gọi (một cách bí ẩn) là lý thuyết M. Những phát minh mới nhất đó sẽ là đề tài được đề cập tới trong những chương cuối cùng của cuốn sách này.

Sự tiến bộ của khoa học thường diễn ra theo từng đợt. Một số thời kỳ dồn dập những đột phá ngoạn mục, trong khi những thời kỳ khác đối với các nhà nghiên cứu chỉ là những chặng đường dằng dặc qua sa mạc. Các nhà khoa học đưa ra những kết quả cả về lý thuyết lẫn thực nghiệm rồi sau đó được cả cộng đồng khoa học thảo luận. Những kết quả đó đôi

khi có thể bị từ chối vứt bỏ hoặc được sửa đổi, nhưng đôi khi chúng cũng mang lại một chớp lửa cảm hứng cần thiết để tìm ra một con đường mới và chính xác hơn để hiểu cái vũ trụ vật lý của chúng ta. Nói một cách khác, khoa học luôn đi theo một con đường zig zac tới cái mà chúng ta hy vọng sẽ là chân lý cuối cùng. Con đường đó bắt đầu từ những toan tính thăm dò Vũ trụ đầu tiên của con người nhưng chưa ai đoán được điểm tận cùng của nó. Và cũng không ai có thể nói được, trên con đường dằng dặc đó, lý thuyết dây đơn giản chỉ là một điểm dừng, một điểm mốc quan trọng hay chính là đích cuối cùng. Dẫu sao, những nghiên cứu miệt mài của nhiều nhà vật lý và toán học thuộc nhiều quốc tích khác nhau trong suốt hai chục năm qua đã cho chúng ta một cơ sở để hy vọng rằng chúng ta đang đi theo con đường đúng và có thể cũng là con đường cuối cùng.

Riêng chuyện ở trình độ chưa cao như chúng ta hiện nay mà đã có thể rút ra được những kết luận mới về sự hoạt động của Vũ trụ cũng đã chứng tỏ sự giàu có và tầm vóc của lý thuyết dây. Sợi chỉ trung tâm xuyên suốt trong những phần tiếp sau sẽ là những phát triển nhằm đẩy xa hơn nữa cuộc cách mạng trong quan niệm của chúng ta về không gian và thời gian, một cuộc cách mạng đã được khởi phát bởi các thuyết tương đối hẹp và rộng của Einstein. Chúng ta sẽ thấy rằng, nếu lý thuyết dây là đúng, thì cấu trúc của Vũ trụ chúng ta có những tính chất mà ngay cả Einstein cũng phải kinh ngạc.

[1] Phỏng vấn Edword Witten, 11 tháng 5 năm 1998.

... Thuyết tương đối hẹp đã giải quyết được sự xung đột giữa trực giác của chúng ta về chuyển động và những tính chất của ánh sáng, nhưng cái giá phải trả cho sự giải quyết đó là: những người quan sát chuyển động đối với nhau sẽ không nhất trí với nhau về những quan sát của họ về cả không gian lẫn thời gian...

CHƯƠNG 2

KHÔNG GIAN, THỜI GIAN VÀ NGƯỜI QUAN SÁT

Tháng 6 năm 1905: Albert Einstein, mới 26 tuổi, đã gửi đăng một bài báo trên tạp chí khoa học của Đức Annalen der Physik. Trong bài nghiên cứu mang tính rất chuyên môn đó, Einstein đã tấn công vào một nghịch lý có liên quan tới ánh sáng đã làm cho ông trăn trở khoảng chừng mười năm trước. Khi lật tới trang bản thảo cuối cùng của Einstein, vị chủ biên của tạp chí là Max Planck đã thấy rằng bài báo có chất lượng vượt quá mọi yêu cầu để được công bố. Thế là, không hề có trống dong cờ mở, gã nhân viên cạo giấy ở Bernơ, Thuỵ Sĩ, đã làm đảo lộn hoàn toàn những khái niệm truyền thống về không gian – thời gian và thay chúng bằng một khái niệm mới với những tính chất hoàn toàn trái ngược những điều mà chúng ta đã quen thuộc theo kinh nghiệm hằng ngày.

Nghịch lý khiến Einstein phải trăn trở từ hơn mười năm trước là thế này. Vào giữa thế kỷ XIX, sau khi xem xét một cách tỉ mỉ những công trình thực nghiệm của nhà vật lý người Anh Michael Faraday, nhà vật lý người Scotlen Clerk Maxwell đã thành công trong việc thống nhất được điện và từ trong một khuôn khổ duy nhất là trường điện từ. Nếu như bạn có dịp đứng trên một đỉnh núi ngay trước khi có mưa dông lớn hay đứng cạnh một máy phát tĩnh điện Van de Graaf, bạn sẽ có được một cảm giác sâu xa về trường điện từ là gì, vì bạn đã cảm nhận được nó. Trong trường hợp bạn chưa có cơ may đó, thì hãy tưởng tượng nó giống như những làn sóng các đường sức điện và từ lan rộng trong vùng không gian mà nó đi qua. Chẳng hạn, khi bạn rắc mạt sắt gần một thanh nam châm, bạn sẽ thấy một bức tranh rất có trật tự, tạo bởi những mạt sắt này xếp theo một số những đường sức từ không nhìn thấy được. Vào một ngày đông đặc biệt khô ráo, khi cởi những chiếc áo len ra, chắc chắn là khi đó bạn đã chứng kiến sự tồn tại của các đường sức điện. Tiếng lép bép mà bạn nghe thấy hoặc thậm chí có cả sự phóng điện nhỏ mà bạn có thể cảm thấy đều là những biểu hiện của những đường sức

mà các điện tích bị bứt khỏi những sợi dệt nên chiếc áo của bạn tạo ra. Ngoài chuyện thống nhất các hiện tượng điện và từ trong một khuôn khổ toán học duy nhất, lý thuyết Maxwell còn bất ngờ chứng tỏ được rằng những nhiễu động điện từ luôn luôn được truyền với cùng một vận tốc không đổi và vận tốc đó lại chính là vận tốc ánh sáng. Điều này cho phép Maxwell hiểu ra rằng ánh sáng thấy được chẳng qua chỉ là một loại sóng điện từ có khả năng tương tác hóa học với võng mạc để tạo ra thị giác. Hơn nữa, điều quan trọng, theo lý thuyết Maxwell, các sóng điện từ, trong đó có ánh sáng thấy được đều là những kẻ du mục: chúng không bao giờ dừng lại cả. Chúng cũng không bao giờ chậm lại, mà luôn luôn chuyển động với vận tốc của ánh sáng.

Mọi chuyện đều tốt đẹp cho tới khi ta đặt ra câu hỏi, như chàng thanh niên Einstein 26 tuổi đã làm: Điều gì sẽ xảy ra nếu chúng ta đuổi theo một chùm tia sáng với vận tốc ánh sáng? Lý lẽ trực giác, bắt rễ từ những định luật chuyển động của Newton, mách bảo ta rằng chúng ta sẽ đuổi kịp các sóng ánh sáng và do đó sẽ thấy chúng là dừng, tức là ánh sáng khi đó sẽ đứng yên. Nhưng theo lý thuyết của Maxwell và những quan sát đáng tin cậy khác, thì không thể có chuyện ánh sáng là dừng được: không ai có thể giữ một nhúm ánh sáng trong bàn tay của mình. Và vấn đề được nảy sinh từ đó. May thay, Einstein lại không hề biết rằng đã có nhiều nhà vật lý hàng đầu thế giới đã từng vật lộn với vấn đề đó, nhưng đã thất bại và họ chỉ còn nghiền ngẫm về cái nghịch lý của Maxwell – Newton trong những suy tư thầm kín của họ.

Trong chương này chúng ta sẽ xem, thông qua thuyết tương đối hẹp của mình, Einstein đã giải quyết cuộc xung đột đó như thế nào và khi làm như vậy, ông đã làm thay đổi vĩnh viễn quan niệm của chúng ta về không gian và thời gian ra sao. Có lẽ người ta sẽ ngạc nhiên rằng mối quan tâm cơ bản của thuyết tương đối hẹp là hiểu một cách chính xác thế giới sẽ như thế nào dưới con mắt của những cá nhân, thường gọi là những "người quan sát", chuyển động đối với nhau. Thoạt tiên, điều đó tưởng như chỉ là một bài tập luyện trí óc không mấy quan trọng. Nhưng thực tế hoàn toàn ngược lại: với hình ảnh thường trực về người quan sát đuổi theo chùm sáng, trong tay Einstein đã có những hệ quả sâu sắc, thâu tóm một cách đầy đủ cả những tình huống tẻ nhạt nhất được nhìn như thế nào dưới con mắt của những người quan sát chuyển động đối với nhau.

•◎Trực giác và những sai lầm của nó

Kinh nghiệm hằng ngày đã cho phép chúng ta cảm nhận được một số khác biệt gắn liền với hai người quan sát chuyển động đối với nhau. Chẳng hạn, theo quan điểm của người lái xe chúng lại là đứng yên đối với người vẫy xe đi nhờ đang đứng ở bên đường. Cũng tương tự, bảng đồng hồ trên xe là đứng yên đối với người lái xe (thật may mắn thay!), nhưng giống như các bộ phận khác của chiếc xe, nó lại là chuyển động đối với người vẫy xe đi nhờ. Đó là những tính chất quá sơ đẳng và trực quan về thế giới xung quanh chúng ta tới mức chúng ta chẳng buồn chú ý tới nữa.

Tuy nhiên, thuyết tương đối hẹp lại cho thấy rằng những khác biệt đó trong sự quan sát của hai cá nhân nói ở trên là tinh tế và sâu sắc hơn nhiều. Điều lạ lùng là nó tiên đoán rằng hai người quan sát chuyển động đối với nhau lại cảm nhận về khoảng cách và thời gian một cách khác nhau. Điều này có nghĩa là, hai chiếc đồng hồ y hệt nhau mà hai người quan sát đó mang theo sẽ phát ra những tiếng tích tắc với nhịp độ khác nhau, do đó khoảng thời gian giữa hai sự kiện đã chọn sẽ được chỉ bởi hai đồng hồ đó một cách khác nhau. Thuyết tương đối hẹp hoàn toàn không đặt vấn đề nghi ngờ về độ chính xác của các đồng hồ, mà thực tế nó đã thiết lập được rằng đó chính là một tính chất của thời gian. Tương tự, hai người quan sát của chúng ta còn mang theo hai chiếc thước dây y hệt nhau, và họ đã đo được hai chiều dài khác nhau của cùng một vật. Vấn đề không phải là do sự không chính xác của các dụng cụ đo hay những sai số do cách sử dụng các dụng cụ đó. Những dụng cụ đo chính xác nhất thế giới đều khẳng định rằng không gian và thời gian - được đo như khoảng cách và độ kéo dài – không được cảm nhận như nhau bởi mọi người quan sát. Theo cách chính xác do Einstein vạch ra, thuyết tương đối hẹp đã giải quyết được sự xung đột giữa trực giác của chúng ta về chuyển động và những tính chất của ánh sáng, nhưng cái giá phải trả cho sự giải quyết đó là: những người quan sát chuyển động đối với nhau sẽ không nhất trí với nhau về những quan sát của họ về cả không gian lẫn thời gian.

Đã gần một thế kỷ kể từ khi Einstein công bố với thế giới phát minh gây chấn động của mình, thế nhưng đa số chúng ta vẫn quen dùng khái niệm không gian và thời gian tuyệt đối. Thuyết tương đối hẹp không có trong máu thịt chúng ta, do đó ta không cảm nhận được nó. Những hệ

quả của nó không nằm trong phần trung tâm của trực giác chúng ta. Nguyên do của điều đó cũng khá đơn giản: những hiệu ứng của thuyết tương đối hẹp phụ thuộc vào vận tốc mà ta chuyển động và đối với các vận tốc như của xe ôtô, máy bay, hoặc ngay cả của tàu con thoi đi nữa thì những hiệu ứng đó cũng rất bé nhỏ. Sự khác biệt trong cảm nhận về không gian và thời gian của một người ngồi trong xe hơi hoặc trên máy bay và người đứng trên mặt đất vẫn có, nhưng chúng quá nhỏ nên không nhận thấy được. Tuy nhiên, nếu như có một người du hành trên con tày vũ trụ tương lai với vận tốc gần với vận tốc ánh sáng thì những hiệu ứng của tính tương đối sẽ trở nên rất rõ rệt. Tất nhiên, hiện nay điều đó vẫn nằm trong thế giới của khoa học viễn tưởng, nhưng như chúng ta sẽ thấy trong các mục sau, nhiều thí nghiệm thông minh đã cho phép chúng ta quan sát được, thậm chí đo đạc được cả những tính chất tương đối của không gian và thời gian mà lý thuyết của Einstein đã tiên đoán.

Để có một ý niệm về các thang có liên quan, ta hãy quay trở lại những năm 1970, khi các loại xe hơi lớn và chạy nhanh ra đời. Slim mua một chiếc Trans Am. Anh ta đưa người em tên là Jim đến đường đua xe để tiến hành thử vận tốc. Slim cho xe lao với tốc độ 200 km một giờ trên một đường đua dài 1500m, trong khi Jim đứng bên lề đường đo thời gian. Trong khi chờ đợi khẳng định của Jim, Slim cũng dùng một đồng hồ bấm giây để đo thời gian chiếc xe của anh ta chạy hết đoạn đường đua. Trước công trình của Einstein, chẳng có ai lại đi đặt câu hỏi rằng nếu cả hai đồng hồ của Slim và Jim đều hoạt động tốt thì chúng có đo được cùng một khoảng thời gian hay không? Nhưng theo thuyết ương đối hẹp, trong khi Jim đo được khoảng thời gian đó là 30 giây, thì đồng hồ của Slim đo được là 29,999999999952 giây – tức là nhỏ hơn một lượng cực bé. Tất nhiên, sự khác biệt này là nhỏ tới mức ta không thể đo được bằng đồng hồ bấm giây hoặc thậm chí bằng cả các đồng hồ nguyên tử chính xác nhất. Vì vậy không có gì lạ là tại sao những kinh nghiệm hằng ngày không hé lộ cho chúng ta biết sự trôi qua của thời gian phụ thuộc vào trạng thái chuyển động của chúng ta.

Cũng có một sự bất đồng tương tự về các phép đo chiều dài. Chẳng hạn, trong một lần chạy thử khác, Jim dùng một mẹo khá thông minh để đo chiều dài chiếc xe mới của Slim. Cậu ta bấm cho đồng hồ chạy ngay khi đầu trước của chiếc xe đi ngang qua chỗ mình đứng rồi bấm cho nó dừng lại ngay khi đuôi chiếc xe đi ngang qua. Vì Jim biết Slim cho xe

chạy với tốc độ 200km một giờ, nên cậu ta tính ngay ra chiều dài chiếc xe bằng cách nhân vận tốc đó với khoảng thời gian chỉ bởi chiếc đồng hồ bấm giây. Lại một lần nữa, trước Einstein, chẳng có ai lại đặt câu hỏi liệu chiều dài mà Jim đo được một cách gián tiếp như trên có trùng với chiều dài mà Slim đo được khi chiếc xe còn nằm ở phòng trưng bày của cửa hàng hay không. Trái lại, thuyết tương đối hẹp cho ta biết rằng nếu Jim và Slim đã tiến hành đo như trên một cách chính xác và giả thử Slim đo được chiều dài chiếc xe chính xác bằng 4m, thì kết quả phép đo của Jim sẽ là 3,999999999999314 mét, nghĩa là hơi nhỏ hơn chút xíu. Cũng như với phép đo thời gian, đây là sự sai khác rất bé, bé tới mức những dụng cụ đo thông thường không đủ độ chính xác để phát hiện được.

Mặc dù sự khác biệt là cực kỳ nhỏ, nhưng chúng đã cho ta thấy một sự sai lầm rất cơ bản của quan niệm thông thường cho rằng không gian và thời gian là tuyệt đối và không thể thay đổi. Khi vận tốc tương đối của hai người quan sát, như Jim và Slim chẳng hạn, lớn hơn, thì sai lầm đó sẽ được thể hiện càng rõ ràng hơn. Và khi vận tốc tương đối của họ gần với vận tốc ánh sáng, thì những khác biệt đó sẽ trở nên nhận biết được. Lý thuyết Maxwell và nhiều thực nghiệm đã xác lập được rằng vận tốc ánh sáng trong chân không – vận tốc lớn nhất khả dĩ mà không gì có thể vượt qua – có giá trị là ba trăm ngàn kilômét trong một giây, tức hơn một tỷ kilômét trong một giờ! Với vận tốc đó người ta có thể chạy vòng quanh Trái Đất hơn 7 vòng trong 1 giây. Nếu giả thử Slim cho xe chạy không phải với vận tốc 200km/h mà là 900 triệu km/h (tức khoảng 83% vận tốc của ánh sáng), thì những tính toán theo thuyết tương đối sẽ cho kết quả là chiều dài chiếc xe mà Jim đo được chỉ dài hơn 2m chút ít, nghĩa là khác rất xa với kết quả đo của Slim (cũng là khác xa với chiều dài ghi trong lý lịch của xe). Tương tự, thời gian chạy xe trên đường đua theo phép đo của Lim dài hơn gần hai lần so với phép đo của Slim.

Vì những vận tốc lớn như thế nằm ngoài khả năng đạt được của các phương tiện thông thường, nên các hiệu ứng "giãn nở thời gian" và "co Lorenzt" không gian (thuật ngữ chuyên môn của các nhà vật lý dùng để gọi các hiện tượng mô tả ở trên) là cực kỳ nhỏ bé trong đời sống thường nhật của chúng ta. Nếu chúng ta có dịp được sống trong một thế giới mà các vật thường chuyển động gần với vận tốc ánh sáng, thì những tính chất nói trên của không gian và thời gian sẽ trở nên trực quan, (vì chúng ta cảm nhận được chúng hàng ngày) và đối với chúng ta, chúng cũng sẽ hiển nhiên như chuyển động biểu kiến của những hàng cây bên

đường mà ta đã nói tới ở đầu chương. Nhưng vì chúng ta không sống trong một thế giới như thế, nên những đặc tính đó mới trở nên xa lạ như vậy. Và như chúng ta sẽ thấy, để hiểu và chấp nhận chúng, chúng ta phải vứt bỏ hoàn toàn quan niệm của chúng ta về thế giới.

Nguyên lý tương đối dựa trên một sự kiện đơn giản là: bất kỳ khi nào nói tới vận tốc (kể cả độ lớn và hướng của nó) thì nhất thiết ta phải chỉ rõ ai hoặc cái gì đã làm phép đo đó.

•◎Nguyên lý tương đối

Nền tảng của thuyết tương đối hẹp gồm hai cấu trúc rất đơn giản nhưng lại rất căn bản. Chúng ta đã biết rằng, một trong hai cấu trúc có liên quan tới những tính chất của ánh sáng và điều này sẽ được xem xét một cách đầy đủ hơn ở mục tiếp sau. Cấu trúc thứ hai có bản chất trừu tượng hơn. Nó không liên quan tới một định luật vật lý cụ thể, mà được áp dụng cho mọi định luật vật lý. Đó là nguyên lý tương đối. Nguyên lý này dựa trên một sự kiện đơn giản là: bất kỳ khi nào nói tới vận tốc (kể cả độ lớn và hướng của nó) thì nhất thiết ta phải chỉ rõ ai hoặc cái gì đã làm phép đo đó. Ta sẽ dễ dàng hiểu được ý nghĩa và tầm quan trọng của điều nói trên bằng cách xem xét tình huống sau:

Ta hãy hình dung một anh chàng George nào đó, mặc bộ quần áo du hành vũ trụ có gắn một chiếc đèn chớp phát ánh sáng đỏ, đang trôi nổi trong màn đêm dày đặc của khoảng không vũ trụ, cách xa hết thảy các hành tinh, các ngôi sao và các thiên hà. Theo quan điểm của George thì anh ta là hoàn toàn đứng yên trong bóng đêm mịn màng và tĩnh lặng của Vũ trụ. Rồi Goerge chợt nhận thấy từ xa có một đốm sáng xanh đang tiến lại gần. Cuối cùng, khi nó tới gần hơn, Goerge mới nhận ra rằng chiếc đèn được gắn vào bộ quần áo du hành vũ trụ của một nhà du hành khác – Gracie - đang chậm chạp trôi tới. Khi đi qua bên cạnh, cô gái và George vẫy tay chào nhau, rồi cô gái lại trôi tiếp ra xa. Câu chuyện này hoàn toàn có thể được kể lại hệt như thế theo quan điểm của Gracie. Nghĩa là ban đầu Gracie cũng hoàn toàn đơn độc trong bóng đêm bao la và tĩnh lặng của khoảng không Vũ trụ. Rồi bất chợt Gracie cũng thấy từ xa có đốm sáng đỏ nhấp nháy đang tiến lại gần. Cuối cùng, khi đốm đỏ đến khá gần, cô mới nhận ra đó là một nhà du hành khác, tức là George, đang chầm chậm trôi qua cạnh mình. Anh ta và Gracie vẫy chào nhau rồi anh ta tiếp tục trôi tiếp ra xa.

Hai câu chuyện đó mô tả chỉ một tình huống duy nhất theo hai quan điểm khác nhau nhưng đều có lý như nhau. Mỗi người quan sát đều cảm thấy mình đứng yên và người kia chuyển động. Quan điểm của mỗi người đều hợp lý và có thể thông cảm được. Do có sự đối xứng giữa hai nhà du hành đó, nên không có cách nào để nói được rằng ai là đúng, ai là sai. Cả hai quan điểm đều có một phần sự thật ngang nhau.

Ví dụ trên đã nắm bắt được ý nghĩa của nguyên lý tương đối: khái niệm chuyển động là có tính tương đối. Chúng ta có thể nói về chuyển động của một vật, nhưng chỉ là đối với hay so với một vật khác. Vì vậy nói rằng: "George chuyển động với vận tốc 15km/h" là hoàn toàn vô nghĩa, vì chúng ta không chỉ rõ anh ta chuyển động so với cái gì. Nhưng nói rằng: "George chuyển động ngang qua Gracie với vận tốc 15km/h" lại là có nghĩa vì chúng ta đã chỉ ra Gracie như một vật mốc. Như ví dụ trên của chúng ta cho thấy, câu nói thứ hai ở trên hoàn toàn tương đương với câu nói rằng: "Gracie chuyển động ngang qua Goerge với vận tốc 15km/h (theo phương ngược lại)". Nói một cách khác, không có chuyển động tuyệt đối. Chuyển động là tương đối.

Yếu tố then chốt của câu chuyện trên là ở chỗ: cả George lẫn Gracie đều không bị đẩy, hay bị kéo hay chịu một tác dụng nào đó làm nhiễu động trạng thái chuyển động thẳng đều êm đềm của họ. Vì vậy chính xác hơn, ta phải nói rằng chuyển động không chịu tác dụng của một lực nào chỉ có nghĩa khi so sánh với các vật khác. Sự chính xác này rất quan trọng, bởi lẽ nếu có các lực tham gia vào, thì chúng sẽ làm thay đổi vận tốc (cả về độ lớn lẫn về hướng) của hai nhà quan sát và những thay đổi đó có thể nhận thấy được. Chẳng hạn, nếu như George có đeo một động cơ phản lực nhỏ ở sau lưng, thì anh ta chắc sẽ cảm thấy mình đang chuyển động. Nhưng cảm giác đó chỉ là bản năng. Nếu động cơ bắt đầu thực sự đẩy về phía sau, thì Goerge sẽ biết là mình đang chuyển động cho dù anh ta có nhắm mắt lại và do đó không thể so sánh với các vật khác. Ngay cả khi không có những vật mốc để so sánh, anh ta cũng không tểê tuyên bố rằng mình là đứng yên "trong khi đó toàn bộ thế giới còn lại chuyển động qua bên cạnh anh ta". Như vậy, chuyển động có vận tốc không đổi là tương đối; nhưng điều này không còn đúng nữa đối với các chuyển động có vận tốc thay đổi, tức là những chuyển động có gia tốc. (Chúng ta sẽ còn trở lại phát biểu này trong chương sau, khi nói về chuyển động có gia tốc và thuyết tương đối rộng).

Để dễ hiểu, chúng ta đã bố trí cho câu chuyện trên xảy ra trong bóng đêm của khoảng không vũ trụ, nhằm gạt bỏ những vật thể quen thuộc như đường phố, nhà cửa mà chúng ta thường mặc nhiên xem là "đứng yên" (mặc dù là không đúng). Tuy nhiên, chính nguyên lý này cũng áp dụng được cho cả mặt đất trần thế của chúng ta và thực tế ta cũng thường cảm nhận được. Ví dụ, hãy tưởng tượng, sau khi ngủ một giấc say trên xe lửa, bạn thức dậy ngay khi con tàu của bạn đi qua bên cạnh một đường ray khác đặt song song. Khi đó tầm nhìn của bạn hoàn toàn bị chắn bởi một đoàn tàu khác, nên không nhìn thấy các vật khác, vì vậy trong khoảnh khắc bạn không biết chắc chắn con tàu của bạn hay con tàu kia hay cả hai đang chuyển động. Tất nhiên, con tàu của bạn có thể lắc hoặc giật, hoặc nếu nó đổi hướng theo một đường vòng, thì bạn sẽ cảm thấy là mình đang chuyển động. Nhưng nếu con tàu chạy thật êm, và nếu vận tốc của nó giữ nguyên không đổi thì bạn sẽ chỉ thấy chuyển động tương đối của hai con tàu chứ không thể nói chắc chắn là con tàu nào đang chuyển động.

Bây giờ chúng ta tiến thêm một bước nữa. Hãy tưởng tượng bạn đang ngồi trên xe lửa với các cửa sổ đều đóng kín mít. Do không có khả năng nhìn ra bên ngoài toa xe của mình và giả sử rằng con tàu chạy thật êm với vận tốc tuyệt đối là đều, khi đó bạn sẽ không có cách nào xác định được trạng thái chuyển động của bạn. Toa tàu của bạn nhìn hoàn toàn như nhau, bất kể là nó đứng yên trên đường ray hay đang chuyển động. Einstein đã hình thức hóa ý tưởng đó, một ý tưởng thực sự đã được biết tới từ thời Galileo, bằng cách tuyên bố rằng bạn hay bất kỳ một hành khách nào khác trong một toa xe kín mít dù có thực hiện bất cứ thí nghiệm nào cũng không thể phát hiện ra được con tàu đứng yên hay chuyển động. Điều này cũng thâu tóm cả nguyên lý tương đối: vì chuyển động không có lực nào tác dụng là tương đối, nó chỉ có nghĩa khi so sánh với các vật khác hay người quan sát khác cũng đang chuyển động mà không có lực nào tác dụng. Đối với bạn không có cách nào có thể xác định được trạng thái chuyển động của mình mà không có sự so sánh trực tiếp hoặc gián tiếp với các vật "bên ngoài". Đơn giản là không có khái niệm chuyển động thẳng đều tuyệt đối, chỉ có những chuyển động tương đối là có ý nghĩa vật lý.

Thực tế, Einstein còn thấy rằng nguyên lý tương đối có một tuyên bố to lớn hơn: các định luật vật lý – bất kể là định luật nào – là hoàn toàn như nhau đối với tất cả những người quan sát chuyển động với vận tốc

không đổi. Nếu George và Gracie ngoài chuyện trôi nổi đơn độc trong Vũ trụ còn tiến hành một số thí nghiệm giống hệt nhau trên trạm không gian cũng trôi nổi như họ, thì những kết quả mà họ tìm được là hoàn toàn như nhau. Lại một lần nữa hai người hoàn toàn có lý khi tin rằng trạm không gian của họ là đứng yên ngay cả khi chúng chuyển động đối với nhau. Nếu như tất cả những thiết bị thí nghiệm của họ là như nhau và không có gì khác biệt trong bố trí thí nghiệm, thì chúng là hoàn toàn đối xứng. Những định luật vật lý mà mỗi người rút ra từ những thí nghiệm của họ cũng sẽ hoàn toàn như nhau. Cả bản thân họ lẫn những thí nghiệm của họ đều không "cảm" thấy – tức là không phụ thuộc theo bất cứ cách nào – vào chuyển động có vận tốc không đổi. Chính quan niệm đơn giản này đã thiết lập sự đối xứng hoàn toàn giữa các người quan sát và cũng chính quan niệm này được hiện thân thành nguyên lý tương đối. Ngay dưới đây, chúng ta sẽ dùng nguyên lý này cho một hiệu ứng sâu xa hơn.

•◎Vận tốc ánh sáng

Yếu tố then chốt thứ hai của thuyết tương đối hẹp gắn liền với ánh sáng và những tính chất chuyển động của nó. Trái với phát biểu của chúng ta nói rằng: "George chuyển động với vận tốc 15km/h" sẽ là vô nghĩa nếu không chỉ ra một vật mốc cụ thể nào để so sánh, những nỗ lực của nhiều thế hệ các nhà vật lý thực nghiệm trong gần một thế kỷ chứng tỏ rằng ánh sáng luôn chuyển động với vận tốc ba trăm ngàn kilômét một giây (tức 1080 triệu kilômét một giờ) đối với bất kể vật mốc so sánh nào.

Đều này đòi hỏi một cuộc cách mạng trong quan niệm của chúng ta về Vũ trụ. Trước hết chúng ta hãy tìm hiểu ý nghĩa của khẳng định trên bằng cách đối lập nó với những khẳng định tương tự áp dụng cho các đối tượng thông thường hơn. Hãy tưởng tượng vào một ngày đẹp trời, bạn đi chơi trong vườn với một người bạn. Trong khi cả hai đang lười nhác ném qua ném lại quả bóng với vận tốc, chẳng hạn 20km/h, thì một cơn giông thình lình ập tới khiến cho hai người phải chạy vào chỗ trú mưa. Sau khi mưa tạnh, hai người lại tiếp tục chơi nhưng bạn nhận thấy người bạn gái của mình không còn như trước nữa. Mái tóc cô ta bù xù, đôi mắt trợn trừng điên dại. Và khi nhìn bàn tay cô ta, bạn sững sờ thấy rằng cô ta đang định ném cho bạn... một quả lựa đạn, chứ không phải là quả bóng. Hiển nhiên là bạn chẳng còn tâm trí đâu mà chơi bóng và bạn sẽ vẫn còn đang bay nhưng do bạn chạy, nên tốc độ của nó không còn là

20km/h, mà là nhỏ hơn. Thực tế, kinh nghiệm hàng ngày cho ta biết rằng nếu bạn chạy, ví dụ vận tốc là 12km/h, thì quả lựa đạn sẽ tiến về phía bạn với vận tốc 8km/h (20-12=8). Một ví dụ khác: khi bạn đang ở trong núi và xảy ra hiện tượng lở tuyết ập về phía bạn, thì phản ứng tự nhiên của bạn sẽ là quay lui và bỏ chạy, vì điều đó sẽ làm cho vận tốc của tuyết đuổi theo bạn sẽ giảm đi và nói chung đó là một điều tốt. Như vậy, lại một lần nữa ta thấy rằng một người quan sát đứng yên sẽ nhận thấy vận tốc lao đến gần của tuyết lở sẽ lớn hơn so với cảm nhận của người bỏ chạy.

Bây giờ chúng ta sẽ so sánh những quan sát cơ bản này về quả bóng, quả lựu đạn và tuyết lở với những quan sát về ánh sáng. Để cho sự so sánh được sát hơn, chúng ta sẽ xem ánh sáng như một chùm các hạt photon (đặc điểm này của ánh sáng sẽ được thảo luận đầy đủ hơn ở Chương 4). Khi chúng ta bật một đèn flash hoặc một chùm laser, thực tế là chúng ta đã bắn một dòng các hạt photon về hướng mà ta định trước. Như chúng ta đã làm trong trường hợp quả lựu đạn và trường hợp tuyết lở, ta hãy xem chuyển động của các photon sẽ như thế nào đối với một người quan sát chuyển động. Hãy tưởng tượng rằng cô bạn gái điên rồ của bạn đã thay quả lựu đạn bằng một laser cực mạnh. Nếu cô ta bắn chùm laser về phía bạn, và nếu bạn có một thiết bị đo thích hợp, bạn sẽ thấy rằng vận tốc của các photon tiến gần tới bạn với vận tốc 1080 triệu kilômét một giờ (tức 300.000km/s). Nhưng điều gì sẽ xảy ra nếu bạn bỏ chạy, như bạn đã làm trong trường hợp phải đối mặt với quả lựu đạn được ném tới? Bây giờ bạn sẽ đo được vận tốc của các photon đang tiến tới gần bằng bao nhiêu? Để cho hấp dẫn hơn hãy tưởng tượng rằng bạn nhảy lên một con tàu vũ trụ xuyên thiên hà chạy trốn với một vận tốc khiêm tốn là 180 triệu kilômét giờ (tức 50.000 km/s). Theo lý luận dựa trên thế giới quan truyền thống của Newton, thì vì giờ đây bạn đang chạy ra xa, nên bạn hy vọng rằng sẽ thấy các photon đuổi theo bạn với vận tốc chậm hơn. Cụ thể, bạn chờ đợi sẽ thấy chúng tiến về phía bạn với vận tốc (1080 triệu kilômét/giờ) = 900 triệu km/h.

Những bằng chứng thực nghiệm ngày càng nhiều bắt đầu từ những năm 1880 cùng với những phân tích sâu sắc của lý thuyết điện từ Maxwell về ánh sáng dần dần đã thuyết phục được cộng đồng khoa học rằng kết quả tính toán ở trên không phải là điều mà bạn sẽ thấy. Ngay cả khi bạn bỏ chạy ra xa đi nữa, thì bạn cũng vẫn cứ đo được vận tốc

của các photon đang tiến tới gần bằng 300.000km/s, không bớt một li. Mặc dù thoạt đầu điều đó xem ra có vẻ hoàn toàn vô lý, không hề giống với những gì đã xảy ra trong trường hợp quả lựu đạn hay trường hợp tuyết lở, nhưng sự thực vận tốc của các photon tiến tới gần luôn luôn bằng 300.000km/s. Và điều này cũng đúng nếu bạn tiến tới gần các photon đang đi tới hay đuổi theo chúng, nghĩa là vận tốc của chúng vẫn hoàn toàn không thay đổi: chúng vẫn chuyển động với vận tốc 300.000km/s. Bất kể chuyển động tương đối giữa nguồn photon và người quan sát là như thế nào, vận tốc của ánh sáng luôn luôn có giá trị như nhau [1].

Những hạn chế về mặt công nghệ khiến cho những thí nghiệm với ánh sáng được mô tả ở trên là không thể thực hiện được. Nhưng tồn tại những phương tiện khác. Chẳng hạn, vào năm 1913, nhà vật lý người Hà Lan Willem de Siter đã gợi ý rằng những hệ sao đôi chuyển động nhanh (tức là hệ gồm hai ngôi sao quay quanh nhau) có thể được dùng để đo tác dụng của nguồn chuyển động đến vận tốc của ánh sáng. Nhiều thí nghiệm khác nhau thuộc loại này được thực hiện trong suốt hơn tám chục năm qua đều xác nhận rằng vận tốc của ánh sáng nhận được từ những ngôi sao cố định hay chuyển động với vận tốc không đổi (tức chuyển động thẳng đều) là như nhau và đều bằng 300.000km/s. Giá trị này được đo với độ chính xác cao và không ngừng tăng lên nhờ những dụng cụ đo ngày càng tinh xảo hơn. Hơn nữa, cả một kho tàng những thí nghiệm chi tiết khác được thực hiện trong gần một thế kỷ qua – những thực nghiệm đo trực tiếp vận tốc ánh sáng trong những điều kiện khác nhau cũng như sự kiểm chứng nhiều hệ quả suy ra từ đặc tính đó của ánh sáng – tất cả đều khẳng định tính không đổi của vận tốc ánh sáng.

Nếu như bạn thấy tính chất đó của ánh sáng là khó nuốt, thì bạn hoàn toàn không đơn độc. Vào đầu thế kỷ XX, các nhà vật lý đã tìm đủ mọi phương cách để chối bỏ nó. Nhưng họ đã không thể làm được. Trái lại, Einstein đã chọn cách chấp nhận sự không đổi của vận tốc ánh sáng, vì đây chính là câu trả lời cho sự xung đột đã từng khiến cho ông trăn trở từ tuổi thiếu niên: bất chất bạn cố sức đuổi theo chùm ánh sáng như thế nào đi nữa thì nó vẫn cứ chạy ra xa bạn với vận tốc ánh sáng. Bạn không bao giờ có thể làm cho vận tốc biểu kiến của ánh sáng nhỏ hơn 300.000km/s một li nào chứ đừng nói tới chuyện làm cho nó dừng lại. Vậy là vấn đề đã được khép lại. Nhưng thắng lợi đó không phải là nhỏ.

Einstein đã nhận thấy rằng sự không đổi của vận tốc ánh sáng đã dẫn đến sự sụp đổ của vật lý Newton.

[1] Nói một cách chính xác hơn, vận tốc của ánh sáng trong chân không mới là 300.000km/s. Khi ánh sáng truyền qua một môi trường chất, như không khí hoặc thuỷ tinh, chẳng hạn, vận tốc của nó giảm na ná như một hòn đá rơi từ vách núi xuống biển, khi đi vào nước sẽ chuyển động chậm lại. Sự chậm lại của ánh sáng so với trong chân không không có ảnh hưởng gì đối với sự thảo luận của chúng ta về tính tương đối cả, vì vậy chúng tôi đã không đề cập tới.

Định nghĩa thời gian một cách trừu tượng là việc không dễ dàng. Những ý định làm điều đó thường rồi cuối cùng lại phải dùng chính từ "thời gian" hoặc những uốn éo ngôn ngữ để lảng tránh từ đó. Vì vậy, chúng ta sẽ không đi theo con đường đó, mà chọn một quan điểm thực dụng hơn và định nghĩa thời gian là cái được đo bởi các đồng hồ.

•◎Chân lý và những hệ quả

Vận tốc là thước đo độ nhanh chậm chuyển động của một vật trong một khoảng thời gian đã cho. Nếu bạn cho xe chạy với vận tốc 100 km/h thì điều đó có nghĩa là bạn sẽ đi được quãng đường 100 km nếu bạn duy trì được trạng thái chuyển động đó trong một giờ. Với định nghĩa như trên xem ra vận tốc là một khái niệm quá ư bình thường, điều này khiến bạn có thể ngạc nhiên là tại sao chúng ta lại phải quá bận tâm về vận tốc của quả lựu đạn, của tuyết rơi và của các photon đến như vậy. Tuy nhiên, bạn cần lưu ý rằng khoảng cách (hay quãng đường) là một khái niệm về không gian và đặc biệt nó là thước đo khoảng không gian giữa hai điểm. Cũng lại phải lưu ý rằng khoảng thời gian là một khái niệm về thời gian - nó cho biết có bao nhiêu thời gian ngăn cách giữa hai sự kiện. Do đó, vận tốc liên quan một cách mật thiết với những quan niệm của chúng ta về không gian và thời gian. Khi chúng ta diễn giải vận tốc theo cách vừa nêu ở trên, chúng ta thấy rằng bất cứ một sự kiện thực nghiệm nào thách thức quan niệm thông thường của chúng ta về vận tốc, ví dụ như sự không đổi của vận tốc ánh sáng chẳng hạn, thì nó cũng có khả năng thách thức những quan niệm thông thường của chúng ta về không gian và thời gian. Chính vì lý do đó, mà sự thực lạ lùng về vận tốc ánh sáng rất đáng để chúng ta phải xem xét một cách kỹ lưỡng. Đó là điều mà Einstein đã làm và đã đưa ông tới những kết luận đầy kinh ngạc.

•◎Ảnh hưởng của chuyển động đến thời gian (I)

Dùng tính không đổi của vận tốc ánh sáng ta dễ dàng chứng minh được rằng quan niệm thông thường của chúng ta về thời gian là hoàn toàn sai lầm. Ta hãy hình dung lãnh tụ của hai nước đang có chiến tranh, ngồi ở hai đầu đối diện nhau bên bàn đàm phán, vừa mới thoả thuận xong hiệp ước ngừng bắn, nhưng không ai muốn đặt bút ký trước cả. Lúc này Tổng thư ký Liên hiệp quốc đã nảy ra một giải pháp tuyệt vời. Ông đề nghị đặt một bóng đèn được bật, ánh sáng từ bóng đèn sẽ đồng thời tới chỗ ngồi của hai vị tổng thống, vì họ ngồi cách bóng đèn những khoảng bằng nhau. Và mỗi vị tổng thống sẽ ký vào một bản hiệp ước khi nhìn thấy đèn sáng. Kế hoạch này đã được thực hiện và bản hiệp ước đã được ký kết với sự hài lòng của cả hai bên.

Hể hả với thành công đó, ông Tổng thư ký lại dùng chính biện pháp đó với hai quốc gia khác đang giao chiến khác cũng vừa mới đạt được thoả thuận hoà bình. Chỉ có điều khác là hai vị lãnh đạo tham gia trong cuộc đàm phán này lại ngồi đối diện nhau ở hai đầu bàn đặt trong một toa xe lửa chuyển động với vận tốc không đổi. Thật khéo bố trí là tổng thống nước Tiền Hành lại ngồi ở phía đầu bàn nhìn về phía đầu tàu. Vốn am hiểu nguyên lý nói rằng các định luật vật lý là hoàn toàn như nhau bất kể trạng thái chuyển động miễn sao chuyển động này là đều, ông Tổng thư ký đã không bận tâm tới vị trí ngồi khác nhau của hai vị lãnh đạo và cho tiến hành lễ ký kết được khởi phát bởi một bóng đèn như đã làm trong trường hợp trước. Cả hai tổng thống đã ký hiệp ước và cùng với đoàn cố vấn của cả hai bên ăn mừng về sự chấm dứt thù địch giữa hai nước.

Đúng lúc đó có tin trên sân ga đã xảy ra cuộc ẩu đả của dân hai nước đến quan sát lễ ký kết. Tất cả những người tham gia cuộc đàm phán trên tàu đều vô cùng bàng hoàng khi nghe nói rằng nguyên do của sự thù địch mới nổ ra là bởi dân nước Tiền Hành nói rằng họ đã bị lừa bịp vì tổng thống của họ đã đặt bút ký trước đức vua nước Hậu Hành. Vì mọi người trên tàu của cả hai bên đều nhất trí là hiệp ước đã được ký đồng thời, thế thì tại sao những người đứng quan sát bên ngoài trên sân ga lại có thể nghĩ khác?

Chúng ta xem xét kỹ lưỡng hơn quan điểm của người quan sát trên sân ga. Ban đầu, bóng đèn trên tàu chưa bật và sau đó ở một thời điểm đặc biệt nó được bật sáng và phóng chùm sáng về phía cả hai vị tổng thống.

Theo quan điểm của người đứng trên sân ga, thì tổng thống của nước Tiền Hành tiến về phía chùm sáng trong khi đó đức vua nước Hậu Hành lùi ra chùm sáng tới. Như vậy, theo người quan sát trên sân ga thì điều này có nghĩa là, chùm sáng tới được tổng thống chỉ phải đi quãng đường ngắn hơn, do tổng thống tiến về phía nó, so với quãng đường đến được tới đức vua vì đức vua lùi ra xa nó. Điều này không đả động gì đến vận tốc ánh sáng vì như chúng ta đã nói bất chấp trạng thái chuyển động của nguồn sáng và người quan sát, vận tốc của ánh sáng đều như nhau. Thay vì thế chúng ta chỉ mô tả khoảng cách mà ánh sáng phải đi cho tới khi đến được tổng thống và đức vua theo quan điểm của người quan sát trên sân ga. Vì khoảng cách này đối với tổng thống là nhỏ hơn so với đức vua và vì vận tốc ánh sáng hướng tới mỗi người là như nhau, nên ánh sáng sẽ tới tổng thống của nước Tiền Hành sớm hơn. Và điều này giải thích tại sao dân nước này tuyên bố rằng họ đã bị lừa.

Khi đài CNN phát đi lý lẽ của những người chứng kiến, ông Tổng thư ký, tổng thống và đức vua hai nước cùng với các cố vấn của họ không thể tin vào tai mình nữa. Tất cả họ đều nhất trí rằng bóng đèn đã được lắp chặt ở chính giữa tổng thống và đức vua do đó dứt khoát là ánh sáng từ bóng đèn phát ra sẽ phải đi cùng một quãng đường đến đức vua và tổng thống. Vì vận tốc của ánh sáng đi sang phải sang trái đều như nhau, nên họ tin rằng ánh sáng đó sẽ đến hai vị lãnh đạo một cách đồng thời. Những quan sát của mỗi nhóm và lời giải thích biện hộ của họ đều không chê vào đâu được. Và câu trả lời là cả hai đều có lý cả. Giống như hai nhà du hành Goerge và Gracie, quan điểm của mỗi người đều có một phần chân lý như nhau. Sự lắt léo duy nhất ở đây là: "chân lý" tương ứng của hai bên dường như lại mâu thuẫn nhau. Về mặt chính trị, kết cục của cuộc tranh cãi này là rất quan trọng: Liệu tổng thống và đức vua có ký hiệp ước một cách đồng thời hay không? Những quan sát và suy luận nêu ở trên không khỏi dẫn chúng ta tới kết luận rằng theo những người ở trên tàu thì họ đã ký đồng thời còn theo những người ở sân ga thì không phải như vậy. Nói một cách khác, những sự kiện có thể đồng thời đối với người quan sát này sẽ không đồng thời đối với người quan sát khác, nếu như hai người là chuyển động đối với nhau.

Đây là một kết luận gây sửng sốt. Đó là một trong số những phát minh sâu sắc nhất về bản chất của thực tại. Tuy nhiên, nếu như rất lâu sau khi bạn gấp cuốn sách này lại mà bạn chẳng còn nhớ được chút gì trình bày trong chương này trừ sự ngộ nhận về tính đồng thời liên qua tới ví dụ ở

trên thì nghĩa là bạn đã nắm được cái căn bản nhất trong phát minh của Einstein rồi. Câu chuyện của chúng ta chứng tỏ rằng không cần tới công cụ toán học hoặc những suy luận lôgíc phức tạp, đặc điểm hoàn toàn bất ngờ nói trên của thời gian vẫn có thể suy ra trực tiếp từ tính không đổi của vận tốc ánh sáng. Cần lưu ý rằng, nếu vận tốc ánh sáng không phải là không đổi mà xử sự theo đúng trực giác của chúng ta dựa trên những quả bóng hoặc khối tuyết chuyển động chậm chạp, thì những người quan sát trên sân ga sẽ nhất trí ngay với những người quan sát trên con tàu. Nhưng người trên sân ga cũng vẫn tuyên bố rằng quãng đường mà các photon phải đi tới tổng thống dài hơn quãng đường mà chúng đi tới đức vua. Tuy nhiên, trực giác thông thường lại cho biết rằng ánh sáng đi về phía đức vua chuyển động nhanh hơn do nhận được cú "hích" thêm của con tàu chuyển động về phía trước. Tương tự, những người quan sát này cũng thấy rằng ánh sáng đi về phía tổng thống sẽ chuyển động chậm hơn do bị chuyển động của con tàu "kéo lại". Khi cả hai hiệu ứng (sai lầm) đó được xét tới, thì những người quan sát này cũng thấy rằng chùm sáng đến với tổng thống và đức vua đồng thời. Tuy nhiên, trong thế giới thực, ánh sáng không chuyển động nhanh lên hay chậm đi, nó không thể bị "hích" tới vận tốc cao hơn hay bị "kéo lại" để có vận tốc nhỏ đi. Do đó, những người quan sát trên sân ga kiện rằng ánh sáng tới tổng thống của họ sớm hơn là hoàn toàn có lý.

Sự không đổi của vận tốc ánh sáng đòi hỏi chúng ta phải vứt bỏ quan niệm lỗi thời cho rằng tính đồng thời là một khái niệm tuyệt đối, mà tất cả mọi người đều phải nhất trí bất kể trạng thái chuyển động của họ. Chiếc đồng hồ tuyệt đối theo những giây giống hệt nhau ở Trái Đất chúng ta cũng như trên sao Hỏa, sao Thổ, trong thiên hà Andromeda hay ở bất cứ xó xỉnh nào khác trong Vũ trụ là không tồn tại. Mà trái lại, những người quan sát chuyển động đối với nhau sẽ không nhất trí về tính đồng thời của sự kiện. Lại một lần nữa, nguyên nhân khiến cho kết luận đó – một đặc tính chân thực của thế giới mà chúng ta sống – trở nên xa lạ như vậy là do các hiệu ứng là cực kỳ nhỏ do những vận tốc có liên quan chỉ là những vận tốc bình thường mà ta gặp hàng ngày (nghĩa là rất nhỏ so với vận tốc ánh sáng – ND). Giả sử chiếc bàn đàm phán dài cỡ 30 m đặt trong toa xe lửa chuyển động với vận tốc 15 km/h, thì những người quan sát trên sân ga sẽ "thấy" chùm ánh sáng tới tổng thống sớm hơn tới đức vua chỉ khoảng một phần triệu tỷ giây. Sự khác biệt đó là có thật, nhưng vì nó quá nhỏ nên mắt người không thể phát hiện trực tiếp được. Nếu xe lửa chuyển động nhanh hơn nhiều, chẳng

hạn với vận tốc 1 tỷ km/giờ, thì đối với người quan sát trên sân ga, ánh sáng tới đức vua sẽ mất một khoảng thời gian dài gấp 25 lần thời gian ánh sáng tới tổng thống. Ở những vận tốc cao, những hiệu ứng lạ lùng của thuyết tương đối hẹp sẽ càng thể hiện rõ rệt.

•◎Ảnh hưởng của chuyển động đến thời gian (II)

Định nghĩa thời gian một cách trừu tượng là việc không dễ dàng. Những ý định làm điều đó thường rồi cuối cùng lại phải dùng chính từ "thời gian" hoặc những uốn éo ngôn ngữ để lảng tránh từ đó. Vì vậy, chúng ta sẽ không đi theo con đường đó, mà chọn một quan điểm thực dụng hơn và định nghĩa thời gian là cái được đo bởi các đồng hồ. Tất nhiên, làm như vậy là ta đã chuyển gánh nặng định nghĩa sang từ "đồng hồ". Ở đây ta tạm coi đồng hồ là một dụng cụ thực hiện những chu trình chuyển động cực kỳ đều đặn và ta sẽ đo thời gian bằng cách đếm số chu trình mà đồng hồ đã thực hiện. Những đồng hồ quen thuộc như chiếc đồng hồ đeo tay của chúng ta đều phù hợp với định nghĩa đó, chúng đều có các kim chuyển động theo những chu trình đều đặn và thực tế chúng ta đo khoảng thời gian bằng cách đếm số các chu trình (hay các phần của chu trình) mà các kim đã quét được giữa hai sự kiện đã chọn.

Tất nhiên, ý nghĩa của cụm từ "những chu trình chuyển động cực kỳ đều đặn" đã ngầm liên quan đến khái niệm thời gian rồi, tính từ "đều đặn" đã ám chỉ những khoảng thời gian bằng nhau đã trôi qua trong mỗi chu trình. Trên quan điểm thực tiễn, điều này được thể hiện ở chỗ chúng ta đã chế tạo đồng hồ bằng những linh kiện vật lý đơn giản mà không có gì thay đổi từ chu trình này sang chu trình khác. Những đồng hồ của cụ kỵ chúng ta với con lắc đu đưa qua lại và những đồng hồ nguyên tử dựa trên các quá trình tuần hoàn xảy ra trong nguyên tử là những ví dụ quen thuộc.

Mục đích của chúng ta bây giờ là tìm hiểu ảnh hưởng của chuyển động đến sự trôi của thời gian và vì chúng ta đã định nghĩa thời gian nhờ các đồng hồ, nên chúng ta có thể "phiên" vấn đề đó thành vấn đề tìm hiểu ảnh hưởng của chuyển động đến nhịp "tíc tắc" của các đồng hồ. Điều quan trọng cần phải nhấn mạnh ngay từ đầu là, cuộc thảo luận của chúng ta không có liên quan gì đến những ảnh hưởng của sự xô lắc do những chuyển động trên các con đường gồ ghề đến sự hoạt động của các cơ cấu bên trong một đồng hồ cụ thể nào đó. Thực tế, chúng ta chỉ

xét một loại chuyển động đơn giản và êm đềm nhất, đó là chuyển động thẳng đều và do đó hoàn toàn không có sự xô lắc nào. Và chúng ta sẽ chỉ quan tâm tới câu hỏi có tính tổng quát: chuyển động có ảnh hưởng như thế nào đến sự trôi của thời gian và do đó nó ảnh hưởng một cách cơ bản như thế nào đến nhịp tíc tắc của mọi loại đồng hồ bất kể chúng được thiết kế và chế tạo cụ thể như thế nào?

Để đạt mục đích đó, chúng ta đưa vào một loại đồng hồ đơn giản nhất (và cũng là phi thực tiễn nhất) thế giới, nó được gọi là "đồng hồ photon". Đồng hồ này gồm hai gương nhỏ lắp trên giá, quay mặt phản xạ vào nhau và một photon duy nhất nảy qua nảy lại giữa hai gương đó (xem Hình 2.1). Với khoảng cách giữa hai gương bằng 15 cm, photon sẽ mất một phần tỷ giây để thực hiện được một chu trình trọn vẹn (từ một gương nảy tới gương kia rồi nảy về gương ban đầu). Có thể coi những tiếng "tíc tắc" trong đồng hồ photon sẽ được phát ra mỗi khi photon thực hiện được trọn một chu trình. Như vậy, đồng hồ nói trên trong khoảng thời gian một giây sẽ phát ra một tỷ tiếng "tíc tắc".

Hình 2.1. Một đồng hồ photon gồm hai gương đặt song song với một photon nảy qua lại giữa hai gương. Đồng hồ sẽ phát ra tiếng "tíc tắc" mỗi khi photon thực hiện được một chu trình trọn vẹn.

Chúng ta có thể dùng đồng hồ photon để đo khoảng thời gian giữa hai sự kiện bằng cách chỉ cần đếm số tiếng tíc tắc mà đồng hồ phát ra giữa hai sự kiện đó rồi nhân nó với thời gian tương ứng với tiếng tíc tắc. Ví dụ, nếu chúng ta muốn xác định thời gian đua của một con ngựa và giữa thời điểm xuất phát với thời điểm tới đích ta đếm được 55 tỷ chu trình trọn vẹn của photon, thì ta có thể kết luận được rằng con ngựa chạy hết 55 giây.

Sở dĩ ở đây chúng ta dùng đồng hồ photon là bởi vì đơn giản về mặt cơ cấu của nó sẽ tước bỏ đi được nhiều chi tiết không có liên can và do đó cho phép chúng ta thấy được rõ nhất ảnh hưởng của chuyển động đến sự trôi của thời gian. Để thấy điều đó, hãy tưởng tượng ta đang lơ đãng quan sát sự trôi của thời gian bằng cách nhìn chiếc đồng hồ photon đang tíc tắc ở chiếc bàn bên cạnh. Rồi bất chợt có một chiếc đồng hồ photon thứ hai trượt qua bên cạnh với vận tốc không đổi (xem Hình 2.2). Vấn đề đặt ra là chiếc đồng hồ photon chuyển động có tíc tắc cùng một nhịp với chiếc đồng hồ đứng yên hay không?

Hình 2.2. Chiếc đồng hồ photon ở phía trước đứng yên, trong khi đó chiếc đồng hồ thứ hai chuyển động thẳng đều.

Để trả lời câu hỏi này, ta hãy xét con đường mà photon trong chiếc đồng hồ chuyển động đã đi trong một chu trình trọn vẹn theo quan điểm của chúng ta. Photon xuất phát từ chiếc gương dưới trong chiếc đồng hồ chuyển động (xem Hình 2.3) và ban đầu đi tới gương trên. Vì theo quan điểm của chúng ta, đồng hồ là chuyển động, nên photon phải đi theo con đường xiên góc như ta thấy trên hình 2.3. Nếu photon không đi theo còn đường đó thì nó không thể tới đập vào gương trên và sẽ bay mất tăm vào không gian. Vì đồng hồ chuyển động hoàn toàn có quyền tuyên bố rằng nó đứng yên và mọi thứ khác đều chuyển động, nên ta biết rằng photon nhất định sẽ đập vào gương trên và do đó con đường mà chúng ta vẽ là đúng. Sau khi đập vào gương trên, photon lại đi theo con đường chéo góc trở về đập vào gương dưới và đồng hồ chuyển động phát ra tiếng tíc tắc. Một điểm đơn giản nhưng rất quan trọng là quãng đường gồm hai đoạn chéo góc nói trên mà ta thấy photon này phải đi đoạn dài hơn quãng đường đi lên đi xuống của photon trong chiếc đồng hồ đứng yên, vì ngoài việc phải đi các đoạn lên và xuống, photon trong chiếc đồng hồ chuyển động còn cần phải chuyển động ngang sang bên phải nữa (tất nhiên là theo quan điểm của chúng ta). Hơn nữa, sự không đổi của vận tốc ánh sáng nói với chúng ta rằng photon trong chiếc đồng hồ chuyển động có vận tốc hoàn toàn giống như vận tốc của photon trong chiếc đồng hồ đứng yên. Nhưng vì phải đi một quãng đường xa hơn mới phát ra được một tiếng tíc tắc, nên nó sẽ phát ra tiếng kêu thưa thớt hơn. Bằng chứng đơn giản đó đã xác lập được rằng đồng hồ photon chuyển động, theo quan điểm của chúng ta, đã tíc tắc chậm hơn chiếc đồng hồ photon đứng yên. Và vì chúng ta đã nhất trí rằng số tiếng tíc tắc trực tiếp cho biết có bao nhiêu thời gian đã trôi qua, nên chúng ta thấy rằng, đối với đồng hồ chuyển động, thời gian trôi chậm chạp hơn.

Hình 2.3. Theo quan điểm của chúng ta, photon trong đồng hồ chuyển động đi theo đường chéo góc.

Có thể bạn còn băn khoăn tự hỏi, điều này biết đâu chỉ đơn giản phản ánh một đặc điểm đặc biệt nào đó của đồng hồ photon và liệu có thể áp dụng cho các đồng hồ quả lắc thời cụ kỵ của chúng ta hoặc những chiếc đồng hồ Rolex hay không? Nghĩa là liệu thời gian được đo bởi các đồng hồ quen thuộc hơn đối với chúng ta có chậm lại như đồng hồ photon

nói ở trên không? Câu trả lời là một tiếng có dõng dạc, như bạn có thể thấy bằng cách áp dụng nguyên lý tương đối. Giả sử bạn gắn một chiếc đồng hồ Rolex lên trên mỗi đồng hồ photon và lặp lại thí nghiệm ở trên. Như đã nói, đồng hồ photon đứng yên và chiếc đồng hồ Rolex chỉ cùng các khoảng thời gian, tức là khi đồng hồ Rolex chỉ 1 giây, thì đồng hồ photon phát ra 1 tỷ tiếng tíc tắc. Nhưng còn đồng hồ photon chuyển động và chiếc đồng hồ Rolex gắn với nó thì sao? Liệu chiếc đồng hồ Rolex chuyển động có chạy chậm lại để vẫn còn đồng bộ với chiếc đồng hồ photon mà nó được gắn vào hay không? Để thấy rõ hơn, ta hãy tưởng tượng tổ hợp hai đồng hồ photon và Rolex được gắn chặt vào trần một toa xe không có cửa sổ đang chuyển động trên đường ray thẳng và nhẵn lý tưởng với vận tốc không đổi. Theo nguyên lý tương đối, thì người quan sát trên con tàu không có một cách thức nào để phát hiện được bất cứ một ảnh hưởng nào chuyển động của con tàu. Nhưng nếu chiếc đồng hồ photon và đồng hồ Rolex mất đồng bộ với nhau, thì đây chính là một ảnh hưởng có thể ghi nhận được, tức là trái với nguyên lý tương đối. Như vậy, chiếc đồng hồ photon và đồng hồ Rolex vẫn phải cùng đo được những khoảng thời gian như nhau và chiếc đồng hồ Rolex cũng phải chậm lại theo cách hệt như chiếc đồng hồ photon. Bất chấp nhãn hiệu, kiểu loại và cấu tạo, các đồng hồ chuyển động đối với nhau sẽ ghi lại sự trôi của thời gian với tốc độ khác nhau.

Sự khảo sát ở trên đối với đồng hồ photon cũng cho ta thấy rõ rằng sự sai khác chính xác về thời gian của các đồng hồ đứng yên và chuyển động phụ thuộc vào chỗ: trong một chu trình trọn vẹn, photon trong đồng hồ chuyển động phải đi một quãng đường dài hơn là bao nhiêu. Mà điều này thì lại phụ thuộc vào tốc độ của đồng hồ chuyển động càng nhanh, photon sẽ phải chuyển động ngang về phía bên phải càng dài hơn. Như vậy, chúng ta có thể kết luận rằng, so với đồng hồ đứng yên, nhịp độ phát ra tiếng tíc tắc của đồng hồ chuyển động sẽ càng chậm nếu nó chuyển động càng nhanh [1].

Để có một ý niệm về thang các độ lớn, cần lưu ý rằng thời gian để photon đi hết một chu trình trọn vẹn là một phần tỷ giây. Muốn cho đồng hồ có thể đi được một khoảng cách đáng kể trong thời gian giữa một tiếng tíc tắc này đến một tiếng tíc tắc tiếp sau, thì nó phải chuyển động rất nhanh, tức là phải có vận tốc gần vận tốc ánh sáng. Nếu nó chuyển động với vận tốc thông thường cỡ 15 km/h thì giữa hai lần phát ra tiếng tíc tắc nó sẽ chỉ đi được theo phương ngang về bên phải chừng

bốn phần tỷ mét. Khi đó phần quãng đường mà photon chuyển động phải đi thêm là rất nhỏ và vì vậy tác dụng tương ứng của nó đến nhịp độ phát ra tiếng tíc tắc của đồng hồ chuyển động cũng sẽ cực nhỏ. Và lại một lần nữa, do nguyên lý tương đối, điều này đối với mọi đồng hồ và do vậy đúng với chính thời gian. Điều này giải thích tại sao, những sinh vật như chúng ta vốn chỉ chuyển động đối với nhau với vận tốc nhỏ, nói chung, không ý thức được sự giãn nở của thời gian. Những hiệu ứng, mặc dù thực sự hiện hữu, nhưng lại cực kỳ nhỏ bé. Trái lại, nếu chúng ta bám được vào chiếc đồng hồ chuyển động và cùng chu du với nó với vận tốc chẳng hạn bằng 3/4 vận tốc ánh sáng, thì những phương trình của thuyết tương đối hẹp cho thấy rằng những người quan sát đứng yên sẽ thấy chiếc đồng hồ chuyển động của chúng ta phát ra tiếng tíc tắc với nhịp độ chỉ gần bằng 2/3 nhịp độ của chiếc đồng hồ riêng của họ. Quả là một hiệu ứng đáng kể.

[1] Đối với độc giả thiên về toán học, những nhận xét này có thể tính được một cách định lượng. Ví dụ, nếu đồng hồ ánh sáng chuyển động có vận tốc v và photon của nó phải mất một thời gian t mới thực hiện trọn vẹn một chu trình khứ hồi (đo theo đồng hồ ánh sáng đứng yên của chúng ta), thì đồng hồ chuyển động sẽ đi được quãng đường Vũ trụ khi photon của nó về tới gương dưới). Theo định lý Pythagore, thì các đoạn đường chéo góc trên hình 2.3 bằng [căn](vt/2)2 + h2 với h là khoảng cách giữa hai gương. Do đó, tổng hai đoạn đường chéo góc bằng 2[căn](vt/2)2 + h2. Vì vận tốc của ánh sáng là không đổi và được ký hiệu là c, nên photon phải mất một thời gian 2[căn](vt/2)2 + h2/c giây để thực hiện một chu trình khứ hồi. Nghĩa là chúng ta có phương trình t = 2[căn](vt/2)2 + h2/c. Giải phương trình trên cho t, ta được t = 2h/[căn]c2 - v2. Để tránh nhầm lẫn, ta viết tưcd = 2h/[căn]c2 - v2 trong đó chỉ số dưới chỉ khoảng thời gian chúng ta đo được giữa hai đồng hồ đứng yên của chúng ta là tdy = 2h/c và sau vài ba phép biến đổi ta tìm được tcd = tdy/[căn] 1- v2/c2. Hệ thức vừa tìm được trực tiếp chứng tỏ rằng thời gian giữa hai tiếng tíc tắc của đồng hồ chuyển động dài hơn thời gian giữa hai tiếng tíc tắc của đồng hồ đứng yên. Điều này có nghĩa là giữa hai sự kiện đã chọn, số tiếng tíc tắc phát ra trong đồng hồ chuyển động ít hơn so với đồng hồ đứng yên.

Cũng như đối với tất cả những chuyện tưởng như là nghịch lý trong thuyết tương đối hẹp, khi được xem xét một cách thấu đáo, thì những điều phi lôgic bề ngoài đó sẽ được giải quyết, đồng thời hé mở những

đặc điểm mới trong sự vận hành của Vũ trụ.

•◎Sống hết tốc lực

Chúng ta đã thấy rằng sự không đổi của vận tốc ánh sáng dẫn tới việc phát ra những tiếng tíc tắc của đồng hồ photon chuyển động chậm hơn so với đồng hồ photon đứng yên. Và lại theo nguyên lý tương đối, điều này cần phải đúng không phải chỉ với đồng hồ photon mà còn đúng với một đồng hồ bất kỳ, nghĩa là nó cần phải đúng đối với chính bản thân thời gian. So với người đang đứng yên, thì thời gian đối với người đang chuyển động trôi chậm hơn. Nhưng nếu những suy luận khá đơn giản đã dẫn chúng ta tới kết luận đó là đúng, thì liệu người đang chuyển động có sống lâu hơn người đứng yên hay không? Xét cho cùng, nếu thời gian trôi đối với người chuyển động chậm hơn so với người đứng yên, thì sự khác nhau đó sẽ không chỉ áp dụng cho thời gian được đo bởi các đồng hồ mà còn cho cả thời gian được đo bởi nhịp đập của con tim cũng như nhịp độ thoái hóa của các bộ phận của cơ thể. Thực tế, nhiều thực nghiệm (không phải về tuổi thọ của con người mà về tuổi thọ của một số hạt vi mô, như các muon, chẳng hạn) đã trực tiếp khẳng định điều đó. Tuy nhiên, có một điểm thiết yếu cản trở chúng ta tuyên bố rằng chúng ta đã tìm được cách cải lão hoàn đồng.

Khi ngồi yên trong phòng thí nghiệm, các hạt muon phân rã theo một quá trình gần giống như sự phân rã phóng xạ sau một khoảng thời gian trung bình là hai phần triệu giây. Sự phân rã này là một sự kiện thực nghiệm đã được xác nhận nhiều lần. Điều đó tựa như là muon sống cả cuộc đời của mình với khẩu súng dí vào đầu; và khi đạt tới tuổi hai phần triệu giây nó bèn bóp cò và vỡ tan thành các hạt electron và nơtrino. Nhưng nếu các hạt muon này không ngồi yên trong phòng thí nghiệm mà lại muốn chu du trong một thiết bị thí nghiệm tên là máy gia tốc hạt để đưa vận tốc của nó tới gần vận tốc ánh sáng, thì như các nhà khoa học trong phòng thí nghiệm đã đo được, tuổi thọ của nó tăng lên một cách ghê gớm. Và điều này xảy ra một cách thực sự. Với vận tốc 298.000k/s (xấp xỉ 99,5% vận tốc ánh sáng), thời gian sống của muon được quan sát thấy tăng lên 10 lần. Theo thuyết tương đối hẹp, sở dĩ như vậy là do "đồng hồ" mà hạt muon mang theo chạy chậm hơn nhiều so với đồng hồ trong phòng thí nghiệm, vì thế mà sau khi đồng hồ ở phòng thí nghiệm báo rằng đã đến lúc muon phải bóp cò và nổ tung thì đồng hồ mà muon mang theo còn chưa tới thời điểm định mệnh đó.

Đây là một chứng minh trực tiếp và ngoạn mục cho tác dụng của chuyển động đến sự trôi của thời gian. Nếu con người tất bật hằng ngày nhanh như các muon này thì tuổi thọ của họ cũng sẽ tăng lên 10 lần. Nghĩa là tuổi thọ trung bình của chúng ta không phải là 70 nữa mà sẽ là 700 tuổi [1].

Bây giờ sẽ nói về cái điểm thiết yếu cản trở chúng ta. Mặc dù những người quan sát trong phòng thí nghiệm thấy các muon chuyển động nhanh sống lâu hơn nhiều so với bà con của chúng ở trạng thái đứng yên. Điều đó là do đối với các muon chuyển động thời gian trôi chậm hơn. Sự chậm lại này của thời gian không chỉ áp dụng cho các đồng hồ mà những hạt muon đó mang theo mà còn cho tất cả những hành động mà chúng thực hiện. Ví dụ, nếu một muon đứng yên có thể đọc được 100 cuốn sách trong cuộc đời ngắn ngủi của nó, thì người anh em chuyển động nhanh của nó cũng sẽ chỉ đọc được 100 cuốn sách mà thôi, bởi vì mặc dù nó có vẻ sống lâu hơn hạt muon đứng yên, nhưng tốc độ đọc của nó – cũng như mọi thứ khác trong cuộc sống của nó – cũng sẽ chậm lại. Theo quan điểm của người quan sát trong phòng thí nghiệm, thì điều đó tựa như muon chuyển động sống cuộc đời của nó theo một nhịp độ chậm, và cũng theo quan điểm này thì hạt muon chuyển động sẽ sống lâu hơn muon đứng yên, nhưng "tổng số những trải nghiệm cuộc sống" của hạt chuyển động này thì cũng chẳng hơn gì. Dĩ nhiên chính kết luận đó cũng áp dụng được cho những người chuyển động nhanh với tuổi thọ trung bình cỡ hàng thế kỷ. Theo quan điểm của họ, thì đời sống cũng như bình thường. Nhưng theo quan điểm của chúng ta thì họ đã sống một cuộc sống với nhịp độ siêu chậm và do đó một vòng sống bình thường của họ phải chiếm một lượng cực lớn thời gian của chúng ta.

•◎Xét cho cùng thì ai là người chuyển động?

Tính tương đối của chuyển động vừa là chìa khoá để hiểu lý thuyết của Einstein và cũng vừa là nguồn gốc tiềm tàng của những sự hiểu lầm. Bạn chắc có lẽ cũng đã thấy rằng chỉ cần đảo lại điểm nhìn là vai trò của muon chuyển động và muon đứng yên sẽ đổi vai trò cho nhau. Cũng như cả Goerge và Gracie đều có quyền ngang nhau khi tuyên bố rằng mình đứng yên còn người kia chuyển động, các muon mà chúng ta đã mô tả là chuyển động hoàn toàn có quyền tuyên bố như thế, nghĩa là theo quan điểm của chúng, chúng là đứng yên còn những muon "đứng

yên" kia mới là chuyển động theo hướng ngược lại. Những lập luận được trình bày ở trên cũng sẽ được áp dụng cho quan điểm này và sẽ dẫn tới một kết luận ngược hẳn lại, nghĩa là đồng hồ gắn với các muon mà chúng ta xem là đứng yên chạy chậm hơn so với đồng hồ gắn với muon mà ta xem là chuyển động.

Ở trên chúng ta đã xét tình huống tương tự, đó là lễ ký kết với bóng đèn phát tín hiệu, trong đó những quan điểm khác nhau dẫn tới những kết quả dường như hoàn toàn khác nhau. Trong trường hợp đó, bằng những suy luận cơ bản dựa trên thuyết tương đối hẹp, chúng ta đã buộc phải vứt bỏ quan niệm cho rằng mọi người, bất chấp trạng thái chuyển động của mình, đều nhất trí về các sự kiện xảy ra đồng thời. Mặc dù trong tình huống mà ta đang xét ở đây sự bất đồng còn tồi tệ hơn nhiều. Làm sao cả hai người quan sát lại đều có thể tuyên bố rằng đồng hồ của người kia chạy chậm hơn? Bi đát hơn nữa, những quan điểm khác nhau nhưng đều có giá trị như nhau của các muon dường như lại dẫn chúng ta tới kết luận rằng mỗi một nhóm đều buồn bã tuyên bố chắc như đinh đóng cột rằng mình sẽ chết trước nhóm kia. Chúng ta biết rằng thế giới có thể có những đặc điểm kỳ lạ đến bất ngờ, nhưng chúng ta vẫn hy vọng rằng nó không thể vượt qua những giới hạn của sự phi lý. Vậy thì chuyện gì đã xảy ra?

Cũng như đối với tất cả những chuyện tưởng như là nghịch lý trong thuyết tương đối hẹp, khi được xem xét một cách thấu đáo, thì những điều phi lôgic bề ngoài đó sẽ được giải quyết đồng thời hé mở những đặc điểm mới trong sự vận hành của Vũ trụ. Để tránh sự nhân cách hóa quá khiên cưỡng, chúng ta tạm biệt các muon và trở về với Goerge và Gracie, những người mà ngoài chiếc đèn nhấp nháy bây giờ còn có thêm một chiếc đồng hồ số to tướng phát quang. Theo quan điểm của Goerge, thì anh ta đứng yên, còn Gracie với chiếc đèn phát ánh sáng xanh và chiếc đồng hồ lớn xuất hiện từ xa rồi đi qua cạnh anh ta trong bóng đêm bao la của khoảng không vũ trụ. Anh ta nhìn thấy chiếc đồng hồ của Gracie chạy chậm so với đồng hồ của mình (với nhịp độ chậm lại tuỳ thuộc vào vận tốc tương đối của họ). Nếu như anh ta tinh ý một chút chắc cũng sẽ thấy rằng ngoài sự trôi của thời gian theo đồng hồ của Gracie ra, mọi hoạt động của cô ta như vẫy tay khi đi qua cạnh Goerge hay tốc độ chớp mắt của cô ta chẳng hạn đều diễn ra chậm chạp. Trong khi đó, theo quan điểm của Gracie thì tất cả những quan sát đó đều áp dụng được cho Goerge.

Mặc dù điều đó xem ra có vẻ nghịch lý, nhưng chúng ta hãy thử xác định một thí nghiệm chính xác có thể vạch ra sự phi logic đó. Khả năng duy nhất là sắp đặt mọi chuyện sao cho khi Goerge và Gracie gặp nhau họ chỉnh lại đồng hồ về đúng 12 giờ. Rồi khi ở xa nhau cả hai đều tuyên bố rằng đồng hồ của người kia chạy chậm hơn. Để đối chứng sự bất đồng đó, thì Goerge và Gracie cần phải gặp nhau một lần nữa và trực tiếp so sánh khoảng thời gian đã trôi qua giữa hai lần gặp nhau theo đồng hồ của từng người. Nhưng họ có thể làm điều đó bằng cách nào? Theo Goerge thì anh ta có thể dùng chiếc động cơ phản lực đeo trên lưng để đuổi theo Gracie. Nhưng nếu anh ta làm như thế thì sự đối xứng giữa hai quan điểm (của anh ta và của Gracie) vốn là nguyên nhân gây ra nghịch lý này, sẽ bị phá vỡ bởi vì Goerge được gia tốc, tức là chuyển động của anh ta không còn là thẳng đều nữa. Khi họ gặp lại nhau theo cách đó, thì đồng hồ của Goerge thực sự chỉ khoảng thời gian nhỏ hơn vì bây giờ anh ta có thể nói một cách chắc chắn rằng mình chuyển động vì chính anh ta cảm thấy được điều đó. Và như vậy, quan điểm của Goerge và của Gracie không còn bình đẳng như nhau nữa. Vào lúc bật động cơ là Goerge đã ngay lập tức không dám tuyên bố mình đứng yên nữa rồi.

Nếu như Goerge đuổi theo Gracie theo cách đó, thì sự khác biệt về thời gian chỉ bởi đồng hồ của hai người sẽ phụ thuộc vào vận tốc tương đối của họ, cũng như vào các chi tiết của cách thức mà Goerge sử dụng chiếc động cơ phản lực. Như đã biết, nếu các vận tốc có liên quan là nhỏ thì sự khác biệt cũng rất nhỏ. Nhưng nếu các vận tốc đó gần với vận tốc ánh sáng thì sự khác biệt có thể cỡ hàng phút, hàng ngày, hàng năm thậm chí hàng thế kỷ hoặc dài hơn nữa. Để cho một ví dụ cụ thể, hãy tưởng tượng rằng vận tốc tương đối của Goerge và Gracie khi đi qua cạnh nhau bằng 99,5% vận tốc ánh sáng. Hơn nữa, ta cũng giả sử rằng Goerge đợi 3 năm sau (theo đồng hồ của anh ta) mới tức thì bật động cơ đưa anh ta đuổi theo Gracie với cùng vận tốc như lúc họ rời xa nhau, tức là bằng 99,5% vận tốc ánh sáng. Khi họ gặp nhau, thì đồng hồ của Goerge 6 năm đã trôi qua do phải mất 3 năm để đuổi theo. Tuy nhiên, những tính toán theo thuyết tương đối hẹp thì đồng hồ của Gracie đã chỉ 60 năm đã trôi qua. Đó là khoảng thời gian không phải là nhỏ và Gracie phải lục tìm trong ký ức xa xôi, mới nhớ được ra rằng khoảng 60 năm trước Goerge đã từng đi qua cạnh mình trong không gian. Trái lại đối với Goerge, đó mới chỉ là 6 năm trước. Theo ý nghĩa thực thì chuyển

động của Goerge đã làm cho anh ta trở thành một lữ hành theo thời gian hay nói theo nghĩa chính xác thì anh ta đã chu du vào tương lai của Gracie.

Việc đưa hai đồng hồ lại gặp nhau để trực tiếp so sánh tưởng như đơn giản chỉ là những rắc rối về mặt "hậu cần", nhưng nó thực sự là điểm cốt lõi của vấn đề. Chúng ta có thể nghĩ ra đủ thứ mưu mẹo để lảng tránh cái khe hở trong cái áo giáp nghịch lý đó, nhưng tất cả đều không tránh khỏi thất bại. Chẳng hạn, thay vì đưa các đồng hồ trở lại gặp nhau, Goerge và Gracie có thể thông báo với nhau bằng điện thoại di động thì sao? Nếu như sự liên lạc như vậy là tức thời, thì chúng ta sẽ phải đối mặt với một sự thiếu nhất quán không thể vượt qua: thực vậy, nếu suy luận theo Gracie, đồng hồ của Goerge là chạy chậm hơn, do đó anh ta sẽ thông báo thời gian của mình nhỏ hơn; còn nếu suy luận theo quan điểm của Goerge thì đồng hồ của Gracie chạy chậm hơn và cô ta sẽ lại thông báo thời gian của mình nhỏ hơn. Do họ không thể đúng cả hai, nên chúng ta xem như thất bại. Tất nhiên, điểm then chốt ở đây là ở chỗ, điện thoại di động giống như tất cả các loại thông tin liên lạc khác, không thể truyền tín hiệu một cách tức thời. Điện thoại di động hoạt động bằng các sóng vô tuyến, một dạng của ánh sáng, vì thế tín hiệu mà nó truyền phải có vận tốc bằng vận tốc ánh sáng. Điều này có nghĩa là phải mất một thời gian tín hiệu mới nhận được – một khoảng thời gian vừa đủ để hai quan điểm trở lại phù hợp với nhau.

Bây giờ chúng ta hãy xét điều này, trước hết theo quan điểm của Goerge. Hãy tưởng tượng cứ mỗi một giờ Goerge lại nói qua điện thoại: "Bây giờ là 12 giờ, mọi chuyện đều tốt đẹp cả", "Bây giờ là 1 giờ, mọi chuyện đều tốt đẹp cả" v.v... Vì theo quan điểm của anh ta, đồng hồ của Gracie là chậm hơn, nên anh ta từ đầu đã tự nhủ rằng Gracie sẽ nhận được tín hiệu này trước khi đồng hồ của cô ta chỉ giờ tương ứng. Theo cách đó, anh ta kết luận rằng Gracie sẽ đồng ý là đồng hồ của cô ta quả thật chạy chậm. Nhưng sau đó, anh ta nghĩ lại: "Vì Gracie chuyển động ra xa mình, nên tín hiệu mà mình gửi theo điện thoại di động phải đi một khoảng cách xa hơn dự tính mới tới được chỗ cô ta. Có thể thời gian phụ trội thêm này bù trừ cho sự chạy chậm của đồng hồ cô ta cũng nên". Nhận thấy có hiệu ứng bù trừ đó, Goerge nảy ra cảm hứng ngồi vào bàn thử tính toán một cách chính xác xem sao. Kết quả mà anh ta tìm thấy thật sự đáng ngạc nhiên: thời gian truyền còn vượt quá thời gian chạy chậm của đồng hồ Gracie. Điều này có nghĩa là sau khi đồng

hồ của Gracie chỉ một giờ tương ứng, cô ta mới nhận được những tín hiệu của Goerge báo rằng một giờ đã trôi qua theo đồng hồ của anh ta. Thực tế, do biết sự tinh thông vật lý của Gracie, nên Goerge biết rằng cô ta sẽ tính tới thời gian truyền của tín hiệu khi rút ra kết luận về đồng hồ của Goerge dựa trên thông báo điện thoại của anh ta. Chỉ cần thêm một chút tính toán nữa sẽ cho thấy rằng cho dù có tính tới cả thời gian truyền của tín hiệu đi nữa thì sự phân tích của Gracie đối với các tín hiệu của Goerge cũng sẽ dẫn tới kết luận rằng đồng hồ của Goerge chạy chậm hơn đồng hồ của cô ta.

Chính những lý luận trên cũng áp dụng được khi đứng trên quan điểm của Gracie, khi mỗi giờ cô cũng gửi cho Goerge những tín hiệu qua điện thoại di động. Thoạt đầu, sự chạy chậm của đồng hồ của Goerge, theo quan điểm của Gracie, khiến cô nghĩ rằng anh ta sẽ nhận được tín hiệu của cô trước khi anh ta phát đi tín hiệu. Nhưng khi tính tới tín hiệu của mình phải đi quãng đường xa hơn do Goerge chuyển động ra xa, Gracie thấy rằng Goerge nhận được tín hiệu của cô sau khi anh ta phát tín hiệu. Và lại một lần nữa, cô ta thấy rằng nếu Goerge tính tới thời gian truyền tín hiệu thì anh ta cũng sẽ rút ra kết luận rằng đồng hồ của cô chạy chậm hơn.

Chừng nào mà Goerge hoặc Gracie còn chưa được gia tốc, thì chừng đó quan điểm của họ hoàn toàn bình đẳng với nhau. Thậm chí mặc dù điều đó dường như là nghịch lý đi nữa, thì theo cách ấy, cả hai người đều thấy rằng việc người này nghĩ rằng đồng hồ của người kia là chạy chậm hơn đều hoàn toàn nhất quán.

[1] Trong trường hợp bạn muốn khẳng định bằng một thực nghiệm dễ hiểu hơn là thực nghiệm trong máy gia tốc hạt, hãy xét thí nghiệm sau. Tháng 10 năm 1971, J.C. Hafele, hồi đó thuộc Đại học Washington và Richard Keating thuộc Đài Thiên văn Hải quân Mỹ đã đặt các đồng hồ nguyên tử Cesi bay trên các máy bay hành khách trong khoảng 40 giờ. Sau khi tính tới tất cả những đặc điểm tinh tế có liên quan tới lực hấp dẫn, thuyết tương đối hẹp khẳng định rằng khoảng thời gian đo bởi các đồng hồ chuyển động nhỏ hơn so với số đo tương ứng của đồng hồ gắn với mặt đất vài phần trăm tỷ giây. Và đó cũng chính là điều mà Hafele và Keating đã tìm ra: thời gian thực sự bị chậm lại khi chuyển động.

Trên quan điểm của những khái niệm mà chúng ta đã nhấn mạnh trong suốt chương này, phương trình Einstein cho chúng ta một cách giải

thích cụ thể nhất cho vấn đề trung tâm của chúng ta, đó là không có vật nào có thể chuyển động nhanh hơn vận tốc ánh sáng.

•◎Ảnh hưởng của chuyển động đến không gian

Sự thảo luận ở trên cho ta thấy rằng những người quan sát thấy các đồng hồ chuyển động chạy chậm hơn đồng hồ của mình, tức là chuyển động có ảnh hưởng tới thời gian. Từ đây, chỉ cần một bước nhỏ nữa là chúng ta thấy rằng chuyển động cũng ảnh hưởng mạnh đến không gian. Ta hãy trở lại cuộc chạy thử xe của hai anh em Slim và Jim. Như đã nói ở trên, khi chiếc xe còn đặt ở phòng trưng bày, Slim đã dùng thước dây đo rất cẩn thận chiều dài của chiếc xe mới. Khi Slim cho xe phóng trên đường đua, do không thể dùng cũng cách đó để đo chiều dài chiếc xe được, nên Jim buộc phải dùng một phương pháp gián tiếp. Một trong những cách đó chúng ta đã nói ở trên: Jim bấm đồng hồ khi đầu xe đi qua và dừng đồng hồ khi đuôi xe đi qua. Bằng cách nhân thời gian xác định theo đồng hồ với vận tốc của xe, Jim xác định được chiều dài của nó.

Dùng những điều tinh tế mới phát hiện được về thời gian, chúng ta thấy rằng quan điểm của Slim thì anh ta là đứng yên còn Jim là chuyển động do đó đồng hồ của Jim chạy chậm hơn. Kết quả là Slim thấy rằng phép đo gián tiếp chiều dài chiếc xe mà Jim thực hiện cho kết quả ngắn hơn chiều dài chiếc xe mà Slim đã đo trong phòng trưng bày, vì trong tính toán của Jim (chiều dài bằng tích của vận tốc với thời gian) Jim đã đo thời gian bằng đồng hồ chạy chậm. Mà nếu đồng hồ đã chạy chậm thì khoảng thời gian mà Jim đo được là nhỏ hơn và do đó kết quả mà anh ta tính được sẽ cho chiều dài ngắn hơn.

Như vậy Jim sẽ nhận thấy chiều dài chiếc xe của Slim ngắn hơn chiều dài của nó được đo khi đứng yên. Đây là ví dụ về một hiện tượng chung mà những người quan sát cảm nhận thấy các vật chuyển động bị co ngắn lại dọc theo phương chuyển động. Ví dụ, các phương trình của thuyết tương đối hẹp cho thấy rằng nếu một vật chuyển động với vận tốc bằng 98% vận tốc ánh sáng thì người quan sát đứng yên sẽ thấy nó ngắn hơn so với khi nó đứgn yên 80%. Hiện tượng này được minh họa trên Hình 2.4 [1].

Hình 2.4 Một vật chuyển động bị co ngắn lại theo phương chuyển động.

•◎Chuyển động qua không thời gian

Sự không đổi của vận tốc ánh sáng đã khiến chúng ta phải thay quan niệm truyền thống về không gian và thời gian như những cấu trúc phổ quát và bất đồng bằng một quan niệm mới trong đó không gian và thời gian phụ thuộc một cách mật thiết vào chuyển động tương đối của người quan sát và vật được quan sát. Chúng ta có thể kết thúc cuộc thảo luận ở đây bằng một nhận xét là các vật chuyển động nhanh sẽ lại tiến hóa với nhịp độ chậm và đồng thời bị co ngắn lại. Mặc dù vậy, thuyết tương đối hẹp đã cho chúng ta một khuôn khổ thống nhất sâu sắc hơn, bao quát được tất cả những hiện tượng đó.

Để hiểu được điều này, hãy hình dung một chiếc xe tưởng tượng trong chớp mắt đã đạt tới vận tốc đều 150km/h và duy trì vận tốc đó một cách chính xác cho tới khi tắt máy để xe tự lăn rồi từ từ dừng lại. Giả sử ta cũng tưởng tượng rằng, do vốn nổi tiếng là một lái xe điệu nghệ, Slim được mời lái thử xe trên một đường đua thẳng, rộng và dài nằm giữa một vùng bằng phẳng trong sa mạc. Vì khoảng cách giữa vạch xuất phát và đích dài 15km, nên chiếc xe với vận tốc nói trên sẽ đi hết quãng đường đó trong khoảng thời gian 1/10 giờ, tức là 6 phút. Jim vốn cũng là một kỹ sư ô tô xuất sắc, anh đã kiểm tra kỹ lưỡng các dữ liệu đã được ghi lại từ hàng chục cuộc lái thử và cảm thấy băn khoăn khi thấy rằng mặc dù đa số các cuộc thử đều ghi được thời gian là 6 phút, nhưng một số ít cuộc thử cuối cùng lại thấy ghi dài hơn nhiều: 6,5 rồi 7, thậm chí tới 7,5 phút. Thoạt đầu anh ngờ rằng máy móc có trục trặc gì đó, nhưng số ghi thời gian này dường như báo rằng chiếc xe đã chạy chậm hơn 150km/h trong ba lần thử cuối cùng. Tuy nhiên sau khi kiểm tra một cách kỹ lưỡng và toàn diện, anh khẳng định rằng mọi thứ trên chiếc xe đều rất hoàn hảo. Do không giải thích được tại sao thời gian chạy xe lại dài một cách bất thường như vậy, Jim bèn tới hỏi Slim về mấy lần chạy thử cuối cùng. Slim đưa ra một cách giải thích rất đơn giản. Anh ta nói với Jim rằng do đường đua nằm theo hướng đông – tây, những lần chạy thử lại diễn ra vào cuối ngày, nên mặt trời làm cho anh ta hơi loá mắt. Trong ba lần thử cuối cùng, tình trạng này tồi tệ tới mức anh không thể chạy được thẳng theo đường đua mà hơi chệch một góc nhỏ. Anh ta còn vẽ phác đường chạy mà anh đã lái trong ba cuộc thử cuối cùng và được minh họa trên Hình 2.5. Sự giải thích cho ba lần chạy cuối cùng bây giờ trở nên hoàn toàn rõ ràng: đường đi từ vạch xuất phát tới đích sẽ dài hơn nếu đi chệch một góc nào đó và do đó với vận tốc vẫn là 15km/h thì thời gian sẽ phải mất nhiều hơn. Nói một cách khác, khi đi chệch một

góc nào đó, một phần của vận tốc 15km/h đã dùng để đi theo hướng nam – bắc khiến cho phần để đi theo hướng đông – tây trở nên nhỏ hơn so với khi chạy thẳng theo hướng này. Điều này có nghĩa là nó phải mất một thời gian dài hơn.

Hình 2.5. Do bị Mặt trời làm lóa mắt, Slim lái chệch một góc tăng dần trong ba lần thử cuối cùng.

Mặc dù cách giải thích của Slim thật dễ hiểu, nhưng sẽ rất có lợi nếu chúng ta diễn đạt nó hơi khác một chút để chuẩn bị cho một bước nhảy về mặt khái niệm mà chúng ta sắp làm dưới đây. Các hướng bắc – nam và đông – tây là hai chiều không gian độc lập nhau theo đó chiếc xe có thể chuyển động. (Tất nhiên, nó có thể chuyển động theo cả phương thẳng đứng khi đi theo đường lên núi chẳng hạn, nhưng ở đây chúng ta không cần xét tới khả năng đó). Cách giải thích của Slim minh họa cho điều là: thậm chí mặc dù chiếc xe chạy với vận tốc 150km/h trong tất cả các lần thử, nhưng trong ba lần thử cuối cùng nó phải chia sẻ vận tốc này cho hai chiều và do đó gây cho ta cảm tưởng nó chạy chậm hơn 150km/h theo hướng đông – tây. Trong những lần thử trước, vận tốc 150km/h được hoàn toàn dành cho chuyển động chỉ theo hướng đông – tây; còn trong ba lần thử cuối cùng, một phần vận tốc này đã được dùng cho chuyển động theo hướng bắc – nam.

Einstein đã phát hiện ra rằng, ý tưởng về sự chia sẻ chuyển động giữa các chiều khác nhau này lại chính là cơ sở cho toàn bộ cái vật lý lạ lùng của thuyết tương đối hẹp, với điều kiện ta phải chấp nhận rằng sự chia sẻ này không chỉ được thực hiện giữa các chiều không gian mà còn với cả chiều thời gian nữa. Thực ra, trong phần lớn các hoàn cảnh, chuyển động của các vật chủ yếu là qua thời gian chứ không phải qua không gian. Ta hãy thử xem điều này có ý nghĩa gì.

Chuyển động qua không gian là một khái niệm mà ta đã biết từ thuở ấu thơ. Mặc dù chúng ta không thường xuyên nghĩ về các vật theo cách như vậy, nhưng chúng ta đều biết rằng, chúng ta, bạn bè và những người thân thuộc của chúng ta... tất cả cũng đều chuyển động qua thời gian. Khi chúng ta xe đồng hồ, thậm chí chúng ta nhàn rỗi ngồi xem TV, các con số chỉ thời gian liên tục thay đổi, liên tục "chuyển động về phía trước theo thời gian". Chúng ta và vạn vật xung quanh chúng ta đều già đi, đều không tránh khỏi phải chuyển từ thời điểm này tới thời điểm tiếp sau. Thực tế, nhà toán học Mermann Minkowski, và cuối cùng là cả

Einstein nữa, đã cổ vũ cho ý tưởng xem thời gian như một chiều thứ tư của Vũ trụ tương tự như ba chiều không gian mà chúng ta đã quá quen thuộc và chính chúng ta bị chìm ngập trong đó. Mặc dù điều đó nghe có vẻ trừu tượng, nhưng khái niệm thời gian như một chiều là thực sự cụ thể. Khi chúng ta muốn gặp ai đó, chúng ta sẽ nói cho người đó biết ta sẽ chờ gặp anh ta ở đâu "trong không gian" – chẳng hạn ở tầng 9, toà nhà nằm ở góc Phố 53 và Đại lộ 7. Như vậy là ở đây có ba thông tin (tầng 9, Phố 53 và Đại lộ 7) cho ta biết một vị trí cụ thể nào đó theo ba chiều của không gian. Tuy nhiên, điều quan trọng không kém còn phải cho biết, đó là ta sẽ đợi gặp người đó khi nào, chẳng hạn vào lúc 3 giờ chiều. Thông tin này cho biết cuộc gặp gỡ của hai người sẽ diễn ra ở đâu theo "thời gian". Do đó, các sự kiện được xác định bởi bốn thông tin: ba về không gian và một về thời gian. Những dữ liệu này, như người ta thường nói, xác định vị trí của một sự kiện trong không gian và trong thời gian. Theo ý nghĩa đó thì thời gian đúng là một chiều khác.

Vì quan niệm này nói rằng không gian và thời gian đơn giản chỉ là những ví dụ khác nhau về các chiều, vậy liệu chúng ta có thể nói về vận tốc của một vật qua thời gian theo cách giống như khái niệm vận tốc trong không gian hay không? Có thể.

Một chỉ dẫn quan trọng cho biết làm điều đó như thế nào nằm ngay trong một thông tin rất căn bản mà ta đã từng gặp ở trên. Khi một vật chuyển động qua không gian đối với chúng ta, đồng hồ của nó sẽ chậm lại so với đồng hồ của chúng ta. Điều này có nghĩa là tốc độ chuyển động của nó qua thời gian chậm lại. Và đây là một bước nhảy vọt: Einstein đã tuyên bố rằng mọi vật trong Vũ trụ luôn luôn chuyển động trong không – thời gian với một vận tốc cố định - đó là vận tốc ánh sáng. Đây là một ý tưởng thật lạ lùng: chúng ta đã quá quen thuộc với quan niệm rằng các vật chuyển động với những vận tốc nhỏ đáng kể so với vận tốc ánh sáng. Chúng ta cũng đã nhắc đi nhắc lại điều đó như là một nguyên nhân giải thích tại sao những hiệu ứng tương đối tính lại quá xa lạ với thế giới hằng ngày của chúng ta. Tất cả những điều đó đúng cả. Nhưng ở đây chúng ta đang nói về một vận tốc tổ hợp của vật qua tất cả bốn chiều – ba chiều không gian và một chiều thời gian – và chính cái vận tốc của vật theo nghĩa tổng quát hoá đó mới có giá trị bằng vận tốc ánh sáng. Để hiểu điều này một cách đầy đủ hơn và để thấy rõ tầm quan trọng của nó, ta chú ý rằng, giống như chiếc xe tưởng tượng chỉ chạy với một vận tốc mà ta đã xét ở trên, cái vận tốc cố định này có thể

được chia sẻ giữa các chiều khác nhau, tức là giữa ba chiều không gian và một chiều thời gian. Nếu một vật là đứng yên (đối với chúng ta) và do đó hoàn toàn không chuyển động qua không gian, thì khi đó, tương tự như trong những lần chạy thử đầu tiên của chiếc xe tưởng tượng nói trên, toàn bộ chuyển động của vật được dùng để đi theo một chiều, trong ví dụ chiếc xe, đó là chiều đông – tây, còn trong trường hợp của chúng ta đó là chiều thời gian. Hơn nữa, tất cả các vật đứng yên đối với chúng ta và đối với nhau đều chuyển động theo thời gian (thể hiện là chúng già đi) với một tốc độ như nhau. Tuy nhiên, nếu một vật chuyển động qua không gian thì điều đó có nghĩa là một phần của chuyển động trước đó theo thời gian cần phải bị "chệch" đi. Giống như chiếc xe chạy lệch đi một góc, sự chia sẻ chuyển động này khiến cho vật sẽ chuyển động chậm lại theo thời gian so với các vật đứng yên, vì một phần chuyển động của nó đã được dùng để đi qua không gian. Đây chính là điều mà chúng ta đã phát hiện ra ở trên. Bây giờ chúng ta thấy rằng thời gian chậm lại khi vật chuyển động đối với chúng ta là bởi vì điều đó làm chia sẻ một phần chuyển động qua thời gian của nó thành chuyển động qua không gian. Vận tốc của vật qua không gian chẳng qua chỉ là phản ánh bao nhiêu phần chuyển động qua thời gian đã được chia sẻ bớt.

Từ những điều vừa nói chúng ta thấy ngay rằng có một giới hạn đối với vận tốc theo không gian của các vật: vận tốc cực đại qua không gian sẽ đạt được nếu như toàn bộ chuyển động của vật qua thời gian được chuyển hết thành chuyển động theo không gian. Điều này xảy ra khi toàn bộ chuyển động với vận tốc ánh sáng theo không gian. Nhưng do đã sử dụng hết chuyển động của mình qua thời gian, nên đó cũng chính là vận tốc lớn nhất qua không gian mà vật đó – hay một vật bất kỳ – có thể đạt được. Điều này tương tự với trường hợp chiếc xe ca chạy thử đi ngang theo bắc – nam. Cũng như chiếc xe không còn một chút vận tốc nào dành cho chuyển động theo chiều đông – tây nữa, một vật nào đó chuyển động với vận tốc ánh sáng qua không gian sẽ không còn để lại một chút vận tốc nào cho chuyển động theo thời gian. Như vậy ánh sáng không bao giờ già đi: một photon xuất hiện từ Big Bang ngày hôm nay cũng vẫn có tuổi như khi đó. Với vận tốc ánh sáng thời gian sẽ dừng lại.

- ◎Còn về E = MC2 thì sao?

Mặc dù Einstein không tán thành lắm việc gọi lý thuyết của mình là "tương đối" (ông cũng đã đề nghị gọi nó là "bất biến" để phản ánh (ngoài những điều khác) tính không thay đổi của vận tốc ánh sáng), nhưng ý nghĩa của nó bây giờ đã hoàn toàn rõ ràng. Công trình của Einstein chứng tỏ rằng những khái niệm như không gian và thời gian mà trước kia được xem là tuyệt đối và tách biệt nhau, thì bây giờ có tính chất tương đối và liên hệ mật thiết với nhau. Tiếp đó, Einstein cũng chứng tỏ được rằng các tính chất vật lý khác của Vũ trụ cũng liên hệ mật thiết với nhau một cách bất ngờ. Một trong số những ví dụ quan trọng nhất là phương trình nổi tiếng nhất của ông. Trong đó, Einstein khẳng định rằng năng lượng (E) của một vật và khối lượng (m) của nó không phải là những khái niệm độc lập; chúng ta có thể xác định được khối lượng khi biết năng lượng (bằng cách chia năng lượng cho bình phương vận tốc ánh sáng). Nói một cách khác, năng lượng và khối lượng – giống như đồng đôla và đồng frăng – có thể chuyển đổi lẫn nhau. Nhưng không giống như tiền tệ, tỷ lệ trao đổi ở đây là bình phương của vận tốc ánh sáng – một con số đã và sẽ mãi mãi cố định. Vì thừa số tỷ lệ trao đổi này là rất lớn (c2 là một số rất lớn) nên một khối lượng nhỏ phải qua một con đường cực dài để tạo ra được năng lượng. Thế giới đã từng biết tới sức mạnh tàn phá ghê gớm từ việc biến 10 gam urani thành năng lượng ở Hiroshima; một ngày nào đó, từ những nguồn nước biển vô tận và các nhà máy điện tổng hợp hạt nhân, chúng ta có thể sẽ khai thác một cách thông minh công thức trên của Einstein để dung cấp đủ năng lượng cho toàn thế giới.

Trên quan điểm của những khái niệm mà chúng ta đã nhấn mạnh trong suốt chương này, phương trình Einstein cho chúng ta một cách giải thích cụ thể nhất cho vấn đề trung tâm của chúng ta, đó là không có vật nào có thể chuyển động nhanh hơn vận tốc ánh sáng. Ví dụ, bạn có thể băn khoăn tự hỏi: tại sao ta không lấy một vật nào đó, như hạt muon chẳng hạn, rồi dùng máy gia tốc đưa vận tốc của nó đạt tới 298.000km/s, tức gần 99,5% và sau đó đẩy thực mạnh để buộc nó phải vượt qua cái tường chắn là vận tốc ánh sáng. Công thức Einstein giải thích được tại sao điều đó không thể thực hiện được. Một vật chuyển động càng nhanh thì năng lượng mà nó càng lớn và theo công thức Einstein ta thấy rằng một vật có năng lượng càng lớn thì khối lượng của nó cũng sẽ càng lớn. Các hạt muon chuyển động với vận tốc bằng 99,9% vận tốc ánh sáng sẽ nặng hơn rất nhiều so với những hạt muon đứng yên. Thực tế, chúng nặng hơn tới 22 lần. (Các giá trị khối lượng cho trong Bảng 1.1 là

đối với các hạt đứng yên). Nhưng một vật càng nặng, thì càng khó tăng tốc cho nó. Đẩy một đứa bé ngồi trên xe đạp là một chuyện, còn đẩy một chiếc rơmooc lại là một chuyện hoàn toàn khác. Như vậy, khi các muon chuyển động càng nhanh chúng ta càng khó gia tốc chúng. Với vận tốc bằng 99,999% vận tốc ánh sáng, khối lượng của các muon tăng lên 224 lần, còn ở vận tốc 99,99999999% vận tốc ánh sáng thì khối lượng tăng tới 70.000 lần. Vì khối lượng của muon có thể tăng vô hạn khi vận tốc của nó tiến dần tới vận tốc ánh sáng, nên nó đòi hỏi phải có một năng lượng lớn vô hạn mới có thể đẩy được nó vượt qua bức tường chắn là vận tốc ánh sáng. Tất nhiên, điều này là không thể, nên tuyệt đối không có vật gì có thể chuyển động nhanh hơn vận tốc ánh sáng.

Như chúng ta sẽ thấy ở chương sau, kết luận này đã gieo mầm cho một cuộc xung đột lớn thứ hai mà vật lý học đã phải đối mặt trong suốt một thế kỷ qua và cuối cùng đã dẫn tới sự sụp đổ của một lý thuyết đã từng có uy tín nhất, đó là lý thuyết hấp dẫn của Newton.

[1] Mặc dù Hình 2.4. minh họa đúng sự co của một vật dọc theo phương chuyển động của nó, nhưng lại không minh họa được cái mà chúng ta sẽ thực sự nhìn thấy khi mà vật bằng mọt cách nào đó, có thể phóng với vận tốc ánh sáng (giả thiết rằng thị giác của chúng ta hoặc thiết bị chụp ảnh đủ tinh tường để còn thấy một cái gì đó!). Để nhìn thấy một vật nào đó, mắt – hoặc máy ảnh – của chúng ta phải nhận được ánh sáng phản xạ từ bề mặt của vật đó. Nhưng vì ánh sáng phản xạ tới chúng ta từ những vị trí khác nhau trên vật, nên ánh sáng mà chúng ta nhìn thấy ở một thời điểm nào đó đã đi tới chúng ta theo những con đường có chiều dài khác nhau. Và điều này dẫn tới một ảo giác tương đối tính trong đó vật dường như vừa bị co ngắn lại vừa bị quay lại.

Sự thừa nhận hấp dẫn và chuyển động gia tốc có liên quan mật thiết với nhau chính là ý tưởng hay nhất của Einstein đã nảy ra trong một ngày hạnh phúc của ông tại Văn phòng đăng ký sáng chế phát minh ở Bern.

CHƯƠNG 3

UỐN CONG VÀ LƯỢN SONG

Thông qua thuyết tương đối hẹp, Einstein đã giải quyết được sự xung đột giữa "trực giác già cỗi" về chuyển động và tính không đổi của vận tốc ánh sáng. Nói một cách ngắn gọn, giải pháp này cho rằng trực giác của chúng ta là sai, nó chỉ quen với những chuyển động thường là có vận tốc rất nhỏ so với vận tốc ánh sáng và những chuyển động rất chậm như vậy đã làm khuất lấp mất đặc tính thực sự của không gian và thời gian. Thuyết tương đối hẹp đã vạch ra bản chất của chúng và cho thấy chúng khác một cách căn bản so với những quan niệm trước đây. Nhưng tạo dựng lại hiểu biết của chúng ta về những nền của không gian và thời gian không phải chuyện dễ dàng. Chẳng bao lâu, Einstein đã nhận thấy rằng trong số rất nhiều những hệ quả suy ra từ thuyết tương đối hẹp, có một hệ quả có ý nghĩa đặc biệt sâu sắc, đó là khẳng định rằng không có vật gì có thể chuyển động vượt ánh sáng, mà điều này thì không tương thích với lý thuyết hấp dẫn đầy uy tín đã được Newton đưa ra vào cuối thế kỷ XVII. Và như vậy, trong khi giải quyết xong một cuộc xung đột thì thuyết tương đối hẹp lại làm nảy sinh một cuộc xung đột khác. Sau một chục năm nghiên cứu căng thẳng và đôi khi khổ sở nữa, Einstein đã giải quyết được mâu thuẫn này bằng thuyết tương đối rộng (còn gọi là thuyết tương đối tổng quát – ND). Trong lý thuyết đó, Einstein một lần nữa lại làm một cuộc cách mạng trong nhận thức của chúng ta về không gian và thời gian: ông đã chỉ ra rằng không gian và thời gian bị uốn cong và lượn sóng để truyền đi lực hấp dẫn.

•◎Quan niệm của Newton về hấp dẫn

Isaac Newton sinh năm 1642 ở Lincolnshire, nước Anh. Ông là người đã làm thay đổi bộ mặt của thế giới khoa học bằng cách sử dụng toàn bộ sức mạnh của toán học để phục vụ những nghiên cứu vật lý. Trí tuệ của ông vĩ đại tới mức, chẳng hạn như khi thấy rằng những công cụ toán học cần thiết cho một số nghiên cứu vật lý còn chưa có, ông đã tự phát minh. Phải gần ba thế kỷ trôi qua, thế giới mới lại biết tới một thiên tài

khoa học có tầm cỡ như thế. Trong số rất nhiều đóng góp cơ bản của Newton cho sự tìm hiểu về hoạt động của Vũ trụ, ở đây chúng ta đặc biệt quan tâm tới lý thuyết hấp dẫn của ông.

Lực hấp dẫn hiện diện mọi lúc mọi nơi trong đời sống hằng ngày của chúng ta. Nó giữ cho chúng ta và mọi vật xung quanh chúng ta bám chặt được vào mặt đất; nó giữ cho không khí mà chúng ta hít thở hằng ngày không bay hết ra ngoài không gian vũ trụ; nó cũng giữ cho Mặt Trăng duy trì được quỹ đạo xung quanh Trái Đất, cũng như Trái Đất cũng quanh Mặt Trời. Hấp dẫn cũng là lực điều khiển nhị độ của vũ điệu Vũ trụ với sự tham gia tận tuỵ và không biết mệt mỏi của hàng tỷ những cư dân trong Vũ trụ từ những tiểu hành tinh tới các hành tinh, các ngôi sao và tới các thiên hà. Hơn ba thế kỷ ảnh hưởng của Newton đã khiến chúng ta tin chắc rằng hấp dẫn là lực duy nhất đã tạo ra sự phong phú đa dạng đó của những điều xảy ra trên Trái Đất cũng như ngoài Trái Đất. Tuy nhiên, trước Newton chưa có ai hiểu được rằng sự rơi của quả táo từ trên cây xuống đất và chuyển động quay của Trái Đất xung quanh Mặt Trời lại đều là thể hiện của cùng một nguyên lý vật lý. Với bước đi táo bạo phụng sự cho sự bá quyền của khoa học, Newton đã thống nhất vật lý trên mặt đất với vật lý thiên thể và tuyên bố rằng lực hấp dẫn là bàn tay vô hình chi phối cả hai thế giới đó.

Quan điểm của Newton về hấp dẫn có thể được gọi là "quan điểm bình quân vĩ đại". Ông tuyên bố rằng tất cả mọi vật đều tác dụng lực hút hấp dẫn lên tất cả mọi vật khác. Bất kể thành phần vật lý là như thế nào, mọi vật đều tác dụng cũng như đều chịu tác dụng của lực hấp dẫn. Dựa trên sự nghiên cứu kỹ lưỡng những phân tích của Johannes Kepler về chuyển động của các hành tinh, Newton đã suy ra được cường độ lực hút hấp dẫn giữa hai vật phụ thuộc chỉ vào hai thứ: Lượng chất chứa trong mỗi vật và khoảng cách giữa chúng "Chất" ở đây có nghĩa là vật chất – nó bao gồm tổng số các photon, nơtron và electron – và tổng số này xác định khối lượng của vật. Định luật vạn vật hấp dẫn của Newton khẳng định rằng cường độ lực hút giữa hai vật càng lớn nếu khối lượng của chúng càng lớn và càng nhỏ nếu khối lượng của chúng càng nhỏ; nó cũng còn khẳng định rằng cường độ lực hút hấp dẫn càng lớn nếu khoảng cách giữa hai vật càng nhỏ và càng nhỏ nếu khoảng cách đó càng lớn.

Newton còn đi xa hơn sự mô tả định tính đó và ông đã viết ra công thức

mô tả định lượng cường độ của lực hấp dẫn giữa hai vật. Công thức này có thể phát biểu bằng lời như sau: lực hấp dẫn giữa hai vật tỷ lệ thuận với tích khối lượng của chúng và tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa chúng. Định luật hấp dẫn này có thể dùng để tiên đoán chuyển động của các hành tinh và các sao chổi quay xung quanh Mặt Trời, chuyển động của Mặt Trăng xung quanh Trái Đất hoặc thậm chí của các tên lửa được phóng lên để thám hiểm các hành tinh. Nó cũng được áp dụng cho những tiên đoán đời thường hơn như quỹ đạo của quả bóng được ném lên hay những cú nhảy nhào lộn của các vận động viên nhảy cầu. Sự phù hợp của những tiên đoán đó với chuyển động quan sát được trên thực tế hết sức ngoạn mục. Thành công này đã đem lại cho lý thuyết của Newton một sự ủng hộ mạnh mẽ cho tới tận đầu thế kỷ XX. Tuy nhiên, phát minh ra thuyết tương đối của Einstein đã dựng lên một trở ngại mà lý thuyết của Newton không thể vượt qua.

•◎Sự không tương thích giữa lý thuyết hấp dẫn của Newton và thuyết tương đối hẹp

Một đặc điểm trung tâm của thuyết tương đối hẹp là bức tường chắn tuyệt đối về vận tốc được thiết đặt bởi ánh sáng. Điều quan trọng cần phải thấy là, giới hạn này không chỉ áp dụng cho các đối tượng vật chất mà còn cả cho những tín hiệu cũng như những tác dụng thuộc bất cứ loại nào. Không có bất cứ cách gì có thể truyền tin hoặc những nhiễu động từ nơi này đến nơi khác với vận tốc nhanh hơn ánh sáng. Tất nhiên, thế giới có vô vàn cách để truyền những nhiễu động với vận tốc chậm hơn ánh sáng. Chẳng hạn, tiếng nói của bạn và tất cả những âm thanh khác đều là những dao động được truyền đi với vận tốc 340km/s (tức 1.200km/h) qua không khí, một vận tốc quá nhỏ bé so với vận tốc 300.000km/s của ánh sáng. Sự khác biệt này về vận tốc thể hiện rõ khi bạn quan sát một trận chơi bóng chày từ hàng ghế ở xa chỗ phát bóng. Khi cầu thủ cầm chày vụt bóng, âm thanh phát ra đến tai bạn chậm hơn giây lát sau khi bạn thấy quả bóng đã được đánh. Một điều tương tự cũng xảy ra trong lúc mưa giông. Mặc dù sấm và chớp được tạo ra đồng thời, nhưng bao giờ ta cũng thấy chớp trước khi nghe thấy tiếng sấm. Lại một lần nữa, điều này phản ánh sự khác biệt rất lớn về vận tốc giữa ánh sáng và âm thanh. Thành công của thuyết tương đối hẹp là cho chúng ta biết rằng không thể có tình huống ngược lại, tức là một tín hiệu nào đó đến chúng ta trước cả ánh sáng do nó phát ra. Không có gì chạy nhanh hơn các photon.

Nhưng đây mới là toàn bộ khó khăn. Trong lý thuyết hấp dẫn của Newton, một vật tác dụng một lực hút hấp dẫn lên vật khác với cường độ chỉ được xác định bởi khối lượng của hai vật và độ lớn của khoảng cách giữa chúng. Chứ nó không có liên quan gì tới chuyện hai vật đã có mặt trong sự hiện diện của nhau bao nhiêu lâu. Điều này có nghĩa là nếu như khối lượng hoặc khoảng cách giữa chúng thay đổi, thì theo Newton, các vật sẽ ngay tức thì cảm thấy sự thay đổi trong lực hút hấp dẫn của chúng. Ví dụ, lý thuyết hấp dẫn của Newton tuyên bố rằng nếu Mặt Trời đột nhiên bùng nổ thì Trái Đất ở cách xa 150 triệu kilômét sẽ ngay tức thì rời khỏi quỹ đạo elip vốn có của nó. Mặc dù ngay cả ánh sáng phát ra từ vụ nổ cũng phải mất tới 8 phút mới tới được Trái Đất, nhưng theo lý thuyết của Newton thì thông tin Mặt Trời bùng nổ sẽ được truyền đi tức thời tới Trái Đất thông qua sự thay đổi tức thì của lực hấp dẫn chi phối chuyển động của nó.

Kết luận này mâu thuẫn trực tiếp với thuyết tương đối hẹp, vì thuyết này đảm bảo rằng không có thông tin nào có thể được truyền đi nhanh hơn vận tốc ánh sáng – và sự truyền đi tức thời đã vi phạm quan niệm này một cách tối đa.

Như vậy, vào đầu thế kỷ XX, Einstein đã nhận thấy rằng lý thuyết hấp dẫn cực kỳ thành công của Newton đã xung đột với thuyết tương đối hẹp của ông. Tin tưởng vào sự đúng đắn của thuyết tương đối hẹp và bất chấp cả núi những bằng chứng thực nghiệm khẳng định lý thuyết hấp dẫn của Newton, Einstein đã lao vào tìm kiếm một lý thuyết mới tương thích được với thuyết tương đối hẹp. Cuối cùng, ông đã phát minh ra thuyết tương đối rộng, trong đó đặc tính của không gian và thời gian lại một lần nữa phải trải qua những biến đổi đáng kể.

•◎Ý tưởng hay nhất của Einstein

Ngay cả trước khi phát minh ra thuyết tương đối hẹp, lý thuyết hấp dẫn của Newton đã thiếu một điều hết sức căn bản. Mặc dù nó đã được dùng để đưa ra những tiên đoán hết sức chính xác về chuyển động của các vật đưới tác dụng của lực hấp dẫn, nhưng nó không cho biết lực hấp dẫn là cái gì. Nghĩa là bằng cách nào mà hai vật ở cách xa nhau, thậm chí tới hàng triệu kilômét, nếu không nói là còn lớn hơn nữa, lại có thể tác động đến chuyển động của nhau? Bằng cách nào mà lực hấp dẫn đã thực hiện được sứ mệnh đó? Đây là vấn đề mà chính Newton cũng đã ý

thức được. Mời bạn hãy đọc những dòng do chính ông viết:

Thật không thể chấp nhận được chuyện vật chất vô tri, không có sự trung gian của bất cứ cái gì khác phi vật chất, lại có thể tác động lên vật chất khác mà không có sự tiếp xúc với nhau. Việc lực hấp dẫn là vốn có và căn bản đối với vật chất tới mức một vật có thể tác dụng lên một vật khác ở cách xa trong chân không, không có sự trung gian của một vật nào, mà qua đó tác dụng của chúng và lực có thể truyền đi, từ vật này tới vật khác, đối với tôi là một điều cực kỳ vô lý và tôi tin rằng không có một người nào có khả năng tư duy triết học lại có thể chấp nhận được điều đó. Hấp dẫn cần phải được gây bởi một tác nhân thường xuyên tác động theo một quy luật nào đó, nhưng tác nhân này là vật chất hay phi vật chất thì tôi xin dành cho bạn đọc suy nghĩ.

Như vậy có nghĩa là, Newton đã chấp nhận trước sự tồn tại của hấp dẫn và dẫn ra những phương trình mô tả chính xác những hiệu ứng của nó, chứ ông chưa bao giờ khám phá đến tận cùng sự hoạt động của nó. Ông đã trao cho thế giới một cuốn sách "hướng dẫn sử dụng" lực hấp dẫn mà các nhà vật lý, các nhà thiên văn và các kỹ sư đã khai thác rất thành công để phóng các tên lửa tới Mặt Trăng, sao Hỏa và các hành tinh khác trong hệ Mặt Trời; để tiên đoán nhật thực và nguyệt thực, tiên đoán chuyển động của các sao chổi v.v... Nhưng hoạt động nội tại của nó, những thứ bên trong của cái "hộp đen" hấp dẫn thì ông vẫn bỏ lại với sự bí ẩn hoàn toàn. Khi bạn sử dụng một đầu CD hoặc chiếc máy tính cá nhân, bạn cũng cảm thấy mình rơi vào trạng thái mù tịt tương tự đối với sự hoạt động bên trong của nó. Một khi mà bạn đã biết sử dụng nó, thì bạn cũng như bất cứ ai khác đều chưa cần biết những nhiệm vụ mà bạn đã đặt ra cho nó được thực hiện như thế nào. Nhưng nếu chiếc đầu CD hay chiếc máy tính cá nhân của bạn bị trục trặc, thì việc sửa chữa đòi hỏi phải biết về sự hoạt động bên trong của nó. Tương tự như vậy, Einstein cũng nhận thấy rằng bất chấp những khẳng định bằng thực nghiệm hàng trăm năm của lý thuyết Newton về hấp dẫn, lý thuyết tương đối hẹp của ông đã rút ra kết luận rằng lý thuyết đó bị "trục trặc", tất nhiên theo một cách hết sức tinh vi, và việc sửa chữa nó đòi hỏi phải nắm được bản chất đúng đắn và đầy đủ của hấp dẫn.

Năm 1907, trong khi đang suy tư về những vấn đề này bên bàn làm việc tại Văn phòng đăng ký sáng chế phát minh tại Bern, Thuỵ Sĩ, Einstein đã nảy ra một phát hiện quan trọng và phát hiện này, từng bước một, cuối

cùng đã đưa ông tới một lý thuyết hoàn toàn mới về hấp dẫn. Lý thuyết không chỉ đơn giản là sự bổ khuyết cho lý thuyết hấp dẫn của Newton, mà thực chất nó xây dựng lại mới hoàn toàn tư tưởng về hấp dẫn và điều quan trọng nhất là nó hoàn toàn phù hợp với thuyết tương đối hẹp.

Phát hiện của Einstein có liên quan tới câu hỏi mà có lẽ bạn đã từng băn khoăn ở Chương 2, ở đó chúng ta đã nhấn mạnh rằng chúng ta chỉ quan tâm tới vấn đề: Vũ trụ sẽ được nhìn thế nào dưới con mắt của những người quan sát chuyển động đối với nhau với vận tốc không đổi. Bằng cách so sánh kỹ lưỡng những quan sát của họ, chúng ta đã phát hiện ra nhiều hệ quả lạ lùng liên quan tới bản chất của không gian và thời gian. Nhưng nếu những người quan sát lại chuyển động có gia tốc thì sao? Những quan sát của họ sẽ phức tạp, khó phân tích hơn so với trường hợp những người quan sát chuyển động với vận tốc không đổi. Tuy nhiên, một câu hỏi tự nhiên đặt ra là liệu có cách nào chế ngự được sự phức tạp đó và làm cho chuyển động có gia tốc dung hòa được với quan niệm mới của chúng ta về không gian và thời gian hay không?

Phát hiện sáng giá nhất của Einstein cho chúng ta biết phải làm điều đó như thế nào. Để hiểu phát hiện này, hãy hình dung chúng ta đang ở năm 2050 và bạn là vua của các chuyên gia về chất nổ của FBI. Một hôm bạn nhận được một cú điện thoại hốt hoảng báo rằng có một quả bom rất tinh xảo được gài ở ngay trung tâm Washington D.C. Sau khi lao tới hiện trường và khảo sát quả bom, cơn ác mộng tồi tệ nhất của bạn đã hiện hình: đó là một quả bom hạt nhân với công suất lớn tới mức nếu nó được chôn sâu trong vỏ Trái Đất hay thả xuống đáy đại dương thì sức phá hoại của nó cũng còn rất ghê gớm. Sau khi xem xét kỹ lượng cơ cấu của ngòi nổ, bạn thấy rằng không có hy vọng gì tháo được ngòi này ra và hơn thế nữa bạn còn phát hiện ra trong đó có một cái bẫy nữa. Quả bom được đặt trên một cái cân. Chỉ cần cân lệch khỏi giá trị hiện thời 50% quả bom lập tức sẽ phát nổ. Theo cơ chế hẹn giờ, bạn biết được rằng thời hạn dành cho bạn chỉ còn một tuần lễ nữa. Số phận hàng triệu người đang đặt trên đôi vai bạn, bạn sẽ phải làm gì đây?

Sau khi đã biết chắc rằng không có một nơi an toàn nào ở trên cũng như dưới đất để cho quả bom này phát nổ, bạn nhận thấy dường như chỉ có cách lựa chọn duy nhất, đó là đưa quả bom đi rất xa ra ngoài khoảng không Vũ trụ, nơi mà quả bom nổ sẽ không gây ra tai họa nào. Bạn đã trình bày ý tưởng đó tại một cuộc họp FBI và toàn bộ kế hoạch của bạn

đã bị một trợ tá trẻ tuổi tên là Isaac bác bỏ hoàn toàn: "Có một vấn đề nghiêm trọng trong kế hoạch của ông" – Isaac nói – "Vì quả bom càng đưa ra xa Trái Đất trọng lượng của nó càng giảm vì lực hút của Trái Đất lên nó sẽ giảm. Điều này có nghĩa là số chỉ của chiếc cân cũng sẽ giảm, do đó quả bom sẽ phát nổ trước khi chúng ta kịp đưa nó tới nơi an toàn". Trước khi bạn có đủ thời gian để suy ngẫm kỹ càng về lời phê phán đó, thì một trợ tá trẻ khác tên là Albert lại lên tiếng: "Thực tế, còn có một vấn đề nữa. Vấn đề này cũng quan trọng không kém vấn đề mà Isaac vừa nêu ra, nhưng tinh tế hơn. Tôi xin phép được giải thích". Do muốn có thời gian để suy nghĩ về sự bác bỏ của Isaac, bạn định ngắt lời Albert, nhưng như thường lệ, một khi anh ta đã nói thì không ai bắt anh ta dừng lại được.

"Để phóng quả bom vào khoảng không Vũ trụ, ta cần phải lắp nó lên một tên lửa. Khi tên lửa gia tốc hướng lên trên để vượt ra khỏi bầu khí quyển đi vào không gian, số chỉ của cân sẽ tăng, do đó sẽ lại làm cho quả bom nổ trước khi tới nơi đã định. Như các vị thấy, đế của quả bom đứng yên trên bàn cân sẽ đè mạnh hơn lên cân so với khi tất cả đều đứng yên, giống như cơ thể bạn bị ép chặt vào lưng ghế trên chiếc xe đang tăng tốc. Quả bom cũng sẽ "ép" xuống bàn cân hệt như lưng bạn ép vào lưng ghế ngồi trong xe. Khi cân bị ép như vậy, tất nhiên số chỉ của nó sẽ tăng và điều đó sẽ làm cho quả bom phát nổ nếu sự tăng đó vượt quá 50%.

Bạn cám ơn Albert về sự giải thích của anh ta, nhưng do không tập trung nghe vì mải suy nghĩ về ý kiến của Isaac, bạn buồn bã tuyên bố rằng: chỉ cần một đòn chí mạng là đã đủ đập tan một ý tưởng rồi và sự phản đối rõ ràng là đúng đắn của Isaac đã làm được việc đó. Cảm thấy hơi tuyệt vọng bạn bèn đề nghị mọi người hãy đưa ra những sáng kiến mới. Đúng lúc đó Albert nảy ra một ý tưởng đáng kinh ngạc: "Nghĩ đi nghĩ lại, cuối cùng tôi thấy rằng ý tưởng của ông không hỏng hoàn toàn. Ý kiến của Isaac cho rằng lực hấp dẫn giảm khi quả bom được đưa vào không gian, điều này có nghĩa là số chỉ của cân giảm. Còn ý kiến của tôi lại cho rằng gia tốc hướng lên của tên lửa sẽ làm cho quả bom đè lên cân mạnh hơn, nghĩa là sẽ làm cho số chỉ của nó tăng lên. Như vậy, nếu chúng ta hiệu chỉnh một cách chính xác gia tốc của tên lửa từng thời điểm một khi nó bay lên, thì hai hiệu ứng đó có thể sẽ triệt tiêu nhau! Đặc biệt, trong những giai đoạn bắt đầu nâng lên, khi mà tên lửa còn cảm thấy đầy đủ sức mạnh của lực hấp dẫn, nó vẫn có thể gia tốc, miễn

sao không quá lớn để vẫn còn nằm trong khoảng cho phép 50%. Khi tên lửa ngày càng xa Trái Đất hơn, do đó ngày càng cảm thấy lực hấp dẫn của Trái Đất nhỏ hơn, chúng ta phải tăng tốc mạnh hơn để bù trừ lại. Độ tăng số chỉ của cân do gia tốc hướng lên có thể điều chỉnh đúng bằng độ giảm của nó do lực hút hấp dẫn giảm. Và như vậy, chúng ta có thể giữ cho chỉ số của cân hoàn toàn không thay đổi".

Đề xuất của Albert đã dần dần hiện hình trong đầu óc bạn. "Nói một cách khác," – bạn nói – "gia tốc hướng lên có thể cho ta một thứ thay thế được cho lực hấp dẫn. Và như vậy, chúng ta có thể mô phỏng hấp dẫn thông qua một chuyển động được gia tốc thích hợp".

"Đúng như thế" – Albert đáp.

"Như vậy," – bạn tiếp tục – "chúng ta có thể phóng quả bom vào không gian và bằng cách hiệu chỉnh gia tốc của tên lửa một cách chính xác chúng ta có thể đảm bảo rằng số chỉ của cân không thay đổi, và như vậy tránh được sự phát nổ của quả bom trước khi nó được đưa đến nơi an toàn". Thành thử, bằng cách cho lực hấp dẫn và chuyển động có gia tốc thi đấu giằng co – tất nhiên còn nhờ vào độ chính xác của khoa học tên lửa thế kỷ XXI nữa – bạn có thể thoát khỏi tai họa.

Sự thừa nhận hấp dẫn và chuyển động gia tốc có liên quan mật thiết với nhau chính là ý tưởng hay nhất của Einstein đã nảy ra trong một ngày hạnh phúc của ông tại Văn phòng đăng ký sáng chế phát minh ở Bern. Mặc dù, câu chuyện về quả bom đã làm nổi rõ thực chất của ý tưởng đó, nhưng cũng cần phải trình bày lại nó trong một khuôn khổ gần gũi với Chương 2 hơn. Hãy nhớ lại rằng nếu bạn bị nhốt trong một toa xe bịt kín không có cửa sổ và con tàu chuyển động không có gia tốc, thì bạn không có cách gì xác định được vận tốc của bạn. Khi đó, toa xe nhìn hoàn toàn như khi nó đứng yên và mọi thí nghiệm mà bạn tiến hành đều cho cùng một kết quả bất chấp con tàu chạy nhanh tới mức nào. Cơ bản hơn nữa, nếu không có các vật mốc bên ngoài thì bạn cũng không có cách nào gán được một vận tốc cho chuyển động của bạn. Trái lại, nếu bạn chuyển động có gia tốc, thì ngay cả khi bị giam trong một toa xe bịt kín, bạn cũng vẫn sẽ cảm nhận được có một lực tác dụng lên bạn. Ví dụ, nếu chiếc ghế của bạn ngồi hướng về phía đầu tàu và được vít chặt vào sàn tàu, thì khi con tàu tăng tốc, bạn sẽ cảm thấy lưng ghế tác dụng một lực vào lưng bạn hệt như trường hợp được mô tả bởi Albert. Tương tự, nếu như bạn ở trong thang máy đang gia tốc hướng lên thì bạn sẽ

cảm thấy sàn cabin thang máy tác dụng một lực lên chân bạn. Phát hiện của Einstein nói rằng trong cabin kín mít của mình, bạn sẽ không thể nào phân biệt được những tình huống có gia tốc với những tình huống không có gia tốc nhưng có lực hấp dẫn: khi độ lớn của chúng được hiệu chỉnh một cách hợp lý, thì lực mà bạn cảm thấy từ trường hấp dẫn và từ chuyển động có gia tốc là không thể phân biệt được. Nếu như cabin của bạn đặt đứng yên trên mặt đất, bạn sẽ cảm thấy lực tác dụng quen thuộc của sàn cabin tác dụng lên chân bạn hệt như trong kịch bản gia tốc hướng lên. Đó chính là sự tương đương mà Albert đã khai thác trong giải pháp mà anh ta đưa ra để phóng quả bom của bọn khủng bố lên không gian. Nếu lật cabin của bạn ra phía sau (tức là lưng ghế của bạn bây giờ nằm song song với mặt đất – ND) và vẫn nằm yên trên mặt đất thì bạn sẽ cảm thấy lực do lưng ghế tác dụng lên lưng bạn (để đỡ cho bạn khỏi ngã) hệt như khi cabin của bạn được gia tốc theo phương nằm ngang. Einstein đã gọi sự không thể phân biệt giữa chuyển động có gia tốc và hấp dẫn là nguyên lý tương đương[1]. Nguyên lý này đóng vai trò trung tâm của thuyết tương đối rộng.

Những điều nói trên cho thấy rằng thuyết tương đối rộng đã hoàn tất một công việc đã được khởi đầu bởi thuyết tương đối hẹp. Thông qua nguyên lý tương đối, thuyết tương đối hẹp đã tuyên bố sự dân chủ giữa tất cả các điểm quan sát khác nhau: các định luật vật lý là như nhau đối với tất cả những người quan sát chuyển động thẳng đều đối với nhau. Nhưng thật ra đây vẫn là một nền dân chủ hạn chế, vì nó đã loại trừ rất nhiều quan điểm khác, đó là quan điểm của những người quan sát chuyển động có gia tốc. Phát hiện năm 1907 của Einstein đã cho chúng ta biết cách bao quát tất cả mọi quan điểm trong một khuôn khổ bình đẳng. Vì không có sự khác nhau giữa người quan sát chuyển động có gia tốc khi không có hấp dẫn và người quan sát không có gia tốc nhưng lại trong trường hấp dẫn, nên ta có thể khẳng định rằng tất cả mọi người quan sát, bất kể trạng thái chuyển động của họ, đều có thể tuyên bố rằng họ là đứng yên và "phần còn lại của thế giới chuyển động qua bên cạnh họ" với điều kiện họ đưa vào một trường hấp dẫn thích hợp để mô tả những thứ xung quanh họ. Theo nghĩa đó, thông qua việc đưa trường hấp dẫn vào, thuyết tương đối rộng đã đảm bảo rằng mọi điểm quan sát khả dĩ đều hoàn toàn bình đẳng với nhau. (Như chúng ta sẽ thấy ở sau, điều này có nghĩa là sự phân biệt giữa những người quan sát ở Chương 2 chuyển động có gia tốc đối với nhau – như George đuổi theo Gracie nhờ bật động cơ phản lực đeo ở lưng và già chậm hơn cô ta – chấp nhận

sự mô tả tương đương khi không có gia tốc nhưng có trường hấp dẫn).

Mối liên hệ sâu xa này giữa hấp dẫn và chuyển động có gia tốc là một phát hiện sáng giá, nhưng tại sao Einstein vẫn còn chưa thoả mãn? Nguyên nhân, nói một cách đơn giản, là bởi vì bản chất của hấp dẫn trong đời sống của Vũ trụ, nhưng lại là một lực siêu thoát và khó nắm bắt. Trái lại, chuyển động có gia tốc mặc dù hơi phức tạp hơn chuyển động có vận tốc không đổi, nhưng vẫn còn là cụ thể và có thể sờ mó được. Bằng cách tìm ra mối liên hệ thứ hai đó, Einstein nhận thấy rằng ông có thể dùng sự hiểu biết của mình về chuyển động như một công cụ mạnh để đạt được sự hiểu biết tương tự về hấp dẫn. Tuy nhiên, thực hiện chiến lược đó trên thực tế không phải là một nhiệm vụ dễ dàng, cho dù là bậc thiên tài như Einstein. Nhưng rồi cuối cùng, cách tiếp cận đó đã mang lại cho ông thành quả, đó là thuyết tương đối rộng. Và để đạt được tới đó, Einstein còn phải rèn đúc một mắt thứ hai trong dây xích kết nối hấp dẫn với chuyển động có gia tốc, đó là độ cong của không gian và thời gian mà chúng ta sẽ đề cập tới ở mục sau.

[1] Nói một cách chính xác hơn, Einstein đã nhận thấy rằng nguyên lý tương đương đúng chừng nào mà những quan sát của bạn được giới hạn trong một vùng đủ nhỏ của không gian (tức cái cabin của bạn là đủ nhỏ). Lý do là như sau. Các trường hấp dẫn có thể thay đổi cường độ và về hướng từ nơi này sang nơi khác. Nhưng chúng ta hình dung rằng toàn bộ cabin của bạn được gia tốc như một khối duy nhất và do đó gia tốc của bạn mô phỏng một trường hấp dẫn đều duy nhất. Khi cabin của bạn thu nhỏ dần, sẽ càng có ít chỗ cho trường hấp dẫn thay đổi, nên nguyên lý tương đương càng áp dụng tốt hơn. Về mặt kỹ thuật, sự sai khác giữa trường hấp dẫn "thực" có thể không đều được tạo bởi một tập hợp các vật có khối lượng nào đó được gọi là trường hấp dẫn "thuỷ triều" (vì nó giải thích được tác động hấp dẫn của Mặt Trăng lên thuỷ triều của Trái Đất). Nói tóm lại, lực hấp dẫn thuỷ triều sẽ trở nên ít đáng kể hơn nếu như cabin của bạn thu nhỏ lại, làm cho chuyển động có gia tốc và trường hấp dẫn thực sự trở nên không thể phân biệt được.

Điều này đã dẫn Einstein đưa ra ý tưởng cho rằng sự cong của không gian chính là nguyên nhân dẫn đến sự vi phạm hình học Euclide "thông thường". Hình học phẳng của người Hy Lạp đã từng dạy cho trẻ em từ hàng ngàn năm nay hóa ra lại không dùng được cho người ở trên sàn quay...

•◎Gia tốc và sự cong của không gian và thời gian

Einstein đã dồn hết sức lực, tâm trí, và nhiều lúc tựa như là bị ma ám, để nghiên cứu vấn đề đó. Khoảng 5 năm sau phát hiện sáng giá của mình tại Văn phòng đăng ký sáng chế ở Bern, ông đã viết cho nhà vật lý Arnold Sommerfeld: "Hiện giờ tôi chỉ làm việc về vấn đề hấp dẫn... [Một] điều chắc chắn - đó là chưa bao giờ trong đời tôi lại phải trăn trở khổ sở như vậy... So với bài toán này thì lý thuyết tương đối ban đầu [tức thuyết tương đối hẹp] chỉ là một trò chơi trẻ con".

Vào năm 1912, ông tưởng như đã làm được một cú đột phá then chốt tiếp theo, đó là một hệ quả đơn giản nhưng tinh tế được rút ra khi áp dụng thuyết tương đối hẹp cho mối liên hệ giữa hấp dẫn và chuyển động có gia tốc. Để hiểu được bước này trong suy luận của Einstein, một cách dễ nhất là tập trung xem xét một ví dụ cụ thể về chuyển động có gia tốc, như chính ông cũng đã từng làm như vậy. Cần nhớ lại rằng, một vật chuyển động có gia tốc nếu độ lớn của vận tốc hoặc phương chuyển động của nó thay đổi. Để đơn giản, ta sẽ xét chuyển động có gia tốc trong đó chỉ có hướng của chuyển động thay đổi còn độ lớn của vận tốc thì cố định. Đặc biệt, ta sẽ xét chuyển động tròn mà ai cũng cảm thấy khi đứng yên trên một sàn quay có tên là Tornado thường thấy trong các công viên giải trí. Trong trường hợp bạn chưa quen đứng vững trên một sàn quay như vậy, bạn có thể đứng tựa lưng vào vách kính hình tròn làm bằng thủy tinh hữu cơ quay với tốc độ cao cùng với sàn. Giống như mọi chuyển động có gia tốc khác bạn có thể cảm nhận được chuyển động này: cụ thể, bạn cảm thấy một lực kéo bạn theo phương bán kính ra xa tâm quay đồng thời bạn cũng cảm thấy vách kính ép lên lưng bạn, giữ cho bạn chuyển động tròn. (Mặc dù không có liên quan gì đến những điều thảo luận ở đây, nhưng cũng nói thêm rằng, thực tế chuyển động quay đã "găm" cơ thể bạn vào vách kính với một lực mạnh tới mức, dù cho sàn dưới chân bạn có biến mất bạn cũng không bị trượt xuống phía dưới). Nếu như sàn quay cực kỳ đều và bạn nhắm mắt lại, thì áp lực của sự quay lên lưng bạn có thể khiến cho bạn cảm thấy gần như là bạn đang nằm trên giường. Nói "gần như" là bởi vì bạn vẫn còn cảm thấy lực hấp dẫn bình thường theo phương "thẳng đứng", khiến cho không thể lừa bộ não của bạn hoàn toàn được. Nhưng nếu bạn đứng trong Tornado đặt ở bên ngoài khoảng không vũ trụ chẳng hạn, và nếu như sàn quay với tốc độ thích hợp, thì bạn sẽ cảm thấy đúng là đang nằm trên chiếc giường đứng yên trên mặt đất. Hơn nữa, nếu như

bạn "đứng dậy" và đi lại trên thành trong của vách kính quay, thì chân bạn ép lên nó hệt như khi đi bình thường trên mặt đất. Thực tế, các trạm không gian đều được thiết kế quay theo cách đó để tạo ra cảm giác giả tạo về trọng lực trong không gian vũ trụ.

Bây giờ, khi đã quen với chuyển động có gia tốc của chiếc Tornado quay mô phỏng hấp dẫn (trọng lực), bạn có thể theo dõi sự suy luận của Einstein và xem không gian và thời gian nhìn như thế nào dưới con mắt của người quan sát cùng đứng trên sàn quay. Những suy luận của Einstein áp dụng cho trường hợp mô tả ở trên như sau: Chúng ta, những người quan sát đứng yên, có thể dễ dàng đo được chu vi và bán kính của sàn quay. Ví dụ đo chu vi ta thận trọng đặt thước kế tiếp nhau dọc theo vành đai của sàn; còn đối với bán kính, ta cũng làm theo phương pháp đó bằng cách đặt thước kế tiếp nhau từ tâm quay sàn đến mép ngoài của nó. Cuối cùng, ta thấy rằng tỷ số của hai kết quả đo được bằng hai lần của số pi, tức là xấp xỉ 6,28 đúng như đối với một hình tròn mà ta vẽ trên giấy trong hình học sơ cấp. Nhưng liệu điều đó có đúng đối với người quan sát đứng trên sàn quay không?

Để làm sáng tỏ vấn đề này, ta đề nghị Slim và Jim hiện đang chơi trên sàn quay, thực hiện một số phép đo. Ta ném cho Slim một chiếc thước và nhờ anh ta đo chu vi của sàn quay và một chiếc thước cho Jim để anh ta đo bán kính của nó. Để cho dễ quan sát, ta chọn một chỗ đứng trên cao nhìn xuống như được minh họa trên Hình 3.1.

Hình 3.1. Chiếc thước của Slim bị co lại, vì nó nằm dọc theo hướng chuyển động của sàn quay. Trong khi đó chiếc thước của Jim nằm dọc theo bán kính, tức là vuông góc với hướng chuyển động vì vậy chiều dài của nó không bị co lại.

Chúng ta cũng đã tô điểm cho bức hình chụp nhanh này một mũi tên chỉ hướng chuyển động tức thời của mỗi điểm trên sàn. Khi Slim bắt đầu đo chu vi, từ vị trí trên cao ta thấy ngay rằng anh ta sẽ nhận được một kết quả khác với kết quả của chúng ta. Đó là bởi vì, khi anh ta đặt thước đo chu vi, ta đã thấy rằng chiều dài chiếc thước của anh ta đã bị co ngắn lại. Đây chính là sự co Lorentz mà chúng ta đã thảo luận ở Chương 2, theo đó, chiều dài của một vật bị co ngắn lại dọc theo hướng chuyển động. Mà chiếc thước đã ngắn hơn có nghĩa là số lần đặt thước dọc theo chu vi của anh ta sẽ nhiều hơn. Vì Slim vẫn nghĩ rằng chiếc thước của anh ta dài 1m (do không có chuyển động tương đối giữa Slim

và cái thước, nên anh ta cảm nhận thấy chiếc thước dài 1m như bình thường), điều này có nghĩa là Slim sẽ đo được chu vi của sàn dài hơn kết quả đo của chúng ta. (Nếu bạn thấy vô lý hãy xem chú thích 1, trang 9).

Còn bán kính thì sao? Jim cũng dùng phương pháp tương tự để đo bán kính và từ vị trí quan sát trên cao, chúng ta thấy rằng anh ta sẽ tìm thấy kết quả giống như chúng ta. Sở dĩ như vậy là vì, chiếc thước khi này không đặt dọc theo hướng tức thời của chuyển động (như Slim đo chu vi). Thay vì thế, nó lại đặt vuông góc với hướng chuyển động và do đó chiều dài của nó không bị co lại. Vì vậy, Jim sẽ đo được bán kính của sàn đúng như chúng ta đã đo được.

Nhưng bây giờ, khi mà Slim và Jim tính tỷ số của chu vi và bán kính của sàn quay, họ sẽ nhận được một con số lớn hai hai lần số pi mà chúng ta đã tính được, vì chu vi bây giờ là dài hơn còn bán kính thì vẫn như trước. Thật là một điều lạ lùng. Làm thế quái nào mà một vật hình tròn lại có thể vi phạm một phát minh của người cổ Hy Lạp nói rằng đối với bất cứ một hình tròn nào, tỷ số của chu vi và bán kính của nó đều phải đúng bằng 2pi?

Đây là câu trả lời của Einstein: Phát minh của người cổ Hy Lạp là đúng đối với những vòng tròn được vẽ trên mặt phẳng. Nhưng cũng giống như những chiếc gương cong trong nhà cười ở các công viên giải trí làm méo mó những quan hệ không gian trong ảnh của chúng ta qua những chiếc gương đó, nếu vòng tròn được vẽ trên một mặt cong, thì những quan hệ hình học bình thường của nó cũng sẽ bị méo mó: khi đó, tỷ số giữa chu vi và bán kính của nó, nói chung, sẽ không còn bằng hai lần số pi nữa.

Ví dụ, Hình 3.2 so sánh ba vòng tròn có bán kính như nhau. Tuy nhiên, cần thấy rằng chu vi của chúng lại không như nhau. Hình tròn (b) được vẽ trên mặt lồi của hình cầu, nó có chu vi nhỏ hơn chu vi của vòng tròn (a) vẽ trên mặt phẳng, ngay cả khi chúng có bán kính như nhau. Bản chất cong của mặt cầu khiến cho các đường bán kính hơi chụm vào nhau, do đó làm giảm chu vi của hình tròn. Mặt khác, chu vi của hình tròn (c), cũng được vẽ trên một mặt cong - có dạng hình yên ngựa - lại lớn hơn chu vi vòng tròn vẽ trên mặt phẳng. Bản chất cong của mặt hình yên ngựa khiến cho các đường bán kính hơi loe ra xa nhau, do đó làm cho chu vi của vòng tròn trở nên lớn hơn. Từ những nhận xét trên suy ra rằng tỷ số của chu vi và bán kính của vòng tròn (b) nhỏ hơn 2pi, trong

khi đó tỷ số ấy của vòng trọn (c) lại lớn hơn 2pi. Nhưng độ sai lệch đó đối với 2pi, mà đặc biệt là giá trị lớn hơn trong trường hợp (c) lại chính là điều chúng ta đã tìm thấy đối với trường hợp cái sàn quay Tornado. Điều này đã dẫn Einstein đưa ra ý tưởng cho rằng sự cong của không gian chính là nguyên nhân dẫn đến sự vi phạm hình học Euclide "thông thường". Hình học phẳng của người Hy Lạp đã từng dạy cho trẻ em từ hàng ngàn năm nay hóa ra lại không dùng được cho người ở trên sàn quay. Như phần (c) của Hình 3.2 cho thấy, trong trường hợp này hình học Euclide phải được thay bằng hình học không gian cong - một sự tổng quát hóa của nó [1].

s

Hình 3.2 Vòng tròn được vẽ trên mặt cầu (b) có chu vi nhỏ hơn vòng tròn vẽ trên mặt phẳng (a), trong khi đó vòng tròn vẽ trên mặt hình yên ngựa (c) lại có chu vi lớn hơn ngay cả khi chúng có bán kính như nhau.

Và như vậy, Einstein đã nhận thấy rằng những quan hệ hình học quen thuộc được xây dựng bởi những người Hy Lạp, tức là những quan hệ thuộc về những hình không gian "phẳng" như vòng tròn trên một mặt bàn phẳng chẳng hạn, sẽ không còn đúng nữa đối với người quan sát chuyển động có gia tốc. Tất nhiên, chúng ta mới chỉ xem xét một loại chuyển động có gia tốc đặc biệt, nhưng Einstein đã chứng minh được rằng một kết quả tương tự, tức sự cong của không gian, cũng đúng đối với mọi trường hợp chuyển động có gia tốc.

Thực tế, chuyển động có gia tốc không chỉ tạo ra sự cong của không gian mà còn gây ra sự cong (hay biến dạng) của cả thời gian nữa. (Về mặt lịch sử thì Einstein ban đầu tập trung vào sự cong không gian). Trong một mức độ nào đó, không có gì phải quá ngạc nhiên về chuyện thời gian cũng bị ảnh hưởng, vì ở Chương 2 chúng ta đã thấy rằng thuyết tương đối hẹp đã tạo ra sự khớp nối giữa không gian và thời gian. Trong một bài giảng của mình về thuyết tương đối hẹp vào năm 1908, Minkowski đã nói về sự hòa nhập đó bằng những lời lẽ rất thơ như sau: "Từ nay, riêng không gian không thôi và riêng thời gian không thôi sẽ tàn tạ như những chiếc bóng, chỉ có sự thống nhất của cả hai mới giữ được tính độc lập của chúng". Nói bằng một ngôn ngữ đời thường hơn, nhưng với độ chính xác cũng không kém, thì bằng cách đan kết không gian và thời gian thành một cấu trúc thống nhất là không-thời gian, thuyết tương đối hẹp đã trịnh trọng tuyên bố: "Cái gì đúng với

không gian cũng sẽ đúng với thời gian". Nhưng một câu hỏi lại được đặt ra: "Trong khi chúng ta có thể hình dung không gian cong bởi dạng cong của nó, thì thời gian cong có nghĩa là thế nào?".

Để có một cảm giác về câu trả lời, ta lại đề nghị Slim và Jim hiện vẫn còn ở trên Tornado quay thực hiện thí nghiệm sau. Slim đứng ở đầu mút của một bán kính và áp lưng vào vách kính còn Jim thì bò dọc theo một bán kính nào đó xuất phát từ tâm quay. Cứ vài mét Jim lại ngừng bò và hai anh em lại so đồng hồ với nhau. Họ sẽ thấy gì? Từ vị trí đứng yên trên cao, ta lại có thể tiên đoán được câu trả lời: đồng hồ của họ không chỉ giống nhau. Sở dĩ chúng ta đi tới kết luận đó là bởi vì chúng ta thấy rằng Slim và Jim chuyển động với vận tốc khác nhau. Ta biết rằng, trên sàn quay, nếu bạn ở càng xa tâm quay thì sau một vòng bạn sẽ đi được quãng đường dài hơn, do vậy mà bạn chuyển động nhanh hơn. Nhưng theo thuyết tương đối hẹp, bạn càng chuyển động nhanh thì đồng hồ của bạn càng chạy chậm và do đó chúng ta thấy rằng đồng hồ của Slim chạy chậm hơn đồng hồ của Jim. Hơn nữa, Slim và Jim còn thấy rằng khi Jim tới gần Slim, tốc độ phát tiếng tíc tắc của đồng hồ của Jim sẽ chậm lại và tiến gần tới tốc độ phát của đồng hồ Slim. Điều này phản ánh một thực tế là, khi Jim đi ra xa tâm quay, tốc độ chuyển động tròn của anh ta cũng tăng lên và tiền gần tới tốc độ của Slim.

Từ đó, ta có thể kết luận rằng, đối với những người quan sát trên sàn quay, như Slim và Jim chẳng hạn, thì tốc độ trôi của thời gian phụ thuộc vào vị trí chính xác của họ (trong trường hợp đang xét, đó là khoảng cách tới tâm quay). Đây chính là sự minh họa cho cái mà ta gọi là thời gian cong. Thời gian bị cong hay biến dạng, nếu như tốc độ trôi của nó từ nơi này đến nơi khác là khác nhau. Khi bò dọc theo một bán kính, Jim còn cảm thấy một điều khác nữa, đặc biệt quan trọng đối với sự thảo luận của chúng ta ở đây. Anh ta cảm thấy một lực (ly tâm) kéo mạnh ra phía ngoài và tăng dần, bởi vì khi bò ra càng xa tâm quay, không chỉ vận tốc mà gia tốc của anh ta cũng tăng. Cuối cùng chiếc sàn quay cho phép chúng ta thấy rằng gia tốc càng lớn thì kèm theo sự chậm của đồng hồ càng lớn, tức là gia tốc càng lớn thì thời gian càng cong mạnh.

Những nhận xét này đã đưa Einstein đến bước nhảy cuối cùng. Vì ông đã chứng tỏ được rằng hấp dẫn và chuyển động có gia tốc là thực sự không thể phân biệt được và vì giờ đây ông còn chứng tỏ được rằng chuyển động có gia tốc còn gắn liền với sự cong của không gian và thời

gian nên ông đã đưa ra cách giải thích sau cho cái "hộp đen" hấp dẫn: hấp dẫn chính là sự cong của không gian và thời gian. Dưới đây chúng ta sẽ xét xem điều này có ý nghĩa gì.

[1] Sự phân tích vòng quay của Tornado hay "đĩa quay cứng" theo cách gọi chuyên môn hơn, sẽ dẫn đến hiểu lầm. Thực tế, cho tới nay vẫn chưa có sự nhất trí hoàn toàn về nhiều khía cạnh tinh tế của ví dụ này. Trong phần trình bày ở Chương 3, chúng tôi theo đúng tinh thần phân tích của Einstein và trong chú thích này chúng tôi vẫn theo quan điểm đó và tìm cách làm sáng tỏ thêm một số đặc điểm mà bạn có thể còn mơ hồ. Thứ nhất, bạn có thể cảm thấy khó hiểu là tại sao chu vi của sàn quay lại không bị co Lorentz hệt như cái thước và từ đó chiều dài của chu vi mà Slim đo được cũng đúng như chúng ta đã đo được ban đầu. Tuy nhiên, bạn cần nhớ kỹ rằng trong toàn bộ sự thảo luận của chúng ta, Tornado luôn luôn quay, và chúng ta không khi nào đo được chu vi của nó khi nó đứng yên cả. Và như vậy, theo quan điểm của chúng ta - những người quan sát đứng yên - thì sự khác nhau duy nhất giữa phép đo chu vi sàn quay của chúng ta và của Slim là chiếc thước của Slim bị co lại; sàn Tornado quay vẫn đã quay từ trước khi chúng ta đo và cũng vẫn đang quay khi chúng ta quan sát Slim tiến hành đo. Vì chúng ta thấy chiếc thước của Slim bị co lại, nên chúng ta phát hiện ra rằng anh ta phải đặt chiếc thước dọc theo chu vi sàn quay với số lần lớn hơn chúng ta. Sự co lại của chu vi sàn quay có thể sẽ có liên quan chỉ khi chúng ta so sánh các tính chất của sàn quay khi nó quay và khi nó đứng yên, nhưng chúng ta không cần tới sự so sánh đó. Thứ hai, mặc dù chúng ta không cần phải đo sàn quay khi nó đứng yên, nhưng có thể bạn vẫn còn băn khoăn về chuyện điều gì sẽ xảy ra khi sàn quay chậm dần rồi dừng lại. Bây giờ thì chúng ta lại cần phải tính tới sự thay đổi của chu vi khi sàn quay chậm dần bởi vì mức độ co Lorentz cũng thay đổi. Nhưng điều này làm thế nào có thể phù hợp với thực tế là bán kính của sàn không thay đổi? Đây là một vấn đề rất tế nhị và việc giải quyết nó dựa vào một thực tế là, trong thế giới thực không có những vật rắn tuyệt đối. Các vật có thể kéo giãn hoặc uốn cong và do đó thích nghi với sự kéo giãn hoặc co lại mà chúng ta đã gặp phải; nếu không thế, như Einstein đã chỉ ra, thì chiếc đĩa quay - ban đầu được chế tạo bằng cách để cho kim loại nóng chảy nguội đi ở trong khuôn đúc chuyển động quay - sẽ bay tung toé ra ngoài khi vận tốc quay sau đó bị thay đổi. Chi tiết hơn về lịch sử chiếc đĩa quay có thể xem "Einstein và chiếc đĩa quay rắn" Stachel trong cuốn General Relativity and Graviation (New York: Viking, 1997).

Nói tóm lại, Einstein hoàn toàn đồng ý với phát biểu của Newton nói rằng: "Hấp dẫn cần phải được gây bởi một tác nhân nào đó", nhưng ông đã vượt qua sự thách thức của Newton nói rằng bản chất của tác nhân nói trên xin nhường để "cho độc giả xem xét". Tác nhân của hấp dẫn, theo Einstein, đó là cấu trúc không-thời gian của Vũ trụ.

•◎ABC về thuyết tương đối rộng

Để có một cảm giác đối với quan niệm mới về hấp dẫn, ta hãy xét trường hợp một hành tinh (chẳng hạn như Trái Đất) quay quanh một ngôi sao (chẳng hạn như Mặt Trời). Theo lý thuyết hấp dẫn của Newton, Mặt Trời giữ được Trái Đất trên quỹ đạo của nó là nhờ một "sợi dây" hấp dẫn chưa biết rõ "nhân dạng" tức thời vươn xa trên một khoảng cách cực lớn để chộp giữ lấy Trái Đất (tương tự, sợi dây hấp dẫn của Trái Đất cũng vươn ra để chộp giữ lấy Mặt Trời). Einstein đã xây dựng hẳn một quan niệm mới để giải thích điều gì đã thực sự xảy ra. Sẽ rất hữu ích cho việc bàn về cách tiếp cận của Einstein, nếu chúng ta có được một mô hình trực quan cụ thể của không-thời gian mà chúng ta có thể dễ dàng vận dụng. Để làm điều đó, ta sẽ đơn giản hóa sự vật theo hai cách. Thứ nhất, ta tạm thời không đếm xỉa đến thời gian và chỉ tập trung vào mô hình trực quan của không gian. Sau đó, ta sẽ lại gộp thời gian vào trong thảo luận của chúng ta. Thứ hai, để chúng ta có thể vẽ và vận dụng những hình ảnh trực quan trên những trang sách này, chúng ta thường viện đến sự tương tự hai chiều của không gian ba chiều. Phần lớn những hiểu biết mà ta thu nhận được nhờ mô hình có số chiều thấp hơn đều có thể áp dụng trực tiếp cho những tình huống vật lý ba chiều, do đó mô hình này là một công cụ sư phạm khá hiệu quả.

Trong Hình 3.3, chúng ta đã dùng những cách đơn giản hóa đó và vẽ một mô hình hai chiều của một vùng không gian trong Vũ trụ chúng ta. Cấu trúc giống như mạng lưới này cho ta một phương tiện để chỉ định vị trí hệt như mạng lưới các đường phố cho ta một phương tiện để xác định một địa điểm trong thành phố. Tất nhiên, trong thành phố, để cho địa chỉ, ngoài việc chỉ địa điểm trên mạng lưới đường phố hai chiều, còn phải cho vị trí theo hướng thẳng đứng, như số tầng chẳng hạn. Và cái thông tin cuối cùng này, tức là vị trí theo chiều thứ ba không gian, đã được bỏ đi trong mô hình hai chiều để dễ hình dung hơn.

Hình 3.3 Biểu diễn một không gian phẳng.

Khi không có vật chất và năng lượng, Einstein xem rằng không gian là "phẳng". Trong mô hình hai chiều của chúng ta, điều này có nghĩa là "hình dạng" của không gian giống như bề mặt của một chiếc bàn nhẵn, như được minh họa trên Hình 3.3. Đây là hình ảnh không gian Vũ trụ của chúng ta đã được hình dung từ hàng ngàn năm nay. Nhưng điều gì sẽ xảy ra với không gian, nếu như có một vật nặng như Mặt Trời hiện diện? Trước Einstein, câu trả lời là không có gì; không gian (và thời gian) được xem đơn giản như một sân khấu lạnh lùng nơi diễn ra những sự kiện của Vũ trụ. Tuy nhiên, chuỗi những suy luận của Einstein mà chúng ta đang theo đuổi lại dẫn tới một kết luận khác.

Một vật nặng như Mặt Trời và thực tế là một vật bất kỳ, đều tác dụng một lực hấp dẫn lên các vật khác. Trong ví dụ về quả bom của bọn khủng bố, chúng ta đã biết rằng lực hấp dẫn và chuyển động có gia tốc là không thể phân biệt được. Trong ví dụ về sàn quay Tornado, ta lại biết rằng mô tả toán học của chuyển động có gia tốc đòi hỏi những hệ thức của không gian cong. Những mối liên kết này giữa hấp dẫn, chuyển động có gia tốc và không gian cong đã dẫn Einstein tới một đề xướng quan trọng nói rằng sự hiện diện của một khối lượng, chẳng hạn như Mặt Trời, sẽ làm cho cấu trúc của không gian ở xung quanh nó bị cong đi, như được minh họa trên Hình 3.4. Một tương tự hữu ích và vẫn thường được trích dẫn, đó là một màng cao su trên đó có đặt một quả bowling. Hình ảnh này minh họa cho sự biến dạng của cấu trúc không gian do sự hiện diện của một vật nặng. Theo đề xuất có tính cách mạng đó, không gian không còn là một sân khấu thụ động nơi diễn ra những sự kiện của Vũ trụ nữa, mà bây giờ hình dạng của không gian phản ứng lại các vật ở trong môi trường.

Hình 3.4 Một vật nặng như Mặt Trời làm biến dạng cấu trúc của không gian tựa như tác dụng của quả bowling đặt trên một tấm vải đàn hồi.

Sự cong này, đến lượt mình, lại ảnh hưởng tới các vật khác chuyển động ở lân cận Mặt Trời, vì bây giờ chúng phải chuyển động qua một cấu trúc không gian đã bị biến dạng. Lại dùng hình ảnh tương tự của màng cao su với quả bowling, nếu ta đặt một viên bi nhỏ trên màng đó và cho nó một vận tốc ban đầu, thì quãng đường mà nó sẽ đi phụ thuộc vào điều là quả bowling có được đặt ở tâm không. Nếu không có quả bowling ở đó, màng cao su sẽ phẳng và viên bi sẽ chuyển động theo một đường thẳng. Nếu có mặt quả bowling và do đó làm cong màng cao su, thì viên

bi sẽ chuyển động với quỹ đạo cong. Thực tế, khi bỏ qua ma sát, nếu ta thả cho viên bi chuyển động với vận tốc và hướng thích hợp, nó sẽ tiếp tục chuyển động theo cùng một quỹ đạo cong, tuần hoàn xung quanh quả bowling, nghĩa là nó sẽ "quay quanh" quả bowling. Cách diễn đạt như thế là đã dự liệu trước để áp dụng sự tương tự đó cho hấp dẫn.

Giống như quả bowling, Mặt Trời làm cong cấu trúc của không gian bao quanh nó và chuyển động của Trái Đất, giống như chuyển động của viên bi, được xác định bởi hình dạng của sự cong đó. Trái Đất, giống như viên bi, sẽ chuyển động xung quanh Mặt Trời nếu như vận tốc và sự định hướng của nó có các giá trị thích hợp. Tác dụng này trên Trái Đất chính là cái mà chúng ta thường viện đến như là tác dụng hấp dẫn của Mặt Trời và được minh họa trên Hình 3.5. Nhưng bây giờ sự khác biệt là ở chỗ, không giống như Newton, Einstein đã chỉ ra được cơ chế truyền của hấp dẫn: đó là sự cong của không gian. Theo quan điểm của Einstein, sợi dây hấp dẫn giữ Trái Đất trên quỹ đạo của nó không phải là một tác dụng tức thời bí ẩn nào đó của Mặt Trời nữa, mà đó là sự cong của cấu trúc không gian gây bởi sự hiện diện của Mặt Trời.

Hình 3.5. Trái Đất được giữ trên quỹ đạo của nó xung quanh Mặt Trời là bởi vì nó lăn dọc theo một thung lũng trong cấu trúc không gian bị uốn cong. Nói một cách chính xác hơn, nó đi theo "con đường ít trở ngại nhất" trong vùng bị biến dạng xung quanh Mặt Trời.

Bức tranh này cho phép chúng ta hiểu được hai đặc điểm căn bản của hấp dẫn theo cách mới. Thứ nhất, quả bowling càng nặng thì sự biến dạng do nó gây ra cho màng cao su càng lớn. Tương tự như thế, trong sự mô tả của Einstein về hấp dẫn, một vật có khối lượng càng lớn, thì sự biến dạng mà nó gây ra cho không gian xung quanh cũng càng lớn. Điều này dẫn tới hệ quả là một vật càng nặng, thì tác dụng hấp dẫn của nó lên các vật khác càng lớn, điều này hoàn toàn phù hợp với kinh nghiệm của chúng ta. Thứ hai, cũng như sự biến dạng của màng cao su do quả bowling gây ra sẽ càng nhỏ khi ta càng ở xa nó, mức độ cong của không gian do một vật nặng như Mặt Trời gây ra sẽ giảm khi khoảng cách tới vật đó tăng. Điều này lại một lần nữa hoàn toàn phù hợp với sự hiểu biết của chúng ta về hấp dẫn: lực hấp dẫn càng yếu khi khoảng cách giữa các vật càng lớn.

Một điểm quan trọng cần phải lưu ý là, bản thân viên bi cũng làm biến dạng màng cao su, mặc dù chỉ ít thôi. Tương tự, Trái Đất cũng làm cong

cấu trúc của không gian, mặc dù là nhỏ hơn rất nhiều so với Mặt Trời. Nói theo ngôn ngữ của thuyết tương đối rộng, thì điều này giải thích tại sao, Trái Đất lại giữ được Mặt Trăng trên quỹ đạo và Trái Đất giữ được chúng ta gắn chặt với bề mặt của nó. Hãy tưởng tượng một người nhảy dù: quá trình rơi xuống đất của anh ta thực chất là sự trượt xuống theo chỗ trũng của cấu trúc không gian mà khối lượng của Trái Đất đã tạo ra. Hơn thế nữa, mỗi chúng ta, cũng giống như bất cứ một vật có khối lượng nào khác, đều làm cong cấu trúc không gian ở lân cận cơ thể chúng ta, mặc dù khối lượng tương đối nhỏ bé của cơ thể con người chỉ gây ra được những biến dạng chút xíu thôi.

Nói tóm lại, Einstein hoàn toàn đồng ý với phát biểu của Newton nói rằng: "Hấp dẫn cần phải được gây bởi một tác nhân nào đó", nhưng ông đã vượt qua sự thách thức của Newton nói rằng bản chất của tác nhân nói trên xin nhường để "cho độc giả xem xét". Tác nhân của hấp dẫn, theo Einstein, đó là cấu trúc không-thời gian của Vũ trụ.

Mặc dù rất hữu ích, tuy nhiên, mô hình màng cao su và quả bóng bowling không phải là hoàn hảo và để cho chính xác, chúng tôi xin lưu ý các bạn về một số nhược điểm của nó...

•◎Một vài cảnh báo

Mô hình màng cao su và quả bowling rất có giá trị, bởi vì nó cho chúng ta một hình ảnh trực quan có thể nắm bắt được một cách cụ thể thế nào là sự cong trong cấu trúc không gian của Vũ trụ. Các nhà vật lý thường dùng nó và những sự tương tự khác để dẫn dắt trực giác của mình về hấp dẫn và sự cong của không gian. Mặc dù rất hữu ích, tuy nhiên, mô hình màng cao su và quả bóng bowling không phải là hoàn hảo và để cho chính xác, chúng tôi xin lưu ý các bạn về một số nhược điểm của nó.

Trước hết, khi Mặt Trời làm cho cấu trúc không gian xung quanh nó bị cong đi, thì đó không phải là vì nó bị "kéo xuống phía dưới" bởi trọng lực như trong trường hợp quả bowling (quả này làm cong màng cao su do nó bị hút về phía Trái Đất bởi trọng lực). Trong trường hợp Mặt Trời, không có vật nào để "làm việc kéo" đó cả. Thay vì thế, Einstein đã dạy chúng ta rằng cong của không gian chính là hấp dẫn. Sự hiện diện của một vật có khối lượng làm cho không gian phản ứng lại bằng cách cong đi. Tương tự như vậy, Trái Đất không phải được giữ trên quỹ đạo của nó do lực hút hấp dẫn của một vật nào khác bên ngoài dẫn dắt nó dọc

theo thung lũng của một môi trường không gian bị uốn cong như trong trường hợp viên bi trên màng cao su bị biến dạng. Thay vì thế, Einstein dã chỉ ra rằng các vật chuyển động qua không gian (chính xác hơn là không-thời gian) dọc theo những con đường khả dĩ ngắn nhất hay "những con đường ít bị cản trở nhất". Nếu không gian bị cong, thì những con đường như thế cũng sẽ là cong.

Và như vậy, mặc dù mô hình màng cao su và quả bowling cho ta một sự tương tự trực quan tốt về sự cong của không gian xung quanh gây bở một vật nặng như Mặt Trời và do đó về cả sự ảnh hưởng của nó đến chuyển động của các vật khác, nhưng cơ chế vật lý gây ra những biến dạng đó là hoàn toàn khác. Cơ chế trong các mô hình tương tự vẫn còn phải viện đến trực giác của chúng ta về hấp dẫn trong khuôn khổ truyền thống của Newton, trong khi đó cơ chế do Einstein đề xuất thể hiện sự giải thích lại trường hấp dẫn qua không gian cong.

Nhược điểm thứ hai của mô hình tương tự bắt nguồn từ tính hai chiều của màng cao su. Thực tế, mặc dù là khó hình dung, nhưng Mặt Trời (và tất cả các vật có khối lượng khác) đều thực sự làm cong không gian ba chiều ở xung quanh nó.

Hình 3.6 là một cố gắng minh họa điều đó một cách thô thiển. Toàn bộ không gian bao quanh Mặt Trời - "bên trên, "bên dưới" và "các bên" - đều chịu cùng một loại biến dạng mà Hình 3.6 chỉ cho thấy được phần nào. Một vật, tựa như Trái Đất chuyển động qua vùng không gian ba chiều bị uốn cong do sự hiện diện của Mặt Trời. Bạn có thể thấy hình này có gì đó hơi khó hiểu, chẳng hạn như tại sao Trái Đất lại không đâm sầm vào "bức tường thẳng đứng" của không gian cong được vẽ trên hình? Tuy nhiên, bạn cần luôn ghi nhớ trong đầu rằng, không gian không giống như màng cao su và cũng không phải là một bức tường chắn cứng rắn. Thay vì thế, những lưới kẻ ô bị uốn cong trên hình chỉ là những lát cắt mỏng qua toàn bộ không gian ba chiều bị uốn cong, mà bạn, Trái Đất và mọi thứ đều chìm ngập và cuộc sống hoàn toàn tự do trong đó. Cũng có thể bạn thấy rằng điều đó chỉ làm cho vấn đề trở nên tồi tệ hơn: nếu như chúng ta chìm ngập bên trong cấu trúc của không gian, thì tại sao chúng ta lại không cảm nhận được nó? Thực ra chúng ta đã cảm nhận được. Chúng ta đã cảm thấy lực hấp dẫn, mà không gian lại là môi trường qua đó lực hấp dẫn được truyền đi. Khi mô tả lực hấp dẫn, nhà vật lý xuất sắc John Wheeler thường nói: "Khối lượng áp đặt

sự chi phối của nó lên không gian bằng cách nói cho không gian biết phải cong đi như thế nào, còn không gian áp đặt sự chi phối của nó lên khối lượng bằng cách nói cho khối lượng biết phải chuyển động như thế nào" [1].

Hình 3.6. Một mẫu về sự cong của không gian ba chiều xung quanh Mặt Trời.

Nhược điểm thứ ba của các mô hình tương tự này là trong đó chúng ta đã bỏ đi chiều thời gian. Chúng ta làm điều đó để cho dễ hình dung vấn đề, bởi vì mặc dù theo thuyết tương đối hẹp chúng ta cần phải xem chiều thời gian bình đẳng như ba chiều không gian quen thuộc, nhưng để "nhìn thấy" thời gian không phải là việc dễ dàng. Song, như đã minh họa trong ví dụ về cái sàn quay Tornado, gia tốc - và do đó hấp dẫn - đều làm cong cả không gian và thời gian. (Thực tế, những tính toán từ thuyết tương đối rộng cho thấy rằng, trong trường hợp vật chuyển động tương đối chậm như Trái Đất quay quanh Mặt Trời chẳng hạn, thì sự uốn cong của thời gian thực sự có ảnh hưởng đến chuyển động của Trái Đất đáng kể hơn nhiều so với sự uốn cong của không gian). Chúng ta sẽ còn trở lại thảo luận về sự uốn cong của thời gian trong mục sau.

Do những điều cảnh báo nói trên khá quan trọng, nên chừng nào chúng còn lẩn quất đâu đó trong đầu óc bạn, thì việc viện đến hình ảnh không gian cong được cho bởi quả bowling đặt trên màng cao su như một sự tổng kết trực giác về quan điểm mới của Einstein về hấp dẫn, là hoàn toàn chấp nhận được.

[1] Phỏng vấn John Wheeler, ngày 27 tháng giêng năm 1998.

Khi không có khối lượng hiện diện, không gian là phẳng và một vật nhỏ sẽ an bài ở trạng thái đứng yên hay chuyển động thẳng đều. Nếu một vật có khối lượng lớn xuất hiện, không gian sẽ biến dạng, nhưng không diễn ra một cách tức thời, mà lan truyền từ vị trí của vật nặng ra phía ngoài...

•◎Giải quyết xung đột

Bằng cách làm cho không gian và thời gian trở thành những diễn viên hoạt động thực sự, Einstein đã cho chúng ta một hình ảnh có tính khái niệm về sự vận hành của hấp dẫn. Tuy nhiên, vấn đề trung tâm đặt ra là, liệu sự giải thích lại hấp dẫn đó có giải quyết được xung đột giữa

thuyết tương đối hẹp và lý thuyết hấp dẫn của Newton hay không. Câu trả lời là có. Lại một lần nưa, mô hình màng cao su lại giúp chúng ta lĩnh hội được ý tưởng chính của câu trả lời này. Hãy hình dung ta có viên bi đang chuyển động thẳng dọc theo màng cao su phẳng, khi không có quả bowling. Khi đặt quả bowling lên màng cao su, chuyển động của viên bi sẽ bị ảnh hưởng, nhưng không phải ngay tức thì. Nếu chúng ta quay phim dãy những sự kiện đó, rồi cho quay chậm lại, ta sẽ thấy rằng, nhiễu động do đưa quả bowling vào sẽ được truyền đi như những gợn sóng trên mặt hồ và cuối cùng mới tới vị trí của viên bi. Sau một thời gian ngắn, những dao động quá độ dọc theo màng cao su đó sẽ lắng xuống để lại cho chúng ta một màng cong tĩnh.

Điều nói trên cũng đúng với cấu trúc của không gian. Khi không có khối lượng hiện diện, không gian là phẳng và một vật nhỏ sẽ an bài ở trạng thái đứng yên hay chuyển động thẳng đều. Nếu một vật có khối lượng lớn xuất hiện, không gian sẽ biến dạng - nhưng cũng tương tự như màng cao su - sự biến dạng này không diễn ra một cách tức thời, mà lan truyền từ vị trí của vật nặng ra phía ngoài và cuối cùng an bài dưới một dạng cong nhất định và bằng cách đó truyền lực hấp dẫn tới vật khác. Trong mô hình tương tự, những nhiễu động trên màng cao su lan truyền ra xung quanh với vận tốc được xác định bởi thành phần cụ thể của vật liệu chế tạo màng.

Trong khuôn khổ của thuyết tương đối rộng, Einstein đã tính được tốc độ truyền của các nhiễu động đối với cấu trúc không - thời gian của Vũ trụ và tìm thấy rằng nó đúng bằng vận tốc ánh sáng. Điều này, có nghĩa là trong tình huống giả tưởng được nói ở trên về cái chết của Mặt Trời ảnh hưởng tới Trái Đất do những thay đổi trong lực hút hấp dẫn giữa chúng, thì ảnh hưởng đó không được truyền đi một cách tức thời. Thực tế, khi một vật không thay đổi vị trí của nó hoặc thậm chí bị nổ tung, nó sẽ gây ra một sự thay đổi trong độ cong của cấu trúc không - thời gian. Sự thay đổi này được lan truyền ra xung quanh với vận tốc ánh sáng, hoàn toàn phù hợp với giới hạn về vận tốc của thuyết tương đối hẹp. Như vậy, ở mặt đất, chúng ta sẽ nhận biết được bằng mắt sự bùng nổ của Mặt Trời ở đúng thời điểm mà chúng ta cảm thấy được những hệ quả về mặt hấp dẫn, tức là khoảng 8 phút sau khi bùng nổ. Như vậy, lý thuyết mới của Einstein đã giải quyết được sự xung đột; những nhiễu động hấp dẫn tuy không vượt được qua nhưng cũng theo kịp các photon.

Chúng ta sẽ tiếp tục theo dõi phần tiếp sau những cuộc phiêu lưu của Slim và Jim trên sàn quay Tornado và cố gắng thu được ý nghĩa của những hệ quả được suy ra từ sự cong của thời gian bị cong do hấp dẫn gây ra...

- Lại nói về sự cong của thời gian

Những minh họa như các hình 3.2; 3.4 và 3.6 đã nắm bắt được ý nghĩa căn bản của cái được gọi là không gian cong. Sự cong làm méo đi hình dạng của không gian. Các nhà vật lý đã phát minh ra nhiều hình ảnh tương tự nhằm chuyển tải được ý nghĩa của "thời gian cong", nhưng hiểu được chúng cũng không dễ dàng gì, vì vậy, chúng tôi sẽ không đưa chúng vào đây. Thay vì, chúng ta sẽ tiếp tục theo dõi phần tiếp sau những cuộc phiêu lưu của Slim và Jim trên sàn quay Tornado và cố gắng thu được ý nghĩa của những hệ quả được suy ra từ sự cong của thời gian bị cong do hấp dẫn gây ra.

Để làm điều đó, chúng ta hãy gặp lại Goerge và Gracie không phải trong bóng đêm sâu thẳm của khoảng không Vũ trụ mà trôi nổi đâu đó ở vùng ngoại vi của hệ Mặt Trời. Họ vẫn còn đeo một chiếc đồng hồ số to tướng trên người và ban đầu đã được chỉnh giờ như nhau. Để cho đơn giản, ta sẽ không xét đến ảnh hưởng của các hành tinh mà chỉ xét trường hấp dẫn của Mặt Trời. Hơn nữa, ta cũng tưởng tượng rằng có một con tàu vũ trụ cũng trôi nổi ở gần hai người và thả một sợi cáp dài xuống gần bề mặt của Mặt Trời. Và Goerge đã dùng sợi cáp này để tụt xuống phía Mặt Trời. Khi làm như vậy, định kỳ anh ta lại dừng lại để cùng với Gracie so sánh nhịp độ trôi của thời gian xét theo đồng hồ của họ. Sự cong của thời gian được tiên đoán bởi thuyết tương đối rộng dẫn tới hệ quả là đòng hồ của Goerge chạy ngày càng chậm so với đồng hồ của Gracie vì trường hấp dẫn tác dụng lên anh ta ngày càng mạnh hơn. Điều này có nghĩa là, càng tiến gần tới Mặt Trời thì đồng hồ của anh ta chạy càng chậm. Và nói rằng hấp dẫn làm cong thời gian cũng như không gian là hiểu theo nghĩa đó.

Bạn cũng nên lưu ý rằng, không giống như trường hợp nêu ở Chương 2, trong đó Goerge và Gracie ở trong khoảng không vũ trụ và chuyển động thẳng đều đối với nhau, trong trường hợp ta đang xét, không có sự đối xứng giữa họ. Khác với Gracie, Goerge cảm thấy lực hấp dẫn ngày càng mạnh, nên anh ta ngày càng phải giữ chặt dây cáp hơn để

không bị kéo tụt xuống dưới. Cả hai người đều nhất trí rằng đồng hồ của Goerge chạy chậm hơn. Hoàn toàn không có "sự tương đương của hai quan điểm" để có thể trao đổi vai trò của họ và đảo ngược lại kết luận đó. Thực tế, đây chính là điều mà chúng ta đã tìm thấy trong Chương 2, khi Goerge cảm nhận thấy gia tốc bằng cách bật động cơ phản lực đeo ở sau lưng để đuổi theo Gracie. Gia tốc mà Goerge cảm nhận được làm cho đồng hồ của anh ta chắc chắn chậm so với đồng hồ của Gracie. Do bây giờ chúng ta đã biết cảm nhận chuyển động có gia tốc cũng hệt như cảm nhận lực hấp dẫn, vì vậy mà tình huống Goerge đang bám vào sợi cáp mà ta đang xét có liên quan cùng một nguyên lý và lại một lần nữa, ta thấy đồng hồ của Goerge và mọi thứ trong anh ta đều diễn ra theo nhịp độ chậm hơn so với Gracie.

Trong trường hợp hấp dẫn, như ở bề mặt của Mặt Trời, sự chạy chậm của đồng hồ của Goerge là khá nhỏ. Nếu như Gracie ở cách Mặt Trời khoảng vài kilômét, nhịp độ phát ra tiếng tíc tắc của đồng hồ anh ta chỉ bằng 99,9998% đồng hồ của Gracie. Đúng là có chậm hơn, nhưng không nhiều [1]. Tuy nhiên, nếu Goerge theo dây cáp tụt xuống tới mức lơ lửng ngay ở sát bề mặt của một sao nơtron, một loại sao có khối lượng gần bằng Mặt Trời nhưng bị nén tới mức có khối lượng riêng lớn gấp cỡ một triệu tỷ lần của Mặt Trời, nên lực hấp dẫn mạnh hơn của nó làm cho đồng hồ của Goerge có nhịp độ phát tiếng tíc tắc chỉ còn bằng 78% đồng hồ của Gracie. Những trường hấp dẫn mạnh hơn, như trường ở bên ngoài các lỗ đen (như sẽ thảo luận dưới đây) sẽ làm cho sự trôi của thời gian còn chậm lại hơn nữa, tức là trường hấp dẫn càng mạnh càng làm cho thời gian bị cong nhiều hơn.

[1] Ngay cả như thế đi nữa, các đồng hồ nguyên tử hiện có cũng đủ chính xác để phát hiện được sự cong nhỏ như thế hoặc còn nhỏ hơn nữa của thời gian. Ví dụ, năm 1976 Robetr Vessot và martin Levine thuộc Đài Vật lý Thiên văn Smithson của Đại học Harvard cùng với một số cộng tác viên thuộc Cơ quan Nghiên cứu Vũ trụ quốc gia (NASA)đã phóng một tên lửa Scout D từ đảo Wallops, mang theo một đồng hồ nguyên tử với độ chính xác khoảng một phần ngàn tỷ giây trong một giờ. Họ hy vọng sẽ chứng tỏ được rằng khi tên lửa đạt được độ cao (do đó giảm tác dụng lực hút hấp dẫn của Trái Đất), thì đồng hồ nguyên tử giống hệt như thế gắn với mặt đất (tức vẫn còn chịu lực hút hấp dẫn của Trái Đất) sẽ chạy chậm hơn. Nhờ một dòng tín hiệu vi ba hai chiều, các nhà nghiên cứu đã so sánh được tốc độ của hai đồng hồ nguyên tử đó,

và thực tế, ở độ cao cực đại của tên lửa (khoảng 10 ngàn kilômét) đồng hồ nguyên tử của nó chạy nhanh hơn khoảng 4 phần tỷ giây so với đồng hồ nguyên tử trên mặt đất, phù hợp với những tiên đoán của lý thuyết với độ chính xác nhỏ hơn một phần vạn.

Động cơ để đặt vấn đề xem xét lại một lý thuyết đã rất thành công về mặt thực nghiệm như thế (thuyết tương đối rộng), như chúng tôi đã từng nhấn mạnh, đó là tính chất truyền tức thời của lực hấp dẫn mâu thuẫn với thuyết tương đối hẹp...

•◎Kiểm chứng thực nghiệm thuyết tương đối rộng

Phần lớn những ai nghiên cứu thuyết tương đối rộng đều bị hấp dẫn bởi vẻ đẹp thanh nhã của nó. Bằng cách thay thế quan niệm lạnh lùng và mang tính cơ học của Newton về không gian, thời gian và hấp dẫn bằng sự mô tả động và mang tính hình học, Einstein đã đan bện hấp dẫn vào cấu trúc cơ bản của Vũ trụ. Thay vì bị áp đặt như một cấu trúc được thêm vào, hấp dẫn đã trở thành một bộ phận hữu cơ của Vũ trụ ở mức cơ bản nhất của nó. Việc thổi sự sống vào không gian và thời gian bằng cách cho phép chúng uốn cong và lượn sóng đã tạo ra cái mà chúng ta thường gọi là hấp dẫn.

Tạm gác khía cạnh mỹ học sang một bên, sự kiểm chứng tối hậu của một lý thuyết vật lý là khả năng giải thích và tiên đoán chính xác những hiện tượng vật lý của lý thuyết đó. Từ khi khởi đầu vào cuối những năm 1600 cho tới tận đầu thế kỷ XX, lý thuyết của Newton về hấp dẫn đã vượt qua sự kiểm nghiệm này một cách vẻ vang. Dù là áp dụng cho quả bóng được ném lên, cho các vật rơi xuống từ tháp nghiêng, cho các sao chổi quay quanh Mặt Trời hay cho các hành tinh quay trên quỹ đạo xung quanh Mặt Trời, lý thuyết của Newton về hấp dẫn đều cho những giải thích cực kỳ chính xác đối với mọi quan sát cũng như những tiên đoán đã được kiểm chứng rất nhiều lần trong vô vàn tình huống khác nhau. Động cơ để đặt vấn đề xem xét lại một lý thuyết đã rất thành công về mặt thực nghiệm như thế, như chúng tôi đã từng nhấn mạnh, đó là tính chất truyền tức thời của lực hấp dẫn mâu thuẫn với thuyết tương đối hẹp.

Những hiệu ứng của thuyết tương đối hẹp, mặc dù rất quan trọng đối với sự hiểu biết cơ bản về không gian, thời gian và chuyển động, nhưng lại cực kỳ nhỏ trong thế giới của những vận tốc chậm như thế giới mà

chúng ta đang sống. Cũng tương tự như vậy, những sai lệch giữa thuyết tương đối rộng của Einstein – lý thuyết tương thích được với thuyết tương đối hẹp – và lý thuyết của Newton về hấp dẫn cũng là cực kỳ nhỏ trong hầu hết các tình huống thông thường. Điều này vừa hay cũng vừa không hay. Hay là bởi vì bất kỳ một lý thuyết nào muốn thay thế cho lý thuyết của Newton về hấp dẫn đều phải phù hợp tốt nhất với nó trong những lĩnh vực mà lý thuyết Newton đã được kiểm chứng bằng thực nhiệm. Còn không hay là bởi vì nó sẽ làm cho ta khó phán xử hai lý thuyết bằng thực nghiệm. Vì vậy, để phân biệt giữa hai lý thuyết của Newton và Einstein đòi hỏi phải có những phép đo cực kỳ chính xác áp dụng cho những thí nghiệm rất nhạy cảm đối với những khác biệt của hai lý thuyết. Nếu bạn ném một quả bóng, thì lý thuyết về hấp dẫn của Newton và của Einstein đều có thể được sử dụng để tiên đoán nơi mà nó sẽ rơi xuống, và đáp số sẽ là khác nhau, nhưng sự khác nhau đó sẽ là nhỏ tới mức vượt ra ngoài khả năng phát hiện được bằng thực nghiệm. Nghĩa là cần phải có một thực nghiệm thông minh hơn và chính Einstein đã đề xuất một thực nghiệm như vậy [1].

Chúng ta chỉ nhìn thấy những ngôi sao vào ban đêm, nhưng tất nhiên là chúng vẫn hiện diện ở đó cả ban ngày. Sở dĩ chúng ta thường không nhìn thấy chúng là bởi vì ánh sáng nhỏ xíu và xa xôi của chúng đã bị lấn át bởi ánh sáng của Mặt Trời. Tuy nhiên, trong nhật thực, Mặt Trăng tạm thời che khuất ánh sáng của Mặt Trời và những ngôi sao xa trở nên nhìn thấy được. Tuy nhiên, sự hiện diện của Mặt Trời vẫn còn có hiệu ứng: ánh sáng từ một số ngôi sao xa muốn tới Trái Đất phải đi qua gần Mặt Trời. Thuyết tương đối rộng của Einstein tiên đoán rằng Mặt Trời sẽ làm cho không gian xung quanh nó bị uốn cong và sự biến dạng đó của không gian sẽ có ảnh hưởng đến đường đi của ánh sáng sao. Sau hết, những photon có xuất xứ từ xa đi dọc theo cấu trúc của Vũ trụ và nếu cấu trúc này bị cong đi thì chuyển động của các photon cũng sẽ bị ảnh hưởng như đối với một vật thể vật chất bất kỳ nào. Sự uốn cong đường đi của tia sáng sẽ là lớn nhất đối với các tín hiệu sáng đi sát mép Mặt Trời trên đường đi của nó tới Trái Đất. Và nhật thực sẽ làm cho ta có thể nhìn thấy ánh sáng sao đi sát mép Mặt Trời mà không bị lấn át hoàn toàn bởi ánh sáng của chính Mặt Trời.

Góc lệch do đường đi của tia sáng bị uốn cong có thể đo được một cách khá đơn giản. Do tia sáng bị uốn cong nên vị trí biểu kiến của ngôi sao sẽ bị dịch đi. Độ dịch này có thể đo được chính xác bằng cách so sánh vị

trí biểu kiến đó với vị trí thực của ngôi sao mà chúng ta đã biết từ những quan sát nó vào ban đêm (khi không có ảnh hưởng của độ cong do Mặt Trời gây ra) được thực hiện khi Trái Đất ở một vị trí thích hợp khoảng 6 tháng trước hoặc sau đó. Vào tháng 11 năm 1915, Einstein đã dùng những hiểu biết mới về hấp dẫn để tính góc mà tia sáng đi qua sát mép Mặt Trời bị uốn cong và kết qủa tìm được là 0,00049 độ. Góc nhỏ xíu này đúng bằng góc nhìn một đồng xu đặt thẳng đứng ở cách xa 3km. Tuy nhiên, việc phát hiện được một góc nhỏ như thế hoàn toàn nằm trong khả năng của công nghệ vào thời đó. Dưới sự thúc ép của Sir Frank Dyson, giám đốc của Đài thiên văn Geenwwich, Sir Arthur Eddington một nhà thiên văn học nổi tiếng đồng thời là thư ký của Hội Thiên văn Hoàng gia nước Anh, đã tổ chức một đoàn thám hiểm tới đảo Principe ở Tây Phi để kiểm chứng tiên đoán của Einstein trong kỳ nhật thực vào ngày 29 tháng 5 năm 1919.

Ngày 6 tháng 11 năm 1919, sau 5 tháng phân tích các bức ảnh chụp được trong thời gian nhật thực ở Principe (và những bức ảnh khác về kỳ nhật thực đó được một nhóm các nhà khoa học người Anh khác do Charles Davidson và Andrew Crommelin đứng đầu chụp tại Sobral, Braxin), tại cuộc họp liên tịch của Hội Hoàng gia và Hội Thiên văn Hoàng gia, người ta thông báo rằng tiên đoán của Einstein dựa trên thuyết tương đối rộng đã được khẳng định. Ít lâu sau, tin đồn về thành công này – tức cũng là thành công của sự lật đổ những quan niệm cũ về không gian và thời gian - đã vượt ra ngoài phạm vi của cộng đồng các nhà vật lý và làm cho Einstein trở thành nhân vật nổ tiếng toàn thế giới. Ngày 7 tháng 11 năm 1919, trên trang nhất tờ Thời báo Luân Đôn xuất hiện hàng tít lớn: “một cuộc cách mạng trong khoa học – lý thuyết mới về Vũ trụ – những tư tưởng của Newton bị hạ bệ”. Đây đúng là thời điểm vinh quang nhất của Einstein.

Trong những năm tiếp sau thí nghiệm này, sự khẳng định của Eddington về tính đúng đắn của thuyết tương đối rộng đã bị đem ra mổ xẻ phê phán và được xem xét lại một cách kỹ lưỡng. Rất nhiều những khía cạnh khó khăn và tinh tế của phép đo đã làm cho nó khó lặp lại được và do đó làm dấy lên những nghi vấn về tính trung thực của thí nghiệm gốc. Tuy nhiên, vào cuối những năm 1940, rất nhiều thí nghiệm dùng những công nghệ tiên tiến đã kiểm chứng lại nhiều phương diện của thuyết tương đối rộng với độ chính xác cao. Những tiên đoán của lý thuyết này đều đã được nhất trí khẳng định. Không còn nghi ngờ gì

nữa, mô tả của Einstein về hấp dẫn không chỉ tương thích được với thuyết tương đối hẹp mà còn cho những tiên đoán phù hợp với những kết quả thực nghiệm hơn những tiên đoán của lý thuyết hấp dẫn của Newton.

[1] Vào giữa những năm 1880, nhà khoa học người Pháp tên là Urbain Hean Joseph Le Verrier đã phát hiện ra rằng hành tinh Thuỷ hơi lệch ra khỏi quỹ đạo quay quanh Mặt Trời – quỹ đạo đã được tiên đoán dựa trên các định luật của Newton về lực hấp dẫn. Trong suốt hơn một nửa thế kỷ, những cố gắng giải thích hiện tượng tuế sai của điểm cận nhật (gần Mặt Trời nhất) (nói theo ngôn ngữ bình dân thì đây là hiện tượng: ở cuối mỗi một vòng quay quanh Mặt Trời, sao Thuỷ lại không trở về đúng điểm mà lý thuyết dự đoán) đã đưa ra đủ thứ nguyên nhân, như ảnh hưởng hấp dẫn của một hành tinh, hoặc một mặt trăng còn chưa phát hiện được, tác dụng của bụi giữa các hành tinh, hình dạng không hoàn toàn là cầu của Mặt Trời, nhưng không có giải thích nào được chấp nhận hoàn toàn. Năm 1915, Einstein đã tính toán lại hiện tượng này bằng cách dùng các phương trình mới trong thuyết tương đối rộng của mình và đã tìm được đáp số mà theo như chính ông thú nhận, đã khiến tim ông phải đập loạn xạ vì vui sướng. Kết quả tính được từ thuyết tương đối rộng phù hợp một cách chính xác với những quan sát thiên văn. Thành công này chắc chắn là một nguyên nhân quan trọng để Einstein có đủ niềm tin vào lý thuyết của mình, nhưng phần lớn mọi người lại chờ sự khẳng định một tiên đoán chứ không phải sự giải thích một hiện tượng bất thường đã được biết tới từ trước. Chi tiết hơn có thể xem trong cuốn sách của Abraham Pais nhan đề Subtle Is the Lord (New York: Oxford University, 1982).

Trong khi những hiệu ứng của thuyết tương đối hẹp thể hiện rõ rệt nhất khi các vật chuyển động nhanh, thì thuyết tương đối rộng lại tỏ rõ uy quyền của nó khi các vật là rất nặng và sự cong của không gian và thời gian là đáng kể một cách tương ứng. Xin nêu ra hai ví dụ.

•◎Các lỗ đen, Big Bang và sự giãn nở của không gian

Trong khi những hiệu ứng của thuyết tương đối hẹp thể hiện rõ rệt nhất khi các vật chuyển động nhanh, thì thuyết tương đối rộng lại tỏ rõ uy quyền của nó khi các vật là rất nặng và sự cong của không gian và thời gian là đáng kể một cách tương ứng. Xin nêu ra hai ví dụ.

Ví dụ thứ nhất là phát minh được thực hiện bởi nhà thiên văn học người Đức tên là Karl Schwarzschild trong khi ông nghiên cứu những công trình của Einstein vào những lúc rảnh rỗi giữa hai đợt tính toán những phần tử pháo binh trên mặt trận Nga hồi Thế chiến thứ nhất, năm 1916. Điều đáng nói là, chỉ mấy tháng sau khi Einstein hoàn tất thuyết tương đối rộng của mình, Schwarzchild đã có thể dùng nó để nhận được sự hiểu biết đầy đủ và chính xác hơn về sự cong của không gian và thời gian ở lân cận một ngôi sao hình cầu lý tưởng. Từ mặt trận Nga, Schwarzchild đã gửi những kết quả của mình về cho Einstein và ông đã thay mặt Schwarzchild trình bày những kết quả đó trước Viện Hàn lâm Phổ.

Ngoài việc khẳng định và chính xác hóa thêm về mặt toán học sự cong của không - thời gian đã được minh họa một cách khái lược trên Hình 3.5, công trình của Schwarzchild - ngày nay thường được gọi là "nghiệm Schwarzchild" - còn phát lộ được một hệ quả lạ lùng của thuyết tương đối rộng. Ông đã chứng minh được rằng nếu khối lượng của một ngôi sao được tập trung trong một vùng hình cầu đủ nhỏ, sao cho tỷ số của khối lượng và bán kính của nó vượt quá một giá trị tới hạn cụ thể nào đó, thì sự cong của không - thời gian do nó gây ra sẽ mạnh tới mức bất cứ vật nào, kể cả ánh sáng, khi tới gần ngôi sao đó, sẽ không thể thoát ra khỏi vòng xiết hấp dẫn của nó. Vì ngay cả ánh sáng cũng không thoát ra khỏi những "ngôi sao bị nén chặt" như vậy, nên ban đầu chúng được gọi là sao tối hay sao băng giá. Nhiều năm sau, John Wheeler đã đặt cho chúng cái tên quyến rũ hơn là lỗ đen: đen vì chúng không phát ra ánh sáng, còn lỗ là bởi vì bất cứ vật gì tới quá gần nó đều bị rơi vào trong đó và không bao giờ đi ra được nữa. Quả là một cái tên rất đạt.

Nghiệm Schwarzchild được minh họa trên Hình 3.7. Mặc dù các lỗ đen nổi tiếng là háu ăn, nhưng các vật đi qua cạnh nó ở một khoảng cách "an toàn" cũng sẽ chỉ bị lệch theo cách hệt như khi chúng đi cạnh một ngôi sao bình thường rồi lại tiếp tục hành trình vui vẻ của mình. Nhưng những vật, bất kể có thành phần như thế nào mà tới quá gần - gần hơn cái mà người ta gọi là "chân trời sự kiện" của lỗ đen - thì sẽ bị toi ngay: chúng chắc chắn sẽ bị kéo vào tâm lỗ đen và chịu một sức hấp dẫn tăng dần, rồi cuối cùng sẽ bị phá hủy hoàn toàn. Ví dụ, bạn bị rơi qua chân trời sự kiện, với hai chân vào trước. Khi càng tới gần tâm của lỗ đen sẽ tăng lên ghê gớm tới mức lực kéo chân bạn sẽ mạnh hơn nhiều so với lực kéo ở đầu bạn (vì chân rơi vào trước nên chân bạn luôn ở gần tâm lỗ

đen hơn đầu bạn), và thực tế mạnh tới mức bạn sẽ bị kéo dài ra và nhanh chóng bị xé tan thành nhiều mảnh.

Hình 3.7. Lỗ đen làm cong cấu trúc không - thời xung quanh mạnh tới mức bất kỳ vật nào rơi vào bên trong "chân trời sự kiện" của nó - được minh họa bằng vòng tròn đen trên hình - đều không thoát khỏi móng vuốt hấp dẫn của nó. Chưa ai biết chính xác điều gì sẽ xảy ra ở điểm bên trong sâu nhất của lỗ đen.

Nếu, ngược lại, bạn thận trọng hơn khi lang thang gần lỗ đen và luôn luôn canh chừng để không vượt qua giới hạn của chân trời sự kiện, thì bạn có thể dùng lỗ đen cho những mục đích hết sức thú vị và đầy bất ngờ. Chẳng hạn, hãy tưởng tượng bạn cần phải khám phá một lỗ đen có khối lượng lớn gấp 1.000 lần Mặt Trời và bạn phải bám theo một dây cáp để tụt xuống gần bề mặt của nó như Goerge đã làm ở trên đối với Mặt Trời, sao cho bạn ở bên trên chân trời sự kiện của lỗ đen chừng vài xentimét. Như chúng ta đã thảo luận ở trên, các trường hấp dẫn đều làm cong thời gian và điều này có nghĩa là sự trôi của bạn qua thời gian sẽ bị chậm lại. Thực tế, vì các lỗ đen có trường hấp dẫn mạnh tới mức sự trôi của bạn theo thời gian thực sự là rất rất chậm. Đồng hồ của bạn khi đó sẽ phát ra tiếng tíc tắc khoảng 10.000 lần chậm hơn đồng hồ của bạn bè ở trên Trái Đất. Nếu bạn cứ lơ lửng như vậy ở bên trên chân trời sự kiện của lỗ đen chừng một năm, rồi leo ngược trở lại theo dây cáp quay về con tàu không gian đang chờ bạn để trở về nghỉ ở quê nhà ít ngày, thì khi tới Trái Đất, bạn sẽ thấy hơn 10.000 năm đã trôi qua kể từ khi bạn cất bước ra đi. Vậy là bạn có thể sử dụng các lỗ đen như một loại máy thời gian, cho phép bạn chu du tới tương lai xa xôi của Trái Đất.

...Khi chúng ta lần ngược lại sự tiến hóa đến thời điểm bắt đầu, sự nén lại cùng nhau của toàn bộ vật chất xảy ra là do toàn bộ không gian cũng bị nén lại. Kích thước quả táo, kích thước hạt đậu và kích thước hạt cát khi lùi dần trở về thời điểm ban đầu là toàn bộ Vũ trụ, chứ không phải là một vật gì đó trong Vũ trụ...

•◎Điểm trung tâm của lỗ đen

Để có một ý niệm về những thang tột bậc có liên quan, lưu ý rằng một ngôi sao có khối lượng như Mặt Trời sẽ trở thành lỗ đen nếu bán kính của nó không có giá trị như bán kính Mặt Trời bằng 700.000 km mà rút lại chỉ còn khoảng 3km. Hãy tưởng tượng: toàn bộ Mặt Trời được ép lại

như thế có thể đặt vừa khéo trong vùng Thượng Manhattan. Một thìa "đất" Mặt Trời khi đó nặng ngang cả ngọn núi Everest. Còn để biến Trái Đất thành một lỗ đen thì phải nén nó lại thành một quả cầu bán kính chưa đầy 1 centimét. Một thời gian khá dài, các nhà vật lý hoài nghi, không biết những cấu hình có tính cực đoan như vậy của vật chất liệu có thực sự tồn tại hay không và nhiều người đã nghỉ rằng lỗ đen chẳng qua chỉ phản ánh trí tưởng tượng đã quá mệt mỏi của các nhà lý thuyết.

Tuy nhiên, trong suốt chục năm trở lại đây, những bằng chứng thực nghiệm ngày càng có sức thuyết phục hơn về sự tồn tại của lỗ đen đã được tích tụ dần. Tất nhiên, vì chúng là đen nên không thể quan sát chúng bằng cách quét các kính thiên văn ngang qua bầu trời được. Thay vì thế, các nhà thiên văn tìm kiếm các lỗ đen bằng cách phát hiện những hành vi dị thường của các ngôi sao phát sáng bình thường hơn có thể ở ngay bên ngoài chân trời sự kiện của một lỗ đen nào đó. Ví dụ, khi bụi và khí ở những lớp ngoài của ngôi sao bình thường sức bị hút về phía chân trời sự kiện của lỗ đen, chúng sẽ được gia tốc tới gần vận tốc ánh sáng. Với vận tốc lớn như thế, lực ma sát trong dòng vật chất cuộn xoáy đó sẽ phát sinh một lượng nhiệt rất lớn, làm cho hỗn hợp khí và bụi đó "nóng sáng" phát ra ánh sáng thấy được thông thường và các tia X. Vì bức xạ này được tạo ra ở ngay bên ngoài chân trời sự kiện của lỗ đen, nên có thể thoát ra ngoài và truyền qua không gian đến các đài quan sát trên Trái Đất và được nghiên cứu trực tiếp tại đó. Thuyết tương đối rộng cũng đã đưa những tiên đoán chi tiết về tính chất của bức xạ tia X đó và sự quan sát những tính chất này sẽ cho ta những bằng chứng mạnh mẽ, mặc dù là gián tiếp, về sự tồn tại của các lỗ đen. Ví dụ, ngày càng có nhiều bằng chứng chỉ ra rằng có một lỗ đen rất nặng, có khối lượng lớn gấp 2,5 triệu lần khối lượng Mặt Trời, nằm ngay ở tâm dải Ngân Hà của chúng ta. Tuy nhiên, lỗ đen khổng lồ này còn chưa là gì so với các lỗ đen mà các nhà thiên văn tin rằng chúng nằm ở lõi các quasar sáng khác thường ở rải rác trong khắp Vũ trụ: đó là những lỗ đen nặng gấp hàng tỷ lần Mặt Trời.

Chỉ ít tháng sau khi tìm ra lời giải của mình Schwarzchild đã qua đời do một căn bệnh về da mà ông mắc phải tại mặt trận Nga. Năm đó ông mới 42 tuổi. Cuộc gặp gỡ ngắn ngủi nhưng đầy bi kịch của ông với lý thuyết hấp dẫn của Einstein đã làm phát lộ một trong số những khía cạnh bí ẩn và lạ lùng nhất của thế giới tự nhiên.

Ví dụ thứ hai cho thấy sức mạnh của thuyết tương đối rộng lại với nhau, nhiệt độ tăng lên khủng khiếp, những ngôi sao sẽ tan rã và tạo thành một thứ plasma nóng gồm các hạt sơ cấp của vật chất. Khi cấu trúc tiếp tục co lại, mật độ cũng tăng lên một cách khủng khiếp, hoàn toàn giống như mật độ của plasma nguyên thủy. Khi chúng ta hình dung lần ngược trở lại theo thời gian từ tuổi hiện nay của Vũ trụ quan sát được (khoảng 15 tỷ năm), Vũ trụ như chúng ta biết sẽ co lại tới một kích thước cực nhỏ. Vật chất tạo ra vạn vật - tất cả xe hơi, nhà cửa, cao ốc, núi non trên mặt đất và cả bản thân Trái Đất, Mặt Trăng, sao Thổ, sao Mộc và tất cả các hành tinh khác; rồi Mặt Trời cùng với tất cả các ngôi sao khác trong Ngân Hà; tới thiên hà Andromeda với một trăm tỷ ngôi sao cùng với tất cả các ngôi sao của hơn 100 tỷ thiên hà khác - tất thảy đều bị nén lại tới một mật độ lớn kinh khủng. Và khi lần ngược tới những thời điểm còn sớm hơn nữa, Vũ trụ sẽ được nén lại tới kích thước cỡ như hạt cát và còn nhỏ hơn nữa. Và khi ngoại suy tới "điểm bắt đầu", thì Vũ trụ dường như chỉ còn là một điểm - hình ảnh mà chúng ta sẽ xem xét lại một cách có phê phán ở chương sau - trong đó toàn bộ vật chất và năng lượng bị nén tới một mật độ và nhiệt độ lớn không thể tưởng tượng nổi. Người ta tin rằng, quả cầu lửa vũ trụ, tức Big Bang, sẽ bùng nổ từ cái hỗn hợp ấy và tung ra những hạt giống mà sau đó tiến hóa thành Vũ trụ như chúng ta biết ngày nay.

Hình ảnh Big Bang như một vụ nổ bắn ra toàn bộ vật chất của Vũ trụ giống như những mảnh của một quả bom nổ văng ra là một hình ảnh hữu ích cần ghi nhận, nhưng cũng dễ dẫn đến hiểu lầm. Khi một quả bom nổ, thì điều đó diễn ra tại một địa điểm cụ thể trong không gian và ở một thời điểm cụ thể trong thời gian. Đồng thời các mảnh của nó văng ra trong không gian xung quanh. Trong khi Big Bang, không có không gian xung quanh nào hết. Khi chúng ta lần ngược lại sự tiến hóa đến thời điểm bắt đầu, sự nén lại cùng nhau của toàn bộ vật chất xảy ra là do toàn bộ không gian cũng bị nén lại. Kích thước quả táo, kích thước hạt đậu và kích thước hạt cát khi lùi dần trở về thời điểm ban đầu là toàn bộ Vũ trụ, chứ không phải là một vật gì đó trong Vũ trụ. Ở thời điểm ban đầu, đơn giản là không có không gian bên ngoài quả bom nguyên thủy nhỏ xíu đó. Thay vì, Big Bang là sự phun ra không gian đã bị nén ép và sự bung ra của nó, giống như sóng thủy triều, đã mang đi theo vật chất và năng lượng cho tới tận hôm nay.

...Người ta thấy rằng ở mức cơ bản, thuyết tương đối rộng hóa ra lại

không tương thích với một lý thuyết cũng được kiểm chứng hết sức mỹ mãn bởi thực nghiệm, đó là cơ học lượng tử...

•◎Thuyết tương đối rộng có đúng không?

Cho tới nay, trong các thí nghiệm được thực hiện với trình độ công nghệ hiện đại, người ta chưa phát hiện thấy sự sai lệch nào đối với những tiên đoán của thuyết tương đối rộng. Tuy nhiên, chỉ có thời gian mới có thể nói được, với độ chính xác cao hơn của thực nghiệm, cuối cùng, người ta có phát hiện thấy sai lệch nào hay không. Điều đó cho thấy rằng lý thuyết tương đối rộng cũng chỉ là một sự mô tả gần đúng sự hoạt động của tự nhiên mà thôi. Sự kiểm nghiệm thường xuyên các lý thuyết với độ chính xác ngày càng cao hơn hiển nhiên là một trong số những con đường phát triển của khoa học, nhưng nó không phải là con đường duy nhất. Thực tế, điều này chúng ta cũng đã từng thấy: sự tìm kiếm một lý thuyết mới về hấp dẫn không phải khởi đầu từ sự bác bỏ của thực nghiệm, mà là do xung đột giữa lý thuyết hấp dẫn của Newton và một lý thuyết khác, cụ thể là thuyết tương đối hẹp. Chỉ sau khi đã phát minh ra thuyết tương đối rộng như một lý thuyết cạnh tranh với lý thuyết hấp dẫn của Newton, những sai lệch thực nghiệm trong lý thuyết của Newton mới được nhận dạng nhằm tìm kiếm những hiệu ứng nhỏ nhưng có thể đo được, qua đó phân biệt được sức mạnh của hai lý thuyết. Chính vì vậy, sự không nhất quán trong nội bộ lý thuyết cũng đóng một vai trò quan trọng không kém những dữ liệu thực nghiệm trong việc thúc đẩy sự tiến bộ khoa học.

Trong nửa thế kỷ trở lại đây, vật lý học đã phải đối mặt với một cuộc xung đột lý thuyết mới, cũng nghiêm trọng không kém cuộc xung đột giữa thuyết tương đối hẹp với lý thuyết hấp dẫn của Newton. Người ta thấy rằng ở mức cơ bản, thuyết tương đối rộng hóa ra lại không tương thích với một lý thuyết cũng được kiểm chứng hết sức mỹ mãn bởi thực nghiệm, đó là cơ học lượng tử. Đối với những điều được trình bày trong chương này, thì cuộc xung đột mới đã cản trở các nhà vật lý tìm hiểu những gì xảy ra đối với không gian, thời gian và vật chất khi tất cả đều được nén lại ở thời điểm Big Bang hoặc ở điểm trung tâm của các lỗ đen. Trên quan điểm tổng quát hơn, thì cuộc xung đột này đã cảnh báo về một thiếu sót cơ bản nào đó trong quan niệm của chúng ta về tự nhiên. Việc giải quyết được cuộc xung đột mới này sẽ giải thoát cho một số nhà vật lý lý thuyết vĩ đại nhất khỏi ý định xem nó - mà cũng hoàn toàn

xứng đáng - là bài toán trung tâm của vật lý lý thuyết hiện đại. Để hiểu cuộc xung đột mới này đòi hỏi phải làm quen với một số đặc điểm cơ bản của lý thuyết lượng tử mà chúng ta sẽ đề cập tới trong chương sau.

...Cả Goerge lẫn Gracie đều không nhận thấy rằng, do vội vã họ đã lầm chiếc cửa giả là cửa ra vào, nhưng họ vẫn đi được ra ngoài như thường. Tuy nhiên, do ông chủ của quán Lượng tử đã quá quen với cảnh khách hàng đi qua tường nên cũng chẳng bận tâm đến chuyện đó...

CHƯƠNG 4

NHỮNG ĐIỀU KỲ LẠ TRONG THẾ GIỚI VI MÔ

Hơi mệt mỏi vì cuộc thám hiểm ra ngoài hệ Mặt Trời, Goerge và Gracie vừa về tới Trái Đất đã dông ngay tới quán Lượng tử để tẩy trần sau những ngày vất vả trong khoảng không vũ trụ. Như thường lệ, Goerge gọi một ly nước đu đủ đá cho mình và một ly vodka cho Gracie, rồi ngả người trên ghế, quay lưng về phía quầy bar, hai tay đỡ sau gáy để thưởng thức điếu xì gà vừa mới châm. Nhưng, đang định hít một hơi cho đã thì Goerge chợt sững sờ nhận thấy rằng điếu xì gà đã biến mất. Nghĩ rằng điếu thuốc tuột khỏi miệng rơi xuống, Goerge vội ngả người về phía trước và đinh ninh rằng chắc nó đã đốt một lỗ thủng trên áo hoặc trên đầu mình. Nhưng anh tìm mãi không thấy. Và cả điếu xì gà cũng mất tăm luôn. Thấy Goerge tìm kiếm cuống cuồng, Gracie đứng dậy nhìn khắp lượt xung quanh và phát hiện ra rằng điếu xì gà nằm trên quầy ở ngay sau ghế của Goerge. "Lạ thật" - Goerge thốt lên - "Làm thế quái nào mà nó lại rơi lên đó được nhỉ?" Cứ như là nó đi xuyên qua đầu mình không bằng, nhưng lưỡi mình không bị bỏng và mình cũng chẳng thấy đầu có một lỗ mới nào". Gracie xem đi xem lại đầu và miệng của Goerge, rồi cô cũng buộc phải khẳng định rằng lưỡi và đầu của anh hoàn toàn bình thường. Đúng lúc đó đồ uống được mang đến, Goerge và Gracie đành nhún vai ghi nhận chuyện điếu xì gà như là một trong số những bí ẩn nho nhỏ của cuộc đời. Nhưng sự kỳ lạ của quán Lượng tử không dừng lại ở đó.

Goerge nhìn vào ly nước đu đủ và thấy rằng những cục đá chuyển động lung tung, va chạm và nhau và va chạm vào thành cốc phát ra những tiếng lách cách không ngừng giống như những chiếc xe quá tải chen chúc trong một khu đất chật hẹp. Và lần này không chỉ có một mình Goerge gánh chịu. Gracie cầm lấy ly của mình - và cả hai người đều thấy rằng những cục đá trong ly của Gracie va đập còn dữ dội hơn, tới mức họ không sao phân biệt nổi từng cục đá nữa vì chúng tất cả đã

nhèo nhoẹt vào nhau thành một mảng. Nhưng điều này vẫn chưa là gì so với những thứ diễn ra sau đó. Khi cả hai trố mắt ngạc nhiên nhìn chiếc ly lách cách loạn xạ của Gracie, họ bỗng thấy có một cục đá đi qua thành ly ra bên ngoài và rơi xuống bàn. Họ nhấc cục đá lên xem thì thấy nó vẫn nguyên vẹn, không biết nó đã xuyên qua thành thủy tinh rắn bằng cách nào mà không hề bị hư hại gì. "Chắc đây chỉ là hoang tưởng, hậu quả của chuyến đi dài ngày ra ngoài khoảng không của Vũ trụ đấy thôi" - Goerge nói. Cả hai người cố nén sự kích động do những cục đá chạy loạn xạ, họ uống cạn một hơi ly nước của mình vì ai nấy đều muốn về nhà càng nhanh càng tốt. Nhưng cả Goerge lẫn Gracie đều không nhận thấy rằng, do vội vã họ đã lầm chiếc cửa giả là cửa ra vào, nhưng họ vẫn đi được ra ngoài như thường. Tuy nhiên, do ông chủ của quán Lượng tử đã quá quen với cảnh khách hàng đi qua tường nên cũng chẳng bận tâm đến chuyện đó.

Một thế kỷ trước, trong khi Conrad và Freud soi rọi những chỗ khuất trong trái tim và tâm hồn của con người, thì nhà vật lý người Đức tên là Max Planck đã rọi tia sáng đầu tiên vào cơ học lượng tử, một lý thuyết có thể giải thích được tại sao những trải nghiệm của Goerge và Gracie trong quán Lượng tử khi đưa nó về thang vi mô, không có gì là bí ẩn cả. Những điều xa lạ và bí hiểm như thế thực ra vẫn diễn ra "hằng ngày" trong Vũ trụ chúng ta ở những thang rất nhỏ.

•◎Khuôn khổ lượng tử

Cơ học lượng tử là một khuôn khổ khái niệm dùng để tìm hiểu những tính chất vi mô của Vũ trụ. Cũng như thuyết tương đối hẹp và thuyết tương đối rộng đòi hỏi phải có những thay đổi triệt để trong thế giới quan của chúng ta khi các vật chuyển động nhanh hoặc khi chúng có khối lượng rất lớn, cơ học lượng tử cho thấy rằng Vũ trụ cũng có những tính chất như thế, nếu không muốn nói là hơn, khi ta xem xét nó ở các thang khoảng cách của nguyên tử và dưới nguyên tử. Năm 1965, Richard Feynman, một trong số những người tiên phong vĩ đại nhất của cơ học lượng tử đã viết:

Có một thời báo chí nói rằng chỉ có khoảng một chục người là hiểu được thuyết tương đối, riêng tôi, thì tôi không tin là đã có một thời như vậy. Có thể là có một thời mà chỉ có một người hiểu được nó, vì chính ông là người đã lĩnh hội được trước khi viết ra bài báo công bố nó. Nhưng sau đó, người ta đọc bài báo và nhiều người hiểu được lý thuyết tương đối

theo cách này hoặc cách khác và chắc chắn là nhiều hơn con số một chục. Trái lại, tôi nghĩ, tôi có thể nói một cách chắc chắn rằng không có một ai có thể hiểu được cơ học lượng tử [1] (Trang 149)

Mặc dù Feynman phát biểu ý kiến này của mình hơn ba chục năm trước, nhưng nó vẫn còn đúng cho tới tận hôm nay. Điều mà ông muốn nói có nghĩa là, mặc dù thuyết tương đối hẹp và thuyết tương đối rộng đòi hỏi phải xem xét lại một cách căn bản những cách nhìn trước đây về thế giới, nhưng một khi người ta đã chấp nhận những nguyên lý cơ bản của hai lý thuyết đó, thì những hệ quả mới và trái với trực giác về không gian và thời gian được suy ra trực tiếp từ những lập luận lôgic. Nếu như bạn suy ngẫm một cách kỹ càng những điều đã được trình bày trong hai chương trước, bạn sẽ chấp nhận - dù chỉ trong giây lát - sự không tránh khỏi dẫn đến những kết luận như vậy. Nhưng với cơ học lượng tử thì lại khác. Vào khoảng năm 1928, rất nhiều những công thức và quy tắc của cơ học lượng tử đã được sắp xếp một cách hệ thống và từ đó chúng đã được sử dụng để đưa ra rất nhiều tiên đoán bằng số chính xác và thành công nhất trong lịch sử khoa học. Tuy nhiên, trên thực tế, những ai đã từng sử dụng cơ học lượng tử đều tự thấy rằng mình làm theo những quy tắc và những công thức do các "vị cha đẻ" ra cơ học lượng tử sáng lập ra, với những thủ tục tính toán không mấy khó thực hiện, nhưng thực sự không hiểu tại sao những thủ tục đó lại đưa đến những kết quả mỹ mãn như vậy và chúng có ý nghĩa gì. Không giống như thuyết tương đối, đối với cơ học lượng tử, chỉ một số rất ít người, nếu không muốn nói là không có ai, là nắm được "cái hồn" của nó.

Từ kết luận đó, chúng ta rút ra được điều gì? Phải chăng điều này có nghĩa là ở cấp độ vi mô, Vũ trụ vận hành một cách mù mờ và xa lạ tới mức trí tuệ con người, một trí tuệ đã được tiến hóa từ nhiều thế kỷ, đã chinh phục được nhiều hiện tượng diễn ra ở thang quen thuộc hằng ngày lại không thể lĩnh hội được đầy đủ "những cái thực sự đang diễn ra"? Hay liệu có thể là, do sự ngẫu nhiên của lịch sử, các nhà vật lý đã xây dựng được một hình thức luận còn cực kỳ vụng dại của cơ học lượng tử, khiến cho, mặc dù nó đã rất thành công về phương diện định lượng, nhưng lại làm lu mờ đi cái bản chất đích thực của thực tại? Điều này thì hiện chưa ai biết được. Có thể một ngày nào đấy trong tương lai, một người thông minh nào đó sẽ nhìn ra một hình thức luận mới có khả năng làm phát lộ đầy đủ những "cái tại sao" và "cái gì" trong cơ học lượng tử cũng nên. Có thể như vậy... và cũng có thể không. Điều duy

nhất mà chúng ta biết chắc chắn, đó là cơ học lượng tử đã chứng tỏ một cách tường minh rằng nhiều khái niệm cơ bản có tầm quan trọng hàng đầu đối với việc tìm hiểu thế giới quen thuộc hằng ngày của chúng ta sẽ không còn ý nghĩa nữa khi bước vào địa hạt vi mô. Kết quả là, chúng ta phải thay đổi đáng kể cả ngôn ngữ cũng như lối suy luận của chúng ta khi định tìm hiểu và giải thích Vũ trụ ở các thang nguyên tử và dưới nguyên tử.

Trong các mục sau, chúng ta sẽ phát triển những cơ sở của ngôn ngữ này và mô tả một số hệ quả rất bất ngờ được suy ra từ đó. Nếu như dọc đường mà bạn cảm thấy cơ học lượng tử quá bí hiểm, thậm chí nực cười, thì bạn hãy ghi nhớ trong đầu hai điều sau. Thứ nhất, ngoài sự thực nó là một lý thuyết toán học hết sức nhất quán ra, lý do duy nhất khiến chúng ta tin tưởng vào cơ học lượng tử là bởi vì nó cho những tiên đoán đã được kiểm chứng tới độ chính xác đáng ngạc nhiên. Nếu có ai đó có thể nói chính xác với bạn rất nhiều chi tiết thầm kín về thuở ấu thơ của bạn, thì bạn khó có thể không tin khi người đó tuyên bố rằng ông (hoặc bà) ta là người họ hàng lưu lạc đã lâu của bạn. Thứ hai, bạn không hề đơn độc khi có những phản ứng như thế đối với cơ học lượng tử. Ngay cả những nhà vật lý vĩ đại nhất của mọi thời đại cũng có cảm nhận như vậy, chỉ có điều ở mức độ lớn hay nhỏ hơn mà thôi. Einstein đã hoàn toàn không chấp nhận cơ học lượng tử. Và thậm chí cả Niels Bohr, một trong những người tiên phong chủ chốt của lý thuyết lượng tử và là người bảo vệ nó một cách cuồng nhiệt nhất, cũng đã có lần thốt lên rằng, nếu đôi khi bạn không cảm thấy choáng váng khi nghĩ về cơ học lượng tử, thì có nghĩa là bạn chưa thực sự hiểu nó.

[1] Richard Feynman, The Character of Physical Law (Cambridge Mass: MIT Press, 1995)

...Vì mỗi sóng như vậy mang cùng một lượng năng lượng, nên một số vô hạn các sóng đó sẽ mang một năng lượng toàn phần là vô hạn. Vậy là, vào lúc bước sang thế kỷ mới, thế kỷ XX, đã có một hạt sạn lớn kẹt giữa những bánh xe của bộ máy lý thuyết...

•◎Trong bếp quá nóng

Con đường đi tới cơ học lượng tử bắt đầu từ một bài toán khá bí ẩn. Hãy hình dung cái bếp lò nhà bạn được cách nhiệt hoàn hảo; bạn điều chỉnh đặt nó ở một nhiệt độ nào đó, ví dụ như 2000C chẳng hạn, rồi bạn

để tự cho nó nóng dần lên. Thậm chí, trước khi bật máy, bạn có hút hết không khí ra khỏi lò, thì do bị nung nóng, thành lò sẽ phát ra các sóng bức xạ bên trong lò. Bức xạ này cùng loại với bức xạ được phát ra từ bề mặt Mặt Trời hay từ một thanh sắt nóng sáng, tức là nhiệt và ánh sáng dưới dạng sóng điện từ.

Vấn đề là thế này. Các sóng điện từ mang năng lượng, chẳng hạn, sự sống trên Trái Đất phụ thuộc sống còn vào năng lượng được phát ra từ Mặt Trời và truyền tới Trái Đất bởi các sóng điện từ. Vào đầu thế kỷ XX, các nhà vật lý đã tính năng lượng toàn phần được mang theo bởi tất cả các sóng điện từ bên trong lò ở một nhiệt độ đã chọn. Dùng những thủ tục tính toán đã được xác lập là đúng đắn, họ tìm ra một đáp số thật nực cười: đối với nhiệt độ đã chọn, năng lượng toàn phần này có giá trị là vô hạn!.

Tất nhiên, ai cũng biết rằng điều đó là vô nghĩa: một bếp lò hoạt động có thể chứa một năng lượng đáng kể nhưng không thể là vô hạn được. Để hiểu được cách giải quyết của Planck, ta cần phải hiểu bài toán kỹ hơn một chút. Hóa ra, khi áp dụng lý thuyết điện từ của Maxwell cho các bức xạ trong lò, người ta thấy rằng các sóng do thành lò bị nung nóng phát ra chứa một số nguyên các đỉnh và hõm sóng và được đặt vừa khít giữa hai thành lò đối diện. Một số ví dụ về các sóng đó được minh họa trên Hình 4.1. Các nhà vật lý đã dùng ba thuật ngữ để mô tả các sóng ấy, đó là bước sóng, tần số và biên độ. Bước sóng là khoảng cách giữa hai đỉnh (hoặc hai hõm) sóng liên tiếp, như được minh họa trên Hình 4.2. Càng nhiều đỉnh hoặc hõm sóng thì bước sóng càng ngắn, bởi vì tất cả chúng đều phải được chèn cho hết trên khoảng cách cố định giữa hai thành lò. Còn tần số là số các chu trình cả lên lẫn xuống của dao động mà sóng thực hiện trong một giây. Như vậy, ta thấy tần số được xác định bởi bước sóng và ngược lại: bước sóng càng dài thì tần số càng thấp, bước sóng càng ngắn thì tần số càng cao. Để hiểu tại sao lại như vậy, bạn hãy thử nghĩ xem điều gì sẽ xảy ra khi bạn tạo một sóng bằng cách dùng một sợi dây thừng dài cố định một đầu và tay bạn cầm đầu tự do của nó lúc lắc lên xuống đều đặn. Muốn tạo ra bước sóng dài, tay bạn chỉ cần lúc lắc lên xuống một cách trễ nải. Mà tần số của sóng lại đúng bằng số chu trình lúc lắc lên xuống của tay bạn trong một giây, vì vậy nó khá thấp. Nhưng để tạo ra những bước sóng ngắn, tay bạn phải lúc lắc một cách liên hồi, tức là thường xuyên hơn hay cũng có nghĩa là nó sinh ra sóng có tần số cao hơn. Cuối cùng, các nhà vật lý dùng thuật

ngữ biên độ để chỉ độ cao hay độ sâu cực đại của sóng như được minh họa trên Hình 4.2.

Hình 4.1. Lý thuyết Maxwell nói với chúng ta rằng các sóng bức xạ trong lò có một số nguyên các đỉnh và hõm sóng - chúng tạo nên các chu trình sóng trọn vẹn.

Hình 4.2. Bước sóng là khoảng cách giữa hai đỉnh hoặc hai hõm sóng liên tiếp. Biên độ là độ cao hoặc độ sâu cực đại của sóng.

Trong trường hợp bạn thấy sóng điện từ có vẻ còn hơi trừu tượng, thì hãy nhớ tới một sự tương tự rất hay, đó là những sóng tạo ra khi gảy một sợi dây đàn violon. Biên độ của sóng trên sợi dây đàn này phụ thuộc vào bạn gảy nó mạnh tới mức nào. Gảy mạnh hơn nghĩa là bạn đã đặt nhiều năng lượng hơn vào sự nhiễu động sóng, do đó càng nhiều năng lượng tương ứng với biên độ càng lớn. Kết quả, bạn sẽ nghe thấy âm thanh do nó phát ra to hơn. Tương tự như vậy, năng lượng ít hơn sẽ tương ứng với biên độ nhỏ hơn và âm thanh nghe bé hơn.

Bằng cách sử dụng nhiệt động lực học của thế kỷ XIX, các nhà vật lý đã xác định được thành lò nóng đã bơm bao nhiêu năng lượng vào các sóng điện từ của từng bước sóng cho phép hay nói một cách hình ảnh, các bức tường đã "gảy" mỗi sóng đó mạnh tới mức nào. Kết quả là họ đã tìm ra một đáp số đơn giản: Mỗi một sóng cho phép, bất kể bước sóng của chúng, đều mang cùng một lượng năng lượng (với định lượng chính xác được xác định bởi nhiệt độ của lò). Nói một cách khác, tất cả các sóng khả dĩ có trong lò đều hoàn toàn bình đẳng với nhau trên phương diện liên quan tới lượng năng lượng mà chúng chứa.

Thoạt đầu, điều này tưởng như là một kết quả khá thú vị nhưng vô hại. Nhưng thực tế không phải như vậy. Nó đã dẫn tới sự sụp đổ của cái được gọi là vật lý cổ điển. Sở dĩ như vậy là vì: mặc dù việc đòi hỏi các sóng phải chứa một số nguyên các đỉnh và các hõm đã loại bớt đi một số rất lớn các sóng có thể có trong lò, nhưng vẫn còn một số vô hạn các sóng thỏa mãn đòi hỏi đó, mỗi một lần lại có nhiều đỉnh và hõm hơn. Vì mỗi sóng như vậy mang cùng một lượng năng lượng, nên một số vô hạn các sóng đó sẽ mang một năng lượng toàn phần là vô hạn. Vậy là, vào lúc bước sang thế kỷ mới, thế kỷ XX, đã có một hạt sạn lớn kẹt giữa những bánh xe của bộ máy lý thuyết.

Năm 1900, Planck đã đưa ra một ý tưởng thiên tài cho phép tìm ra con

đường giải quyết bài toán bí ẩn nói trên và ông đã được trao giải thưởng Nobel về vật lý vào năm 1918...

•◎Tạo ra những "bó" nhỏ ở buổi bình minh của thế kỷ XX

Năm 1900, Planck đã đưa ra một ý tưởng thiên tài cho phép tìm ra con đường giải quyết bài toán bí ẩn nói trên và ông đã được trao giải thưởng Nobel về vật lý vào năm 1918. Để hiểu được ý tưởng đó, hãy hình dung bạn và một số đông người - "vô hạn" về số lượng - chen chúc trong một nhà kho lớn và lạnh lẽo do một tay chủ rất keo kiệt quản lý. Trên tường nhà kho có một máy điều hòa nhiệt độ số hóa điều khiển nhiệt độ, nhưng bạn phải choáng váng nghe lão chủ thông báo về cách tính tiền sưởi. Nếu đặt điều hòa tăng 50 độ F [10 độ C = 5/9 (10F-32)] thì mỗi người phải trả cho lão chủ 50 đôla, còn tăng 55 độ F thì phải trả 55 đôla, cứ như vậy mà tính tiếp. Bạn nhận thấy rằng, do bạn cùng chia sẻ nhà kho với một số vô hạn khách trọ khác, nên nếu bạn bật điều hòa thì lão chủ sẽ nhận được một số tiền là vô hạn.

Nhưng khi đọc kỹ quy tắc thanh toán của lão chủ, bạn chợt nhận ra trong đó có một khe hở. Vốn là một người rất bận rộn, lão không muốn phải thối lại tiền thừa, nhất là lại đối với một số vô hạn người thuê như thế này. Vì vậy, lão quy định cách thanh toán như sau. Những người trả được chính xác số tiền phải trả thì không nói làm gì, còn nếu không, họ chỉ phải trả một số tiền tối đa có thể có, miễn là không phải thối lại là được. Với ý định lôi kéo tất cả những người cùng trọ nhằm tránh phải trả một số tiền sưởi quá lớn, bạn thuyết phục mọi người phân chia giấy bạc họ có thành cách nhóm theo cách sau: một người giữ tất cả các đồng xu 1/100 đôla, một người giữ tất cả các đồng xu 1/20 đôla, một người giữ tất cả các đồng xu 1/4 đôla, và cứ như vậy mãi đối với các tờ 1 đôla, 5 đôla, 10 đôla, 20 đôla, 50 đôla, 100 đôla, 1.000 đôla, và những tờ giấy bạc có mệnh giá lớn hơn nữa (và cũng ít quen thuộc hơn). Thu xếp mọi chuyện xong xuôi, bạn ung dung đặt điều hòa lên tới 80 độ (nghĩa là mỗi người sẽ phải trả 80 đôla tiền sưởi - ND), rồi ngồi đợi lão chủ tới. Khi lão chủ tới, người giữ những đồng 1/10 đôla đến trả đầu tiên và trao cho lão ta 8.000 đồng xu đó. Sau đó, đến lượt người giữ những đồng xu 1/20 đôla đưa cho lão chủ 1.600 đồng xu này, rồi người giữ các đồng xu 1/10 đôla đưa những tờ 10 đôla đưa 8 tờ, người giữ những tờ 20 đôla đưa 4 tờ và người giữ những tờ 50 đôla chỉ phải đưa 1 tờ (vì nếu đưa 2 tờ thì lão chủ sẽ phải thối lại, điều mà lão ta không muốn). Nhưng vì

những người còn lại, mỗi người giữ chỉ một loại giấy bạc có cùng mệnh giá - mỗi tờ có thể được xem như là "gói" tối thiểu của loại giấy bạc tương ứng - đều vượt quá số tiền phải trả, nên họ không phải trả gì hết. Vì vậy, lẽ ra lão chủ được nhận một số tiền vô hạn như lão chờ đợi, thì bây giờ lão chỉ nhận được số tiền còm là 5.690 đôla.

Planck đã sử dụng chiến lược tương tự để đưa kết quả nực cười về lượng năng lượng vô hạn trong lò về một kết quả hữu hạn. Cụ thể là ông đã làm như sau. Ông đã táo bạo đưa ra giả thuyết cho rằng, cũng giống như tiền, năng lượng được mang bởi sóng điện từ trong lò theo từng "gói". Năng lượng chỉ có thể bằng một lần, hai lần hoặc ba lần... một "mệnh giá năng lượng cơ bản" nhất định, và chỉ thế thôi. Và cũng như bạn không thể có các đồng xu 1/3 đôla hay 2/3 đôla, nên Planck tuyên bố rằng đối với năng lượng các phân số đều không được phép. Cũng như mệnh giá của các đồng xu hay các tờ giấy bạc đôla do Kho bạc của nước Mỹ quy định, Planck cho rằng mệnh giá năng lượng của một sóng, tức bó năng lượng tối thiểu của nó, do tần số của nó quyết định. Cụ thể, ông xem rằng năng lượng tối thiểu mà một sóng có thể có tỷ lệ thuận với tần số của nó: tần số càng lớn (tức bước sóng càng nhỏ) thì năng lượng tối thiểu càng lớn; tần số càng nhỏ (tức bước sóng càng lớn) thì năng lượng tối thiểu càng nhỏ. Nói một cách nôm na, cũng như các con sóng dịu êm trên đại dương thì dài, còn các con sóng lừng thì ngắn và mạnh, bức xạ có bước sóng dài vốn có năng lượng nhỏ hơn bức xạ có bước sóng ngắn.

Và đây mới là điểm thú vị nhất: những tính toán của Planck đã cho thấy rằng tính chất phân ra từng bó này của năng lượng được phép trong mỗi sóng đã sửa được cái kết quả nực cười về năng lượng toàn phần vô hạn mà ta nói tới ở trên. Để hiểu được tại sao lại như vậy, cũng không khó khăn lắm. Khi lò đã nóng tới một nhiệt độ chọn trước nào đó, những tính toán dựa trên nhiệt động lực học của thế kỷ XIX đã tiên đoán được lượng năng lượng chung mà mỗi một sóng được quy định là sẽ phải đóng góp cho năng lượng toàn phần. Nhưng cũng giống như những khách trọ không thể đóng góp số tiền chung mà mỗi người phải đóng cho lão chủ vì các tờ giấy bạc mà họ giữ có mệnh giá quá lớn, nếu năng lượng tối thiểu của một sóng cụ thể nào đó vượt quá lượng năng lượng quy định mà nó phải đóng, thì nó không thể đóng được và đành phải ngủ yên không tham gia nữa. Theo Planck, vì năng lượng tối thiểu mà mỗi sóng có thể mang tỷ lệ thuận với tần số của sóng đó, nên khi

chúng ta xét các sóng trong lò với tần số lớn dần (tức bước sóng nhỏ dần) thì rồi sớm hay muộn năng lượng tối thiểu mà chúng có thể mang sẽ lớn hơn năng lượng quy định mà chúng phải đóng góp. Tựa như những người khách trọ giữ những tờ giấy bạc lớn hơn 50 đôla, những sóng có tần số lớn này sẽ không thể đóng góp lượng năng lượng mà vật lý của thế kỷ XIX đòi hỏi. Và như vậy, cũng giống như chỉ có một số hữu hạn khách trọ là có thể đóng góp vào tổng số tiền trả tiền sưởi (dẫn tới tổng số tiền này là một số hữu hạn), chỉ có một số hữu hạn các sóng là có thể đóng góp vào năng lượng toàn phần của lò và do đó cũng dẫn tới lượng năng lượng toàn phần là hữu hạn. Dù là năng lượng hay là tiền, tính phân ra thành các gói đơn vị cơ bản với kích cỡ tăng dần của các gói đó, khi chúng ta đi tới các tần số cao hơn hay tới các mệnh giá lớn hơn, đã làm thay đổi đáp số vô hạn thành hữu hạn [1].

Bằng cách khử đi sự vô nghĩa hiển nhiên của kết quả vô hạn, Planck đã làm một bước quan trọng. Nhưng điều làm cho người ta thực sự tin rằng ý tưởng của ông là đúng đắn, đó là kết quả hữu hạn mà phương pháp mới của ông tính được cho năng lượng toàn phần trong lò phù hợp một cách hết sức mỹ mãn với các số liệu thực nghiệm. Cụ thể, Planck đã tìm thấy rằng, bằng cách điều chỉnh các tham số xuất hiện trong những tính toán mới của mình, ông có thể tiên đoán được chính xác năng lượng của lò ở một nhiệt độ bất kỳ cho trước. Tham số này chính là hệ số tỷ lệ giữa bó năng lượng cực tiểu (hay lượng tử) của sóng và tần số của nó. Planck cũng tìm thấy rằng hằng số tỷ lệ đó - mà hiện nay được gọi là hằng số Planck và ký hiệu là h - có giá trị khoảng một phần tỷ tỷ tỷ nếu tính theo các đơn vị đo thông thường 3. Giá trị cực nhỏ này của hằng số Planck có nghĩa là độ lớn của các bó năng lượng thường là rất nhỏ. Điều này giải thích tại sao, chẳng hạn, dường như chúng ta có thể làm cho năng lượng của sóng trên sợi dây đàn violon (và do đó cả âm lượng do nó phát ra) thay đổi một cách liên tục. Tuy nhiên, trên thực tế, năng lượng của sóng thay đổi theo các bậc thang gián đoạn, theo kiểu Planck, chỉ có điều kích thước của các bậc đó nhỏ tới mức những bước nhảy gián đoạn từ một âm lượng này tới một âm lượng khác có thể xem gần như là trơn tru, liên tục. Theo khẳng định của Planck, kích thước của những bước nhảy đó tăng khi tần số của sóng càng cao (tức bước sóng càng giảm). Đây chính là yếu tố quyết định trong việc giải quyết nghịch lý năng lượng vô hạn nói ở trên.

Như chúng ta sẽ thấy, giả thuyết lượng tử của Planck không chỉ dừng

lại ở chỗ cho phép chúng ta hiểu được lượng năng lượng chứa trong lò. Nó còn làm đảo lộn quan niệm về rất nhiều thứ trong thế giới mà chúng ta thường xem là hiển nhiên. Giá trị rất nhỏ của h đã giới hạn phần lớn những khác biệt căn bản với đời sống thường ngày đó chỉ trong thế giới vi mô, nhưng nếu như giá trị của h lớn hơn nhiều, thì những điều lạ lùng xảy ra trong quán Lượng tử sẽ thực sự trở thành những chuyện thường ngày. Và như chúng ta sẽ thấy, những chuyện tương tự trong thế giới vi mô đã xảy ra đúng như vậy.

[1] Nói chính xác hơn một chút, Planck đã chứng minh được rằng những sóng có năng lượng cực tiểu vượt quá đóng góp năng lượng trung bình được quy định (bởi nhiệt động học của thế kỷ XIX) đều bị khử mạnh. Sự khử này thể hiện càng rõ khi chúng ta xét.

...Ngoài chuyện ý tưởng này đã đưa lại những kết quả mỹ mãn ra, thì cả Planck cũng như bất cứ ai khác đều không thể cho một lý giải có sức thuyết phục là tại sao nó lại đúng như vậy...

•◎Các "gói" năng lượng là gì?

Planck không hề có một biện minh nào cho ý tưởng then chốt của ông là đã xem năng lượng được phân thành các gói. Ngoài chuyện ý tưởng này đã đưa lại những kết quả mỹ mãn ra, thì cả Planck cũng như bất cứ ai khác đều không thể cho một lý giải có sức thuyết phục là tại sao nó lại đúng như vậy. Như nhà vật lý Goerge Gamow có lần nói, dường như tự nhiên cho người ta uống cả một vại bia hoặc là không có tí bia nào, chứ không có kiểu chung chiêng ở giữa. Năm 1905, Einstein đã đưa ra cách giải thích và vì phát minh đó ông đã được trao giải thưởng Nobel về vật lý năm 1921.

Einstein đã tìm ra cách giải thích này trong quá trình giải quyết một vấn đề có tên là hiệu ứng quang điện. Nhà vật lý người Đức tên là Heinrich Hertz là người đầu tiên phát hiện ra rằng khi chiếu một bức xạ điện từ (chẳng hạn ánh sáng) lên bề mặt một số kim loại nào đó, thì chúng sẽ phát ra các electron. Bản thân chuyện này cũng chẳng có gì là đặc biệt lắm. Một trong những tính chất riêng của các kim loại là chúng có một số electron liên kết lỏng lẻo trong nguyên tử (điều này giải thích tại sao, chúng lại là những vật dẫn điện tốt). Khi ánh sáng đập vào bề mặt kim loại nó sẽ nhường bớt một phần năng lượng, cũng hệt như khi nó chiếu vào bề mặt làn da của bạn và làm cho bạn cảm thấy ấm hơn. Năng

lượng được nhường bớt này sẽ làm cho các electron liên kết lỏng lẻo có thể sẽ bị bắn ra ngoài.

Nhưng những đặc điểm lạ lùng của hiệu ứng quang điện trở nên rõ ràng hơn khi người ta nghiên cứu những tính chất tinh tế hơn của các electron được bắn ra. Thoạt tiên, người ta nghĩ rằng cường độ ánh sáng, tức độ chói của nó tăng thì vận tốc của các electron bắn ra cũng sẽ tăng, vì sóng điện từ tới có nhiều năng lượng hơn. Nhưng thực tế lại không phải như vậy. Khi đó, chỉ có số lượng các electron bắn ra là tăng thôi, còn vận tốc của chúng thì vẫn giữ cố định. Mặt khác, thực nghiệm còn cho thấy rằng vận tốc của các electron phát ra sẽ tăng nếu như tần số của ánh sáng chiếu tới tăng và tương tự, vận tốc của các electron sẽ giảm nếu như tần số của ánh sáng giảm. (Đối với sóng điện từ trong vùng phổ thấy được, sự tăng tần số tương ứng với sự thay đổi màu sắc từ đỏ, tới da cam, vàng, lục, lam, chàm và cuối cùng đến tím. Ánh sáng có tần số cao hơn tím là không nhìn thấy được và tương ứng là tia tử ngoại và sau đó là tia X; ánh sáng có tần số thấp hơn đỏ cũng không nhìn thấy được và tương ứng với tia hồng ngoại. Thực tế, khi giảm tần số của ánh sáng chiếu tới, thì đến một lúc nào đó, vận tốc của các electron phát ra sẽ giảm tới không và chúng sẽ không được bắn ra, bất chấp cường độ ánh sáng có mạnh đến đâu đi nữa. Do một nguyên nhân nào đó còn chưa biết, màu của chùm sáng tới, chứ không phải năng lượng toàn phần của nó, điều khiển việc có cho các electron bắn ra hay không và nếu chúng được bắn ra thì điều khiển cả năng lượng của chúng nữa.

Để hiểu Einstein đã giải thích những sự kiện bí ẩn nêu ở trên như thế nào, ta hãy quay trở lại cái nhà kho, mà bây giờ đã đàng hoàng được sưởi tới 80 độ F (tức gần 27 độ C). Hãy hình dung, lão chủ vốn là người ghét trẻ con, nên lão yêu cầu tất cả những ai dưới 15 tuổi đều phải ở tầng hầm của nhà kho, mà người lớn có thể quan sát được từ một ban công lớn bao quanh. Hơn thế nữa, cách duy nhất để bọn trẻ được ra khỏi tầng hầm của nhà kho là phải trả một lệ phí là 85 xu cho người gác cửa. (Lão chủ này đúng là một con quỷ tham lam). Còn người lớn, những người đã theo lời khuyên của ban tổ chức để mỗi người giữ tiền theo từng loại mệnh giá như đã mô tả ở trên, có thể cho tiền bọn trẻ con bằng một cách duy nhất là ném xuống từ ban công. Giờ chúng ta hãy xem điều gì sẽ xảy ra.

Người giữ những đồng xu 1/100 đôla bắt đầu ném xuống một số đồng,

nhưng tổng số tiền còn quá còm cõi chưa đủ để nộp lệ phí cho một đứa trẻ ra ngoài. Vì có cả một biển gần như là "vô hạn" bọn trẻ tranh giành quyết liệt để nhặt những đồng xu ném xuống, nên cho dù người giữ những đồng xu này có ném xuống khá nhiều đi nữa thì cũng không có đứa nào hội đủ 85 xu cần thiết để trả cho người gác. Điều này cũng đúng đối với những người giữ các đồng xu 1/20 và 1/4 đôla. Mặc dù mỗi người lớn có thể ném xuống khá nhiều đồng xu mà mình giữ, nhưng một đứa trẻ nhặt được thậm chí một đồng thôi cũng là may mắn rồi (còn thì phần lớn chẳng nhặt được gì) và chắc chắn không có đứa trẻ nào nhặt được đủ 85 xu cần thiết để đi ra khỏi tầng hầm. Nhưng sau đó, khi người giữ những tờ giấy bạc mệnh giá từ 1 đôla ném xuống, thậm chí với tổng số tiền khá nhỏ, chẳng hạn như ném từng tờ một xuống, thì những đứa trẻ may mắn nhặt được một tờ thôi là đã có thể ngay lập tức được đi ra ngoài. Cũng cần lưu ý rằng, mặc dù ngay cả khi người lớn đó thả cả một bọc tiền gồm những tờ 1 đôla xuống ngay một lúc thì số đứa trẻ được rời tầng hầm tăng lên rất lớn, nhưng mỗi đứa cũng chỉ còn lại đúng 15 xu sau khi đã trả phí cho người gác cổng. Điều này là đúng bất chấp tổng số các tờ đôla ném xuống là bao nhiêu.

Bạn có thể hỏi những điều nói trên thì có liên quan gì tới hiệu ứng quang điện? Dựa trên những dữ liệu thực nghiệm đã nói tới ở trên, Einstein đã đề nghị sáp nhập quan niệm của Planck về các gói năng lượng của sóng vào sự mô tả mới về ánh sáng. Một chùm sáng, theo Einstein, cần thực sự được xem như là một dòng các gói nhỏ - những hạt nhỏ bé của ánh sáng - mà sau này được nhà hóa học Gilbert Lewis gọi là các photon (một khái niệm mà chúng ta đã sử dụng trong ví dụ về đồng hồ ánh sáng ở Chương 2). Để có một ý niệm thang về độ lớn, theo quan niệm hạt nói trên về ánh sáng, xin nêu một ví dụ: một bóng đèn 100W bình thường phát ra một trăm tỷ tỷ (1020) photon trong 1 giây. Einstein đã dùng quan niệm này để đưa ra cơ chế vi mô của hiệu ứng quang điện. Theo ông, một electron được bắn ra khỏi bề mặt kim loại, nếu như nó va chạm với một photon có năng lượng đủ cao, nhưng cái gì xác định năng lượng của một photon riêng rẽ? Để giải thích các số liệu thực nghiệm, Einstein đi theo con đường mà Planck đã vạch ra và ông cho rằng năng lượng của mỗi photon tỷ lệ với tần số của sóng ánh sáng (với hệ số tỷ lệ đúng bằng hằng số Planck).

Bây giờ, giống như phí tối thiểu để được đi ra khỏi cổng của bọn trẻ con trong khu nhà kho mà ta mô tả ở trên, để được bắn ra khỏi bề mặt, các

electron trong kim loại cũng cần phải va chạm với một photon có một năng lượng tối thiểu nhất định. (Cũng như với bọn trẻ con tranh giành nhau quyết liệt để nhặt tiền, một electron cực kỳ ít có khả năng va chạm nào). Nhưng nếu tần số của chùm sáng chiếu tới là quá thấp, thì các photon riêng rẽ của nó không đủ năng lượng cần thiết để làm bắn electron ra ngoài. Cũng hệt như chẳng có đứa trẻ nào có thể được đi ra ngoài, bất chấp người lớn tung xuống một số lượng các đồng xu bằng bao nhiêu, ở đây cũng không có một electron nào được bắn ra ngoài, bất chấp năng lượng toàn phần chứa trong chùm sáng chiếu tới lớn đến mức nào, nếu như tần số (và do đó năng lượng của từng photon riêng rẽ) của nó là quá thấp.

Nhưng cũng giống như bọn trẻ có thể rời nhà kho ngay khi mệnh giá của tiền ném xuống là đủ lớn, các electron cũng được bắn ra khỏi bề mặt ngay khi năng lượng của ánh sáng chiếu tới, tức mệnh giá năng lượng của nó, là đủ cao. Hơn thế nữa, tương tự như người giữ những tờ 1 đôla tăng tổng lượng tiền cho bọn trẻ con bằng cách tăng số lượng những tờ 1 đôla được ném xuống, cường độ toàn phần của chùm sáng tới có tần số cho trước cũng được tăng bằng cách tăng số lượng các photon mà nó chứa. Và cũng như càng có nhiều tờ 1 đôla thả xuống thì càng có nhiều đứa trẻ được đi ra ngoài, ở đây càng có nhiều photon tới thì càng có nhiều electron bị va chạm và bị bắn ra ngoài bề mặt kim loại. Nhưng cũng cần lưu ý rằng, lượng năng lượng còn lại của mỗi electron đó sau khi ra ngoài kim loại chỉ phụ thuộc vào năng lượng photon mà nó va chạm, mà năng lượng này lại được xác định bởi tần số của chùm sáng tới, chứ không phải bởi cường độ của chùm sáng. Tương tự như bọn trẻ con rời tầng hầm với số tiền còn lại là 15 xu mỗi đứa, bất kể đã có bao nhiêu tờ 1 đôla được thả xuống, mỗi một electron ở đây rời bề mặt của kim loại với cùng một năng lượng, và do đó có cùng một vận tốc, bất kể cường độ toàn phần của chùm sáng chiếu tới bằng bao nhiêu. Lượng tiền thả xuống càng lớn, có nghĩa là có nhiều đứa trẻ được đi ra ngoài, tương tự như vậy, năng lượng toàn phần của chùm sáng tới càng lớn đơn giản có nghĩa là càng có nhiều electron bắn ra ngoài bề mặt kim loại. Nếu chúng ta muốn bọn trẻ đi ra ngoài tầng hầm với số tiền còn lại lớn hơn, chúng ta cần phải tăng mệnh giá của các tờ giấy bạc được thả xuống, tương tự như vậy, nếu chúng ta muốn các electron rời bề mặt kim loại với vận tốc lớn hơn, chúng ta cần phải tăng tần số của chùm sáng chiếu tới, tức là tăng mệnh giá năng lượng của các photon chiếu tới bề mặt kim loại.

Điều này hoàn toàn phù hợp với những dữ liệu thực nghiệm. Tần số của ánh sáng (tức màu sắc của nó) quyết định vận tốc của các electron bị bắn ra; còn cường độ toàn phần của chùm sáng quyết định số lượng các electron đó. Và như vậy, Einstein đã chứng tỏ được rằng ý tưởng của Planck về năng lượng được phân thành các bó thực sự phản ánh một đặc điểm cơ bản của các sóng điện từ: chúng được tạo thành từ các hạt photon hay còn gọi là các lượng tử ánh sáng. Sở dĩ năng lượng chứa trong các sóng được phân thành các bó chẳng qua là vì các sóng đó được tạo thành từ các lượng tử.

Phát minh của Einstein thể hiện một sự tiến bộ rất to lớn. Nhưng, như chúng ta sẽ thấy dưới đây, mọi chuyện còn chưa hoàn toàn suôn sẻ như ta tưởng.

Những thí nghiệm như vậy cho thấy các hạt của Einstein hoàn toàn khác các hạt của Newton. Không hiểu bằng cách nào mà các photon - mặc dù là các hạt - lại thể hiện cả những đặc điểm tựa như sóng của ánh sáng...

•◎Vậy rốt cuộc ánh sáng là sóng hay là hạt?

Ai cũng biết rằng nước - và từ đó cả những sóng nước - đều được tạo thành từ một số rất lớn các phân tử. Như vậy, liệu có đáng ngạc nhiên hay không nếu sóng ánh sáng cũng tạo bởi một số rất lớn hạt, cụ thể là các photon? Câu trả lời là có. Nhưng sự ngạc nhiên nằm trong các chi tiết. Bạn chắc đã biết, hơn ba trăm năm trước Newton đã khẳng định rằng ánh sáng gồm một dòng các hạt, vì vậy ý tưởng này không có gì là mới cả. Tuy nhiên, một số đồng nghiệp của Newton hồi đó, mà chủ yếu là nhà vật lý người Hà Lan Christian Huygens, đã không đồng ý với ông và cãi rằng ánh sáng là sóng. Cuộc tranh luận diễn ra gay gắt cho tới đầu thế kỷ XIX, khi mà những thí nghiệm của nhà vật lý người Anh Thomas Young được thực hiện vào những năm 1800 chứng minh được rằng Newton là sai.

Hình 4.3. Trong thí nghiệm Young, chùm sáng chiếu vào một màn chắn có hai khe, ánh sáng đi qua hai khe được ghi lại trên tấm kính ảnh khi một trong hai khe hoặc cả hai khe đều mở.

Sơ đồ thí nghiệm của Young, mà sau này người ta thường gọi là thí nghiệm hai khe, được minh họa trên Hình 4.3. Feynman rất thích nói

rằng, có thể thâu tóm được toàn bộ cơ học lượng tử từ sự nghiền ngẫm thấu đáo những hệ quả rút ra chỉ từ thí nghiệm này, và vì vậy nó đáng để chúng ta thảo luận ở đây. Như ta thấy từ Hình 4.3, ánh sáng được chiếu tới một màn chắn trên đó có hai khe hẹp. Một tấm kính ảnh đặt ở phía sau có nhiệm vụ chụp lại ánh sáng tới nó sau khi đã đi qua hai khe: vùng sáng hơn trên bức ảnh cho biết có nhiều ánh sáng tới đó hơn. Thí nghiệm có mục đích so sánh các hình chụp được trên kính ảnh khi một trong hai khe hoặc cả hai khe đều mở và có ánh sáng chiếu vào.

Hình 4.4. Trong thí nghiệm này khe bên phải mở còn khe bên trái bị chắn. Hình chụp được trên tấm kính như ta thấy trên hình vẽ.

Nếu che khe bên trái và mở khe bên phải, thì ảnh chụp được như ta thấy trên Hình 4.4. Điều này cũng thật dễ hiểu, bởi lẽ ánh sáng đập vào tấm kính ảnh phải đi qua chỉ một khe mở và do đó nó sẽ tập trung ở phần bên phải của tấm kính ảnh.

Hình 4.5. Như Hình 4.4, nhưng bây giờ khe bên trái mở còn khe bên phải bị chắn.

Tương tự, nếu ta che bên phải lại và mở khe bên trái, ảnh chụp được như ta thấy trên Hình 4.5. Nếu cả hai khe đều mở, quan niệm hạt về ánh sáng của Newton sẽ tiên đoán rằng bức ảnh chụp được như ta thấy trên Hình 4.6, tức là nó là gộp của hai Hình 4.4 và 4.5.

Hình 4.6. Quan điểm hạt về ánh sáng của Newton tiên đoán rằng khi cả hai khe đều mở, hình chụp được trên kính ảnh là gộp của hai ảnh trên các Hình 4.4 và 4.5.

Về căn bản, nếu bạn nghĩ về các hạt ánh sáng của Newton như là những viên đạn bi nhỏ mà bạn bắn lên tường, thì những viên đi qua sẽ tập trung vào hai vùng nằm song song với hai khe, tựa như hai vùng sáng trên Hình 4.6. Ngược lại, khi hai khe đều mở, thì quan niệm sóng về ánh sáng lại dẫn tới một tiên đoán hoàn toàn khác. Bây giờ chúng ta sẽ xem nó khác như thế nào.

Bây giờ hãy tạm hình dung thay vì dùng các sóng ánh sáng ta sử dụng sóng nước. Kết quả mà chúng ta tìm thấy cũng sẽ hệt như thế, chỉ có điều với sóng nước chúng ta dễ hình dung hơn mà thôi. Khi sóng nước đập vào một vách chắn, các sóng tròn đi ra từ mỗi khe trên vách rất giống như các sóng tạo thành khi ta ném một viên sỏi xuống hồ như

được minh họa trên Hình 4.7.

(Thí nghiệm này bạn có thể tự làm không khó khăn gì bằng cách dùng một tấm bìa cáctông rạch sẵn hai khe rồi nhúng trong một chậu nước). Do các sóng ló ra từ hai khe chồng chập lên nhau, bạn sẽ thấy xuất hiện một điều khá lý thú. Tại những chỗ có hai đỉnh sóng chồng lên nhau, thì độ cao của sóng nước tại đó tăng lên. Nó chính là tổng độ cao của hai đỉnh sóng nước thành phần. Tương tự, tại những chỗ có hai hõm sóng chồng lên nhau, thì độ sâu của hõm sóng cũng tăng. Và cuối cùng nếu đỉnh sóng ló ra từ một khe chồng lên một hõm sóng ló ra từ khe khác, thì chúng sẽ triệt tiêu nhau. (Thực tế, ý tưởng này chính là cơ sở để chế tạo các tai nghe tinh xảo có khử nhiễu: chúng đo hình dạng của sóng âm tới rồi tạo ra một dạng khác của nó nhưng "ngược" hoàn toàn, để cho chúng triệt tiêu lẫn nhau).

Hình 4.7 Các sóng nước tròn ló ra từ hai khe chồng lên nhau tạo ra sóng tổng hợp được tăng cường ở một số nơi và yêu đi ở một số nơi khác.

Ở giữa chừng xảy ra sự chồng lên nhau đặc biệt nói ở trên, cụ thể là đỉnh chồng lên đỉnh, hõm chồng lên hõm và đỉnh chồng lên hõm, là những chỗ xảy ra sự tăng độ cao hoặc triệt tiêu nhau một phần. Nếu bạn cùng với một nhóm bạn bè đặt một số chiếc thuyền giấy nằm thẳng hàng song song với vách chắn rồi mỗi người quan sát và nói một cách chính xác con thuyền của mình dập dềnh hay yếu thế nào khi sóng tổng hợp đi qua thì bạn sẽ nhận được kết quả giống như minh họa ở phần bên phải của Hình 4.7. Những nơi mà thuyền dập dềnh mạnh là ở đó đỉnh (hoặc hõm) của sóng từ hai khe chồng lên nhau; những nơi mà thuyền dập dềnh nhỏ nhất hoặc gần như đứng yên là ở đó đỉnh của sóng từ khe này chồng lên hõm sóng tới từ khe kia và chúng sẽ khử lẫn nhau.

Vì tấm kính ảnh ghi lại nó bị ánh sáng tới làm cho "dập dềnh" mạnh tới mức nào, nên nếu áp dụng y xì những lập luận ở trên cho các sóng ánh sáng, thì ta sẽ thấy rằng, khi cả hai khe đều mở, bức ảnh mà ta chụp được sẽ nhìn

Hình 4.8 Nếu ánh sáng là sóng, thì khi cả hai khe đều mở, sẽ có sự giao thoa giữa các sóng tới từ hai khe.

giống như trên Hình 4.8. Những vùng sáng nhất trên Hình 4.8 là những nơi các đỉnh (hoặc hõm) sóng tới từ hai khe chồng lên nhau. Còn những

vùng tối là những nơi mà đỉnh sóng tới từ khe này chồng lên hõm sóng tới từ khe kia và triệt tiêu lẫn nhau. Dãy những vạch sáng và tối xen kẽ nhau được gọi là bức tranh các vân giao thoa. Hiển nhiên, bức ảnh này khác hẳn với bức ảnh trên Hình 4.6 và như vậy là ta có một thí nghiệm phân biệt được quan niệm hạt và quan niệm sóng về ánh sáng. Young đã thực hiện thí nghiệm trên và những kết quả của ông hoàn toàn phù hợp với Hình 4.8, do đó nó khẳng định tính đúng đắn của quan niệm sóng. Như vậy, quan niệm hạt về ánh sáng của Newton đã thất bại (mặc dù cũng phải mất một thời gian khá dài nữa các nhà vật lý mới chấp nhận điều đó). Và sau đó, Maxwell đã xây dựng một cơ sở toán học vững chắc cho quan điểm sóng vừa chiến thắng.

Nhưng Einstein, người đã từng lật đổ lý thuyết đầy uy tín về hấp dẫn của Newton, dường như giờ đây lại phục hồi mô hình hạt về ánh sáng của Newton bằng cách đưa vào các hạt photon. Tất nhiên, chúng ta vẫn phải đối mặt với chính câu hỏi trước đây: quan niệm hạt về ánh sáng làm thế nào có thể giải thích được bức tranh giao thoa trên Hình 4.8? Thoạt nhìn, bạn có thể đưa ra gợi ý sau: thì nước chả gồm các phân tử H2O và các hạt này chả là "hạt" của nước là gì. Thế mà khi nhiều phân tử này chuyển động cùng với nhau, chúng vẫn có thể tạo nên sóng nước với những tính chất giao thoa như được minh họa trên Hình 4.7 đấy thôi. Và như vậy, vẫn sẽ là hợp lý nếu ta tiên đoán rằng những tính chất sóng, như bức tranh giao thoa chẳng hạn, vẫn có thể xuất hiện từ quan niệm hạt về ánh sáng, miễn là có sự tham gia của một số rất lớn các hạt photon, tức các hạt ánh sáng.

Tuy nhiên, trong thực tế, thế giới vi mô còn tinh quái hơn thế nhiều. Ngay cả khi cường độ của nguồn sáng trên Hình 4.8 giảm dần dần tới mức các photon riêng rẽ lần lượt từng hạt một được phóng tới màn chắn, chẳng hạn với tốc độ 1 hạt trong 10 giây, thì bức ảnh thu được vẫn còn giống như trên Hình 4.8. Nếu chúng ta đợi đủ lâu để cho một số lớn các bó ánh sáng rời biệt này (tức các photon - ND) có đủ thời gian đi qua hai khe và mỗi photon được ghi lại bằng một chấm duy nhất ở nơi chúng đập vào kính ảnh, thì những chấm này sẽ tích tụ và tạo nên hình ảnh của bức tranh giao thoa như trên Hình 4.8. Điều này thật đáng ngạc nhiên. Làm thế nào mà những hạt photon riêng rẽ lần lượt đi qua màn chắn và đập riêng rẽ lên kính ảnh lại có thể đồng mưu với nhau để tạo nên các vân sáng và tối của sóng giao thoa? Những suy luận thông thường nói với chúng ta rằng mỗi photon hoặc là đi qua khe bên trái

hoặc là đi qua khe bên phải, do đó chúng ta chờ đợi sẽ nhận được bức tranh như trên Hình 4.6. Nhưng thực tế lại không phải như vậy.

Nếu như bạn không hề cảm thấy ngạc nhiên trước sự kiện này của tự nhiên, thì điều đó có nghĩa là, hoặc bạn đã từng biết nó từ trước và cảm thấy nhàm chán hoặc là sự trình bày của chúng tôi chưa đủ gây ấn tượng cho bạn. Nếu đó là trường hợp thứ hai, thì chúng tôi xin mô tả lại một lần nữa, nhưng theo một cách hơi khác. Bây giờ bạn hãy bịt khe bên trái lại, và bắn các photon từng hạt một tới màn chắn. Một số hạt sẽ đi qua được và một số hạt thì không. Những hạt đi qua khe sẽ tạo trên kính ảnh từng chấm một và cuối cùng ta sẽ nhận được hình như trên Hình 4.4. Sau đó, bạn thay tấm kính ảnh mới và làm lại thí nghiệm trên, nhưng lần này cả hai khe đều mở. Gần như là tự nhiên bạn sẽ nghĩ rằng, điều này chỉ làm tăng số photon đi qua các khe trên màn chắn và đập vào kính ảnh, do đó phim được phơi sáng nhiều hơn so với lần thí nghiệm đầu tiên. Nhưng khi xem xét bức ảnh nhận được sau đó, bạn mới thấy rằng không những chỉ có những chỗ mà trong lần thí nghiệm thứ nhất là tối thì bây giờ là sáng đúng như ta chờ đợi, mà còn có những chỗ trên kính ảnh là sáng trong lần thí nghiệm thứ nhất thì bây giờ lẽ ra phải là sáng hơn, nhưng thực tế lại là tối, như ta thấy trên Hình 4.8. Bằng cách tăng số photon riêng rẽ đập vào kính ảnh, bạn lại làm giảm độ sáng trong một số vùng nào đó. Hóa ra, bằng cách nào đó, các hạt photon tách biệt nhau về thời gian lại có thể triệt tiêu lẫn nhau. Bạn hãy thử nghĩ xem, lẽ nào điều này lại không điên rồ hay sao: các photon đi qua hai khe bên phải rồi đập vào kính ảnh và tạo một chấm sáng ở đúng chỗ một vân tối trên Hình 4.8 lại không làm được như vậy khi mở cả khe bên trái (chính vì thế mới có vân tối này khi mở cả hai khe). Nhưng làm thế nào mà một photon đi qua khe bên phải lại chịu ảnh hưởng của việc khe bên trái có mở hay không. Như Feynman đã từng nhận xét, điều này cũng lạ lùng như khi bạn bắn súng máy lên màn chắn và khi cả hai khe đều mở, những viên đạn được bắn độc lập và tách rời nhau bằng cách nào đó lại có thể triệt tiêu nhau và để lại trên bia những vị trí còn nguyên vẹn, mặc dù khi mở chỉ một khe những vị trí đó đều bị đạn bắn vào.

Những thí nghiệm như vậy cho thấy các hạt của Einstein hoàn toàn khác các hạt của Newton. Không hiểu bằng cách nào mà các photon - mặc dù là các hạt - lại thể hiện cả những đặc điểm tựa như sóng của ánh sáng. Việc năng lượng của các hạt này được xác định bởi tần số - một

đặc trưng của sóng - chính là manh mối đầu tiên cho sự kết hợp lạ lùng đó. Hiệu ứng quang điện chứng tỏ rằng ánh sáng có tính chất hạt. Thí nghiệm hai khe lại chứng minh rằng ánh sáng thể hiện những tính chất giao thoa của các sóng. Gộp cả hai lại, chúng chứng tỏ rằng ánh sáng có cả tính chất sóng lẫn tính chất hạt. Thế giới vi mô yêu cầu phải vứt bỏ trực giác của chúng ta cho rằng một vật nào đó chỉ có thể sóng hoặc chỉ có thể là hạt và chấp nhận khả năng nó đồng thời là cả hai. Chính ở đây, tuyên bố của Feynman nói rằng "không ai có thể hiểu được cơ học lượng tử" mới thể hiện hết ý nghĩa của nó. Chúng ta có thể phát biểu những cụm từ như "lưỡng tính sóng hạt". Chúng ta có thể phiên các từ này thành một hình thức luận toán học có khả năng mô tả được những thí nghiệm trong thế giới thực với một độ chính xác đáng kinh ngạc. Nhưng hiểu được ở mức trực giác và sâu xa đặc tính bí ẩn này của thế giới vi mô là một việc cực kỳ khó khăn.

...Cũng giống như giá trị lớn của vận tốc ánh sáng c đã làm che lấp bản chất đích thực của không gian và thời gian, giá trị cực nhỏ của h cũng làm che lấp những khía cạnh sóng của vật chất trong thế giới hằng ngày của chúng ta...

•◎Các hạt vật chất cũng là sóng

Trong vài ba thập kỷ đầu tiên của thế kỷ XX, nhiều nhà vật lý lý thuyết đã phải vật lộn không mệt mỏi để phát triển một sự hiểu biết vững chắc về mặt toán học và phù hợp về mặt vật lý đối với những đặc điểm tới lúc đó vẫn đang còn ẩn giấu của thực tại vi mô. Chẳng hạn, dưới sự lãnh đạo của Niels Bohr ở Copenhagen, người ta đã đạt được sự tiến bộ rất căn bản trong việc giải thích những tính chất của ánh sáng do các nguyên tử hiđrô bị đốt nóng phát ra. Nhưng công trình này và các công trình khác công bố khoảng giữa những năm 1920, chỉ là sự lắp ghép tạm thời các ý tưởng của thế kỷ XIX với khái niệm lượng tử mới được tìm ra chứ chưa phải là một khuôn khổ nhất quán cho phép mô tả được thế giới vật lý. So với khuôn khổ lôgic và rõ ràng của các định luật về chuyển động của Newton hay lý thuyết điện từ của Maxwell, thì lý thuyết lượng tử mới xây dựng được một phần vẫn còn đang ở trong tình trạng rối bời.

Năm 1923, một nhà quý tộc trẻ tuổi người Pháp, hoàng tử Louis de Broglie đã đưa một yếu tố mới vào mớ hỗn độn lượng tử, một yếu tố đã giúp đỡ rất nhiều cho việc nhanh chóng xây dựng được một khuôn khổ

toán học cho cơ học lượng tử hiện đại và nhờ thế ông đã được trao giải thưởng Nobel về vật lý vào năm 1929. Dựa trên chuỗi những suy luận bắt nguồn từ thuyết tương đối hẹp của Einstein, Louis de Broglie đã đề xuất rằng lưỡng tính sóng hạt không chỉ áp dụng cho ánh sáng mà còn cho cả vật chất nữa. Nói một cách nôm na, thì ông đã lập luận như sau: công thứ E = mc2 của Einstein liên hệ khối lượng với năng lượng, mặt khác Planck và Einstein lại liên hệ năng lượng với tần số của sóng, từ đó, bằng cách kết hợp hai mối liên hệ vừa nêu, suy ra khối lượng cũng có thể hóa thân dưới dạng sóng. Sau khi nghiên cứu một cách thận trọng theo đường lối suy nghĩ đó, ông đã đề xuất rằng, cũng như ánh sáng là một hiện tượng sóng được lý thuyết lượng tử chứng tỏ nó còn có cả cách mô tả hạt cũng có giá trị không kém, thì nay electron, vốn thường được xem là hạt - cũng còn một cách mô tả sóng và có giá trị không kém. Einstein ngay lập tức ủng hộ ý tưởng của de Broglie, ví nó chính là sự phát triển tự nhiên từ những công trình của ông về thuyết tương đối và photon. Tuy nhiên, thậm chí như vậy đi nữa, cũng không có gì có thể thay thế được sự chứng minh bằng thực nghiệm. Và chẳng bao lâu sau, Clinton Davisson và Lester Germer đã thực hiện được sự chứng minh đó.

Vào giữa những năm 1920, Davisson và Germer, hai nhà vật lý thực nghiệm làm việc tại công ty Bell Telephone, đã tiến hành nghiên cứu bắn một chùm electron lên một tấm niken. Chi tiết duy nhất quan trọng đối với chúng ta, đó là các tinh thể niken trong những thí nghiệm như thế có tác dụng rất giống với hai khe trong thí nghiệm của Young mà ta đã xét ở mục trước. Thực tế, bạn hoàn toàn có quyền xem thí nghiệm này y hệt như thí nghiệm của Young chỉ có khác là bây giờ chùm electron được sử dụng thay cho chùm sáng. Và chúng ta chấp nhận sẽ làm như vậy. Để quan sát và xem xét các electron sau khi cho chúng đi qua hai khe, Davisson và Germer cho chúng đập vào một màn huỳnh quang, màn này có tác dụng ghi lại vị trí mà mỗi electron đập vào bằng một chấm sáng (hệt như đã xảy ra trong máy thu hình). Và họ đã phát hiện được một điều hết sức lý thú, đó là bức tranh mà họ thu được rất giống với bức tranh trên Hình 4.8. Do vậy, thí nghiệm của họ đã chứng minh được rằng các electron cũng làm nảy sinh hiện tượng giao thoa, một dấu hiệu đặc trưng của các sóng. Tại những vết tối trên màn huỳnh quang, các electron bằng cách nào đó "triệt tiêu lẫn nhau" giống như sự chồng lên nhau của một đỉnh và một hõm sóng nước. Thậm chí ngay cả khi chùm electron được bắn ra "thưa thớt" tới mức, chẳng hạn chỉ 1

electron bắn ra trong 1 giây, thì các electron riêng rẽ, mặc dù mỗi lần chỉ tạo nên một vết, nhưng cũng vẫn sẽ tạo thành những vân tối và vân sáng. Cũng như với photon, các electron riêng rẽ bằng cách nào đó "giao thoa" với nhau, theo nghĩa là sau một khoảng thời gian, các electron cũng sẽ tạo dựng thành một bức tranh giao thoa gắn liền với các sóng. Vì vậy, chúng ta buộc phải đi tới kết luận rằng mỗi một electron cũng thể hiện đặc tính sóng cùng với đặc tính hạt vốn quen thuộc hơn của nó.

Mặc dù chúng ta đã mô tả điều này chỉ đối với electron, nhưng những thí nghiệm tương tự đã dẫn chúng ta tới kết luận rằng toàn bộ vật chất đều có đặc tính sóng. Nhưng kết luận đó làm thế nào có thể phù hợp với kinh nghiệm hằng ngày của chúng ta về vật chất vốn được xem là rắn, bền vững và chẳng có một chút gì giống với sóng cả? Thật hay là de Broglie đã đưa ra một công thức tính bước sóng của vật chất và nó cho thấy rằng bước sóng này tỷ lệ với hằng số Planck h. (Nói một cách chính xác, bước sóng bằng hằng số Planck chia cho một động lượng của vật). Vì h có giá trị cực nhỏ, nên các bước sóng cũng cực kỳ nhỏ so với thang hằng ngày của chúng ta. Điều này giải thích tại sao đặc tính sóng của vật chất chỉ được thể hiện rõ rệt trong những nghiên cứu vi mô. Cũng giống như giá trị lớn của vận tốc ánh sáng c đã làm che lấp bản chất đích thực của không gian và thời gian, giá trị cực nhỏ của h cũng làm che lấp những khía cạnh sóng của vật chất trong thế giới hằng ngày của chúng ta.

Cơ học lượng tử đưa khái niệm xác suất vào Vũ trụ ở một mức độ sâu xa hơn nhiều. Theo Born và những thực nghiệm của hơn một nửa thế kỷ sau đó, bản chất sóng của vật chất dẫn tới hệ quả rằng chính bản thân vật chất cần phải được mô tả ở mức cơ bản theo xác suất...

•◎Nhưng các sóng tạo bởi cái gì?

Hiện tượng giao thoa được phát hiện trong thí nghiệm của Davisson và Germer đã làm cho bản chất sóng của các electron trở nên hiển nhiên. Nhưng các sóng đó tạo bởi cái gì? Lúc đầu, nhà vật lý người áo Erwin Schrodinger cho rằng các sóng đó là những electron bị "nhoè" ra. Điều này cũng cho được một ý niệm nào đó về các sóng electron, nhưng còn quá thô thiển. Khi bạn làm cho một vật nào đó nhoè ra, thì nó một phần phải ở đây một phần phải ở kia. Tuy nhiên, người ta chưa bao giờ gặp một phần hai, một phần ba hay một phần nào khác của electron cả. Điều

đó khiến cho ta khó có thể hiểu nổi electron bị nhoè ra thực sự như thế nào. Năm 1926, nhà vật lý người Đức Max Born đã đưa ra một cách hiểu khác sau khi đã cải tiến triệt để cách giải thích của Schrodinger. Và cách giải thích đó của Born (sau đó đã được Bohr và các đồng nghiệp của ông khuếch trương) vẫn còn được dùng cho tới hiện nay. Đề xuất của Born là một trong số những đặc điểm lạ lùng nhất của lý thuyết lượng tử, nhưng nó đã được rất nhiều dữ liệu thực nghiệm xác nhận. Born khẳng định rằng sóng electron cần phải được giải thích trên quan điểm xác suất. Những nơi mà độ lớn (chính xác hơn là bình phương độ lớn) của sóng lớn là những nơi thường tìm thấy electron ở đó hơn; còn những nơi mà độ lớn của sóng nhỏ là những nơi ít có khả năng tìm thấy electron ở đó. Một ví dụ được minh họa trên Hình 4.9.

Hình 4.9. Sóng gắn với electron là lớn nhất ở những nơi thường hay tìm thấy nó nhất và sóng dần dần nhỏ hơn ở những nơi ít tìm thấy nó hơn.

Đây đúng là một ý tưởng kỳ dị. Xác suất thì có liên quan gì tới một lý thuyết cơ bản của vật lý? Chúng ta vốn đã quen với xác suất của các cuộc đua ngựa, của việc tung đồng tiền sấp ngửa và của bàn cờ quay (rulet), nhưng trong những trường hợp đó, điều này chỉ phản ánh sự hiểu biết không đầy đủ của chúng ta mà thôi. Nếu chúng ta biết một cách chính xác tốc độ của vòng rulet, trọng lượng và độ cứng của viên bi đá, điểm rơi và vận tốc của viên bi đó khi thả xuống, những đặc tính chính xác của vật liệu tạo nên các ô ngăn v.v..., thì nhờ các máy tính đủ mạnh và dựa trên vật lý cổ điển, chúng ta có thể tính được chắc chắn viên bi sẽ dừng lại ở ô nào. Sự hoạt động của các sòng bạc là dựa vào chỗ bạn không có khả năng biết được tất cả các thông tin đó và không thực hiện được các tính toán cần thiết trước khi đặt tiền. Nhưng chúng ta thấy rằng xác suất, như ta gặp trong các sòng bạc, không phản ánh một điều gì đặc biệt cơ bản về sự hoạt động của Vũ trụ cả.

Trái lại, cơ học lượng tử đưa khái niệm xác suất vào Vũ trụ ở một mức độ sâu xa hơn nhiều. Theo Born và những thực nghiệm của hơn một nửa thế kỷ sau đó, bản chất sóng của vật chất dẫn tới hệ quả rằng chính bản thân vật chất cần phải được mô tả ở mức cơ bản theo xác suất. Đối với các vật vĩ mô, như cốc cà phê hay vòng rulet, quy tắc của de Broglie cho thấy rằng đặc tính sóng của chúng thực sự là không thể nhận biết được và đối với phần lớn các mục đích thông thường, thì xác suất gắn liền với cơ học lượng tử có thể hoàn toàn không cần đếm xỉa đến.

Nhưng ở cấp độ vi mô, chúng ta biết rằng điều tốt nhất mà chúng ta có thể làm được là nói rằng xác suất để tìm thấy các electron ở một vị trí cụ thể nào đó bằng bao nhiêu.

Cách giải thích xác suất có ưu điểm là nếu như sóng electron có những tính chất như các sóng khác có thể làm được, chẳng hạn như khi đập vào một vật chướng ngại nó tạo ra tất cả các loại gợn sóng khác nhau, thì điều đó không có nghĩa là bản thân electron bị vỡ thành các mảnh riêng rẽ. Mà đúng ra, điều đó nói lên rằng, bây giờ có nhiều vị trí mà xác suất tìm thấy electron ở đó là khác không. Thực tế, điều này có nghĩa là nếu một thí nghiệm cụ thể nào đó về electron được lặp đi lặp lại nhiều lần theo một cách hoàn toàn như nhau, thì mỗi một lần, phép đo vị trí của electron chẳng hạn, sẽ không cho cùng một kết quả. Thay vì thế, sự lặp đi lặp lại liên tiếp của thí nghiệm sẽ cho ta một tập hợp những giá trị khác nhau với tính chất là, số lần electron được tìm thấy tại một vị trí đã cho sẽ do dạng sóng xác suất của nó quyết định. Nếu như sóng xác suất (chính xác hơn là bình phương sóng xác suất) ở vị trí A lớn hơn ở vị trí B hai lần, thì lý thuyết tiên đoán rằng trong dãy lặp lại nhiều lần của thí nghiệm, electron sẽ có mặt tại A hai lần thường xuyên hơn ở B. Chúng ta không thể nào tiên đoán một cách chính xác kết cục của thí nghiệm, điều tốt nhất mà chúng ta có thể làm là tiên đoán được xác suất mà một kết cục nào đó có thể xảy ra.

Tuy vậy, chừng nào mà chúng ta xác định được bằng toán học dạng của các sóng xác suất, thì những tiên đoán có tính chất xác suất vẫn có thể kiểm chứng được bằng cách lặp lại thí nghiệm nhiều lần, từ đó đo được bằng thực nghiệm xác suất nhận được một kết quả này hay khác. Chỉ ít tháng sau đề xuất của de Broglie, Schrodinger đã đi một bước quyết định tiến tới mục đích đó bằng cách thiết lập phương trình chi phối dạng và sự tiến hóa của các sóng xác suất theo thời gian hay như người ta đặt tên cho nó là các hàm sóng. Điều này xảy ra không lâu trước khi phương trình Schrodinger và cách giải thích xác suất của Born được ứng dụng và dẫn tới những tiên đoán cực kỳ chính xác. Do đó mà từ năm 1927, sự vô tư trong trắng kinh điển đã không còn nữa. Đã qua rồi những ngày Vũ trụ hoạt động như một bộ máy đồng hồ, mà mỗi phần tử cấu thành riêng biệt của nó được đưa vào vận hành tại một thời điểm nào đó trong quá khứ và mẫn cán thực thi cái số phận đã được xác định một cách duy nhất và không tránh khỏi của mình. Theo cơ học lượng tử, Vũ trụ tiến hóa theo một hình thức luận toán học chính xác và chặt chẽ,

nhưng lý thuyết đó chỉ xác định được xác suất để một tương lai cụ thể nào đó có thể sẽ xảy ra, chứ không chỉ ra được thực sự là tương lai nào.

Nhiều người cho rằng kết luận này là đáng lo ngại và thậm chí không thể chấp nhận được. Trong số đó có cả Einstein. Một trong những phát biểu được truyền tụng nhiều nhất của vật lý học là phát biểu trong đó Einstein cảnh báo lý thuyết lượng tử: "Chúa không chơi trò xúc xắc với Vũ trụ". Ông cảm thấy rằng xác suất xuất hiện trong vật lý cơ bản, chẳng qua cũng bởi vì cái lý do mà nó đã xuất hiện bên vòng rulet chỉ có điều tinh tế hơn mà thôi: đó là có một sự thiếu sót căn bản trong sự hiểu biết của chúng ta. Vũ trụ, theo quan niệm của Einstein, không có chỗ cho một tương lai mà dạng chính xác của nó lại liên quan tới một yếu tố may rủi. Vật lý phải tiên đoán được Vũ trụ tiến hóa như thế nào chứ không đơn giản chỉ là xác suất để có một khả năng tiến hóa nào đó có thể xảy ra. Nhưng hết thí nghiệm này tới thí nghiệm khác, trong đó có những thí nghiệm có sức thuyết phục nhất được thực hiện sau khi ông qua đời, đã khẳng định một cách dứt khoát rằng Einstein đã sai lầm. Về điểm này, đúng là nhà vật lý người Anh Stephen Hawking đã nói: "Einstein đã nhầm lẫn chứ không phải là thuyết lượng tử" [1].

Tuy nhiên, cuộc tranh luận về ý nghĩa thực sự của cơ học lượng tử vẫn tiếp tục còn gay gắt không hề giảm bớt. Tất cả mọi người đều nhất trí về cách dùng các phương trình của cơ học lượng tử để đưa ra những tiên đoán chính xác. Nhưng lại không nhất trí về chuyện việc có hàm sóng xác suất là thực sự có ý nghĩa gì, hoặc làm thế nào mà một hạt lại có thể "chọn" đi theo một trong số rất nhiều tương lai khả dĩ hoặc về chuyện nó có thực sự chọn lựa hay chỉ là tách ra như một phụ lưu để sống tất cả những tương lai khả dĩ trong vô vàn những Vũ trụ song song. Chỉ riêng những vấn đề này đã xứng đáng là đề tài của cả một cuốn sách dày và thực tế đã có những cuốn sách rất tuyệt vời ủng hộ những cách suy nghĩ này hay khác về cơ học lượng tử. Nhưng có một điều chắc chắn, đó là bất kể bạn giải thích cơ học lượng tử như thế nào đi nữa, thì nó cũng luôn chứng tỏ một cách không thể phủ nhận được rằng, nếu đứng trên quan điểm của kinh nghiệm hằng ngày của chúng ta, thì Vũ trụ được xây dựng trên những nguyên tắc hết sức bí ẩn.

"Siêu" bài học rút ra từ lý thuyết tương đối cũng như cơ học lượng tử, đó là khi thăm dò sâu vào hoạt động ở mức cơ bản của Vũ trụ, chúng ta sẽ vấp phải những khía cạnh hoàn toàn khác lạ với sự chờ đợi của

chúng ta. Sự mạnh dạn đặt ra những câu hỏi sâu sắc như vậy đòi hỏi một sự mềm dẻo chưa thể tiên liệu được, nếu như chúng ta cần phải chấp nhận câu trả lời.

[1] Stephen Hawking, Bài giảng tại Hội nghị về Hấp dẫn, Lỗ đen và Lý thuyết dây, Amsterdam, tháng 7/1997.

Feynman tuyên bố rằng mỗi electron tới được màn huỳnh quang thực sự đã đi qua cả hai khe. Điều này nghe có vẻ điên rồ, nhưng bạn hãy kiên nhẫn một chút: có những điều còn điên rồ hơn thế nữa kia...

•◎Quan điểm của Feynman

Richard Feynman là một trong số những nhà vật lý vĩ đại nhất sau Einstein. Ông đã hoàn toàn chấp nhận cái lõi xác suất của cơ học lượng tử, nhưng trong những năm sau Đại chiến thế giới lần thứ 2, ông đã đưa ra một cách suy nghĩ mới rất có hiệu quả về lý thuyết này. Trên phương diện những tiên đoán bằng số, thì quan điểm của Feynman phù hợp một cách chính xác với tất cả những gì đã có trước đó. Nhưng cách trình bày của ông hoàn toàn khác. Ta sẽ mô tả cách trình bày này trong bối cảnh của thí nghiệm hai khe đối với electron.

Điều gây phiền phức trên Hình 4.8, đó là chúng ta hình dung rằng mỗi electron đi qua hoặc là khe bên trái hoặc là khe bên phải và do đó chúng ta chờ đợi kết quả thu được sẽ là gộp của hai Hình 4.4 và 4.5 như minh hoạ trên Hình 4.6. Một electron khi đi qua khe bên phải sẽ không cần phải quan tâm có tồn tại khe bên trái hay không và ngược lại. Nhưng thực tế lại không phải như vậy. Bức tranh giao thoa tạo thành đòi hỏi phải có sự hoà trộn và chồng lên nhau của một cái gì đó nhạy cảm với sự tồn tại của hai khe, ngay cả khi chúng ta bắn ra từng electron một. Schrodinger, de Broglie và Born đã giải thích hiện tượng này bằng cách gắn một sóng xác suất cho mỗi electron. Giống như các sóng nước trên Hình 4.7, các sóng xác suất của electron "thấy" cả hai khe và chúng là đối tượng của cùng một loại giao thoa, hậu quả hòa trộn giữa chúng với nhau. Những chỗ mà sóng xác suất tăng khi hòa trộn với nhau giống như những chỗ dập dềnh mạnh trên Hình 4.7, đó là những nơi electron thường có mặt hơn; còn những chỗ mà sóng xác suất giảm, thì giống như những chỗ dập dềnh ít nhất hoặc không dập dềnh trên Hình 4.7, tại đó ít có khả năng tìm thấy electron hoặc không bao giờ tìm thấy nó. Các electron này đập vào màn huỳnh quang từng hạt một, được phân bố

theo biên dạng xác suất đó và bằng cách đó tạo dựng nên bức tranh giao thoa giống như trên Hình 4.8.

Feynman đã chọn một chiến thuật khác. Ông đã đặt lại vấn đề về giả thuyết cổ điển cho rằng mỗi electron chỉ có thể hoặc đi qua khe bên trái hoặc đi qua khe bên phải. Bạn có thể nghĩ rằng từ bỏ một tính chất cơ bản và hiển nhiên như thế của sự vật thì thật là nực cười. Xét cho cùng, thì lẽ nào ta không thể quan sát trong khoảng giữa các khe và màn huỳnh quang để xác định electron đã đi qua khe nào hay sao? Bạn hoàn toàn có thể. Nhưng bây giờ bạn lại làm thay đổi điều kiện của thí nghiệm mất rồi. Để quan sát electron, bạn phải làm một điều gì đó đối với nó, ví dụ như chiếu sáng nó chẳng hạn, nói cách khác là cho các photon đập vào nó. Trong cuộc sống hằng ngày, photon là những hạt thử nhỏ bé, nên khi đập vào cây cối, những bức tranh hay con người thì chúng không gây ra tác dụng căn bản nào đối với trạng thái chuyển động của những vật thể vật chất to lớn đó. Nhưng các electron lại là những mẩu vật chất cực nhỏ. Khi bạn tiến hành xác định khe mà electron đi qua, thì dù bạn có thận trọng tới mức nào đi nữa, thì các photon đập vào electron nhất thiết sẽ làm cho chuyển động sau đó của nó thay đổi. Nhưng sự thay đổi đó của chuyển động lại sẽ làm cho kết quả của thí nghiệm thay đổi. Nếu bạn làm nhiễu động thí nghiệm tới mức đủ để xác định được electron đi qua khe nào, thì các thí nghiệm sẽ cho thấy rằng kết quả sẽ thay đổi từ Hình 4.8 thành Hình 4.6! Thế giới lượng tử đảm bảo rằng một khi ta đã xác lập được mỗi electron đi qua khe bên trái hay khe bên phải, thì sự giao thoa giữa hai khe cũng sẽ biến mất.

Và như vậy, Feynman hoàn toàn có cơ sở để gạt bỏ sự thách thức đó, bởi vì, mặc dù kinh nghiệm hằng ngày của chúng ta đòi hỏi mỗi electron chỉ đi qua khe này hoặc khe kia, nhưng đến cuối những năm 1920, các nhà vật lý đã thấy rằng mọi ý định kiểm chứng tính chất dường như cơ bản đó của thực tại đều làm hỏng thí nghiệm.

Feynman tuyên bố rằng mỗi electron tới được màn huỳnh quang thực sự đã đi qua cả hai khe. Điều này nghe có vẻ điên rồ, nhưng bạn hãy kiên nhẫn một chút: có những điều còn điên rồ hơn thế nữa kia. Feynman lập rằng khi đi từ nguồn tới một điểm đã cho trên màn huỳnh quang, mỗi electron riêng rẽ thực sự đã đồng thời đi theo mọi quỹ đạo khả dĩ; một quỹ đạo này được minh họa trên Hình 4.10. Nó đi một cách

khá "nghiêm chỉnh" qua khe bên trái. Nhưng đồng thời nó cũng đi một cách khá nghiêm chỉnh qua khe bên phải. Có thể nó tiến tới khe bên trái, rồi đột ngột thay đổi hướng đi qua khe bên phải. Nó cũng có thể đi lui nhiều lần rồi cuối cùng mới đi qua khe bên trái. Có thể nó đi theo một hành trình dài tới tận thiên hà Andromeda trước khi trở về đi qua khe bên trái để tới màn huỳnh quang. Và còn nhiều quỹ đạo khác nữa. Theo Feynman, electron "nếm trải" hết mọi quỹ đạo khả dĩ nối điểm xuất phát với đích cuối cùng của nó.

Hình 4.10 Theo cách trình bày cơ học lượng tử của Feynman, cần phải xem rằng các hạt đi từ điểm này tới điểm khác theo mọi quỹ đạo khả dĩ. Trên hình vẽ một ít trong số vô hạn các quỹ đạo khả dĩ từ nguồn tới màn huỳnh quang. Chú ý rằng electron này thực sự đi qua cả hai khe.

Feynman đã chứng tỏ được rằng ông có thể gán cho mỗi quỹ đạo đó một con số, sao cho khi lấy trung bình tổ hợp tất cả lại sẽ cho chính xác kết quả đối với xác suất mà người ta tính dược khi dùng các hàm sóng. Và như vậy, từ quan điểm của Feynman, không còn cần phải gắn cho mỗi electron một sóng xác suất nữa. Thay vì thế, chúng ta lại phải tưởng tưởng ra một cái gì đó cũng bí ẩn không kém, nếu không muốn nói là hơn. Xác suất để electron – bây giờ được xem thuần tuý là hạt – tới một điểm đã chọn trên màn là kết quả của hiệu ứng tổ hợp của tất cả các cách để nó tới được điểm đó. Phương pháp này của Feynman được gọi là phương pháp "lấy tổng theo mọi quỹ đạo khả dĩ" trong cơ học lượng tử" [1].

Đến đây, chắc bạn sẽ lại lên tiếng phản đối: làm sao một electron lại có thể đồng thời đi theo các con đường khác nhau? Phản đối như vậy kể ra cũng là tự nhiên thôi, nhưng cơ học lượng tử – vật lý của thế giới chúng ta - đòi hỏi rằng chúng ta hãy vứt bỏ những lời phản đối tẻ nhạt như vậy. Những kết quả tính toán bằng cách dùng phương pháp của Feynman đều phù hợp với những kết quả của phương pháp hàm sóng vốn đã được xác nhận là phù hợp rất tốt với thực nghiệm. Bạn hãy để cho tự nhiên quyết định cái gì là có và cái gì là không có ý nghĩa. Như Feynman đã có lần viết: "[Cơ học lượng tử] mô tả tự nhiên một cách vô lý, nếu đứng trên quan điểm của lẽ phải thông thường. Nhưng nó lại hoàn toàn phù hợp với thực nghiệm. Vì vậy, tôi hy vọng rằng các bạn hãy chấp nhận tự nhiên như nó vốn vô lý như thế" [2].

Nhưng bất kể tự nhiên vô lý đến mức nào đi nữa khi xem xét ở thang vi

mô, mọi thứ vẫn phải được xếp đặt sao cho chúng ta sẽ tìm lại được những thứ tẻ nhạt quen thuộc trong thế giới hằng ngày của chúng ta. Để đạt mục đích đó, Feynman đã chứng tỏ được rằng nếu bạn xem xét chuyển động của các vật lớn, như quả bóng, chiếc máy bay hay một hành tinh chẳng hạn, tức là lớn so với những hạt nội nguyên tử, thì quy tắc gán một con số cho mỗi quỹ đạo của ông sẽ đảm bảo rằng, ngoại trừ một quỹ đạo, còn thì tất cả các quỹ đạo khác sẽ triệt tiêu lẫn nhau khi tính đến những đóng góp tổ hợp của chúng. Thực tế, trong số vô hạn những quỹ đạo khả dĩ, chỉ có duy nhất một quỹ đạo là quan trọng, chừng nào có liên quan tới chuyển động của vật. Và nó chính là quỹ đạo mà ta tìm được theo những định luật về chuyển động của Newton. Điều này giải thích tại sao, trong thế giới hằng ngày, dường như đối với chúng ta, những vật này – chẳng hạn như quả bóng được ném lên – lại đi theo một quỹ đạo duy nhất có thể tiên đoán được từ lúc bắt đầu cho tới khi đến đích. Nhưng đối với những vật vi mô, quy tắc gán một số cho mỗi quỹ đạo của Feynman chứng tỏ rằng nhiều quỹ đạo khác nhau đều có thể và thường có đóng góp vào một chuyển động của vật. Chẳng hạn, trong thí nghiệm hai khe, một số các quỹ đạo này đi qua các khe khác nhau làm cho xuất hiện bức tranh giao thoa mà chúng ta đã quan sát được. Do đó, trong thế giới vi mô, chúng ta không thể khẳng định rằng một electron chỉ đi qua một khe này hoặc một khe khác. Bức tranh giao thoa và hình thức luận cơ học lượng tử của Feynman đều chứng tỏ ngược lại.

Những cách giải thích khác nhau về một cuốn sách hay một bộ phim có thể khá bổ ích trong việc giúp chúng ta hiểu được những khía cạnh khác nhau của tác phẩm, điều này cũng đúng đối với những cách tiếp cận khác nhau của cơ học lượng tử. Mặc dù những tiên đoán của các cách tiếp cận này hoàn toàn phù hợp với nhau, nhưng phương pháp hàm sóng và phương pháp lấy tổng theo các quỹ đạo khả dĩ của Feynman sẽ cho chúng ta những cách hiểu khác nhau về những gì diễn ra. Như chúng ta sẽ thấy dưới đây, đối với một số ứng dụng, phương pháp này hay phương pháp kia đều cho chúng ta một khuôn khổ giải thích vô giá.

[1] Điều đáng lưu ý là, cách tiếp cận cơ học lượng tử của Feynman có thể được dùng để suy ra cách tiếp cận dựa trên các hàm sóng và ngược lại; do đó hai cách tiếp cận là hoàn toàn tương đương. Tuy nhiên, các khái niệm, ngôn ngữ và các giải thích của hai cách tiếp cận đó lại khá khác nhau, mặc dù các kết quả của chúng là hoàn toàn như nhau.

[2] Richard Feynman, QED: The Strange Theory of Light and Matter (Princeton: Princeton University Press, 1988).

Giống như hệ thống kế toán của hãng hàng không "cho phép" bạn "vay" tiền để mua vé máy bay, miễn là bạn trả lại đủ nhanh, cơ học lượng tử cũng cho phép hạt vay năng lượng, miễn là nó phải hoàn trả trong khoảng thời gian được xác định bởi nguyên lý bất định Heisenberg...

- Tính kỳ lạ lượng tử

Bây giờ chắc bạn đã có một ý niệm về cách vận hành cực kỳ mới lạ của Vũ trụ theo những quy luật của cơ học lượng tử. Nếu bạn vẫn còn chưa cảm thấy choáng váng như Bohr đã nói, thì tính kỳ lạ lượng tử mà chúng ta sắp thảo luận ngay dưới đây chắc chắn sẽ làm cho bạn cảm thấy chóng mặt.

Hiểu được bằng trực giác cơ học lượng tử thậm chí còn khó hơn thuyết tương đối, bởi vì rất khó có thể tư duy như một người tí hon sinh ra và lớn lên trong thế giới vi mô. Tuy nhiên, có một khía cạnh của lý thuyết lượng tử đóng vai trò như một cột chỉ đường cho trực giác chúng ta, vì nó là dấu hiệu phân biệt một cách cơ bản tư duy lượng tử với tư duy cổ điển. Đó là nguyên lý bất định được nhà vật lý người Đức Werner Heisenberg phát minh và năm 1927.

Nguyên lý này bắt nguồn từ sự phản đối, có thể đã từng nảy ra trong đầu óc bạn. Ở trên, chúng ta đã thấy rằng, hành động nhằm xác định khe mà electron đi qua (tức vị trí của nó) nhất thiết sẽ làm nhiễu loạn chuyển động sau đó (tức vận tốc) của nó. Nhưng, cũng như chúng ta có thể đảm bảo chắc chắn sự hiện diện của ai đó bằng cách chạm nhẹ hoặc vỗ nhẹ vào lưng người đó, vậy thì tại sao chúng ta lại không thể xác định vị trí của electron bằng một nguồn sáng "thật dịu nhẹ" để làm giảm ảnh hưởng đến chuyển động của nó? Trên quan điểm của vật lý học thế kỷ XIX, thì điều đó hoàn toàn có thể. Bằng cách dùng một đèn mờ (và một detector nhạy sáng hơn) ta có thể làm cho sự ảnh hưởng tới chuyển động của electron trở nên nhỏ không đáng kể. Nhưng chính cơ học lượng tử đã soi ra sai lầm trong lập luận đó. Như chúng ta đã biết từ phần đầu của chương này, khi chúng ta giảm dần cường độ của nguồn sáng, tức là chúng ta giảm dần số photon do nó phát ra. Một khi chúng ta giảm cường độ xuống tới mức nguồn phát ra từng photon một,

thì chúng ta không thể làm mờ ánh sáng hơn được nữa, ngoại trừ tắt nó đi. Như vậy, có một giới hạn lượng tử đối với "độ dịu nhẹ" của sự thăm dò của chúng ta. Và do đó, luôn có một ảnh hưởng cực tiểu mà chúng ta đã gây ra cho vận tốc của electron thông qua phép đo vị trí của nó.

Thật hay điều đó hầu như là đúng đắn! Định luật Planck nói với chúng ta rằng, năng lượng của một photon tỷ lệ với tần số của nó (tức là tỷ lệ nghịch với bước sóng). Do đó, bằng cách dùng ánh sáng có tần số càng thấp (tức bước sóng càng dài), chúng ta có thể tạo ra các photon riêng rẽ càng dịu nhẹ hơn. Nhưng đây mới là điểm mấu chốt. Khi chúng ta cho một sóng tới đập vào và phản xạ trên một vật, thì thông tin mà chúng ta nhận được chỉ đủ để xác định được vị trí của nó trong phạm vi sai số đúng bằng bước sóng của sóng đó. Để có được một ý niệm trực giác về thực tế quan trọng đó, ta hãy dung mình đang thử xác định vị trí của một khối đá ngầm dựa theo ảnh hưởng của nó đối với các sóng biển đi qua. Khi các sóng tiến tới gần khối đá, chúng tạo thành một đoàn gồm các chu kỳ sóng lên xuống khá trật tự, nối tiếp nhau. Sau khi đi qua khối dá, các chu kỳ sóng riêng rẽ bị biến dạng và đây là dấu hiệu phát lộ sự hiện diện của khối đá ngầm. Cũng giống như những vạch chia nhỏ nhất trên một cái thước, những chu kỳ lên xuống riêng rẽ của sóng cũng là những đơn vị nhỏ nhất tạo nên đoàn sóng và do đó chỉ cần xem xét chúng bị phá vỡ như thế nào là chúng ta có thể xác định được vị trí của khối đá trong phạm vi sai số đúng bằng chiều dài của các chu trình sóng, tức bước sóng của sóng. Trong trường hợp ánh sáng, các photon, nói một cách nôm na, là những chu trình sóng riêng rẽ (với độ cao của chu trình sóng được xác định bằng số photon), do đó, một photon được dùng để xác định vị trí của một vật chỉ với độ chính xác bằng một bước sóng.

Và như vậy, chúng ta phải đối mặt với trò giữ thăng bằng lượng tử. Nếu dùng ánh sáng có tần số cao (bước sóng ngắn), chúng ta sẽ xác định được vị trí của electron với độ chính xác cao. Nhưng các photon có tần số cao lại có năng lượng lớn và do đó, nó làm cho vận tốc của electron thay đổi mạnh. Còn nếu dùng ánh sáng có tần số thấp (bước sóng dài) chúng ta sẽ làm giảm thiểu ảnh hưởng của photon đến chuyển động của electron vì các photon lúc này có năng lượng nhỏ, nhưng chúng ta lại phải trả giá bằng độ chính xác thấp trong việc xác định vị trí của electron. Heisenberg đã định lượng hóa sự cạnh tranh đó và tìm được một hệ thức toán học giữa độ chính xác đạt được khi đo vị trí của

electron và độ chính xác đạt được khi đo đồng thời vận tốc của nó. Hoàn toàn phù hợp với sự thảo luận ở trên của chúng ta, Heisenberg đã tìm thấy rằng, hai độ chính xác đó tỷ lệ nghịch với nhau. Độ chính xác trong phép đo vị trí càng lớn thì nhất thiết phải kéo theo độ mất chính xác trong phép đo vận tốc cũng càng lớn và ngược lại. Và điều quan trọng nhất, đó là mặc dù chúng ta đã gắn việc đo vị trí của electron với một thí nghiệm cụ thể, nhưng Heisenberg đã chứng minh được rằng, sự dung hòa giữa độ chính xác của các phép đo vị trí và vận tốc là một sự kiện có tính chất cơ bản, nó đúng bất kể ta dùng thiết bị hay thủ tục đo nào. Không giống như lý thuyết của Newton hay Einstein, trong đó chuyển động của hạt được mô tả bằng cách cho vị trí và vận tốc của nó, cơ học lượng tử cho thấy rằng, ở cấp độ vi mô, bạn không thể biết đồng thời vị trí và vận tốc của hạt một cách hoàn toàn chính xác. Hơn thế nữa, khi bạn biết đại lượng này càng chính xác thì lại biết đại lượng kia càng kém chính xác. Và mặc dù chúng ta đã mô tả điều này chỉ cho electron, nhưng những ý tưởng đó cũng áp dụng được trực tiếp cho tất cả các hạt đã tạo nên Vũ trụ chúng ta.

Einstein đã cố gắng giảm thiểu tối đa sự xa rời vật lý cổ điển mà ta vừa nói ở trên, bằng cách lập luận rằng mặc dù cơ học lượng tử đã làm xuất hiện một giới hạn đối với sự hiểu biết của chúng ta về vị trí và vận tốc, nhưng electron bản thân nó vẫn có một vị trí và vận tốc xác định đúng như chúng ta đã nghĩ. Tuy nhiên, trong suốt vài ba chục năm trở lại đây, sự tiến bộ về mặt lý thuyết do nhà vật lý người Ailen đã quá cố là John Bell làm tiên phong và những kết quả thực nghiệm của Alain Aspect và các cộng sự của ông đã chứng tỏ một cách thuyết phục rằng Einstein sai lầm. Các electron - cũng như tất cả các hạt khác của vật chất - không thể được mô tả đồng thời bởi vị trí và vận tốc của nó. Cơ học lượng tử chứng tỏ rằng không chỉ phát biểu đó đã được kiểm chứng bằng thực nghiệm mà nó còn mâu thuẫn với những kết quả thực nghiệm khác mới được xác lập gần đây.

Thực tế, nếu chúng ta nhốt một electron duy nhất vào trong một hộp cứng và cho các thành hộp từ từ áp lại gần nhau để xác định vị trí của nó, thì ta sẽ thấy rằng electron chuyển động ngày càng điên cuồng hơn. Cứ như là mắc chứng sợ hãi những nơi bị che kín, electron sẽ vùng vẫy ngày càng quyết liệt và va chạm vào thành hộp với vận tốc ngày càng lớn và hỗn loạn không thể tiên đoán được. Tự nhiên không cho phép những hạt cấu tạo nên nó bị dồn vào một góc. Trong quán Lượng tử, nơi

mà chúng ta đã tưởng tượng hằng số Planck h lớn hơn nhiều so với trong thế giới thực, bằng cách đó ta đã làm cho các vật trong đời sống hằng ngày trở thành đối tượng trực tiếp của hiệu ứng lượng tử, những cục đá trong ly rượu của Goerge và Gracie va chạm điên cuồng vào nhau vì chúng cũng mắc chứng sợ chỗ kín "lượng tử". Mặc dù quán Lượng tử chỉ là tưởng tượng - vì thực tế cực kỳ nhỏ - nhưng chính chúng sợ chỗ kín lượng tử này lại là một đặc tính hiện diện khắp nơi trong thế giới vi mô. Chuyển động của các hạt vi mô trở nên điên cuồng hơn khi chúng được xem xét và bị nhốt trong một vùng không gian nhỏ bé hơn.

Nguyên lý bất định cũng làm xuất hiện một hiệu ứng kỳ lạ gọi là hiệu ứng đường hầm. Nếu như bạn bắn một viên đạn nhựa vào một bức tường bêtông dày 10m, thì vật lý cổ điển cũng như trực giác của bạn đều cho một kết quả: đó là viên đạn sẽ bật ngược trở lại. Lý do là ở chỗ viên đạn không có đủ năng lượng để xuyên qua một vật cản đồ sộ như vậy. Nhưng ở cấp độ các hạt cơ bản, cơ học lượng tử đã chứng tỏ một cách hoàn toàn rõ ràng rằng các hàm sóng, tức là các sóng xác suất, của các hạt tạo nên viên đạn có một phần rất nhỏ ló ra được ở phía bên kia bức tường. Điều này có nghĩa là, có một cơ may rất nhỏ, nhưng khác không, để viên đạn có thể thực sự xuyên qua bức tường và ló ra ở phía bên kia. Làm sao có thể thực hiện được điều đó? Và một lần nữa, lại là nguyên lý bất định Heisenberg.

Để hiểu phần này, hãy tưởng tượng bạn đang ở trong tình trạng cực kỳ túng quẫn và đột nhiên được biết rằng một người họ hàng xa sống ở nước ngoài để lại cho bạn một gia tài kếch xù. Vấn đề là ở chỗ bạn không có tiền để mua vé máy bay tới đó. Bạn xin ý kiến bạn bè: chỉ cần họ giúp bạn vượt qua được bức rào chắn giữa bạn và cái gia tài kếch xù kia bằng cách cho bạn vay tạm một ít tiền để mua vé, thì bạn có thể trả "đẹp" cho họ khi trở về. Nhưng tiếc thay không ai trong số họ có tiền cho vay cả. Chợt nhớ ra một người bạn cũ làm việc tại một hãng hàng không, bạn liền tới cầu khẩn anh ta. Anh này cũng lại không có tiền cho vay, nhưng đưa ra một giải pháp. Hệ thống kế toán của hãng hàng không này cho phép bạn trả tiền trong vòng 24 giờ sau khi bạn tới nơi, không ai biết bạn chưa trả tiền vé trước khi bay cả. Nhờ mưu mẹo đó bạn có thể nhận được tài sản thừa kế của mình.

Thủ tục kế toán của cơ học lượng tử hoàn toàn tương tự. Ngoài việc

chứng tỏ được rằng sự dung hòa giữa độ chính xác của các phép đo vị trí và vận tốc, Heisenberg cũng đã chứng minh được có một sự dung hòa tương tự giữa độ chính xác của phép đo năng lượng và khoảng thời gian tiến hành phép đo. Cơ học lượng tử khẳng định rằng bạn không thể nói chính xác một hạt có năng lượng bằng bao nhiêu ở thời điểm nào. Nếu bạn càng tăng độ chính xác của phép đo năng lượng, thì thời gian đòi hỏi để thực hiện phép đo đó sẽ càng dài. Nói một cách thô thiển, điều này có nghĩa là năng lượng của hạt sẽ thăng giáng ghê gớm chừng nào mà sự thăng giáng đó diễn ra trong thời gian đủ ngắn. Như vậy, giống như hệ thống kế toán của hãng hàng không "cho phép" bạn "vay" tiền để mua vé máy bay, miễn là bạn trả lại đủ nhanh, cơ học lượng tử cũng cho phép hạt vay năng lượng, miễn là nó phải hoàn trả trong khoảng thời gian được xác định bởi nguyên lý bất định Heisenberg.

Những tính toán của cơ học lượng tử chứng tỏ rằng rào chắn năng lượng càng cao, thì xác suất để sự hạch toán vi mô sáng tạo đó thực sự xảy ra càng thấp. Nhưng đối với hạt vi mô đứng trước một tấm bêtông dày, chúng có thể và đôi khi đã vay được đủ năng lượng để làm cái mà theo vật lý cổ điển không thể làm được, cụ thể là tức thời đâm xuyên và chui hầm qua một vùng mà ban đầu chúng không có đủ năng lượng để đi vào. Khi những đối tượng mà chúng ta nghiên cứu ngày càng phức tạp hơn, chứa nhiều hạt thành phần hơn, sự chui hầm lượng tử vẫn có thể xảy ra, nhưng càng ít cơ may hơn vì tất cả các hạt riêng rẽ phải cùng cơ may chui hầm cùng với nhau. Nhưng những cảnh kỳ lạ như điếu xì gà biến mất, cục đá chui qua thành cốc và Goerge cùng với Gracie đi xuyên qua bức tường của quán Lượng tử, vẫn có thể xảy ra.

Trong một xứ sở viễn tưởng như quán Lượng tử, trong đó ta tưởng tượng hằng số Planck h có giá trị lớn, việc xuyên hầm lượng tử như thế là chuyện bình thường. Nhưng những quy tắc tính xác suất của cơ học lượng tử và đặc biệt là sự cực kỳ nhỏ thực sự của hằng số h trong thế giới thực, cho thấy rằng nếu bạn đi được trong bức tường 1 giây, thì bạn phải đợi lâu hơn cả tuổi hiện nay của Vũ trụ để mới có cơ may đi qua được nó. Tuy nhiên, với sự kiên nhẫn (và cả tuổi thọ) thiên thu như vậy, sớm hay muộn, bạn có thể xuất hiện ở phía bên kia bức tường.

Nguyên lý bất định thâu tóm được cái cốt lõi của cơ học lượng tử. Những tính chất mà chúng ta thường cho là cơ bản và nằm ngoài mọi sự

nghi vấn, chẳng hạn như các vật đều có vị trí và vận tốc đồng thời xác định, có năng lượng xác định ở những thời điểm xác định, thì bây giờ được xem chẳng qua chỉ là những "thứ đồ" giả do hằng số Planck quá nhỏ bé ở những thang thuộc thế giới hằng ngày. Một điểm cuối cùng và cũng là điểm có tầm quan trọng hàng đầu, đó là khi những đặc tính lượng tử này được áp dụng cho cấu trúc của không-thời gian, thì nó cho thấy những khiếm khuyết tai hại trong "các mắt xích hấp dẫn" và dẫn chúng ta tới cuộc xung đột thứ ba và cũng là chủ yếu mà vật lý học phải đối mặt trong thế kỷ qua.

Nhưng cũng giống như khi trộn thuốc súng với lửa, khi chúng ta thử tổ hợp cơ học lượng tử với thuyết tương đối rộng, thì sự kết hợp đó mang lại những tai biến ghê gớm...

CHƯƠNG 5

MÂU THUẪN GIỮA THUYẾT TƯƠNG ĐỐI RỘNG VÀ CƠ HỌC LƯỢNG TỬ TIẾN TỚI MỘT LÝ THUYẾT MỚI

Sự hiểu biết của chúng ta về thế giới vật lý đã được đào sâu hơn một cách đáng kể trong suốt thế kỷ XX. Nhờ những công cụ lý thuyết của cơ học lượng tử và thuyết tương đối rộng, chúng ta đã hiểu và tiên đoán được nhiều hiệu ứng vật lý có thể đo lường được từ thế giới nội nguyên tử cho đến thế giới các thiên hà, các cụm thiên hà và thậm chí tới cả Vũ trụ trong tổng thể của nó. Đó là cả một thành tựu đồ sộ. Lẽ nào không đáng phấn khởi khi mà con người bị giam trên một hành tinh quay quanh một ngôi sao cũng tẻ nhạt như hàng triệu ngôi sao khác, lại nằm ở gần mép một hiên hà cũng bình thường thôi, thế mà bằng tư duy và thực nghiệm của mình, lại có thể làm sáng tỏ và hiểu được những đặc tính bí ẩn nhất của thế giới vật lý. Tuy nhiên, do bản chất của mình, các nhà vật lý sẽ không thỏa mãn chừng nào mà sự hiểu biết cơ bản nhất và sâu sắc nhất về Vũ trụ còn chưa đạt được. Đó là cái mà Stephen Hawking xem là bước đầu tiên tiến tới hiểu được "tinh thần của Chúa" [1].

Có rất nhiều những bằng chứng cho thấy cơ học lượng tử và thuyết tương đối rộng còn chưa cung cấp cho chúng ta sự hiểu biết đạt tới trình độ sâu sắc nhất đó. Vì những lĩnh vực ứng dụng thông thường của chúng rất khác nhau, khiến cho đa số những tình huống đòi hỏi sử dụng cơ học lượng tử hoặc chỉ thuyết tương đối rộng, chứ không yêu cầu phải dùng cả hai. Tuy nhiên, trong những điều kiện cực đoan, khi mà các vật có khối lượng cực lớn nhưng lại có kích thước cực nhỏ, chẳng hạn như ở gần tâm của các lỗ đen hay toàn bộ Vũ trụ ở thời điểm Big Bang, thì để hiểu được, chúng ta cần phải dùng cả thuyết tương đối rộng lẫn cơ học lượng tử. Nhưng cũng giống như khi trộn thuốc súng với lửa, khi chúng ta thử tổ hợp cơ học lượng tử với thuyết tương đối rộng, thì sự kết hợp đó mang lại những tai biến ghê gớm. Khi những phương trình của hai

lý thuyết đó được kết hợp với nhau, thì nhiều bài toán vật lý được đặt rất nghiêm chỉnh lại cho những đáp số vô nghĩa. Sự vô nghĩa này thường có dạng là một tiên đoán nói rằng xác suất (tính theo cơ học lượng tử) của một quá trình nào đó không phải là 20% hay 73% hay 91% mà lại là vô hạn. Làm thế nào mà xác suất lại có thể lớn hơn 1, chứ chưa nói tới chuyện bằng vô cùng? Chúng ta buộc phải đi tới kết luận rằng có một điều gì đó đã sai một cách nghiêm trọng. Bằng cách xem xét một cách kỹ lưỡng những tính chất cơ bản của thuyết tương đối rộng và cơ học lượng tử, chúng ta có thể nhận dạng ra đó là cái gì.

[1] Stephen Hawking, Lược sử thời gian (Bản dịch của Cao Chi và Phạm Văn Thiều, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 1995, 1998).

Nguyên lý bất định Heisenberg khẳng định rằng, sự xê dịch tới lui như điên của năng lượng và động lượng (hay vận tốc) cũng xảy ra thường xuyên trong Vũ trụ ở những khoảng cách và những khoảng thời gian vi mô....

•◎Trái tim của cơ học lượng tử

Khi Heisenberg phát minh ra nguyên lý bất định, vật lý học đã ngoặt hẳn sang một lối khác và không bao giờ trở lại con đường xưa cũ nữa. Xác suất, hàm sóng, giao thoa và lượng tử, tất cả đều liên quan với những cách nhìn nhận thực tại một cách hoàn toàn mới. Tuy nhiên, một nhà vật lý "cổ điển" ngoan cố chắc vẫn còn bám lấy hy vọng mong manh rằng những chuyện viển vông đó rồi cuối cùng cũng sẽ lại trở về gần gũi với khuôn khổ tư duy cũ mà thôi. Nhưng nguyên lý bất định đã làm tan vỡ hẳn mọi ý định trở về với quá khứ.

Nguyên lý bất định cho chúng ta biết rằng Vũ trụ là một nơi rất náo nhiệt khi được xem xét ở những khoảng cách ngày càng nhỏ hơn và ở những thời gian ngày càng ngắn hơn. Chúng ta đã thấy một số bằng chứng về điều đó ở chương trước, trong ý đồ của chúng ta muốn xác định vị trí của các hạt sơ cấp, như các hạt electron chẳng hạn: bằng cách chiếu ánh sáng với tần số cao hơn lên các electron, chúng ta sẽ đo được vị trí của nó với độ chính xác cao hơn, nhưng lại phải trả giá, bởi vì những quan sát của chúng ta sẽ gây ra những nhiễu động mạnh hơn. Photon tần số cao có năng lượng lớn và do đó nó cho các electron những "cú hích" mạnh hơn và làm cho vận tốc của chúng thay đổi nhiều hơn. Giống như sự nhốn nháo trong một căn phòng đầy trẻ con, tất cả những

vị trí tức thời của chúng, bạn đều biết với độ chính xác cao, nhưng vận tốc của chúng - cả hướng và độ lớn - thì bạn hầu như không sao kiểm soát nổi, sự không có khả năng biết đồng thời cả vị trí và vận tốc của các hạt sơ cấp cũng chỉ ra rằng thế giới vi mô về bản chất vốn đã là rất náo động.

Mặc dù ví dụ đó đã chuyển tải được mối quan hệ cơ bản giữa tính bất định và sự náo động, nhưng thực sự nó mới hé lộ chỉ một phần của câu chuyện mà thôi. Chẳng hạn, nó có thể dẫn bạn đến ý nghĩ rằng sự bất định xuất hiện chỉ là do sự quan sát vụng về của chúng ta. Nhưng điều đó không đúng. Ví dụ về một electron phản ứng dữ dội khi bị giam trong một hộp nhỏ bằng cách chuyển động hỗn loạn với vận tốc lớn, có lẽ, gần với sự thực hơn. Ngay cả khi không có những "cú hích trực tiếp" của các photon gây nhiễu động của nhà thực nghiệm, vận tốc của các electron từ thời điểm này tới thời điểm tiếp sau vẫn thay đổi một cách đáng kể và không thể tiên đoán được. Nhưng ví dụ này cũng không phản ánh hết những đặc tính lạ lùng mà nguyên lý bất định Heisenberg ban cho thế giới vi mô. Thậm chí trong những tình huống yên tĩnh nhất mà ta có thể tưởng tượng được ra, như khoảng không gian trống rỗng chẳng hạn, nguyên lý bất định cũng nói với chúng ta rằng, trên quan điểm vi mô, ở đây cũng có sự hoạt động rất náo nhiệt. Và sự hoạt động này sẽ càng náo nhiệt ở những thang khoảng cách và thời gian còn nhỏ hơn nữa.

"Hệ thống kế toán" lượng tử có vai trò rất căn bản giúp ta hiểu được điều đó. Trong chương trước chúng ta đã thấy rằng, hạt (như electron chẳng hạn) có thể tạm thời vay năng lượng để vượt qua một rào chắn thực sự nào đó, cũng như bạn tạm thời vay tiền để vượt qua một trở ngại tài chính lớn. Điều này là đúng. Nhưng cơ học lượng tử buộc chúng ta phải đưa sự tương tự đó đi thêm một bước quan trọng nữa. Hãy hình dung một con nợ kinh niên, chạy vạy hết người bạn này đến người bạn khác để hỏi vay tiền. Giả sử rằng thời gian mà người bạn cho vay càng ngắn, thì khoản tiền được vay càng lớn. Bằng cách vay rồi trả, vay rồi trả, cứ liên tục như vậy không mệt mỏi, anh ta nhận tiền chỉ để trả lại sao cho nhanh hơn. Giống như giá cả chứng khoán trong ngày lên xuống như điên, số tiền mà con nợ kinh niên của chúng ta có được thường xuyên chịu những thăng giáng rất lớn, nhưng xét cho tới cùng thì tình trạng tài chính của anh ta cũng không gì hơn lúc ban đầu.

Nguyên lý bất định Heisenberg khẳng định rằng, sự xê dịch tới lui như điên của năng lượng và động lượng (hay vận tốc) cũng xảy ra thường xuyên trong Vũ trụ ở những khoảng cách và những khoảng thời gian vi mô. Thậm chí trong vùng không gian trống rỗng chẳng hạn, nguyên lý bất định cũng nói rằng năng lượng và động lượng đều bất định: chúng thăng giáng giữa các giá trị biên càng xa nhau khi kích thước của hộp càng nhỏ dần. Điều đó tựa như vùng không gian trống rỗng bên trong hộp là một "con nợ kinh niên", nó thường xuyên "vay" từ Vũ trụ rồi sau đó lại "trả lại". Nhưng trong một vùng trống của không gian thì cái gì tham gia vào những cuộc trao đổi đó? Tất cả. Thực sự là tất cả. Nhưng năng lượng (và cả động lượng nữa) là đồng tiền trao đổi cuối cùng. Công thứ E = mc2 nói với chúng ta rằng năng lượng có thể biến thành vật chất và ngược lại. Như vậy, nếu những thăng giáng năng lượng là đủ lớn, thì nó tức thời có thể sinh ra, chẳng hạn, một electron cùng với người bạn phản vật chất của nó là hạt positron, thậm chí nếu vùng không gian đó ban đầu là trống rỗng! Vì năng lượng này cần phải trả lại nhanh, nên sau khoảnh khắc hai hạt này sẽ hủy nhau để hoàn trả năng lượng mà chúng vay để sinh thành. Và điều này cũng đúng đối với tất cả các dạng khác mà năng lượng và động lượng có thể có, chẳng hạn như các cặp hạt khác được sinh ra rồi hủy nhau, những dao động điên cuồng của các trường sóng điện từ, những thăng giáng của trường lực mạnh và yếu... Như vậy, sự bất định lượng tử cho chúng ta biết rằng, ở thang vi mô Vũ trụ là một vũ đài lúc nhúc, náo nhiệt và hỗn loạn. Như Feynman đã có lần nói đùa: "Sinh và hủy, sinh và hủy... phí biết bao là thời gian!". Vì vay và trả lấy trung bình sẽ triệt tiêu lẫn nhau, nên vùng không gian trống rỗng nhìn bề ngoài vẫn yên tĩnh và phẳng lặng khi người ta không quan sát với độ chính xác vi mô. Tuy nhiên, nguyên lý bất định phát lộ cho thấy rằng sự trung bình hóa vĩ mô đã làm che lấp đi những hoạt động vi mô rất phong phú và náo nhiệt [1]. Và như chúng ta sẽ thấy ngay dưới đây, chính sự náo nhiệt này đã là trở ngại cho sự sáp nhập thuyết tương đối rộng với cơ học lượng tử.

[1] Trong trường hợp bạn vẫn còn băn khoăn về chuyện làm sao mà lại có thể xảy ra một điều gì đó ở trong một vùng không gian trống rỗng, thì điều quan trọng cần phải nhận thấy là nguyên lý bất định đã đặt một giới hạn cho biết một vùng không gian có thể thực sự là "trống rỗng" như thế nào; nguyên lý này cũng làm thay đổi cái mà chúng ta muốn nói là trống rỗng. Ví dụ, khi được áp dụng cho những nhiễu động sóng trong một trường (như các sóng điện từ truyền trong trường điện từ) thì

nguyên lý bất định chứng tỏ rằng biên độ của sóng và tốc độ thay đổi của biên độ đó phải thỏa mãn cùng một hệ thức tỷ lệ nghịch như vị trí và vận tốc của một hạt: biên độ của sóng càng được xác định chính xác thì tốc độ biến thiên của biên độ đó càng kém xác định. Bây giờ, khi chúng ta nói một vùng không gian là trống rỗng, thì thường chúng ta muốn nói rằng, ngoài những điều khác ra, không có một sóng nào truyền qua nó và tất cả các trường đều có giá trị bằng không. Điều này cũng có nghĩa là biên độ của tất cả các sóng cũng có giá trị chính xác bằng không. Nhưng nếu như chúng ta biết biên độ một cách chính xác, thì theo nguyên lý bất định, tốc độ biến thiên của các biên độ đó là hoàn toàn bất định và có thể nhận bất kỳ giá trị nào. Nhưng nếu các biên độ thay đổi, thì điều này có nghĩa là ở thời điểm tiếp sau các biên độ không còn bằng không nữa, thậm chí mặc dù vùng không gian vẫn còn "trống rỗng". Lại một lần nữa, về trung bình, trường đúng là bằng không vì ở một số chỗ giá trị của nó là dương và ở một số chỗ khác giá trị của nó là âm; về trung bình, năng lượng tổng cộng trong vùng đó cũng không thay đổi. Nhưng điều đó chỉ là về trung bình mà thôi. Tính bất định lượng tử ngụ ý rằng năng lượng trong trường - ngay cả ở trong vùng trống rỗng của không gian - thăng giáng lên xuống, với mức độ thăng giáng càng lớn khi các thang khoảng cách và thời gian càng nhỏ. Năng lượng được thể hiện trong những thăng giáng tức thời như vậy, nhờ công thức E= mc2, có thể được chuyển hóa để sinh ra tức thời cặp hạt - phản hạt, rồi sau đó chúng vội vã hủy nhau để giữ cho năng lượng về trung bình không thay đổi.

Nhưng chẳng bao lâu các nhà vật lý đã nhận thấy rằng thuyết tương đối hẹp phải đóng vai trò trung tâm trong một lý thuyết lượng tử đích thực...

•◎Lý thuyết trường lượng tử

Trong suốt những năm 30 và 40 của thế kỷ XX, các nhà vật lý lý thuyết dưới sự dẫn dắt của Paul Dirac, Wolfgang Pauli, Julian Schwinger, Freeman Dyson, Sin-Intiro Tomonaga, Feynman và nhiều người khác, đã nỗ lực không mệt mỏi để tìm ra một hình thức luận có khả năng mô tả được sự náo động của thế giới vi mô mà ta đã đề cập ở trên. Họ đã nhận thấy rằng phương trình sóng của Schrodinger (xem Chương 4) thực ra chỉ là sự mô tả gần đúng của vật lý vi mô - một sự gần đúng đã cho kết quả rất tốt khi người ta chưa thăm dò sâu hơn vào sự náo động

vi mô đó (cả về lý thuyết lẫn thực nghiệm), nhưng chắc chắn sẽ thất bại nếu người ta đi sâu hơn.

Một yếu tố căn bản của vật lý học mà Schrodinger đã bỏ qua trong hình thức luận cơ học lượng tử của ông là thuyết tương đối hẹp. Thực ra, ban đầu Schrodinger đã thử gộp cả thuyết tương đối hẹp vào, nhưng phương trình lượng tử mà ông nhận được khi đó lại cho những tiên đoán không phù hợp với những phép đo thực nghiệm đối với nguyên tử hiđrô. Điều đó khiến cho Schrodinger chấp nhận truyền thống lâu đời trong vật lý, đó là truyền thống chia để trị: thường là sẽ rất có kết quả nếu ta đi từng bước nhỏ rồi lần lượt tính tới những phát minh mới nhất, hơn là nhảy một bước lớn bằng cách gộp tất cả những gì chúng ta đã biết về thế giới vật lý để xây dựng một lý thuyết mới. Schrodinger đã tìm kiếm và cuối cùng đã tìm ra một khuôn khổ toán học mô tả được lưỡng tính sóng hạt (đã được xác minh bằng thực nghiệm), nhưng ở giai đoạn còn sơ khai đó, ông đã không gộp được cả thuyết tương đối hẹp vào hình thức luận của mình[1].

Nhưng chẳng bao lâu các nhà vật lý đã nhận thấy rằng thuyết tương đối hẹp phải đóng vai trò trung tâm trong một lý thuyết lượng tử đích thực. Sở dĩ như vậy là bởi vì sự náo nhiệt cuồng loạn trong thế giới vi mô đòi hỏi chúng ta phải thừa nhận rằng bản thân năng lượng có thể có nhiều cách thể hiện do hệ thức nổi tiếng E = mc2, một kết quả thuyết tương đối hẹp. Bỏ qua thuyết tương đối hẹp là Schrodiger đã bỏ qua khả năng biến đổi lẫn nhau giữa năng lượng, vật chất và chuyển động.

Ban đầu, để sáp nhập thuyết tương đối hẹp với cơ lượng tử, các nhà vật lý tập trung nỗ lực đột phá nhằm vào lực điện từ và sự tương tác của nó với vật chất. Nhờ một loạt những phát triển đầy cảm hứng, họ đã cho ra đời điện động lực học lượng tử, lý thuyết đơn giản nhất trong số các lý thuyết trường lượng tử. Lý thuyết này là lượng tử, bởi vì tất cả những khía cạnh xác suất và bất định đã được bao hàm ngay trong nền tảng của nó. Nó cũng là lý thuyết trường, bởi vì nó sáp nhập những nguyên lý lượng tử với một khái niệm cổ điển đã có từ trước, đó là trường lực - trong trường hợp của ta, đó là trường điện từ của Maxwell. Và cuối cùng, nó là tương đối tính, bởi vì thuyết tương đối hẹp đã được bao hàm ngay trong nền tảng của nó. (Để hình dung một trường lượng tử xuất phát từ một trường cổ điển - một đại dương các đường sức không nhìn thấy được thấm đẫm toàn bộ không gian, chúng ta cần phải hoàn

tất hình ảnh này trên hai phương diện. Thứ nhất, cần phải hình dung rằng một trường lượng tử gồm các phần tử hạt, như photon đối với trường điện từ, chẳng hạn. Thứ hai, năng lượng được thể hiện dưới dạng chuyển động và khối lượng của các hạt đó. Năng lượng không ngừng chuyển từ trường lượng tử này sang trường lượng tử khác trong khi đó các trường dao động trong không gian và thời gian).

Điện động lực học lượng tử có lẽ là lý thuyết chính xác nhất trong số các lý thuyết mô tả các hiện tượng tự nhiên đã từng được đưa ra. Một minh họa cho tính chính xác đáng ngạc nhiên đó là công trình của Toichiro Kinoshita, một nhà vật lý hạt ở đại học Cornell. Ba mươi năm trước, ông đã cần mẫn dùng điện động lực học lượng tử tính toán một số tính chất chi tiết của electron. Những tính toán của Kinoshita kín đặc hàng ngàn trang giấy và cuối cùng phải dùng tới những máy tính mạnh nhất trên thế giới mới thực hiện được. Nhưng những nỗ lực của ông đã được đền bù: những tính toán này đưa ra các tiên đoán và đã được thực nghiệm xác nhận với độ chính xác cao hơn 1 phần tỷ. Đây là sự phù hợp hết sức đáng kinh ngạc giữa những tính toán lý thuyết trừu tượng và thế giới thực tại. Thông qua điện động lực học lượng tử, các nhà vật lý đã củng cố vững chắc vai trò của các photon như là "những gói ánh sáng nhỏ nhất khả dĩ" và làm sáng tỏ tương tác của chúng với các hạt tích điện (như các electron, chẳng hạn) trong một khuôn khổ hoàn chỉnh về mặt toán học, có khả năng tiên đoán và giàu sức thuyết phục.

Thành công của điện lực học lượng tử đã cổ vũ các nhà vật lý khác trong những năm 60 và 70 của thế kỷ XX dùng một cách tiếp cận tương tự để phát triển sự hiểu biết lượng tử về các lực yếu, mạnh và hấp dẫn. Đối với các lực yếu và mạnh con đường chinh phục này tỏ ra rất có kết quả. Tương tự với điện động lực học lượng tử, các nhà vật lý đã xây dựng thành công các lý thuyết trường lượng tử cho các lực yếu và mạnh với tên gọi tương ứng là sắc động lực học lượng tử và lý thuyết điện - yếu lượng tử. Cái tên "sắc động lực học lượng tử" nghe có vẻ màu mè hơn cái tên lẽ ra phải gọi theo lôgic tự nhiên là "động lực học lượng tử của tương tác mạnh", nhưng chẳng qua đây cũng chỉ là tên gọi mà thôi, chẳng có ý nghĩa sâu xa gì. Trái lại, cái tên "điện - yếu" đã đại diện được bước ngoặt quan trọng trong sự hiểu biết của chúng ta về các lực của tự nhiên.

Sheldon Glashow, Abdus Salam và Steven Weinberg đã được trao giải

Nobel vì họ đã thống nhất được tương tác yếu với tương tác điện từ. Những công trình của họ đã chứng tỏ được rằng lý thuyết lượng tử của các trường này có thể được thống nhất một cách tự nhiên, mặc dù những thể hiện của chúng trong thế giới xung quanh chúng ta là rất khác nhau. Xét cho cùng thì các trường lực yếu giảm rất nhanh tới không ở ngoài thang dưới nguyên tử, trong khi đó thì các trường điện từ - như ánh sáng nhìn thấy, tia X, các tín hiệu phát thanh và truyền hình - đều hiện diện ở mọi thang khoảng cách. Tuy nhiên, Glashow, Salam và Weinberg đã chứng tỏ được rằng, ở những năng lượng và nhiệt độ đủ cao - như ở những phần giây đầu tiên sau Big Bang - lực điện từ và lực yếu lại hòa vào nhau, có những đặc tính không thể phân biệt được và do đó được gọi chính xác hơn là các trường điện - yếu. Khi nhiệt độ giảm xuống, như đã xảy ra sau Big Bang, lực điện từ và lực yếu kết tinh rời ra thông qua một quá trình có tên là phá vỡ đối xứng mà chúng ta sẽ nói tới dưới đây và do đó chúng trở nên khác nhau trong thế giới lạnh mà chúng ta hiện đang sống.

Tóm lại, vào những năm 70, các nhà vật lý đã đưa ra được sự mô tả lượng tử thỏa đáng ba trong số bốn lực (mạnh, yếu và điện từ) và đã chứng tỏ được rằng hai trong số ba lực đó (yếu và điện từ) có cùng một nguồn gốc (là lực điện - yếu). Trong suốt hai thập kỷ qua, rất nhiều thực nghiệm đã được tiến hành để kiểm chứng những lý thuyết lượng tử của ba lực "phi hấp dẫn" đó - khi chúng tương tác với nhau và với các hạt vật chất được nêu trong Chương 1. Lý thuyết này đã vượt qua tất cả các thử thách đó một cách vẻ vang. Sau khi các nhà thực nghiệm đã tiến hành đo được khoảng 19 tham số [gồm khối lượng và các tích lực (tương tự như điện tích) của các hạt liệt kê trong Bảng 1.1 cùng với các cường độ của ba lực phi hấp dẫn cho trong Bảng 1.2 ở Chương 1, và một số ít các con số khác mà chúng ta không cần xét tới ở đây], các nhà vật lý đã đặt những con số đó vào lý thuyết trường lượng tử của các hạt vật chất và các trường lực mạnh, yếu và điện từ, thì những tiên đoán được suy ra từ đó đã phù hợp một cách ngoạn mục với các kết quả thực nghiệm. Điều này là đúng cho tới tận những năng lượng có khả năng đập vụn vật chất thành những mảnh cực nhỏ có kích thước chỉ bằng một phần tỷ tỷ mét - giới hạn của công nghệ hiện nay. Vì lý do đó, các nhà vật lý đã gọi lý thuyết của ba lực phi hấp dẫn và ba họ các hạt vật chất là lý thuyết chuẩn hay thường gọi hơn là mô hình chuẩn của vật lý hạt.

[1] Thậm chí mặc dù phương trình đầu tiên mà Schrodinger viết nó ra (có bao hàm cả thuyết tương đối hẹp) không mô tả chính xác các tính chất lượng tử của electron trong nguyên tử hiđrô, nhưng chẳng bao lâu sau người ta thấy rằng phương trình đó vẫn đúng nếu dùng nó trong một bối cảnh thích hợp và thực tế nó vẫn được dùng cho tới tận hôm nay. Tuy nhiên, vào thời Schrodinger công bố phương trình tương đối tính của mình, thì Oska Klein và Walter Gordon đã đi trước ông và do đó phương trình tương đối tính của ông lại được gọi là "phương trình Klein - - Gordon".

Tương tự như hai người trượt băng ném qua ném lại cho nhau những quả bowling qua một bờ rào và điều đó làm ảnh hưởng tới chuyển động của cả hai người, hai hạt tích điện tác động lên nhau bằng cách trao đổi các photon...

•◎Những hạt truyền tương tác

Theo mô hình chuẩn, các trường lực mạnh và yếu cũng được tạo thành từ những gói nhỏ nhất, giống như trường điện từ được tạo bởi các photon. Như đã được thảo luận sơ qua trong Chương 1, những gói nhỏ nhất của lực mạnh được biết là các gluon và của lực yếu là các boson yếu (nói một cách chính xác hơn đó là các boson W và Z). Mô hình chuẩn khẳng định rằng những hạt lực đó không có cấu trúc nội tại và do đó chúng cũng là những hạt sơ cấp như các hạt thuộc ba họ hạt của vật chất.

Photon, gluon và các boson yếu tạo ra một cơ chế vi mô của sự truyền các hạt. Ví dụ, khi một hạt tích điện đẩy một hạt khác tích điện cùng dấu, thì điều này có thể giải thích một cách khá thô thiển như sau: mỗi hạt đều sinh ra xung quanh nó một điện trường – tựa như "một đám mây" hay một "đám sương mù" của một "chất - điện" và lực đẩy mà các điện tích cảm nhận được đó là sự đẩy của hai trường tương ứng của chúng. Tuy nhiên, sự mô tả vi mô chính xác hơn về sự đẩy nhau của các photon và sự tương tác giữa hai hạt tích điện là do sự "bắn" qua lại các photon giữa hai hạt tích điện đó. Tương tự như hai người trượt băng ném qua ném lại cho nhau những quả bowling qua một bờ rào và điều đó làm ảnh hưởng tới chuyển động của cả hai người, hai hạt tích điện tác động lên nhau bằng cách trao đổi các photon.

Có một khiếm khuyết căn bản trong sự tương tự của hai người trượt

băng, đó là sự trao đổi những quả bowling luôn có tác dụng "đẩy", nó luôn làm cho hai người lạng ra xa nhau. Trái lại, hai hạt tích điện trái dấu cũng tương tác thông qua trao đổi các photon, tuy nhiên lực điện từ giữa chúng lại là lực hút. Điều này cho ta cảm giác như photon thực chất không phải là hạt truyền lực mà là hạt truyền thông điệp cho hạt nhận biết phải đáp ứng như thế nào đối với lực hiện có. Đối với các hạt tích điện cùng dấu, photon mang tới thông điệp bảo chúng "đi ra xa nhau", trong khi đó đối với các hạt tích điện trái dấu, nó mang tới thông điệp "xích lại gần nhau". Vì lý do đó đôi khi photon còn được gọi là hạt truyền tin hay hạt trung gian môi giới đối với lực điện từ. Tương tự, các gluon và các boson yếu là các hạt truyền tin đối với các lực hạt nhân mạnh và yếu. Lực mạnh tức lực giữ các hạt quark ở bên trong các photon và nơtron, được thực hiện bằng cách trao đổi các gluon. Như vậy có thể nói, các gluon đã cung cấp một "chất keo" (tiếng Anh là "glue") giữ cho các hạt dưới nguyên tử dính kết với nhau. Còn lực yếu, chính là lực đã gây ra một số phân rã phóng xạ, lại được thực hiện thông qua hạt trung gian là các boson yếu.

Sự tương tự của hấp dẫn với các lực mạnh, yếu và điện từ là ở chỗ, tất cả ba đều hậu thuẫn cho những lối đối xứng, chỉ có điều những đối xứng này trừu tượng hơn nhiều...

•◎Đối xứng chuẩn

Chắc có lẽ bạn đã thấy một nhân vật còn chưa được đề cập tới trong thảo luận của chúng ta về lý thuyết lượng tử của các lực trong tự nhiên, đó là lực hấp dẫn. Căn cứ vào cách tiếp cận thành công mà các nhà vật lý đã sử dụng cho ba lực khác, bạn chắc cho rằng các nhà vật lý sẽ tìm kiếm một lý thuyết trường lượng tử cho lực hấp dẫn, một lý thuyết trong đó bó nhỏ nhất của trường lực hấp dẫn, tức graviton, sẽ là hạt truyền tin của nó. Thoạt nhìn, như bạn bây giờ sẽ thấy, gợi ý đó của bạn dường như hoàn toàn thích hợp, bởi lẽ lý thuyết trường lượng tử của ba lực phi hấp dẫn hé mở cho thấy rằng có một sự tương tự hoàn toàn giữa chúng và một khía cạnh của lực hấp dẫn mà chúng ta đã gặp trong Chương 3.

Xin nhắc lại rằng lực hấp dẫn đã cho phép chúng ta tuyên bố rằng mọi người quan sát, bất kể họ chuyển động như thế nào, đều hoàn toàn bình đẳng với nhau. Ngay cả những người mà chúng ta thường nghĩ họ chuyển động có gia tốc cũng có quyền nói rằng họ đứng yên, vì họ có

thể gán lực mà họ cảm thấy cho một trường hấp dẫn mà họ được đặt vào. Theo nghĩa đó, lực hấp dẫn đã hậu thuẫn cho một đối xứng: nó đảm bảo rằng mọi quan điểm, mọi hệ quy chiếu đều thực sự tương đương với nhau. Sự tương tự của hấp dẫn với các lực mạnh, yếu và điện từ là ở chỗ, tất cả ba đều hậu thuẫn cho những lối đối xứng, chỉ có điều những đối xứng này trừu tượng hơn nhiều.

Để có một ý niệm sơ bộ về những nguyên lý đối xứng tinh tế hơn đó, ta hãy xét một ví dụ quan trọng. Như đã biết ở Chương 1, mỗi quark đều có ba "màu" (thường gọi là đỏ, lục và lam, mặc dù đây đơn giản chỉ là các nhãn chứ không có quan hệ gì với các màu trong thị giác chúng ta). Các màu này quyết định quark phải phản ứng như thế nào đối với lực mạnh, cũng hệt như điện tích của quark quyết định nó phải phản ứng như thế nào đối với lực điện từ. Tất cả những dữ liệu thu thập được cho thấy rằng có một đối xứng giữa các quark theo nghĩa tương tác giữa hai quark cùng màu (đỏ với đỏ, lục với lục và lam với lam) là hoàn toàn như nhau và tương tự, tương tác giữa các quark khác màu (đỏ với lục, lục với lam và lam với đỏ) cũng hoàn toàn như nhau. Thực tế, các dữ liệu còn cho thấy điều gì đó còn đáng ngạc nhiên hơn. Nếu ba màu – ba tích khác nhau của tương tác mạnh – mà quark mang tất cả đều được dịch chuyển theo một cách đặc biệt nào đó (nói một cách nôm na bằng ngôn ngữ màu sắc tưởng tượng của chúng ta, nếu đỏ, lục và lam đều bị dịch chuyển thành vàng, chàm và tím, chẳng hạn) và thậm chí những chi tiết của sự dịch chuyển đó thay đổi từ thời điểm này sang thời điểm khác, từ nơi này sang nơi khác, thì tương tác giữa các quark vẫn hoàn toàn không thay đổi. Vì lý do đó, chúng ta nói rằng Vũ trụ có đối xứng tương tác mạnh: nghĩa là tương tác mạnh không thay đổi bất kể các tích màu của nó dịch chuyển như thế nào, cũng hệt như chúng ta nói hình cầu có đối xứng cầu vì nó nhìn như nhau bất kể ta quay nó ra sao và nhìn nó dưới góc độ nào. Vì lý do lịch sử, các nhà vật lý còn gọi đối xứng này của tương tác mạnh là đối xứng chuẩn (gauge).

Và đây mới là điều căn bản. Cũng như sự đối xứng của mọi điểm quan sát khác nhau trong thuyết tương đối rộng đòi hỏi phải có lực hấp dẫn, những công trình của Hermann Weyl vào những năm 20 và của Dương Chấn Ninh và Robert Mills những năm 50 đã chứng tỏ rằng các đối xứng chuẩn cũng đòi hỏi sự tồn tại của các lực khác nữa. Tựa như một hệ thống kiểm soát môi trường rất nhạy giữ cho nhiệt độ, áp suất không khí và độ ẩm luôn luôn không thay đổi bằng cách bù trừ chính xác

những ảnh hưởng từ bên ngoài, một số loại trường lực, theo Dương và Mills, cũng sẽ tạo sự bù trừ chính xác cho những dịch chuyển trong các tích của tương tác, bằng cách đó giữ cho những tương tác vật lý giữa các hạt hoàn toàn không thay đổi. Đối với trường hợp đối xứng chuẩn gắn liền với sự dịch chuyển trong các tích màu của quark, lực đòi hỏi không gì khác chính là lực mạnh. Điều này có nghĩa là, nếu không có lực mạnh, sẽ không có đối xứng chuẩn và vật lý cũng sẽ khác sau khi dịch chuyển các màu.

Lực hấp dẫn và lực hạt nhân mạnh có những tính chất hoàn toàn khác nhau (chẳng hạn, lực hấp dẫn yếu hơn lực mạnh rất nhiều và tác dụng trên khoảng cách rất xa). Tuy nhiên, chúng có một di sản chung bởi vì cả hai đều cần phải thực hiện một số đối xứng của Vũ trụ. Tương tự như vậy, lực hạt nhân yếu và lực điện từ cũng gắn liền với những đối xứng chuẩn điện từ. Như vậy, cả bốn tương tác đều liên hệ trực tiếp với các nguyên lý đối xứng.

Đặc điểm chung này của bốn lực dường như là một điểm tốt cho sự đề xuất được nêu ra ở đầu chương này. Cụ thể là trong tương đối rộng, chúng ta cần phải tìm kiếm một lý thuyết trường lượng tử của lực hấp dẫn, như các nhà vật lý đã phát minh ra các lý thuyết trường lượng tử của ba lực khác. Trong nhiều năm, lập luận này đã cổ vũ nhiều nhà vật lý xuất sắc đi theo con đường đó, nhưng thực tế cho thấy có quá nhiều chông gai và không có ai thành công đi được đến cùng. Dưới đây chúng ta sẽ hiểu tại sao lại như vậy.

Ở những thang khoảng cách cực ngắn, đặc tính trung tâm của cơ học lượng tử, tức là nguyên lý bất định, đã trực tiếp xung đột với đặc tính trung tâm của thuyết tương đối rộng, đó là mô hình hình học trơn tru của không gian (và của cả thời gian nữa).

•◎Thuyết tương đối rộng và cơ học lượng tử

Lĩnh vực áp dụng thông thường của thuyết tương đối rộng là ở những thang khoảng cách thiên văn. Ở những khoảng cách lớn như thế, theo lý thuyết của Einstein, khi không có khối lượng thì không gian là phẳng, như được minh họa trên Hình 3.3. Trong công cuộc tìm kiếm để hợp nhất thuyết tương đối với cơ học lượng tử, giờ đây chúng ta cần tập trung gắt gao và xem xét kỹ lưỡng những tính chất vi mô của không gian. Chúng ta minh họa điều đó trên Hình 5.1 bằng cách thu lại gần và

phóng đại liên tiếp những vùng ngày càng nhỏ của cấu trúc không gian. Thoạt đầu, khi thu lại gần, chưa thấy có gì xảy ra; như chúng ta thấy trong ba mức phóng đại đầu tiên trên Hình 5.1, cấu trúc không gian vẫn còn có dạng về cơ bản là như nhau. Nếu lý luận theo quan điểm thuần túy cổ điển, thì chúng ta hẳn sẽ nghĩ rằng hình ảnh phẳng và yên tĩnh vẫn còn giữ mãi như thế cho tới tận những thang chiều dài nhỏ nhất. Nhưng cơ học lượng tử đã làm thay đổi kết luận đó một cách cơ bản. Mọi thứ, kể cả trường hấp dẫn, đều phải chịu những thăng giáng lượng tử cố hữu do nguyên lý bất định. Mặc dù những lý luận cổ điển suy ra rằng không gian trống rỗng có trường hấp dẫn bằng không, nhưng cơ học lượng tử lại chứng tỏ rằng về trung bình thì đúng là nó bằng không, nhưng giá trị thực của nó dao động lên xuống do các thăng giáng lượng tử. Hơn thế nữa, nguyên lý bất định cho chúng ta biết rằng kích cỡ những thăng giáng này của trường hấp dẫn sẽ càng lớn khi chúng ta tập trung chú ý tới vùng không gian càng nhỏ. Cơ học lượng tử còn chứng tỏ rằng không có gì thích bị dồn vào một góc cả: sự tập trung không gian càng hẹp sẽ dẫn tới những thăng giáng càng lớn.

Hình 5.1 Bằng cách phóng đại liên tiếp một vùng nhỏ của không gian, ta có thể thăm dò được những tính chất siêu vi mô của nó. Những ý định hợp nhất thuyết tương đối rộng với cơ học lượng tử đều vấp phải những bọt lượng tử sôi sục xuất hiện ở tầng phóng đại cao nhất.

Vì trường hấp dẫn được phản ánh bởi độ cong của không-thời gian, nên chính những thăng giáng lượng tử này được thể hiện bởi những biến dạng càng mạnh của không gian bao quanh. Chúng ta đã lờ mờ nhận thấy những biến dạng như vậy đã xuất hiện ở mức phóng đại thứ tư trên Hình 5.1. Bằng cách thăm dò tới những thang khoảng cách còn nhỏ hơn nữa, như đã làm ở mức phóng đại thứ năm trên Hình 5.1, chúng ta thấy rằng những thăng giáng lượng tử ngẫu nhiên của trường hấp dẫn tương ứng với những uốn cong ghê gớm đến nỗi không gian không còn giống một chút nào với một đối tượng hình học với độ cong mềm mại như là màng cao su mà ta đã xét ở Chương 3 nữa. Mà bây giờ nó có dạng sủi bọt, rối ren và vặn xoắn kỳ dị như được minh họa ở tầng trên cùng của Hình 5.1. John Wheeler đã đặt ra thuật ngữ bọt lượng tử để mô tả sự náo nhiệt được phát lộ bởi sự thăm dò ở mức siêu vi mô đó của không gian (và cả thời gian nữa), trong đó những khái niệm thông thường như trái phải, trước sau, trên dưới (và thậm chí cả quá khứ và tương lai nữa) đều mất hết ý nghĩa. Chính ở những thang khoảng cách

cực ngắn như vậy đã xảy ra sự không tương thích giữa thuyết tương đối rộng và cơ học lượng tử. Khái niệm hình học trơn tru - nguyên lý trung tâm của thuyết tương đối rộng - đã bị những thăng giáng dữ dội của thế giới lượng tử ở những thang khoảng cách cực ngắn phá hủy. Như vậy, ở những thang khoảng cách cực ngắn, đặc tính trung tâm của cơ học lượng tử, tức là nguyên lý bất định, đã trực tiếp xung đột với đặc tính trung tâm của thuyết tương đối rộng, đó là mô hình hình học trơn tru của không gian (và của cả thời gian nữa).

Thực tế, sự xung đột này được thể hiện một cách hết sức cụ thể. Những tính toán nhằm hợp nhất các phương trình của thuyết tương đối rộng và của cơ học lượng tử thường cho một đáp số như nhau và hoàn toàn vô nghĩa: đó là giá trị vô hạn. Giống như cú quất roi vào tay học trò của các thầy đồ thời xưa, một đáp số vô hạn là cách thức của tự nhiên để nói với chúng ta rằng có một điều gì đó đã sai lầm [1]. Những phương trình của thuyết tương đối rộng không thể chịu nổi sự sôi của các bọt lượng tử.

Tuy nhiên, cần thấy rằng khi chúng ta quay trở lại với những thang khoảng cách thông thường (tức là đi theo dãy các tầng từ trên xuống dưới của Hình 5.1), thì những thăng giáng ngẫu nhiên, dữ dội ở các thang nhỏ sẽ triệt tiêu nhau khi lấy trung bình, theo cách giống hệt như tài khoản của anh bạn mắc nợ kinh niên của chúng ta không hề cho thấy là anh mắc nợ kinh niên và khái niệm hình học trơn của cấu trúc Vũ trụ lại trở nên chính xác. Điều này cũng tựa như khi xem một bức tranh thuộc trường phái hòa quyện vào nhau gây cho ta ấn tượng về một hình ảnh trơn tru, với độ sáng tối của nó biến thiên liên tục và mềm mại từ mảng này đến mảng khác. Nhưng khi tiến đến gần hơn, tức là ở những thang khoảng cách nhỏ hơn, bạn sẽ thấy rằng đó chỉ là ấn tượng bề ngoài: bức tranh bây giờ chỉ còn là một tập hợp của các điểm rời rạc, mỗi điểm tách rời khỏi các điểm khác. Cũng xin lưu ý rằng, bạn ý thức được bản chất gián đoạn của bức tranh chỉ khi xem nó ở những thang khoảng cách nhỏ, còn khi nhìn từ xa thì nó vẫn trơn tru như thường. Tương tự như vậy, cấu trúc của không-thời gian sẽ dường như là trơn, chỉ trừ khi ta thăm dò nó với độ chính xác siêu vi mô. Điều này giải thích tại sao thuyết tương đối rộng cho kết quả rất tốt ở những thang khoảng cách (và thời gian) rất lớn, tức là những thang liên quan tới nhiều ứng dụng thiên văn thường gặp, ở đó giả thuyết trung tâm về một hình học với độ cong trơn là hợp lý. Nhưng ở những khoảng cách (và thời gian) nhỏ, giả thuyết này bị sụp đổ và thuyết tương đối rộng

không còn phù hợp nữa do vấp phải những thăng giáng lượng tử.

Những nguyên lý của cơ học lượng tử và thuyết tương đối rộng cho phép chúng ta tính được gần đúng những thang khoảng cách mà dưới đó hiện tượng sủi bọt lượng tử tai hại bắt đầu thể hiện rõ nét (và phong cảnh giống như tầng trên cùng của Hình 5.1). Giá trị rất nhỏ của hằng số Planck, hằng số chi phối cường độ của các hiệu ứng lượng tử, và cường độ yếu cố hữu của lực hấp dẫn gộp lại đã cho ta kết quả gọi là chiều dài Planck, có giá trị nhỏ ngoài sức tưởng tượng: một phần triệu tỷ tỷ xentimét (10-33cm) [2]. Như vậy, tầng thứ năm trên Hình 5.1 là hình ảnh khái lược của phong cảnh siêu vi mô của Vũ trụ ở thang dưới chiều dài Planck. Để có một ý niệm về thang này, hãy hình dung một nguyên tử được phóng đại tới kích thước của Vũ trụ mà ta biết hiện nay, khi đó chiều dài Planck chỉ cỡ độ cao của một cây bình thường.

Như vậy, chúng ta thấy rằng sự không tương thích giữa thuyết tương đối rộng và cơ học lượng tử chỉ trở nên rõ ràng trong một phạm vi khá huyền bí của Vũ trụ. Vì vậy bạn có thể sẽ tự hỏi, liệu nó có đáng kể chúng ta phải bận tâm hay không? Thực tế, cộng đồng các nhà vật lý nhận thức được vấn đề đó, nhưng họ lại thích thú trở về với những nghiên cứu của họ trong đó những thang chiều dài lớn hơn nhiều so với chiều dài Plack và việc sử dụng cơ học lượng tử và /hoặc thuyết tương đối rộng sẽ không hề gặp một rủi ro nào. Tuy nhiên, có những nhà vật lý khác, họ trăn trở sâu sắc trước một thực tế là, hai cột trụ cơ bản của vật lý học, như chúng ta đã biết, lại không tương thích với nhau ở ngay trong cốt lõi của chúng, bất chấp có cần phải thăm dò tới những thang vi mô để làm nổi rõ vấn đề đó hay không. Họ lập luận: sự tương thích này chỉ ra một thiếu sót căn bản trong hiểu biết của chúng ta về vũ trụ vật lý. Ý kiến này dựa trên một quan điểm không thể chứng minh nhưng sâu sắc cho rằng, Vũ trụ - nếu chúng ta hiểu nó ở mức sâu nhất và cơ bản nhất - phải được mô tả bởi một lý thuyết nhất quán và lôgic trong đó các phần của nó phải được thống nhất một cách hài hòa. Và chắc chắn, bất chấp sự không tương thích đó quan trọng tới mức nào đối với những nghiên cứu riêng của mình, đa số các nhà vật lý đều nhận thấy khó có thể tin được rằng, ở cái mức sâu nhất đó, hiểu biết lý thuyết sâu xa nhất của chúng ta về Vũ trụ lại quy về sự chắp vá không phù hợp với nhau về mặt toán học của hai lý thuyết rất có sức mạnh nhưng lại xung đột với nhau.

Các nhà vật lý cũng đã rất nỗ lực để sửa đổi thuyết tương đối rộng cũng như cơ lượng tử để tránh sự xung đột đó, song những nỗ lực ấy, mặc dù rất táo bạo và thông minh, đều gặp hết thất bại này đến thất bại khác.

Điều đó thực sự đã diễn ra cho tới khi ra đời lý thuyết siêu dây [3].

[1] Trong sự phát triển của các lý thuyết lượng tử của ba lực phi hấp dẫn, các nhà vật lý cũng vấp phải những tính toán cho các kết quả vô hạn. Tuy nhiên, với thời gian, họ dần dần nhận thấy rằng những giá trị vô hạn đó có thể khử được nhờ một công cụ có tên là sự tái chuẩn hóa. Những giá trị vô hạn xuất hiện trong nỗ lực sáp nhập thuyết tương đối rộng và cơ học lượng tử còn nghiêm trọng hơn rất nhiều và không thể chữa chạy được bằng "liệu pháp" tái chuẩn hóa. Thậm chí mới đây thôi, các nhà vật lý mới nhận ra rằng những đáp số vô hạn đó chính là tín hiệu cảnh báo rằng lý thuyết đang được sử dụng để phân tích thực tại đã vượt ra ngoài phạm vi áp dụng của nó. Vì mục đích của những nghiên cứu hiện nay là tìm kiếm một lý thuyết có phạm vi ứng dụng, về nguyên tắc, là không có giới hạn, tức là một lý thuyết "tối hậu" hay lý thuyết "cuối cùng", nên các nhà vật lý muốn tìm một lý thuyết trong đó các đáp số vô hạn không được xuất hiện, bất kể hệ vật lý được xem xét ở những điều kiện cực hạn tới mức nào.

[2] Cỡ của chiều dài Planck có thể hiểu được bằng cách dựa trên phương pháp luận mà trong vật lý được gọi là phương pháp phân tích thứ nguyên. Ý tưởng của phương pháp này như sau. Thường thường một lý thuyết được xây dựng như một tập hợp các phương trình, nhưng, nếu lý thuyết cần phải mô tả các hiện tượng tự nhiên thì những ký hiệu trừu tượng có mặt trong các phương trình đó phải liên hệ chặt chẽ với những đặc trưng vật lý. Đặc biệt, một điều quan trọng là chúng ta cần phải định nghĩa một hệ đơn vị. Ví dụ, một ký hiệu biểu diễn một độ dài nào đó. Nếu các phương trình chỉ rằng ký hiệu đó lấy giá trị 5, thì còn cần phải biết chiều dài đó là 5cm, 5km hay 5 năm ánh sáng v.v... Trong một lý thuyết có liên quan tới thuyết tương đối rộng và cơ học lượng tử, việc chọn hệ đơn vị xuất hiện một cách tự nhiên theo cách sau. Thuyết tương đối rộng dựa trên hai hằng số tự nhiên là vận tốc ánh sáng c và hằng số hấp dẫn G của Newton, còn cơ học lượng tử phụ thuộc vào một hằng số tự nhiên là h. Bằng cách xem xét thứ nguyên của các hằng số đó (ví dụ c là vận tốc nên bằng chiều dài chia cho thời gian, v.v...) ta có thể thấy rằng tổ hợp h thực sự có thứ nguyên chiều dài. Thay giá trị của các hằng

số vào, ta nhận được giá trị 1,616, 10-33cm. Đây chính là chiều dài Planck. Đây chính là thang đo hay đơn vị tự nhiên của chiều dài trong bất kỳ lý thuyết nào có ý định sáp nhập thuyết tương đối rộng và cơ học lượng tử. Trong phần nội dung chính của cuốn sách chúng tôi chỉ lấy giá trị gần đúng của giá trị vừa tính được ở trên.

[3] Hiện nay ngoài lý thuyết dây, còn có hai cách tiếp cận nhằm sáp nhập thuyết tương đối rộng và cơ học lượng tử đang được theo đuổi rất ráo riết. Một cách tiếp cận được dẫn dắt bởi Roger Penrose ở Đại học Oford và được biết tới với tên gọi là lý thuyết "twistor". Cách tiếp cận thứ hai - được gợi ý một phần bởi các công trình của Penrose - được dẫn dắt bởi Abhay Ashtekar thuộc Đại học quốc gia Pennsylvania và được biết tới dưới cái tên phương pháp các biến mới. Mặc dù hai cách tiếp cận đó không được bàn đến trong cuốn sách này, nhưng ngày càng có những dấu hiệu khiến người ta ngờ rằng hai cách tiếp cận này có mối liên hệ sâu xa với lý thuyết dây và cũng có thể là, cùng với lý thuyết dây, ba cách tiếp cận đó cuối cùng sẽ dẫn tới một giải pháp để sáp nhập thuyết tương đối rộng và cơ học lượng tử

Lý thuyết dây đã đề xuất thay đổi một cách mới mẻ và sâu sắc sự mô tả lý thuyết các tính chất siêu vi mô của vũ trụ, mà dần dần các nhà vật lý mới hiểu ra rằng, sự thay đổi đó đã sửa lại thuyết tương đối rộng của Einstein đúng theo cách để cho nó hoàn toàn tương thích với các định luật của cơ học lượng tử...

CHƯƠNG 6

KHÔNG CÓ GÌ KHÁC NGOÀI ÂM NHẠC
NHỮNG CƠ SỞ CỦA LÝ THUYẾT SIÊU DÂY

Từ rất lâu, âm nhạc đã là nguồn vô tận của những ẩn dụ cho những ai thường tự đặt ra những câu hỏi về vũ trụ. Từ "âm nhạc của những hình cầu" của trường phái Pythagore tới "những hòa âm của tự nhiên", qua nhiều thế kỷ, đã dẫn dắt chúng ta cùng nhau tìm kiếm bài ca của tự nhiên trong những hành trình lang thang êm dịu của các thiên thể và sự nổi loạn quyết liệt của các hạt dưới nguyên tử. Với sự phát minh ra lý thuyết siêu dây, những ẩn dụ âm nhạc đã có một thực tiễn bất ngờ, vì lý thuyết này cho rằng phong cảnh vi mô tràn ngập những sợi dây đàn nhỏ xíu mà các mode rung động của chúng đã tấu lên sự tiến hóa của vũ trụ.

Trong mô hình chuẩn, các thành phần sơ cấp của vũ trụ được xem là các hạt điểm, không có cấu trúc nội tại. Mặc dù sức mạnh to lớn của mô hình này (như chúng ta đã nói ở trên, về căn bản tất cả những tiên đoán của nó về thế giới vi mô đều được thực nghiệm xác nhận tới tận thang chiều dài cỡ 1 phần tỷ tỷ mét - giới hạn của công nghệ hiện nay), nhưng nó chưa thể là một lý thuyết hoàn chỉnh hay cuối cùng, bởi vì nó bao hàm được lực hấp dẫn. Hơn thế nữa, những ý đồ gộp lực hấp dẫn vào khuôn khổ lượng tử của nó đều thất bại do những thăng giáng mạnh vào cấu trúc không gian xuất hiện ở những khoảng cách siêu vi mô, tức là những khoảng cách nhỏ hơn chiều dài Planck. Cuộc xung đột chưa được giải quyết này đã buộc chúng ta phải tìm kiếm sự hiểu biết sâu sắc hơn nữa về tự nhiên. Năm 1984, hai nhà vật lý Micheal Green, hồi đó làm việc ở trường Queen Mary College, Luân Đôn và John Schwarz thuộc Học viện Công nghệ California (thường viết tắt là Caltech - ND) đã đưa ra những mẩu bằng chứng có sức thuyết phục đầu tiên chứng tỏ

lý thuyết siêu dây (hay gọi tắt là lý thuyết dây cho gọn) rất có thể sẽ cung cấp cho chúng ta sự hiểu biết đó.

Lý thuyết dây đã đề xuất thay đổi một cách mới mẻ và sâu sắc sự mô tả lý thuyết các tính chất siêu vi mô của vũ trụ, mà dần dần các nhà vật lý mới hiểu ra rằng, sự thay đổi đó đã sửa lại thuyết tương đối rộng của Einstein đúng theo cách để cho nó hoàn toàn tương thích với các định luật của cơ học lượng tử. Theo lý thuyết dây, các thành phần sơ cấp của vũ trụ không phải là hạt điểm. Mà chúng là những sợi dây rất nhỏ 1 chiều, na ná như một sợi dây cao su vô cùng mảnh dao động liên hồi. Nhưng chớ nên để cho cái tên đó lừa phỉnh bạn; không giống như sợi dây thông thường được cấu tạo bởi các nguyên tử và phân tử, các dây của lý thuyết dây được coi như là nằm sâu trong tận trái tim của vật chất. Lý thuyết này cho rằng chúng là những thành phần siêu vi mô tạo nên các hạt cấu thành của nguyên tử. Các dây của lý thuyết dây là nhỏ (xét trung bình chúng cỡ chiều dài Planck), tới mức chúng tựa như là một điểm ngay cả khi chúng được khảo sát bởi những thiết bị mạnh nhất của chúng ta.

Sự thay thế đơn giản các hạt điểm bằng các mẩu dây như là những thành phần cơ bản của vạn vật cũng đã đưa lại những hệ quả có tầm khá xa. Đầu tiên và trước hết, lý thuyết dây tỏ ra có khả năng giải quyết được sự xung đột giữa thuyết tương đối rộng và cơ học lượng tử. Như chúng ta sẽ thấy, bản chất có quảng tính không gian của dây là một yếu tố mới rất quan trọng để có được một khuôn khổ hài hòa và duy nhất bao hàm cả hai lý thuyết. Hai nữa, lý thuyết dây cho ta một lý thuyết thống nhất đích thực, vì toàn bộ vật chất và tất cả các lực đều được coi là nảy sinh từ một thành phần cơ bản, đó là các dây dao động. Cuối cùng, như sẽ được thảo luận trong các chương sau, ngoài những thành tựu tuyệt vời đó, lý thuyết dây lại một lần nữa làm thay đổi một cách căn bản sự hiểu biết của chúng ta sẽ về không - thời gian.

Dựa trên kết quả đó, hai người đã cho rằng lý thuyết dây sở dĩ thất bại ở giai đoạn ban đầu của nó là bởi vì các nhà vật lý đã hạn chế quá đáng phạm vi của nó. Lý thuyết dây không chỉ là thuyết của tương tác mạnh mà nó còn là lý thuyết lượng tử bao hàm được cả lực hấp dẫn nữa...

•◎Lược sử lý thuyết dây

Năm 1968, một nhà vật lý lý thuyết trẻ tên là Gabriele Veneziano đã trăn

trở rất nhiều nhằm giải thích những tính chất khác nhau của lực hạt nhân mạnh mà người ta đã quan sát được bằng thực nghiệm. Hồi đó, Veneziano đang làm việc ở CERN, trung tâm hạt nhân của châu Âu, đặt tại Geneva, Thụy Sĩ. Trong nhiều năm ròng, ông đã nghiên cứu vấn đề này, và cho tới một hôm, trong đầu ông chợt loé lên một phát hiện lạ lùng. Ông vô cùng kinh ngạc nhận thấy rằng, một công thức vốn đã được nhà toán học Thụy Sĩ nổi tiếng Leona Euler xây dựng khoảng hơn hai trăm năm trước đó cho những mục đích thuần túy toán học và thường được gọi là hàm bêta Euler, dường như lại mô tả được nhiều tính chất của các hạt tương tác mạnh. Phát hiện của Veneziano đã cho ta sự thâu tóm rất có hiệu quả bằng toán học nhiều đặc trưng của tương tác mạnh mẽ nhằm sử dụng hàm bêta và các dạng tổng quát hóa của nó để mô tả một chuỗi những dữ liệu thực nghiệm mà các nhà vật lý chuyên "hoàn tán" các nguyên tử trên khắp thế giới đã thu lượm được. Tuy nhiên, theo một ý nghĩa nào đó thì phát minh của Veneziano còn chưa đầy đủ. Tựa như một công thức mà một sinh viên học thuộc lòng nhưng lại không hiểu ý nghĩa cũng như nguồn gốc của nó, hàm bêta Euler đúng là rất có hiệu quả nhưng lại không một ai biết tại sao lại như vậy. Đó là một công thức còn cần phải giải thích. Mãi cho tới tận năm 1970, những công trình của Yoichiro Nambu ở Đại học Chicago, Holger Nielsen ở Viện Niels Bohr và Leonard Susskin ở Đại học Stanford mới phát lộ được nội dung vật lý nằm ẩn khuất phía sau công thức Euler. Ba nhà vật lý này đã chứng tỏ được rằng nếu một hạt sơ cấp được mô hình hóa như các dây nhỏ bé một chiều dao động, thì tương tác mạnh của chúng có thể được mô tả chính xác bởi hàm Euler. Theo lập luận của họ, nếu như các dây này đủ nhỏ thì chúng vẫn còn được xem như các hạt điểm và do đó phù hợp với những quan sát thực nghiệm.

Mặc dù điều này cho ta một lý thuyết thú vị và đơn giản về mặt trực giác, nhưng không lâu trước đó, sự mô tả tương tác mạnh theo lý thuyết dây đã tỏ ra thất bại. Vào đầu những năm 1970, những thí nghiệm năng lượng cao có khả năng thăm dò sâu hơn thế giới dưới nguyên tử đã chứng tỏ rằng mô hình dây đưa ra nhiều tiên đoán mâu thuẫn với thực nghiệm. Trong khi đó, sắc động lực học lượng tử dựa trên các hạt điểm đã được phát triển và những thành công vang dội của nó trong việc mô tả tương tác mạnh đã dẫn tới sự thất sủng của lý thuyết dây.

Phần lớn các nhà vật lý hạt đều nghĩ rằng thế là thuyết dây đã bị ném vào sọt rác của khoa học, nhưng một số ít các nhà vật lý chuyên môn

vẫn kiên trì đeo bám nó. Chẳng hạn, Schwarz vẫn cảm thấy rằng "cấu trúc toán học của lý thuyết dây đẹp và có nhiều tính chất tuyệt diệu tới mức nó buộc phải hướng dẫn tới một cái gì đó hết sức cơ bản"[1]. Một trong số các thiếu sót của của lý thuyết dây mà các nhà vật lý tìm thấy, đó là dường như nó có sức bao quát thực sự to lớn. Do lý thuyết dây chứa đựng những cấu hình của dây dao động có những tính chất liên quan chặt chẽ với các gluon nên nó đã tuyên bố quá sớm mình là lý thuyết của tương tác mạnh. Nhưng ngoài điều đó ra, lý thuyết này còn chứa đựng cả những hạt truyền tương tác khác nữa, những hạt không có liên quan gì với những quan sát thực nghiệm của tương tác mạnh. Năm 1974, Schwarz và Joel Scherk ở trường Cao đẳng sư phạm Paris đã thực hiện một bước nhảy táo bạo biến cái nhược điểm bề ngoài đó thành ưu điểm. Họ đã nghiên cứu những đặc trưng của các mode dao động mới này và nhận thấy rằng những tính chất đó phù hợp tuyệt vời với hạt truyền tương tác giả định của trường hấp dẫn, tức là graviton. Mặc dù những gói nhỏ bé nhất đó của trường hấp dẫn còn chưa bao giờ quan sát được, nhưng các nhà lý thuyết đã tiên đoán một cách vững tin một số đặc tính cơ bản mà nó cần phải có. Đồng thời, Scherk và Schwarz cũng đã tìm ra rằng những đặc tính đó cần phải được thực hiện chính xác bởi một số mode dao động. Dựa trên kết quả đó, hai người đã cho rằng lý thuyết dây sở dĩ thất bại ở giai đoạn ban đầu của nó là bởi vì các nhà vật lý đã hạn chế quá đáng phạm vi của nó. Lý thuyết dây không chỉ là thuyết của tương tác mạnh mà nó còn là lý thuyết lượng tử bao hàm được cả lực hấp dẫn nữa.

Cộng đồng các nhà vật lý kiên quyết không chấp nhận ý kiến đó. Thực tế, Schwarz đã phải thú nhận rằng "công trình của chúng tôi hoàn toàn không được đếm xỉa đến" [2]. Con đường tiến bộ chất ngổn ngang những ý đồ thất bại trong việc thống nhất hấp dẫn với cơ học lượng tử. Lý thuyết dây đã thất bại trong nỗ lực ban đầu của nó nhằm mô tả tương tác mạnh và đối với nhiều người dường như sẽ là vô nghĩa nếu có ý định dùng nó để đạt tới mục tiêu lớn hơn. Thậm chí những nghiên cứu sau đó còn gây sửng sốt hơn nữa, vào cuối những năm 1970 đầu những năm 1980 lý thuyết dây và cơ học lượng tử có những xung đột tinh tế riêng với nhau. Hóa ra, lại một lần nữa, lực hấp dẫn vẫn ương ngạnh chống lại sự hợp nhất trong một lý thuyết lượng tử mô tả vũ trụ.

Tình hình không có gì sáng sủa hơn cho tới tận năm 1984. Trong một bài báo cáo có tính chất cột mốc tích tụ của hơn 12 năm nghiên cứu căng

thẳng, phần lớn không được ai ngó ngàng tới và thường bị đa số các nhà vật lý bác bỏ, Green và Schwarz đã xác lập được rằng sự xung đột lượng tử tinh tế ảnh hưởng xấu đến lý thuyết dây đã được giải quyết. Hơn thế nữa, họ còn chứng minh được rằng lý thuyết mà họ xây dựng được có đủ tầm vóc để bao hàm được tất cả bốn lực và cả vật chất nữa. Khi tin đồn về kết qủa này đến tai cộng đồng vật lý trên khắp thế giới, hàng trăm nhà vật lý hạt đã bỏ luôn công việc nghiên cứu đang làm của họ để lao vào một cuộc tấn công trên quy mô lớn mà họ nghĩ rằng đây là trận chiến cuối cùng trong cuộc chinh phục những bí mật của vũ trụ đã được khởi phát từ thời cổ đại.

Tôi bắt đầu làm nghiên cứu sinh tại Đại học Oxford vào tháng 10 năm 1984. Mặc dù lúc đó tôi rất hăm hở muốn lao vào học các thứ như lý thuyết trường lượng tử, lý thuyết trường chuẩn và thuyết tương đối rộng, nhưng bạn bè tốt nghiệp trước tôi phần lớn lại nghĩ rằng vật lý hạt sẽ rất ít hoặc hoàn toàn chẳng có tương lai gì. Mô hình chuẩn đã xây dựng xong và những thành công tuyệt vời của nó trong việc tiên đoán kết cục của các thực nghiệm chỉ ra rằng việc kiểm chứng nó đơn giản chỉ còn là vấn đề thời gian và chi tiết. Vượt qua những giới hạn của mô hình chuẩn để bao hàm cả hấp dẫn và thậm chí giải thích được cả những dữ liệu thực nghiệm là cơ sở của mô hình đó, mà cụ thể là 19 tham số gồm khối lượng và diện tích của các hạt sơ cấp cũng như cường độ tương đối của các tương tác đã được xác định bằng thực nghiệm nhưng còn chưa hiểu được về mặt lý thuyết, đó là một nhiệm vụ khổng lồ khiến cho tất cả các nhà vật lý, trừ những người dũng cảm nhất, đều chịu bó tay. Nhưng sáu tháng sau, tâm trạng này đã hoàn toàn khác hẳn. Thành công của Green và Schwarz cuối cùng đã lọt tới tai thậm chí của những nghiên cứu sinh năm thứ nhất và tất cả chúng tôi đều cảm thấy phấn khích vì được sống giữa thời điểm bước ngoặt sâu sắc của lịch sử vật lý. Rất nhiều người trong số chúng tôi làm việc thâu đêm với khát vọng làm chủ được những lĩnh vực rộng lớn của vật lý lý thuyết và toán học trừu tượng cần phải có để hiểu được lý thuyết dây.

Thời gian từ 1984 đến 1986 được biết tới như "cuộc cách mạng siêu dây lần thứ nhất". Trong ba năm đó, hơn một ngàn bài báo nghiên cứu về lý thuyết dây đã được viết bởi các nhà vật lý trên khắp thế giới. Những công trình này đã chứng tỏ một cách dứt khoát rằng rất nhiều phương diện của mô hình chuẩn phải mất hàng chục năm nghiên cứu cần mẫn mới phát hiện ra, thì bây giờ xuất hiện một cách hoàn toàn tự nhiên và

đơn giản từ lý thuyết dây. Như Micheal Green đã nói: "Chỉ cần làm quen với lý thuyết dây và thấy rằng hầu như tất cả những thành tựu vĩ đại nhất của vật lý trong một trăm năm qua đều xuất hiện, mà lại xuất hiện với một vẻ đẹp thanh nhã đến như thế, lại từ một điểm xuất phát khá đơn giản, bạn mới hiểu được rằng lý thuyết này phải có một chỗ đứng riêng biệt xứng đáng" [3]. Hơn thế nữa, đối với nhiều phương diện đó, như chúng ta sẽ thấy dưới đây, lý thuyết dây dã giải thích một cách đầy đủ hơn và thỏa đáng hơn so với mô hình chuẩn. Những tiến bộ đó đã thuyết phục được nhiều nhà vật lý tin rằng lý thuyết dây đã đi đúng hướng để thực hiện lời hứa của nó là trở thành một lý thuyết thống nhất tối hậu.

Tuy nhiên, lý thuyết dây lại vấp phải một trở ngại to lớn. Trong nghiên cứu vật lý lý thuyết người ta thường gặp những phương trình rất khó hiểu và khó phân tích. Thường thì các nhà vật lý không chịu bó tay, họ tìm cách giải chúng một cách gần đúng. Nhưng tình hình trong lý thuyết dây còn cam go hơn rất nhiều. Ngay cả việc xác định chính bản thân các phương trình đã là rất khó khăn đến nỗi, cho tới nay, mới chỉ dẫn được ra những phương trình gần đúng. Do vậy, các nhà lý thuyết dây đành phải tìm những nghiệm gần đúng cho những phương trình gần đúng. Sau một ít năm tiến như vũ bão trong cuộc cách mạng siêu dây lần thứ nhất, các nhà vật lý nhận thấy rằng nếu chỉ hạn chế trong những phép gần đúng đó thì không đủ để trả lời cho rất nhiều vấn đề căn bản cần cho sự phát triển tiếp theo. Do không có những đề xuất cụ thể vượt qua các phương pháp gần đúng, nhiều nhà vật lý đang nghiên cứu lý thuyết dây cảm thấy thất vọng và đành quay về những phương hướng nghiên cứu trước kia của họ. Đối với những người còn ở lại thì cuối những năm 1980 và đầu những năm 1990 quả là một thời kỳ khó khăn. Cũng giống như một kho báu được khóa chặt trong két sắt và chỉ nhìn thấy qua một lỗ khóa bé xíu và luôn luôn mời chào, vẻ đẹp và sự hứa hẹn của lý thuyết siêu dây lấp lánh vẫy gọi, nhưng không một ai có chìa khóa để giải phóng hết sức mạnh của nó. Những thời kỳ khô hạn kéo dài vẫn đều đặn có những phát minh quan trọng, nhưng mọi người nghiên cứu lý thuyết dây đều biết rằng đã đến lúc bức xúc cần phải tìm ra những phương pháp mới, có khả năng vượt ra ngoài những phép gần đúng đã có.

Sau đó, trong bài giảng làm nức lòng người tại hội nghị Siêu dây 1995, được tổ chức tại Đại học Nam California, một bài giảng khiến cho cử toạ

ít ỏi gồm những chuyên gia hàng đầu thế giới về lý thuyết dây phải kinh ngạc, Edward Wittrn đã châm ngòi cho cuộc cách mạng siêu dây lần thứ hai. Từ ngày đó, các nhà lý thuyết dây đã làm việc hết sức mình để mài sắc những phương pháp mới hứa hẹn vượt qua được những trở ngại đã gặp trước đây. Những khó khăn còn ở phía trước sẽ thử thách nghiêm khắc sức mạnh kỹ thuật của các nhà lý thuyết dây trên khắp thế giới, nhưng ánh sáng ở cuối đường hầm, mặc dù còn lờ mờ phía xa, nhưng có lẽ rồi cuối cùng cũng sẽ thấy được.

Trong chương này và nhiều chương tiếp sau, chúng tôi sẽ mô tả những hiểu biết về lý thuyết siêu dây xuất hiện từ cuộc cách mạng lần thứ nhất và những công trình sau đó trước khi có cuộc cách mạng lần thứ hai. Mặc dù đôi khi chúng tôi cũng sẽ chỉ ra một số khía cạnh mới nảy sinh từ cuộc cách mạng lần thứ hai, nhưng chúng tôi sẽ chỉ thực sự nói về những tiến bộ mới nhất đó ở các chương 12 và 13.

[1] Phỏng vấn John Schwarz, ngày 23 tháng 12 năm 1997.

[2] Phỏng vấn John Schwarz, ngày 23 tháng 12 năm 1997.

[3] Phỏng vấn Micheal Green, ngày 20 tháng 12 năm 1997.

Ngoại trừ một số suy xét trong các chương 12 và 13, còn thì ở đây chúng ta sẽ chỉ xem xét các dây theo cách đã được đề xuất trong câu trả lời thứ nhất, tức là xem các dây là những thành phần cơ bản nhất của tự nhiên...

•◎Lại nói về các nguyên tử... của người Hi Lạp

Như chúng tôi đã nhắc tới ở đầu chương này và được xem minh họa trên hình 1.1, lý thuyết dây đã khẳng định rằng nếu như các hạt điểm giả định của mô hình chuẩn được xem xét với độ chính xác vượt ra ngoài khả năng của chúng ta hiện nay, thì mỗi hạt đó sẽ được coi như tạo bởi một vòng dây dao động bé xíu.

Vì những lý do được sáng tỏ dưới đây, chiều dài điển hình của vòng dây này vào cỡ chiều dài Planck, tức là khoảng một trăm tỷ tỷ (1020) lần nhỏ hơn kích thước hạt nhân nguyên tử. Vì vậy, không có gì lạ là tại sao những thí nghiệm hiện nay của chúng ta không có khả năng phân giải được bản chất dây vi mô của vật chất: các dây là quá nhỏ bé, thậm chí ngay đối với cả các thang dưới nguyên tử. Để có thể quan sát được các dây, chúng ta phải cần tới một máy gia tốc bắn phá vật chất vào vật chất

với năng lượng cỡ vài triệu tỷ lần lớn hơn bất cứ một máy gia tốc nào đã từng được xây dựng trước đây.

Chúng ta sẽ mô tả ngắn gọn những hệ quả lạ lùng được suy ra từ việc thay thế các hạt điểm bằng các dây, nhưng trước hết chúng ta hãy đề cập tới một câu hỏi cơ bản hơn: dây được cấu tạo từ cái gì?

Có hai câu trả lời khả dĩ cho câu hỏi này. Trước hết, các dây thực sự là cơ bản, tức chúng là các "nguyên tử", những thành phần không thể phân chia được nữa theo nghĩa đúng đắn nhất của những người Hi Lạp cổ đại. Vì là những thành phần nhỏ nhất một cách tuyệt đối của mọi vật, chúng là điểm tận cùng của một dãy nhiều lớp cấu trúc con trong thế giới vi mô, giống như con búp bê cuối cùng trong dãy những con búp bê Matrioshka của nước Nga. Trên quan điểm đó, thậm chí mặc dù các dây có quảng tính không gian, nhưng câu hỏi về thành phần của chúng là hoàn toàn vô nghĩa. Nếu như các dây lại được cấu tạo từ một cái gì đó nhỏ hơn thì chúng đâu có còn là cơ bản nữa. Thay vì, bất cứ cái gì tạo nên các dây sẽ ngay lập tức hạ bệ chúng và đường hoàng tuyên bố mình mới chính là thành phần cơ bản hơn của vũ trụ. Tương tự như ngôn ngữ của chúng ta, các đoạn được tạo bởi các câu, các câu lại được tạo bởi các từ và các từ được tạo bởi các chữ cái. Vậy cái gì tạo nên các chữ cái? Trên quan điểm ngôn ngữ học thì đó là nấc tận cùng rồi. Các chữ cái chỉ là chữ cái mà thôi, chúng chính là những viên gạch cơ bản của ngôn ngữ viết và không còn cấu trúc dưới chúng nữa. Vì vậy hỏi về cấu trúc của nó là vô nghĩa. Tương tự như vậy, các dây chỉ là dây mà thôi. Và vì không có gì cơ bản hơn, nên nó không thể được mô tả như là tạo bởi một chất gì khác.

Đó là câu trả lời thứ nhất. Câu trả lời thứ hai dựa trên một thực tế đơn giản là, hiện chúng ta còn chưa biết lý thuyết dây có là lý thuyết đúng đắn hay cuối cùng của tự nhiên hay không. Nếu lý thuyết dây thực sự là sai, thì chúng ta có thể quên chúng đi và quên luôn cả những câu hỏi của chúng ta về cấu trúc của chúng nữa. Mặc dù đây cũng là một khả năng, nhưng từ giữa những năm 1980, nhiều nghiên cứu đã chỉ ra một cách thuyết phục rằng khả năng đó là cực kỳ nhỏ bé. Nhưng lịch sử đã thực sự dạy chúng ta rằng mỗi khi sự hiểu biết của chúng ta về tự nhiên sâu sắc hơn, là một lần chúng ta lại tìm ra những thành vi mô còn nhỏ hơn nữa tạo nên một cấp độ tinh vi hơn của vật chất. Và đây là một khả năng khác: nếu như lý thuyết dây chưa phải là lý thuyết cuối cùng, thì

các dây còn một lớp dưới nữa trong củ hành vũ trụ, một lớp sẽ trở thành thấy được ở chiều dài Planck, mặc dù có thể đó vẫn chưa phải là lớp cuối cùng. Trong trường hợp đó, các dây có thể sẽ được tạo bởi những cấu trúc còn nhỏ hơn nữa. Các nhà lý thuyết dây cũng đã nêu ra và tiếp tục theo đuổi khả năng đó. Hiện nay, một số nghiên cứu lý thuyết đã phát hiện thấy những dấu hiệu rất hấp dẫn mách bảo rằng các dây có thể có cấu trúc dưới nữa, nhưng vẫn còn chưa có những bằng chứng quyết định. Chỉ có thời gian và những nghiên cứu sâu sắc hơn mới có thể đặt dấu chấm hết cho vấn đề này.

Ngoại trừ một số suy xét trong các chương 12 và 13, còn thì ở đây chúng ta sẽ chỉ xem xét các dây theo cách đã được đề xuất trong câu trả lời thứ nhất, tức là xem các dây là những thành phần cơ bản nhất của tự nhiên.

Lý thuyết dây làm thay đổi bức tranh đó một cách triệt để bằng cách tuyên bố rằng "vật liệu" của mọi hạt vật chất và của tất cả các lực đều như nhau. Mỗi một hạt sơ cấp được tạo bởi một dây, tức là mỗi hạt là một dây và tất cả các dây đều hoàn toàn như nhau...

•◎Thống nhất qua lý thuyết dây

Ngoài sự không có khả năng bao hàm được lực hấp dẫn, mô hình chuẩn còn có một điểm yếu nữa, đó là nó không giải thích được những chi tiết trong cấu trúc của nó. Chẳng hạn như, tại sao tự nhiên lại chọn chính các hạt và các lực mà chúng ta đã giới thiệu ở các chương trước và được liệt kê trong các bảng 1.1 và 1.2? Tại sao 19 tham số mô tả định lượng các hạt và các lực đó lại có đúng những giá trị như chúng đang có? Bạn không thể không cảm thấy rằng số lượng và các tính chất của chúng có vẻ hơi tùy tiện. Liệu có một ý nghĩa sâu xa hơn lẩn khuất phía sau những cấu thành cơ bản đó hay là những tính chất vật lý chi tiết của vũ trụ đã được lựa chọn một cách tình cờ?

Bản thân mô hình chuẩn không thể đưa ra một cách giải thích nào bởi vì bản thân nó đã lấy danh sách các hạt và những tính chất của chúng được đo bằng thực nghiệm làm những dữ liệu đầu vào. Giống như không thể sử dụng tình trạng trên thị trường chứng khoán để xác định giá trị chứng khoán đầu tư của bạn nếu như không có những dữ liệu đầu vào về đầu tư ban đầu của bạn, mô hình chuẩn cũng không thể được dùng để đưa ra bất cứ tiên đoán nào nếu như không có những dữ liệu đầu vào là những tính chất cơ bản của các hạt [1]. Sau khi các nhà

vật lý thực nghiệm đã đo những dữ liệu đó một cách hết sức thận trọng, các nhà lý thuyết mới dùng mô hình chuẩn để đưa ra những tiên đoán có thể kiểm chứng được, chẳng hạn, điều gì sẽ xảy ra khi các hạt cụ thể nào đó va đập vào nhau trong máy gia tốc. Những mô hình chuẩn không có khả năng giải thích được những tính chất cơ bản của các hạt được liệt kê trong các bảng 1.1 và 1.2, giống như chỉ số Dow Jones ngày hôm nay không thể biết gì về đầu tư chứng khoán của bạn 10 năm trước.

Thực tế, nếu thực nghiệm phát hiện được một thế giới vi mô chứa một danh sách các hạt hơi khác với những tương tác hơi khác, thì mô hình chuẩn cũng dễ dàng thích nghi với những thay đổi đó miễn là phải cung cấp cho nó những tham số đầu vào khác. Theo nghĩa đó, cấu trúc của mô hình chuẩn quá ư mềm dẻo khiến cho nó không thể giải thích được tính chất của các hạt sơ cấp vì nó có thể thích nghi với một phạm vi rộng lớn các khả năng.

Nhưng lý thuyết dây thì khác hẳn. Nó là một cấu trúc duy nhất và không mềm dẻo. Nó không đòi hỏi dữ liệu đầu vào, trừ một con số duy nhất sẽ được mô tả dưới đây. Đó là con số thiết đặt thang qui chiếu cho các phép đo. Toàn bộ các tính chất của thế giới vi mô đều nằm trong tầm giải thích của nó. Để hiểu điều này, trước hết ta hãy xét các dây quen thuộc hơn, đó là các dây đàn violông. Mỗi dây đàn có thể chứa một số lớn (thực tế là vô hạn) các mode dao động khác nhau được gọi là các cộng hưởng, như những dao động được minh họa trên hình 6.1.

Hình 6.1. Các dây đàn violông có thể dao động theo các mode cộng hưởng trong đó một số nguyên các đỉnh và hõm sóng được đặt vừa khít giữa hai đầu dây.

Đó là những dạng sóng trong đó các đỉnh và các hõm sóng cách nhau đều đặn và được sắp xếp vừa khít giữa hai đầu cố định của dây đàn. Tai chúng ta cảm nhận được những mode dao động cộng hưởng khác nhau này là những nốt nhạc khác nhau. Các dây trong lý thuyết dây cũng có những tính chất tương tự. Chúng cũng có những mode dao động cộng hưởng trong đó các đỉnh và hõm cách nhau đều đặn và sắp xếp vừa khít dọc theo chiều dài của chúng. Một số ví dụ được minh họa trên hình 6.2.

Nhưng đây mới là điều quan trọng nhất: giống như

Hình 6.2. Các vòng dây trong lý thuyết dây cũng có thể dao động theo

các mode cộng hưởng, tương tự như các dây đàn violông, trong đó một số nguyên các đỉnh và hõm sóng được đặt vừa khít dọc theo chiều dài của chúng.

các dây đàn violông sinh ra các nốt nhạc khác nhau, những mode dao động khác nhau của một dây cơ bản cũng sinh ra các khối lượng khác nhau và các tích của lực. Vì đây là điểm then chốt, nên ta nói lại một lần nữa. Theo lý thuyết dây, những tính chất của một "hạt" sơ cấp, tức khối lượng và các tích lực khác nhau của nó, được xác định bởi mode dao động cộng hưởng chính xác mà dây nội tại của nó thực hiện.

Đối với khối lượng của hạt, mối liên hệ đó khá dễ hiểu. Ta biết rằng, năng lượng của một mode dao động cụ thể nào đó phụ thuộc vào biên độ (tức là độ cao hay độ sâu cực đại của dao động) và bước sóng (tức khoảng cách giữa hai đỉnh sóng kế tiếp) của nó. Biên độ càng lớn và bước sóng càng ngắn, thì năng lượng càng lớn. Điều này phản ánh một thực tế mà ta có thể cảm nhận được bằng trực giác: mode dao động càng mãnh liệt thì càng có năng lượng lớn, còn các mode dao động càng thư thả càng có năng lượng nhỏ.

Hình 6.3. Mode dao động mãnh liệt sẽ có năng lượng lớn hơn mode dao động lờ đờ.

Hình 6.3 là hai ví dụ minh họa. Điều này quá quen thuộc với chúng ta vì cũng tựa như dây đàn violông, nếu ta gảy càng mạnh thì nó dao động càng điên cuồng, còn nếu ta gảy nhẹ thì nó chỉ dao động êm dịu mà thôi. Theo thuyết tương đối hẹp ta lại biết rằng, năng lượng và khối lượng là hai mặt của một đồng xu: năng lượng càng lớn có nghĩa là khối lượng càng lớn và ngược lại. Như vậy, theo lý thuyết dây, khối lượng của một hạt sơ cấp được xác định bởi năng lượng của mode dao động của dây nội tại của nó. Hạt nặng hơn thì dây nội tại của nó dao động mạnh hơn, trong khi các hạt nhẹ hơn có dây nội tại dao động yếu hơn.

Vì khối lượng của hạt lại xác định những tính chất hấp dẫn của nó, nên chúng ta thấy rằng có một sự liên quan trực tiếp giữa mode dao động của dây và phản ứng của hạt đối với lực hấp dẫn. Mặc dù những lập luận nghe có vẻ hơi trừu tượng nhưng các nhà vật lý đã phát hiện ra rằng, có một sự tương ứng tương tự giữa các đặc tính khác của các mode dao động của dây và những tính chất của các hạt liên quan với các lực khác. Chẳng hạn, điện tích, tích yếu và tích mạnh của một dây

đã cho sẽ được xác định bởi cách dao động cụ thể của nó. Hơn thế nữa, ý tưởng này cũng hoàn toàn đúng với cả những hạt truyền tương tác. Những hạt như photon, các boson yếu và gluon chẳng qua cũng chỉ là những mode dao động khác của dây. Và một điều đặc biệt quan trọng, đó là trong số các mode dao động có một mode hoàn toàn phù hợp với các tính chất của graviton và điều đó đảm bảo rằng lực hấp dẫn là một bộ phận cấu thành của lý thuyết dây.

Như vậy, chúng ta thấy rằng, theo lý thuyết dây, những tính chất quan sát được của một hạt sơ cấp xuất hiện là bởi vì dây nội tại của nó thực hiện một mode dao động cộng hưởng cụ thể nào đó. Quan điểm bày khác hẳn với quan điểm của các nhà vật lý trước khi phát minh ra lý thuyết dây; vào thời đó, sự khác nhau giữa các hạt sơ cấp, thực tế, được giải thích bằng cách nói rằng mỗi loại hạt được "cắt từ một loại vải khác nhau". Mặc dù mỗi hạt đều được xem là sơ cấp, nhưng loại "vật liệu" tạo ra chúng lại được xem là khác nhau. Chẳng hạn, vật liệu electron có điện tích âm, trong khi đó vật liệu nơtrinô lại không mang điện. Lý thuyết dây làm thay đổi bức tranh đó một cách triệt để bằng cách tuyên bố rằng "vật liệu" của mọi hạt vật chất và của tất cả các lực đều như nhau. Mỗi một hạt sơ cấp được tạo bởi một dây, tức là mỗi hạt là một dây và tất cả các dây đều hoàn toàn như nhau. Sự khác nhau giữa các hạt xuất hiện là bởi vì các dây tương ứng của chúng thực hiện các mode dao động khác nhau. Các hạt cơ bản khác nhau thực sự là các "nốt" khác nhau trên một dây cơ bản. Còn vũ trụ, được cấu tạo bởi một số khá lớn các dây dao động đó, thì tựa như một bản giao hưởng vậy.

Cái nhìn khái quát đó đã cho thấy lý thuyết dây mang đến cho chúng ta một khuôn khổ thống nhất tuyệt vời đến mức nào. Một hạt vật chất và tất cả các hạt truyền tương tác đều gồm một dây mà mode dao động của nó chính là "dấu vân tay" nhận dạng của chúng. Vì bất cứ một sự kiện hay một quá trình vật lý nào, ở mức cơ bản nhất của nó, đều có thể được mô tả thông qua những lực tác dụng giữa các thành phần vật chất sơ cấp đó, nên lý thuyết dây hứa hẹn là một lý thuyết có khả năng mô tả một cách thống nhất, toàn vẹn và duy nhất vũ trụ vật lý, tức là một lý thuyết về tất cả (tiếng Anh thường viết tắt là T.O.E - theory of everything).

[1] Mô hình chuẩn đưa ra một cơ chế theo đó các hạt có được khối lượng - đó là cơ chế Higg mang tên nhà vật lý Xcôtlen Peter Higg. Nhưng theo

quan điểm giải thích khối lượng của các hạt, thì điều đó đơn thuần chỉ là chuyển gánh nặng sang giải thích tính chất của hạt giả thuyết "cho khối lượng" - cái được gọi là hạt boson Higg. Sự tìm kiếm hạt này bằng thực nghiệm đang được ráo riết tiến hành, nhưng tôi xin nhắc lại một lần nữa rằng, nếu nó được tìm thấy và người ta đo được các tính chất của nó, thì đó chẳng qua cũng mới chỉ là dữ liệu vào cho mô hình chuẩn, chứ lý thuyết chưa hề có sự giải thích nào cho nó hết.

Như vậy lần đầu tiên, lý thuyết dây đã xác lập được một khuôn khổ để giải thích tất cả những tính chất của các hạt quan sát được trong tự nhiên...

•◎Âm nhạc của lý thuyết dây

Thậm chí mặc dù lý thuyết dây đã từ bỏ quan niệm trước kia về các hạt sơ cấp không có cấu trúc, nhưng ngôn ngữ cũ thì vẫn còn dai dẳng, nhất là khi nó cho một mô tả chính xác của thực tiễn tới tận những thang khoảng cách nhỏ bé nhất. Do đó, theo thực tiễn chung của lĩnh vực nghiên cứu này, chúng ta cũng vẫn sẽ tiếp tục nói về các "hạt sơ cấp", nhưng cần nhớ rằng "những cái dường như là các hạt sơ cấp đó, thực sự chỉ là những mẩu dây nhỏ xíu dao động". Trong mục trước chúng ta đã giải thích rằng, khối lượng và tích lực của các hạt sơ cấp đều là kết quả của cách mà các dây tương ứng của chúng dao động. Điều này dẫn chúng ta tới nhận định sau: nếu chúng ta có thể tạo ra được một cách chính xác những mode dao động cộng hưởng cho phép các dây cơ bản, tức là các "nốt", nếu có thể nói như vậy, do chúng phát ra, thì chúng ta có thể giải thích được những tính chất quan sát được của các hạt sơ cấp. Như vậy lần đầu tiên, lý thuyết dây đã xác lập được một khuôn khổ để giải thích tất cả những tính chất của các hạt quan sát được trong tự nhiên.

Ở giai đoạn này, nhiệm vụ của chúng ta là "tóm" lấy một dây và "gảy" nó theo đủ mọi cách để xác định tất cả những mode dao động cộng hưởng khả dĩ của nó. Nếu lý thuyết dây là đúng thì ta sẽ tìm thấy rằng các mode dao động khả dĩ đó sẽ cho chính xác những tính chất quan sát được của tất cả các hạt vật chất và các hạt lực trong bảng 1.1 và 1.2. Tất nhiên, các dây là quá nhỏ nên không thể thực hiện được thí nghiệm đúng như vừa mô tả. Tuy nhiên, nhờ toán học, chúng ta vẫn có thể gảy chúng bằng lý thuyết. Vào giữa những năm 1980, nhiều người ủng hộ lý thuyết dây đã tin rằng, công cụ toán học cần thiết để làm việc đó đã đạt

tới mức có thể giải thích được mọi tính chất chi tiết của vũ trụ ở cấp độ vi mô nhất của nó. Một số nhà vật lý nhiệt thành còn dám tuyên bố rằng, cuối cùng cũng đã xây dựng được lý thuyết về tất cả (T.O.E). Tuy nhiên, sau hơn mười năm nhìn lại, người ta mới nhận ra rằng sự quá lạc quan phát sinh từ niềm tin đó là hơi vội vàng. Lý thuyết dây đã có những yếu tố của T.O.E nhưng vẫn còn nhiều trở ngại ngăn trở chúng ta rút ra phổ các dao động của dây với độ chính xác cần thiết để so sánh được với thực nghiệm. Do đó, hiện nay chúng ta vẫn còn chưa biết liệu lý thuyết dây có giải thích được tất cả những nét đặc trưng cơ bản của vũ trụ chúng ta được tổng kết trong các bảng 1.1 và 1.2 hay không. Như chúng ta sẽ thảo luận trong chương 9, trong những giả thiết mà chúng ta sẽ nói rõ sau, lý thuyết dây có thể làm phát sinh một vũ trụ với những tính chất phù hợp một cách định tính với những dữ liệu về các hạt và các lực, nhưng để rút ra những tiên đoán chi tiết bằng số thì hiện còn nằm ngoài khả năng của chúng ta. Và mặc dù không giống như mô hình chuẩn với những hạt điểm, khuôn khổ của lý thuyết dây có khả năng cho một giải thích là tại sao các hạt và các lực có những tính chất như chúng vốn có, nhưng chúng ta vẫn còn chưa chiếm được nó. Nhưng có điều đáng nói là, lý thuyết dây hết sức phong phú và có tầm bao quát rộng lớn tới mức, mặc dù chúng ta còn chưa xác định được những tính chất chi tiết của nó, nhưng như sẽ thấy ở các chương sau, chúng ta đã có thể hiểu được rất nhiều hiện tượng vật lý suy ra từ lý thuyết đó.

Trong các chương sau, chúng ta cũng sẽ thảo luận về những trở ngại đó một cách chi tiết hơn, nhưng cũng sẽ hữu ích, nếu chúng ta hiểu được chúng một cách đại thể. Các dây trong thế giới xung quanh chúng ta xuất hiện với nhiều độ căng khác nhau. Chẳng hạn các dây giầy thường không căng bằng những dây đàn được căng từ đầu này tới đầu kia của cây đàn violông. Nhưng độ căng của cả hai loại dây này lại chẳng thấm gì so với những dây thép của cây đàn pianô. Một con số mà lý thuyết dây đòi hỏi để thiết đặt thang tổng thể của nó, đó là độ căng tương ứng trên các vòng dây. Thế nhưng độ căng này được xác định bởi cái gì? Thật ra, nếu như chúng ta có thể gảy được một sợi dây cơ bản, thì chúng ta hẳn đã biết được độ cứng của nó hệt như ta đã làm để đo độ căng của các dây quen thuộc trong cuộc sống hàng ngày. Nhưng vì những dây cơ bản này lại quá nhỏ bé, nên cách làm đó không thể thực hiện được và phải cần tới một phương pháp gián tiếp.

Năm 1974, khi Scherk và Schwarz cho rằng có một mode dao động đặc

biệt của dây là hạt graviton, họ đã tìm được ra một phương pháp gián tiếp như vậy và bằng cách đó họ đã tiên đoán được sức căng của các dây trong lý thuyết dây. Những tính toán của họ cho thấy rằng cường độ của lực được truyền bởi mode dao động graviton giả thuyết đó tỷ lệ nghịch với sức căng của dây. Và vì graviton được xem là hạt truyền lực hấp dẫn - một lực vốn rất yếu - từ đó họ suy ra rằng độ căng của dây có giá trị khổng lồ, cỡ cả ngàn tỷ tỷ tỷ tỷ (1039) tấn và được gọi là độ căng Planck. Các dây cơ bản do đó là cực kỳ căng so với các dây thông thường xung quanh chúng ta. Điều này dẫn tới ba hệ quả quan trọng.

Nếu như lý thuyết dây là đúng, thì mỗi mẫu mode dao động cộng hưởng của dây sẽ tương ứng với một hạt sơ cấp. Tuy nhiên, điểm quan trọng cần lưu ý là, do độ căng lớn của dây nên chỉ trừ một số ít mode dao động đó, còn thì tất cả đều tương ứng với các hạt cực kỳ nặng...

•◎Ba hệ quả của các dây có độ căng cực lớn.

Thứ nhất, trong khi hai đầu của các dây đàn violông hay piano đều được xiết chặt để đảm bảo cho chúng có một chiều dài cố định, thì lại không có một khung hạn chế nào để cố định kích thước của một dây cơ bản cả. Thay vì, độ căng cực lớn của dây làm cho các vòng của lý thuyết dây bị co lại tới kích thước cực kỳ nhỏ. Những tính toán chi tiết cho thấy rằng, ở độ căng Plack, các dây thường có độ dài Planck, tức là cỡ 10-33 cm, như chúng ta đã nói ở trên [1].

Thứ hai, do có độ căng lớn, năng lượng điển hình của một vòng dây dao động trong lý thuyết dây cũng cực kỳ cao. Để hiểu điều này, chúng ta lưu ý rằng, độ căng của dây càng lớn thì càng khó làm cho nó dao động. Ví dụ, gảy một dây đàn violông để làm cho nó dao động dễ dàng hơn nhiều so với gảy dây đàn pianô. Do đó, hai dây có độ căng khác nhau, nhưng dao động theo cách hoàn toàn như nhau, thì sẽ không có cùng một năng lượng. Dây có độ căng lớn sẽ có năng lượng cao hơn dây có độ căng nhỏ hơn, vì để làm cho nó chuyển động cần phải tốn nhiều năng lượng hơn.

Điều này chứng tỏ rằng năng lượng của dây dao động được xác định bởi hai yếu tố: cách dao động chính xác của nó (dây càng dao động mạnh thì có năng lượng càng lớn) và độ căng của dây (độ căng càng lớn tương ứng với năng lượng càng cao). Thoạt đầu, sự mô tả đó có thể dẫn bạn tới ý nghĩ rằng, bằng cách làm cho dây dao động êm dịu hơn, tức là

có biên độ nhỏ hơn đồng thời có ít đỉnh và hõm hơn, thì dây sẽ có năng lượng càng nhỏ hơn. Nhưng, như chúng ta đã thấy trong chương 4, cơ học lượng tử cho chúng ta biết rằng lý luận đó không đúng. Giống như tất cả các dao động hay những nhiễu động có dạng sóng, cơ học lượng tử quy định rằng chúng chỉ tồn tại dưới dạng những gói gián đoạn. Nói một cách nôm na, cũng như tiền mà những người khách trọ ở nhà kho được giao giữ đều là bội số nguyên của một loại tiền có mệnh giá nhất định, năng lượng của một mode dao động nào đó của dây cũng là bội số nguyên của một mệnh giá năng lượng tối thiểu. Đặc biệt, mệnh giá năng lượng tối thiểu này tỷ lệ với độ căng của dây (và nó cũng phụ thuộc vào số đỉnh và hõm trong một mode dao động cụ thể), trong khi đó bội số nguyên được xác định bởi biên độ của mode dao động.

Và đây mới là điểm then chốt trong thảo luận bây giờ của chúng ta: vì những mệnh giá năng lượng tối thiểu tỷ lệ với độ căng của dây và cũng vì độ căng này rất lớn, nên những năng lượng tối thiểu cơ bản, xét ở những thang thông thường của vật lý các hạt sơ cấp, là rất lớn. Chúng là bội số của cái được gọi là năng lượng Planck. Để có một ý niệm về thang, nếu chúng ta chuyển năng lượng Planck thành khối lượng theo công thức nổi tiếng của einstein E = mc2, thì nó tương ứng với khối lượng lớn gấp mười tỷ tỷ (1019) lần khối lượng của proton. Khối lượng lớn khủng khiếp đó (so với những tiêu chuẩn của các hạt sơ cấp) cũng được gọi là khối lượng Plack, nó có giá trị cỡ khối lượng của một hạt bụi hoặc của một tập hợp hàng triệu con vi khuẩn. Và như vậy, đương lượng khối lượng điển hình của năng lượng dao động của một vòng trong lý thuyết dây nói chung sẽ là một số nguyên (1, 2, 3...) lần khối lượng Plack. Các nhà vật lý thường diễn đạt điều này bằng cách nói rằng thang năng lượng "tự nhiên" hay "điển hình" (và do đó cả thang khối lượng nữa) của lý thuyết dây là thang Planck.

Điều này làm nảy sinh một câu hỏi quan trọng có liên quan trực tiếp với mục tiêu tái tạo lại những tính chất của các hạt được liệt kê trong các bảng 1.1 và 1.2: Nếu như thang năng lượng "tự nhiên" của lý thuyết dây vào cỡ mười tỷ tỷ lần thang năng lượng của proton, thì làm thế nào có thể giải thích được khối lượng của các hạt còn nhẹ hơn rất nhiều, thuộc số những thành phần tạo nên thế giới xung quanh chúng ta, như các electron, quark, photon, chẳng hạn?

Câu trả lời, lại một lần nữa, tới từ cơ học lượng tử. Nguyên lý bất định

đảm bảo rằng không có gì là hoàn toàn đứng yên cả. Mọi vật đều chịu những thăng giáng lượng tử, bởi vì nếu không, chúng ta sẽ biết hoàn toàn chính xác chúng ở đâu và chuyển động nhanh chậm ra sao, mà như vậy thì lại vi phạm nguyên lý của Heisenberg. Điều này cũng đúng đối với các vòng dây trong lý thuyết dây; bất kể vòng dây phẳng lặng thế nào đi nữa, nó vẫn luôn luôn cảm thấy một dao động lượng tử nào đó. Một điều đáng lưu ý đã được phát minh từ những năm 1970, đó là có thể có những triệt tiêu năng lượng giữa những thăng giáng lượng tử và các dao động của dây mà ta đã thảo luận ở trên và được minh hoạ trên các hình 6.2 và 6.3. Thực tế, thông qua những đặc điểm kỳ lạ của cơ học lượng tử, năng lượng gắn với những thăng giáng lượng tử của dây là âm và do đó nó làm giảm thiểu năng lượng toàn phần của dây dao động một lượng xấp xỉ bằng năng lượng Planck. Điều này có nghĩa là các mode dao động có năng lượng thấp nhất của dây với năng lượng mà ta trù liệu rằng có giá trị bằng 1 năng lượng Planck sẽ bị triệt tiêu phần lớn, và do đó có năng lượng thực sự tương đối thấp. Những năng lượng này ứng với khối lượng xấp xỉ khối lượng của các hạt được liệt kê trong các bảng 1.1 và 1.2. Đó là các mode dao động có năng lượng thấp nhất, do đó có khả năng tạo ra một cầu nối giữa mô tả lý thuyết của các dây và thế giới vật ký của các hạt có thể tiếp cận được bằng thực nghiệm.

Và đây là một ví dụ quan trọng: Scherk và Achwarz đã phát hiện ra rằng đối với mode dao động tương ứng với hạt graviton giả định, sự triệt tiêu này là hoàn hảo, kết quả là ta thu được hạt truyền tương tác hấp dẫn, tức graviton, có khối lượng bằng không. Đó cũng chính là điều ta đã chờ đợi đối với graviton, bởi vì lực hấp dẫn được truyền với vận tốc ánh sáng, mà chỉ những hạt có khối lượng bằng không mới có thể chuyển động với tốc độ cực đại đó. Nhưng những mode dao động với năng lượng thấp lại thường là ngoại lệ chứ không phải là quy tắc. Dây cơ bản dao động thường gặp hơn tương ứng với hạt có khối lượng lớn gấp cả tỷ tỷ lần khối lượng của proton.

Điều này nói với chúng ta rằng, những hạt cơ bản tương đối nhẹ trong các bảng 1.1 và 1.2, theo một nghĩa nào đó, xuất hiện từ màn sương mù mỏng trên bề mặt đại dương bao la sôi sục của các dây dao động mãnh liệt hơn. Ngay cả hạt nặng như quark t, với khối lượng lớn gấp 189 lần khối lượng của proton, cũng xuất hiện từ một dây dao động chỉ nếu như thang năng lượng đặc trưng rất lớn của các dây, tức năng lượng Planck, bị triệt tiêu bởi những thăng giáng lượng tử sao cho phần còn lại chỉ

bằng cỡ một phần trăm triệu tỷ. Cũng giống như khi bạn chơi trò đúng giá, người dẫn chương trình trao cho bạn 10 tỷ tỷ đô la và thách thức bạn mua hàng sao cho bạn phải tiêu hết – hay có thể là bị triệt tiêu hết – nhưng phải còn lại đúng 189 đô la không hơn không kém. Việc tiêu một số tiền khổng lồ như vậy nhưng lại hoàn toàn không biết giá chính xác của từng mặt hàng là một bài toán nát óc đối với ngay cả những người sành sỏi sắm đồ nhất thế giới. Trong lý thuyết dây, nơi mà tiền tệ là năng lượng, những tính toán gần đúng đã chứng tỏ một cách có sức thuyết phục rằng những triệt tiêu năng lượng tương tự chắc chắn có thể xảy ra, nhưng vì những nguyên nhân sẽ được thấy rõ hơn ở các chương sau, việc kiểm tra những triệt tiêu đó tới một độ chính xác cao, nói chung, hiện nay vẫn còn nằm ngoài khả năng lý thuyết của chúng ta. Ngay dù như thế đi nữa, như đã chỉ ra ở trên, người ta vẫn có thể rút ra và hiểu được một cách chắc chắn nhiều tính chất của lý thuyết dây ít nhạy cảm với những chi tiết tinh tế nhất đó.

Điều này dẫn chúng ta tới hệ quả thứ ba của giá trị cực lớn của sức căng các dây. Các dây có thể thực hiện một số vô hạn các mode dao động khác nhau. Ví dụ, trong hình 6.2 chúng ta đã minh hoạ những mode đầu tiên của một dãy vô tận các khả năng với số đỉnh và hõm tăng dần. Vậy phải chăng điều đó cũng có nghĩa là sẽ cần phải có một dãy vô tận tương ứng các hạt sơ cấp, mà điều này thì lại mâu thuẫn với tình hình thực nghiệm được tổng kết trong các bảng 1.1 và 1.2?

Câu trả lời ở đây là có. Nếu như lý thuyết dây là đúng, thì mỗi mẫu mode dao động cộng hưởng của dây sẽ tương ứng với một hạt sơ cấp. Tuy nhiên, điểm quan trọng cần lưu ý là, do độ căng lớn của dây nên chỉ trừ một số ít mode dao động đó, còn thì tất cả đều tương ứng với các hạt cực kỳ nặng (một ít mode vừa nói là những dao động có năng lượng thấp nhất do bị triệt tiêu gần như hoàn toàn bởi các thăng giáng lượng tử). Và lại một lần nữa, chữ "nặng" dùng ở đây là theo nghĩa so với khối lượng Planck. Vì các máy gia tốc hạt mạnh nhất hiện nay của chúng ta mới chỉ đạt tới năng lượng lớn gấp khoảng một ngàn lần khối lượng của proton, tức là nhỏ hơn một phần triệu tỷ năng lượng Planck, nên chúng ta còn xa mới có thể tìm thấy trong phòng thí nghiệm những hạt mới đó do lý thuyết dây tiên đoán.

Tuy nhiên, vẫn có những phương pháp gián tiếp để tìm kiếm các hạt đó. Chẳng hạn, những năng lượng tại lúc khởi đầu của vũ trụ có lẽ là đủ cao

để tạo ra một cách dồi dào các hạt ấy. Nói chung, người ta không chờ đợi chúng sẽ còn sống sót cho tới tận hôm nay, vì những hạt siêu nặng như thế thường là không bền, chúng phung phí khối lượng của mình bằng cách phân rã liên tiếp thành các hạt ngày càng nhẹ hơn và chấm dứt quá trình ở những hạt tương đối nhẹ vốn quen thuộc trong thế giới xung quanh chúng ta. Tuy nhiên, vẫn có khả năng một trong những trạng thái dao động siêu nặng như thế của dây - tàn dư từ Big Bang - vẫn có thể còn sống sót tới ngày nay. Việc tìm ra những hạt đó (sẽ thảo luận đầy đủ hơn trong chương 9), sẽ là một phát minh vang dội, ít nhất cũng có thể nói như vậy.

[1] Dựa trên những phát triển thu lượm được từ cuộc cách mạng siêu dây lần thứ hai (đã được thảo luận ở chương 12) Witten và chủ yếu là Joa Lykken ở Fermilab đã phát hiện ra một lỗ hổng tinh tế của kết luận này. Từ đó Lykken đã đưa ra giả thuyết rằng các dây có thể có sức căng nhỏ hơn nhiều và do đó có thể có kích thước lớn hơn nhiều so với ban đầu người ta tưởng. Thực tế, lớn tới mức có thể quan sát được trong các máy gia tốc hạt thuộc các thế hệ tiếp sau. Nếu khả năng đó là đúng, thì có một triển vọng rất hấp dẫn là: nhiều hệ quả của lý thuyết dây được thảo luận trong chương này và các chương sau sẽ có thể kiểm chứng được bằng thực nghiệm trong vòng thập kỷ tới. Nhưng ngay cả trong một kịch bản "thông thường" hơn được chấp nhận bởi nhiều nhà lý thuyết dây, trong đó các dây thường có chiều dài cỡ 10-33cm, thì cũng sẽ có những cách gián tiếp để phát hiện ra chúng bằng thực nghiệm như sẽ được thảo luận trong chương 9.

Khuôn khổ thống nhất mà lý thuyết dây đem lại quả thực là rất hấp dẫn. Nhưng sự hấp dẫn đặc biệt của nó lại là khả năng cải thiện được sự xung đột giữa lực hấp dẫn và cơ học lượng tử.

•◎Hấp dẫn và cơ học lượng tử trong lý thuyết dây

Khuôn khổ thống nhất mà lý thuyết dây đem lại quả thực là rất hấp dẫn. Nhưng sự hấp dẫn đặc biệt của nó lại là khả năng cải thiện được sự xung đột giữa lực hấp dẫn và cơ học lượng tử. Xin nhớ lại rằng, vấn đề nổi lên trong việc hòa nhập thuyết tương đối rộng và cơ học lượng tử là do nền tảng của cái trước, tức không gian và thời gian tạo nên một cấu trúc hình học cong trơn xung đột với nền tảng của cái sau, tức mọi thứ trong vũ trụ, kể cả cấu trúc của không gian và thời gian đều chịu những thăng giáng lượng tử, đồng thời những thăng giáng này ngày càng dữ

dội hơn khi ta thăm dò tới những thang khoảng cách ngày càng nhỏ hơn. Ở những khoảng cách dưới chiều dài Planck, những thăng giáng lượng tử mạnh tới mức chúng phá hủy khái niệm sự cong trơn của không gian hình học; điều này có nghĩa là thuyết tương đối rộng không còn dùng được nữa.

Lý thuyết dây đã làm cho những thăng giáng lượng tử trở nên mềm mại hơn bằng cách làm cho các tính chất của không gian ở những khoảng cách ngắn trở nên "nhoè" đi. Có một trả lời thô và một trả lời chính xác hơn cho câu hỏi: điều này thực sự nghĩa là gì và làm thế nào nó giải quyết được xung đột đó. Chúng ta sẽ lần lượt xét những câu trả lời ấy.

•◎Câu trả lời thô

Mặc dù nghe có vẻ hơi thô thiển, nhưng cách mà chúng ta thường dùng để tìm hiểu cấu trúc của vật nào đó là dùng các vật khác bắn phá vào nó rồi quan sát một cách chính xác độ lệch khi bay ra của các vật đó. Chẳng hạn, chúng ta có thể thấy các vật là bởi vì mắt chúng ta thu thập còn não chúng ta giải mã thông tin được mang tới bởi các photon phản xạ từ vật. Các máy gia tốc hạt cũng dựa trên những nguyên tắc tương tự. Chúng bắn các mẫu vật chất như các electron và proton vào nhau và vào các bia khác, còn các detector tinh xảo thì phân tích cơn mưa những mảnh vỡ tạo thành, từ đó xác định cấu trúc của các vật được nghiên cứu.

Theo quy tắc chung, thì kích thước của hạt thử xác định giới hạn dưới của thang chiều dài mà chúng ta muốn thăm dò. Để có một ý niệm về ý nghĩa của phát biểu quan trọng đó, hãy tưởng tượng Slim và Jim do muốn có một chút văn hóa đã đăng ký vào học một lớp dạy vẽ. Sau một học kỳ, Jim ngày càng hậm hực vì Slim tiến bộ rất nhanh và cậu ta đã thách thức Slim thi tài cao thấp. Cậu ta đề nghị mỗi người lấy nhân của một quả đào, cho kẹp chặt lại và vẽ nó một cách "tả chân" nhất. Một yêu cầu oái oăm trong lời thách thức của Jim là cả hai người đều không được nhìn vào nhân quả đào. Thay vì, mỗi người được phép biết về kích thước, hình dạng và những đặc điểm của nó chỉ bằng cách bắn phá nó bằng các hạt đạn (trừ photon) rồi quan sát độ lệch của các hạt đó, như được minh họa trên hình 6.4. Slim hoàn toàn không biết là Jim đã nhồi vào súng của mình những viên đạn bằng đá (như trong hình 6.4a) còn cậu ta lại nhồi vào súng của mình những viên đạn nhựa, kích thước 5mm, nhỏ hơn nhiều (như hình 6.4b). Cả hai đều đứng sau khẩu súng của mình và cuộc đấu súng bắt đầu.

Hình 6.4. Nhân quả đào được kẹp chặt và được vẽ bằng cách quan sát những hạt thử bắn vào nó bị lệch như thế nào. Bằng cách dùng những hạt thử bé dần: (a) đạn đá, (b). đạn nhựa 5 mm, (c) đạn nhựa 0,5mm, có thể vẽ được hình ảnh chi tiết hơn.

Sau một lát, bức tranh tốt nhất mà Slim có thể vẽ được là bức tranh ở bên phải hình 6.4a. Bằng cách quan sát quỹ đạo các viên đạn đá sau khi đập vào nhân quả đào, Slim biết rằng nó có khối lượng nhỏ và bề mặt cứng. Nhưng anh ta chỉ biết được có vậy thôi. Bởi lẽ các viên bi đá có kích thước quá lớn nên không thể "cảm nhận" được cấu trúc nhăn nheo của nó. Khi liếc nhìn bức vẽ của Jim (hình 6.4b), Slim ngạc nhiên thấy rằng Jim vẽ giỏi hơn mình. Tuy nhiên, nhìn thoáng qua khẩu súng của Jim, Slim nhận ra ngay mẹo vặt của cậu ta: những hạt đạn nhựa mà Jim sử dụng đủ nhỏ khiến cho các nếp nhăn lớn nhất trên mặt nhân quả đào cũng có thể ảnh hưởng đến góc lệch của chúng. Do đó, khi bắn nhiều viên đạn nhựa 5mm đó lên nhân quả đào và quan sát các quỹ đạo bị lệch của chúng, Jim đã vẽ được hình ảnh chi tiết hơn của nó. Không chịu thất bại, Slim quay về khẩu súng của mình và nạp cho nó những viên đạn nhỏ hơn nữa, với kích thước chỉ bằng nửa milimét. Với kích thước nhỏ như thế, những vết nhăn nhỏ nhất trên mặt nhân quả đào cũng có thể ảnh hưởng đến góc lệch của chúng. Và bằng cách quan sát quỹ đạo bị lệch của những viên đạn đó, anh đã vẽ được bức tranh trên hình 6.4c và đã chiến thắng.

Bài học rút ra từ cuộc thi này đã rõ ràng: Hạt thử tiện ích không thể lớn hơn nhiều so với những đặc điểm vật lý cần xem xét, nếu không, chúng sẽ không "cảm nhận" được những cấu trúc mà ta cần quan tâm.

Tất nhiên, lý luận này vẫn còn đúng nếu ta muốn thăm dò nhân quả đào sâu hơn, để xác định cấu trúc nguyên tử và dưới nguyên tử của nó. Những viên đạn nhựa 0,5mm bây giờ không còn cho chúng ta những thông tin hữu ích nữa, vì chúng quá lớn để có thể nhạy cảm được với cấu trúc ở thang nguyên tử. Điều này giải thích tại sao các máy gia tốc hạt lại dùng các hạt thử là electron hoặc proton. Ở thang dưới nguyên tử, nơi mà những khái niệm lượng tử thay thế cho những khái niệm cổ điển, thước đo thích hợp nhất cho độ nhạy của hạt thử là bước sóng lượng tử của nó - đại lượng cho biết độ bất định về vị trí của hạt đó. Điều này phản ánh những thảo luận của chúng ta về nguyên lý bất định Heisenberg ở chương 4, trong đó ta đã thấy rằng phạm vi sai số không

cách nào tránh khỏi khi dùng một hạt làm hạt thử (ở đó ta chỉ tập trung xét các hạt thử là photon, nhưng thực ra có thể áp dụng cho tất cả các hạt khác) là cỡ bước sóng lượng tử của nó. Nói một cách không chính xác lắm thì độ nhạy thử của một hạt điểm đã bị những thăng giáng lượng tử làm cho nhoè đi, tựa như sự run tay làm tổn hại đến độ chính xác đường dao của nhà phẫu thuật. Chắc bạn còn nhớ trong chương 4 chúng ta cũng đã lưu ý tới một thực tế quan trọng là, bước sóng lượng tử của hạt tỷ lệ nghịch với động lượng của nó, nghĩa là về đại thể, tỷ lệ nghịch với năng lượng của nó. Và như vậy, khi tăng năng lượng của một hạt điểm, bước sóng lượng tử của nó sẽ trở nên ngắn hơn, tức là sự nhoè lượng tử giảm, do đó ta có thể dùng nó để thăm dò những cấu trúc vật lý tinh vi hơn. Về mặt trực giác ta cũng thấy rằng hạt có năng lượng càng cao sẽ có khả năng đâm xuyên càng lớn và do đó có thể thăm dò được những đặc tính còn nhỏ bé hơn nữa.

Về phương diện này, sự khác biệt giữa các hạt điểm và các dây trở nên rõ nét. Cũng như trường hợp các viên đạn nhựa thăm dò bề mặt của nhân quả đào, quảng tính không gian cố hữu của dây không cho phép nó thăm dò cấu trúc của bất cứ vật gì nhỏ hơn kích thước của dây một cách đáng kể và trong trường hợp này, thì đó là những cấu trúc ở những thang chiều dài nhỏ hơn chiều dài Planck. Nói một cách chính xác hơn một chút, vào năm 1988, David Gross, khi đó làm việc ở đại học Princeton, và một sinh viên của ông tên là Paul Mende đã chứng minh được rằng khi tính đến cơ học lượng tử, thì sự tăng liên tục năng lượng của dây không làm tăng liên tục khả năng thăm dò các cấu trúc tinh tế hơn của nó, điều này hoàn toàn trái ngược hẳn với các hạt điểm. Họ đã phát hiện ra rằng, khi năng lượng của dây tăng, thì ban đầu nó có khả năng thăm dò những cấu trúc ở thang ngắn hơn, giống như các hạt có năng lượng cao. Nhưng khi năng lượng của nó vượt quá giá trị đòi hỏi phải có để thăm dò ở thang chiều dài Planck, thì có tăng thêm năng lượng nữa cũng không làm tăng khả năng thăm dò của dây. Khi đó năng lượng chỉ làm tăng kích thước của dây và do đó làm giảm độ nhạy thăm dò ở khoảng cách ngắn của nó. Thực tế, mặc dù kích thước điển hình của các dây là chiều dài Planck, nhưng nếu chúng ta bơm đủ năng lượng cho dây - một năng lượng vượt quá mọi tưởng tượng điên rồ nhất của chúng ta, nhưng có thể đã từng có ở Big Bang - thì chúng ta có thể làm cho nó to lên tới kích thước vĩ mô, một hạt thử quả là thô vụng đối với thế giới vi mô! Như vậy, không giống như các hạt điểm, các dây dường như có hai nguồn làm nhoè: thứ nhất là những thăng giáng

lượng tử và thứ hai là quảng tính không gian cố hữu của nó. Sự tăng năng lượng của dây sẽ làm giảm độ nhoè do nguồn thứ nhất gây ra nhưng rốt cuộc lại làm tăng độ nhoè gây bởi nguồn thứ hai. Tóm lại, dù bạn có nỗ lực thế nào đi nữa, thì bản chất có quảng tính không gian của dây sẽ ngăn trở bạn dùng nó để thăm dò các hiện tượng ở những khoảng cách dưới chiều dài Planck.

Nhưng toàn bộ sự xung đột giữa thuyết tương đối rộng và cơ học lượng tử lại xuất hiện từ những tính chất của cấu trúc không gian ở dưới chiều dài Planck. Và nếu thành phần cơ bản của vũ trụ không thể thăm dò được những khoảng cách ở dưới chiều dài Planck, thì cả nó lẫn những thứ tạo bởi nó sẽ không hề bị ảnh hưởng bởi những thăng giáng lượng tử có tác dụng phá phách ghê gớm ở những khoảng cách cực bé đó. Điều này cũng tương tự như khi tay ta sờ lên một bề mặt đá hoa cương có độ nhẵn cao. Mặc dù xét trên cấp độ vi mô thì bề mặt đó là gián đoạn, lởm chởm những hạt riêng rẽ, nhưng những ngón tay của chúng ta không có khả năng phát hiện những biến thiên ở các khoảng cách bé như vậy, nên ta cảm thấy nó hoàn toàn trơn nhẵn. Điều này có nghĩa là những ngón tay thô vụng của chúng ta làm nhoè đi tính gián đoạn vi mô. Tương tự, vì dây có quảng tính không gian, nên nó cũng có những giới hạn về độ nhạy ở những khoảng cách ngắn. Nó không thể phát hiện được những biến thiên ở các thang khoảng cách dưới chiều dài Planck. Giống như các ngón tay chúng ta sờ lên bề mặt đá hoa cương, dây cũng làm nhoè những thăng giáng lượng tử sôi động ở những thang siêu vi mô của trường hấp dẫn. Mặc dù những thăng giáng kết cục vẫn còn đáng kể, nhưng sự làm nhòe này đã làm trơn chúng đủ để cứu vãn sự không tương thích giữa thuyết tương đối rộng và cơ học lượng tử. Và đặc biệt, những vô hạn tai hại (đã dược thảo luận ở chương trước) xuất hiện trong lý thuyết lượng tử của hấp dẫn, xây dựng trên cơ sở các hạt điểm đã bị loại bỏ trong lý thuyết dây.

Một điểm khác biệt cơ bản giữa hình ảnh tương tự của mặt đá hoa cương và cấu trúc thực của không gian, đó là luôn luôn có những cách để phát hiện tính gián đoạn của mặt đá, chẳng hạn, dùng các hạt thử nhỏ hơn, chính xác hơn các ngón tay của chúng ta. Một kính hiển vi điện tử có khả năng phân giải những đặc tính bề mặt tới nhỏ hơn một phần triệu xentimét, điều này đủ để phát hiện nhiều khuyết tật ở bề mặt. Trái lại, trong lý thuyết dây, không có một phương cách nào để phát hiện những khuyết tật của cấu trúc không gian ở dưới thang chiều

dài Planck. Trong vũ trụ bị chi phối bởi những định luật của lý thuyết dây, quan niệm thông thường cho rằng chúng ta luôn luôn có thể mổ xẻ tự nhiên tới những khoảng cách nhỏ bao nhiêu cũng được, không có một giới hạn nào là không còn đúng nữa. Thực tế, có một giới hạn mà khi vượt qua giới hạn đó chúng ta sẽ gặp những bọt lượng tử tàn phá ghê gớm mà ta đã thấy trên hình 5.1. Do đó, theo một ý nghĩa mà chúng ta sẽ nói chính xác hơn ở các chương sau, thậm chí ta có thể nói rằng những thăng giáng dữ dội ở dưới thang Planck không tồn tại. Một nhà thực chứng luận nói rằng có một cái gì đó gọi là tồn tại chỉ nếu, ít nhất là về nguyên tắc, nó có thể thăm dò và đo đạc được. Vì các dây được coi là những đối tượng cơ bản nhất của vũ trụ và vì nó quá lớn để bị ảnh hưởng bởi những thăng giáng dữ dội ở những khoảng cách dưới thang Planck của cấu trúc không gian, nên những thăng giáng này không thể đo được và do đó theo lý thuyết dây thì chúng không xuất hiện.

Một đặc điểm thực sự có ấn tượng của lý thuyết dây, đó là hơn hai mươi năm nghiên cứu không ngưng nghỉ đã chứng tỏ được rằng, mặc dù có những khía cạnh xa lạ với trực giác chúng ta, nhưng lý thuyết dây đã tôn trọng mọi tính chất thiết yếu và cố hữu của một lý thuyết vật lý...

•◎Một trò ảo thuật

Cuộc thảo luận ở trên có thể khiến bạn không hài lòng. Thay vì cho thấy lý thuyết dây chế ngự được những thăng giáng lượng tử của không gian ở dưới thang Planck, chúng ta lại dùng kích thước hữu hạn của các dây để che đậy hoàn toàn vấn đề. Vậy có thực là chúng ta đã giải quyết được một điều gì đó hay không? Xin trả lời là có. Hai điểm nêu ra dưới đây chắc là sẽ thuyết phục được bạn.

Thứ nhất, từ những lập luận trình bày ở mục trước chúng ta rút ra rằng những thăng giáng lượng tử gây rắc rối ở dưới thang Planck thực ra là thứ nhân tạo, nó xuất hiện là do chúng ta xây dựng thuyết tương đối rộng và cơ lượng tử trong khuôn khổ các hạt điểm. Do đó, theo một nghĩa nào đấy, xung đột chủ yếu của vật lý lý thuyết hiện đại chính là vấn đề do chúng ta tự tạo ra. Bởi vì trước kia chúng ta xem tất cả các hạt vật chất và tất cả các hạt lực đều là những hạt điểm hoàn toàn không có quảng tính không gian, cho nên chúng ta buộc phải xem xét vũ trụ ở những thang bé tùy ý. Và chính ở những khoảng cách bé nhỏ nhất chúng ta đã vấp phải những vấn đề không sao vượt qua nổi. Tuy nhiên, lý thuyết dây nói với chúng ta rằng, sở dĩ vấp phải những vấn đề đó là

do chúng ta chưa thực sự hiểu rõ luật chơi; những luật mới nói với chúng ta rằng, có một giới hạn cho phép chúng ta chỉ được thăm dò vũ trụ sâu tới mức nào và theo ý nghĩa thực, tức là có một giới hạn cho biết khái niệm thông thường về khoảng cách còn dùng được cho các cấu trúc siêu vi mô của vũ trụ tới đâu. Những thăng giáng không gian gây tác hại giả định giờ đây được thấy xuất hiện trong lý thuyết của chúng ta là bởi vì chúng ta chưa ý thức được những giới hạn đó và đã bị quan điểm hạt điểm dẫn dắt nhảy một bước quá lớn, vượt cả ra ngoài thực tại vật lý.

Căn cứ vào vẻ đơn giản bề ngoài của giải pháp nói trên đối với việc khắc phục sự xung đột giữa thuyết tương đối rộng và cơ học lượng tử, bạn có thể băn khoăn tự hỏi tại sao lại phải mất một thời gian lâu như thế mới có người cho rằng sự mô tả dựa trên các hạt điểm đơn giản chỉ là sự lý tưởng hóa, còn trong thế giới thực các hạt sơ cấp phải có một quảng tính không gian. Điều này dẫn chúng ta tới điểm thứ hai. Rất lâu về trước, các bộ óc vĩ đại trong vật lý lý thuyết như Pauli, Heisenberg, Dirac và Feynman cũng đã cho rằng các thành phần của tự nhiên không thể thực sự là các điểm được mà là những "giọt" nhỏ hay các cục nhỏ dao động. Tuy nhiên, họ và những người khác đều thấy rằng, rất khó xây dựng một lý thuyết mà những thành phần của nó không phải là những hạt điểm, nhưng lại phải phù hợp với những nguyên lý cơ bản nhất của vật lý như định luật bảo toàn xác suất của cơ học lượng tử (sao cho các đối tượng vật lý không biến mất một cách bất ngờ mà không để lại dấu vết) và nguyên lý không thể truyền thông tin với vận tốc nhanh hơn ánh sáng. Những nghiên cứu của họ đã chứng tỏ rằng một hoặc cả hai nguyên lý đó đều sẽ bị vi phạm nếu như không vứt bỏ khuôn mẫu về các hạt điểm. Do đó, trong một thời gian khá lâu, dường như không thể tìm được một cơ học lượng tử có ý nghĩa dựa trên một cái gì đó không phải là các hạt điểm. Một đặc điểm thực sự có ấn tượng của lý thuyết dây, đó là hơn hai mươi năm nghiên cứu không ngưng nghỉ đã chứng tỏ được rằng, mặc dù có những khía cạnh xa lạ với trực giác chúng ta, nhưng lý thuyết dây đã tôn trọng mọi tính chất thiết yếu và cố hữu của một lý thuyết vật lý. Và hơn thế nữa, thông qua mode dao động graviton, lý thuyết dây chính là lý thuyết lượng tử chứa đựng được cả lực hấp dẫn.

Một khi đã phát triển được những ý tưởng căn bản trong chương 2, chúng ta đã có đủ những công cụ cần thiết để mô tả chính xác hơn cách

thức mà lý thuyết dây đã làm dịu đi những thăng giáng lượng tử mãnh liệt.

•◎Câu trả lời chính xác hơn

Câu trả lời thô đã thâu tóm được cái cốt yếu của câu hỏi tại sao lý thuyết dây lại thắng thế ngay tại chỗ các lý thuyết dựa trên các hạt điểm thất bại. Và như vậy, nếu muốn, bạn có thể đọc thẳng sang mục tiếp theo mà không hề ảnh hưởng đến mạch lôgíc của câu chuyện. Nhưng một khi đã phát triển được những ý tưởng căn bản trong chương 2, chúng ta đã có đủ những công cụ cần thiết để mô tả chính xác hơn cách thức mà lý thuyết dây đã làm dịu đi những thăng giáng lượng tử mãnh liệt.

Trong câu trả lời chính xác hơn này, chúng ta dựa trên cùng một ý tưởng cốt lõi như trong câu trả lời thô, nhưng chúng ta sẽ diễn đạt nó trực tiếp ở cấp độ các dây bằng cách so sánh khá chi tiết những hạt thử là các hạt điểm và là các dây. Chúng ta sẽ thấy rằng bản chất có quảng tính của các dây đã làm nhoè thông tin mà ta có thể nhận được bằng hạt thử là những hạt điểm và do đó lại một lần nữa nó xóa bỏ được vấn đề ở những khoảng cách ngắn, thủ phạm của sự xung đột chủ yếu trong vật lý hiện đại.

Trước hết chúng ta hãy xét sự tương tác của các hạt điểm, nếu như chúng thực sự tồn tại, và từ đó chúng ta có thể dùng nó như những hạt thử như thế nào. Tương tác cơ bản nhất là tương tác của hai hạt điểm chuyển động tới va chạm với nhau sao cho quỹ đạo của chúng cắt nhau như được minh họa trên hình 6.5. Nếu như những hạt này là các viên bi a, chúng sẽ va chạm và mỗi hạt sẽ bị lệch đi theo những quỹ đạo mới. Lý thuyết trường lượng tử dựa trên những hạt điểm chứng tỏ rằng về cơ bản những điều nói trên cũng xảy ra khi các hạt sơ cấp va chạm - chúng tán xạ ra nhau và tiếp tục đi theo các quỹ đạo bị lệch, nhưng về chi tiết thì có hơi khác.

Hình 6.5. Hai hạt tương tác - chúng "đập vào nhau" - và làm cho quỹ đạo của chúng bị lệch đi

Để cho cụ thể và đơn giản, hãy hình dung một trong hai hạt là electron và hạt kia là phản hạt của nó, tức là hạt positron. Khi vật chất và phản vật chất va chạm với nhau, chúng sẽ hủy nhau tạo thành một chớp sáng của năng lượng thuần túy, tức là tạo ra một photon, chẳng hạn. Để phân biệt quỹ đạo đi ra của photon này với những quỹ đạo trước đó của

electron và positron, ta sẽ theo quy ước truyền thống trong vật lý và biểu diễn nó bằng một đường lượn sóng. Photon thường sẽ di chuyển một chút rồi giải phóng năng lượng vốn có từ cặp electron - positron trước đó, bằng cách tạo ra một cặp electron - positron khác với những quỹ đạo như được chỉ ra ở phần bên phải của hình 6.6. Tóm lại, hai hạt được bắn vào nhau, chúng tương tác với nhau thông qua lực điện từ rồi ló ra theo những quỹ đạo bị lệch, một dãy những sự kiện khá giống với mô tả ở trên về sự va chạm của các viên bi-a.

Hình 6.6. Trong lý thuyết trường lượng tử, một hạt và phản hạt của nó có thể tức thời hủy nhau và tạo ra một photon. Sau đó, photon này có thể sinh ra một hạt khác và một phản hạt đi theo những quỹ đạo khác.

Đó là những chi tiết của tương tác mà chúng ta quan tâm, đặc biệt là điểm tại đó eletron và positron ban đầu hủy nhau và tạo ra photon. Một sự kiện then chốt, như ta sẽ thấy, đó là điều này xảy ra tại một thời điểm và một vị trí hoàn toàn xác định, như đã được chỉ ra trên hình 6.6. Nhưng mô tả này sẽ thay đổi như thế nào, nếu ta thay những đối tượng mà ta xem là những điểm không có kích thước bằng các dây một chiều? Quá trình cơ bản của tương tác thì vẫn thế, nhưng bây giờ hai đối tượng va chạm là các vòng dây dao động, như minh họa trên hình 6.7. Nếu như các vòng dây dao động theo các mode cộng hưởng đúng, thì chúng sẽ tương ứng với một electron và một positron va chạm, như minh họa trên hình 6.6. Chỉ khi xem xét ở những thang khoảng cách nhỏ nhất, nhỏ hơn nhiều so với khả năng của công nghệ hiện nay, thì đặc tính giống như dây của chúng mới thể hiện rõ nét. Cũng như trong trường hợp các hạt điểm, hai dây hủy nhau thành một chớp sáng. Chớp sáng này, tức photon, cũng chính là một dây trong một mode dao động cụ thể nào đó. Như vậy, hai dây tới tương tác với nhau, hòa nhập với nhau tạo ra dây thứ ba như được thấy trên hình 6.7. Giống như trong mô tả dựa trên các hạt điểm, dây thứ ba này cũng di chuyển một chút rồi lại giải phóng năng lượng đã nhận được từ hai dây ban đầu bằng cách tách ra thành hai dây tiếp tục chuyển động. Và lại một lần nữa, từ bất cứ quan điểm nào, trừ quan điểm siêu vi mô, quá trình này nhìn cũng giống với tương tác hạt điểm minh họa trên hình 6.6.

Hình 6.7 (a) Hai dây va chạm có thể hòa thành dây thứ ba, sau đó dây này lại tách thành hai dây đi theo những quỹ đạo đã bị lệch. (b) Vẫn quá trình được minh họa trên hình 6.6, nhưng có nhấn mạnh chuyển động

của dây. (c) "Bức ảnh chụp chậm" của hai dây tương tác quét thành một "mặt vũ trụ".

Tuy nhiên, có một khác biệt quan trọng giữa hai cách mô tả. Cần nhấn mạnh rằng, tương tác hạt điểm xảy ra tại một điểm xác định trong không gian và thời gian, một điểm mà tất cả những người quan sát đều nhất trí. Như chúng ta sẽ thấy ngay bây giờ, điều này không còn đúng đối với tương tác giữa các dây. Chúng ta sẽ chứng tỏ điều này bằng cách so sánh quan sát của George và Gracie - hai người quan sát chuyển động đối với nhau mà chúng ta đã làm quen trong chương 2 - đối với tương tác đó. Chúng ta sẽ thấy rằng họ không nhất trí với nhau về vị trí và thời điểm tại đó hai dây va chạm vào nhau lần đầu tiên.

Để làm điều đó, hãy tưởng tượng ta quan sát tương tác của hai dây bằng một máy ảnh với cửa chập được mở liên tục để cho toàn bộ "lịch sử" của tương tác được ghi lại trên cùng một đoạn phim [1]. Kết quả được minh họa trên hình 6.7 c và thường được gọi là "mặt vũ trụ" của dây. Bằng cách "cắt" mặt vũ trụ của dây thành các lát song song, giống như khi ta cắt các lát bánh mì, ta có thể phục hồi lại lịch sử tương tác của các dây. Một ví dụ về sự cắt đó được minh họa trên hình 6.8. Đặc biệt, trên hình 6.8 a chúng ta cho thấy George, chủ tâm quan sát hai dây đi tới cùng với mặt phẳng gắn với chúng biểu diễn lát cắt đi qua tất cả các sự kiện trong không gian xảy ra ở cùng một thời điểm, theo quan điểm của anh ta. Như thường làm ở các chương trước, ở đây, trong sơ đồ, chúng ta cũng bỏ đi một chiều của không gian để dễ hình dung. Tất nhiên, trên thực tế, đối với người quan sát bất kỳ đều có một mảng ba chiều các sự kiện xảy ra ở cùng một thời điểm. Hình 6.8 b và 6.8. c cho thấy hai bức ảnh chụp nhanh ở hai thời điểm tiếp theo nhau, tức là hai lát cắt tiếp theo nhau của mặt vũ trụ cho biết George nhìn thấy hai dây tiến gần với nhau như thế nào. Một điểm có tầm quan trọng then chốt trên hình 6.8 c, đó là thời điểm mà theo George hai dây lần đầu tiên chạm vào nhau và hòa nhập với nhau tạo thành dây thứ ba.

Hình 6.8.

Hình 6.8 Hai dây chuyển động tới gặp nhau ở ba thời điểm theo quan điểm của George. Trong (a) và (b) các dây đang tiến lại gần nhau và ở (c) chúng lần đầu tiên chạm vào nhau, theo quan điểm của George.

Bây giờ chúng ta sẽ làm hệt như thế với Gracie. Như đã thảo luận ở

chương 2, chuyển động tương đối của hai người dẫn tới hệ quả là họ không nhất trí với nhau về những sự kiện xảy ra đồng thời. Theo quan điểm của Gracie, những sự kiện trong không gian xảy ra đồng thời nằm trong một mặt phẳng khác như được biểu diễn trên hình 6.9. Tức là, theo Gracie, mặt vũ trụ trên hình 6.7 c được cắt thành các lát dưới một góc khác để thấy rõ diễn tiến từng thời điểm một của tương tác.

Các hình 6.9 b và 6.9 c cho thấy những thời điểm tiếp theo nhau, theo Gracie, kể cả thời điểm khi cô ta thấy hai dây tới chạm vào nhau và tạo ra dây thứ ba.

Bằng cách so sánh các hình 6.8 c và 6.9 c, như đã làm trong hình 6.10, chúng ta thấy rằng George và Gracie không nhất trí với nhau về thời gian và địa điểm khi hai dây chạm vào nhau. Do dây là một đối tượng có quảng tính không gian, nên nó đảm bảo rằng không có một vị trí chính xác trong không gian hoặc một thời điểm chính xác trong thời gian khi các dây lần đầu tiên tương tác với nhau, vì thực ra điều đó phụ thuộc vào trạng thái chuyển động của người quan sát.

Hình 6.9. Hai dây chuyển động tới gặp nhau ở ba thời điểm theo quan điểm của Gracie. Trong (a) và (b) các dây đang tiến lại gần nhau và ở (c) chúng lần đầu tiên chạm vào nhau.

Hình 6.9. Hai dây chuyển động tới gặp nhau ở ba thời điểm theo quan điểm của Gracie. Trong (a) và (b) các dây đang tiến lại gần nhau và ở (c) chúng lần đầu tiên chạm vào nhau.

Hình 6.10

Hình 6.10. George và Gracie không nhất trí với nhau về điểm tương tác.

Nếu áp dụng chính xác những lập luận trên cho tương tác của các hạt điểm, như được tổng kết trong hình 6.11 thì ta cũng sẽ đi đến kết luận mà ta đã biết từ trước, tức là có một điểm xác định trong không gian và một thời điểm xác định trong thời gian khi các hạt điểm tương tác với nhau. Các hạt điểm nhồi nhét toàn bộ tương tác của chúng vào một điểm xác định. Khi lực tương tác là lực hấp dẫn, tức là khi truyền tương tác là graviton chứ không phải photon, thì việc gói hoàn toàn tác dụng của lực vào một thời điểm duy nhất sẽ dẫn đến những kết quả tai hại, ví như những đáp số vô hạn mà ta đã nói tới ở trên. Trái lại, các dây đã làm "nhoè" nơi xảy ra tương tác. Vì những người quan sát khác nhau

tiếp nhận tương tác xảy ra ở những nơi khác nhau dọc theo phần bên trái của mặt vũ trụ trên hình 6.10, nên thực tế điều này có nghĩa là những nơi tương tác đó đã bị nhoè vào nhau, dẫn tới làm nhoè tác dụng của lực hấp dẫn. Sự nhoè này đã làm loãng đi một cách đáng kể những tính chất siêu vi mô của lực đó, khiến cho những tính toán đưa lại các kết quả hữu hạn thay vì những kết quả vô hạn trước kia. Đây là cách giải thích chính xác hơn của hiệu ứng làm nhoè mà ta đã gặp trong câu trả lời thô ở mục trước. Và lại một lần nữa, hiệu ứng nhoè đã làm trơn những thăng giáng lượng tử mãnh liệt của không gian ở những khoảng cách dưới chiều dài Planck.

Hình 6.11.

Hình 6.11. Những người quan sát chuyển động đối với nhau nhất trí về nơi và thời điểm diễn ra tương tác của hai hạt điểm.

Giống như ta nhìn thế giới qua cặp kính quá yếu hoặc quá mạnh, những chi tiết tinh tế ở dưới chiều dài Planck đã bị nhoè vào nhau trong lý thuyết dây, làm cho chúng trở nên vô hại. Nhưng không giống như trường hợp mắt kém, nếu lý thuyết dây là mô tả tối hậu của vũ trụ, thì sẽ không có một kính sửa nào có thể làm cho những thăng giáng ở thang dưới chiều dài Planck trở nên rõ nét nữa. Như vậy, sự không tương thích giữa thuyết tương đối rộng và cơ học lượng tử - vốn chỉ trở nên gay gắt ở những thang dưới Planck - đã trở nên tránh được trong một vũ trụ có giới hạn dưới về khoảng cách mà ta có thể tiếp cận tới, hay thậm chí có thể nói là có giới hạn cho những khoảng cách mà chúng còn tồn tại theo nghĩa thông thường. Một vũ trụ như vậy là vũ trụ được mô tả bởi lý thuyết dây, trong đó các định luật về những cái vô cùng lớn và vô cùng bé có thể hội nhập hài hòa với nhau vì cái tai họa giả định xuất hiện ở những khoảng cách siêu vi mô đã bị xóa bỏ hoàn toàn.

[1] Tất nhiên, máy ảnh hoạt động bằng cách thu nhận các photon phản xạ từ vật mà ta quan tâm và ghi chúng trên phim. Việc sử dụng máy ảnh của chúng ta trong ví dụ này chỉ có tính chất tượng trưng, vì chúng ta không thể hình dung các photon phản xạ từ các dây va chạm. Ở đây chúng ta đơn giản chỉ muốn ghi lại trong hình 6.7 (c) toàn bộ lịch sử của tương tác mà thôi. Khi nói điều đó, chúng tôi chỉ ra một điểm tinh tế nữa chưa được đề cập tới. Trong chương 4, chúng ta đã biết rằng có thể xây dựng cơ học lượng tử bằng cách dùng phương pháp lấy tổng theo các quỹ đạo của Feynman, trong đó chúng ta phân tích chuyển động của

các vật bằng cách tổ hợp những đóng góp của tất cả các quỹ đạo khả dĩ từ một điểm xuất phát đã chọn tới một điểm cho trước. Hình 6.6. và 6.7 cho thấy một trong số vô số các quỹ đạo khả dĩ của một hạt điểm (hình 6.6) hoặc của một dây (6.7). Tuy nhiên, sự thảo luận trong mục này có thể áp dụng cho bất kỳ quỹ đạo nào khác và do đó áp dụng được cho toàn bộ quá trình lượng tử.

... Lý thuyết dây bao hàm cả những thành phần có nhiều chiều khác nhau: những thành phần hai chiều giống như cái đĩa, những thành phần ba chiều giống như giọt nước và thậm chí còn có những khả năng quái lạ hơn nữa...

•◎Thế ngoài các dây cáp ra?

Các dây là đặc biệt do hai nguyên nhân. Thứ nhất, mặc dù có quảng tính không gian, nhưng chúng có thể được mô tả một cách nhất quán trong khuôn khổ của cơ học lượng tử. Thứ hai, trong số những mode dao động cộng hưởng, có một mode có những tính chất chính xác của graviton, và như vậy đảm bảo rằng lực hấp dẫn là một bộ phận nội tại trong cấu trúc của nó. Nhưng, giống như lý thuyết dây đã chứng tỏ, khái niệm hạt điểm thông thường chẳng qua chỉ là sự lý tưởng hóa toán học chứ không hề có trong thế giới thực, người ta cũng có thể hỏi: những sợi dây một chiều cực mảnh liệu có phải cũng là sự lý tưởng hóa hay không? Liệu có thể các dây thực sự còn có một bề dày nào đó, giống như bề mặt một chiếc săm xe đạp hai chiều, chẳng hạn, hay còn thực tế hơn nữa, như một chiếc bánh vòng ba chiều? Những khó khăn dường như không thể vượt qua mà Heisenberg, Dirac và những người khác đã nhận thấy khi định xây dựng một lý thuyết dựa trên các "cục" hạt ba chiều, nhiều lần đã gây trở ngại cho các nhà nghiên cứu đi theo chuỗi lập luận tự nhiên đó.

Tuy nhiên, hoàn toàn bất ngờ vào những năm 1990, thông qua những suy luận gián tiếp và khá sắc sảo, các nhà lý thuyết dây đã nhận thấy những đối tượng cơ bản có số chiều cao hơn như vậy thực sự đã đóng một vai trò quan trọng và tinh tế trong chính bản thân các lý thuyết dây. Dần dà các nhà vật lý cũng đã phát hiện ra rằng lý thuyết dây không phải là một lý thuyết chỉ chứa các dây. Một nhận xét quan trọng đóng vai trò trung tâm đối với cuộc cách mạng siêu dây lần thứ hai được khởi xướng bởi Witten và những người khác vào năm 1995, đó là lý thuyết dây bao hàm cả những thành phần có nhiều chiều khác nhau: những

thành phần hai chiều giống như cái đĩa, những thành phần ba chiều giống như giọt nước và thậm chí còn có những khả năng quái lạ hơn nữa. Những đề xuất mới nhất này sẽ được đề cập tới ở các chương 12, 13. Còn hiện thời, chúng ta vẫn tiếp tục câu chuyện và khám phá tiếp những tính chất mới lạ của vũ trụ được cấu thành bởi những dây 1 chiều thay cho những hạt điểm không chiều.

Trong vật lý cũng như trong nghệ thuật, đối xứng là một phần then chốt của thẩm mỹ... Lý thuyết siêu dây, như chúng ta sẽ thấy, là một ví dụ vừa là thủy tổ vừa là tuyệt đỉnh của một khuôn khổ siêu đối xứng.

CHƯƠNG 7

CÁI "SIÊU" TRONG SIÊU DÂY

Khi biết rằng chuyến thám hiểm của Eddington vào năm 1919, nhằm kiểm chứng một tiên đoán của Einstein nói rằng ánh sáng phát ra từ những ngôi sao khi đi qua cạnh mặt trời sẽ bị nó làm cho cong đi, đã kết thúc thành công, Hendrk Lorentz nhà vật lý Hà Lan đã gửi cho Einstein một bức điện báo tin vui đó. Khi tin này được lan ra, một sinh viên đã hỏi Einstein rằng, ông nghĩ như thế nào nếu như các phép đo của Eddington không phát hiện thấy các tia sáng bị cong như được tiên đoán, Einstein đáp: "Khi đó tôi sẽ rất tiếc cho Chúa, bởi vì lý thuyết của tôi là đúng". Tất nhiên, nếu như các thực nghiệm không xác nhận những tiên đoán của Einstein thì lý thuyết của ông không đúng và thuyết tương đối rộng hẳn sẽ không trở thành một trong những trụ cột của vật lý hiện đại. Nhưng điều mà Einstein muốn nói, đó là thuyết tương đối rộng đã mô tả trường hấp dẫn với một vẻ đẹp nội tại sâu sắc, với những ý tưởng mạnh mẽ nhưng đơn giản như thế, ông nghĩ khó mà hình dung nổi nếu nó không đúng. Theo quan điểm của Einstein, thuyết tương đối rộng hầu như là quá đẹp nên không thể sai được.

Tuy nhiên, những suy xét về mặt mỹ học không thể phán xử sự đúng sai của một chân lý khoa học được. Xét cho tới cùng, các lý thuyết đều phải chịu sự phán xử dựa trên sức chống trả của chúng khi phải đối mặt với những sự kiện thực nghiệm khô cứng và lạnh lùng. Nhưng nhận xét này cần phải rất thận trọng. Trong khi một lý thuyết còn đang được xây dựng, hiện trạng phát triển còn đang dở dang của nó thường không cho phép lý thuyết đó đưa ra được những tiên đoán có thể kiểm chứng bằng thực nghiệm. Tuy nhiên, các nhà vật lý vẫn phải lựa chọn và suy xét các hướng nghiên cứu để tiếp tục phát triển lý thuyết còn chưa hoàn tất của họ. Một số trong những những quyết định này được áp đặt bởi sự nhất quán lôgíc nội tại, bởi lẽ chắc chắn chúng ta phải đòi hỏi một lý thuyết có ý nghĩa không thể chứa những điều vô lý về mặt lôgíc. Những quyết định khác được dẫn dắt bởi linh cảm về những hệ quả thực nghiệm định tính của một cấu trúc lý thuyết này đối với một cấu trúc khác; nói

chung, chúng ta sẽ không quan tâm tới một lý thuyết, nếu như có không có khả năng mô tả thế giới xung quanh chúng ta. Nhưng chắc chắn cũng có trường hợp một số quyết định của các nhà vật lý lý thuyết lại dựa trên cảm giác thẩm mỹ, theo đó các lý thuyết phải có được sự thanh nhã và vẻ đẹp về cấu trúc sánh được với thế giới mà chúng ta quan sát. Tất nhiên, không có gì đảm bảo là điều đó sẽ dẫn tới chân lý. Có thể, ở sâu hơn, vũ trụ có cấu trúc không được đẹp như chúng ta tưởng hoặc cũng có thể chúng ta sẽ thấy rằng những tiêu chuẩn thẩm mỹ của chúng ta cần phải được chắt lọc đáng kể khi áp dụng trong những bối cảnh ít quen thuộc hơn. Tuy nhiên, đặc biệt khi chúng ta bước vào kỷ nguyên, trong đó các lý thuyết của chúng ta mô tả những thực tại của vũ trụ ngày càng khó thăm dò bằng thực nghiệm hơn, các nhà vật lý phải dựa vào cảm giác thẩm mỹ để tránh xa những con đường bế tắc mà họ có thể bị lạc vào. Cho đến nay, phương pháp này đã cho chúng ta một sự dẫn dắt sáng suốt và rất có hiệu quả.

Trong vật lý cũng như trong nghệ thuật, đối xứng là một phần then chốt của thẩm mỹ. Nhưng không giống như trong nghệ thuật, đối xứng trong vật lý có một ý nghĩa cụ thể và chính xác hơn. Thực vậy, bằng cách bám riết khái niệm cụ thể này của đối xứng tới những kết luận toán học của nó, trong mấy chục năm gần đây, các nhà vật lý đã tìm ra những lý thuyết trong đó các hạt vật chất và các hạt truyền tương tác gắn bó mật thiết với nhau tới mức trước đó chưa từng có ai hình dung nổi. Những lý thuyết như thế, không chỉ thống nhất các lực của tự nhiên mà còn cả các thành phần của vật chất nữa, đều có một đối xứng khả dĩ lớn nhất và vì lý do đó mà chúng được gọi là siêu đối xứng. Lý thuyết siêu dây, như chúng ta sẽ thấy, là một ví dụ vừa là thủy tổ vừa là tuyệt đỉnh của một khuôn khổ siêu đối xứng.

Các nhà vật lý nói rằng hai tính chất nói ở trên của các định luật vật lý, tức là tính chất không phụ thuộc vào việc ta dùng chúng khi nào và ở đâu, là những đối xứng của tự nhiên...

•◎Bản chất của định luật vật lý

Hãy hình dung một vũ trụ, trong đó các định luật vật lý cũng phù du như thời trang, nghĩa là chúng thay đổi từ năm này sang năm khác, từ tuần này sang tuần khác hoặc thậm chí từ thời điểm này sang thời điểm khác. Giả thử rằng, trong một thế giới như vậy, những thay đổi đó không làm phá vỡ những quá trình cơ bản của sự sống, thì ít nhất cũng

có thể nói rằng, khi đó bạn sẽ không bao giờ cảm thấy buồn phiền, cho dù chỉ là một khoảnh khắc. Những hành động đơn sơ nhất của bạn cũng đã có thể là cả một cuộc phiêu lưu, vì những biến đổi ngẫu nhiên không cho phép bạn hoặc bất kỳ ai khác có thể dùng kinh nghiệm của quá khứ để dự đoán bất cứ điều gì về những kết cục tương lai.

Một vũ trụ như vậy quả thực là một cơn ác mộng đối với các nhà vật lý. Cũng như hầu hết mọi người, các nhà vật lý chủ yếu dựa vào sự ổn định của vũ trụ: các định luật đúng ngày hôm nay đã đúng ngày hôm qua và sẽ vẫn còn đúng ngày mai (thậm chí ngay cả khi chúng ta còn chưa đủ thông minh để phát minh ra hết tất cả những định luật đó). Sau hết, thuật ngữ "định luật" phỏng còn có ý nghĩa gì nữa, nếu như nó có thể thay đổi một cách đột ngột? Tất nhiên, điều này không có nghĩa là vũ trụ là tĩnh mà nó chắc chắn sẽ thay đổi bằng vô vàn cách từ thời điểm này sang thời điểm tiếp sau. Thực ra, điều này chỉ muốn nói rằng các định luật chi phối sự tiến hóa như thế mới là cố định và không thay đổi. Bạn có thể hỏi liệu chúng ta có thực sự biết điều đó là đúng không? Sự thực thì chúng ta không biết. Nhưng những thành công của chúng ta trong việc mô tả rất nhiều đặc tính của vũ trụ, từ những khoảnh khắc ngắn ngủi sau Big Bang cho tới tận hiện nay bảo đảm với chúng ta rằng, nếu các định luật có thay đổi thì chúng thay đổi cực kỳ chậm chạp. Đơn giản nhất mà lại phù hợp với tất cả những gì chúng ta đã biết là giả thiết rằng các định luật là cố định.

Bây giờ hãy tưởng tượng một vũ trụ trong đó các định luật lại có tính địa phương giống như các nền văn hóa, tức là chúng thay đổi không thể tiên đoán được từ địa phương này sang địa phương khác và kiên quyết chống lại mọi ảnh hưởng bên ngoài nhằm đồng hóa chúng. Tựa như những cuộc phiêu lưu của Gulliver, những cuộc du ngoạn vào những xứ sở như vậy hứa hẹn sẽ mang lại cho bạn nhiều trải nghiệm phong phú và đầy bất ngờ. Nhưng trên quan điểm của các nhà vật lý thì đó cũng lại là một cơn ác mộng khác. Chẳng hạn, thật khó mà sống với một thực tế là, những định luật đúng với một nước này, hoặc thậm chí đúng với một bang này, lại không còn đúng trong một nước hoặc một bang khác. Nhưng hãy thử hình dung tình hình sẽ ra sao nếu các định luật của tự nhiên lại thay đổi như vậy. Trong một thế giới như thế, các thí nghiệm tiến hành ở nơi này không hề có liên quan gì với những định luật vật lý ở bất cứ nơi nào khác. Vì thế, các nhà vật lý phải làm lại nhiều lần thí nghiệm đó ở những chỗ khác nhau để khám phá những định luật

vật lý ở mỗi nơi. Thật may mắn, mọi thứ mà chúng ta biết đều cho thấy rằng các định luật vật lý là như nhau ở khắp nơi. Tất cả những thí nghiệm trên khắp thế giới đều quy tụ về cùng một tập hợp những giải thích là cơ sở của những thực nghiệm đó. Ngoài ra, chúng ta còn có khả năng giải thích được rất nhiều những quan sát thiên văn ở những vùng rất xa của vũ trụ mà chỉ dùng một tập hợp cố định những nguyên lý vật lý. Điều này dẫn chúng ta tới niềm tin rằng chính những định luật vật lý đó đúng ở mọi nơi. Do chưa bao giờ tới được đầu bên kia của vũ trụ, nên chúng ta không thể loại trừ khả năng ở đâu đó có những loại định luật vật lý hoàn toàn mới, nhưng mọi thứ cho tới nay đều chứng tỏ điều ngược lại.

Lại một lần nữa, điều này không có nghĩa là vũ trụ nhìn giống hệt nhau hay nói cách khác là có mọi tính chất như nhau ở những nơi khác nhau. Trên mặt trăng, một nhà du hành đi cà kheo có thể làm được những thứ mà anh ta không thể làm được trên mặt đất. Nhưng chúng ta phải thừa nhận rằng, sở dĩ có sự khác biệt này là bởi vì mặt trăng nhẹ hơn nhiều so với trái đất, nhưng điều đó không có nghĩa là định luật vạn vật hấp dẫn thay đổi từ nơi này sang nơi khác. Định luật hấp dẫn của Newton, hay chính xác hơn là của Einstein, là như nhau, trên trái đất cũng như trên mặt trăng. Sự khác biệt trong trải nghiệm của nhà du hành vũ trụ chẳng qua là do sự thay đổi trong chi tiết của môi trường chứ không phải do sự thay đổi của định luật vật lý.

Các nhà vật lý nói rằng hai tính chất nói ở trên của các định luật vật lý, tức là tính chất không phụ thuộc vào việc ta dùng chúng khi nào và ở đâu, là những đối xứng của tự nhiên. Điều mà họ muốn nói ở đây, đó là tự nhiên xem mọi thời điểm trong thời gian và mọi nơi trong không gian là đồng nhất, hay đối xứng, bằng cách đảm bảo rằng các định luật vật lý cơ bản là không thay đổi tại các thời điểm khác nhau trong thời gian và tại những nơi khác nhau trong không gian. Cũng giống như trong hội họa và âm nhạc, đối xứng tạo ra sự thỏa mãn sâu sắc; chúng làm nổi bật tính trật tự và kết hợp trong sự vận hành của vũ trụ. Sự thanh nhã của nhiều hiện tượng phức tạp, phong phú và đa dạng xuất hiện từ một tập hợp đơn giản các định luật của vũ trụ ít nhất là một phần của cái mà các nhà vật lý muốn nói khi dùng tới từ "đẹp".

Trong những thảo luận về các thuyết tương đối hẹp và rộng, chúng ta cũng đã gặp những đối xứng khác của tự nhiên. Hãy nhớ lại rằng,

nguyên lý tương đối, nguyên lý nằm ở trung tâm của thuyết tương đối hẹp, nói với chúng ta rằng mọi định luật vật lý đều phải như nhau đối với những người quan sát chuyển động thẳng đều với nhau. Đó là một đối xứng, bởi vì nó muốn nói rằng tự nhiên coi tất cả những người quan sát như vậy là đồng nhất, tức là đối xứng. Mỗi người quan sát đó đều có lý khi tự xem mình là đứng yên điều đó không có nghĩa là những người quan sát chuyển động thẳng đều với nhau sẽ có những quan sát đồng nhất với nhau. Như ta đã thấy ở các chương trước, không thiếu những khác biệt lạ lùng trong những quan sát của họ. Giống như những khác biệt mà người đi cà kheo cảm thấy khi đi trên mặt đất và trên mặt trăng, những khác biệt trong các quan sát chẳng qua chỉ phản ánh sự thay đổi trong những chi tiết của môi trường, vì hai người quan sát chuyển động thẳng đều với nhau, thậm chí mặc dù những quan sát của họ đều được chi phối bởi những định luật như nhau.

Thông qua nguyên lý tương đương của thuyết tương đối rộng, Einstein đã mở rộng đáng kể đối xứng đó bằng cách chứng tỏ rằng các định luật của vật lý là thực sự như nhau đối với mọi người quan sát, ngay cả khi họ thực hiện những chuyển động có gia tốc phức tạp. Nên nhớ rằng Einstein đã thực hiện điều đó nhờ hiểu rằng một người quan sát có gia tốc cũng hoàn toàn có lý khi xem mình là đứng yên và khi tuyên bố lực mà người đó cảm thấy là do một trường hấp dẫn. Một khi lực hấp dẫn đã được tính đến, thì mọi điểm quan sát là hoàn toàn bình đẳng với nhau. Ngoài khía cạnh thẩm mỹ nội tại của việc đối xử một cách bình đẳng đối với mọi chuyển động, chúng ta còn thấy rằng, những nguyên lý đối xứng đó đã đóng một vai trò quan trọng trong những kết luận lạ lùng liên quan với hấp dẫn mà Einstein đã tìm ra.

Vậy, liệu có còn những nguyên lý đối xứng khác có liên quan với không gian, thời gian và chuyển động mà các định luật vật lý phải tôn trọng hay không? Nếu suy nghĩ kỹ về điều này, bạn sẽ còn phát hiện ra một đối xứng nữa. Các định luật vật lý còn phải như nhau bất kể góc nhìn của bạn trong quan sát là như thế nào. Ví dụ, nếu bạn thực hiện một thí nghiệm nào đó rồi sau đó quyết định xoay toàn bộ các thiết bị và tiến hành lại thí nghiệm một lần nữa, thì những định luật vật lý áp dụng cho hai lần thí nghiệm đó là hoàn toàn như nhau. Điều đó gọi là đối xứng ngay và nó có ý nghĩa là, các định luật vật lý xem mọi định hướng khả dĩ đều bình đẳng với nhau. Đây là nguyên lý đối xứng đứng ngang hàng với những đối xứng mà ta vừa thảo luận ở trên.

Liệu có còn những đối xứng khác? Liệu chúng ta có bỏ sót một đối xứng nào không? Bạn có thể gợi ý những đối xứng chuẩn (gauge) liên quan với các lực phi hấp dẫn mà ta đã nói tới ở chương 5. Tất nhiên, chúng là những đối xứng của tự nhiên, nhưng đó là loại đối xứng trừu tượng hơn; nhưng ở đây chúng ta chỉ tập trung xem xét những đối xứng có liên quan trực tiếp đến không gian, thời gian hoặc chuyển động. Thực tế, vào năm 1967, hai nhà vật lý Sidney Colêman và Jeffrey Mandula đã chứng minh được rằng, thời gian hay chuyển động có thể kết hợp với những đối xứng vừa thảo luận ở trên để tạo ra một lý thuyết phù hợp với thế giới mà chúng ta đang sống.

Với những hiểu biết đó về khái niệm spin, bây giờ chúng ta hãy quay trở lại vai trò của nó trong việc phát hiện ra lỗ hổng trong định lý Coleman - Mandura liên quan tới những đối xứng khả dĩ của tự nhiên mà ta đã nói tới trong mục trước...

•◎Spin

Một hạt sơ cấp như electron có thể quay trên một quỹ đạo xung quanh hạt nhân tựa như trái đất quay quanh mặt trời. Nhưng, trong cách mô tả truyền thống coi electron như một hạt điểm, thì lại không có hình ảnh giống như trái đất tự quay xung quanh mình nó. Khi một đối tượng quay quanh mình nó, tất cả các điểm trên trục quay, giống như tâm điểm của một chiếc đĩa quay, đều không chuyển động. Tuy nhiên, nếu một vật nào đó thực sự có dạng điểm, thì nó sẽ không có "những điểm khác" nằm ngoài bất kỳ trục quay nào. Và như vậy, đơn giản là không có chuyển động tự quay của một hạt điểm. Nhiều năm trước, lý luận đó đã bị nghi vấn bởi một bất ngờ lượng tử khác.

Năm 1925, hai nhà vật lý Hà Lan là George Uhlenbeck và Samuel Goudsmit đã nhận thấy rằng, một số lớn các số liệu khó hiểu liên quan với những tính chất của ánh sáng phát xạ và hấp thụ bởi các nguyên tử có thể giải thích được nếu như giả thiết rằng các electron có những tính chất từ rất đặc biệt. Khoảng vài trăm năm trước, nhà vật lý người Pháp là André Marie Ampère đã chứng tỏ được rằng các diện tích chuyển động sinh ra từ tính. Uhlenbeck và Goudsmit đi theo đường hướng đó và đã tìm thấy rằng chỉ có một loại chuyển động đặc biệt của electron mới tạo ra những tính chất từ phù hợp với các số liệu: đó là chuyển động tự quay (tiếng Anh gọi là spin). Trái với những dự đoán cổ điển,

Uhlenbeck và Goudsmit tuyên bố rằng, tựa như trái đất, các electron vừa quay và vừa tự quay.

Nhưng liệu Uhlenbeck và Goudsmit có thực sự muốn nói rằng các electron tự quay không? Có hay không. Cái mà công trình của họ thực sự chứng minh được, đó là có một khái niệm lượng tử về spin, phần nào đó na ná như hình ảnh tự quay thông thường nhưng về bản chất đó là một khái niệm lượng tử cố hữu. Nó là một trong số những tính chất của thế giới vi mô đòi hỏi phải xem xét lại những khái niệm cổ điển bằng cách đưa vào một sự thay đổi lượng tử đã được kiểm chứng bằng thực nghiệm. Ví dụ, ta hình dung một nghệ sĩ trượt băng quay. Khi co tay lại, cô ta sẽ quay nhanh hơn, còn khi dang tay ra cô ta sẽ quay chậm hơn. Và rồi sớm hay muộn, tùy thuộc cô ta dồn lực cho sự quay ít hay nhiều, cô ta sẽ quay chậm lại và dừng hẳn. Nhưng loại tự quay (hay spin) mà Uhlenbeck và Goudsmit phát hiện ra không phải như vậy. Theo công trình của họ và những nghiên cứu sau đó, mỗi electron trong vũ trụ luôn luôn và mãi mãi quay với một tốc độ cố định và không bao giờ thay đổi. Spin của electron không phải là một trạng thái chuyển động nhất thời như đối với các vật quen thuộc mà vì một nguyên nhân nào đó khiến cho chúng tự quay. Thay vì thế, spin của electron là một tính chất nội tại giống như khối lượng và điện tích của nó. Nếu một electron không có spin thì nó không còn là một electron nữa.

Mặc dù những công trình ban đầu chỉ tập trung vào electron, nhưng thực ra sau đó các nhà vật lý đã chứng tỏ được rằng những ý tưởng này về spin cũng áp dụng được cho tất cả các hạt vật chất khác thuộc ba họ được liệt kê trong bảng 1.1. Và điều này đúng cho tới tận những chi tiết nhỏ nhất: tất cả các hạt vật chất (cùng với tất cả các phản hạt của chúng) đều có spin bằng spin của electron. Theo ngôn ngữ chuyên môn, thì các nhà vật lý nói rằng tất cả các hạt vật chất đều có "spin 1/2". Nói một cách nôm na thì giá trị 1/2 là số đo trong cơ học lượng tử cho biết hạt đó quay nhanh tới mức nào [1]. Ngoài ra, các nhà vật lý còn chứng minh được rằng các hạt truyền tương tác phi hấp dẫn, chẳng hạn như photon, các hạt boson yếu và gluon cũng có đặc trưng nội tại đó và nó có giá trị gấp hai lần spin của các hạt vật chất. Nghĩa là tất cả chúng đều có "spin 1".

Còn hấp dẫn thì sao? Thực ra, còn trước khi có lý thuyết dây, các nhà vật lý đã xác định được spin mà hạt graviton giả thuyết cần phải có để là hạt truyền tương tác hấp dẫn. Đáp số: lớn gấp đôi spin của photon,

của các boson yếu và của gluon, tức là "spin 2".

Trong bối cảnh của lý thuyết dây, spin - cũng giống như khối lượng và các tích lực - gắn liền với mode dao động của dây. Cũng như với các hạt điểm, sẽ là sai lầm nếu ta coi spin được mang bởi một dây như là sự quay thực sự của nó trong không gian. Cần nhớ rằng đó chỉ là một hình ảnh gần đúng mà thôi. Nhân tiện đây, ta cũng làm sáng tỏ thêm một vấn đề quan trọng mà ta đã gặp trước đây. Năm 1974, khi Scherk và Schwarz tuyên bố rằng lý thuyết dây cần được coi là một lý thuyết lượng tử chứa đựng được cả lực hấp dẫn, họ đã làm như vậy là bởi vì họ đã tìm thấy rằng các dây nhất thiết phải có một mode dao động tương ứng với một hạt không có khối lượng và có spin 2, đó là những dấu hiệu đặc trưng của graviton. Mà ở đâu có graviton thì ở đó có hấp dẫn.

Với những hiểu biết đó về khái niệm spin, bây giờ chúng ta hãy quay trở lại vai trò của nó trong việc phát hiện ra lỗ hổng trong định lý Coleman - Mandura liên quan tới những đối xứng khả dĩ của tự nhiên mà ta đã nói tới trong mục trước.

[1] Nói một cách chính xác hơn, spin 1/2 có nghĩa là mômen động lượng ứng với chuyển động "tự quay" của electron bằng h.

Sự phát minh ra spin vào năm 1925 đã cho thấy rằng còn có một loại chuyển động quay khác chưa hề tồn tại trong vũ trụ thuần tuý cổ điển.

•◎Siêu đối xứng và các siêu hạt

Như chúng ta đã nhấn mạnh ở trên, khái niệm spin, mặc dù về bề ngoài có vẻ giống như sự quay của một con quay, nhưng khác nhau căn bản về nguồn gốc lượng tử của nó. Sự phát minh ra spin vào năm 1925 đã cho thấy rằng còn có một loại chuyển động quay khác chưa hề tồn tại trong vũ trụ thuần tuý cổ điển.

Điều này đặt ra câu hỏi: vì chuyển động quay thông thường dẫn tới nguyên lý đối xứng bất biến quay (tức "các định luật vật lý coi mọi định hướng không gian là bình đẳng với nhau"), vậy thì liệu loại chuyển động quay tinh tế hơn gắn liền với spin có dẫn tới một đối xứng nào đó của các định luật vật lý hay không? Vào khoảng 1971, các nhà vật lý đã chứng minh được rằng, câu trả lời là có. Mặc dù toàn bộ câu chuyện thì khá phức tạp, nhưng ý tưởng cơ bản của nó thì như thế này: khi tính tới

spin, thì quả là có thêm đúng một đối xứng nữa của các định luật của tự nhiên khả dĩ về mặt toán học. Nó được gọi là siêu đối xứng.

Siêu đối xứng không liên quan với sự thay đổi điểm quan sát một cách đơn giản và trực giác, vì sự chuyển dịch trong thời gian, trong không gian, trong định hướng góc và trong vận tốc của chuyển động đã vét hết các khả năng đó rồi. Nhưng vì spin "giống như chuyển động quay nhưng với sự thể hiện lượng tử", nên siêu đối xứng gắn liền với sự thay đổi điểm quan sát trong một "mở rộng lượng tử của không gian và thời gian". Những câu trích dẫn trên là đặc biệt quan trọng, vì câu sau chỉ có một mục đích duy nhất là cho một ý niệm thô sơ về cái chỗ mà siêu đối xứng được đặt vào trong một khuôn khổ rộng lớn hơn của các nguyên lý đối xứng. Tuy nhiên, việc hiểu được nguồn gốc của siêu đối xứng là một điều khá tinh tế, vì vậy chúng ta sẽ chỉ tập trung vào một trong những hệ quả quan trọng nhất nhưng dễ nắm bắt hơn cả của nó.

Vào đầu những năm 1970, các nhà vật lý đã nhận thấy rằng, nếu như vũ trụ là siêu đối xứng, thì các hạt trong tự nhiên phải xuất hiện theo từng cặp với spin tương ứng của chúng sai khác nhau 1/2. Những cặp hạt như vậy, bất kể là chúng được coi là các hạt điểm (như trong mô hình chuẩn hay là các vòng dây nhỏ xíu dao động, đều được gọi là các siêu hạt bạn. Vì các hạt vật chất có spin 1/2 trong khi đó một số các hạt truyền tương tác có spin 1, nên ban đầu người ta nghĩ rằng siêu đối xứng đã tạo ra sự kết đôi hay kết bạn giữa các hạt vật chất và các hạt lực. Và nếu như vậy thì nó là khái niệm có khả năng thống nhất tuyệt vời. Nhưng vấn đề còn nằm trong các chi tiết.

Vào giữa những năm 1970, khi các nhà vật lý tìm cách bao gồm siêu đối xứng vào trong mô hình chuẩn, họ mới phát hiện ra rằng, không có một hạt đã biết nào được liệt kê trong các bảng 1.1 và 1.2 có thể là siêu hạt bạn của một hạt khác. Thay vì thế, các phân tích lý thuyết chi tiết chứng minh được rằng, nếu vũ trụ bao gồm siêu đối xứng thì mỗi hạt đã biết phải có một siêu hạt bạn còn chưa được phát hiện, có spin nhỏ hơn spin của hạt đã biết 1/2. Ví dụ, electron cần phải có một hạt bạn spin 0 và hạt giả thiết này được gọi là selectron (gọi tắt của supersymmetric electron). Điều này cũng đúng với các hạt vật chất khác. Ví dụ, các nơtrinô và squark cũng có các siêu hạt bạn spin 0 và được gọi là nơtrinô và squark. Tương tự như vậy, các hạt lực cũng có các siêu hạt bạn 1/2: đối với photon, đó là photinos, đối với gluon, đó là gluinos, đối với các boson

W và Z, đó là winos và zinos.

Sau đó, khi xem xét một cách kỹ lưỡng hơn, người ta cho rằng siêu đối xứng không tinh tế một chút nào: nó đòi hỏi phải có thêm một lô các hạt mới, cụ thể là nhân đôi số các hạt cơ bản được liệt kê trong các bảng 1.1 và 1.2. Vì hiện chưa có một siêu hạt bạn nào được phát hiện, nên bạn có quyền mượn ý kiến của Rabi trích trong chương 1 khi nói về sự phát minh ra hạt muon để tuyên bố rằng "không có ai đặt hàng siêu đối xứng cả" và tóm lại là vứt bỏ hoàn toàn siêu đối xứng. Tuy nhiên, vì ba nguyên nhân mà chúng ta sẽ xét dưới đây, khiến các nhà vật lý tin tưởng mạnh mẽ rằng một sự phủi sạch siêu đối xứng như vậy là quá ư vội vàng.

Điều này cũng tựa như khi ta xếp các mẩu của trò chơi ghép hình trong đó mẩu cuối cùng lại hơi bị kênh, không thể xếp khít vào vị trí đã định của nó. Siêu đối xứng đã chuốt lại hình dạng của mảnh cuối cùng này khiến cho tất cả các mảnh đều xếp khít với nhau...

•◎Những bằng chứng ủng hộ siêu đối xứng trước lý thuyết dây

Thứ nhất, trên quan điểm thẩm mỹ, các nhà vật lý thấy rằng, việc tự nhiên tôn trọng hầu hết nhưng không phải tất cả các đối xứng khả dĩ về mặt toán học là một điều khó có thể tin được. Tất nhiên, cũng đã từng xảy ra việc sử dụng đối xứng một cách không đầy đủ, nhưng đó là điều hết sức đáng tiếc. Điều này cũng tựa như Bach sau khi đã cất công phát triển rất nhiều bè hòa quyện với nhau trong một sơ đồ đối xứng âm nhạc rất tài tình, nhưng lại không để ý đến khuôn nhịp là cái có ý nghĩa quyết định cuối cùng.

Thứ hai, ngay bên trong mô hình chuẩn, một lý thuyết chưa đề cập tới hấp dẫn, nhiều vấn đề kỹ thuật gai góc gắn liền với những quá trình lượng tử đã được giải quyết một cách nhanh chóng nếu như lý thuyết là siêu đối xứng. Vấn đề cơ bản là ở chỗ các loại hạt khác nhau đều có đóng góp phần của mình vào những thăng giáng lượng tử mãnh liệt trong thế giới vi mô. Các nhà vật lý đã phát hiện ra rằng, trong các bể sôi sục đó, một số các quá trình liên quan tới sự tương tác của các hạt vẫn còn hòa hợp được với nhau, chỉ nếu như những tham số trong mô hình chuẩn được tinh chỉnh với một độ chính xác cao hơn một phần triệu tỷ để triệt tiêu những hiệu ứng lượng tử tai hại nhất. Một sự tinh chỉnh chính xác nhất đến như thế có thể sánh được với việc điều chỉnh

góc bắn của một khẩu súng cực mạnh bắn vào một bia đặt trên mặt trăng, với khoảng sai số cho phép không lớn hơn bề dày của con vi khuẩn. Mặc dù sự điều chỉnh các tham số với độ chính xác tương tự là điều có thể làm được trong mô hình chuẩn, nhưng nhiều nhà vật lý tỏ ý không mấy tin tưởng vào một lý thuyết được xây dựng một cách quá ư mỏng manh, tới mức chỉ cần chữ số thứ mười lăm sau dấu phảy của một tham số thay đổi là nó sẽ sụp đổ hoàn toàn [1].

Siêu đối xứng đã làm cho điều đó thay đổi một cách triệt để, bởi vì các boson - những hạt có spin là một số nguyên (được gọi theo tên nhà vật lý ấn Độ Satyendra Bose) - và các fermion - những hạt có spin bán nguyên (gọi theo tên nhà vật lý người Italia enrico Fermi) - có xu hướng triệt tiêu những đóng góp lượng tử của nhau. Giống như hai đầu của chiếc bập bênh, khi những thăng giáng lượng tử của boson là dương thì những thăng giáng của fermion lại là âm và ngược lại. Vì siêu đối xứng đảm bảo rằng các boson và fermino được tạo ra theo từng cặp, nên những triệt tiêu chủ yếu đã diễn ra ngay từ đầu và điều này đã làm dịu đi đáng kể những hiệu ứng lượng tử mãnh liệt nhất. Và như vậy, sự hòa hợp của mô hình chuẩn siêu đối xứng, tức là mô hình chuẩn có thêm tất cả các hạt siêu bạn, không còn phải dựa trên những điều chỉnh quá ư tinh vi và bất tiện của mô hình chuẩn thông thường nữa. Mặc dù đây chủ yếu chỉ là vấn đề kỹ thuật, nhưng nhiều nhà vật lý hạt thấy rằng điều đó làm cho siêu đối xứng trở nên rất hấp dẫn.

Nguyên nhân thứ ba ủng hộ siêu đối xứng đến từ khái niệm thống nhất lớn. Một trong những đặc điểm bí ẩn của bốn lực trong tự nhiên, đó là cường độ của chúng nằm trong một dải giá trị cực rộng. Lực điện từ nhỏ hơn một phần trăm lực mạnh, lực yếu nhỏ hơn lực điện từ khoảng một ngàn lần và lực hấp dẫn khoảng một trăm triệu tỷ tỷ tỷ (1035) lần nhỏ hơn lực yếu. Đi theo công trình mở đường và cuối cùng đã được trao giải Nobel và Glashow, Salam và Weinberg - công trình đã xác lập mối quan hệ sâu sắc giữa lực điện từ và lực yếu (đã được đề cập tới ở chương 5), năm 1974 Glashow cùng với một đồng nghiệp ở Đại học Harvard là Howard Georgi đã đưa ra ý kiến cho rằng có thể tìm kiếm một mối quan hệ tương tự với tương tác mạnh. Công trình của họ, công trình đề xuất một "sự thống nhất lớn" của ba lực, khác với lý thuyết điện - yếu về một phương diện cơ bản: trong khi lực điện từ và lực yếu kết tinh thành một hợp nhất đối xứng hơn, khi nhiệt độ của vũ trụ giảm xuống chỉ còn khoảng một triệu tỷ (1015) độ trên không độ tuyệt đối, thì

Georgi và Glashow chứng tỏ được rằng sự hợp nhất với lực mạnh chỉ được xuất hiện ở nhiệt độ khoảng 10 tỷ tỷ tỷ (1028) độ K. Trên quan điểm năng lượng, thì nhiệt độ đó tương ứng với năng lượng vào khoảng một triệu tỷ lần lớn hơn khối lượng của proton tức là nhỏ hơn khối lượng Planck khoảng bốn bậc độ lớn. Như vậy, Georgi và Glashow đã đưa vật lý lý thuyết tới một địa hạt năng lượng vượt xa nhiều bậc về độ lớn so với năng lượng mà trước đó người ta đã dám khám phá.

Công trình sau đó được thực hiện tại Đại học Harvard của George, Helan Quinn và Weinberg vào năm 1974 đã làm cho sự thống nhất tiềm tàng của ba lực phi hấp dẫn trong khuôn khổ thống nhất lớn đã trở nên rõ ràng hơn. Vì những đóng góp của họ còn tiếp tục đóng vai trò quan trọng trong việc thống nhất các lực và đánh giá sự phù hợp của siêu đối xứng với thế giới tự nhiên, nên chúng ta sẽ dành một chút thì giờ để nói rõ hơn.

Tất cả chúng ta đều biết rằng lực hút điện giữa hai điện tích trái dấu, hay lực hút hấp dẫn giữa hai vật có khối lượng sẽ trở nên mạnh hơn khi khoảng cách giữa chúng giảm. Đó là một tính chất đơn giản và quá quen thuộc trong vật lý cổ điển. Tuy nhiên, có điều bất ngờ khi chúng ta nghiên cứu ảnh hưởng của cơ học lượng tử đến cường độ của các lực. Nhưng tại sao cơ học lượng tử đó lại có ảnh hưởng đó? Lại một lần nữa, câu trả lời nằm trong các thăng giáng lượng tử. Ví dụ, khi chúng ta khảo sát nó thông qua đám "sương mù" của những hạt và phản hạt được sinh và hủy tức thời diễn ra trong khắp vùng không gian xung quanh electron. Ít lâu sau đó các nhà vật lý đã nhận thấy rằng cái đám sương mù đã che lấp một phần luồng sáng của ngọn hải đăng. Nhưng khi chúng ta tới gần electron hơn, nghĩa là chúng ta đã thâm nhập sâu hơn vào đám sương mù của các hạt và phản hạt đó, và vì vậy chúng ta chỉ chịu tác dụng che khuất của nó ít hơn. Điều này dẫn tới hệ quả là, cường độ điện trường của electron sẽ tăng khi ta tiến lại gần nó hơn.

Để phân biệt sự tăng của cường độ điện trường có nguồn gốc cơ học lượng tử khi ta tới gần electron hơn với sự tăng mà ta đã biết trong vật lý cổ điển, các nhà vật lý nói rằng cường độ nội tại của lực điện từ tăng ở những thang khoảng cánh ngắn hơn. Điều này phản ánh một thực tế là, cường độ của lực tăng không chỉ đơn giản là do ta tiến lại gần electron được "nhìn thấy" nhiều hơn. Thực tế, mặc dù ta chỉ tập trung nói về electron, nhưng những lập luận ở trên cũng áp dụng được cho tất

cả các hạt tích điện và được tổng kết lại bằng phát biểu nói rằng những hiệu ứng điện tử trở nên lớn hơn ở những thang khoảng cách ngắn hơn.

Còn đối với những lực khác trong mô hình chuẩn thì sao? Cường độ của chúng thay đổi theo khoảng cách như thế nào? Năm 1973, Gross và Frank Wilczek ở đại học Princeton và độc lập với họ, David Politzer ở đại học Harvard đã nghiên cứu vấn đề này và tìm ra câu trả lời thật bất ngờ. Đám mây lượng tử của các hạt và phản hạt sinh ra và hủy đi có tác dụng làm khuếch tán cường độ của các lực yếu và mạnh. Điều này dẫn tới hệ quả là, khi chúng ta khảo sát chúng ở các khoảng cách ngắn hơn, chúng ta sẽ thâm nhập sâu hơn vào đám mây đó và vì thế chúng ta ít chịu tác dụng khuếch đại của nó hơn. Và như vậy có nghĩa là cường độ của lực đó trở nên yếu hơn khi ta khảo sát chúng ở những khoảng cách ngắn hơn.

Georgi, Quinn và Weinberg đã nắm lấy điều đó và họ đã đi tới một kết quả rất thú vị. Họ đã chứng minh được rằng, khi tính đến những tác dụng đó của các thăng giáng lượng tử mãnh liệt một cách cẩn thận, thì kết quả cuối cùng cho thấy cường độ của ba lực phi hấp dẫn sẽ hội tụ với nhau. Mặc dù cường độ của ba lực này lại rất khác nhau ở những thang mà kỹ thuật hiện nay có thể vươn tới được, Georgi, Quinn và Weinberg đã chỉ ra rằng sự khác nhau đó thực sự là do những ảnh hưởng khác nhau của đám sương mù lượng tử tác động đến mỗi lực. Những tính toán của họ chứng tỏ rằng nếu thâm nhập sâu vào đám sương mù đó bằng cách khảo sát các lực không phải ở những thang khoảng cách hàng ngày mà tới tận những khoảng cách cỡ một phần trăm tỷ tỷ tỷ (10-29) xentimét (tức là hơn khoảng cách Planck 10 ngàn lần), thì cường độ của ba lực phi hấp dẫn sẽ trở nên bằng nhau.

Mặc dù quá xa vời so với thực tiễn của kinh nghiệm hằng ngày, nhưng khoảng cách cao cần thiết để có thể tiếp cận được những khoảng cách nhỏ như vậy lại là đặc trưng của vũ trụ nguyên thủy, nóng và sôi sục, khi nó mới được một phần ngàn tỷ tỷ tỷ tỷ (10-39) giây tuổi. Khi ấy, nhiệt độ của Vũ trụ cỡ 1028 K như ta đã có lần nói tới ở trên. Tựa như tập hợp các thành phần rời rạc nhau, chẳng hạn như các mẩu kim loại, gỗ, đá, quặng v.v, được nấu chảy cùng nhau và trở thành một plasma đồng tính khi được đốt nóng tới nhiệt độ đủ cao, các công trình này cũng gợi ý rằng các lực mạnh, yếu và điện tử sẽ hòa nhập thành một lực lớn ở những nhiệt độ cực cao mà ta nói ở trên. Điều này được minh họa

bằng sơ đồ trên Hình 7.1[2].

Hình 7.1. Cường độ của ba lực phi hấp dẫn ở những thang khoảng cách ngắn dần, hay tương đương thế, trong những quá trình có năng lượng cao dần.

Mặc dù chúng ta chưa có công nghệ để thăm dò tới những khoảng cách nhỏ như vậy hoặc tạo được ra những nhiệt độ thiêu đốt như thế, nhưng từ năm 1974, các nhà thực nghiệm đã hoàn thiện một cách đáng kể phép đo cường độ của ba lực phi hấp dẫn trong điều kiện hiện có. Những số liệu này - điểm xuất phát của ba đường cong trên Hình 7.1 - chính là dữ liệu đầu vào cho sự ngoại suy dựa trên cơ học lượng tử của Georgi, Quinn và Weinberg. Năm 1991, Ugo Amaldi ở CERN (Trung tâm nghiên cứu hạt nhân châu Âu), Wim de Boer và Hermann Furstenau ở Đại học Karlsruhe (Đức) đã tính lại sự ngoại suy của Georgi, Quinn và Weinberg bằng cách dùng những số liệu đã được hoàn thiện và đã chứng tỏ được hai điều quan trọng. Thứ nhất, cường độ của ba lực phi hấp dẫn, chỉ gần như chứ chưa hoàn toàn hội tụ vào nhau ở những khoảng cách nhỏ (hay ở năng lượng cao hoặc nhiệt độ cao cũng thế) như được minh họa trên Hình 7.2. Thứ hai, sự sai khác nhỏ nhưng không thể phủ nhận này trong cường độ của các lực sẽ biến mất khi tính đến siêu đối xứng. Sở dĩ như vậy là vì những siêu hạt bạn do siêu đối xứng đòi hỏi sẽ đóng góp thêm những thăng giáng lượng tử và chính những thăng giáng thêm này đã làm một cú hích chính xác để cho cường độ của các lực thực sự hội tụ với nhau.

Hình 7.2. Sự hoàn thiện tính toán các cường độ lực cho thấy, nếu không siêu đối xứng, chúng chỉ gần chứ không hoàn toàn hội tụ với nhau.

Đối với nhiều nhà vật lý, thật khó có thể tin rằng tự nhiên lại chọn để cho các lực chỉ gần như chứ không hoàn toàn có cường độ trở nên bằng nhau, tức thống nhất với nhau ở những khoảng cách vi mô. Điều này cũng tựa như khi ta xếp các mẩu của trò chơi ghép hình trong đó mẩu cuối cùng lại hơi bị kênh, không thể xếp khít vào vị trí đã định của nó. Siêu đối xứng đã chuốt lại hình dạng của mảnh cuối cùng này khiến cho tất cả các mảnh đều xếp khít với nhau.

Phát hiện cuối cùng này còn có một lợi ích khác: nó giúp ta trả lời được câu hỏi: tại sao cho tới nay chúng ta vẫn chưa phát hiện được một siêu hạt nhân nào? Những tính toán dẫn tới sự hội tụ của cường độ các lực

cũng như các khảo sát khác được nghiên cứu bởi nhiều nhà vật lý đã chỉ ra rằng những siêu hạt bạn nặng hơn rất nhiều so với các hạt đã biết. Mặc dù chưa đưa ra được những tiên đoán có tính chất quyết định, nhưng những nghiên cứu chứng tỏ rằng các siêu hạt bạn chắc phải có số lượng lớn gấp cả ngàn lần khối lượng của proton, nếu không muốn nói là nặng hơn. Vì những máy gia tốc mạnh nhất hiện nay cũng không thể đạt tới những năng lượng như vậy, nên chính điều này giải thích tại sao các các hạt đó vẫn chưa được phát hiện. Trong Chương 9 chúng ta sẽ quay lại vấn đề này và thảo luận về những triển vọng thực nghiệm trong tương lai nhằm xác định siêu đối xứng có thực sự là một tính chất của Vũ trụ chúng ta hay không.

Tất nhiên, những lý do mà chúng ta vừa đưa ra ở trên nhằm bảo vệ siêu đối xứng hay ít nhất cũng không vứt bỏ nó, chưa phải là hoàn toàn chặt chẽ. Một trong những lý do mà chúng ta vừa nêu ra là, siêu đối xứng đã nâng những lý thuyết của chúng ta tới dạng đối xứng nhất của nó, nhưng bạn có thể bác lại rằng Vũ trụ không hề quan tâm tới chuyện đạt tới dạng đối xứng nhất khả dĩ về mặt toán học. Chúng ta cũng lại đưa ra một chi tiết kỹ thuật mà nhờ siêu đối xứng chúng ta thoát được một nhiệm vụ tỉ mẩn phải tinh chỉnh các tham số của mô hình chuẩn để tránh những bài toán lượng tử tinh vi. Nhưng bạn cũng có thể cãi lại rằng một lý thuyết đích thực mô tả tự nhiên có thể đi một cách vững vàng trên cái ranh giới mong manh giữa sự tự hòa hợp và sự tự phá hủy. Rồi chúng ta cũng đã thảo luận về việc siêu đối xứng đã làm thay đổi cường độ của ba lực phi hấp dẫn ở những khoảng cách nhỏ một cách chính xác để cho chúng hòa nhập thành một lực thống nhất lớn, nhưng bạn lại có thể cãi lại rằng không có gì trong thiết kế Vũ trụ bắt buộc cường độ các lực phải trùng khớp một cách chính xác ở những khoảng cách vi mô. Và cuối cùng, bạn có thể cho rằng cách giải thích đơn giản nhất cho câu hỏi tại sao cho tới nay các siêu hạt bạn vẫn chưa được phát hiện, đó là Vũ trụ của chúng ta không phải là siêu đối xứng và do đó các siêu hạt bạn, tất nhiên, là không tồn tại.

Không ai có thể bác bỏ những lời phản đối đó. Nhưng những bằng chứng ủng hộ siêu đối xứng sẽ được củng cố thêm rất nhiều khi chúng ta xét vai trò của nó trong lý thuyết dây.

[1] Đối với những độc giả muốn quan tâm chi tiết hơn tới vấn đề có tính chất kỹ thuật này, chúng tôi xin nói thêm như sau: Trong chú thích 6 của

chương 6, chúng tôi có nói rằng mô hình chuẩn đã viện tới "một hạt cho khối lượng" - tức hạt boson higg - để cho các hạt trong bảng 1.1 và 1.2 có khối lượng mà chúng ta quan sát được. Để cho cơ chế đó hoạt động được, bản thân hạt higg phải có khối lượng không quá lớn; những nghiên cứu chứng tỏ rằng khối lượng của nó chắc không thể lớn hơn 1000 lần khối lượng của proton. Nhưng hoá ra những thăng giáng lượng tử lại có xu hướng đóng góp đáng kể vào khối lượng của boson higg và có thể đưa khối lượng của nó tới thang Planck. Tuy nhiên các nhà lý thuyết đã phát hiện ra rằng kết cục đó – một kết cục sẽ phát lộ ra một khuyết tật quan trọng của mô hình chuẩn – có thể tránh được nếu một số tham số của mô hình chuẩn (mà chủ yếu là cái gọi là khối lượng trần trụi của hạt higg) được tinh chỉnh với độ chính xác vượt quá 1/1015 để triệt tiêu tác dụng của những thăng giáng đó đến khối lượng của hạt higg.

[2] Một điểm tế nhị cần phải chú thích cho Hình 7.1 là, cường độ của lực yếu được vẽ nằm giữa cường độ của lực mạnh và lực điện từ, trong khi trước đó chúng ta đã nói rằng nó yếu hơn cả hai lực đó. Nguyên nhân của điều này nằm trong Bảng 1.2, trong đó chúng ta thấy rằng các hạt truyền lực yếu là khá nặng, còn các hạt truyền của lực mạnh và lực điện từ thì đều không có khối lượng. Về mặt nột tại, cường độ của lực yếu (được đo bởi hằng số liên kết của nó –một khái niệm mà chung ta sẽ đề cập tới ở Chương 12) là như được biểu diễn trên Hình 7.1, nhưng do các hạt truyền của nó khá nặng, nên đã chuyển tải ảnh hưởng của lực yếu một cách chậm chạp và làm giảm tác dụng của nó.

Những nghiên cứu gần đây đã mang lại cho lý thuyết dây những bước tiến khổng lồ tới gần cái giấc mơ thống nhất, bằng cách chứng tỏ được rằng năm lý thuyết khác nhau mà chúng ta nói ở trên chẳng qua chỉ là năm cách mô tả khác nhau của cùng một lý thuyết bao quát hơn....

•◎Siêu đối xứng trong lý thuyết dây

Lý thuyết dây khởi đầu xuất hiện từ công trình của Veneziano vào cuối những năm 1960, nó chứa đựng tất cả những đối xứng mà ta vừa thảo luận ở đầu chương này, nhưng không hàm siêu đối xứng (đơn giản vì nó còn chưa được phát hiện ra). Lý thuyết đầu tiên dựa trên lý thuyết dây lẽ ra phải được gọi là ý thuyết dây boson. Tính từ "boson" chỉ ra rằng tất cả các mode dao động của dây này đều có spin nguyên và không có mode dao động có spin bán nguyên, tức là không có các mode

dao động fermion. Điều này đặt ra hai vấn đề.

Thứ nhất, nếu lý thuyết dây có khả năng mô tả tất cả các lực và tất cả các hạt vật chất thì nó bằng cách nào đó phải bao hàm được tất cả những mode dao động fermion, vì chúng ta biết rằng tất cả các hạt vật chất đều có spin 1/2. Thứ hai, và còn rắc rối hơn, đó là người ta nhận thấy rằng, trong lý thuyết dây boson, tồn tại một mode dao động có bình phương khối lượng là một số âm, được gọi là hạt tachyon. Ngay cả trước khi có lý thuyết dây, các nhà vật lý đã nghiên cứu tới khả năng vũ trụ của chúng ta có thể có hạt tachyon, ngoài những hạt quen thuộc có khối lượng dương. Nhưng những nỗ lực của họ đã cho thấy rằng điều đó là rất khó, thậm chí có thể nói là không thể, nếu muốn giữ cho lý thuyết vẫn còn nhất quán về mặt lôgic. Tương tự, trong bối cảnh của lý thuyết dây boson, các nhà vật lý đã thử đủ các loại thủ thuật cốt để cho điều tiên đoán bí ẩn về mode dao động tachyon có một ý nghĩa nào đó, nhưng tất cả đều vô ích. Những đặc điểm này làm cho ta càng thấy rõ ràng, mặc dù dây là một lý thuyết rất hấp dẫn, nhưng dây boson vẫn còn thiếu một cái gì đó rất cơ bản.

Năm 1971, Pierre Ramon thuộc trường Đại học Florida đã chấp nhận thách thức cải tiến lý thuyết dây boson để nó bao hàm được tất cả những mode dao động fermion. Thông qua công trình của ông và những kết quả sau đó của Schwarz và André Neveu, một phiên bản mới của lý thuyết dây đã bắt đầu xuất hiện. Và thật là bất ngờ với mọi người, các mode dao động boson và fermion lại xuất hiện theo từng cặp một. Đối với mỗi một mode dao động boson lại có một mode dao động fermion và ngược lại. Năm 1977, những công trình của Ferdinando Gliozzi ở Đại học Turin, của Sherk và David Olive ở Đại học Impertial College đã làm sáng tỏ sự tạo thành cặp đó. Lý thuyết mới này của các dây có chứa siêu đối xứng và sự tạo thành cặp của các mode dao động boson va fermion chính là sự phản ánh đặc tính đối xứng cao đó. Vậy là lý thuyết siêu đối xứng, tức là lý thuyết siêu dây đã ra đời. Hơn thế nữa, các công trình của Gliozzi, Scherk và Olive còn thu được một kết quả quan trọng khác. Họ đã chứng minh được rằng, mode dao động tachyon gây biết bao rắc rối của dây boson đã không làm tổn hại đến siêu dây. Vậy là dần dà, các mẩu của trò ghép hình đã được đặt đúng vào vị trí của chúng.

Tuy nhiên, những tác động quan trọng đầu tiên của các công trình của

Ramond cũng như của Neveu và Schwarz lại thực sự không liên quan tới lý thuyết dây. Năm 1973, hai nhà vật lý Julius Wess và Bruno Zumino đã nhận thấy rằng siêu đối xứng - đối xứng mới xuất hiện từ sự xây dựng lại lý thuyết dây - lại có thể áp dụng được cả cho những lý thuyết dựa trên các hạt điểm. Họ đã nhanh chóng đạt được những bước tiến quan trọng nhằm bao hàm siêu đối xứng vào khuôn khổ của các lý thuyết trường lượng tử dựa trên các hạt điểm. Và một thời gian, lý thuyết trường lượng tử đã trở thành mối quan tâm chủ yếu của các nhà vật lý hạt, còn lý thuyết dây ngày càng bị gạt ra rìa. Thực tế, những công trình của Wess và Zumino đã khởi phát một số lượng nghiên cứu lớn không thể tưởng tượng nổi về những cái mà sau này người ta gọi là lý thuyết trường lượng tử siêu đối xứng. Mô hình chuẩn siêu đối xứng mà ta vừa thảo luận ở mục trước, là một trong số những thành tựu lý thuyết tuyệt đỉnh của những nghiên cứu đó. Và bây giờ chúng ta thấy rằng, do sự trớ trêu của lịch sử, ngay cả lý thuyết dựa trên các hạt điểm này cũng phải mang ơn lý thuyết dây rất nhiều.

Với sự tái xuất giang hồ của lý thuyết dây vào giữa những năm 1980, siêu đối xứng mới xuất hiện trở lại trong bối cảnh mà nó đã được phát hiện ra. Và trong khuôn khổ đó, những bằng chứng ủng hộ siêu đối xứng đã vượt xa ra ngoài những điều mà chúng ta đã trình bày ở mục trước. Lý thuyết dây là cách duy nhất mà chúng ta biết có khả năng thống nhất thuyết tương đối rộng với cơ học lượng tử. Nhưng chỉ có lý thuyết dây siêu đối xứng mới tránh được vấn đề tachyon đầy tai hại và mới chứa đựng các mode dao động fermion mô tả các hạt vật chất trong thế giới xung quanh chúng ta. Do đó, siêu đối xứng đã cùng với những nguyên lý của lý thuyết dây đi tới một lý thuyết lượng tử của hấp dẫn và tuyên bố về sự thống nhất tất cả các lực và các hạt vật chất. Và nếu như lý thuyết dây là đúng thì các nhà vật lý cũng tin rằng nếu đối xứng cũng phải đúng.

Tuy nhiên, cho đến tận giữa những năm 1990, một khía cạnh đặc biệt phiền phức đã gây nhức nhối cho lý thuyết dây siêu đối xứng.

•◎Siêu bối rối trước sự lựa chọn

Nếu có ai đó nói với bạn rằng họ đã tìm ra bí mật về số phận của Amelia Earhart *, thì ban đầu có thể hoài nghi, nhưng nếu như họ có thể giải thích với đầy đủ tư liệu và đã được suy nghĩ kỹ càng thì bạn chắc sẽ lắng nghe họ, và biết đâu đấy, thậm chí bạn có thể tin lời giải thích đó

cũng nên. Nhưng điều gì sẽ xảy ra, nếu như trong lần gặp sau, họ lại nói với bạn rằng họ còn có cả cách giải thích thứ hai nữa. Bạn sẽ kiên nhẫn lắng nghe và ngạc nhiên thấy rằng cách giải thích mới này cũng có đầy đủ tư liệu và được suy nghĩ kỹ càng cũng như cách giải thích đầu tiên. Và rồi sau đó bạn còn được nghe thêm cách giải thích thư ba, thứ tư và thậm chí thứ năm nữa, tất cả đều khác nhau, nhưng đều đáng tin như nhau. Kết cục, bạn cảm thấy cũng chẳng biết thêm gì về số phận thực sự của Amelia Earhart so với những hiểu biết ban đầu của bạn. Trong cả một cánh rừng những cách giải thích cơ bản khác nhau, biết nhiều nhất cũng tức là biết ít nhất.

Vào năm 1985, lý thuyết dây- mặc dù những phấn khích cũng rất dễ hiểu do nó tạo ra- đã bắt đầu có vẻ giống như vị chuyên gia nhiệt thành về số phận của Earhart. Sở dĩ như vậy là do vào năm 1985 các nhà vật lý nhận thấy rằng siêu đối xứng- yếu tố trung tâm trong cấu trúc của lý thuyết dây- thực sự có thể được đưa vào lý thuyết dây không phải theo một mà là năm cách khác nhau. Mỗi một cách đều tạo ra sự tạo cặp của các mode dao động boson và fermion, nhưng chi tiết của sự tạo cặp này cũng như nhiều tính chất khác của lý thuyết lại rất khác nhau. Mặc dù tên của những lý thuyết này không quan trọng, nhưng cũng đáng để ta nêu ra ở đây, đó là: lý thuyết loại I, lý thuyết loại IIA, lý thuyết loại IIB, lý thuyết heterotic loại O(32) và lý thuyết heterotic loại E8 x E8. Tất cả những đặc tính của lý thuyết dây mà chúng ta đã thảo luận cho tới đây đều còn đúng đối với mỗi lý thuyết đó, chúng chỉ khác nhau ở những chi tiết tinh tế hơn.

Có tới năm phiên bản khác nhau của cái được xem là lý thuyết về tất cả (T.O.E), mà cũng có thể là lý thuyết thống nhất tối hậu, là một điều hết sức bối rối đối với các nhà lý thuyết dây. Cũng như chỉ có một cách giải thích duy nhất đúng về những diều đã thực sự xảy ra đối với Amelia Earhart (bất kể là chúng ta có tìm ra nó hay không), chúng ta chờ đợi rằng, chính điều này cũng sẽ là đúng đối với sự hiểu biết cơ bản và sâu sắc nhất về sự vận hành của Vũ trụ. Chúng ta sống trong một Vũ trụ và chúng ta chờ đợi cũng sẽ chỉ có một cách giải thích.

Để giải quyết vấn đề này, có một khả năng sau: mặc dù có tới năm lý thuyết dây khác nhau, nhưng bốn lý thuyết trong đó có thể đơn giản sẽ bị thực nghiệm loại bỏ chỉ còn lại một lý thuyết duy nhất. Nhưng thậm chí có đúng như vậy đi chăng nữa. thì vẫn còn lại một câu hỏi dai dẳng

ám ảnh chúng ta, đó là, tại sao những lý thuyết khác đều đã từng tồn tại ở vị trí hàng đầu. Hay theo cách nói hài hước của Witten: "Nếu một trong năm lý thuyết đó mô tả Vũ trụ của chúng ta, thì ai sẽ sống trong bốn vũ trụ kia? 1". Một ước mơ của các nhà vật lý, đó là sự tìm kiếm những câu trả lời tối hậu sẽ dẫn tới một kết luận duy nhất là lý thuyết cuối cùng- dù là lý thuyết dây hay một lý thuyết nào đó - phải là cái mà nó là, đơn giản chỉ vì không còn có một khả năng nào khác. Nếu như chúng ta phát hiện ra rằng, có một lý thuyết duy nhất nhất quán về mặt lôgic có khả năng bao hàm được cả những yếu tố cơ bản của thuyết tương đối lẫn cơ học lượng tử, thì chúng ta tin chắc rằng chúng ta đã đạt tới sự hiểu biết sâu sắc về các lý do tại sao Vũ trụ lại có những tính chất như nó vốn có. Nói một cách ngắn gọn, đó chính là thiên đường của sự thống nhất.[1]

Như chúng ta sẽ thấy trong Chương 12, những nghiên cứu gần đây đã mang lại cho lý thuyết dây những bước tiến khổng lồ tới gần cái giấc mơ thống nhất bằng cách chứng tỏ được rằng năm lý thuyết khác nhau mà chúng ta nói ở trên chẳng qua chỉ là năm cách mô tả khác nhau của cùng một lý thuyết bao quát hơn. Vậy là, lý thuyết dây đã có một gia hệ duy nhất.

Mọi vật xem ra đã ở đúng vị trí của nó, nhưng như chúng ta sẽ thảo luận ở chương sau, sự thống nhất thông qua lý thuyết dây còn đòi hỏi một lần nữa phải giã từ sự hiểu biết thông thường của chúng ta.

* Amelia Earhart - là phi công tiên phong người mỹ, đã mất tích bí ẩn trong một chuyến bay(ND)

[1] Để hiểu sâu hơn về ý tưởng này và các ý tưởng có liên quan, hãy xem cuốn Dreams of Final Theory của Steven Weinberg

Lý thuyết dây đã làm rung chuyển nền tảng của vật lý hiện đại tới mức ngay cả số chiều trong vũ trụ chúng ta, vốn đã được mọi người chấp nhận và được coi như nằm ngoài mọi nghi vấn, cũng lại bị hạ bệ một cách nhanh chóng nhưng có sức thuyết phục.

CHƯƠNG 8

CÁC CHIỀU ẨN GIẤU

Khi biết rằng chuyến thám hiểm của Eddington vào năm 1919, nhằm kiểm chứng một tiên đoán của Einstein nói rằng ánh sáng phát ra từ những ngôi sao khi đi qua cạnh mặt trời sẽ bị nó làm cho cong đi, đã kết thúc thành công, Hendrk Lorentz nhà vật lý Hà Lan đã gửi cho Einstein một bức điện báo tin vui đó. Khi tin này được lan ra, một sinh viên đã hỏi Einstein rằng, ông nghĩ như thế nào nếu như các phép đo của Eddington không phát hiện thấy các tia sáng bị cong như được tiên đoán, Einstein đáp: "Khi đó tôi sẽ rất tiếc cho Chúa, bởi vì lý thuyết của tôi là đúng". Tất nhiên, nếu như các thực nghiệm không xác nhận những tiên đoán của Einstein thì lý thuyết của ông không đúng và thuyết tương đối rộng hẳn sẽ không trở thành một trong những trụ cột của vật lý hiện đại. Nhưng điều mà Einstein muốn nói, đó là thuyết tương đối rộng đã mô tả trường hấp dẫn với một vẻ đẹp nội tại sâu sắc, với những ý tưởng mạnh mẽ nhưng đơn giản như thế, ông nghĩ khó mà hình dung nổi nếu nó không đúng. Theo quan điểm của Einstein, thuyết tương đối rộng hầu như là quá đẹp nên không thể sai được.

Tuy nhiên, những suy xét về mặt mỹ học không thể phán xử sự đúng sai của một chân lý khoa học được. Xét cho tới cùng, các lý thuyết đều phải chịu sự phán xử dựa trên sức chống trả của chúng khi phải đối mặt với những sự kiện thực nghiệm khô cứng và lạnh lùng. Nhưng nhận xét này cần phải rất thận trọng. Trong khi một lý thuyết còn đang được xây dựng, hiện trạng phát triển còn đang dở dang của nó thường không cho phép lý thuyết đó đưa ra được những tiên đoán có thể kiểm chứng bằng thực nghiệm. Tuy nhiên, các nhà vật lý vẫn phải lựa chọn và suy xét các hướng nghiên cứu để tiếp tục phát triển lý thuyết còn chưa hoàn tất của họ. Một số trong những những quyết định này được áp đặt bởi sự nhất quán lôgíc nội tại, bởi lẽ chắc chắn chúng ta phải đòi hỏi một lý thuyết có ý nghĩa không thể chứa những điều vô lý về mặt lôgíc. Những quyết định khác được dẫn dắt bởi linh cảm về những hệ quả thực nghiệm định tính của một cấu trúc lý thuyết này đối với một cấu trúc khác; nói

chung, chúng ta sẽ không quan tâm tới một lý thuyết, nếu như có không có khả năng mô tả thế giới xung quanh chúng ta. Nhưng chắc chắn cũng có trường hợp một số quyết định của các nhà vật lý lý thuyết lại dựa trên cảm giác thẩm mỹ, theo đó các lý thuyết phải có được sự thanh nhã và vẻ đẹp về cấu trúc sánh được với thế giới mà chúng ta quan sát. Tất nhiên, không có gì đảm bảo là điều đó sẽ dẫn tới chân lý. Có thể, ở sâu hơn, vũ trụ có cấu trúc không được đẹp như chúng ta tưởng hoặc cũng có thể chúng ta sẽ thấy rằng những tiêu chuẩn thẩm mỹ của chúng ta cần phải được chắt lọc đáng kể khi áp dụng trong những bối cảnh ít quen thuộc hơn. Tuy nhiên, đặc biệt khi chúng ta bước vào kỷ nguyên, trong đó các lý thuyết của chúng ta mô tả những thực tại của vũ trụ ngày càng khó thăm dò bằng thực nghiệm hơn, các nhà vật lý phải dựa vào cảm giác thẩm mỹ để tránh xa những con đường bế tắc mà họ có thể bị lạc vào. Cho đến nay, phương pháp này đã cho chúng ta một sự dẫn dắt sáng suốt và rất có hiệu quả.

Trong vật lý cũng như trong nghệ thuật, đối xứng là một phần then chốt của thẩm mỹ. Nhưng không giống như trong nghệ thuật, đối xứng trong vật lý có một ý nghĩa cụ thể và chính xác hơn. Thực vậy, bằng cách bám riết khái niệm cụ thể này của đối xứng tới những kết luận toán học của nó, trong mấy chục năm gần đây, các nhà vật lý đã tìm ra những lý thuyết trong đó các hạt vật chất và các hạt truyền tương tác gắn bó mật thiết với nhau tới mức trước đó chưa từng có ai hình dung nổi. Những lý thuyết như thế, không chỉ thống nhất các lực của tự nhiên mà còn cả các thành phần của vật chất nữa, đều có một đối xứng khả dĩ lớn nhất và vì lý do đó mà chúng được gọi là siêu đối xứng. Lý thuyết siêu dây, như chúng ta sẽ thấy, là một ví dụ vừa là thủy tổ vừa là tuyệt đỉnh của một khuôn khổ siêu đối xứng.

Các nhà vật lý nói rằng hai tính chất nói ở trên của các định luật vật lý, tức là tính chất không phụ thuộc vào việc ta dùng chúng khi nào và ở đâu, là những đối xứng của tự nhiên...

•◎Bản chất của định luật vật lý

Hãy hình dung một vũ trụ, trong đó các định luật vật lý cũng phù du như thời trang, nghĩa là chúng thay đổi từ năm này sang năm khác, từ tuần này sang tuần khác hoặc thậm chí từ thời điểm này sang thời điểm khác. Giả thử rằng, trong một thế giới như vậy, những thay đổi đó không làm phá vỡ những quá trình cơ bản của sự sống, thì ít nhất cũng

có thể nói rằng, khi đó bạn sẽ không bao giờ cảm thấy buồn phiền, cho dù chỉ là một khoảnh khắc. Những hành động đơn sơ nhất của bạn cũng đã có thể là cả một cuộc phiêu lưu, vì những biến đổi ngẫu nhiên không cho phép bạn hoặc bất kỳ ai khác có thể dùng kinh nghiệm của quá khứ để dự đoán bất cứ điều gì về những kết cục tương lai.

Một vũ trụ như vậy quả thực là một cơn ác mộng đối với các nhà vật lý. Cũng như hầu hết mọi người, các nhà vật lý chủ yếu dựa vào sự ổn định của vũ trụ: các định luật đúng ngày hôm nay đã đúng ngày hôm qua và sẽ vẫn còn đúng ngày mai (thậm chí ngay cả khi chúng ta còn chưa đủ thông minh để phát minh ra hết tất cả những định luật đó). Sau hết, thuật ngữ "định luật" phỏng còn có ý nghĩa gì nữa, nếu như nó có thể thay đổi một cách đột ngột? Tất nhiên, điều này không có nghĩa là vũ trụ là tĩnh mà nó chắc chắn sẽ thay đổi bằng vô vàn cách từ thời điểm này sang thời điểm tiếp sau. Thực ra, điều này chỉ muốn nói rằng các định luật chi phối sự tiến hóa như thế mới là cố định và không thay đổi. Bạn có thể hỏi liệu chúng ta có thực sự biết điều đó là đúng không? Sự thực thì chúng ta không biết. Nhưng những thành công của chúng ta trong việc mô tả rất nhiều đặc tính của vũ trụ, từ những khoảnh khắc ngắn ngủi sau Big Bang cho tới tận hiện nay bảo đảm với chúng ta rằng, nếu các định luật có thay đổi thì chúng thay đổi cực kỳ chậm chạp. Đơn giản nhất mà lại phù hợp với tất cả những gì chúng ta đã biết là giả thiết rằng các định luật là cố định.

Bây giờ hãy tưởng tượng một vũ trụ trong đó các định luật lại có tính địa phương giống như các nền văn hóa, tức là chúng thay đổi không thể tiên đoán được từ địa phương này sang địa phương khác và kiên quyết chống lại mọi ảnh hưởng bên ngoài nhằm đồng hóa chúng. Tựa như những cuộc phiêu lưu của Gulliver, những cuộc du ngoạn vào những xứ sở như vậy hứa hẹn sẽ mang lại cho bạn nhiều trải nghiệm phong phú và đầy bất ngờ. Nhưng trên quan điểm của các nhà vật lý thì đó cũng lại là một cơn ác mộng khác. Chẳng hạn, thật khó mà sống với một thực tế là, những định luật đúng với một nước này, hoặc thậm chí đúng với một bang này, lại không còn đúng trong một nước hoặc một bang khác. Nhưng hãy thử hình dung tình hình sẽ ra sao nếu các định luật của tự nhiên lại thay đổi như vậy. Trong một thế giới như thế, các thí nghiệm tiến hành ở nơi này không hề có liên quan gì với những định luật vật lý ở bất cứ nơi nào khác. Vì thế, các nhà vật lý phải làm lại nhiều lần thí nghiệm đó ở những chỗ khác nhau để khám phá những định luật

vật lý ở mỗi nơi. Thật may mắn, mọi thứ mà chúng ta biết đều cho thấy rằng các định luật vật lý là như nhau ở khắp nơi. Tất cả những thí nghiệm trên khắp thế giới đều quy tụ về cùng một tập hợp những giải thích là cơ sở của những thực nghiệm đó. Ngoài ra, chúng ta còn có khả năng giải thích được rất nhiều những quan sát thiên văn ở những vùng rất xa của vũ trụ mà chỉ dùng một tập hợp cố định những nguyên lý vật lý. Điều này dẫn chúng ta tới niềm tin rằng chính những định luật vật lý đó đúng ở mọi nơi. Do chưa bao giờ tới được đầu bên kia của vũ trụ, nên chúng ta không thể loại trừ khả năng ở đâu đó có những loại định luật vật lý hoàn toàn mới, nhưng mọi thứ cho tới nay đều chứng tỏ điều ngược lại.

Lại một lần nữa, điều này không có nghĩa là vũ trụ nhìn giống hệt nhau hay nói cách khác là có mọi tính chất như nhau ở những nơi khác nhau. Trên mặt trăng, một nhà du hành đi cà kheo có thể làm được những thứ mà anh ta không thể làm được trên mặt đất. Nhưng chúng ta phải thừa nhận rằng, sở dĩ có sự khác biệt này là bởi vì mặt trăng nhẹ hơn nhiều so với trái đất, nhưng điều đó không có nghĩa là định luật vạn vật hấp dẫn thay đổi từ nơi này sang nơi khác. Định luật hấp dẫn của Newton, hay chính xác hơn là của Einstein, là như nhau, trên trái đất cũng như trên mặt trăng. Sự khác biệt trong trải nghiệm của nhà du hành vũ trụ chẳng qua là do sự thay đổi trong chi tiết của môi trường chứ không phải do sự thay đổi của định luật vật lý.

Các nhà vật lý nói rằng hai tính chất nói ở trên của các định luật vật lý, tức là tính chất không phụ thuộc vào việc ta dùng chúng khi nào và ở đâu, là những đối xứng của tự nhiên. Điều mà họ muốn nói ở đây, đó là tự nhiên xem mọi thời điểm trong thời gian và mọi nơi trong không gian là đồng nhất, hay đối xứng, bằng cách đảm bảo rằng các định luật vật lý cơ bản là không thay đổi tại các thời điểm khác nhau trong thời gian và tại những nơi khác nhau trong không gian. Cũng giống như trong hội họa và âm nhạc, đối xứng tạo ra sự thỏa mãn sâu sắc; chúng làm nổi bật tính trật tự và kết hợp trong sự vận hành của vũ trụ. Sự thanh nhã của nhiều hiện tượng phức tạp, phong phú và đa dạng xuất hiện từ một tập hợp đơn giản các định luật của vũ trụ ít nhất là một phần của cái mà các nhà vật lý muốn nói khi dùng tới từ "đẹp".

Trong những thảo luận về các thuyết tương đối hẹp và rộng, chúng ta cũng đã gặp những đối xứng khác của tự nhiên. Hãy nhớ lại rằng,

nguyên lý tương đối, nguyên lý nằm ở trung tâm của thuyết tương đối hẹp, nói với chúng ta rằng mọi định luật vật lý đều phải như nhau đối với những người quan sát chuyển động thẳng đều với nhau. Đó là một đối xứng, bởi vì nó muốn nói rằng tự nhiên coi tất cả những người quan sát như vậy là đồng nhất, tức là đối xứng. Mỗi người quan sát đó đều có lý khi tự xem mình là đứng yên điều đó không có nghĩa là những người quan sát chuyển động thẳng đều với nhau sẽ có những quan sát đồng nhất với nhau. Như ta đã thấy ở các chương trước, không thiếu những khác biệt lạ lùng trong những quan sát của họ. Giống như những khác biệt mà người đi cà kheo cảm thấy khi đi trên mặt đất và trên mặt trăng, những khác biệt trong các quan sát chẳng qua chỉ phản ánh sự thay đổi trong những chi tiết của môi trường, vì hai người quan sát chuyển động thẳng đều với nhau, thậm chí mặc dù những quan sát của họ đều được chi phối bởi những định luật như nhau.

Thông qua nguyên lý tương đương của thuyết tương đối rộng, Einstein đã mở rộng đáng kể đối xứng đó bằng cách chứng tỏ rằng các định luật của vật lý là thực sự như nhau đối với mọi người quan sát, ngay cả khi họ thực hiện những chuyển động có gia tốc phức tạp. Nên nhớ rằng Einstein đã thực hiện điều đó nhờ hiểu rằng một người quan sát có gia tốc cũng hoàn toàn có lý khi xem mình là đứng yên và khi tuyên bố lực mà người đó cảm thấy là do một trường hấp dẫn. Một khi lực hấp dẫn đã được tính đến, thì mọi điểm quan sát là hoàn toàn bình đẳng với nhau. Ngoài khía cạnh thẩm mỹ nội tại của việc đối xử một cách bình đẳng đối với mọi chuyển động, chúng ta còn thấy rằng, những nguyên lý đối xứng đó đã đóng một vai trò quan trọng trong những kết luận lạ lùng liên quan với hấp dẫn mà Einstein đã tìm ra.

Vậy, liệu có còn những nguyên lý đối xứng khác có liên quan với không gian, thời gian và chuyển động mà các định luật vật lý phải tôn trọng hay không? Nếu suy nghĩ kỹ về điều này, bạn sẽ còn phát hiện ra một đối xứng nữa. Các định luật vật lý còn phải như nhau bất kể góc nhìn của bạn trong quan sát là như thế nào. Ví dụ, nếu bạn thực hiện một thí nghiệm nào đó rồi sau đó quyết định xoay toàn bộ các thiết bị và tiến hành lại thí nghiệm một lần nữa, thì những định luật vật lý áp dụng cho hai lần thí nghiệm đó là hoàn toàn như nhau. Điều đó gọi là đối xứng ngay và nó có ý nghĩa là, các định luật vật lý xem mọi định hướng khả dĩ đều bình đẳng với nhau. Đây là nguyên lý đối xứng đứng ngang hàng với những đối xứng mà ta vừa thảo luận ở trên.

Liệu có còn những đối xứng khác? Liệu chúng ta có bỏ sót một đối xứng nào không? Bạn có thể gợi ý những đối xứng chuẩn (gauge) liên quan với các lực phi hấp dẫn mà ta đã nói tới ở chương 5. Tất nhiên, chúng là những đối xứng của tự nhiên, nhưng đó là loại đối xứng trừu tượng hơn; nhưng ở đây chúng ta chỉ tập trung xem xét những đối xứng có liên quan trực tiếp đến không gian, thời gian hoặc chuyển động. Thực tế, vào năm 1967, hai nhà vật lý Sidney Colêman và Jeffrey Mandula đã chứng minh được rằng, thời gian hay chuyển động có thể kết hợp với những đối xứng vừa thảo luận ở trên để tạo ra một lý thuyết phù hợp với thế giới mà chúng ta đang sống.

Với những hiểu biết đó về khái niệm spin, bây giờ chúng ta hãy quay trở lại vai trò của nó trong việc phát hiện ra lỗ hổng trong định lý Coleman - Mandura liên quan tới những đối xứng khả dĩ của tự nhiên mà ta đã nói tới trong mục trước...

•◎Spin

Một hạt sơ cấp như electron có thể quay trên một quỹ đạo xung quanh hạt nhân tựa như trái đất quay quanh mặt trời. Nhưng, trong cách mô tả truyền thống coi electron như một hạt điểm, thì lại không có hình ảnh giống như trái đất tự quay xung quanh mình nó. Khi một đối tượng quay quanh mình nó, tất cả các điểm trên trục quay, giống như tâm điểm của một chiếc đĩa quay, đều không chuyển động. Tuy nhiên, nếu một vật nào đó thực sự có dạng điểm, thì nó sẽ không có "những điểm khác" nằm ngoài bất kỳ trục quay nào. Và như vậy, đơn giản là không có chuyển động tự quay của một hạt điểm. Nhiều năm trước, lý luận đó đã bị nghi vấn bởi một bất ngờ lượng tử khác.

Năm 1925, hai nhà vật lý Hà Lan là George Uhlenbeck và Samuel Goudsmit đã nhận thấy rằng, một số lớn các số liệu khó hiểu liên quan với những tính chất của ánh sáng phát xạ và hấp thụ bởi các nguyên tử có thể giải thích được nếu như giả thiết rằng các electron có những tính chất từ rất đặc biệt. Khoảng vài trăm năm trước, nhà vật lý người Pháp là André Marie Ampère đã chứng tỏ được rằng các diện tích chuyển động sinh ra từ tính. Uhlenbeck và Goudsmit đi theo đường hướng đó và đã tìm thấy rằng chỉ có một loại chuyển động đặc biệt của electron mới tạo ra những tính chất từ phù hợp với các số liệu: đó là chuyển động tự quay (tiếng Anh gọi là spin). Trái với những dự đoán cổ điển,

Uhlenbeck và Goudsmit tuyên bố rằng, tựa như trái đất, các electron vừa quay và vừa tự quay.

Nhưng liệu Uhlenbeck và Goudsmit có thực sự muốn nói rằng các electron tự quay không? Có hay không. Cái mà công trình của họ thực sự chứng minh được, đó là có một khái niệm lượng tử về spin, phần nào đó na ná như hình ảnh tự quay thông thường nhưng về bản chất đó là một khái niệm lượng tử cố hữu. Nó là một trong số những tính chất của thế giới vi mô đòi hỏi phải xem xét lại những khái niệm cổ điển bằng cách đưa vào một sự thay đổi lượng tử đã được kiểm chứng bằng thực nghiệm. Ví dụ, ta hình dung một nghệ sĩ trượt băng quay. Khi co tay lại, cô ta sẽ quay nhanh hơn, còn khi dang tay ra cô ta sẽ quay chậm hơn. Và rồi sớm hay muộn, tùy thuộc cô ta dồn lực cho sự quay ít hay nhiều, cô ta sẽ quay chậm lại và dừng hẳn. Nhưng loại tự quay (hay spin) mà Uhlenbeck và Goudsmit phát hiện ra không phải như vậy. Theo công trình của họ và những nghiên cứu sau đó, mỗi electron trong vũ trụ luôn luôn và mãi mãi quay với một tốc độ cố định và không bao giờ thay đổi. Spin của electron không phải là một trạng thái chuyển động nhất thời như đối với các vật quen thuộc mà vì một nguyên nhân nào đó khiến cho chúng tự quay. Thay vì thế, spin của electron là một tính chất nội tại giống như khối lượng và điện tích của nó. Nếu một electron không có spin thì nó không còn là một electron nữa.

Mặc dù những công trình ban đầu chỉ tập trung vào electron, nhưng thực ra sau đó các nhà vật lý đã chứng tỏ được rằng những ý tưởng này về spin cũng áp dụng được cho tất cả các hạt vật chất khác thuộc ba họ được liệt kê trong bảng 1.1. Và điều này đúng cho tới tận những chi tiết nhỏ nhất: tất cả các hạt vật chất (cùng với tất cả các phản hạt của chúng) đều có spin bằng spin của electron. Theo ngôn ngữ chuyên môn, thì các nhà vật lý nói rằng tất cả các hạt vật chất đều có "spin 1/2". Nói một cách nôm na thì giá trị 1/2 là số đo trong cơ học lượng tử cho biết hạt đó quay nhanh tới mức nào [1]. Ngoài ra, các nhà vật lý còn chứng minh được rằng các hạt truyền tương tác phi hấp dẫn, chẳng hạn như photon, các hạt boson yếu và gluon cũng có đặc trưng nội tại đó và nó có giá trị gấp hai lần spin của các hạt vật chất. Nghĩa là tất cả chúng đều có "spin 1".

Còn hấp dẫn thì sao? Thực ra, còn trước khi có lý thuyết dây, các nhà vật lý đã xác định được spin mà hạt graviton giả thuyết cần phải có để là hạt truyền tương tác hấp dẫn. Đáp số: lớn gấp đôi spin của photon,

của các boson yếu và của gluon, tức là "spin 2".

Trong bối cảnh của lý thuyết dây, spin - cũng giống như khối lượng và các tích lực - gắn liền với mode dao động của dây. Cũng như với các hạt điểm, sẽ là sai lầm nếu ta coi spin được mang bởi một dây như là sự quay thực sự của nó trong không gian. Cần nhớ rằng đó chỉ là một hình ảnh gần đúng mà thôi. Nhân tiện đây, ta cũng làm sáng tỏ thêm một vấn đề quan trọng mà ta đã gặp trước đây. Năm 1974, khi Scherk và Schwarz tuyên bố rằng lý thuyết dây cần được coi là một lý thuyết lượng tử chứa đựng được cả lực hấp dẫn, họ đã làm như vậy là bởi vì họ đã tìm thấy rằng các dây nhất thiết phải có một mode dao động tương ứng với một hạt không có khối lượng và có spin 2, đó là những dấu hiệu đặc trưng của graviton. Mà ở đâu có graviton thì ở đó có hấp dẫn.

Với những hiểu biết đó về khái niệm spin, bây giờ chúng ta hãy quay trở lại vai trò của nó trong việc phát hiện ra lỗ hổng trong định lý Coleman - Mandura liên quan tới những đối xứng khả dĩ của tự nhiên mà ta đã nói tới trong mục trước.

[1] Nói một cách chính xác hơn, spin 1/2 có nghĩa là mômen động lượng ứng với chuyển động "tự quay" của electron bằng h.

Sự phát minh ra spin vào năm 1925 đã cho thấy rằng còn có một loại chuyển động quay khác chưa hề tồn tại trong vũ trụ thuần tuý cổ điển.

•◎Siêu đối xứng và các siêu hạt

Như chúng ta đã nhấn mạnh ở trên, khái niệm spin, mặc dù về bề ngoài có vẻ giống như sự quay của một con quay, nhưng khác nhau căn bản về nguồn gốc lượng tử của nó. Sự phát minh ra spin vào năm 1925 đã cho thấy rằng còn có một loại chuyển động quay khác chưa hề tồn tại trong vũ trụ thuần tuý cổ điển.

Điều này đặt ra câu hỏi: vì chuyển động quay thông thường dẫn tới nguyên lý đối xứng bất biến quay (tức "các định luật vật lý coi mọi định hướng không gian là bình đẳng với nhau"), vậy thì liệu loại chuyển động quay tinh tế hơn gắn liền với spin có dẫn tới một đối xứng nào đó của các định luật vật lý hay không? Vào khoảng 1971, các nhà vật lý đã chứng minh được rằng, câu trả lời là có. Mặc dù toàn bộ câu chuyện thì khá phức tạp, nhưng ý tưởng cơ bản của nó thì như thế này: khi tính tới

spin, thì quả là có thêm đúng một đối xứng nữa của các định luật của tự nhiên khả dĩ về mặt toán học. Nó được gọi là siêu đối xứng.

Siêu đối xứng không liên quan với sự thay đổi điểm quan sát một cách đơn giản và trực giác, vì sự chuyển dịch trong thời gian, trong không gian, trong định hướng góc và trong vận tốc của chuyển động đã vét hết các khả năng đó rồi. Nhưng vì spin "giống như chuyển động quay nhưng với sự thể hiện lượng tử", nên siêu đối xứng gắn liền với sự thay đổi điểm quan sát trong một "mở rộng lượng tử của không gian và thời gian". Những câu trích dẫn trên là đặc biệt quan trọng, vì câu sau chỉ có một mục đích duy nhất là cho một ý niệm thô sơ về cái chỗ mà siêu đối xứng được đặt vào trong một khuôn khổ rộng lớn hơn của các nguyên lý đối xứng. Tuy nhiên, việc hiểu được nguồn gốc của siêu đối xứng là một điều khá tinh tế, vì vậy chúng ta sẽ chỉ tập trung vào một trong những hệ quả quan trọng nhất nhưng dễ nắm bắt hơn cả của nó.

Vào đầu những năm 1970, các nhà vật lý đã nhận thấy rằng, nếu như vũ trụ là siêu đối xứng, thì các hạt trong tự nhiên phải xuất hiện theo từng cặp với spin tương ứng của chúng sai khác nhau 1/2. Những cặp hạt như vậy, bất kể là chúng được coi là các hạt điểm (như trong mô hình chuẩn hay là các vòng dây nhỏ xíu dao động, đều được gọi là các siêu hạt bạn. Vì các hạt vật chất có spin 1/2 trong khi đó một số các hạt truyền tương tác có spin 1, nên ban đầu người ta nghĩ rằng siêu đối xứng đã tạo ra sự kết đôi hay kết bạn giữa các hạt vật chất và các hạt lực. Và nếu như vậy thì nó là khái niệm có khả năng thống nhất tuyệt vời. Nhưng vấn đề còn nằm trong các chi tiết.

Vào giữa những năm 1970, khi các nhà vật lý tìm cách bao gồm siêu đối xứng vào trong mô hình chuẩn, họ mới phát hiện ra rằng, không có một hạt đã biết nào được liệt kê trong các bảng 1.1 và 1.2 có thể là siêu hạt bạn của một hạt khác. Thay vì thế, các phân tích lý thuyết chi tiết chứng minh được rằng, nếu vũ trụ bao gồm siêu đối xứng thì mỗi hạt đã biết phải có một siêu hạt bạn còn chưa được phát hiện, có spin nhỏ hơn spin của hạt đã biết 1/2. Ví dụ, electron cần phải có một hạt bạn spin 0 và hạt giả thiết này được gọi là selectron (gọi tắt của supersymmetric electron). Điều này cũng đúng với các hạt vật chất khác. Ví dụ, các nơtrinô và squark cũng có các siêu hạt bạn spin 0 và được gọi là nơtrinô và squark. Tương tự như vậy, các hạt lực cũng có các siêu hạt bạn 1/2: đối với photon, đó là photinos, đối với gluon, đó là gluinos, đối với các boson

W và Z, đó là winos và zinos.

Sau đó, khi xem xét một cách kỹ lưỡng hơn, người ta cho rằng siêu đối xứng không tinh tế một chút nào: nó đòi hỏi phải có thêm một lô các hạt mới, cụ thể là nhân đôi số các hạt cơ bản được liệt kê trong các bảng 1.1 và 1.2. Vì hiện chưa có một siêu hạt bạn nào được phát hiện, nên bạn có quyền mượn ý kiến của Rabi trích trong chương 1 khi nói về sự phát minh ra hạt muon để tuyên bố rằng "không có ai đặt hàng siêu đối xứng cả" và tóm lại là vứt bỏ hoàn toàn siêu đối xứng. Tuy nhiên, vì ba nguyên nhân mà chúng ta sẽ xét dưới đây, khiến các nhà vật lý tin tưởng mạnh mẽ rằng một sự phủi sạch siêu đối xứng như vậy là quá ư vội vàng.

Điều này cũng tựa như khi ta xếp các mẩu của trò chơi ghép hình trong đó mẩu cuối cùng lại hơi bị kênh, không thể xếp khít vào vị trí đã định của nó. Siêu đối xứng đã chuốt lại hình dạng của mảnh cuối cùng này khiến cho tất cả các mảnh đều xếp khít với nhau...

•◎Những bằng chứng ủng hộ siêu đối xứng trước lý thuyết dây

Thứ nhất, trên quan điểm thẩm mỹ, các nhà vật lý thấy rằng, việc tự nhiên tôn trọng hầu hết nhưng không phải tất cả các đối xứng khả dĩ về mặt toán học là một điều khó có thể tin được. Tất nhiên, cũng đã từng xảy ra việc sử dụng đối xứng một cách không đầy đủ, nhưng đó là điều hết sức đáng tiếc. Điều này cũng tựa như Bach sau khi đã cất công phát triển rất nhiều bè hòa quyện với nhau trong một sơ đồ đối xứng âm nhạc rất tài tình, nhưng lại không để ý đến khuôn nhịp là cái có ý nghĩa quyết định cuối cùng.

Thứ hai, ngay bên trong mô hình chuẩn, một lý thuyết chưa đề cập tới hấp dẫn, nhiều vấn đề kỹ thuật gai góc gắn liền với những quá trình lượng tử đã được giải quyết một cách nhanh chóng nếu như lý thuyết là siêu đối xứng. Vấn đề cơ bản là ở chỗ các loại hạt khác nhau đều có đóng góp phần của mình vào những thăng giáng lượng tử mãnh liệt trong thế giới vi mô. Các nhà vật lý đã phát hiện ra rằng, trong các bể sôi sục đó, một số các quá trình liên quan tới sự tương tác của các hạt vẫn còn hòa hợp được với nhau, chỉ nếu như những tham số trong mô hình chuẩn được tinh chỉnh với một độ chính xác cao hơn một phần triệu tỷ để triệt tiêu những hiệu ứng lượng tử tai hại nhất. Một sự tinh chỉnh chính xác nhất đến như thế có thể sánh được với việc điều chỉnh

góc bắn của một khẩu súng cực mạnh bắn vào một bia đặt trên mặt trăng, với khoảng sai số cho phép không lớn hơn bề dày của con vi khuẩn. Mặc dù sự điều chỉnh các tham số với độ chính xác tương tự là điều có thể làm được trong mô hình chuẩn, nhưng nhiều nhà vật lý tỏ ý không mấy tin tưởng vào một lý thuyết được xây dựng một cách quá ư mỏng manh, tới mức chỉ cần chữ số thứ mười lăm sau dấu phảy của một tham số thay đổi là nó sẽ sụp đổ hoàn toàn [1].

Siêu đối xứng đã làm cho điều đó thay đổi một cách triệt để, bởi vì các boson - những hạt có spin là một số nguyên (được gọi theo tên nhà vật lý ấn Độ Satyendra Bose) - và các fermion - những hạt có spin bán nguyên (gọi theo tên nhà vật lý người Italia enrico Fermi) - có xu hướng triệt tiêu những đóng góp lượng tử của nhau. Giống như hai đầu của chiếc bập bênh, khi những thăng giáng lượng tử của boson là dương thì những thăng giáng của fermion lại là âm và ngược lại. Vì siêu đối xứng đảm bảo rằng các boson và fermino được tạo ra theo từng cặp, nên những triệt tiêu chủ yếu đã diễn ra ngay từ đầu và điều này đã làm dịu đi đáng kể những hiệu ứng lượng tử mãnh liệt nhất. Và như vậy, sự hòa hợp của mô hình chuẩn siêu đối xứng, tức là mô hình chuẩn có thêm tất cả các hạt siêu bạn, không còn phải dựa trên những điều chỉnh quá ư tinh vi và bất tiện của mô hình chuẩn thông thường nữa. Mặc dù đây chủ yếu chỉ là vấn đề kỹ thuật, nhưng nhiều nhà vật lý hạt thấy rằng điều đó làm cho siêu đối xứng trở nên rất hấp dẫn.

Nguyên nhân thứ ba ủng hộ siêu đối xứng đến từ khái niệm thống nhất lớn. Một trong những đặc điểm bí ẩn của bốn lực trong tự nhiên, đó là cường độ của chúng nằm trong một dải giá trị cực rộng. Lực điện từ nhỏ hơn một phần trăm lực mạnh, lực yếu nhỏ hơn lực điện từ khoảng một ngàn lần và lực hấp dẫn khoảng một trăm triệu tỷ tỷ tỷ (1035) lần nhỏ hơn lực yếu. Đi theo công trình mở đường và cuối cùng đã được trao giải Nobel và Glashow, Salam và Weinberg - công trình đã xác lập mối quan hệ sâu sắc giữa lực điện từ và lực yếu (đã được đề cập tới ở chương 5), năm 1974 Glashow cùng với một đồng nghiệp ở Đại học Harvard là Howard Georgi đã đưa ra ý kiến cho rằng có thể tìm kiếm một mối quan hệ tương tự với tương tác mạnh. Công trình của họ, công trình đề xuất một "sự thống nhất lớn" của ba lực, khác với lý thuyết điện - yếu về một phương diện cơ bản: trong khi lực điện từ và lực yếu kết tinh thành một hợp nhất đối xứng hơn, khi nhiệt độ của vũ trụ giảm xuống chỉ còn khoảng một triệu tỷ (1015) độ trên không độ tuyệt đối, thì

Georgi và Glashow chứng tỏ được rằng sự hợp nhất với lực mạnh chỉ được xuất hiện ở nhiệt độ khoảng 10 tỷ tỷ tỷ (1028) độ K. Trên quan điểm năng lượng, thì nhiệt độ đó tương ứng với năng lượng vào khoảng một triệu tỷ lần lớn hơn khối lượng của proton tức là nhỏ hơn khối lượng Planck khoảng bốn bậc độ lớn. Như vậy, Georgi và Glashow đã đưa vật lý lý thuyết tới một địa hạt năng lượng vượt xa nhiều bậc về độ lớn so với năng lượng mà trước đó người ta đã dám khám phá.

Công trình sau đó được thực hiện tại Đại học Harvard của George, Helan Quinn và Weinberg vào năm 1974 đã làm cho sự thống nhất tiềm tàng của ba lực phi hấp dẫn trong khuôn khổ thống nhất lớn đã trở nên rõ ràng hơn. Vì những đóng góp của họ còn tiếp tục đóng vai trò quan trọng trong việc thống nhất các lực và đánh giá sự phù hợp của siêu đối xứng với thế giới tự nhiên, nên chúng ta sẽ dành một chút thì giờ để nói rõ hơn.

Tất cả chúng ta đều biết rằng lực hút điện giữa hai điện tích trái dấu, hay lực hút hấp dẫn giữa hai vật có khối lượng sẽ trở nên mạnh hơn khi khoảng cách giữa chúng giảm. Đó là một tính chất đơn giản và quá quen thuộc trong vật lý cổ điển. Tuy nhiên, có điều bất ngờ khi chúng ta nghiên cứu ảnh hưởng của cơ học lượng tử đến cường độ của các lực. Nhưng tại sao cơ học lượng tử đó lại có ảnh hưởng đó? Lại một lần nữa, câu trả lời nằm trong các thăng giáng lượng tử. Ví dụ, khi chúng ta khảo sát nó thông qua đám "sương mù" của những hạt và phản hạt được sinh và hủy tức thời diễn ra trong khắp vùng không gian xung quanh electron. Ít lâu sau đó các nhà vật lý đã nhận thấy rằng cái đám sương mù đã che lấp một phần luồng sáng của ngọn hải đăng. Nhưng khi chúng ta tới gần electron hơn, nghĩa là chúng ta đã thâm nhập sâu hơn vào đám sương mù của các hạt và phản hạt đó, và vì vậy chúng ta chỉ chịu tác dụng che khuất của nó ít hơn. Điều này dẫn tới hệ quả là, cường độ điện trường của electron sẽ tăng khi ta tiến lại gần nó hơn.

Để phân biệt sự tăng của cường độ điện trường có nguồn gốc cơ học lượng tử khi ta tới gần electron hơn với sự tăng mà ta đã biết trong vật lý cổ điển, các nhà vật lý nói rằng cường độ nội tại của lực điện từ tăng ở những thang khoảng cánh ngắn hơn. Điều này phản ánh một thực tế là, cường độ của lực tăng không chỉ đơn giản là do ta tiến lại gần electron được "nhìn thấy" nhiều hơn. Thực tế, mặc dù ta chỉ tập trung nói về electron, nhưng những lập luận ở trên cũng áp dụng được cho tất

cả các hạt tích điện và được tổng kết lại bằng phát biểu nói rằng những hiệu ứng điện tử trở nên lớn hơn ở những thang khoảng cách ngắn hơn.

Còn đối với những lực khác trong mô hình chuẩn thì sao? Cường độ của chúng thay đổi theo khoảng cách như thế nào? Năm 1973, Gross và Frank Wilczek ở đại học Princeton và độc lập với họ, David Politzer ở đại học Harvard đã nghiên cứu vấn đề này và tìm ra câu trả lời thật bất ngờ. Đám mây lượng tử của các hạt và phản hạt sinh ra và hủy đi có tác dụng làm khuếch tán cường độ của các lực yếu và mạnh. Điều này dẫn tới hệ quả là, khi chúng ta khảo sát chúng ở các khoảng cách ngắn hơn, chúng ta sẽ thâm nhập sâu hơn vào đám mây đó và vì thế chúng ta ít chịu tác dụng khuếch đại của nó hơn. Và như vậy có nghĩa là cường độ của lực đó trở nên yếu hơn khi ta khảo sát chúng ở những khoảng cách ngắn hơn.

Georgi, Quinn và Weinberg đã nắm lấy điều đó và họ đã đi tới một kết quả rất thú vị. Họ đã chứng minh được rằng, khi tính đến những tác dụng đó của các thăng giáng lượng tử mãnh liệt một cách cẩn thận, thì kết quả cuối cùng cho thấy cường độ của ba lực phi hấp dẫn sẽ hội tụ với nhau. Mặc dù cường độ của ba lực này lại rất khác nhau ở những thang mà kỹ thuật hiện nay có thể vươn tới được, Georgi, Quinn và Weinberg đã chỉ ra rằng sự khác nhau đó thực sự là do những ảnh hưởng khác nhau của đám sương mù lượng tử tác động đến mỗi lực. Những tính toán của họ chứng tỏ rằng nếu thâm nhập sâu vào đám sương mù đó bằng cách khảo sát các lực không phải ở những thang khoảng cách hàng ngày mà tới tận những khoảng cách cỡ một phần trăm tỷ tỷ tỷ (10-29) xentimét (tức là hơn khoảng cách Planck 10 ngàn lần), thì cường độ của ba lực phi hấp dẫn sẽ trở nên bằng nhau.

Mặc dù quá xa vời so với thực tiễn của kinh nghiệm hằng ngày, nhưng khoảng cách cao cần thiết để có thể tiếp cận được những khoảng cách nhỏ như vậy lại là đặc trưng của vũ trụ nguyên thủy, nóng và sôi sục, khi nó mới được một phần ngàn tỷ tỷ tỷ tỷ (10-39) giây tuổi. Khi ấy, nhiệt độ của Vũ trụ cỡ 1028 K như ta đã có lần nói tới ở trên. Tựa như tập hợp các thành phần rời rạc nhau, chẳng hạn như các mẩu kim loại, gỗ, đá, quặng v.v, được nấu chảy cùng nhau và trở thành một plasma đồng tính khi được đốt nóng tới nhiệt độ đủ cao, các công trình này cũng gợi ý rằng các lực mạnh, yếu và điện tử sẽ hòa nhập thành một lực lớn ở những nhiệt độ cực cao mà ta nói ở trên. Điều này được minh họa

bằng sơ đồ trên Hình 7.1[2].

Hình 7.1. Cường độ của ba lực phi hấp dẫn ở những thang khoảng cách ngắn dần, hay tương đương thế, trong những quá trình có năng lượng cao dần.

Mặc dù chúng ta chưa có công nghệ để thăm dò tới những khoảng cách nhỏ như vậy hoặc tạo được ra những nhiệt độ thiêu đốt như thế, nhưng từ năm 1974, các nhà thực nghiệm đã hoàn thiện một cách đáng kể phép đo cường độ của ba lực phi hấp dẫn trong điều kiện hiện có. Những số liệu này - điểm xuất phát của ba đường cong trên Hình 7.1 - chính là dữ liệu đầu vào cho sự ngoại suy dựa trên cơ học lượng tử của Georgi, Quinn và Weinberg. Năm 1991, Ugo Amaldi ở CERN (Trung tâm nghiên cứu hạt nhân châu Âu), Wim de Boer và Hermann Furstenau ở Đại học Karlsruhe (Đức) đã tính lại sự ngoại suy của Georgi, Quinn và Weinberg bằng cách dùng những số liệu đã được hoàn thiện và đã chứng tỏ được hai điều quan trọng. Thứ nhất, cường độ của ba lực phi hấp dẫn, chỉ gần như chứ chưa hoàn toàn hội tụ vào nhau ở những khoảng cách nhỏ (hay ở năng lượng cao hoặc nhiệt độ cao cũng thế) như được minh họa trên Hình 7.2. Thứ hai, sự sai khác nhỏ nhưng không thể phủ nhận này trong cường độ của các lực sẽ biến mất khi tính đến siêu đối xứng. Sở dĩ như vậy là vì những siêu hạt bạn do siêu đối xứng đòi hỏi sẽ đóng góp thêm những thăng giáng lượng tử và chính những thăng giáng thêm này đã làm một cú hích chính xác để cho cường độ của các lực thực sự hội tụ với nhau.

Hình 7.2. Sự hoàn thiện tính toán các cường độ lực cho thấy, nếu không siêu đối xứng, chúng chỉ gần chứ không hoàn toàn hội tụ với nhau.

Đối với nhiều nhà vật lý, thật khó có thể tin rằng tự nhiên lại chọn để cho các lực chỉ gần như chứ không hoàn toàn có cường độ trở nên bằng nhau, tức thống nhất với nhau ở những khoảng cách vi mô. Điều này cũng tựa như khi ta xếp các mẩu của trò chơi ghép hình trong đó mẩu cuối cùng lại hơi bị kênh, không thể xếp khít vào vị trí đã định của nó. Siêu đối xứng đã chuốt lại hình dạng của mảnh cuối cùng này khiến cho tất cả các mảnh đều xếp khít với nhau.

Phát hiện cuối cùng này còn có một lợi ích khác: nó giúp ta trả lời được câu hỏi: tại sao cho tới nay chúng ta vẫn chưa phát hiện được một siêu hạt nhân nào? Những tính toán dẫn tới sự hội tụ của cường độ các lực

cũng như các khảo sát khác được nghiên cứu bởi nhiều nhà vật lý đã chỉ ra rằng những siêu hạt bạn nặng hơn rất nhiều so với các hạt đã biết. Mặc dù chưa đưa ra được những tiên đoán có tính chất quyết định, nhưng những nghiên cứu chứng tỏ rằng các siêu hạt bạn chắc phải có số lượng lớn gấp cả ngàn lần khối lượng của proton, nếu không muốn nói là nặng hơn. Vì những máy gia tốc mạnh nhất hiện nay cũng không thể đạt tới những năng lượng như vậy, nên chính điều này giải thích tại sao các các hạt đó vẫn chưa được phát hiện. Trong Chương 9 chúng ta sẽ quay lại vấn đề này và thảo luận về những triển vọng thực nghiệm trong tương lai nhằm xác định siêu đối xứng có thực sự là một tính chất của Vũ trụ chúng ta hay không.

Tất nhiên, những lý do mà chúng ta vừa đưa ra ở trên nhằm bảo vệ siêu đối xứng hay ít nhất cũng không vứt bỏ nó, chưa phải là hoàn toàn chặt chẽ. Một trong những lý do mà chúng ta vừa nêu ra là, siêu đối xứng đã nâng những lý thuyết của chúng ta tới dạng đối xứng nhất của nó, nhưng bạn có thể bác lại rằng Vũ trụ không hề quan tâm tới chuyện đạt tới dạng đối xứng nhất khả dĩ về mặt toán học. Chúng ta cũng lại đưa ra một chi tiết kỹ thuật mà nhờ siêu đối xứng chúng ta thoát được một nhiệm vụ tỉ mẩn phải tinh chỉnh các tham số của mô hình chuẩn để tránh những bài toán lượng tử tinh vi. Nhưng bạn cũng có thể cãi lại rằng một lý thuyết đích thực mô tả tự nhiên có thể đi một cách vững vàng trên cái ranh giới mong manh giữa sự tự hòa hợp và sự tự phá hủy. Rồi chúng ta cũng đã thảo luận về việc siêu đối xứng đã làm thay đổi cường độ của ba lực phi hấp dẫn ở những khoảng cách nhỏ một cách chính xác để cho chúng hòa nhập thành một lực thống nhất lớn, nhưng bạn lại có thể cãi lại rằng không có gì trong thiết kế Vũ trụ bắt buộc cường độ các lực phải trùng khớp một cách chính xác ở những khoảng cách vi mô. Và cuối cùng, bạn có thể cho rằng cách giải thích đơn giản nhất cho câu hỏi tại sao cho tới nay các siêu hạt bạn vẫn chưa được phát hiện, đó là Vũ trụ của chúng ta không phải là siêu đối xứng và do đó các siêu hạt bạn, tất nhiên, là không tồn tại.

Không ai có thể bác bỏ những lời phản đối đó. Nhưng những bằng chứng ủng hộ siêu đối xứng sẽ được củng cố thêm rất nhiều khi chúng ta xét vai trò của nó trong lý thuyết dây.

[1] Đối với những độc giả muốn quan tâm chi tiết hơn tới vấn đề có tính chất kỹ thuật này, chúng tôi xin nói thêm như sau: Trong chú thích 6 của

chương 6, chúng tôi có nói rằng mô hình chuẩn đã viện tới "một hạt cho khối lượng" - tức hạt boson higg - để cho các hạt trong bảng 1.1 và 1.2 có khối lượng mà chúng ta quan sát được. Để cho cơ chế đó hoạt động được, bản thân hạt higg phải có khối lượng không quá lớn; những nghiên cứu chứng tỏ rằng khối lượng của nó chắc không thể lớn hơn 1000 lần khối lượng của proton. Nhưng hoá ra những thăng giáng lượng tử lại có xu hướng đóng góp đáng kể vào khối lượng của boson higg và có thể đưa khối lượng của nó tới thang Planck. Tuy nhiên các nhà lý thuyết đã phát hiện ra rằng kết cục đó – một kết cục sẽ phát lộ ra một khuyết tật quan trọng của mô hình chuẩn – có thể tránh được nếu một số tham số của mô hình chuẩn (mà chủ yếu là cái gọi là khối lượng trần trụi của hạt higg) được tinh chỉnh với độ chính xác vượt quá 1/1015 để triệt tiêu tác dụng của những thăng giáng đó đến khối lượng của hạt higg.

[2] Một điểm tế nhị cần phải chú thích cho Hình 7.1 là, cường độ của lực yếu được vẽ nằm giữa cường độ của lực mạnh và lực điện từ, trong khi trước đó chúng ta đã nói rằng nó yếu hơn cả hai lực đó. Nguyên nhân của điều này nằm trong Bảng 1.2, trong đó chúng ta thấy rằng các hạt truyền lực yếu là khá nặng, còn các hạt truyền của lực mạnh và lực điện từ thì đều không có khối lượng. Về mặt nột tại, cường độ của lực yếu (được đo bởi hằng số liên kết của nó –một khái niệm mà chung ta sẽ đề cập tới ở Chương 12) là như được biểu diễn trên Hình 7.1, nhưng do các hạt truyền của nó khá nặng, nên đã chuyển tải ảnh hưởng của lực yếu một cách chậm chạp và làm giảm tác dụng của nó.

Những nghiên cứu gần đây đã mang lại cho lý thuyết dây những bước tiến khổng lồ tới gần cái giấc mơ thống nhất, bằng cách chứng tỏ được rằng năm lý thuyết khác nhau mà chúng ta nói ở trên chẳng qua chỉ là năm cách mô tả khác nhau của cùng một lý thuyết bao quát hơn....

•◎Siêu đối xứng trong lý thuyết dây

Lý thuyết dây khởi đầu xuất hiện từ công trình của Veneziano vào cuối những năm 1960, nó chứa đựng tất cả những đối xứng mà ta vừa thảo luận ở đầu chương này, nhưng không hàm siêu đối xứng (đơn giản vì nó còn chưa được phát hiện ra). Lý thuyết đầu tiên dựa trên lý thuyết dây lẽ ra phải được gọi là ý thuyết dây boson. Tính từ "boson" chỉ ra rằng tất cả các mode dao động của dây này đều có spin nguyên và không có mode dao động có spin bán nguyên, tức là không có các mode

dao động fermion. Điều này đặt ra hai vấn đề.

Thứ nhất, nếu lý thuyết dây có khả năng mô tả tất cả các lực và tất cả các hạt vật chất thì nó bằng cách nào đó phải bao hàm được tất cả những mode dao động fermion, vì chúng ta biết rằng tất cả các hạt vật chất đều có spin 1/2. Thứ hai, và còn rắc rối hơn, đó là người ta nhận thấy rằng, trong lý thuyết dây boson, tồn tại một mode dao động có bình phương khối lượng là một số âm, được gọi là hạt tachyon. Ngay cả trước khi có lý thuyết dây, các nhà vật lý đã nghiên cứu tới khả năng vũ trụ của chúng ta có thể có hạt tachyon, ngoài những hạt quen thuộc có khối lượng dương. Nhưng những nỗ lực của họ đã cho thấy rằng điều đó là rất khó, thậm chí có thể nói là không thể, nếu muốn giữ cho lý thuyết vẫn còn nhất quán về mặt lôgic. Tương tự, trong bối cảnh của lý thuyết dây boson, các nhà vật lý đã thử đủ các loại thủ thuật cốt để cho điều tiên đoán bí ẩn về mode dao động tachyon có một ý nghĩa nào đó, nhưng tất cả đều vô ích. Những đặc điểm này làm cho ta càng thấy rõ ràng, mặc dù dây là một lý thuyết rất hấp dẫn, nhưng dây boson vẫn còn thiếu một cái gì đó rất cơ bản.

Năm 1971, Pierre Ramon thuộc trường Đại học Florida đã chấp nhận thách thức cải tiến lý thuyết dây boson để nó bao hàm được tất cả những mode dao động fermion. Thông qua công trình của ông và những kết quả sau đó của Schwarz và André Neveu, một phiên bản mới của lý thuyết dây đã bắt đầu xuất hiện. Và thật là bất ngờ với mọi người, các mode dao động boson và fermion lại xuất hiện theo từng cặp một. Đối với mỗi một mode dao động boson lại có một mode dao động fermion và ngược lại. Năm 1977, những công trình của Ferdinando Gliozzi ở Đại học Turin, của Sherk và David Olive ở Đại học Impertial College đã làm sáng tỏ sự tạo thành cặp đó. Lý thuyết mới này của các dây có chứa siêu đối xứng và sự tạo thành cặp của các mode dao động boson va fermion chính là sự phản ánh đặc tính đối xứng cao đó. Vậy là lý thuyết siêu đối xứng, tức là lý thuyết siêu dây đã ra đời. Hơn thế nữa, các công trình của Gliozzi, Scherk và Olive còn thu được một kết quả quan trọng khác. Họ đã chứng minh được rằng, mode dao động tachyon gây biết bao rắc rối của dây boson đã không làm tổn hại đến siêu dây. Vậy là dần dà, các mẩu của trò ghép hình đã được đặt đúng vào vị trí của chúng.

Tuy nhiên, những tác động quan trọng đầu tiên của các công trình của

Ramond cũng như của Neveu và Schwarz lại thực sự không liên quan tới lý thuyết dây. Năm 1973, hai nhà vật lý Julius Wess và Bruno Zumino đã nhận thấy rằng siêu đối xứng - đối xứng mới xuất hiện từ sự xây dựng lại lý thuyết dây - lại có thể áp dụng được cả cho những lý thuyết dựa trên các hạt điểm. Họ đã nhanh chóng đạt được những bước tiến quan trọng nhằm bao hàm siêu đối xứng vào khuôn khổ của các lý thuyết trường lượng tử dựa trên các hạt điểm. Và một thời gian, lý thuyết trường lượng tử đã trở thành mối quan tâm chủ yếu của các nhà vật lý hạt, còn lý thuyết dây ngày càng bị gạt ra rìa. Thực tế, những công trình của Wess và Zumino đã khởi phát một số lượng nghiên cứu lớn không thể tưởng tượng nổi về những cái mà sau này người ta gọi là lý thuyết trường lượng tử siêu đối xứng. Mô hình chuẩn siêu đối xứng mà ta vừa thảo luận ở mục trước, là một trong số những thành tựu lý thuyết tuyệt đỉnh của những nghiên cứu đó. Và bây giờ chúng ta thấy rằng, do sự trớ trêu của lịch sử, ngay cả lý thuyết dựa trên các hạt điểm này cũng phải mang ơn lý thuyết dây rất nhiều.

Với sự tái xuất giang hồ của lý thuyết dây vào giữa những năm 1980, siêu đối xứng mới xuất hiện trở lại trong bối cảnh mà nó đã được phát hiện ra. Và trong khuôn khổ đó, những bằng chứng ủng hộ siêu đối xứng đã vượt xa ra ngoài những điều mà chúng ta đã trình bày ở mục trước. Lý thuyết dây là cách duy nhất mà chúng ta biết có khả năng thống nhất thuyết tương đối rộng với cơ học lượng tử. Nhưng chỉ có lý thuyết dây siêu đối xứng mới tránh được vấn đề tachyon đầy tai hại và mới chứa đựng các mode dao động fermion mô tả các hạt vật chất trong thế giới xung quanh chúng ta. Do đó, siêu đối xứng đã cùng với những nguyên lý của lý thuyết dây đi tới một lý thuyết lượng tử của hấp dẫn và tuyên bố về sự thống nhất tất cả các lực và các hạt vật chất. Và nếu như lý thuyết dây là đúng thì các nhà vật lý cũng tin rằng nếu đối xứng cũng phải đúng.

Tuy nhiên, cho đến tận giữa những năm 1990, một khía cạnh đặc biệt phiền phức đã gây nhức nhối cho lý thuyết dây siêu đối xứng.

•◎Siêu bối rối trước sự lựa chọn

Nếu có ai đó nói với bạn rằng họ đã tìm ra bí mật về số phận của Amelia Earhart *, thì ban đầu có thể hoài nghi, nhưng nếu như họ có thể giải thích với đầy đủ tư liệu và đã được suy nghĩ kỹ càng thì bạn chắc sẽ lắng nghe họ, và biết đâu đấy, thậm chí bạn có thể tin lời giải thích đó

cũng nên. Nhưng điều gì sẽ xảy ra, nếu như trong lần gặp sau, họ lại nói với bạn rằng họ còn có cả cách giải thích thứ hai nữa. Bạn sẽ kiên nhẫn lắng nghe và ngạc nhiên thấy rằng cách giải thích mới này cũng có đầy đủ tư liệu và được suy nghĩ kỹ càng cũng như cách giải thích đầu tiên. Và rồi sau đó bạn còn được nghe thêm cách giải thích thư ba, thứ tư và thậm chí thứ năm nữa, tất cả đều khác nhau, nhưng đều đáng tin như nhau. Kết cục, bạn cảm thấy cũng chẳng biết thêm gì về số phận thực sự của Amelia Earhart so với những hiểu biết ban đầu của bạn. Trong cả một cánh rừng những cách giải thích cơ bản khác nhau, biết nhiều nhất cũng tức là biết ít nhất.

Vào năm 1985, lý thuyết dây- mặc dù những phấn khích cũng rất dễ hiểu do nó tạo ra- đã bắt đầu có vẻ giống như vị chuyên gia nhiệt thành về số phận của Earhart. Sở dĩ như vậy là do vào năm 1985 các nhà vật lý nhận thấy rằng siêu đối xứng- yếu tố trung tâm trong cấu trúc của lý thuyết dây- thực sự có thể được đưa vào lý thuyết dây không phải theo một mà là năm cách khác nhau. Mỗi một cách đều tạo ra sự tạo cặp của các mode dao động boson và fermion, nhưng chi tiết của sự tạo cặp này cũng như nhiều tính chất khác của lý thuyết lại rất khác nhau. Mặc dù tên của những lý thuyết này không quan trọng, nhưng cũng đáng để ta nêu ra ở đây, đó là: lý thuyết loại I, lý thuyết loại IIA, lý thuyết loại IIB, lý thuyết heterotic loại O(32) và lý thuyết heterotic loại E8 x E8. Tất cả những đặc tính của lý thuyết dây mà chúng ta đã thảo luận cho tới đây đều còn đúng đối với mỗi lý thuyết đó, chúng chỉ khác nhau ở những chi tiết tinh tế hơn.

Có tới năm phiên bản khác nhau của cái được xem là lý thuyết về tất cả (T.O.E), mà cũng có thể là lý thuyết thống nhất tối hậu, là một điều hết sức bối rối đối với các nhà lý thuyết dây. Cũng như chỉ có một cách giải thích duy nhất đúng về những diều đã thực sự xảy ra đối với Amelia Earhart (bất kể là chúng ta có tìm ra nó hay không), chúng ta chờ đợi rằng, chính điều này cũng sẽ là đúng đối với sự hiểu biết cơ bản và sâu sắc nhất về sự vận hành của Vũ trụ. Chúng ta sống trong một Vũ trụ và chúng ta chờ đợi cũng sẽ chỉ có một cách giải thích.

Để giải quyết vấn đề này, có một khả năng sau: mặc dù có tới năm lý thuyết dây khác nhau, nhưng bốn lý thuyết trong đó có thể đơn giản sẽ bị thực nghiệm loại bỏ chỉ còn lại một lý thuyết duy nhất. Nhưng thậm chí có đúng như vậy đi chăng nữa. thì vẫn còn lại một câu hỏi dai dẳng

ám ảnh chúng ta, đó là, tại sao những lý thuyết khác đều đã từng tồn tại ở vị trí hàng đầu. Hay theo cách nói hài hước của Witten: "Nếu một trong năm lý thuyết đó mô tả Vũ trụ của chúng ta, thì ai sẽ sống trong bốn vũ trụ kia? 1". Một ước mơ của các nhà vật lý, đó là sự tìm kiếm những câu trả lời tối hậu sẽ dẫn tới một kết luận duy nhất là lý thuyết cuối cùng- dù là lý thuyết dây hay một lý thuyết nào đó - phải là cái mà nó là, đơn giản chỉ vì không còn có một khả năng nào khác. Nếu như chúng ta phát hiện ra rằng, có một lý thuyết duy nhất nhất quán về mặt lôgic có khả năng bao hàm được cả những yếu tố cơ bản của thuyết tương đối lẫn cơ học lượng tử, thì chúng ta tin chắc rằng chúng ta đã đạt tới sự hiểu biết sâu sắc về các lý do tại sao Vũ trụ lại có những tính chất như nó vốn có. Nói một cách ngắn gọn, đó chính là thiên đường của sự thống nhất.[1]

Như chúng ta sẽ thấy trong Chương 12, những nghiên cứu gần đây đã mang lại cho lý thuyết dây những bước tiến khổng lồ tới gần cái giấc mơ thống nhất bằng cách chứng tỏ được rằng năm lý thuyết khác nhau mà chúng ta nói ở trên chẳng qua chỉ là năm cách mô tả khác nhau của cùng một lý thuyết bao quát hơn. Vậy là, lý thuyết dây đã có một gia hệ duy nhất.

Mọi vật xem ra đã ở đúng vị trí của nó, nhưng như chúng ta sẽ thảo luận ở chương sau, sự thống nhất thông qua lý thuyết dây còn đòi hỏi một lần nữa phải giã từ sự hiểu biết thông thường của chúng ta.

* Amelia Earhart - là phi công tiên phong người mỹ, đã mất tích bí ẩn trong một chuyến bay(ND)

[1] Để hiểu sâu hơn về ý tưởng này và các ý tưởng có liên quan, hãy xem cuốn Dreams of Final Theory của Steven Weinberg

Lý thuyết dây đã làm rung chuyển nền tảng của vật lý hiện đại tới mức ngay cả số chiều trong vũ trụ chúng ta, vốn đã được mọi người chấp nhận và được coi như nằm ngoài mọi nghi vấn, cũng lại bị hạ bệ một cách nhanh chóng nhưng có sức thuyết phục.

CHƯƠNG 9

BẰNG CHỨNG ĐÍCH THỰC NHỮNG ĐẶC TRƯNG KHẲNG ĐỊNH BẰNG THỰC NGHIỆM

Không có gì có thể khiến cho các nhà lý thuyết dây hài lòng hơn là có thể kiêu hãnh trình với phần còn lại của thế giới một bản danh sách chi tiết các tiên đoán có thể kiểm chứng được bằng thực nghiệm. Chắc chắn là không có cách nào có thể thiết lập một lý thuyết mô tả thế giới của chúng ta mà lại không được kiểm chứng bằng thực nghiệm. Bất kể lý thuyết dây có vẽ ra một bức tranh hấp dẫn đến đâu đi nữa, nhưng nếu nó không mô tả chính xác thế giới của chúng ta, thì nó cũng chẳng hơn gì một trò chơi điện tử được soạn thảo công phu.

Edward Witten rất thích tuyên bố rằng, thực ra lý thuyết dây đã đưa ra một tiên đoán gây ấn tượng sâu sắc và đã đưa xác nhận bởi thực nghiệm: "Lý thuyết dây có một tính chất tuyệt vời là tiên đoán được lực hấp dẫn" [1]. Điều mà Witten muốn nói ở đây, đó là cả Newton lẫn Einstein đều phát triển các lý thuyết về hấp dẫn, bởi vì những quan sát của họ cho thấy rõ ràng là lực hấp dẫn tồn tại, do đó nó đòi hỏi phải có sự giải thích một cách chính xác và nhất quán. Trái lại, một nhà nghiên cứu lý thuyết dây - thậm chí anh ta hoặc chị ta có thể hoàn toàn chưa biết gì về thuyết tương đối rộng - cũng đều không tránh khỏi dẫn tới con đường đó trong khuôn khổ của lý thuyết dây. Thông qua mode dao động không khối lượng và có spin 2 của dây, lực hấp dẫn bản thân nó đã là một thành phần được đan bện khăng khít trong chính cấu trúc lý thuyết của lý thuyết dây. Theo Witten, "bản thân việc lực hấp dẫn là một hệ quả của lý thuyết dây cũng là một trong số những phát minh lý thuyết vĩ đại nhất mà con người đã từng làm được" [2].

Thừa nhận "tiên đoán" này lẽ ra phải gọi một cách chính xác hơn là "hậu đoán", vì các nhà vật lý đã phát minh ra những lý thuyết mô tả lực hấp dẫn còn trước khi có lý thuyết dây, Witten đã chỉ ra rằng đây đơn giản

là một sự tình cờ của lịch sử. Và ông nói thêm rằng, trong một nền văn minh tiên tiến khác của vũ trụ, hoàn toàn có thể là lý thuyết dây sẽ được phát minh trước, sau đó lý thuyết về hấp dẫn mới được tìm ra như một hệ quả đáng kinh ngạc của nó.

Vì vốn bị ràng buộc với lịch sử khoa học trên trái đất chúng ta, nên nhiều người cho rằng sự hậu đoán đó về lực hấp dẫn là một khẳng định thực nghiệm không có sức thuyết phục của lý thuyết dây. Đa số các nhà vật lý sẽ hài lòng hơn nhiều với một trong hai khả năng sau: hoặc là một tiên đoán thực sự của lý thuyết dây mà các nhà thực nghiệm có thể xác nhận được, hoặc là một hậu đoán về một tính chất nào đó trong thế giới chúng ta mà hiện còn chưa giải thích được (chẳng hạn như giá trị khối lượng của electron, hay như sự tồn tại của ba họ hạt). Trong chương này chúng ta sẽ xem các nhà lý thuyết đã đi đến đâu trên con đường hướng tới những mục tiêu đó.

Thật là trớ trêu, như chúng ta sẽ thấy, lý thuyết dây có tiềm năng là một lý thuyết có khả năng tiên đoán nhất mà các nhà vật lý đã từng nghiên cứu, một lý thuyết có khả năng giải thích được những tính chất cơ bản nhất của tự nhiên, thế mà các nhà lý thuyết dây vẫn chưa đưa ra được những tiên đoán với độ chính xác cần thiết để có thể đương đầu với các số liệu thực nghiệm. Giống như một đứa trẻ trong lễ giáng sinh nhận được một món quà mà nó từng ao ước, nhưng lại không biết cách làm nó chạy, vì một vài trang trong cuốn sách hướng dẫn sử dụng đã bị rơi mất, các nhà vật lý hôm nay cũng có trong tay món quà thiêng liêng đó của vật lý hiện đại, nhưng họ chưa biết cách giải phóng hết sức mạnh tiên đoán của nó, chừng nào họ còn chưa viết ra được một cuốn hướng dẫn sử dụng đầy đủ. Tuy nhiên, như chúng ta sẽ thảo luận dưới đây với một chút may mắn, một trong những đặc tính thiết yếu của lý thuyết dây có thể sẽ được kiểm chứng bằng thực nghiệm trong vòng thập niên tới. Và nếu như có nhiều may mắn hơn, thì những bằng chứng gián tiếp khẳng định sự đúng đắn của lý thuyết có thể nhận được vào bất kỳ thời điểm nào.

[1] Edward Witten. "Những suy tư về số phận của không - thời gian". Physics Today, 4-1996, tr. 24.

[2] Phỏng vấn Edward Witten, ngày 11 tháng 5 năm 1998.

Bạn có thể nhấn mạnh rằng, giống như một người ban đêm tìm chiếc

chìa khóa đánh rơi chỉ ở những chỗ có ánh sáng đèn đường, các nhà vật lý xúm xít lại xung quanh lý thuyết dây là bởi vì sự tùy hứng của lịch sử khoa học tình cờ đã rọi một tia sáng về phía nó...

•◎Giữa hai làn đạn

Lý thuyết dây liệu có đúng đắn không? Chúng ta còn chưa biết. Nếu như bạn chia sẻ niềm tin rằng các định luật vật lý không phân ra thành các định luật chi phối những cái rất lớn và các định luật chi phối những cái rất nhỏ, và nếu như bạn cũng tin rằng chúng ta sẽ không bao giờ chịu ngồi yên chừng nào còn chưa có trong tay một lý thuyết có phạm vi áp dụng không hạn chế, thì có thể nói lý thuyết dây là sự lựa chọn duy nhất. Tuy nhiên bạn có thể cãi lại rằng, điều đó chẳng qua chỉ thể hiện sự thiếu trí tưởng tượng của các nhà vật lý mà thôi chứ hoàn toàn không phải là do tính duy nhất cơ bản của lý thuyết dây. Bạn thậm chí còn có thể đi xa hơn và nhấn mạnh rằng, giống như một người ban đêm tìm chiếc chìa khóa đánh rơi chỉ ở những chỗ có ánh sáng đèn đường, các nhà vật lý xúm xít lại xung quanh lý thuyết dây là bởi vì sự tùy hứng của lịch sử khoa học tình cờ đã rọi một tia sáng về phía nó. Cũng có thể là như vậy. Và nếu bạn là người tương đối bảo thủ hoặc thích chơi trò cãi chầy, thì bạn thậm chí còn có thể tuyên bố rằng các nhà vật lý không hơi đâu lãng phí thì giờ cho một lý thuyết dựa trên một đặc tính mới của tự nhiên, mà đặc tính đó lại vô cùng nhỏ bé tới mức không thể khám phá bằng thực nghiệm được.

Nếu như bạn phát biểu những lời phàn nàn đó vào những năm 1980, thời điểm mà lý thuyết dây mới có những thành công bước đầu, thì chắc là có nhiều nhà vật lý đáng tôn kính nhất của thời đại chúng ta sẽ đồng ý với bạn. Chẳng hạn, vào giữa những năm tám mươi, nhà vật lý học được giải Nobel Sheldon Glashow thuộc đại học Harvard và Paul Ginsparg khi đó cũng ở Harvard, đã công khai bài bác về khả năng không thể kiểm chứng bằng thực nghiệm của lý thuyết dây.

"Thay vì tìm kiếm sự đương đầu truyền thống giữa lý thuyết và thực nghiệm, các nhà vật lý dây lại theo đuổi sự hài hòa nội tại, trong đó sự thanh nhã, tính duy nhất và vẻ đẹp lại quyết định chân lý. Sự tồn tại của lý thuyết dây lại phụ thuộc vào những trùng hợp ma quái, vào những sự triệt tiêu lạ kỳ và vào những mối quan hệ của các lĩnh vực toán học chẳng liên quan gì (và cũng có thể còn chưa được phát minh ra). Liệu những tính chất đó có đáng là những lý do để ta chấp nhận thực tại của

các siêu dây hay không? Toán học và mỹ học có thực sự thay thế và vượt lên trên thực nghiệm được không?" [1]

Ở đâu đó nữa, Glashow còn nói:

"Lý thuyết siêu dây đầy tham vọng tới mức nó chỉ có thể là hoàn toàn đúng hoặc hoàn toàn sai. Vấn đề duy nhất được đặt ra là toán học của nó quá mới và khó đến nỗi, chúng ta không thể biết phải mất bao nhiêu thập kỷ nữa mới có thể chiếm lĩnh được" [2]

Thậm chí ông còn đặt câu hỏi liệu các nhà lý thuyết dây có đáng để các khoa vật lý "trả tiền và được phép làm hư hỏng các sinh viên dễ xiêu lòng", trong khi lý thuyết dây là một khoa học gây tác hại chẳng kém gì thần học thời trung cổ [3].

Richard Feyman ngay trước khi qua đời cũng nói rõ rằng ông không tin lý thuyết dây là lý thuyết duy nhất có thể giải quyết được những vấn đề, đặc biệt là những giá trị vô hạn đầy tai hại, đã từng cản trở sự hòa nhập hài hòa giữa hấp dẫn và lý thuyết lượng tử.

"Quan điểm của tôi, nhưng xin nói rằng tôi cũng có thể nhầm, là không chỉ có một cách để lột da con mèo. Tôi cũng không nghĩ rằng chỉ một cách để thoát khỏi các giá trị vô hạn. Việc một lý thuyết thoát khỏi được các giá trị vô hạn đối với tôi chưa phải là lý do đủ để tin vào sự duy nhất của nó" [4].

Howard George, một đồng nghiệp xuất sắc của Glashow ở Đại học Harvard, cũng là người phê phán gay gắt lý thuyết dây vào cuối những năm 1980.

"Nếu như chúng ta để cho mình bị dụ dỗ bởi lời kêu gọi đầy quyến rũ về một sự thống nhất "tối hậu" ở những khoảng cách bé tới mức những người bạn thực nghiệm không thể giúp gì chúng ta được, thì chúng ta sẽ rất khó khăn, bởi vì chúng ta sẽ mất đi một thủ tục cực kỳ quan trọng có tác dụng tước bỏ đi những ý tưởng không thỏa đáng, một thủ tục phân biệt vật lý với nhiều hoạt động khác kém lý thú hơn của con người" [5].

Cũng như đối với nhiều vấn đề có tầm quan trọng lớn lao, cứ một người bài bác lại có một người ủng hộ nhiệt thành. Witten đã có lần nói rằng, khi ông học được cách làm cho lý thuyết dây bao hàm được cả lực hấp dẫn và cơ học lượng tử, thì đó là "sự rung động trí tuệ lớn nhất trong

cuộc đời ông" [6]. Cumrun Vafa, một nhà lý thuyết dây hàng đầu thuộc Đại học Harvard, đã nói rằng, "lý thuyết dây đã thực sự hé mở những hiểu biết sâu sắc nhất về vũ trụ mà chúng ta đã từng biết" [7]. Và nhà vật lý được giải thưởng Nobel Murray Gell-Mann cũng đã nói, lý thuyết dây là một "điều tuyệt vời" và ông hy vọng rằng một phiên bản của lý thuyết dây một ngày nào đó sẽ trở thành lý thuyết về toàn bộ thế giới chúng ta [8].

Như các bạn thấy, cuộc tranh luận được đổ thêm dầu, một phần bởi vật lý và một phần bởi các triết lý khác nhau quan tâm tới chuyện vật lý cần phải được làm như thế nào. "Những người theo truyền thống" thì muốn nghiên cứu lý thuyết phải gắn liền với quan sát thực nghiệm, theo khuôn mẫu khá thành công của mấy thế kỷ trở lại đây. Nhưng những người khác lại nghĩ rằng chúng ta đã có đủ điều kiện để giải quyết những vấn đề nằm ngoài khả năng kiểm chứng trực tiếp của công nghệ hiện nay.

Mặc dù những triết lý này rất khác nhau, nhưng trong mươi năm trở lại đây rất nhiều những phê phán lý thuyết dây đã lắng xuống. Theo Glashow thì sở dĩ như vậy là do hai điều. Thứ nhất, như ông nói vào giữa những năm 1990:

"Trước đây, các nhà lý thuyết dây đã tuyên bố quá hăng hái và bốc đồng rằng họ sắp trả lời được mọi câu hỏi đặt ra trong vật lý, nhưng bây giờ họ thận trọng hơn nên những lời phê phán của tôi vào những năm 1980 không còn thích hợp nữa" [9].

Thứ hai ông cũng đã chỉ ra:

"Chúng tôi, những người không phải là nhà lý thuyết dây, trong mươi năm trở lại đây chưa mảy may làm được một sự tiến bộ nào. Vì vậy, lập luận cho rằng lý thuyết dây là sự lựa chọn duy nhất là một lập luận rất vững chắc. Có những vấn đề sẽ không giải quyết được trong khuôn khổ của lý thuyết trường lượng tử thông thường. Đó là điều đã quá rõ ràng. Tất nhiên, chúng có thể trả lời bằng một cái gì đó khác, nhưng cái duy nhất khác mà tôi biết, đó là lý thuyết dây.".

Georgi cũng nhắc trở lại những năm 1980 và với tinh thần cũng gần như Glashow:

"Ở những thời điểm khác nhau trong lịch sử ban đầu của mình, lý

thuyết dây đã quá bốc đồng. Nhưng trong những năm tiếp sau, tôi mới phát hiện ra rằng, một số ý tưởng của lý thuyết dây đã dẫn tới những suy nghĩ rất thú vị về vật lý, có lợi rất nhiều cho công việc của riêng tôi. Hiện nay, tôi rất vui mừng thấy nhiều người tận tụy với lý thuyết dây vì giờ đây tôi thấy rằng nó sẽ dẫn đến một cái gì đó rất hữu ích" [10].

Nhà lý thuyết David Gross, một trong những người dẫn đầu của cả vật lý truyền thống lẫn lý thuyết dây đã tổng kết lại tình hình một cách rất văn vẻ như sau:

"Thông thường trước đây, khi chúng ta leo lên những đỉnh núi của tự nhiên thì các nhà thực nghiệm là những người đi đầu. Các nhà lý thuyết lười nhác chúng ta thường lệt bệt chạy theo sau. Và thi thoảng họ lại ném xuống đầu chúng ta một hòn đá thực nghiệm. Cuối cùng, chúng ta cũng nảy ra một ý tưởng nào đó và đi theo con đường mà họ, những nhà thực nghiệm, đã khai phá. Sau đó chúng ta tập hợp lại giải thích cho họ biết ý tưởng đó là gì và họ làm thế nào nắm được điều đó. Đó là con đường leo núi đã xưa cũ và khá bằng phẳng (ít nhất cũng là đối với các nhà lý thuyết). Tất cả chúng ta đều mong muốn trở lại con đường đó. Nhưng giờ đây, các nhà lý thuyết đã có thể nắm lấy vai trò dẫn đường. Đó là một công việc đơn độc hơn rất nhiều" [11].

Các nhà lý thuyết dây không hề mong muốn là người mở đường đơn độc trong cuộc leo lên đỉnh núi tự nhiên này. Họ rất muốn được chia sẻ gánh nặng và niềm phấn khích đó với các đồng nghiệp thực nghiệm. Nếu như những thừng chão và móc sắt lý thuyết cần thiết cho nỗ lực cuối cùng đạt tới đỉnh núi tự nhiên ít nhất cũng đã được chế tạo ra một phần, trong khi bộ dụng cụ đó của thực nghiệm còn chưa tồn tại, thì đó chỉ là do sự không bắt nhịp kịp của công nghệ trong tình hình hiện nay, một sự mất đồng bộ của lịch sử mà thôi. Nhưng điều đó không có nghĩa là về cơ bản lý thuyết dây tách ra khỏi thực nghiệm. Mà trái lại, các nhà lý thuyết dây nuôi hy vọng rất lớn là từ đỉnh núi - năng - lượng - cực - cao đó sẽ "ném xuống một hòn đá lý thuyết" cho các nhà thực nghiệm đang làm việc trong các trạm ở phía dưới. Hiện vẫn chưa có hòn đá nào được thả xuống cả, nhưng như chúng ta sẽ thấy dưới đây, một ít các viên sỏi đầy hứa hẹn và khêu gợi thì đã có rồi.

[1] Shedon Glashow và Paul Ginsparg, "Sự tìm kiếm tuyệt vọng các siêu dây?". Physics Today, 5-1986, trang 7.

[2] Sheldon Glashow, trong The superwold I (New york: Plenum, 1990) trang 250

[3] Sheldon Glashow, trong The Interactions (New york: Warner Books, 1988) trang 250

[4] Richard Feyman, trong Superstrings: A Theory of Everything? (Cambridge Eng.: Cambridge University, Press, 1988).

[5] Howard George, trong Thư New Physics (Cambridge: Cambridge University Press, 1989) trang 446.

[6] Phỏng vấn Edward Witten, ngày 4 tháng 3 năm 1998.

[7] Phỏng vấn Cumrun Vafa, ngày 12 tháng 1 năm 1998.

[8] Murray Gell-Mann, được trích trong The Second Creation của Robert P. Crease và Charles C. Mann (New Brunwick, N. J: Rutgers University Press, 1996) trang 414.

[9] Phỏng vấn Shedon Glashow, ngày 28 tháng 12 năm 1997.

[10] Phỏng vấn Howard Georgi, ngày 28 tháng 12 năm 1997. Trong cuộc phỏng vấn này, Georgi tiết lộ rằng việc không phát hiện được bằng thực nghiệm sự phân rã của proton được tiên đoán bởi lý thuyết thống nhất lớn đầu tiên do Glashow và ông đề xướng (xem chương 7) đã đóng một vai trò quan trọng trong việc ông không chấp nhận lý thuyết siêu dây. Ông cũng nhận xét một cách chua chát rằng lý thuyết thống nhất lớn của ông đã viện tới những năng lượng rất cao, chưa từng được xem xét bởi bất cứ một lý thuyết nào trước đó và khi tiên đoán đó tỏ ra không đúng thì thái độ của ông đối với việc nghiên cứu vật lý ở những năng lượng cực cao đã thay đổi hẳn. Khi tôi hỏi ông liệu sự khẳng định bằng thực nghiệm lý thuyết thống nhất lớn của ông có thể sẽ lại truyền nhiệt huyết cho ông để đi tới tận thang Planck hay không, thì ông trả lời: "Có, rất có thể là có".

[11] David Gross. "Superstings and Unification" trong Tuyển tập các báo cáo tại Hội nghị quốc tế về vật lý năng lượng cao lần thứ XXIV (Berlin: Springer-Verlag, 1988) trang 329.

Không có những đột phá công nghệ vĩ đại, chúng ta sẽ không bao giờ có thể khám phá được những thang chiều dài nhỏ bé cần thiết để thấy

được các dây một cách trực tiếp.

•◎Con đường đi tới thực nghiệm

Không có những đột phá công nghệ vĩ đại, chúng ta sẽ không bao giờ có thể khám phá được những thang chiều dài nhỏ bé cần thiết để thấy được các dây một cách trực tiếp. Hiện nay các nhà vật lý có thể thăm dò tới những khoảng cách cỡ một phần tỷ tỷ mét nhờ các máy gia tốc có kích thước tới vài ba dặm. Việc thăm dò tới những khoảng cách còn nhỏ hơn nữa đòi hỏi phải có những năng lượng cao hơn, mà điều này có nghĩa là cần có những máy gia tốc lớn hơn có khả năng tập trung toàn bộ năng lượng vào một hạt duy nhất. Vì chiều dài Planck nhỏ hơn khoảng cách mà hiện nay chúng ta có thể tiếp cận tới khoảng 17 bậc độ lớn, nên nếu dùng công nghệ hiện nay, thì các máy gia tốc phải có kích thước to bằng cả một thiên hà mới thấy được cả dây một cách riêng rẽ.

Thực tế, Shmuel Nussinov thuộc Đại học Tel Aviv đã chứng tỏ rằng sự đánh giá thô dựa trên những tính toán đơn thuần theo tỷ lệ đó xem ra hơi quá lạc quan; những nghiên cứu cẩn thận hơn của ông chỉ ra rằng, để thấy được các dây, chúng ta cần phải có một máy gia tốc to bằng cả vũ trụ. (Năng lượng cần thiết để thăm dò vật chất ở chiều dài Planck cỡ một ngàn kilôoát giờ, năng lượng cần để chạy một máy điều hòa khoảng một trăm giờ, và như vậy cũng không có gì là ghê gớm lắm. Nhưng cái thách thức đối với trình độ vào một hạt duy nhất, đó là tập trung toàn bộ năng lượng đó vào một hạt duy nhất, tức là vào một dây duy nhất). Vì quốc hội Mỹ cuối cùng đã hủy bỏ việc cấp ngân sách cho việc xây dựng Máy Siêu Va chạm siêu dẫn, một máy gia tốc có chu vi cỡ 86km, nên người ta cũng chẳng trông mong gì có được một máy gia tốc có khả năng thăm dò tới chiều dài Planck. Nếu giờ đây chúng ta có ý định kiểm chứng lý thuyết dây bằng thực nghiệm thì chỉ có thể bằng con đường gián tiếp mà thôi. Cụ thể là chúng ta sẽ cần phải tìm ra những hệ quả của lý thuyết dây có thể quan sát được ở thang chiều dài lớn hơn nhiều so với kích thước của chính các dây [1].

Trong bài báo có tính đột phá của mình, Candelas, Horowitz, Strominger và Witten đã đi những bước đầu tiên trên con đường hướng tới mục tiêu đó. Họ không chỉ phát hiện ra rằng các chiều phụ trong lý thuyết dây cần phải cuộn lại thành các không gian Calabi-Yau, mà còn suy ra một số hệ quả về các mode dao động khả dĩ của dây. Một trong số những kết quả tối quan trọng của họ là đã làm sáng ra những giải

pháp ngoạn mục và bất ngờ mà lý thuyết dây đã đưa ra đối với nhiều bài toán còn tồn đọng khá lâu của vật lý hạt.

Chúng ta hãy nhớ lại rằng những hạt sơ cấp được các nhà vật lý phát hiện ra, thuộc ba họ được tổ chức hoàn toàn như nhau với các hạt năng hơn lên, khi chuyển từ họ này sang họ khác. Một câu hỏi bí ẩn chưa có trả lời trước khi có lý thuyết dây, đó là tại sao lại có các họ và tại sao số họ lại là ba? Và đây là đề xuất trả lời của lý thuyết dây. Một không gian Calabi-Yau điển hình đều chứa các lỗ tựa như lỗ ở tâm của đĩa hát hay của chiếc xăm ôtô (hình xuyến) hay một loại "xăm" nào đó có nhiều lỗ hơn, như được minh họa trên hình 9.1. Đối với những không gian Calabi-Yau có số chiều cao hơn, thực sự có rất nhiều loại lỗ khác nhau có thể xuất hiện - ngay bản thân các lỗ cũng có thể có chiều khác nhau (đó là "các lỗ nhiều chiều") - nhưng dẫu sao hình 9.1 cũng đã chuyển tải được ý tưởng cơ bản. Cadanlas, Horowitz, Strominger và Witten đã nghiên cứu một cách kỹ lưỡng ảnh hưởng của các lỗ đó đến các mode dao động khả dĩ của dây. Dưới đây là những điều mà họ đã phát hiện ra.

Hình 9.1. Một xăm ôtô hay một hình xuyến và các "xăm" nhiều lỗ.

Hình 9.1. Một xăm ôtô hay một hình xuyến và các "xăm" nhiều lỗ

Có tồn tại một họ các dao động của dây với năng lượng thấp nhất liên quan với mỗi một lỗ trong phần Calabi-Yau của không gian. Bởi vì các hạt sơ cấp quen thuộc cần phải tương ứng với những mode dao động có năng lượng thấp nhất, nên sự tồn tại của nhiều lỗ - tựa như chiếc "xăm" nhiều lỗ trên hình 9.1 - có nghĩa là các mode dao động của dây sẽ rơi vào nhiều họ. Nếu như không gian Calabi-Yau nhỏ bé có ba lỗ, thì chúng ta sẽ có ba họ các hạt sơ cấp. Và như vậy, lý thuyết dây tuyên bố rằng việc tổ chức thành các họ hạt mà thực nghiệm quan sát được không phải là một đặc điểm có nguồn gốc ngẫu nhiên hoặc thần thánh, không thể giải thích nổi, mà thực ra là sự phản ánh số lỗ trong dạng hình học do các chiều phụ tạo nên! Đây là một loại kết quả khiến cho trái tim của các nhà vật lý phải thổn thức.

Bạn có thể xem rằng số lỗ của các chiều bị cuộn lại tới kích thước Planck - tức vật lý tiêu biểu nhất ở đỉnh núi tự nhiên - giờ đây đã ném được một hòn đá thực nghiệm xuống vùng năng lượng có thể tiếp cận được. Sau hết, các nhà thực nghiệm có thể xác lập - mà thực ra họ đã xác lập

được - số họ hạt: 3. Thật không may, số lỗ của mỗi không gian Calabi-Yau trong số hơn một vạn các không gian này lại nằm trên một khoảng khá rộng. Một số không gian có 3 lỗ. Những số khác có 4, 5, 25 và v.v... thậm chí có một số không gian có tới 480 lỗ. Vấn đề là hiện nay không ai biết từ các phương trình của lý thuyết dây làm thế nào rút ra được những không gian Calabo-Yau nào thực sự tạo nên các chiều không gian phụ. Nếu như chúng ta tìm ra một nguyên lý cho phép lọc lựa ra được một không gian Calabi-Yau từ rất nhiều khả năng đó, thì hòn đá ném từ đỉnh núi sẽ tới được trại của những nhà thực nghiệm. Và nếu một không gian Calabi-Yau cụ thể nào đó được lọc ra nhờ các phương trình của lý thuyết mà lại có đúng ba lỗ thì đó là một hậu đoán đầy ấn tượng của lý thuyết dây vì nó giải thích được một đặc tính đã biết của thế giới chúng ta, mà nếu không, đặc tính đó mãi mãi vẫn còn là một điều bí ẩn. Nhưng việc tìm kiếm nguyên lý cho phép chọn ra một không gian Calabi-Yau đến nay vẫn chưa làm được. Tuy nhiên, điều quan trọng nhất là chúng ta thấy rằng lý thuyết dây có khả năng giải quyết được câu đố cơ bản nhất đó của vật lý hạt và bản thân điều đó đã là một sự tiến bộ đáng kể.

Số họ các hạt sơ cấp mới chỉ là một hệ quả thực nghiệm của dạng hình học các chiều phụ. Thông qua tác động của dạng hình học đó đến các mode dao động khả dĩ, những hệ quả khác của các chiều phụ sẽ bao hàm những tính chất chi tiết của các hạt lực và các hạt vật chất. Chẳng hạn, công trình tiếp sau của Strominger và Witten đã chứng tỏ rằng khối lượng của các hạt trong mỗi họ đó phụ thuộc vào cách thức mà các biên của những lỗ nhiều chiều cắt hoặc phủ lên nhau trong không gian Calabi-Yau. Điều này hơi khó hình dung, song ý tưởng ở đây là: vì các dây dao động qua các chiều phụ bị cuộn lại, nên sự sắp xếp chính xác các lỗ khác nhau và cách thức mà không gian Calabi-Yau bao quanh các chiều đó có một tác động trực tiếp đến các mode dao động cộng hưởng khả dĩ của dây. Mặc dù rất khó theo dõi các chi tiết cụ thể và thực tế điều đó cũng không quan trọng lắm, nhưng cũng như đối với số các họ hạt, điều quan trọng là lý thuyết dây đã cung cấp cho chúng ta một khuôn khổ để trả lời cho những câu hỏi mà những lý thuyết trước đó hoàn toàn im lặng, chẳng hạn như câu hỏi tại sao electron và các hạt khác lại có khối lượng như chúng vốn có. Tuy nhiên, lại một lần nữa, việc thực hiện những tính toán như vậy lại đòi hỏi chúng ta phải biết không gian Calabi-Yau nào là các chiều phụ.

Sự thảo luận ở trên đã hé mở cho chúng ta thấy, một ngày nào đó, lý thuyết dây có thể giải thích được những tính chất của các hạt vật chất được liệt kê trong bảng 1.1 như thế nào. Các nhà lý thuyết dây tin rằng một kịch bản tương tự, một ngày nào đó, cũng sẽ giải thích được tính chất của các hạt lực cơ bản liệt kê trong bảng 1.2. Nghĩa là, khi các dây xoắn và dao động lang thang qua các chiều lớn và các chiều phụ cuộn lại, thì trong tập hợp lớn gồm tất cả các mode dao động có một tập con chứa những dao động với spin 1 và 2. Những dao động này là ứng viên cho những trạng thái dao động của dây tương ứng với các hạt truyền tương tác. Bất chấp hình dạng của các không gian Calabi-Yau là như thế nào, luôn luôn có một mode dao động với spin 2 và không có khối lượng; người ta đồng nhất mode này với hạt graviton, tức hạt truyền lực hấp dẫn. Trong khi đó, bản kê chính xác các hạt truyền tương tác có spin 1, chẳng hạn như số lượng của chúng, cường độ của lực mà nó chuyển tải, đối xứng chuẩn mà nó phải tuân theo, lại phụ thuộc mạnh vào dạng hình học cụ thể của các chiều bị cuộn lại. Và như vậy, lại một lần nữa chúng ta thấy rằng lý thuyết dây cung cấp cho chúng ta một khuôn khổ cho phép giải thích được các hạt truyền tương tác, tức là giải thích được những tính chất của các lực cơ bản, nhưng do còn chưa biết chính xác các chiều phụ cuộn thành không gian Calabi-Yau nào, nên chúng ta còn chưa đưa ra được những tiên đoán hoặc những hậu đoán có tính chất quyết định (ngoài ý kiến của Witten về sự hậu đoán lực hấp dẫn).

Nhưng tại sao chúng ta lại chưa thể xác định được không gian Calabi-Yau nào là đúng? Đa số các nhà lý thuyết dây đều buộc tội cho sự chưa tương xứng của các công cụ lý thuyết hiện nay. Chúng ta sẽ thảo luận chi tiết hơn ở chương 12, khuôn khổ toán học của lý thuyết dây phức tạp tới mức các nhà vật lý chỉ có thể thực hiện những tính toán gần đúng dựa trên một phương pháp gọi là lý thuyết nhiễu loạn. Trong sơ đồ tính toán gần đúng đó, các không gian Calabi-Yau đều xuất hiện bình đẳng với nhau và nhờ các phương trình chúng ta không chọn được ra một không gian Calabi-Yau duy nhất nào. Nhưng vì những hệ quả vật lý lại phụ thuộc rất nhạy cảm vào dạng cụ thể của các chiều bị cuộn lại và việc không có khả năng chọn lựa được một không gian Calabi-Yau duy nhất trong số hàng vạn các không gian đó, nên chúng ta chưa thể rút ra những kết luận quyết định có thể kiểm chứng được bằng thực nghiệm. Một trong những động lực thúc đẩy các nghiên cứu hiện nay là cần phải phát triển một phương pháp lý thuyết vượt lên trên các phương pháp gần đúng với hy vọng, ngoài những lợi ích khác, chúng ta

sẽ chọn ra một không gian Calabi-Yau duy nhất cho các chiều phụ. Chúng ta sẽ nói tới những tiến bộ theo phương hướng này trong chương 13.

[1] Nói như thế, nên ghi nhớ khả năng được chỉ ra trong chú thích 5 của chương 6 rằng các dây có thể dài hơn lúc đầu ta tưởng rất nhiều và do đó chúng có thể quan sát bằng thực nghiệm trong các máy gia tốc vài chục năm tới.

Nếu chúng ta có thể vạch ra những tính chất gắn liền với từng không gian Clabi-Yau và tập hợp chúng trong một catalog lớn, thì liệu từ đó chúng ta có thể tìm ra không gian phù hợp với thực tế hay không...

•◎Vét hết các khả năng

Đến đây bạn có thể đặt câu hỏi: mặc dù hiện nay chúng ta còn chưa biết lý thuyết dây sẽ chọn không gian Calabi-Yau nào, nhưng liệu tất cả các lựa chọn đã dẫn tới những tính chất vật lý phù hợp với những cái mà chúng ta đã quan sát thấy hay không? Nói một cách khác, nếu chúng ta có thể vạch ra những tính chất gắn liền với từng không gian Clabi-Yau và tập hợp chúng trong một catalog lớn, thì liệu từ đó chúng ta có thể tìm ra không gian phù hợp với thực tế hay không? Đây là một câu hỏi quan trọng, nhưng có hai lý do khiến cho nó khó có thể trả lời một cách hoàn toàn.

Một cách hợp lý là hãy bắt đầu từ những không gian Calabi-Yau dẫn tới ba họ hạt. Điều này hạn chế đáng kể danh sách những lựa chọn khả dĩ, nhưng tiếc thay số lượng các không gian đó vẫn còn rất lớn. Thực tế, cần lưu ý rằng, ta có thể làm biến dạng những chiếc "xăm" nhiều lỗ từ dạng này tới rất nhiều, thực tế là vô hạn, các dạng khác, mà không làm thay đổi số lỗ mà nó có ban đầu. Trên Hình 9.2 ta minh họa một sự biến dạng như vậy của chiếc "xăm"cuối cùng trên Hình 9.1

Tương tự, ta có thể xuất phát từ một không gian Calabi-Yau có ba lỗ và biến dạng liên tục nó, nhưng không làm thay đổi số lỗ của nó, ta có thể nhận được một dãy vô hạn các dạng khác.(Khi chúng ta nói ở trên là có hàng vạn không gian Calabi-Yau là chúng ta đã nhóm tất cả những không gian có thể biến đổi thành lẫn nhau, nhờ những biến dạng liên tục đó lại và đếm toàn bộ nhóm như một không gian Calabi-Yau mà thôi). Vấn đề dặt ra là ở chỗ, những tính chất vật lý của dao động dây, như khối lượng và sự đáp ứng của chúng đối với các lực lại thực sự phụ

thuộc vào những chi tiết biến đổi về hình dạng đó, nhưng một lần nữa, chúng ta vẫn chưa có cách nào để chọn được một trong số những khả năng đó. Và cho dù các vị giáo sư có thể huy động bao nhiêu sinh viên của họ để làm đi nữa thì cũng không thể thống kê được hết các tính chất vật lý của một số vô hạn các dạng được.

nh 9.2 Chiếc "xăm" nhiều lỗ có thể làm cho biến dạng theo nhiều cách mà không thay đổi số lỗ của nó. Một trong những cách đó được minh họa trên hình.

Hình 9.2 Chiếc "xăm" nhiều lỗ có thể làm cho biến dạng theo nhiều cách mà không thay đổi số lỗ của nó. Một trong những cách đó được minh họa trên hình.

Điều này buộc các nhà lý thuyết dây phải xem xét vật lý xuất hiện từ một mẫu các không gian Calabi-yau khả dĩ. Tuy nhiên, dù như thế đi nữa, thì cuộc sống cũng chưa phải là hoàn toàn xuôi theo mái chèo mát mái. Sở dĩ như vậy là vì các phương trình gần đúng mà các nhà lý thuyết đang sử dụng còn chưa đủ mạnh để suy ra đầy đủ vật lý đối với một không gian Calabi-Yau đã được lựa chọn. Chúng có thể dẫn dắt chúng ta đi xa trong sự hiểu biết một cách đại thể những tính chất dao động của các dây mà chúng ta hy vọng sẽ tương ứng với các hạt đã quan sát được. Nhưng rút ra những kết luận chính xác và có tính quyết định như khối lượng của electron hay cường độ của lực yếu thì cần có những phương trình chính xác hơn so với khuôn khổ gần đúng mà chúng ta có hiện nay. Chắc bạn có nhớ ví dụ về trò chơi Đúng giá mà chúng ta đã xét trong Chương 6: thang năng lượng "tự nhiên" của lý thuyết dây là năng lượng Planck và chỉ nhờ có những triệt tiêu hết sức tinh tế, lý thuyết dây mới tạo ra những dao động có khối lượng cỡ khối lượng của những hạt đã biết. Sự triệt tiêu tinh tế này đòi hỏi những tính toán cực kỳ chính xác vì chỉ cần một sai số nhỏ cũng ảnh hưởng rất nhiều đến độ chính xác. Như chúng ta sẽ thảo luận trong Chương 12, vào giữa những năm 1980, các nhà vật lý đã có những tiến bộ rất quan trọng trên con đường vượt lên các phương trình gần đúng hiện nay, mặc dù phía trước vẫn còn khá xa.

Vậy hiện thời chúng ta đang ở đâu? Và ngay cả nếu chúng ta còn chưa có một tiêu chuẩn cơ bản nào để chọn lựa không gian Calabi-Yau cũng như chưa có đủ những công cụ lý thuyết cần thiết để rút ra những hệ quả quan sát được từ sự lựa chọn này hay khác, chúng ta vẫn có thể đặt

câu hỏi: liệu có tồn tại một sự lựa chọn nào trong cuốn catalog các không gian Calabi-Yau sẽ làm xuất hiện một thế giới về đại thể phù hợp với những quan sát hay không? Câu trả lời thật đáng khích lệ. Mặc dù phần lớn các mục trong cuốn catalog các không gian Calabi-Yau đều cho những hệ quả quan sát được khác rất nhiều so với thế giới chúng ta (chẳng hạn như số các họ hạt khác, số các loại lực cơ bản nữa), nhưng có một số ít mục trong cuốn catalog đó lại cho những tính chất vật lý khá gần về mặt định tính với những cái chúng ta đã thực sự quan sát được. Tức là có không gian Calabi-Yau được chọn trong các chiều bị cuộn lại theo cầu của lý thuyết dây đã làm xuất hiện những mode dao động khá gần với các hạt của mô hình tiêu chuẩn. Và điều quan trọng nhất là lý thuyết dây đã thành công trong việc dung hòa được lực hấp dẫn với cơ học lượng tử.

Với trình độ hiểu biết hiện nay của chúng ta, những kết quả đã thu được khó có thể hy vọng tốt hơn. Nếu có nhiều không gian Calabi-Yau đều phù hợp về đại thể với thực nghiệm thì mối liên hệ giữa một sự lựa chọn cụ thể và những tính chất vật lý mà chúng ta quan sát được sẽ kém hấp dẫn hơn. Nhiều sự lựa chọn tách biệt hẳn ra thậm chí trên quan điểm thực nghiệm. Mặt khác, nếu lại không có một không gian Calabi-Yau nào có thể cho những tính vật lý đã quan sát được, thì điều này có nghĩa là khuôn khổ đẹp tuyệt vời của lý thuyết dây chẳng có liên quan gì đến thế giới của chúng ta. Với khả năng còn quá khiêm tốn của chúng ta hiện nay, việc tìm được một số nhỏ các không gian Calabi-Yau để xác định các hệ quả vật lý chi tiết về đại thể có thể chấp nhận được đã là cả một kết quả rất đáng khích lệ.

Việc giải thích được những tính chất của các hạt vật chất và các hạt lực có thể nói là một trong số những thành tựu khoa học vĩ đại nhất, nếu không muốn nói là một thành tựu vĩ đại nhất. Dẫu sao, bạn vẫn có thể hỏi, liệu có những tiên đoán nào, chứ không phải là hậu đoán, của lý thuyết dây mà các nhà thực nghiệm có thể xác nhận được ngay bây giờ hoặc trong tương lai gần hay không. Câu trả lời là có.

Hiện người ta chưa quan sát được một siêu hạt bạn nào. Điều này có thể có nghĩa là chúng không tồn tại và lý thuyết dây là sai. Nhưng nhiều nhà vật lý hạt cho rằng, điều đó có nghĩa là các siêu hạt bạn rất nặng và do đó chúng nằm ngoài khả năng phát hiện bằng thực nghiệm của chúng ta...

- ◎Các siêu hạt

Những khó khăn của lý thuyết hiện đang ngăn trở chúng ta rút ra những tiên đoán chi tiết đã buộc chúng ta phải nghiên cứu những khía cạnh chung chứ không phải đặc thù của một vũ trụ tạo bởi các dây. Trong bối cảnh đó, những khía cạnh chung ở đây là muốn nói về những đặc trưng cơ bản đối với lý thuyết dây tới mức chúng ít nhạy cảm, nếu không muốn nói là hoàn toàn độc lập, với những tính chất chi tiết của lý thuyết hiện nằm ngoài tầm của chúng ta. Chúng ta có thể tự tin thảo luận về những đặc trưng đó ngay cả khi chưa có hiểu biết đầy đủ về một lý thuyết hoàn chỉnh. trong các chương chúng ta sẽ đề cập tới những ví dụ khác, nhưng ở đây chúng ta sẽ tập trung vào một ví dụ, đó là siêu đối xứng.

Như chúng ta đã giải thích, một tính chất cơ bản của lý thuyết dây, đó là có tính đối xứng cao, bao gồm không chỉ những nguyên lý đối xứng có tính trực giác mà cả sự mở rộng toán học tối đa của các đối xứng đó, tức là siêu đối xứng. Như đã thỏa luận trong Chương 7, điều này có nghĩa là trong các mode dao động sẽ xuất hiện theo từng cặp - các cặp siêu hạt bạn - có spin khác nhau 1/2. Nếu lý thuyết dây là đúng, thì một số dao động của dây sẽ tương ứng với các hạt sơ cấp đã biết. Nhưng do sự tạo thành cặp trong siêu đối xứng, nên lý thuyết dây đưa ra tiên đoán rằng mỗi một hạt đã biết sẽ có một siêu hạt bạn. Chúng ta có thể xác định được các tính lực của mỗi siêu hạt đó, nhưng hiện chưa có khả năng tiên đoán được khối lượng của chúng. Ngay cả đi vậy đi nữa, tiên đoán rằng các siêu hạt bạn tồn tại đã là một đặc điểm chung của lý thuyết dây. Đặc điểm này độc lập với những khía cạnh của lý thuyết mà chúng ta còn chưa hiểu được.

Hiện người ta chưa quan sát được một siêu hạt bạn nào. Điều này có thể có nghĩa là chúng không tồn tại và lý thuyết dây là sai. Nhưng nhiều nhà vật lý hạt cho rằng, điều đó có nghĩa là các siêu hạt bạn rất nặng và do đó chúng nằm ngoài khả năng phát hiện bằng thực nghiệm của chúng ta. Hiện giờ các nhà vật lý đang xây dựng một máy gia tốc khổng lồ ở Geneva, Thụy Sĩ có tên là Máy Va Chạm Hadron Lớn (thường biết tắt là LHC). Người ta rất hi vọng rằng máy này sẽ đủ mạnh để tìm ra các siêu hạt bạn. Máy gia tốc này dự kiến sẽ đưa vào hoạt động vào năm 2010 và chỉ rất ngắn sau đó siêu đối xứng sẽ được xác nhận bằng thực nghiệm. Như Schwaz đã nói: “Chắc chắn là không lâu nữa người ta sẽ

phát hiện ra siêu đối xứng. Và một khi điều đó xảy ra sẽ thật tuyệt vời."[1]

Tuy nhiên, bạn phải ghi nhớ kỹ hai điều. Ngay cả khi các siêu hạt bạn được phát hiện thì chỉ điều đó thôi chưa đủ để khẳng định được lý thuyết dây là đúng. Như chúng ta đã thấy, mặc dù siêu đối xứng được phát hiện ra khi nghiên cứu lý thuyết dây, nhưng nó cũng được đưa vào rất thành công trong các lý thuyết dựa trên các hạt điểm và do đó không phải là đặc quyền của lý thuyết dây. Trái lại, ngay cả khi các siêu hạt bạn không được phát hiện ra trong LHC thì chỉ riêng điều đó thôi chưa đủ để xóa bỏ lý thuyết dây, vì đó có thể là do các siêu hạt bạn quá nặng tới mức vẫn nằm ngoài khả năng của máy đó.

Nếu các siêu hạt bạn được phát hiện ra thì đó chắc chắn sẽ là một bằng chứng rất phấn khích và có sức thuyết phục khẳng định lý thuyết dây.

[1] Phỏng vấn John Schwaz, ngày 23 tháng 12 năm 1997.

Cũng như tình huống đối với các siêu hạt bạn, hiện chưa có hạt mang điện tích phân số quái lạ nào được phát hiện cả... Nhưng nếu một thí nghiệm nào đó trong tương lai bắt gặp nhưng hạt điện tích quái lạ đó, thì nó sẽ là một bằng chứng mạnh mẽ khẳng định lý thuyết dây...

•◎Các hạt có điện tích phân số

Một đặc trưng khẳng định bằng thực nghiệm khác của lý thuyết dây có liên quan đến các điện tích. Nó là một đặc tính ít chung hơn so với các siêu hạt bạn nhưng cũng khá hấp dẫn. Các hạt sơ cấp của mô hình chuẩn có một tập hợp các điện tích khá hạn chế: các quark và phản quark có độ lớn điện tích là 1/3 và 2/3 (kể cả hai dấu), còn tất cả các hạt khác đều có điện tích bằng 0,1 hoặc -1. Toàn bộ các vật chất đã biết của toàn Vũ trụ đều được tạo bởi những tổ hợp các hạt này tuy nhiên, trong lý thuyết dây, có thể có những mode dao động cộng hưởng tương ứng với các hạt điện tích nói ở trên. Ví dụ, điện tích của các hạt có thể lấy giá trị phân số rất quái dị 1/5, 1/11, 1/13 hay 1/53 và còn nhiều khả năng khác nữa. Các điện tích khác thường này có thể xuất hiện nếu như các chiều bị cuộn lại có một tính chất hình học nhất định, cụ thể là: các lỗ có tính chất sao cho các dây vòng quanh chúng có thể tự gỡ rối bằng cách quấn quanh chúng một số vòng nhất định nào đó. Những chi tiết ở đây không có gì đặc biệt quan trọng, nhưng hóa ra số vòng cuốn cần thiết để gỡ rối lại tự thể hiện bằng một mode dao động được phép và xác định

mẫu số của điện tích phân số.

Chỉ có một số không gian Calabi-Yau là có tính chất hình học đó và vì thế khả năng có điện tích phân số khác thường không phải là một đặc điểm chung như sự tồn tại của của các siêu hạt bạn. Mặt khác, trong khi tiên đoán về sự tồn tại của các siêu hạt bạn không phải là tính chất duy nhất của lý thuyết, thì hàng chục năm thí nghiệm đã chứng tỏ rằng không có một nguyên nhân bắt buộc nào để cho những điện tích phân số quái lạ đó phải tồn tại trong tất cả các lý thuyết dựa trên các hạt điểm. Tất nhiên, người ta có thể cưỡng ép đưa nó vào một lý thuyết hạt điểm, nhưng điều đó cũng khiên cưỡng như nhốt con voi vào cửa hiệu đồ sứ vậy. Sự xuất hiện của chúng từ những tính chất hình học đơn giản của các chiều phụ làm cho các điện tích khác thường này, cũng là một đặc trưng khẳng định bằng thực nghiệm, khá là tự nhiên đối với lý thuyết dây.

Cũng như tình huống đối với các siêu hạt bạn, hiện chưa có hạt mang điện tích phân số quái lạ nào được phát hiện cả và những hiểu biết của chúng ta về lý thuyết dây cũng chưa cho phép chúng ta tiên đoán được khối lượng của chúng, ngay cả khi những chiều phụ này có đủ tính chất đòi hỏi phải có để sinh ra chúng. Một cách giải thích cho sự không phát hiện ra các hạt này lại có thể là do chúng không tồn tại hoặc là do khối lượng của chúng nằm ngoài khả năng của các phương tiện công nghệ hiện nay - thậm chí rất có thể khối lượng của chúng cỡ khối lượng Planck. Nhưng nếu một thí nghiệm nào đó trong tương lai bắt gặp nhưng hạt điện tích quái lạ đó, thì nó sẽ là một bằng chứng mạnh mẽ khẳng định lý thuyết dây.

Chúng ta có thể hình dung bây giờ hoặc tại một thời điểm nào đó trong tương lai, một dây loại như vậy có thể quét qua bầu trời đêm, để lại dấu ấn chắc chắn và có thể đo đạc được trong những số liệu mà các nhà thiên văn thu thập được...

•◎Một số khả năng ít chắc chắn hơn

Còn có một cách khác để tìm bằng chứng khẳng định lý thuyết dây. Ví dụ, Witten đã chỉ ra khả năng một ngày nào đó các nhà thiên văn học có thể sẽ thấy bằng chứng nhận dạng trực tiếp của lý thuyết dây trong các số liệu thiên văn mà họ thu thập được. Như ta đã biết trong Chương 6, kích thước của dây thường vào cỡ chiều dài Planck, nhưng các dây có

năng lượng rất cao có thể có kích thước lớn hơn nhiều. Thực tế, năng lượng ở Big Bang chắc là đủ cao để tạo ra một ít dây có kích thước vĩ mô và thông qua sự giãn nở của Vũ trụ, chúng có thể đạt tới kích thước thiên văn. Chúng ta có thể hình dung bây giờ hoặc tại một thời điểm nào đó trong tương lai, một dây loại như vậy có thể quét qua bầu trời đêm, để lại dấu ấn chắc chắn và có thể đo đạc được trong những số liệu mà các nhà thiên văn thu thập được (ví dụ như một độ lệch nhỏ trong nhiệt độ của bức xạ nền, xem Chương 14). Như Witten nói: "Mặc dù có vẻ gì đó hơi viễn tưởng, nhưng đó là một kịch bản yêu thích của tôi để khẳng định lý thuyết dây vì không có gì giải quyết vấn đề này một cách nhanh chóng và có ấn tượng mạnh như là nhìn một dây trong kính thiên văn"[1]

Gần gũi với mặt đất hơn, người ta cũng đưa ra những đặc điểm nhận dạng bằng thực nghiệm khả dĩ khác của lý thuyết dây.

Thứ nhất, trong Bảng 1.1 chúng ta thấy rằng chúng ta vẫn chưa biết chắc chắn nơtrinô chỉ là một hạt rất nhẹ hay nó thực sự không có khối lượng. Theo mô hình chuẩn, chúng không có khối lượng, nhưng không phải là do một nguyên nhân sâu sắc nào. Một thách thức đối với lý thuyết dây là cung cấp một giải thích có sức thuyết phục những dữ liệu hiện nay và trong tương lai về nơtrinô, đặc biệt nếu như cuối cùng thực nghiệm chứng tỏ được rằng nơtrinô có khối lượng cực nhỏ nhưng không phải bằng không.

Thứ hai, có một quá trình giả thuyết bị cấm bởi mô hình chuẩn nhưng lại được phép đối với lý thuyết dây. Trong số đó có sự phân hóa khả dĩ của proton (bạn đừng quá lo, sự phân rã này nếu có thì cũng diễn ra cực kỳ chậm) và còn những biến đổi và phân rã khả dĩ của một số tổ hợp khác nhau của hạt quark, những quá trình này vi phạm một số tính chất đã được xác lập từ lâu bởi lý thuyết trường lượng tử dựa trên các hạt điểm. Đây là những quá trình đặc biệt lý thú bởi vì sự vắng mặt lý thú của chúng trong lý thuyết thông thường làm cho chúng trở thành những tín hiệu nhạy cảm của vật lý mà ta không thể giải thích được, nếu như không viện đến những nguyên lý lý thuyết mới. Nếu ta quan sát được chỉ một trong số những quá trình ấy, thì đó sẽ là một mảnh đất màu mỡ để lý thuyết dây đưa ra các giải thích.

Thứ ba, đối với một số không gian Calabi-Yau được lựa chọn, có các mode dao động đặc biệt, tương ứng với các trường lực mới, có cường độ

nhỏ và tầm tác dụng xa. Nếu tác dụng của các trường lực này được phát hiện thì chúng có thể phản ánh một vật lý mới của lý thuyết dây.

Thứ tư, như chúng ta sẽ thấy ở chương sau, các nhà thiên văn đã thu thập được bằng chứng nói rằng thiên hà của chúng ta và có thể toàn bộ Vũ trụ bị nhúng trong một bể vật chất tối, mà bản chất của chúng hiện còn chưa xác định được. Thông qua những mode dao động cộng hưởng của các dây, lý thuyết dây có thể đề xuất nhiều ứng viên cho vật chất tối; lời phán quyết còn phụ thuộc vào những kết quả thực nghiệm sắp tới nhằm xác lập những tính chất chi tiết của vật chất tối.

Và cuối cùng, một phương diện khả dĩ thứ năm liên hệ lý thuyết dây với những quan sát, đó là hằng số vũ trụ. Như trong Chương 3, ta thấy rằng đây là số hạng mà Einstein đã nhất thời thêm vào các phương trình của thuyết tương đối rộng để đảm bảo cho vũ trụ là tĩnh. Phát minh sau đó về sự giãn nở của Vũ trụ đã dẫn Einstein tới chỗ rút lại sửa đổi đó, nhưng trong khi đó, các nhà vật lý lại nhận thấy rằng không có một lý do đặc biệt nào để hằng số vũ trụ bằng không cả. Thực tế, nó có thể được giải thích như là một loại năng lượng của không gian và do đó giá trị của nó có thể tính được bằng lý thuyết và đo được bằng thực nghiệm. Nhưng cho tới nay những tính toán và đo đạc như vậy lại hoàn toàn không phù hợp với nhau: những quan sát cho thấy hằng số vũ trụ hoặc là bằng không (như Einstein cuối cùng đã chấp thuận) hoặc là rất nhỏ; còn những tính toán lại chỉ ra rằng những thăng giáng lượng tử trong chân không của không gian trống rỗng lại có xu hướng sinh ra một hằng số vũ trụ có trị giá lớn hơn trị giá cho phép bởi thực nghiệm tới 120 bậc độ lớn (tức là lớn hơn 10120 lần)! Đây là một thách thức và cơ hội tuyệt vời cho các nhà lý thuyết dây: liệu những tính toán trong lý thuyết dây có cải thiện được sự không phù hợp đó và giải thích được tại sao hằng số vũ trụ lại bằng không hay không? Hoặc nếu như thực nghiệm cuối cùng xác lập được rằng giá trị của nó rất nhỏ nhưng khác không thì liệu lý thuyết dây có thể giải thích được điều đó hay không? Nếu như các nhà lý thuyết dây có thể vượt qua thách thức ấy thì đó sẽ là một bằng chứng có sức thuyết phục khẳng định lý thuyết dây.

[1] Phỏng vấn Edward Witten, ngày 4 tháng 3 năm 1998.

Thực tế, lý thuyết dây đã được xem như là sự phát triển quan trọng và sôi động nhất kể từ khi phát minh ra cơ học lượng tử... Lịch sử cơ học lượng tử dạy chúng ta rằng, những cuộc cách mạng trong vật lý thường

phải mất hàng chục năm có thể đạt tới độ chín...

•◎Một sự đánh giá

Lịch sử vật lý chứa đầy những ý tưởng ban đầu tưởng như hoàn toàn không thể kiểm chứng được, nhưng rồi thông qua những phát hiện bất ngờ, cuối cùng chúng lại trở nên kiểm chứng được bằng thực nghiệm. Quan niệm cho rằng vật chất được cấu tạo bởi các nguyên tử, giả thuyết của Pauli về sự tồn tại của hạt nơtrinô, khả năng tồn tại của các sao nơtron và các lỗ đen là ba ý tưởng nổi bật nhất thuộc loại đó; ngày hôm nay những ý tưởng ấy đã được mọi người chấp nhận hoàn toàn nhưng lúc ban đầu chúng được coi như là câu chuyện khoa học viễn tưởng hơn là một sự kiện khoa học.

Động cơ để đưa ra lý thuyết dây, ít nhất thì cũng hấp dẫn như ba ý tưởng nói trên, nhưng thực tế, lý thuyết dây đã được xem như là sự phát triển quan trọng và sôi động nhất kể từ khi phát minh ra cơ học lượng tử. Sự so sánh này là đặc biệt thích hợp bởi vì lịch sử cơ học lượng tử dạy chúng ta rằng, những cuộc cách mạng trong vật lý thường phải mất hàng chục năm mới có thể đạt tới độ chín. Và nếu so sánh các nhà lý thuyết dây ngày hôm nay, thì các nhà vật lý xây dựng nên khoa học lượng tử có lợi thế hơn rất nhiều: cơ học lượng tử ngay cả khi mới xây dựng được một phần đã có thể tiếp xúc trực tiếp với các kết quả thực nghiệm. Nhưng cũng phải mất tới hơn 30 năm cấu trúc lôgic của nó mới được hoàn tất và phải mất hơn 20 năm nữa nó mới bao hàm được cả thuyết tương đối hẹp một cách trọn vẹn. Giờ đây nó phải bao hàm cả thuyết tương đối rộng, một nhiệm vụ khó khăn hơn rất nhiều, nhất là việc tiếp xúc với thực nghiệm còn khó khăn hơn nữa. Khác với những người sáng lập ra cơ học lượng tử, các nhà lý thuyết dây ngày hôm nay không được soi đường bằng ánh sáng của tự nhiên, thông qua những kết quả thực nghiệm chi tiết, để được dẫn dắt từ bước này tới bước tiếp sau.

Điều đó có nghĩa là phải chấp nhận rằng một hoặc nhiều thế hệ các nhà lý thuyết dây sẽ phải hiến dâng cả cuộc đời mình cho việc nghiên cứu và phát triển lý thuyết dây mà không nhận được một hồi âm nào của thực nghiệm. Một số khá lớn các nhà vật lý trên khắp thế giới làm việc hăng say cho lý thuyết dây đều biết rằng họ sẽ phải chấp nhận rủi ro: có thể những nỗ lực của cả một đời người không tới được đích cuối cùng. Chắc chắn là tiến bộ lý thuyết quan trọng cũng vẫn sẽ tiếp tục được tạo

ra, nhưng liệu chúng có đủ để vượt qua những trở ngại hiện nay và đưa ra những tiên đoán có tính chất quyết định có thể kiểm chứng được bằng thực nghiệm hay không? Liệu những kiểm chứng gián tiếp mà chúng ta vừa thảo luận ở trên có tạo ra một bằng chứng đích thực khẳng định lý thuyết dây? Những vấn đề đó là mối quan tâm hàng đầu của tất cả các nhà lý thuyết dây nhưng chúng cũng là những câu hỏi còn đang để mở. Chỉ có thời gian mới cho phép chúng ta biết được câu trả lời. Sự giản dị tuyệt đẹp của lý thuyết dây, cách thức mà nó giải quyết sự xung đột giữa thuyết tương đối rộng và cơ học lượng tử, khả năng thống nhất được các lực trong tự nhiên cùng với tiềm năng tiên đoán vô biên của nó là sự khích lệ xứng đáng để chấp nhận mọi rủi ro.

Những đánh giá cao quí này còn được ủng hộ bởi thực tế là, lý thuyết dây còn có khả năng phát hiện ra nhiều đặc tính vật lý mới của vũ trụ được tạo nên từ các dây, những đặc tính làm phát lộ sự hòa hợp tinh tế và sâu sắc trong sự vận hành của tự nhiên. Nói theo ngôn ngữ mà ta đưa vào ở trên, thì rất nhiều đặc trưng này là những đặc tính chung và bất kể những chi tiết mà hiện chúng ta còn chưa biết, những đặc trưng đó sẽ là những tính chất cơ bản của một vũ trụ tạo nên từ các dây. Trong số những tính chất đó, những tính chất lạ lùng nhất sẽ có ảnh hưởng sâu sắc đến sự hiểu biết luôn luôn tiến hóa của chúng ta về không gian và thời gian.

Không có quảng tính đủ lớn để quan sát được; một chiều không gian bị cuộn lại thành kích thước cực nhỏ, do đó khó phát hiện được một cách trực tiếp.

Trong suốt gần một thập niên, một mình Einstein đã lật đổ khuôn khổ lý thuyết đã tồn tại hằng trăm năm của Newton và mang lại cho thế giới một sự hiểu biết hoàn toàn mới và sâu sắc hơn về lực hấp dẫn...

CHƯƠNG 10

HÌNH HỌC LƯỢNG TỬ

Trong suốt gần một thập niên, một mình Einstein đã lật đổ khuôn khổ lý thuyết đã tồn tại hằng trăm năm của Newton và mang lại cho thế giới một sự hiểu biết hoàn toàn mới và sâu sắc hơn về lực hấp dẫn. Từ đó, các chuyên gia cũng như những người bình thường đều không ngừng bày tỏ sự khâm phục trước vẻ đẹp huy hoàng và tính độc đáo hiếm có mà Einstein đã đạt được trong việc tạo dựng nên thuyết tương đối rộng. Tuy nhiên, chúng ta cũng không nên quên những điều kiện lịch sử thuận lợi đã góp phần to lớn mang lại thành công cho Einstein. Đứng đầu trong số các điều kiện đó là những phát minh của nhà toán học thế kỷ XIX Georg Bernhard Riemann, người đã xây dựng vững chắc bộ máy hình học để mô tả các không gian cong với số chiều tùy ý. Trong bài giảng mở đầu nổi tiếng của ông vào năm 1854 tại Đại học Gottingen, Riemann đã phá tan mọi xiềng xích của tư tưởng không gian phẳng của Euclide và mở đường cho sự đối xử dân chủ đối với hình học trên tất cả các loại mặt cong khác nhau. Chính những phát minh của Riemann đã cung cấp cơ sở toán học để mô tả định lượng của không gian bị uốn cong như các không gian được minh họa trên các Hình 3.4 và 3.6. Thiên tài của Einstein là ở chỗ đã nhận ra rằng bộ máy toán học đó đã được "cắt may" vừa khéo để thực hiện quan niệm mới của ông về lực hấp dẫn. Ông đã dũng cảm tuyên bố rằng hình học Riemann đã phù hợp tuyệt vời với vật lý của lực hấp dẫn.

Nhưng giờ đây gần một thế kỷ đã trôi qua sau công trình phi thường của Einstein, lý thuyết dây đã mang lại cho chúng ta một sự mô tả lượng tử của lực hấp dẫn, mà nó, do sự cần thiết, phải làm thay đổi thuyết tương đối rộng khi những khoảng cách tiến gần tới chiều dài Planck. Vì hình học Riemann là cốt lõi toán học của thuyết tương đối rộng, nên điều này có nghĩa là hình học Riemann cũng cần phải thay đổi để phản ánh được một cách trung thực vật lý mới ở những khoảng cách ngắn của lý thuyết dây. Trong khi thuyết tương đối rộng khẳng định rằng các tính chất cong của vũ trụ được mô tả bởi hình học Riemann, thì lý

thuyết dây lại khẳng định rằng điều này chỉ đúng khi chúng ta khảo sát cấu trúc của vũ trụ ở những thang khoảng cách đủ lớn, ở thang nhỏ cỡ chiều dài Planck, cần phải có một hình học phù hợp với vật lý mới của lý thuyết dây. Hình học mới đó được gọi là hình học lượng tử.

Khác với trường hợp hình học Riemann, không có một công trình hình học đã có sẵn trên giá sách của một nhà toán học nào đó đã đợi các nhà vật lý lấy xuống và sử dụng làm hình học lượng tử. Thay vì thế, các nhà vật lý và toán học giờ đây phải nghiên cứu cật lực lý thuyết dây và dần dần họ cùng nhau dựng nên một lĩnh vực của vật lý và toán học. Mặc dù toàn bộ lịch sử còn chưa được viết xong, Nhưng những nghiên cứu đó đã phát hiện ra nhiều tính chất mới mẻ của không-thời gian, những tính chất mà chắc chắn chính Einstein cũng phải say mê.

Nếu bạn nhảy lên một tấm nhảy đàn hồi, thì trọng lượng của cơ thể bạn sẽ làm cho nó bị cong đi, do các sợi đàn hồi của nó bị giãn ra. Sự giãn ra này là mạnh nhất ở ngay dưới chân bạn và nhỏ dần ở phía mép của tấm nhảy...

•◎Những điểm cốt lõi của hình học Riemann

Nếu bạn nhảy lên một tấm nhảy đàn hồi, thì trọng lượng của cơ thể bạn sẽ làm cho nó bị cong đi, do các sợi đàn hồi của nó bị giãn ra. Sự giãn ra này là mạnh nhất ở ngay dưới chân bạn và nhỏ dần ở phía mép của tấm nhảy. Để có thể quan sát điều đó được rõ hơn, bạn có thể vẽ lên tấm nhảy một hình ảnh quen thuộc, như hình ảnh của nàng Mona Lisa, chẳng hạn. Khi không có vật nặng nào đặt trên tấm nhảy, hình ảnh của Mona Lisa nhìn như bình thường Nhưng khi bạn đứng lên đó, thì hình ảnh của nàng bị méo đi, đặc biệt là phần ở ngay dưới chân bạn, như minh họa trên Hình 10.1.

Hình 10.1 Khi đứng trên tấm nhảy có in hình Mona Lisa, hình ảnh sẽ bị méo nhiều nhất ở ngay dưới chân bạn.

Hình 10.1 Khi đứng trên tấm nhảy có in hình Mona Lisa, hình ảnh sẽ bị méo nhiều nhất ở ngay dưới chân bạn

Ví dụ này cho phép ta đi thẳng tới cốt lõi của khuôn khổ toán học của hình học Riemann để mô tả những hình dạng cong. Dựa trên những phát minh của các nhà toán học như Carl Friedric Gauss, Nicolai Lobachevsky, Janos Bolyai và những người khác, Riemann đã chứng tỏ

được rằng sự phân tích kỹ lưỡng những khoảng cách giữa các điểm ở trên hoặc trong vật sẽ cho ta một phương tiện để định lượng hóa mức độ cong của nó. Nói một cách nôm na, sự giãn ra (không đều) càng lớn, thì sự lệch khỏi những quan hệ về khoảng cách trên một hình dạng phẳng càng lớn. Ví dụ, tấm nhảy bị giãn mạnh nhất ở ngay dưới cơ thể bạn và do đó những quan hệ về khoảng cách giữa các điểm trên vùng đó sẽ bị méo mó đi nhiều nhất. Vì vậy, vùng này của tấm nhảy sẽ có độ cong lớn nhất, đúng như ta chờ đợi, vì đây cũng là chỗ hình ảnh của Mona Lisa bị biến dạng mạnh nhất, làm nhăn nhó góc miệng vốn thường thể hiện nụ cười đầy bí ẩn của nàng.

Einstein đã chấp nhận những phát minh toán học của Riemann bằng cách cho nó một giải thích vật lý cụ thể. Và như ta thấy trong Chương 3, ông đã chứng minh được rằng độ cong của không-thời gian chính là hiện thân của lực hấp dẫn. Như bây giờ chúng ta hãy suy ngẫm về cách giải thích đó một cách kỹ lưỡng hơn. Về mặt toán học, độ cong của không -thời gian, tựa như độ cong của tấm nhảy, phản ánh những mối quan hệ về khoảng cách giữa các điểm bị nó biến dạng đi. Về mặt vật lý, lực hấp dẫn mà một vật cảm nhận thấy lạ là sự phản ánh trực tiếp của sự biến dạng đó. Thực tế, bằng cách làm cho vật nhỏ dần lại, toán học và vật lý sẽ càng phù hợp với nhau một cách chính xác hơn theo mức độ thể hiện vật lý càng gần tới khái niệm điểm, một khái niệm toán học trừu tượng. Nhưng lý thuyết dây lại áp đặt một giới hạn đối với độ chính xác mà vật lý của lực hấp dẫn có thể cụ thể hóa hình thức luận hình học của Riemann, bởi vì việc làm vật nhỏ dần cũng có giới hạn của nó. Một khi đã làm nhỏ vật tới kích thước của các dây, bạn sẽ không thể làm cho nó nhỏ hơn được nữa. Như vậy, khái niệm truyền thống về các hạt điểm không còn tồn tại trong lý thuyết dây. Đây là một yếu tố cơ bản trong khả năng của nó để cho chúng ta một lý thuyết lượng tử của lực hấp dẫn. Điều này chỉ ra một cách cụ thể cho chúng ta thấy rằng khuôn khổ hình học Riemann, một hình học về cơ bản dựa trên khoảng cách giữa các điểm, sẽ phải thay đổi ở những thang siêu vi mô theo sự đòi hỏi của lý thuyết dây.

Điều này có ảnh hưởng không đáng kể đến những ứng dụng vĩ mô thông thường của lý thuyết tương đối rộng. Ví dụ, trong những nghiên cứu vũ trụ học, các nhà vật lý thường mô hình hóa toàn bộ các thiên hà là những điểm vì thực ra kích thước của chúng là cực kỳ nhỏ bé so với kích thước của toàn Vũ trụ. Vì lý do đó, việc thực hiện khuôn khổ của

hình học Riemann theo cách thô sơ ấy vẫn tỏ ra là một gần đúng rất tốt, như thực tế đã xác nhận. Nhưng trong thế giới siêu vi mô, bản chất có quảng tính của các dây đảm bảo rằng hình học Riemann không còn là một khuôn khổ toán học phù hợp nữa. Thay vì, nó cần phải thay bằng hình học lượng tử của lý thuyết dây, dẫn tới những tính chất mới và bất ngờ.

Lý thuyết dây lại một lần nữa đặt ra giới hạn dưới cho các thang khoảng cách có thể tiếp cận về mặt vật lý. Nó tuyên bố rằng Vũ trụ không thể bị nén lại cho tới kích thước nhỏ hơn chiều dài Planck theo bất cứ chiều nào của nó...

•◎Một sân chơi vũ trụ học

Theo mô hình Big Bang của vũ trụ học, toàn bộ Vũ trụ được bung ra rất mạnh từ một vụ nổ vũ trụ kỳ dị, khoảng 15 tỷ năm trước. Theo như Hubble là người đầu tiên phát hiện ra, ngày hôm nay chúng ta thấy rằng "những mảnh vỡ" từ vụ nổ đó dưới dạng hàng tỷ các thiên hà vẫn tiếp tục chuyển động ra xa nhau. Nghĩa là Vũ trụ đang giãn nở. Tuy nhiên, hiện chúng ta vẫn còn chưa biết liệu sự tăng trưởng đó của Vũ trụ sẽ được tiếp tục mãi mãi hay là đến một thời gian nào đó sự giãn nở này sẽ chậm lại đến dừng hẳn, rồi sau đó quá trình sẽ đảo ngược lại, tức là dẫn tới một sự co vũ trụ. Các nhà thiên văn và vật lý thiên văn đang cố gắng trả lời câu hỏi đó bằng thực nghiệm, bởi vì câu trả lời gắn liền với một đại lượng mà về nguyên tắc có thể đo được đó là mật độ vật chất trung bình của Vũ trụ.

Nếu như mật độ vật chất trung bình vượt quá cái gọi là mật độ tới hạn có giá trị cỡ một phần trăm tỷ tỷ tỷ gam trong một xentimét khối (10 mũ âm 29 g/cm3) tức là khoảng 5 nguyên tử hiđro trong mỗi mét khối của Vũ trụ, thì lực hấp dẫn đủ lớn tràn ngập Vũ trụ sẽ làm dừng và làm đảo ngược quá trình giãn nở. Còn nếu mật độ trung bình nhỏ hơn mật độ giới hạn, thì lực hút hấp dẫn quá yếu không thể làm dừng quá trình giãn nở được và Vũ trụ sẽ giãn nở mãi mãi. (Dựa trên những quan sát riêng của mình, bạn có thể nghĩ rằng mật độ khối lượng trung bình lớn hơn giá trị tới hạn rất nhiều. Nhưng bạn nên ghi nhớ trong đầu rằng vật chất, cũng giống như tiền bạc, bao giờ cũng có xu hướng tụ tập lại. Dùng khối lượng trung bình ở Trái Đất hoặc trong hệ Mặt Trời hoặc thậm chí trong cả dải Ngân Hà đi nữa, để đánh giá mật độ trung bình của Vũ trụ, thì cũng chẳng khác gì dùng thu thập của Bill Gates làm

chuẩn để đánh giá tình hình thu thập trung bình của cả hành tinh. Vì có rất nhiều người có thu nhập không đáng kể gì so với Bill Gates, do đó sẽ làm giảm con số thu nhập trung bình của cả hành tinh xuống rất nhiều, tương tự như vậy, trong không gian có rất nhiều khoảng trống rỗng giữa các thiên hà và điều đó đã làm giảm mật độ khối lượng của cả Vũ trụ xuống thấp một cách ghê gớm).

Bằng cách nghiên cứu kỹ lưỡng phân bố của các thiên hà trong toàn bộ Vũ trụ, các nhà thiên văn có thể có thể có được một ý niệm khá chính xác về lượng trung bình của vật chất thấy được trong Vũ trụ. Họ đã phát hiện ra rằng nó nhỏ hơn nhiều so với giá trị tới hạn. Nhưng lại có bằng chứng khá mạnh, cả về lý thuyết lẫn thực nghiệm, nói rằng vũ trụ còn tràn ngập các vật chất tối. Đó là những vật chất không tham gia trong các quá trình tổng hợp hạt nhân cung cấp năng lượng cho các sao và do đó chúng không phát ra ánh sáng, nên các kính thiên văn không phát hiện được. Hiện nay chưa có ai hình dung được bản chất của vật chất tối, chứ chưa nói tới chuyện biết chính xác số lượng của chúng. Như vậy, số phận của Vũ trụ đang giãn nở hiện cũng còn chưa rõ ràng.

Để định ý, bây giờ ta phải thử rằng mật độ khối lượng vượt quá giá trị tới hạn và một ngày nào đó trong tương lai xa, sự giãn nở sẽ dừng lại và Vũ trụ bắt đầu tự co lại. Tất cả các thiên hà sẽ chậm chạp tiến lại gần nhau và với thời gian vận tốc tiến lại gần nhau của chúng sẽ tăng cho tới khi chúng sập vào nhau với một vận tốc kinh khủng. Bạn cần hình dung toàn bộ Vũ trụ bị ép lại với nhau thành một khối lượng co lại dần. Như trong Chương 3, từ kích thước cực đại cỡ hàng tỷ năm áng sáng, vũ trụ co lại còn hàng triệu năm ánh sáng. Mỗi lúc tốc độ co lại càng tăng, cho tới khi mọi thứ bị ép vào nhau tới kích thước chỉ bằng một thiên hà, rồi sau đó bằng một ngôi sao, một hành tinh, xuống còn một quả cam, một hạt đậu, một hạt cát và sau đó theo thuyết tương đối tổng quát xuống tới kích thước một phân tử, rồi một nguyên tử và trong một vụ co lớn không thể nào tránh khỏi, cuối cùng tới hoàn toàn không có kích thước nữa. Theo lý thuyết truyền thống, vũ trụ bắt đầu bằng một vụ nổ theo kích thước bằng không và nếu như có đủ khối lượng thì nó sẽ kết thúc bằng sự co lại về trạng thái tương tự lúc ban đầu.

Nhưng khi các thang khoảng cách có liên quan tới gần chiều dài Planck, cơ học lượng tử sẽ vô hiệu hóa các phương trình của thuyết tương đối rộng. Và như vậy trong khi thuyết tương đối rộng của Einstein cho phép

các dạng hình học của Vũ trụ có thể nhỏ tùy ý - hoàn toàn phù hợp với toán học của hình học Riemann cho phép các dạng trừu tượng có kích thước nhỏ tới mức nào mà trí tuệ con ngời còn tưởng tượng ra được thì người ta có quyền tự hỏi lý thuyết dây đã làm thay đổi bức tranh đó như thế nào. Như chúng ta thấy, có những bằng chứng chứng tỏ rằng, lý thuyết dây lại một lần nữa đặt ra giới hạn dưới cho các thang khoảng cách có thể tiếp cận về mặt vật lý. Nó tuyên bố rằng Vũ trụ không thể bị nén lại cho tới kích thước nhỏ hơn chiều dài Planck theo bất cứ chiều nào của nó.

Dựa trên những kinh nghiệm về lý thuyết dây mà bạn đã có được cho tới đây, bạn có thể đoán được điều đó đã xảy ra như thế nào. Sau nữa, bạn cũng có thể lý luận rằng, cho dù ta có xếp chồng bao nhiêu điểm, cũng tức là bao nhiêu các hạt điểm chồng lên nhau, thì thể tích tổng cộng của chúng cũng chỉ bằng không mà thôi. Trái lại, nếu các hạt thực sự là các dây, được ép lại với nhau theo một hướng hoàn toàn ngẫu nhiên, thì chúng cũng sẽ hình thành một cục có kích thước khác không, tựa như khi ép một quả bóng được bện bằng các mảnh cao su vậy. Nếu bạn đưa ra một lập luận như vậy, thì tức là bạn đã đi theo con đường đúng, Nhưng bạn còn bỏ sót nhiều đặc điểm quan trọng mà lý thuyết dây đã sử dụng một cách thật tinh tế để áp đặt một kích thước tiểu cục cho Vũ trụ. Chính những đặc điểm này đã làm nổi bật, một cách cụ thể, nội dung vật lý mới mẻ của các dây và tác động của nó đến hình học của không - thời gian.

Để giải thích những khía cạnh quan trọng đó, trước hết chúng ta hãy xét một ví dụ trong đó đã tước bỏ những chi tiết phụ Nhưng không làm mất đi nội dung vật lý mới. Thay vì xét tất cả 10 chiều không - thời gian của lý thuyết dây hoặc thậm chí cả bốn chiều không - thời gian quen thuộc, chúng ta hãy quay trở lại vũ trụ ống nước hai chiều mà ta đã xét ở chương 8 với mục đích để giải thích các phát minh của Kaluza và Klein trong những năm 1920. Bây giờ chúng ta sẽ dùng nói như một "sân chơi vũ trụ học" để khám phá những tính chất của lý thuyết dây trong một bối cảnh đơn giản. Chúng ta sẽ dùng những phát hiện đó để hiểu được rõ hơn tất cả những chiều không gian mà lý thuyết dây đòi hỏi. Để tiến tới mục đích đó, chúng ta hãy hình dung chiều cuộn tròn của vũ trụ ống nước ban đầu khá nhỏ và tròn trặn, Nhưng sau đó nó co lại ngày càng bé dần cho tới khi gần giống với Xứ sở Thẳng - một dạng đơn giản hóa của vụ co lớn.

Câu hỏi mà chúng ta cần trả lời là, những tính chất vật lý và hình học của sự co vũ trụ đó có những đặc điểm phân biệt được một cách rõ rệt giữa một vũ trụ dựa trên các dây và một vũ trụ dựa trên các hạt điểm hay không.

Sự quan tâm của chúng ta bây giờ là một sự khác biệt khác giữa chuyển động của một hạt điểm và chuyển động của dây, một sự khác biệt phụ thuộc trực tiếp vào hình dạng của không gian mà dây chuyển động qua...

•◎Điểm mới cơ bản

Để tìm ra một nội dung vật lý cơ bản mới của lý thuyết dây, chúng ta khỏi phải tìm kiếm đâu xa. Một hạt điểm chuyển động trong vũ trụ hai chiều đó có thể thực hiện các loại chuyển động như được minh họa trên hình 10.2: nó có thể chuyển động dọc theo chiều dài lớn của ống nước, theo phần uốn cong của nó hoặc một tổ hợp nào đó của cả hai. Một vòng dây cũng có thể chuyển động tương tự, chỉ có điều khác là nó vừa chuyển động vừa dao động trên bề mặt ống, như được minh họa trên hình 10.3a. Đây là sự khác biệt mà chúng ta đã thảo luận khá chi tiết ở trên: các dao động của dây phú cho nó các đặc trưng như khối lượng và các tích lực. Mặc dù đây là một khía cạnh hết sức quan trọng của lý thuyết dây, Nhưng hiện thời chúng ta không đề cập tới, vì chúng ta đã hiểu được những hệ quả vật lý của nó.

Hình 10.2. Các hạt điểm chuyển động trên mặt ống nước.

Hình 10.2. Các hạt điểm chuyển động trên mặt ống nước.

Sự quan tâm của chúng ta bây giờ là một sự khác biệt khác giữa chuyển động của một hạt điểm và chuyển động của dây, một sự khác biệt phụ thuộc trực tiếp vào hình dạng của không gian mà dây chuyển động qua. Vì đây là một đối tượng có quảng tính, nên còn có một cấu hình khác ngoài những cấu hình mà ta vừa nói ở trên: nó có thể quấn quanh phần tròn của vũ trụ ống nước, tựa như cái vòng dây để bắt ngựa (của những chàng cao bồi viễn tây nước Mỹ - ND), như được minh họa trên hình 10.3b. Dây luôn luôn có thể trượt và dao động, nhưng nó chỉ làm như vậy trong cấu hình mở rộng đó. Thực tế, dây có thể quấn quanh phần tròn của không gian bao nhiêu lần cũng được, như minh họa trên hình 10.3b và nó vẫn tiếp tục dao động. Khi dây ở trong cấu hình quấn như

vậy, ta nói rằng chuyển động của nó theo mode quấn. Rõ ràng là, chuyển động ở mode quấn là một khả năng riêng có của dây. Những hạt điểm không có mode chuyển động như vậy. Bây giờ chúng ta sẽ tìm hiểu sự liên quan của loại chuyển động mới về chất đó đối với bản thân các dây cũng như đối với những tính chất hình học của chiều mà nó quấn quanh.

Hình 10.3 Các dây có thể chuyển động trên mặt ống nước theo hai cách: theo cấu hình không quấn và cấu hình quấn quanh ống.

Hình 10.3 Các dây có thể chuyển động trên mặt ống nước theo hai cách: theo cấu hình không quấn và cấu hình quấn quanh ống.

Vật lý của các hạt dây quấn quanh

Trong những thảo luận ở trên về chuyển động của dây, ta đã tập trung xem xét các dây không quấn. Các dây quấn quanh một thành phần tròn của không gian cũng có hầu hết những tính chất như các dây mà chúng ta đã nghiên cứu. Cũng như các dây không quấn, dao động của các dây quấn cũng đóng góp một cách quan trọng cho những tính chất quan sát được của chúng. Sự khác biệt căn bản là ở chỗ, dây quấn có một khối lượng cực tiểu, được xác định bởi kích thước của chiều cuốn tròn và số lần quấn quanh chiều đó của dây. Còn chuyển động dao động của dây xác định phần khối lượng dôi thêm của cực tiểu đó.

Hiểu được nguồn gốc của khối lượng cực tiểu này không phải là việc khó lắm. Một dây cuốn có chiều dài cực tiểu xác định bởi chu vi của chiều tròn mà nó quấn quanh và số lần quấn của dây. Chiều dài cực tiểu của dây xác định khối lượng cực tiểu của nó: dây càng dài, khối lượng của nó càng lớn, vì có nhiều "dây" hơn. Vì chu vi của vòng tròn tỷ lệ với bán kính của nó, nên khối lượng của mode quấn tỷ lệ với bán kính của vòng tròn được quấn. Dùng hệ thức Einstein E=mc2 liên hệ khối lượng với năng lượng, ta có thể nói rằng năng lượng liên kết trong một dây quấn tỷ lệ với bán kính của chiều cuộn tròn. (Các dây không quấn cũng có một chiều dài cực tiểu nhỏ xíu, vì nếu không, chúng ta sẽ lại quay trở về vương quốc của các hạt điểm mất. Chính lập luận này dẫn đến kết luận rằng, các dây không quấn cũng có một khối lượng cực tiểu khác không. Theo một nghĩa nào đó thì điều này đúng, Nhưng những hiệu ứng lượng tử mà ta đã gặp trong chương 6 - hãy nhớ lại trò chơi đúng giá - có thể sẽ triệt tiêu hoàn toàn đóng góp đó đối với khối lượng. Điều

này giải thích tại sao các dây không quấn có thể sinh ra các hạt có khối lượng bằng không như photon, graviton và các hạt khác có khối lượng bằng không hoặc gần bằng không. Về phương diện đó, những dây quấn là hoàn toàn khác).

Nhưng sự tồn tại của các cấu hình dây quấn ảnh hưởng tới những tính chất hình học của chiều mà dây quấn quanh như thế nào? Câu trả lời đã được mô tả lần đầu tiên vào năm 1984 bởi hai nhà vật lý Nhật Bản Keiji Kikkawa và Masami Yamasaki, một câu trả lời vừa bí ẩn vừa độc đáo.

Ta hãy xét những giai đoạn tai biến cuối cùng trong vụ co lớn của vũ trụ ống nước. Vì bán kính của chiều cuộn tròn có dẫn tới chiều dài Planck và trong các khuôn của thuyết tương đối rộng, nó tiếp tục co tới những chiều dài còn nhỏ hơn nữa, Nhưng lý thuyết dây đã giải thích lại điều đó một cách triệt để. Lý thuyết dây này đòi hỏi rằng tất cả các quá trình vật lý trong vũ trụ ống nước, trong đó bán kính của chiều cuộn tròn nhỏ hơn chiều dài Planck và tiếp tục giảm hơn nữa là hoàn toàn đồng nhất với các quá trình vật lý trong đó chiều cuộn tròn lại lớn hơn chiều dài Planck và đang tăng! Điều này có nghĩa là mỗi khi cuộn tròn định co lại vượt qua chiều dài Planck và tiến tới kích thước nhỏ hơn nữa, thì đều bị lý thuyết dây làm vô hiệu hóa, tức là lý thuyết dây làm đảo ngược tình hình nhờ vào hình học. Sự tiến hóa này có thể được giải thích lại một cách chính xác hơn theo những nguyên lý của lý thuyết dây: chiều cuộn tròn co lại tới chiều dài Planck rồi lại bắt đầu giãn ra. Lý thuyết dây đã viết lại các định luật của hình học ở những khoảng cách ngắn sao cho cái mà trước đây là sự co hoàn toàn của vũ trụ thì bây giờ lại là sự nảy bật trở lại của vũ trụ. Chiều cuộn tròn có thể co tới chiều dài Planck. Nhưng vì các mode quấn, nên mọi ý định co nhỏ hơn nữa lại thực sự dẫn tới giãn nở. Chúng ta hãy xét xem tại sao lại như vậy.

Điều này giải thích tại sao lý thuyết dây lại đưa ra một tuyên bố khá lạ lùng là: hoàn toàn không có sự phân biệt giữa một ống nước "béo" và một ống nước "gầy".

•◎Phổ các trạng thái của dây *

Khả năng mới có các cấu hình dây quấn ngụ ý rằng năng lượng của dây có từ hai nguồn: năng lượng của chuyển động dao động và năng lượng quấn. Nhờ Kalza và Klein chúng ta biết rằng cả hai loại năng lượng đó đều phụ thuộc vào hình học của ống nước, tức là phụ thuộc vào bán

kính của thành phần cuộn tròn lại của nó, nhưng đây là đặc thù phân biệt của các dây vì các hạt điểm không thể quấn quanh các chiều được. Do vậy, nhiệm vụ đầu tiên của chúng ta là phải xác định một cách chính xác sự phụ thuộc của năng lượng dao động và năng lượng quấn vào kích thước của chiều cuộn tròn. Để làm điều đó, sẽ rất thuận tiện, nếu chúng ta tách chuyển động dao động của dây thành hai loại: đều và bình thường. Dao động bình thường là loại dao động mà ta đã thảo luận nhiều lần ở các chương trước, chẳng hạn như những dao động được minh họa trên hình 6.2; còn dao động đều là loại dao động thậm chí còn đơn giản hơn: đó là chuyển động toàn thể của dây khi trượt từ vị trí này sang vị trí khác mà không thay đổi hình dạng của nó. Toàn bộ dao động của dây là tổ hợp của chuyển động trượt và chuyển động dao động, tức là tổ hợp của dao động đều và dao động bình thường, Nhưng để cho sự thảo luận ở đây được dễ dàng hơn, ta mới tách chúng thành hai loại như vậy. Thực tế, những dao động bình thường không đóng vai trò quan trọng lập luận của chúng ta ở đây, do đó chúng ta sẽ kể đến đóng góp của chúng khi đã trình bày xong xuôi phần cơ bản trong lập luận của chúng ta.

Có hai nhận xét quan trọng. Thứ nhất, những kích thích dao động đều của dây có năng lượng tỷ lệ nghịch với bán kính của chiều cuộn tròn. Đây là hệ quả trực tiếp của nguyên lý bất định trong cơ học lượng tử: bán kính càng nhỏ càng giới hạn chặt hơn đối với dây và do đó thông qua chứng sợ hãi bị nhốt chặt, lượng năng lượng trong chuyển động vùng vẫy của nó tăng lên. Như vậy, khi bán kính của chiều cuộn tròn giảm, thì năng lượng chuyển động của dây nhất thiết phải tăng - một dấu hiệu đặc trưng của tính tỷ lệ nghịch. Thứ hai, như ta đã thấy trong mục trước, năng lượng của mode quấn lại tỷ lệ thuận, chứ không phải nghịch với bán kính đó là bởi vì chiều dài cực tiểu của dây cuốn và do đó năng lượng cực tiểu của nó tỷ lệ thuận với bán kính. Hai nhận xét trên xác lập rằng, những giá trị lớn của bán kính sẽ kéo theo năng lượng quấn lớn và năng lượng dao động nhỏ, trong khi đó những giá trị nhỏ của bán kính kéo theo năng lượng quấn nhỏ và năng lượng dao động lớn.

Điều này dẫn chúng ta tới một sự kiện then chốt: đối với bất kỳ bán kính tròn lớn nào của vũ trụ ống nước đều có một bán kính nhỏ tương ứng, tại đó năng lượng quấn của dây trong vũ trụ trước (tức vũ trụ có bán kính lớn) đúng bằng với năng lượng dao động trong vũ trụ sau (tức

vũ trụ có bán kính nhỏ) và năng lượng dao động trong vũ trụ trước đúng bằng năng lượng quấn của dây trong vũ trụ sau. Vì các tính chất vật lý chỉ phụ thuộc vào năng lượng toàn phần của cấu hình dây, chứ không phụ thuộc gì vào sự phân chia giữa năng lượng dao động và năng lượng quấn của dây như thế nào, nên đối với vũ trụ ống nước không có sự phân biệt nào về vật lý giữa những dạng khác nhau về hình học đó. Điều này giải thích tại sao lý thuyết dây lại đưa ra một tuyên bố khá lạ lùng là: hoàn toàn không có sự phân biệt giữa một ống nước "béo" và một ống nước "gầy".

Đây là cách tự vệ của vũ trụ, giống như bạn, một nhà đầu tư sừng sỏ, phải đối mặt với bài toán hóc búa sau. Hãy hình dung người ta nói với bạn rằng, thị giá chứng khoán của hai công ty, chẳng hạn công ty chế tạo máy tập chạy trong nhà và công ty bán máy co bóp cơ tim có quan hệ gắn bó với nhau. Vào lúc đóng cửa giao dịch ngày hôm nay, giá mỗi cổ phiếu của cả hai công ty là 1 đô la và một nguồn tin thông thạo tiết lộ với bạn rằng nếu cổ phiếu của công ty này tăng thì của công ty kia sẽ giảm và ngược lại. Hơn nữa, nguồn tin hoàn toàn đáng tin cậy của bạn (những thông tin của người đó vẫn nằm trong giới hạn của luật pháp) còn tiết lộ rằng, giá vào lúc đóng cửa của phiên giao dịch ngày mai chắc chắn sẽ là nghịch đảo của nhau. Cụ thể là, nếu vào lúc đóng cửa phiên giao dịch, giá một cổ phiếu của một công ty là 2 đô la thì giá một cổ phiếu của công ty kia là 1/2 đô la (50 cent), còn nếu giá một cổ phiếu của công ty này là 10 đô la thì một cổ phiếu của công ty kia là 1/10 đôla (10 cent) v.v. Nhưng có một điều mà nguồn tin của bạn không thể tiết lộ, đó là giá cổ phiếu nào tăng và cổ phiếu nào giảm. Bạn sẽ làm gì bây giờ?

Thế thì, bạn phải đầu tư ngay lập tức toàn bộ tiền bạc của bạn vào thị trường chứng khoán bằng cách chia đều cho cổ phần của hai công ty. Bằng cách tính cho một số ví dụ cụ thể, bạn dễ dàng thấy rằng bất kể điều gì xảy ra ngay hôm sau, sự đầu tư của bạn cũng không bao giờ bị thua lỗ cả. Trong trường hợp xấu nhất thì bạn vẫn giữ nguyên được vốn (nếu kết thúc phiên giao dịch ngày hôm sau giá một cổ phiếu của cả hai công ty đều là 1 đôla), Nhưng khi có bất cứ biến động nào về giá cổ phiếu (phù hợp với nguồn tin cung cấp) thì bạn đều chắc chắn có lãi. Ví dụ, nếu giá mỗi cổ phiếu của công ty chế tạo máy tập chạy là 4 đôla và của công ty bán máy co bóp tim là 1/4 đôla (25 cent) thì giá tổng cộng là 4,25 đôla (đối với mỗi cặp cổ phiếu), như vậy so với giá 2 đôla của ngày hôm trước, bạn đã lãi 2,25 đôla đối với mỗi cặp cổ phiếu. Hơn thế nữa,

trên quan điểm lợi nhuận thuần túy, việc giá cổ phiếu công ty nào tăng, công ty nào giảm hoàn toàn không có giá trị gì đối với bạn. Nếu bạn chỉ quan tâm tới tổng số tiền thì hai trường hợp khác biệt đó là chẳng có gì phân biệt về mặt tài chính cả.

Tình hình trong lý thuyết dây cũng tương tự theo nghĩa, năng lượng trong các cấu hình của dây có hai nguồn: dao động và quấn, với sự đóng góp vào năng lượng toàn phần nói chung là khác nhau. Nhưng, một số các cặp tình huống hình học khác nhau - dẫn tới năng lượng quấn cao /năng lượng dao động thấp hoặc năng lượng quấn thấp /năng lượng dao động cao - là không thể phân biệt về mặt địa lý. Nhưng khác với ví dụ về đầu tư ra, người ta vẫn phân biệt được diễn tiến của hai loại cổ phiếu, còn trong trường hợp các dây, người ta tuyệt nhiên không có một phương tiện nào để phân biệt được cặp tình huống mà ta nói ở trên.

Thực tế, để làm cho sự tương tự với lý thuyết dây sát hơn nữa, ta hãy xem điều gì sẽ xảy ra nếu ta không chia đều số tiền đầu tư ban đầu cho cổ phiếu của hai công ty, mà mua chẳng hạn 1000 cổ phiếu của công ty chế tạo máy tập chạy và 3000 cổ phiếu của công ty bán máy co bóp cơ tim. Bây giờ tổng giá trị đầu tư của bạn phụ thuộc vào chuyện giá cổ phiếu của công ty nào tăng và công ty nào giảm. Ví dụ, giá cổ phiếu vào lúc đóng cửa phiên giao dịch là 10 đôla (máy tập chạy) và 10 cent (máy co bóp cơ tim) thì vốn đầu tư 4000 đôla ban đầu của bạn bây giờ trị giá 10.300 đôla. Còn nếu xảy ra tình huống ngược lại, tức giá cổ phiếu vào lúc đóng cửa phiên giao dịch là 10 cent (máy tập chạy) và 10 đôla (máy co bóp cơ tim) thì tổng trị giá số cổ phiếu của bạn bây giờ là 30.100 đôla, nghĩa là lớn hơn rất nhiều.

Tuy nhiên, quan hệ tỷ lệ nghịch của giá hai loại cổ phiếu đảm bảo cho ta điều sau đây. Nếu một người bạn của bạn đầu tư hoàn toàn "ngược" với bạn, tức là mua 3000 cổ phiếu của công ty chế tạo máy tập chạy và 1000 cổ phiếu của công ty bán máy co bóp cơ tim, thì tổng giá trị cổ phiếu của người đó sẽ là 10.300 đôla nếu giá cổ phiếu máy co bóp cơ tim cao và giá cổ phiếu máy tập chạy thấp (hệt như tổng giá trị cổ phiếu của bạn khi máy tập chạy cao/máy bóp cơ tim thấp) và có tổng giá trị bằng 30.100 đôla nếu giá cổ phiếu máy tập chạy cao và giá cổ phiếu của máy co bóp cơ tim thấp (lại hệt như tổng giá trị cổ phiếu của bạn trong tình huống ngược lại). Điều này có nghĩa là, trên quan điểm tổng giá trị cổ phiếu, việc hoán vị các cổ phiếu cao và thấp được bù trừ chính xác bởi việc

hoán vị số cổ phiếu mà bạn mua của mỗi công ty.

Hãy ghi nhớ nhận xét cuối cùng đó trong đầu, và chúng ta quay trở lại với lý thuyết dây. Ta sẽ xét các năng lượng khả dĩ của dây trong một ví dụ cụ thể. Giả thử bán kính của chiều cuộn tròn trong vũ trụ ống nước lớn gấp 10 lần chiều dài Planck. Ta quy ước viết giả thiết đó là R=10. Một dây có thể quấn quanh chiều đó một, hai, ba ...lần. Số lần dây quấn quanh chiều cuộn tròn gọi là số vòng của nó. Năng lượng ứng với sự quấn này, như đã nói, được xác định bởi chiều dài của dây cuốn, do đó tỷ lệ với tích số của bán kính và số vòng. Ngoài ra, đối với bất kỳ số vòng quấn nào, dây cũng còn thực hiện cả dao động nữa. Vì những dao động đều mà ta đang tập trung xem xét lại có năng lượng tỷ lệ nghịch với bán kính, nên những năng lượng này tỷ lệ với bội số nguyên của nghịch đảo bán kính (tức 1/R) mà trong trường hợp này bằng một phần mười chiều dài Planck. Chúng ta sẽ gọi bội số nguyên này là số dao động. [1]

Như bạn đã thấy tình huống này rất giống với trường hợp mà ta đã gặp trong ví dụ về đầu tư chứng khoán, trong đó số vòng quấn và số dao động tương tự như số cổ phiếu mà bạn đã mua của mỗi công ty, còn R và 1/R tương tự với giá của mỗi loại cổ phiếu. Dựa vào số cổ phần bạn mua của mỗi công ty và giá của mỗi loại cổ phiếu, bạn dễ dàng tính được tổng giá trị các cổ phiếu của bạn, tương tự như vậy bây giờ bạn cũng dễ dàng tính được năng lượng toàn phần của dây qua số dao động, số vòng quấn và bán kính R. Trong bảng 10.1 chúng tôi liệt kê một phần những năng lượng toàn phần đó đối với các cấu hình dây khác nhau trong vũ trụ ống nước với R = 10, trong đó mỗi cấu hình được đặc trưng bởi số vòng quấn và số dao động.

Một bảng liệt kê đầy đủ sẽ phải kéo dài vô hạn, vì số vòng quấn và số dao động có thể lấy các giá trị nguyên tùy ý, tuy nhiên, phần đại diện của nó trong bảng 10.1 cũng đã đủ cho sự thảo luận của chúng ta. Từ bảng 10.1 và những nhận xét ở trên chúng ta thấy rằng, ở đây chúng ta đang xét tình huống năng lượng quấn cao/năng lượng dao động thấp, trong đó năng lượng quấn là bội của 10 còn năng lượng dao động là bội của 1/10.

Số dao động◎Số vòng quấn◎Năng lượng toàn phần

1◎1◎1/10 + 10 = 10,1

1◎2◎1/10 + 20 = 20,1

1◎3◎1/10 + 30 = 30,1

1◎4◎1/10 + 40 = 40,1

2◎1◎2/10 + 10 = 10,2

2◎2◎2/10 + 20 = 20,2

2◎3◎2/10 + 30 = 30,2

2◎4◎2/10 + 40 = 40,2

3◎1◎3/10 + 10 = 10,3

3◎2◎3/10 + 20 = 20,3

3◎3◎3/10 + 30 = 303

3◎4◎3/10 + 40 = 40,3

4◎1◎4/10 + 10 = 10,4

4◎2◎4/10 + 20 = 20,4

4◎3◎4/10 + 30 = 30,4

4◎4◎4/10 + 40 = 40,4

Bảng 10.1. Một số cấu hình dao động và quấn của dây chuyển động trong vũ trụ trên hình 10.3 với bán kính R = 10. Năng lượng dao động là bội số của 1/10 và năng lượng quấn là bội của 10 cho năng lượng toàn phần được kê ở cột 3. Đơn vị năng lượng ở đây là năng lượng Planck. Ví dụ giá trị 10,1 ở cột cuối cùng có nghĩa là 10,1 lần năng lượng Planck.

Bây giờ hãy hình dung rằng bán kính của chiều cuộn tròn bị co lại, ví dụ từ 10 xuống 9,2, xuống 7,1 rồi xuống tới 3,4; 2,2; 1,1; 0,7 và cứ như vậy xuống tới 0,1 (1/10) và đối với sự thảo luận của ta ở đây, đến đó là dừng lại. Trong dạng khác biệt về mặt hình học này của vũ trụ ống nước, ta có thể lập một bảng tương tự của năng lượng dây; năng lượng quấn bây giờ là bội số của 1/10 trong khi đó năng lượng dao động lại là bội số của 10. Kết quả được liệt kê trong bảng 10.2

Số dao động◎Số vòng quấn◎Năng lượng toàn phần

1◎1◎10 + 1/10 = 10,1

1◎2◎10 + 2/10 = 10,2

1◎3◎10 + 3/10 = 10,3

1◎4◎10 + 4/10 = 10,4

2◎1◎20 + 1/10 = 20,1

2◎2◎20 + 2/10 = 20,2

2◎3◎20 + 3/10 = 20,3

2◎4◎20 + 4/10 = 20,4

3◎1◎30 + 1/10 = 30,1

3◎2◎30 + 2/10 = 30,2

3◎3◎30 + 3/10 = 30,3

3◎4◎30 + 4/10 = 30,4

4◎1◎40 + 1/10 = 40,1

4◎2◎40 + 2/10 = 40,2

4◎3◎40 + 3/10 = 40,3

4◎4◎40 + 4/10 = 40,4

Bảng 10.2. Như bảng 10.1, chỉ có một điều khác là bán kính bây giờ bằng 1/10

Thoạt nhìn, hai bảng có vẻ như hoàn toàn giống nhau. Nhưng xem xét kỹ lưỡng hơn, ta sẽ phát hiện ra rằng, mặc dù được sắp xếp theo thứ tự giống nhau, nhưng cột "năng lượng toàn phần" của cả hai bảng có các mục hoàn toàn như nhau. Để tìm một mục tương ứng trong bảng 10.2 đối với một mục cho trước trong bảng 10.1, ta chỉ cần hoán vị số vòng quấn và số dao động. Điều này có nghĩa là, những đóng góp của dao động và quấn có vai trò bổ sung cho nhau khi bán kính chiều cuộn tròn thay đổi từ 10 thành 1/10. Và như vậy, chừng nào ta chỉ quan tâm tới

năng lượng toàn phần thì hoàn toàn không có sự phân biệt giữa các kích thước khác nhau đó của chiều cuộn tròn. Ta đã biết, sự hoán vị của giá máy tập chạy cao /máy co bóp cơ tim thấp và giá máy tập chạy thấp /giá máy co bóp cơ tim cao được bù trừ chính xác bởi sự hoán vị của số cổ phần mà bạn đã mua của mỗi công ty, tương tự như vậy, sự hoán vị giữa bán kính 10 và bán kính 1/10 cũng được bù trừ chính xác bởi sự hoán vị giữa số dao động và số vòng quấn. Hơn thế nữa, đơn giản ta chỉ tập trung xét bán kính ban đầu R = 10 và nghịch đảo của nó là 1/10, tuy nhiên kết luận mà ta vừa rút ra ở trên vẫn còn đúng đối với sự lựa chọn bán kính bất kỳ và nghịch đảo của nó.

Các bảng 10.1 và 10.2 còn chưa đầy đủ do hai nguyên nhân sau. Thứ nhất, chúng ta chỉ mới liệt kê một số ít trong số vô hạn khả năng đối với số vòng quấn và số dao động mà dây có thể có. Tất nhiên, điều này không đặt ra vấn đề gì miễn là bạn đủ kiên nhẫn lập các bảng dài bao nhiêu cũng được và bạn sẽ thấy rằng mối quan hệ giữa hai bảng đó vẫn không thay đổi. Thứ hai, ngoài năng lượng quấn ra, cho tới đây ta mới chỉ xét tới những đóng góp năng lượng từ chuyển động dao động đều của dây. Bây giờ chúng ta phải tính tới cả năng lượng dao động thường nữa, vì chúng cũng có đóng góp vào năng lượng toàn phần và xác định các tích lực mà dây mang. Tuy nhiên, có một điểm quan trọng là, những nghiên cứu phát hiện ra rằng, các đóng góp đó không phụ thuộc vào bán kính của chiều bị cuộn lại. Như vậy, ngay cả nếu chúng ta có gộp thêm những đặc điểm chi tiết hơn vào các bảng 10.1 và 10.2, thì các bảng đó vẫn tương ứng chính xác với nhau như trước vì những đóng góp của các dao động bình thường ảnh hưởng hoàn toàn như nhau đối với cả hai bảng. Do đó, chúng ta có thể kết luận rằng, khối lượng và diện tích của các hạt trong vũ trụ ống nước với bán kính R và vũ trụ ống nước có bán kính 1/R là hoàn toàn đồng nhất với nhau. Và vì các khối lượng và tích cực này chi phối vật lý cơ bản, nên không có cách nào phân biệt được về mặt vật lý hai vũ trụ có dạng hình học khác nhau đó. Một thí nghiệm được thực hiện trong vũ trụ này sẽ có một thí nghiệm tương ứng trong vũ trụ kia và đều dẫn tới cùng một kết quả hoàn toàn như nhau.

(*) Một số ý tưởng trong mục này và ít mục tiếp theo là khá tinh tế, vì vậy bạn đọc có thể bỏ qua trong lần đọc đầu tiên mà vẫn không ảnh hưởng gì tới logic trình bày.

[1] Trong trường hợp bạn còn băn khoăn không hiểu tại sao năng lượng dao động đều khả dĩ là bội số nguyên của 1/R, bạn chỉ cần xem lại phần thảo luận về cơ học lượng tử - đặc biệt là ví dụ về cái nhà kho – ở chương 4. ở đó chúng ta biết rằng,một trong những hệ quả của cơ học lượng tử, đó là năng lượng, cũng giống như tiền, gồm những bó gián đoạn, tức là bội số nguyên của những mệnh giá năng lượng khác nhau. Đối với trường hợp chuyển động dao động đều trong vũ trụ ống nước, mệnh giá năng lượng này đúng bằng 1/R, đúng như chúng ta đã chứng minh bằng cách dùng nguyên lý bất định.

George và Gracie, sau khi bị ép phẳng thành sinh vật hai chiều và sinh sống trong vũ trụ ống nước với tư cách là hai giáo sư vật lý. Sau khi đã lắp đặt hai phòng thí nghiệm cạnh tranh nhau, mỗi người đều tuyên bố rằng mình đã xác định được kích thước của chiều cuộn tròn lại...

•◎Một cuộc tranh luận

George và Gracie, sau khi bị ép phẳng thành sinh vật hai chiều và sinh sống trong vũ trụ ống nước với tư cách là hai giáo sư vật lý. Sau khi đã lắp đặt hai phòng thí nghiệm cạnh tranh nhau, mỗi người đều tuyên bố rằng mình đã xác định được kích thước của chiều cuộn tròn lại. Thật là ngạc nhiên, mặc dù cả hai người đều nổi tiếng tiến hành những nghiên cứu thực nghiệm với độ chính xác rất cao, nhưng những kết quả của họ lại không phù hợp với nhau. George tuyên bố rằng bán kính của chiều cuộn tròn là R = 10 lần chiều dài Planck, còn Gracie lại tuyên bố rằng bán kính đó là R = 1/10 chiều dài Planck.

“Này Gracie, - George nói - dựa trên những tính toán của tôi theo lý thuyết dây, tôi biết rằng nếu chiều cuộn tròn có bán kính là 10, thì tôi hy vọng sẽ thấy các dây có năng lượng được liệt kê trong bảng 10.1. Tôi đã tiến hành những thí nghiệm rất quy mô trên máy gia tốc mới trong vùng năng lượng Planck và kết quả cho thấy rằng những tiên đoán của tôi đã được xác nhận một cách chính xác. Do đó, tôi khẳng định một cách chắc chắn rằng chiều cuộn tròn có bán kính R = 10”. Để bảo vệ ý kiến của mình, Gracie cũng đưa ra những nhận xét hệt như vậy, chỉ có điều kết luận của cô bây giờ lại là: bán kính chiều cuộn tròn là R = 1/10, nên bản liệt kê năng lượng sẽ như trong bảng 10.2.

Tuy nhiên, trong khoảnh khắc loé sáng, Gracie chỉ cho George thấy rằng hai bảng thoạt nhìn là khác nhau, nhưng thực chất là đồng nhất với

nhau. Bây giờ, George, người xưa nay vốn không nhanh nhạy bằng Gracie, đáp: "Làm sao lại có thể thế nhỉ? Tôi biết quá rõ ràng, do cơ học lượng tử và những tính chất của các dây cuốn, những giá trị khác nhau của bán kính phải dẫn tới những giá trị khả dĩ khác nhau với năng lượng và các tích lực của dây. Và nếu như chúng ta nhận được các giá trị đó như nhau thì lẽ ra bán kính mà chúng ta thu được phải như nhau mới phải chứ".

Sử dụng phát minh mới toanh của mình trong lý thuyết dây, Gracie đáp: "Điều anh nói chỉ gần đúng thôi chứ không đúng hoàn toàn. Thường thì đúng là những giá trị khác nhau của bán kính sẽ cho những năng lượng khác nhau. Tuy nhiên, trong trường hợp đặc biệt khi các giá trị của bán kính là nghịch đảo của nhau, chẳng hạn như 10 và 1/10, thì năng lượng và tích lực trong hai trường hợp đó là hoàn toàn như nhau. Như anh thấy đấy, cái mà anh gọi là mode quấn thì tôi gọi là mode dao động và cái anh gọi là mode dao động thì tôi lại gọi là mode cuốn. Nhưng tự nhiên không mấy quan tâm về ngôn ngữ mà chúng ta dùng. Thực tế, vật lý được chi phối bởi các tính chất của những thành phần cơ bản, đó là khối lượng (cũng tức là năng lượng) và tích lực của các hạt. Và dù cho bán kính là R hay 1/R thì bản liệt kê những tính chất đó đói với các thành phần cơ bản đều là như nhau".

Hiểu ra vấn đề, George đáp: "Tôi nghĩ là mình đã hiểu. Mặc dù sự mô tả chi tiết các dây của chị và tôi có thể khác nhau, nhưng bản liệt kê đầy đủ các đặc trưng vật lý mà chúng thể hiện là hoàn toàn như nhau. Do đó, vì các tính chất vật lý của vũ trụ phụ thuộc vào các đặc trưng của các thành phần cơ bản, nên không có sự phân biệt cũng như không có cách nào để phân biệt giữa các bán kính có giá trị là nghịch đảo của nhau". Đúng là như vậy.

Các chiều rộng lớn quen thuộc cũng rất có thể có dạng hình tròn và vì thế cũng sẽ tuân theo quy luật về sự đồng nhất trên phương diện vật lý của các bán kính R và 1/R của lý thuyết dây...

•◎Ba câu hỏi

Đến đây, bạn có thể nói: "Nếu như tôi là một cư dân nhỏ xíu trong vũ trụ ống nước, tôi có thể dùng thước dây để đo chu vi của ống và do đó tôi xác định được một cách chính xác bán kính của nó, chứ không có nếu, hay và nhưng gì hết. Khi đó, câu chuyện về hai khả năng không thể

phân biệt với hai bán kính khác nhau còn có nghĩa lý gì? Hơn thế nữa, nếu như lý thuyết dây không cho phép chúng ta vượt qua ranh giới những khoảng cách nhỏ hơn chiều dài Planck, thì tại sao chúng ta lại nói về những chiều cuộn tròn có bán kính thậm chí chỉ bằng một phần của chiều dài Planck? Và cuối cùng, chừng nào chúng ta còn ở đó, thì chúng ta là những người thực sự quan tâm về vũ trụ ống nước hai chiều, nhưng tất cả những điều đó sẽ tổ hợp thành cái gì khi chúng ta kể đến tất cả các chiều?

Ta hãy bắt đầu với câu hỏi cuối cùng, vì câu trả lời cho nó buộc chúng ta phải đối mặt với hai câu hỏi đầu tiên.

Mặc dù sự thảo luận của chúng ta chỉ đề cập tới vũ trụ ống nước hai chiều, nhưng việc chúng ta tự giới hạn trong một chiều lớn và một chiều cuộn lại như vậy chỉ thuần túy để cho sự trình bày được đơn giản. Nếu chúng ta có ba chiều (trường hợp sau là đơn giản nhất trong số các không gian Calabi-Yau), thì kết luận nói trên vẫn còn hoàn toàn đúng. Nghĩa là mỗi một vòng tròn có một bán kính mà nếu ta thay nó bằng nghịch đảo của nó thì ta sẽ nhận được một vũ trụ hoàn toàn như trước về mặt vật lý.

Chúng ta thậm chí có thể đẩy kết luận này tiến thêm một bước khổng lồ nữa. Trong vũ trụ của chúng ta, chúng ta quan sát thấy ba chiều không gian và theo những quan sát thiên văn thì mỗi chiều đó lớn tới 15 tỷ năm ánh sáng (một năm ánh sáng bằng khoảng chục ngàn tỷ kilômét, nên khoảng cách trên tương đương với cỡ một trăm năm mươi năm ngàn tỷ tỷ kilômét). Như đã nói trong chương 8, chúng ta không biết điều gì xảy ra ở ngoài khoảng cách đó. Chúng ta cũng không biết các chiều đó có kéo dài ra mãi không hay là chúng sẽ cuộn lại thành một vòng tròn khổng lồ, ở ngoài phạm vi quan sát của các kính thiên văn hiện đại nhất. Nếu điều sau là đúng, thì một nhà du hành trong không gian cứ đi theo một hướng cố định, cuối cùng sẽ quay trở lại điểm xuất phát, giống như Magellan đi vòng quanh Trái đất.

Do đó, các chiều rộng lớn quen thuộc cũng rất có thể có dạng hình tròn và vì thế cũng sẽ tuân theo quy luật về sự đồng nhất trên phương diện vật lý của các bán kính R và 1/R của lý thuyết dây. Để có một ý niệm đại khái về các con số, giả thử rằng các chiều quen thuộc có dạng hình tròn với bán kính bằng 15 tỷ năm ánh sáng tức là gấp 1061 lần chiều dài Planck và còn tiếp tục tăng lên theo sự giãn nở của vũ trụ. Nếu lý thuyết

dây là đúng, thì tình huống này hoàn toàn đồng nhất về mặt vật lý với tình huống trong đó các chiều quen thuộc là tròn và có bán kính nhỏ không thể tưởng tượng nổi cỡ 1/R = 1/1061 = 10-61 lần chiều dài Planck. Đây là những chiều quá quen thuộc với chúng ta nhưng trong một cách mô tả khác do lý thuyết dây cung cấp. Thực tế, nói theo ngôn ngữ nghịch đảo này, thì những vòng tròn nhỏ bé đó ngày càng nhỏ dần theo thời gian, vì khi R tăng, 1/R giảm. Và ở đây, dường như chúng ta đã vượt quá mọi giới hạn. Làm thế nào mà điều đó có thể đúng được? Làm sao mà một người cao 1m70 lại có thể "sống" được trong một vũ trụ tí hon như vậy? Làm thế nào mà một hạt cát trong vũ trụ lại có thể đồng nhất về mặt vật lý với khoảng bao la mà chúng ta thấy trên đầu? Ngoài ra, chúng ta còn buộc phải dẫn đến câu hỏi thứ hai trong ba câu hỏi nêu ở trên: đó là, lý thuyết dây được coi như đã loại bỏ khả năng thăm dò tới những khoảng cách nhỏ hơn chiều dài Planck. Thế nhưng, nếu như chiều cuộn tròn có bán kính R lớn hơn chiều dài Planck, thì nghịch đảo 1/R của nó nhất thiết phải là một phần của chiều dài Planck. Vậy thì trong trường hợp này điều gì sẽ xảy ra? Câu trả lời ở đây liên quan cả với câu hỏi thứ nhất - sẽ làm sáng tỏ một khía cạnh quan trọng và tinh tế của không gian và khoảng cách.

Theo các cấu hình nhẹ của dây thì vũ trụ là lớn và đang giãn nở, còn theo các cấu hình nặng thì vũ trụ cực nhỏ và đang co lại. Không hề có mâu thuẫn nào ở đây cả, đơn giản chỉ vì chúng ta có hai định nghĩa khác nhau nhưng đều có nghĩa như nhau về khoảng cách mà thôi...

•◎Hai khái niệm có liên quan về khoảng cách trong lý thuyết dây

Khoảng cách là một khái niệm cơ bản trong việc tìm hiểu thế giới của chúng ta, cơ bản tới mức người ta dễ đánh giá thấp độ sâu tinh tế của nó. Với sự tác động đáng kinh ngạc của thuyết tương đối hẹp và thuyết tương đối rộng đến những quan niệm của chúng ta về không gian và thời gian, cùng với những đặc điểm mới xuất hiện từ lý thuyết dây, chúng ta cần phải thận trọng hơn ngay cả việc định nghĩa về khoảng cách. Trong vật lý, những định nghĩa có ý nghĩa nhất là những định nghĩa có tính chất thao tác, tức là những định nghĩa có cung cấp một phương tiện, ít nhất là về nguyên tắc, để đo được bất cứ cái gì mà ta muốn định nghĩa. Xét đến cùng, bất kể khái niệm trừu tượng đến mức nào, việc có một định nghĩa có tính chất thao tác sẽ cho phép chúng ta quy ý nghĩa của nó về một quy trình thực nghiệm để đo giá trị của nó.

Nhưng làm thế nào có thể cho khái niệm khoảng cách một định nghĩa có tính chất thao tác? Câu trả lời trong bối cảnh của lý thuyết dây cho câu hỏi này khá là bất ngờ. Năm 1988, hai nhà vật lý là Robert Brandenberger thuộc Đại học Brown và Cumrun Vafa thuộc Đại học Harvard đã chỉ ra rằng nếu một hình dạng của chiều là tròn thì có hai định nghĩa có tính chất thao tác của khoảng cách, hai định nghĩa này khác nhau nhưng có quan hệ với nhau. Mỗi định nghĩa đó dẫn tới một quy trình thực nghiệm khác nhau để đo khoảng cách và nói một cách nôm na, quy trình này dựa trên một nguyên lý đơn giản là: nếu đối tượng sơ cấp dùng để đo chuyển động với vận tốc cố định và biết trước, thì chúng ta có thể đo được khoảng cách đã cho bằng cách xác định thời gian để đối tượng ấy đi hết khoảng cách đó. Sự khác nhau giữa hai quy trình này là ở việc chọn đối tượng sơ cấp mà ta vừa nói. Định nghĩa thứ nhất đùng các dây không quấn quanh chiều tròn, trong khi đó định nghĩa thứ hai dùng các dây quấn quanh chiều đó. Chúng ta thấy rằng chính bản chất có quảng tính của đối tượng sơ cấp dùng để đo đã dẫn tới hai định nghĩa tự nhiên có tính thao tác về khoảng cách trong lý thuyết dây. Trong lý thuyết dựa trên các hạt điểm, do không có khái niệm quấn, nên chỉ có một định nghĩa có tính thao tác về khoảng cách.

Nhưng tại sao kết quả của các quy trình do đó lại khác nhau? Câu trả lời mà Bradenberger và Vafa tìm ra vừa thật bất ngờ vừa hết sức tinh tế. Sử dụng nguyên lý bất định ta có thể hiểu được đại khái ý tưởng phía sau kết quả này. Những dây không cuốn có thể chuyển động tự do và thăm dò được toàn bộ chu vi của vòng tròn có chiều dài tỷ lệ với bán kính R. Do nguyên lý bất định, năng lượng của chúng lại tỷ lệ với 1/R (hãy nhớ lại mối quan hệ giữa năng lượng của đối tượng thăm dò và những khoảng cách mà nó thăm dò tới, mà ta đã đề cập đến ở chương 6). Mặt khác, chúng ta đã thấy rằng, các dây cuốn có năng lượng cực tiểu tỷ lệ với R, do đó hệ thức bất định đòi hỏi rằng với tư cách là đối tượng sơ cấp dùng để đo, chúng phải nhạy đối với khoảng cách 1/R. Thể hiện toàn học của ý tưởng này chứng tỏ rằng nếu ta dùng hai loại dây làm đối tượng sơ cấp để đo bán kính của chiều cuộn tròn, thì dây không cuốn sẽ đo được giá trị của nó bằng R, trong khi đó dây cuốn sẽ đo được giá trị 1/R (cũng như ở trên, ở đây chúng ta đo các khoảng cách bằng bội số của chiều dài Planck). Mỗi thí nghiệm đều có quyền ngang nhau tuyên bố kết quả đo được của mình chính là bán kính của chiều cuộn tròn. Điều này ta đã biết từ lý thuyết dây: khi dùng hai đối tượng sơ cấp khác nhau để đo khoảng cách, ta có thể nhận được hai đáp số khác

nhau. Thực tế, tính chất này có thể mở rộng ra cho mọi phép đo chiều dài và khoảng cách, chứ không chỉ đối với việc xác định kích thước của chiều cuộn tròn. Những kết quả nhận được khi dùng dây cuốn và dây không cuốn để đo bao giờ cũng là nghịch đảo của nhau.

Nhưng, nếu lý thuyết dây đúng là lý thuyết mô tả vũ trụ chúng ta, thì tại sao chúng ta lại chưa từng gặp hai khái niệm về khoảng cách đó trong đời sống hàng ngày cũng như trong khoa học? Mỗi khi nói về khoảng cách, chỉ có một khái niệm duy nhất về khoảng cách chứ không hề nghĩ rằng lại tồn tại một khái niệm thứ hai. Nhưng tại sao chúng ta lại bỏ sót khả năng thứ hai đó? Câu trả lời là: mặc dù sự thảo luận của chúng ta có mức độ đối xứng rất cao, nhưng bất cứ khi nào R (và do đó cả 1/R) khác giá trị 1 (tức là chiều dài Planck) một cách đáng kể, thì một trong hai định nghĩa có tính thao tác của khoảng cách sẽ là cực kỳ khó thực hiện, trong khi định nghĩa kia lại có thể thực hiện một cách cực kỳ dễ dàng. Về căn bản, chúng ta luôn luôn thực hiện phương pháp dễ, trong khi hoàn toàn không ý thức được về chuyện còn có một khả năng khác. Sự khác biệt về mức độ khó khăn giữa hai quy trình đó là do khối lượng khác nhau của hai đối tượng sơ cấp dùng để đo (tức là năng lượng quấn cao/năng lượng dao động thấp và ngược lại), nếu như bán kính R (và do đó cả 1/R) khác xa so với chiều dài Planck (tức R =1). Trong trường hợp đó, năng lượng "cao" nói ở đây tương ứng với các đối tượng sơ cấp dùng để đo là cực kỳ nặng, chẳng hạn, khối lượng của nó phải lớn hơn proton hàng tỷ tỷ lần, trong khi đó năng lượng "thấp" tương ứng với các đối tượng sơ cấp chỉ khác không tí chút. Trong những hoàn cảnh đó, có một sự khác nhau ghê gớm về mức độ khó khăn giữa hai quy trình đo, vì việc tạo ra được những cấu hình nặng của dây hiện nay là một công việc nằm ngoài tầm với của công nghệ hiện đại. Do đó, trên thực tế chỉ có một trong hai quy trình đo là khả thi đối với công nghệ hiện nay, đó là quy trình liên quan tới cấu hình nhẹ hơn của dây. Đây chính là quy trình đã được ngầm sử dụng trong tất cả các thảo luận cho tới đây của chúng ta, có liên quan tới khoảng cách. Và nó cũng chính là quy trình đã rèn đúc nên trực giác của chúng ta.

Nếu tạm gác tính thực tiễn sang một bên, thì trong vũ trụ chi phối bởi lý thuyết dây, người ta có thể thoải mái đo khoảng cách theo cả hai quy trình nói trên. Khi các nhà thiên văn đo "kích thước của vũ trụ" là họ đã làm điều đó bằng cách nghiên cứu các photon đi qua vũ trụ và tình cờ rơi vào kính thiên văn của họ. Chắc chắn các photon này là những cấu

hình nhẹ của dây. Kết quả nhận được, như đã nó ở trên, là 1061 lần chiều dài Planck. Nếu như cả ba chiều không gian quen thuộc thực tế đều cuộn tròn và lý thuyết dây là đúng, thì các nhà thiên văn khi dùng các thiết bị rất khác (hiện còn chưa tồn tại), về nguyên tắc, có thể đo được quy mô của bầu trời nhờ các cấu hình nặng của dây và sẽ nhận được kết quả là nghịch đảo của con số khổng lồ trên. Và việc chúng ta có thể nghĩ vũ trụ hoặc là cực kỳ lớn hoặc là cực kỳ bé chính là theo ý nghĩa đó. Theo các cấu hình nhẹ của dây thì vũ trụ là lớn và đang giãn nở, còn theo các cấu hình nặng thì vũ trụ cực nhỏ và đang co lại. Không hề có mâu thuẫn nào ở đây cả, đơn giản chỉ vì chúng ta có hai định nghĩa khác nhau nhưng đều có nghĩa như nhau về khoảng cách mà thôi. Chúng ta quen thuộc với định nghĩa thứ nhất hơn, trên thực tế cả hai định nghĩa đều có giá trị như nhau.

Bây giờ chúng ta đã có thể trả lời câu hỏi đặt ra ở trên về người lớn sống trong vũ trụ bé. Khi chúng ta đo chiều cao của một người là 1m70 chẳng hạn, chúng ta nhất thiết phải dùng các cấu hình nhẹ của dây. Để so sánh kích thước này với kích thước của vũ trụ, ta nhất thiết phải dùng chính quy trình đo đó, và như trên đã thấy, ta sẽ nhận được kích thước của vũ trụ là 15 tỷ năm ánh sáng, một kết quả hiển nhiên là lớn hơn rất nhiều so với 1m70. Hỏi rằng một người lớn như thế làm sao có thể sống trong một vũ trụ bé xíu được đo bằng các cấu hình nặng là một câu hỏi vô nghĩa, điều này chẳng khác gì so gà với vịt. Vì chúng ta có hai khái niệm về khoảng cách - do dùng các cấu hình nhẹ hay nặng - nên chúng ta phải so sánh các phép đo được thực hiện theo cùng một quy trình.

Vũ trụ học dây (chương 14) là một lĩnh vực còn non trẻ, nhưng có rất nhiều hứa hẹn và rất có thể nó sẽ cung cấp cho chúng ta một mô hình "dễ tiêu hóa" hơn so với mô hình Big Bang truyền thống...

•◎Kích thước cực tiểu

Chúng ta đã đi được một chặng đường khá dài và bây giờ mới tới được điểm quan trọng nhất. Nếu ta chỉ chuyên đo khoảng cách theo "con đường dễ dàng nhất", tức là dùng các cấu hình nhẹ nhất của dây, thì kết quả mà ta thu được bao giờ cũng lớn hơn chiều dài Planck. Để thấy được điều đó, ta hãy hình dung về vụ co lớn giả định đối với ba chiều quen thuộc, với giả thiết rằng những chiều này là tròn. Để định ý, ta coi rằng vào lúc bắt đầu thí nghiệm tưởng tượng của chúng ta, các cấu hình không quấn của dây là những cấu hình nhẹ và dùng các cấu hình đó xác

định được vũ trụ có bán kính rất lớn và từ đó vũ trụ bắt đầu co lại theo thời gian. Vì vũ trụ co lại nên các cấu hình không cuốn này ngày càng trở nên nặng hơn, trong khi đó các cấu hình quấn lại trở nên nhẹ hơn. Khi bán kính lại ngày càng gần chiều dài Planck, tức R tiến dần tới 1, thì các mode quấn và mode dao động có khối lượng so được với nhau. Hai quy trình đo khoảng cách lúc này có mức độ khó khăn như nhau và cho cùng một kết quả vì nghịch đảo của 1 cũng chính là 1.

Vì bán kính tiếp tục giảm, nên các cấu hình quấn sẽ trở nên nhẹ hơn các cấu hình không quấn và do chúng ta luôn chọn "quy trình dễ hơn", nên những cấu hình nhẹ hơn này bây giờ sẽ được dùng để đo khoảng cách. Theo phương pháp đo đó, kết quả bây giờ nhận được sẽ là nghịch đảo của kết quả đo được khi dùng cấu hình không quấn, tức là bán kính vẫn lại lớn hơn 1 lần chiều dài Planck và tăng theo thời gian. Kết quả này phản ánh một thực tế là, vì R - đại lượng được đo bằng các dây không quấn - giảm tới 1 và tiếp tục giảm hơn nữa, nên 1/R - đại lượng được đo bằng các dây cuốn - tăng tới 1 và tiếp tục tăng nữa. Do vậy, nếu ta chỉ quan tâm dùng các cấu hình nhẹ - tức dùng "quy trình đo dễ hơn" - thì sẽ đụng phải giá trị cực tiểu, đó là chiều dài Planck.

Đặc biệt, ta sẽ tránh được vụ co lớn tới kích thước zêrô, bởi vì bán kính của vũ trụ khi được đo bằng các cấu hình nhẹ của dây bao giờ cũng lớn hơn chiều dài Planck. Thay vì trượt qua giới hạn là chiều dài Planck rồi tiếp tục giảm nhỏ hơn nữa, bán kính - được đo bằng những cấu hình nhẹ nhất của dây - khi giảm tới chiều dài Planck, sẽ ngay lập tức chuyển sang tăng. Như vậy, vụ co lớn được thay bằng vụ nảy ngược trở lại.

Việc dùng các cấu hình nhẹ của dây để đo khoảng cách là phù hợp với quan niệm thông thường về chiều dài đã từng tồn tại rất lâu trước khi phát minh ra lý thuyết dây. Và như chúng ta đã thấy trong chương 5, chính do quan niệm này về khoảng cách mà chúng ta đã vấp phải những vấn đề tưởng như không thể vượt qua, liên quan với những thăng giáng lượng tử dữ dội ở những thang khoảng cách dưới chiều dài Planck. Trên quan điểm bổ sung vừa trình bày ở trên, chúng ta một lần nữa lại thấy rằng, trong lý thuyết dây chúng ta đã tránh được những khoảng cách cực ngắn. Trong khuôn khổ của thuyết tương đối rộng và trong khuôn khổ toán học của hình học Reimann tương ứng, chỉ có một khái niệm về khoảng cách và nó có thể có giá trị nhỏ bao nhiêu tùy ý. Trong khuôn khổ vật lý của lý thuyết dây, và tương ứng trong vương

quốc của môn hình học lượng tử mới xuất hiện, lại có hai khái niệm. Bằng cách sử dụng hợp lý cả hai khái niệm đó về khoảng cách, ta sẽ tìm được một khái niệm phù hợp với cả trực giác của ta lẫn thuyết tương đối rộng ở những khoảng cách lớn nhưng lại rất khác với chúng ở những thang khoảng cách nhỏ hơn. Đặc biệt, những khoảng cách nhỏ hơn chiều dài Planck là không thể tiếp cận.

Vì những thảo luận ở trên là khá tinh tế, nên chúng tôi xin nhấn mạnh lại một lần nữa điểm quan trọng nhất. Nếu như chúng ta tạm gạt bỏ sự phân biệt giữa các quy trình "dễ" và "khó" trong việc đo chiều dài và giả thử ta cứ tiếp tục dùng các cấu hình không quấn khi R giảm xuống vượt qua cả giới hạn là chiều dài Planck, thì dường như là chúng ta sẽ thực sự gặp một khoảng cách nhỏ hơn chiều dài Planck. Nhưng những mục trên đã cho chúng ta biết rằng từ "khoảng cách" trong câu vừa nói cần phải được giải thích một cách thận trọng, vì nó có thể có hai ý nghĩa khác nhau và chỉ có một trong đó là phù hợp với quan niệm truyền thống của chúng ta. Và trong trường hợp đó, khi R giảm xuống tới giá trị nhỏ hơn chiều dài Planck, nhưng ta vẫn tiếp tục dùng các cấu hình không quấn (thậm chí mặc dù bây giờ nó đã nặng hơn các cấu hình quấn), thì nghĩa là chúng ta đã dùng quy tình "khó" để đo khoảng cách và ý nghĩa của từ "khoảng cách" bây giờ không còn phù hợp với cách dùng thông thường của chúng ta nữa. Tuy nhiên, sự thảo luận của chúng ta không chỉ dừng lại ở chuyện ngữ nghĩa hay thậm chí ở sự thuận tiện hay tính thực tiễn của việc đo đạc. Ngay cả khi chúng ta chọn dùng khái niệm không truyền thống về khoảng cách đi nữa và do đó mô tả bán kính khi nó nhỏ hơn chiều dài Planck, thì như đã thảo luận ở các mục trước, vật lý mà chúng ta gặp ở đó cũng hoàn toàn đồng nhất với vật lý của vũ trụ trong đó bán kính - theo nghĩa truyền thống của khoảng cách - là lớn hơn chiều dài Planck (như đã được xác nhận bởi sự tương ứng chính xác của các bảng 10.1 và 10.2). Mà cái quan trọng là vật lý chứ không phải ngôn ngữ.

Brandenberger, Vafa và các nhà vật lý khác đã dùng những ý tưởng này để gợi ý viết lại những định luật của vũ trụ học, trong đó thay vì liên quan với một vũ trụ có kích thước zêrô, cả vụ nổ lớn (Big Bang) và vụ co lớn (nếu có) đều liên quan với một vũ trụ có tất cả các chiều dài bằng chiều dài Planck. Đây là một đề xuất hết sức hấp dẫn để tranh những vấn đề nan giải về vật lý, toán học và lôgíc của một vũ trụ sinh ra hoặc co lại về một điểm vô cùng đặc. Mặc dù rất khó hình dung được toàn bộ

vũ trụ lại có thể coi lại bằng một hạt dẻ bé bíu có kích thước bằng chiều dài Planck, nhưng chuyện nó co lại thành một điểm hoàn toàn không có kích thước mới thực sự nằm ngoài sự tưởng tượng của chúng ta. Vũ trụ học dây (chương 14) là một lĩnh vực còn non trẻ, nhưng có rất nhiều hứa hẹn và rất có thể nó sẽ cung cấp cho chúng ta một mô hình "dễ tiêu hóa" hơn so với mô hình Big Bang truyền thống.

Kết luận đó tổng quát tới mức nào

Một câu hỏi được đặt ra là: thế nhỡ các chiều không gian không là hình tròn thì sao? Những kết luận tuyệt vời mà ta vừa rút ra ở trên về quảng tính cực tiểu của không gian trong lý thuyết dây liệu có còn đúng hay không? Không có ai biết một cách chắc chắn cả. Đặc điểm chủ yếu của các chiều cuộn tròn là chúng cho phép các dây có thể quấn xung quanh. Vì vậy chừng nào mà các chiều không gian cho phép các dây quấn xung quanh, bất kể hình dạng chi tiết của các chiều đó là như thế nào, thì đa số những kết luận mà ta rút ra ở trên vẫn còn áp dụng được. Nhưng điều gì sẽ xảy ra nếu như hai chiều cuộn lại thành một mặt cầu? Trong trường hợp đó, các dây không thể bị "bẫy" vào cấu hình quấn quanh được, bởi vì chúng luôn luôn có thể "trượt" ra, giống như một dải cao su bao quanh một quả bóng có thể tuột ra. Vậy trong trường hợp, lý thuyết dây có còn đặt một giới hạn về kích thước cho sự co lại của các chiều đó hay không?

Rất nhiều nghiên cứu dường như chứng tỏ rằng, câu trả lời phụ thuộc vào việc toàn bộ một chiều không gian có co lại (như những ví dụ mà ta đã xét trong chương này) hay (như chúng ta sẽ gặp và giải thích trong các chương 11 và 13) một "mẩu" cô lập của không gian có co lại liên tục hay không. Phần lớn các nhà lý thuyết dây đều tin rằng, chừng nào mà chúng ta còn làm cho toàn bộ một chiều của không gian co lại liên tục, thì, bất kể hình dạng của nó, đều có một kích thước giới hạn cực tiểu. Khẳng định được niềm tin đó là mục đích quan trọng cho những nghiên cứu tiếp sau, bởi vì nó có tác động trực tiếp đến nhiều khía cạnh của lý thuyết dây, kể cả những hệ quả của nó đối với vũ trụ học.

Trong thuyết tương đối rộng, và trong "hình học thông thường", một vòng tròn bán kính R là khác với vòng tròn có bán kính 1/R; còn trong lý thuyết dây, về phương diện vật lý, chúng hoàn toàn không thể phân biệt được...

- ◎Đối xứng gương

Thông qua thuyết tương đối rộng, Eeinstein đã xác lập được mối liên hệ giữa vật lý của lực hấp dẫn và hình học của không thời gian. Ban đầu lý thuyết dây đã củng cố và mở rộng mối liên hệ đó giữa vật lý và hình học, vì các tính chất của dây dao động, như các khối lượng và tích lực mà các dây mang, chủ yếu được xác định bởi tính chất của các chiều không gian bị cuộn lại. Tuy nhiên, như chúng ta vừa mới thấy, hình học lượng tử, tức là sự kết hợp của vật lý và hình học trong lý thuyết dây, còn có một sự kết bện chặt chẽ một cách lạ lùng. Trong thuyết tương đối rộng, và trong "hình học thông thường", một vòng tròn bán kính R là khác với vòng tròn có bán kính 1/R; còn trong lý thuyết dây, về phương diện vật lý, chúng hoàn toàn không thể phân biệt được. Điều này đã khích lệ chúng ta dấn bước tiếp và đặt câu hỏi: liệu có những dạng hình học khác nhau một cách rõ rệt hơn không, nghĩa là không chỉ khác nhau về kích thước tổng thể mà có thể cả về hình dạng nữa chẳng hạn, mà vẫn không thể phân biệt được về mặt vật lý hay không?

Vào năm 1988, Lance Dixon thuộc trung tâm máy gia tốc tuyến tính ở Stanford đã đưa ra một nhận xét có tính bước ngoặt và sau đó ý tưởng này đã được phát triển mạnh mẽ bởi Wolfgang Larche ở CERN, Vafa ở Đại học Harvard và Nicolas Warner hồi đó thuộc Viện công nghệ Massachussetts. Dựa trên những lập luận về mặt thẩm mỹ bắt nguồn từ những nghiên cứu về đối xứng, họ đã đưa ra một ý kiến táo bạo cho rằng, có thể có hai không gian Calabi-Yau khác nhau được chọn cho các chiều không gian bị cuộn lại trong lý thuyết dây nhưng đều dẫn tới cùng một vật lý.

Để có một ý niệm về cách thức mà điều này có thể thực sự xảy ra, bạn cần nhớ lại rằng số lỗ trong các chiều phụ được cuộn lại thành không gian Calabi-Yau xác định số họ dao động của các dây. Các lỗ này tương tự như lỗ ở giữa chiếc xăm ô tô hoặc ở những chiếc xăm nhiều lỗ như được minh họa trên hình 9.1. Một nhược điểm của hình hai chiều mà chúng ta phải biểu diễn trên trang giấy là không thể biểu diễn một không gian Calabi-Yau sáu chiều với các lỗ có thể có số chiều rất khác nhau. Mặc dù những lỗ như vậy rất khó vẽ, nhưng chúng đều có thể được miêu tả chính xác về mặt toán học. Một thực tế quan trọng là số họ hạt sinh ra từ mode dao động của dây lại rất nhạy cảm với tổng số lỗ, chứ không phải với số lỗ có số chiều cụ thể nào đó (chính vì thế, trong

những thảo luận ở chương 9, chúng ta không bận tâm với việc mô tả sự khác biệt giữa các loại lỗ khác nhau). Bây giờ hãy hình dung hai không gian Calabi-Yau, trong đó số các lỗ có số chiều khác nhau là khác nhau, nhưng tổng số các lỗ thì như nhau. Vì số các lỗ có cùng số chiều nào đó là không giống nhau, nên hai không gian Calabi-Yau này có hình dạng khác nhau. Nhưng vì chúng có tổng số các lỗ như nhau, nên mỗi không gian đó sinh ra một vũ trụ có cùng một số họ hạt. Tất nhiên, đó chỉ là một tính chất vật lý. Sự phù hợp đối với mọi tính chất vật lý là một đòi hỏi khắt khe hơn rất nhiều. Dù sao, thì ít nhiều điều này cũng cho ta một ý niệm về sự đúng đắn của giả thuyết Dixon - Lerche - Vafa - Warner tới mức nào.

Mùa thu năm 1987, tôi tới thực tập sau tiến sĩ tại khoa vật lý, Đại học Harvard và phòng làm việc của tôi chỉ cách phòng của Vafa mấy phòng. Vì biết đề tài luận án của tôi tập trung vào các tính chất vật lý và toán học của các không gian Calabi-Yau, nên Vafa thường xuyên thông báo cho tôi biết về công việc của ông trong lĩnh vực đó. Một lần ông dừng lại phòng tôi và cho tôi biết giả thuyết mà ông, Lerche và Warner vừa mới nảy ra, tôi đã mê ngay nhưng vẫn còn hoài nghi. Mê là bởi vì tôi biết rằng, nếu như giả thuyết của họ mà đúng thì nó sẽ mở ra một con đường nghiên cứu mới về lý thuyết dây, còn hoài nghi là vì ai cũng biết phỏng đoán là một chuyện, còn xác lập được các tính chất của một lý thuyết lại là một chuyện hoàn toàn khác.

Trong những tháng tiếp sau, tôi thường xuyên suy ngẫm về giả thuyết đó và nói thực, tôi gần như đã thuyết phục được mình rằng giả thuyết đó là không đúng. Tuy nhiên, một dự án nghiên cứu dường như không có liên quan mà tôi cùng làm với Ronen Plesser, khi đó là sinh viên vừa tốt nghiệp đại học Harvard và hiện làm việc tại viện Weizmann và Đại học Duke, chẳng bao lâu đã làm thay đổi hoàn toàn ý nghĩ của tôi. Plesser và tôi quan tâm tới việc phát triển những phương pháp để biến đổi bằng toán học một không gian Calabi-Yau ban đầu thành những không gian Calabi-Yau khác chưa biết. Chúng tôi đặc biệt tập trung vào một kỹ thuật có tên là obifolding, do Dixon, Jeffrey Harvey thuộc đại học Chicago, Vafa và Wittem đưa ra vào giữa những năm 1980. Nói một cách nôm na, đây là một thủ tục trong đó các điểm khác nhau trong không gian Calabi-Yau ban đầu được dính lại với nhau theo những quy tắc toán học xác định để đảm bảo tạo ra một không gian Calabi-Yau mới. Điều này được minh họa khái lược trên hình 10.4. Cơ sở toán học

của những phép biến đổi được minh họa trên hình này là hết sức phức tạp. Chính vì thế, các nhà lý thuyết dây chỉ nghiên cứu kỹ thủ tục này khi áp dụng nó cho những hình dạng đơn giản nhất, đó là những hình dạng tương tự như chiếc xăm ô tô trên hình 9.1 nhưng có số chiều cao hơn. Tuy nhiên, Plesser và tôi thấy rằng, những phát hiện mới rất đẹp của Doron Gepner hồi đó làm việc ở đại học Princeton, có thể cho một khuôn khổ lý thuyết rất mạnh để áp dụng kỹ thuật orbifoling cho mọi không gian Calabi-Yau, chẳng hạn không gian được minh họa trên hình 8.9.

Sau một ít tháng theo đuổi bắt gắt gao ý tưởng này, chúng tôi đã đi tới một kết quả thật bất ngờ. Nếu dính các nhóm điểm đặc biệt lại với nhau một cách đúng đắn, thì không gian Calabi-Yau do chúng tôi tạo ra khác với không gian xuất phát lúc đầu một cách thật lạ lùng: số các lỗ có số chiều lẻ trong không gian Calabi-Yau mới đúng bằng số các lỗ có số chiều chẵn trong không gian ban đầu và ngược lại. Đặc biệt, điều này có nghĩa là tổng số các lỗ và do đó tổng số các họ hạt sẽ vẫn là như nhau đối với hai không gian, mặc dù sự trao đổi chẵn/lẻ hàm ý rằng hình dạng và cấu trúc hình học cơ bản của hai không gian đó là rất khác nhau.

Hình 10.4. Obifoling là một thủ tục, trong đó các điểm khác nhau trong không gian Calabi-Yau ban đầu được dính lại với nhau để tạo thành một không gian Calabi-Yau mới.

Được khích lệ bởi mối liên hệ mà chúng tôi dường như đã thấy với giả thuyết Dixon - Lerche - Vafa - Warner, Plesser và tôi lao vào vấn đề mấu chốt: vậy ngoài số các họ hạt ra, hai không gian Calabi-Yau khác nhau còn phù hợp với nhau về những tính chất vật lý nào nữa không? Sau một vài tháng phân tích về mặt toán học, lại được sự động viên và gợi ý nhiệt tình của Graham Ross, giáo sư hướng dẫn luận án của tôi ở đại học Oxford và của cả Vafa nữa, Plesser và tôi khẳng định rằng câu trả lời gần như chắc chắn là có. Vì những lý do toán học liên quan tới sự trao đổi chẵn /lẻ, chúng tôi đưa ra thuật ngữ đa tạp gương để mô tả các không gian Calabi-Yau khác nhau nhưng tương đương về mặt vật lý đó. Mỗi không gian cá thể trong cặp không gian Calabi-Yau đối xứng gương đó không hoàn toàn đúng là ảnh qua gương của nhau, theo cách hiểu thông thường. Nhưng, mặc dù có những tính chất hình học khác nhau, chúng dẫn đến cùng một vũ trụ duy nhất khi người ta chọn

chúng làm các chiều phụ trong lý thuyết dây.

Những tuần ngay sau khi tìm ra kết quả, đó là thời gian cực kỳ hồi hộp đối với chúng tôi. Tôi và Plesser biết rằng chúng tôi đang giữ một mảnh quan trọng trong câu đố ghép hình hóc búa của lý thuyết dây. Chúng tôi đã chứng minh được rằng mối quan hệ chặt chẽ giữa vật lý và hình học được xác lập đầu tiên bởi Einstein đã bị lý thuyết dây làm cho thay đổi một cách căn bản: những hình dạng hình học khác nhau trong thuyết tương đối rộng, hàm ý những tính chất vật lý khác nhau, thì trong lý thuyết dây, chúng lại có thể dẫn tới những tính chất vật lý như nhau. Nhưng nếu như chúng tôi phạm sai lầm? Nếu như những hệ quả vật lý khác nhau theo một cách hết sức tinh tế mà chúng tôi không nhận ra? Chẳng hạn khi chúng tôi đưa kết quả của mình cho Yau xem, ông đã tuyên bố một cách rất lịch sự nhưng kiên quyết rằng chúng tôi đã sai lầm; ông còn khẳng định rằng trên quan điểm toán học kết quả của chúng tôi là quá kỳ cục nên nó không thể đúng được. Khẳng định của ông đã làm chúng tôi cụt hứng. Phạm sai lầm trong một khẳng định bình thường đã đi một nhẽ, điều này chẳng mấy ai chú ý. Đằng này, kết quả của chúng tôi lại đưa ra một bước bất ngờ theo một phương hướng mới mà chắc chắn sẽ gây ra phản ứng mạnh mẽ. Nếu như chúng tôi sai thì mọi người ai cũng sẽ biết.

Cuối cùng, sau khi kiểm tra đi kiểm tra lại một cách kỹ lưỡng, chúng tôi lấy lại được sự tự tin và quyết định gửi bài báo đi công bố. Ít ngày sau, tôi đang ngồi tại phòng làm việc ở Đại học Harvard thì chợt có chuông điện thoại. Đó là Philip Candelas ở Đại học Texas và ông ngay lập tức hỏi tôi rằng ngồi đã vững chưa. Tôi đáp là ngồi rất vững. Khi đó, ông báo cho tôi biết rằng ông và hai sinh viên của mình là Monika Lynker và Rofl Schimmrigk đã tìm ra một kết quả mà có thể khiến cho tôi phải ngã nhào ra khỏi ghế. Bằng cách khảo sát một tập hợp mẫu rất lớn các không gian Calabi-Yau mà họ đã tạo được trên máy tính, họ đã phát hiện ra rằng gần như tất cả các không gian này đều sinh ra theo từng cặp, chỉ khác nhau bởi sự hoán vị các lỗ có số chiều chẵn và lẻ. Tôi nói với Candelas rằng tôi hiện vẫn ngồi rất vững và chính tôi cùng Plesser cũng đã tìm ra kết quả đó. Hóa ra công trình của Candelas và của chúng tôi bổ sung cho nhau: chúng tôi đã tiến thêm một bước nhờ chứng minh được rằng toàn bộ vật lý nảy sinh từ cặp không gian đối xứng gương là hoàn toàn như nhau, trong khi đó Candelas và hai sinh viên của ông lại chứng minh được rằng một tập hợp mẫu lớn hơn nhiều của các không

gian Calabi-Yau đều rơi vào cặp đối xứng gương. Thông qua hai bài báo, chúng tôi đã phát minh ra đối xứng gương của lý thuyết dây.

Về căn bản, đối xứng gương tuyên bố rằng các cặp đặc biệt của các không gian Calabi-Yau, mà trước kia coi là không có liên quan gì với nhau, thì bây giờ lại liên hệ mật thiết với nhau bởi lý thuyết dây...

•◎Vật lý và toán học của đối xứng gương

Sự nới lỏng mối liên hệ duy nhất và cứng nhắc giữa hình học của không gian và vật lý trong thuyết tương đối rộng của Einstein là một trong những thay đổi hình mẫu nổi bật của lý thuyết dây. Tuy nhiên, những phát triển đó không chỉ dừng lại ở sự thay đổi về quan điểm triết học mà còn đi xa hơn thế nhiều. Đặc biệt, đối xứng gương còn cung cấp cho ta một công cụ mạnh mẽ để tìm hiểu cả vật lý của lý thuyết dây lẫn toán học của các không gian Calabi-Yau. Các nhà toán học làm việc trong lĩnh vực có tên là hình học đại số đã nghiên cứu các không gian Calabi-Yau vì những lý do thuần túy toán học đã từ khá lâu trước khi lý thuyết dây ra đời. Họ đã tìm ra nhiều tính chất chi tiết của các không gian này mà không hề ngờ tới sẽ áp dụng cho vật lý trong tương lai. Tuy nhiên đối với các nhà toán học, một số khía cạnh của các không gian Calabi-Yau tỏ ra rất khó, thậm chí gần như là không thể, làm sáng tỏ một cách đầy đủ. Song, sự phát hiện ra đối xứng gương trong lý thuyết dây đã làm cho tình hình thay đổi một cách đáng kể. Về căn bản, đối xứng gương tuyên bố rằng các cặp đặc biệt của các không gian Calabi-Yau, mà trước kia coi là không có liên quan gì với nhau, thì bây giờ lại liên hệ mật thiết với nhau bởi lý thuyết dây. Chúng liên kết với nhau bởi vũ trụ vật lý chung mà mỗi không gian đó dẫn tới, khi nó được chọn làm các chiều phụ bị cuộn lại. Sự liên quan lẫn nhau mà trước kia không ngờ tới đó đã cung cấp cho ta một công cụ mới sắc bén của toán học và vật lý.

Ví dụ, hãy hình dung bạn đang bận bịu tính toán các tính chất vật lý, chẳng hạn như một khối lượng và các tích lực, gắn liền với sự lựa chọn một không gian Calabi-Yau khả dĩ làm các chiều phụ cuộn lại. Bạn không quan tâm lắm về sự phù hợp của các kết quả chi tiết mà bạn tính được với thực nghiệm, vì như chúng ta đã thấy, nhiều trở ngại về lý thuyết cũng như kỹ thuật hiện nay chưa cho phép chúng ta làm được điều đó. Thay vì thế, bạn làm việc thông qua một thí nghiệm tưởng tượng liên quan tới những tính chất mà một vũ trụ cần phải có, nếu ta chọn một không gian Calabi-Yau cụ thể nào đó làm các chiều bị cuộn

lại. Ban đầu mọi chuyện đều suôn sẻ, nhưng giữa chừng bạn lại vấp phải một tính toán khó tới mức không sao vượt qua nổi. Không một ai, kể cả nhà toán học sừng sỏ nhất thế giới, cũng không thể hình dung ra phải làm tiếp như thế nào. Và thế là bạn rơi vào ngõ cụt. Nhưng chợt bạn nhận thấy rằng không gian Calabi-Yau này có một ảnh gương. Vì vật lý liên quan tới cặp không gian này hoàn toàn như nhau, do đó bạn có thể tự do dùng không gian nào để tính toán cũng được. Và như vậy, bạn có thể chuyển những tính toán khó khăn trong không gian Calabi-Yau ban đầu sang tính toán trong không gian ảnh của nó với niềm tin vững chắc rằng hai kết quả sẽ phải hoàn toàn như nhau. Thoạt nhìn, bạn có thể nghĩ rằng những tính toán trong không gian ảnh này chắc cũng chẳng dễ dàng hơn bao nhiêu so với trong không gian ban đầu. Nhưng ở đây bạn sẽ phát hiện ra một sự bất ngờ thú vị: mặc dù kết quả là hoàn toàn như nhau, nhưng những tính toán chi tiết thì lại rất khác nhau và trong một số trường hợp, những tính toán cực kỳ khó khăn ban đầu lại trở nên cực kỳ dễ dàng trong không gian ảnh. Không thể giải thích một cách đơn giản tại sao lại xảy ra như vậy, nhưng ít nhất đối với một số tính toán, nó thực sự đúng là như thế và sự giảm bớt khó khăn có thể nó là ghê gớm. Tất nhiên, hệ quả đã là rõ ràng: bạn không còn rơi vào ngõ cụt nữa.

Điều này cũng tựa như người ta yêu cầu bạn đếm chính xác số lượng cam được xếp hổ lốn trong một côngtenơ khổng lồ có chiều rộng và chiều cao là 20m còn chiều sâu là 5m. Ban đầu bạn định đếm từng quả một, nhưng chẳng bao lâu bạn nhận ra rằng đó là một nhiệm vụ quá ư nặng nhọc. May thay, đúng lúc giao hàng thì có một người bạn tới. Anh ta cho bạn biết rằng cam chở đến được đóng thành từng hộp nhỏ (và tình cờ anh ta đang giữ trong tay) và xếp 20 hộp theo chiều rộng, 20 hộp theo chiều cao và 20 hộp theo chiều sâu. Bạn tính ngay ra số cam chở tới gồm 8000 hộp và bạn chỉ còn phải làm việc là xem mỗi hộp người ta xếp bao nhiêu quả cam. Điều này chẳng khó khăn gì vì chỉ cần mượn người bạn chiếc hộp và xếp thử cam vào trong đó. Vậy là, bạn có thể hoàn thành nhiệm vụ đếm tưởng như rất nặng nhọc mà hầu như chẳng mất công sức gì. Về căn bản, nhờ tổ chức tính toán một cách thông minh, bạn có thể làm cho nó trở nên dễ thực hiện hơn rất nhiều. Tình hình với nhiều tính toán bằng số trong lý thuyết dây cũng diễn ra tương tự. Theo quan điểm của một không gian Calabi-Yau, thì một tính toán có thể liên quan tới nhiều bước tính rất khó về mặt toán học. Nhưng nếu chuyển tính toán đó sang ảnh gương của không gian ban đầu, phép tính được tổ

chức lại một cách có hiệu quả hơn, khiến cho nó được thực hiện tương đối dễ dàng. Plesser và tôi đã đưa ra ý tưởng đó và nó đã được áp dụng một cách rất có ấn tượng trong các công trình sau đó của Candelas và các cộng sự của ông là Xenia de la Ossa và Linda Parkes thuộc Đại học Texas và Paul Green thuộc Đại học Maryland. Họ đã chứng tỏ được rằng những tính toán khó tưởng như không thể thực hiện nổi lại có thể giải quyết được trong không gian ảnh mà chỉ mất vài ba trang tính toán đại số và một máy tính văn phòng

Đây là một sự phát triển đặc biệt khích lệ đối với các nhà toán học, bởi vì một số những tính toán đó chính họ đã bị vấp nhiều năm trước. Vậy là, lý thuyết dây - ít nhất là theo tuyên bố của các nhà vật lý - đã vượt lên họ ở ngay sát đích cuối cùng.

Bạn cũng nên biết rằng giữa các nhà toán học và vật lý luôn ngấm ngầm có một sự tranh đua lành mạnh và nói chung là có thiện chí. Đã xảy ra một chuyện như thế này. Hai nhà toán học Na Uy là Geir Ellingsrud và Arild Stromme tình cờ cũng thực hiện một trong số rất nhiều tính toán mà nhóm của Candelas đã thực hiện thành công nhờ đối xứng gương. Nói một cách nôm na, đó là bài toán tính số hình cầu có thể "xếp" trong một không gian Calabi-Yau cụ thể nào đó, tương tự như là đếm số cam xếp trong một côngtenơ lớn mà ta vừa nói ở trên. Trong cuộc gặp gỡ của các nhà vật lý và toán học diễn ra ở Berkeley vào năm 1991, Candelas đã tuyên bố rằng kết quả mà nhóm của ông nhận được bằng cách dùng lý thuyết dây và đối xứng gương là 317.206.375. Ellingsrud và Stromme cũng thông báo kết quả mà họ thu được sau những phép tính rất khó về mặt toán học là: 2.682.549.425. Các nhà vật lý và toán học tranh luận với nhau mấy ngày liền: ai đúng, ai sai đây? Câu hỏi đó trở thành một cuộc trắc nghiệm, một thứ "thuốc thử" thực sự đối với độ tin cậy về mặt định lượng của lý thuyết dây. Một số người thậm chí còn hơi diễu cợt bình luận rằng cuộc trắc nghiệm này chính là phương tiện tốt nhất để so sánh lý thuyết dây với thực nghiệm. Hơn thế nữa, những kết quả mà nhóm Candelas còn vượt xa ra ngoài phạm vi một kết quả bằng số duy nhất mà Ellingsrud và Stromme tuyên bố họ đã tính được. Ông và các cộng sự của mình đã tuyên bố rằng, họ còn trả lời được nhiều câu hỏi khác còn khó hơn thế rất nhiều, khó tới mức thực tế chưa có nhà toán học nào dám đụng tới. Nhưng liệu những kết quả của lý thuyết dây có thể tin cậy được không? Cuộc gặp gỡ đã kết thúc với rất nhiều cuộc trao đổi bổ ích giữa các nhà toán học và vật lý, nhưng sự bất đồng thì vẫn chưa giải

quyết được.

Khoảng một tháng sau, một bức thư điện tử đã được gửi tới tất cả những người tham gia trong cuộc gặp gỡ ở Berkeley với tiêu đề vật lý đã chiến thắng! Ellingsrud và Stromme đã tìm ra một lỗi trong chương trình máy tính của mình và khi sửa lại lỗi đó, họ thu được đúng kết quả mà nhóm Candelas. Sau đó, còn có rất nhiều kiểm tra toán học đối với độ tin cậy về mặt định lượng của đối xứng gương trong lý thuyết dây, nhưng nó đều kiêu hãnh vượt qua. Mới đây, sau gần một chục năm phát hiện ra đối xứng gương, các nhà toán học đã tiến một bước khá dài trong việc tìm hiểu cơ sở toán học của nó. Xuất phát từ những đóng góp quan trọng của các nhà toán học Maxim Kontsevic, Yuri Manin, Gang Tian, Jun Li và Alexader Givental, Yau và các cộng sự của mình là Bong Lian và Kefeng Liu cuối cùng đã tìm ra một chứng minh toán học chặt chẽ cho công thức dùng để đếm số hình cầu chứa trong các không gian Calabi-Yau và như vậy là đã giải quyết được các bài toán đã từng làm nát óc các nhà toán học hàng trăm năm nay.

Ngoài thành công đặc biệt mà ta nói ở trên, những phát triển đó còn làm nổi bật vai trò của vật lý hiện đại đối với toán học. Lâu nay, các nhà vật lý chuyên "đào mỏ" các kho lưu trữ toán học để tìm kiếm những công cụ phục vụ cho việc xây dựng và phân tích các mô hình về thế giới vật lý. Giờ đây, nhờ phát minh ra lý thuyết dây, vật lý học đã bắt đầu trả món nợ đó, nó đã cung cấp cho các nhà toán học những cách tiếp cận mới đầy hiệu quả đối với những bài toán còn chưa giải được của họ. Lý thuyết dây không chỉ cung cấp một khuôn khổ thống nhất cho vật lý, mà rất có thể nó còn rèn đúc nên một sự thống nhất sâu sắc không kém đối với cả toán học nữa.

Nếu như bạn kéo căng thật mạnh một màng cao su, thì sớm hay muộn nó cũng sẽ bị rách. Thực tế đơn giản này trong suốt nhiều năm đã gợi cho nhiều nhà vật lý câu hỏi: liệu điều đó có đúng với cấu trúc không gian tạo nên vũ trụ hay không?...

CHƯƠNG 11

SỰ XÉ RÁCH CẤU TRÚC CỦA KHÔNG GIAN

Nếu như bạn kéo căng thật mạnh một màng cao su, thì sớm hay muộn nó cũng sẽ bị rách. Thực tế đơn giản này trong suốt nhiều năm đã gợi cho nhiều nhà vật lý câu hỏi: liệu điều đó có đúng với cấu trúc không gian tạo nên vũ trụ hay không? Tức là cấu trúc không gian liệu có bị xé rách hay đây chỉ là một ý nghĩ sai lạc do ta bám quá sát vào sự tương tự với màng cao su?

Thuyết tương đối rộng của Einstein trả lời là không, cấu trúc không gian không thể bị xé rách. Các phương trình của thuyết tương đối rộng bắt rễ vững chắc trong hình học Riamann, và như chúng ta đã thấy trong chương trước, thì hình học này là một khuôn khổ dùng để phân tích các biến dạng trong các quan hệ về khoảng cách giữa các vị trí ở gần nhau trong không gian. Để cho những quan hệ về khoảng cách có ý nghĩa thì hình thức luận toán học tạo nên cơ sở của khuôn khổ đó đòi hỏi rằng thể nền của không gian phải trơn. Đây là một thuật ngữ toán học, nhưng cách dùng thông thường của từ này cũng phản ánh được ý nghĩa căn bản của thuật ngữ đó: đó là không có nếp gấp, không có lỗ thủng, không có những mảnh tách rời đính lại với nhau và không bị xé rách. Và nếu như cấu trúc không gian có những chỗ kỳ dị (bất thường) như vậy thì các phương trình của thuyết tương đối rộng sẽ không còn dùng được nữa, và đó cũng là dấu hiệu của những tai biến vũ trụ này hay khác - một kết cục thảm họa mà vũ trụ yên lành của chúng ta rõ ràng đã tránh xa.

Tất nhiên, điều này cũng không cản nổi các nhà vật lý giàu trí tưởng tượng trong nhiều năm ròng vẫn kiên trì suy ngẫm về khả năng xây dựng một hình thức vật lý mới, vượt ra ngoài khuôn khổ lý thuyết cổ điển của Einstein, đồng thời bao hàm được cả cơ học lượng tử, trong đó sự gấp nếp, xé rách và sáp nhập của cấu trúc không gian có thể xảy ra. Thực tế, việc phát hiện ra rằng vật lý lượng tử dẫn tới những biến dạng

rất mạnh ở các khoảng cách ngắn, đã khiến một số người suy đoán rằng sự xé rách và gấp nếp như thế có thể là một đặc trưng chung của cấu trúc không gian trong thế giới vi mô. Khái niệm lỗ sâu đục (một khái niệm khá quen thuộc với những người hâm mộ khoa học viễn tưởng Star Trek) chính là đã sử dụng những suy tư đó. Ý tưởng ở đây khá đơn giản: hãy hình dung bạn là tổng giám đốc của một công ty lớn có văn phòng đặt tại tầng thứ chín của tháp trung tâm thương mại quốc tế ở New york. Do sự trớ trêu của lịch sử tách, nhập của công ty bạn còn có một bộ phận đặt ở tầng chín của tháp bên cạnh, mà lại là một bộ phận thường xuyên bạn phải tiếp xúc. Vì việc di chuyển địa điểm là một việc không thực tế, nên bạn nảy ra một dự định rất tự nhiên, đó là xây dựng một chiếc cầu nối hai tháp bắc từ văn phòng này sang văn phòng kia. Điều này cho phép nhân viên của hai bên có thể đi lại thoải mái giữa hai văn phòng, khỏi phải đi xuống rồi lại phải đi lên tận tầng chín.

Một lỗ sâu đục cũng có vai trò tương tự: nó là một cầu nối hoặc một đường hầm để đi tắt từ một vùng này đến một vùng khác của vũ trụ. Dùng mô hình hai chiều, ta tưởng tượng một vũ trụ có dạng hình chữ U, như được minh họa trên hình 11.1. Nếu như văn phòng chính của bạn đặt gần vòng tròn dưới trong hình 11.1 (a) thì bạn chỉ có thể tới văn phòng 2 đặt gần vòng tròn trên bằng cách đi theo toàn bộ con đường hình chữ U, nghĩa là bạn phải đi từ đầu này tới đầu kia của vũ trụ. Nhưng nếu cấu trúc của không gian có thể xé rách, tạo thành các lỗ như trên hình 11.1 (b) và những lỗ này có thể "mọc" thành các vòi nhập lại với nhau, như hình minh họa trên hình 11.1 (c), thì một cầu không gian sẽ nối hai vùng trước kia vốn ở xa nhau trong vũ trụ. Đó chính là một lỗ sâu đục. Cần lưu ý rằng, mặc dù lỗ sâu đục có sự tương tự nào đó với chiếc cầu nối hai tháp của trung tâm thương mại quốc tế, nhưng chúng có một sự khác nhau rất căn bản. Đó là: chiếc cầu nối hai tháp này bắc qua một vùng không gian đã có sẵn, tức là khoảng không gian giữa hai tháp. Trái lại, lỗ sâu đục tạo ra một vùng không gian mới, vì không gian hai chiều uốn cong thành hình chữ U trên hình 11.1 (a), là tất cả những gì vốn có (trong mô hình hai chiều của chúng ta). Những vùng nằm ngoài mặt hai chiều này đơn thuần chỉ phản ánh sự thiếu sót của hình minh họa, vì nó vẽ vũ trụ hình chữ U như là một đối tượng nằm trong vũ trụ chúng ta, tức là vũ trụ có số chiều cao hơn. Lỗ sâu đục tạo ra không gian mới và do đó mở ra con đường tới vùng lãnh thổ không gian mới.

Vậy những lỗ sâu đục có thực sự tồn tại trong vũ trụ chúng ta hay không? Không ai biết cả. Và cứ giả dụ là chúng có tồn tại đi nữa, thì cũng còn lâu mới hiểu được là chúng chỉ tồn tại dưới dạng vi mô hay trải rộng qua những vùng rộng lớn của vũ trụ (như trong các phim viễn tưởng). Nhưng một yếu tố hết sức căn bản để khẳng định các lỗ sâu đục là một thực tại hay viễn tưởng, đó là phải xác định được có thể xẻ rách cấu trúc của không gian hay không?

Hình 11.1 (a). Trong vũ trụ "hình chữ U" chỉ có một cách duy nhất đi từ đầu này tới đầu kia của nó là phải đi ngang qua toàn bộ vũ trụ. (b). Cấu trúc của không gian bị xé rách và một lỗ sâu đục bắt đầu được mọc ra. (c). Hai đầu lỗ sâu đục nhập làm một, tạo ra một chiếc cầu mới - một đường tắt - từ đầu này tới đầu kia của vũ trụ.

Các lỗ đen cho ta một ví dụ hấp dẫn khác về sự kéo giãn cấu trúc của không gian tới những giới hạn của nó. Trong hình 3.7 chúng ta đã thấy rằng trường hấp dẫn cực mạnh của lỗ đen đã gây ra độ cong lớn tới mức làm cho cấu trúc của không gian dường như bị thủng ở tâm của nó. Không giống như các lỗ sâu đục, có những bằng chứng thực nghiệm khá chắc chắn về sự tồn tại của các lỗ đen, do đó câu hỏi về điều gì thực sự xảy ra ở tâm của nó là một câu hỏi khoa học chứ không phải câu hỏi có tính chất tư biện. Lại một lần nữa, những phương trình của thuyết tương đối không còn dùng được nữa trong những điều kiện cực hạn như vậy. Một số nhà vật lý thì cho rằng, thực sự có các lỗ thủng, nhưng chúng ta đã được bảo vệ đối với điểm "kỳ dị" vũ trụ đó bởi chân trời sự kiện của lỗ đen, vì không có gì có thể thoát được ra khỏi vòng xiết của lực hấp dẫn tại đó. Lý luận này đã dẫn Roger Penrose thuộc Đại học Oxford đưa ra giả thuyết về "sự kiểm duyệt vũ trụ", theo đó tất cả các điểm kỳ dị của không gian chỉ được phép xảy ra nếu như chúng ta được ẩn dấu phía sau bức màn chân trời sự cố, khuất mắt chúng ta. Mặc khác, trước khi có lý thuyết dây, một số nhà vật lý còn phỏng đoán rằng một sự hòa nhập thích hợp giữa cơ học lượng tử và thuyết tương đối rộng sẽ cho thấy sự đục thủng biểu kiến của không gian thực tế đã được làm cho trơn tru, hay "được khâu lại" nếu có thể nói như vậy bởi những lý do tương tự.

Việc phát minh ra lý thuyết dây và sự thống nhất hài hòa giữa cơ học lượng tử và lực hấp dẫn, cuối cùng đã cho phép chúng ta nghiên cứu những vấn đề đó. Cho tới nay các nhà lý thuyết dây chưa thể trả lời một

cách thật đầy đủ những câu hỏi trên, nhưng những năm gần đây, có một số vấn đề cũng đã được giải quyết. Trong chương này, chúng ta sẽ thấy, lần đầu tiên, lý thuyết dây đã chứng tỏ được một cách chắc chắn rằng thực sự có những tình huống vật lý - khác với các lỗ sâu đục và các lỗ đen - trong đó cấu trúc không gian có thể bị xé rách.

Một số không gian Calabi-Yau có thể được biến đổi thành những không gian Calabi-Yau khác, bằng cách đục thủng bề mặt của nó sau đó khâu lỗ thủng vừa tạo thành nhờ một sơ đồ toán học rất nghiêm ngặt...

•◎Một khả năng khá quyến rũ

Năm 1987, Shing Tung Yau và một sinh viên của ông là Gang Tian hiện đang làm việc tại Học viện Công nghệ Massachusets đã đưa ra một nhận xét toán học khá lý thú. Bằng một thủ thuật toán học khá quen biết, họ đã tìm ra rằng một số không gian Calabi-Yau có thể được biến đổi thành những không gian Calabi-Yau khác, bằng cách đục thủng bề mặt của nó sau đó khâu lỗ thủng vừa tạo thành nhờ một sơ đồ toán học rất nghiêm ngặt. Nói một cách nôm na, họ đã chứng minh được sự tồn tại của một loại mặt cầu hai chiều đặc biệt - giống như bề mặt của một quả bóng - đặt trong không gian Calabi-Yau ban đầu, như được minh họa trên hình 11.2.

Hình 11.2

Hình 11.2 Vùng được làm nổi rõ trong không gian Calabi-Yau có chứ mặt cầu.

(Một quả bóng giống như các vật thể quen thuộc khác đều là ba chiều. Tuy nhiên, ở đây chúng ta chỉ quan tâm tới bề mặt của nó, còn bề dày của vật liệu làm ra nó cũng như những vùng không gian bên trong nó, chúng ta không quan tâm. Những điểm trên mặt cầu có thể được xác định bằng cách cho hai con số - "kinh độ" và "vĩ độ" - như chúng ta đã làm đối với các điểm trên bề mặt Trái đất. Đó là lý do tại sao bề mặt của quả bóng cũng như bề mặt của ống dẫn nước được thảo luận ở các chương trước, là hai chiều). Sau đó, họ xét trường hợp làm co mặt cầu cho tới khi nó bị ép lại thành một điểm duy nhất, như được minh họa bằng dãy các hình dạng liên tiếp của nó trên hình 11.3.

Hình 11.3.

Hình 11.3. Một mặt cầu trong không gian Calabi-Yau co lại thành một điểm, làm đứt cấu trúc không gian. Hình này và các hình tiếp sau đã được đơn giản hóa bằng cách chỉ vẽ phần có liên quan của không gian Calabi-Yau có chứa mặt cầu.

Hình này và các hình tiếp sau đã được đơn giản hóa để tập trung vào "mẩu" có liên quan nhất của không gian Calabi-Yau, nhưng bạn luôn phải ghi nhớ rằng những biến đổi hình dạng này diễn ra bên trong một không gian Calabi-Yau lớn hơn, như ta thấy trên hình 11.2. Và cuối cùng, Tian và Yau đã tưởng tượng xé rách nhẹ không gian Calabi-Yau ở chỗ thắt (hình 11.4 (a), "mở" nó ra, chèn vào một quả cầu khác (hình 11.4 (b) rồi "thổi phồng" nó lên tới một dạng khá đầy đặn (hình 11.4 (c) và (d)).

Các nhà toán học gọi dãy các thao tác này là một dịch chuyển lật (transition - flop). Điều này tựa như hình dạng ban đầu của quả bóng bị "lật" ngược trở lại để có một định hướng mới bên trong không gian Calabi-Yau tổng thể. Yau, Tian và những người khác đã nhận thấy rằng trong một số điều kiện, không gian Calabi-Yau mới được tạo ra bởi phép lật này, như minh họa trên hình 11.4 (d) về phương diện tôpô là khác với không gian Calabi-Yau ban đầu (hình 11.3 (a)). Đây là một cách tưởng tượng để nói rằng, tuyệt nhiên không có một cách nào có thể làm biến dạng không gian Calabi-Yau ban đầu (hình 11.3 (a), thành không gian Calabi-Yau cuối cùng (hình 11.4 (d)) mà không phải xé rách cấu trúc không gian, ở một giai đoạn trung gian nào đó.

Hình 11.4

Hình 11.4 Một không gian Calabi-Yau bị thắt được mở ra và một mặt cầu mọc ra, lớn dần lên làm trơn bề mặt của không gian đó.

Trên quan điểm toán học, thủ thuật này của Yau và Tian rất đáng quan tâm, bởi vì nó cho phép ta tạo ra được các không gian Calabi-Yau mới từ những không gian Calabi-Yau đã biết. Nhưng tiềm năng thực sự của phát hiện này lại nằm ở thực tại vật lý, nơi mà một câu hỏi khá hấp dẫn được đặt ra: liệu dãy các thao tác được minh họa trên hình 11.3 (a) tới hình 11.4 (d) chỉ là một thủ thuật toán học trừu tượng hay thực sự có thể xảy ra trong tự nhiên? Liệu có thể xảy ra chuyện, trái với chờ đợi của Einstein, cấu trúc không gian bị xé rách rồi sau đó tự hàn gắn lại theo cách vừa mô tả ở trên hay không?

Vào cuối năm 1991, ít nhất cũng đã có một số các nhà lý thuyết dây tin rằng cấu trúc của không gian có thể bị xé rách. Nhưng chưa ai có đủ kỹ thuật cần thiết để khẳng định hoặc bác bỏ một cách dứt khoát khả năng hấp dẫn đó...

•◎Quan điểm của đối xứng gương

Vài năm sau nhận xét được đưa ra năm 1987, Yau thường xuyên động viên tôi thử suy nghĩ xem những dịch chuyển lật có thể hiện gì về mặt vật lý không. Nhưng tôi đã không làm. Đối với tôi, những dịch chuyển lật này chẳng qua chỉ là một mảnh của toán học trừu tượng và chẳng có dính dáng gì đến lý thuyết dây. Thực tế, dựa trên những điều được thảo luận ở chương 10 trong đó chúng ta đã phát hiện ra rằng các chiều cuộn tròn có một bán kính cực tiểu, ta có thể bột phát nói rằng lý thuyết dây không thể cho phép các mặt cầu trên hình 11.3 liên tục co lại tới một điểm thắt. Nhưng, như đã lưu ý ở trong chương 10, cần nhớ rằng nếu một "mẩu" của không gian bị co lại - trong trường hợp mà ta đang xét đó là một mẩu hình cầu trong không gian Calabi-Yau - chứ không phải toàn bộ một chiều không gian bị co lại, thì những lập luận về các bán kính lớn và nhỏ không còn áp dụng được nữa. Tuy nhiên, cho dù ý tưởng bác bỏ các dịch chuyển lật này có không đứng vững đi nữa, thì khả năng cấu trúc không gian bị xé rách cũng rất nhỏ.

Vào năm 1991, nhà vật lý người Na Uy tên là Andry Lutken và Paul Aspinwall, bạn cùng lớp với tôi ở Oxford và hiện là giáo sư ở đại học Duke, đã đặt một câu hỏi khá lý thú: nếu như cấu trúc không gian của một bộ phận nào đó của không gian Calabi-Yau trong vũ trụ chúng ta thực hiện một dịch chuyển lật làm rách không gian, thì nó sẽ được nhìn như thế nào theo quan điểm của không gian Calabi-Yau đối xứng gương với không gian ban đầu? Để hiểu được động cơ đã thúc đẩy họ đặt ra câu hỏi này, bạn cần nhớ lại rằng vật lý được suy ra từ mỗi thành viên của hai không gian Calabi-Yau đối xứng gương (nếu chúng được chọn làm các chiều phụ của vũ trụ) là hoàn toàn như nhau, trong khi độ phức tạp của toán học mà các nhà vật lý sử dụng để rút ra những tính chất vật lý đó có thể rất khác nhau. Aspinwall và Lutken đã cho rằng những dịch chuyển lật trên hình 11.3 và 11.4 rất phức tạp về mặt toán học rất có thể sẽ được mô tả đơn giản hơn trong không gian đối xứng gương và cho ta một cái nhìn rõ ràng hơn về vật lý có liên quan.

Vào thời gian đó, đối xứng gương còn chưa được hiểu sâu tới mức có

thể trả lời được câu hỏi mà họ đặt ra. Nhưng Aspinwall và Lutken đã nhận thấy rằng dường như trong mô tả đối xứng gương không có dấu hiệu gì cho thấy có hệ quả vật lý tai hại nào liên quan với sự xé rách không gian của dịch chuyển lật. Cũng vào khoảng thời gian đó, công trình của Plesser và tôi nhằm tìm kiếm các cặp không gian Calabi-Yau đối xứng gương (xem chương 10) cũng đã bất ngờ dẫn chúng tôi nghĩ tới các dịch chuyển lật. Trong toán học người ra đã biết rõ rằng việc dính các điểm khác nhau lại với nhau - một thủ tục mà chúng tôi đã dùng để tạo các cặp không gian Calabi-Yau đối xứng gương - dẫn tới những tình huống hình học đồng nhất với việc thắt và đục thủng trên các hình 11.3 và 11.4. Tuy nhiên, về mặt vật lý, Plesser và tôi không thấy có gì tai hại cả. Ngoài ra được khích lệ bởi những nhận xét của Aspinwall và Lutken (cũng như bài báo trước kia của họ cùng với Graham Ross), Plesser và tôi phát hiện ra rằng chúng tôi có thể sửa lại sự thắt về mặt toán học theo hai cách khác nhau. Một cách dẫn tới không gian Calabi-Yau trên hình 11.3 (a) trong khi một cách khác dẫn tới không gian trên hình 11.4 (d). Điều đó gợi ý cho chúng tôi rằng sự tiến hóa trên hình 11.3 (a) đến hình 11.4 (d) thực sự có thể diễn ra trong tự nhiên.

Vào cuối năm 1991, ít nhất cũng đã có một số các nhà lý thuyết dây tin rằng cấu trúc của không gian có thể bị xé rách. Nhưng chưa ai có đủ kỹ thuật cần thiết để khẳng định hoặc bác bỏ một cách dứt khoát khả năng hấp dẫn đó.

Trong suốt năm 1992, Plesser và tôi đã cố gắng chứng minh rằng cấu trúc của không gian có thể thực hiện những dịch chuyển lật xé rách không gian...

•◎Dò dẫm từng bước một

Trong suốt năm 1992, Plesser và tôi đã cố gắng chứng minh rằng cấu trúc của không gian có thể thực hiện những dịch chuyển lật xé rách không gian. Những tính toán của chúng tôi đây đó đều phù hợp với ý tưởng trên, nhưng một chứng minh thật chặt chẽ thì chưa làm được. Một lần vào mùa xuân, Plesser tới viện nghiên cứu cao cấp ở Princeton để làm xêmina và có nói chuyện riêng với Witten về những nỗ lực của chúng tôi. Sau khi tóm tắt những ý tưởng của chúng tôi, Plesser ngồi đợi Witten trả lời. Ông quay mặt ra khỏi bảng và nhìn đăm chiêu ngoài cửa sổ. Sau hai ba phút im lặng, chợt ông quay về phía Plesser nói rằng nếu

những ý tưởng của chúng tôi là đúng thì sẽ thật tuyệt vời. Điều này đã tăng thêm nghị lực cho chúng tôi rất nhiều. Nhưng một thời gian sau, do không tiến thêm được bước nào, chúng tôi ai nấy lại trở về với việc nghiên cứu riêng của mình trong lý thuyết dây.

Mặc dù thế, tôi vẫn cứ trăn trở về khả năng tồn tại những dịch chuyển lật làm rách không gian. Sau mấy tháng trôi qua, tôi ngày càng tin chắc rằng những dịch chuyển đó phải là một bộ phận khăng khít của lý thuyết dây. Những tính toán sơ bộ mà Plesser và tôi đã từng làm cùng với những cuộc thảo luận rất bổ ích với David Morrison, một nhà toán học ở Đại học Duke, đã gây cho tôi ấn tượng rằng đây là kết luận duy nhất tự nhiên của đối xứng gương. Thực tế, trong lần tới làm việc ở Đại học Duke, Morrison và tôi cùng với một số nhận xét của Sheldon Katz thuộc Đại học Okhlahoma, người cũng có mặt ở Đại học Duke thời gian đó, đã phác ra một chiến lược để chứng minh các dịch chuyển lật có thể xảy ra trong lý thuyết dây. Nhưng khi ngồi vào bàn để làm những tính toán cụ thể, chúng tôi mới nhận ra rằng những tính toán này là cực kỳ phức tạp. Ngay cả với một máy tính mạnh nhất thế giới, cũng phải mất một thế kỷ mới tính xong. Chúng tôi cũng đã có những tiến bộ nhất định, nhưng rõ ràng là cần phải có một ý tưởng mới, mới nâng được đáng kể hiệu quả của phương pháp tính toán của chúng tôi. Thật bất ngờ, Victor Batyrev, một nhà toán học ở Đại học Essen, đã phát hiện ra một ý tưởng như vậy trong bài báo được công bố vào mùa xuân và mùa hè năm 1992.

Batyrev đặc biệt quan tâm đến đối xứng gương, nhất là sau thành công của nhóm Candelas dùng đối xứng này giải được bài toán đếm của hình cầu mà ta đã mô tả cuối chương 10. Tuy nhiên, trên quan điểm của một nhà toán học thì Batyrev không hài lòng với những phương pháp là Plesser và tôi đã dùng để tìm ra các cặp không gian Calabi-Yau đối xứng gương. Mặc dù cách tiếp cận của chúng tôi dùng những công cụ quen thuộc đối với các nhà lý thuyết dây, nhưng sau này Batyrev nói với tôi rằng, bài báo của chúng tôi đối với ông giống như "ma thuật". Điều này phản ánh sự chia rẽ về văn hóa rất lớn giữa các lĩnh vực của vật lý và toán học, và vì lý thuyết dây đã làm mờ đi ranh giới nên những khác biệt về ngôn ngữ, phương pháp và phong cách của mỗi lĩnh vực lại càng trở nên rõ hơn. Các nhà vật lý giống như những nhà soạn nhạc tiên phong, sẵn sàng bẻ cong những quy tắc truyền thống và lướt qua những giới hạn về sự chấp nhận để đạt tới mục đích của mình.

Trong khi đó các nhà toán học giống như những nhà soạn nhạc cổ điển, thường làm việc trong những khuôn khổ chặt chẽ hơn nhiều, kiên quyết không đi tiếp theo nếu như tất cả những bước trước đó chưa được xác lập một cách thật chặt chẽ. Mỗi cách tiếp cận đều có những ưu điểm và nhược điểm của nó; mỗi một cách đều mở ra một con đường độc đáo với những phát minh sáng tạo. Cũng giống như âm nhạc cổ điển và hiện đại, không thể nói cách tiếp cận nào là đúng cách tiếp cận nào là sai, những phương pháp mà ta lựa chọn phần lớn phụ thuộc vào sở thích và sự đào tạo.

Batyrev đã bắt tay vào xây dựng lại những đa tạp đối xứng gương trong một khuôn khổ truyền thống hơn và ông đã thành công. Được khích lệ bởi những công trình trước đó của nhà toán học Đài Loan Shi Shyr Roan, ông đã tìm ra một thủ tục toán học rất hệ thống để tạo ra những cặp không gian Calabi-Yau đối xứng gương. Sự xây dựng của ông rồi cũng quy về thủ tục mà Plesser và tôi đã tìm ra trong những ví dụ mà chúng ta đã xem xét ở trên, nhưng nó cho một khuôn khổ tổng quát hơn, được phát biểu theo cách quen thuộc hơn đối với các nhà toán học.

Mặt trái của cái huy chương, đó là bài báo của Batyrev viện đến những lĩnh vực toán học mà đa số các nhà vật lý trước đó chưa từng gặp bao giờ. Như tôi chẳng hạn, tôi chỉ hiểu được những nét chính trong lập luận của ông, còn nhiều chi tiết rất quan trọng trong đó thì rất khó hiểu. Tuy nhiên, có một điều rõ ràng là: nếu hiểu và áp dụng đúng những phương pháp được trình bày trong bài báo của Batyrev, thì rất có thể sẽ mở ra một đường hướng mới trong việc giải quyết vấn đề về những dịch chuyển lật xé rách cấu trúc không gian.

Vào cuối mùa hè, được nạp thêm năng lượng nhờ những phát triển mới đó, tôi quyết định quay trở lại nghiên cứu bài toán về các dịch chuyển lật một cách hoàn toàn chuyên tâm. Morrison cho tôi biết rằng ông sẽ rời Đại học Duke tới làm việc một năm tại Viện nghiên cứu cao cấp Princeton và tôi cũng biết rằng Aspinwall cũng sẽ tới đó thực tập sau tiến sĩ. Sau mấy cú điện thoại và thư điện tử, tôi cũng thu xếp để rời Đại học Cornell tới làm việc ở đó vào mùa thu năm 1992.

Không ai biết rằng sau khi sự xé rách xảy ra thì các không gian Calabi-Yau ở hàng trên và hàng dưới có còn là đối xứng gương của nhau nữa hay không...

•◎Một chiếc lược ra đời

Khó có thể tìm ra một nơi nào lý tưởng hơn để có thể tập trung suy nghĩ căng thẳng nhiều giờ như là Viện nghiên cứu cao cấp. Được thành lập vào năm 1930, Viện được đặt giữa một cánh đồng bằng phẳng, giáp với một cánh rừng thơ mộng, cách Đại học Princeton chỉ vài kilômét. Người ta nói rằng bạn không thể một phút nào sao nhãng công việc tại Viện vì ở đây không có một chỗ vui chơi giải trí nào.

Sau khi rời nước Đức vào năm 1933, Einstein đã tới làm việc tại Viện này và ở luôn đó cho tới tận cuối đời. Chẳng cần nhiều trí tưởng tượng cũng có thể hình dung được ông đã ấp ủ giấc mộng về một lý thuyết trường thống nhất trong một môi trường tĩnh lặng, đơn độc và gần như khắc kỷ của Viện. Di sản tư tưởng thâm thúy của ông thấm đẫm bầu không khí ở đây, khiến cho bạn có thể cảm thấy đầy phấn khích mà cũng có thể hết sức chán nản tùy thuộc vào tình hình tiến triển trong nghiên cứu của bạn.

Ngay sau khi tới Viện, Aspinwall và tôi đã đi dạo trên phố Nassau, phố buôn bán chính ở Princeton, cố gắng thỏa thuận với nhau về chỗ ăn tối. Đây là một thỏa thuận không phải dễ dàng vì Paul thì thích ăn thịt còn tôi lại thích ăn rau. Đang vừa đi vừa hỏi han về cuộc sống của nhau, chợt Paul hỏi tôi đã có ý tưởng gì về công việc sắp làm chưa. Tôi đáp là có và cho anh biết suy nghĩ của tôi về tầm quan trọng của việc xác lập được vũ trụ có chịu những dịch chuyển lật xé rách cấu trúc không gian hay không, nếu nó được mô tả bởi lý thuyết dây. Tôi cũng nói qua về chiến lược mà tôi đang theo đuổi cũng như hy vọng rằng công trình của Batyrev sẽ giúp chúng tôi có được những thứ còn thiếu. Tôi nghĩ rằng mình đã cảm hóa được một con chiên và Paul sẽ rất phấn khích trước triển vọng đó. Nhưng tôi đã lầm. Giờ đây nghĩ lại, tôi biết rằng sự im lặng của Paul phần lớn là do sự tranh đua về trí tuệ rất hiền lành đã có từ rất lâu giữa hai chúng tôi, trong đó mỗi đứa đều không muốn chấp nhận những ý tưởng của đứa kia. Ít ngày sau Paul thay đổi ý kiến và chúng tôi hoàn toàn tập trung nghiên cứu các dịch chuyển lật.

Sau đó, Morrison cũng đã tới và ba chúng tôi gặp nhau trong phòng uống trà của Viện để hoạch định chiến lược. Chúng tôi nhất trí với nhau rằng mục đích chính là phải xác định xem sự tiến hóa từ hình 11.3 (a) cho tới hình 11.4 (d) có thực sự xảy ra trong vũ trụ hay không? Như việc tấn công trực tiếp vào vấn đề đó đã bị chặn, vì những phương trình mô

tả sự tiến hóa này cực kỳ khó khăn, đặc biệt là khi xảy ra sự xé rách không gian. Thay vì thế, chúng tôi quyết định phát biểu lại bài toán bằng cách dùng mô tả đối xứng gương với hy vọng các phương trình sẽ dễ giải hơn. Điều này được mô tả một cách khái lược trên hình 11.5, trong đó hàng trên là dãy tiến hóa gốc từ hình 11.3 (a) cho đến hình 14 (d), còn hàng dưới cũng là dãy tiến hóa đó nhưng theo quan điểm của không gian Calabi-Yau ảnh. Như nhiều người trong số chúng tôi đã nhận thấy, trong bài toán phát biểu lại này, vật lý dây tỏ ra khá hoàn hảo, không hề gặp một tai biến nào. Và bạn có thể thấy trên hình 11.5 rằng ở hàng dưới không hề có một chỗ thắt hay xé rách nào. Nhưng nhận xét này đặt ra cho chúng tôi một câu hỏi, đó là: liệu chúng ta có thể đẩy đối xứng ra ngoài giới hạn áp dụng của nó được không? Mặc dù các không gian Calabi-Yau trên và dưới được vẽ ở đầu xa bên trái của hình 11.5 đều dẫn đến cùng một vật lý, nhưng mỗi một bước trong sự tiến hóa về phía bên phải của hình đó - nhất thiết phải qua giai đoạn thắt - rách - hàn lại ở giữa - thì liệu những tính chất vật lý do không gian gốc và không gian ảnh dẫn tới liệu có còn đồng nhất với nhau nữa hay không?

Hình 11.5. Một dịch chuyển lật xé rách không gian (hàng trên) và cũng dãy tiến hóa nhưng trong không gian ảnh (hàng dưới)

Mặc dù chúng tôi có những lý do vững chắc để tin rằng mối quan hệ đối xứng gương vẫn còn giữ được trong những bước tiến hóa trước khi có sự xé rách trong không gian Calabi-Yau ở hàng trên hình 11.5, nhưng không ai biết rằng sau khi sự xé rách xảy ra thì các không gian Calabi-Yau ở hàng trên và hàng dưới có còn là đối xứng gương của nhau nữa hay không. Đây là câu hỏi rất quan trọng, bởi vì nếu các không gian đó vẫn là đối xứng gương của nhau, thì sự không có tai biến trong không gian ảnh cũng có nghĩa là không có tai biến trong không gian gốc và như vậy điều đó sẽ chứng tỏ rằng trong lý thuyết dây không gian có thể bị xé rách. Chúng tôi phát hiện ra rằng câu hỏi này được quy về một phép tính: đó là rút ra những tính chất vật lý của vũ trụ đối với không gian Calabi-Yau ở hàng trên sau khi bị xé rách (ví dụ dùng một không gian Calabi-Yau ở đầu hàng trên của hình 11.5) và đối với không gian ảnh giả định của nó (không gian Calabi-Yau ở đầu phải hàng dưới của hình 11.5) và xem chúng có đồng nhất với nhau hay không.

Aspinwall, Morrison và tôi đã dành cả một mùa thu năm 1992 cho phép

tính đó.

Morrison và tôi nhanh chóng hiểu được rằng nếu chúng tôi không hoàn tất nhanh tính toán của mình thì Witten sẽ vượt tới đích trước chúng tôi...

•◎Những đêm dài trên mảnh đất đã từng in dấu những bước chân cuối cùng của Einstein

Trí tuệ sắc bén của Edward Witten được che đậy trong cách nói nhũn nhặn thường pha chút giễu cợt gần như châm biếm. Ông được đông đảo giới khoa học xem như là người kế tục của Einstein trong cương vị một nhà vật lý vĩ đại nhất còn đang sống. Một số người còn đi xa hơn nữa, xem ông ông là nhà vật lý vĩ đại nhất của mọi thời đại. Ông có ham muốn không bao giờ thỏa mãn đối với các bài toán vật lý hóc búa và có một ảnh hưởng to lớn trong việc vạch ra phương hướng phát triển cho lý thuyết dây.

Bề rộng và sâu trong sức sáng tạo của Witten có thể nói đã trở thành huyền thoại. Vợ ông, bà Chiar Bappi, cũng là một nhà vật lý của Viện, đã mô tả ông ngồi lặng lẽ trong bếp, khám phá trong óc những vấn đề mới nhất của lý thuyết dây và chỉ thỉnh thoảng mới đứng lên lấy tờ giấy và chiếc bút chì để kiểm tra lại một vài chi tiết còn chưa rõ. Một thực tập sinh sau tiến sĩ còn kể một câu chuyện khác. Anh ta có một mùa hè làm việc trong phòng ngay bên cạnh phòng Witten. Trong khi anh ta còn đang vật vã với những tính toán rất khó của lý thuyết dây, thì thấy ở phòng bên tiếng bàn phím của Witten gõ rào rào không ngớt, bởi vì sau bài báo mở đường, các bài báo tiếp sau cứ rót thẳng từ óc ông xuống bàn phím máy tính.

Khoảng một tuần sau khi tôi tới, Witten và tôi đã có một cuộc nói chuyện trên sân của Viện và ông có hỏi về kế hoạch nghiên cứu của tôi. Tôi nói với ông về những dịch chuyển lật xé rách không gian và chiến lược mà chúng tôi đã hoạch định. Khi nghe những ý tưởng đó, gương mặt ông sáng hẳn lên, nhưng ông thận trọng cảnh báo với tôi rằng những tính toán đó sẽ khó kinh khủng. Ông cũng chỉ ra một khâu yếu tiềm tàng trong chiến lược của chúng tôi, có liên quan tới một số công trình mà tôi đã làm trước đó với Vafa và Warner. Vấn đề mà ông nêu ra ít có liên quan tới cách tiếp cận của chúng tôi đối với các dịch chuyển lật, nhưng nó khiến ông bắt đầu nghĩ về cái mà sau này hóa ra lại là

những vấn đề có liên quan và bổ sung cho nhau.

Aspinwll, Morrison và tôi quyết định tách công việc tính toán làm hai phần. Thoạt nhìn, một sự phân chia xem ra có vẻ tự nhiên, đó là: ban đầu hãy rút ra những tính chất vật lý liên quan với không gian Calabi-Yau cuối cùng ở hàng trên, rồi sau đó làm đúng như vậy đối với không gian Calabi-Yau cuối cùng ở hàng dưới trong hình 11.5. Nếu quan hệ đối xứng gương của hai không gian này vẫn chưa bị phá vỡ sau sự xé rách cấu trúc không gian trong không gian Calabi-Yau ở hàng trên, thì hai không gian Calabi-Yau cuối cùng này sẽ cùng dẫn đến một vật lý như nhau, giống như hai không gian Calabi-Yau bắt đầu của hai dãy tiến hóa trên hình 11.5. (Cách làm này nhằm tránh những khó khăn rất lớn về mặt toán học liên quan với không gian Calabi-Yau ngay khi nó bị rách). Tuy nhiên, hóa ra việc tính toán những tính chất vật lý liên quan với không gian Calabi-Yau cuối cùng ở hàng trên lại không mấy khó khăn. Khó khăn thực sự trong việc thực hiện chương trình của chúng tôi là phải hình dung được hình dạng chính xác của không gian Calabi-Yau cuối cùng của hàng dưới trên hình 11.5, tức không gian ảnh giả định của không gian Calabi-Yau cuối cùng ở hàng trên, sau đó rút ra các tính chất vật lý có liên quan với nó.

Thủ tục để thực hiện nhiệm vụ thứ hai này, tức là nhiệm vụ rút ra những tính chất vật lý có liên quan với không gian Calabi-Yau cuối cùng ở hàng dưới, một khi đã biết mình dạng chính xác của nó, thực ra đã được nhóm của Candelas xây dựng từ mấy năm trước đó. Tuy nhiên, cách tiếp cận của nhóm đó rất nặng về tính toán và chúng tôi nhận thấy rằng phải có một chương trình máy tính thông minh hơn để thực hiện những tính toán đó trong một ví dụ cụ thể của chúng tôi. Aspinwall không chỉ là một nhà vật lý nổi tiếng mà còn là một nhà lập trình sừng sỏ, vì vậy anh đã nhận làm nhiệm vụ này. Morrison và tôi đảm nhận nhiệm vụ thứ nhất, cụ thể là phải xác định được hình dạng chính xác của không gian Calabi-Yau ảnh giả định.

Và chính ở đây, chúng tôi mới cảm thấy công trình của Batyrev có thể sẽ cho chúng tôi một số đầu mối quan trọng. Tuy nhiên, lại một lần nữa, sự ngăn cách về văn hóa giữa toán học và vật lý - mà trong trường hợp này là giữa tôi và Morrison - đã bắt đầu làm chậm trễ tiến độ. Chúng tôi cần kết hợp sức mạnh của hai lĩnh vực để tìm ra dạng toán học của những không gian Calabi-Yau ở hàng dưới mà chúng tôi hy vọng sẽ tương ứng

với cùng một vũ trụ vật lý với những không gian Calabi-Yau ở hàng trên, nếu như các dịch chuyển xé rách không gian thực sự xảy ra trong tự nhiên. Nhưng cả hai chúng tôi đều chưa hiểu hết ngôn ngữ của nhau để biết rõ phải làm thế nào đạt tới mục đích đó. Cả hai chúng tôi giờ đây mới hiểu ra một điều: mỗi chúng tôi cần phải cắn răng học gấp lĩnh vực chuyên môn của người kia. Và vì vậy chúng tôi đã quyết định ban ngày cố hết sức đẩy nhanh tiến độ tính toán, còn về ban đêm cả hai vừa là giáo sư vừa là sinh viên cho một lớp học chỉ có một người: tôi giảng cho Morrison một hai giờ về vấn đề vật lý có liên quan, còn Morrison giảng cho tôi một hai giờ về những vấn đề toán học. Trường học thường tan vào lúc 11 giờ đêm.

Hết ngày này sang ngày khác chúng tôi vùi đầu vào tính toán. Tiến độ rất chậm, nhưng chúng tôi cảm thấy rằng mọi thứ đã đâu vào đấy: Witten đã có những bước tiến quan trọng trong việc phát biểu lại khâu còn yếu mà ông đã phát hiện ra trước đây. Công trình của ông đã đặt nền móng cho một phương pháp mới, mạnh hơn để chuyển dịch vật lý của lý thuyết dây sang ngôn ngữ toán học của các không gian Calabi-Yau. Aspinwall, Morrison và tôi gặp ông hàng ngày và ông đã cho chúng tôi biết những phát hiện mới được suy ra từ cách tiếp cận của ông. Các tuần lễ nối nhau qua đi và ngày càng trở nên rõ ràng rằng công trình của ông, xuất phát từ một tình huống hoàn toàn khác với chúng tôi, lại hội tụ thật bất ngờ tới vấn đề về những dịch chuyển lật. Morrison và tôi nhanh chóng hiểu được rằng nếu chúng tôi không hoàn tất nhanh tính toán của mình thì Witten sẽ vượt tới đích trước chúng tôi.

Đúng lúc đó, tôi nhảy ra khỏi ghế và chạy lung tung trong phòng như một gã điên, còn Morrison cười hớn hở phía sau chiếc máy tính. Tuy nhiên, phản ứng của aspinwall hoàn toàn khác: “Thật là vĩ đại, nhưng mình biết trước mọi chuyện sẽ OK mà” - cậu ta nói tỉnh bơi - “Nhưng bia của mình đâu?”...

•◎Ngày nghỉ cuối tuần, công việc và két bia

Đối với các nhà vật lý, không có gì khiến đầu óc tập trung mạnh bằng một cuộc tranh đua lành mạnh. Aspinwall, Morrison và tôi bèn mở hết tốc lực. Nhưng điều đó có ý nghĩa đối với Morrison và tôi một nhẽ, còn đối với Aspinwall lại là một nhẽ khác. Trong con người của Aspinwall có sự hòa trộn kỳ lạ sự nhạy của của giới quý tộc Anh, kết quả của hơn mười năm sinh viên và nghiên cứu sinh ở Đại học Oxford, và một chút

xíu gì đó của sự ma mãnh. Về chuyện liên quan tới thói quen làm việc thì Aspinwall có lẽ là nhà vật lý văn minh nhất mà tôi biết. Khi mà rất đông trong số chúng tôi lặn lội như lũ chim ăn đêm, thì anh bao giờ cũng ngừng làm việc sau 5 giờ chiều. Và nếu như anh thu được nhiều thành công là bởi vì anh vừa nhanh nhạy vừa hiệu quả. Đối với Aspinwall làm càng nhanh thì hiệu quả làm việc sẽ càng cao.

Thế là đã tới đầu tháng mười hai. Morrison và tôi đã dạy cho nhau được vài tháng và cuối cùng cũng đã được đền đáp. Chúng tôi đã tiến gần tới việc xác định hình dạng chính xác của không gian Calabi-Yau mà chúng tôi đã cất công tìm kiếm. Hơn thế nữa, Aspinwall cùng vừa mới hoàn tất phần lập trình cho máy tính và ngồi đợi kết quả của chúng tôi - dữ liệu đầu vào chương trình của anh. Vào đêm một ngày thứ Năm, Morrison và tôi cuối cùng tin rằng chúng tôi đã xác định được không gian Calabi-Yau cần tìm. Điều này cũng được quy về một thủ tục đòi hỏi phải biết một số dòng lệnh riêng, mặc dù cũng đơn giản thôi. Vào trưa thứ Sáu, chúng tôi đã viết xong chương trình và tiến hành sửa lỗi. Đêm khuya hôm đó kết quả của chúng tôi đã sẵn sàng.

Nhưng lúc đó đã là 5 giờ chiều mà lại vào ngày thứ Sáu nữa. Aspinwall đã về nhà từ lâu và chỉ sáng thứ Hai mới đến Viện. Chúng tôi không thể làm gì nếu không có chương trình đã được lập sẵn của Aspinwall. Cả Morrison và tôi đều không thể chịu được việc phải đợi hết hai ngày nghỉ cuối tuần đó. Chúng tôi đã ngấp nghé trả lời được câu hỏi đã từng ấp ủ bao lâu nay về sự xé rách cấu trúc không gian và hồi hộp tới mức không thể chờ đợi được nữa. Chúng tôi bèn gọi điện về nhà cho Aspinwall. Ban đầu, anh từ chối lời đề nghị của chúng tôi tới làm việc vào sáng hôm sau. Nhưng rồi sau mấy lời cằn nhằn, anh đồng ý với điều kiện phải mua sẵn một két bia. Và chúng tôi đã chấp nhận.

Thời điểm quyết định

Tất cả chúng tôi đều có mặt tại Viện vào sáng thứ Bảy như đã định. Đó là một buổi sáng chan hòa ánh nắng và bầu không khí mời gọi nghỉ ngơi. Về phần mình, tôi nghĩ rằng 50% là Aspinwall sẽ không tới, và khi anh tới, tôi đã phải dành ra 15 phút để chúc mừng ngày nghỉ cuối tuần đầu tiên mà anh đi làm. Aspinwall nói như đinh đóng cột rằng điều này sẽ không bao giờ được lặp lại nữa.

Tất cả ba chúng tôi đứng vây quanh chiếc máy tính của Morrison đặt

trong phòng chúng của tôi và anh. Aspinwall hướng dẫn Morrison cho hiện chương trình của anh lên màn hình và chỉ rõ dạng của dữ liệu đầu vào. Morrison chỉnh lại phần chương trình mà chúng tôi đã viết đêm hôm qua trước cho phù hợp và chúng tôi đã sẵn sàng để bắt đầu.

Tính toán cụ thể mà chúng tôi đã làm, nói một cách nôm na là xác định khối lượng của một loại hạt nào đó, tức một mode dao động cụ thể của dây khi nó chuyển động trong một vũ trụ mà thành phần Calabi-Yau của nó chúng tôi đã mất cả một mùa thu để tìm kiếm. Theo chiến lược đã được thảo luận ở trên, chúng tôi hy vọng rằng khối lượng này sẽ đúng bằng khối lượng được tính toán trên không gian Calabi-Yau xuất hiện từ sự dịch chuyển lật xé rách không gian (tức là không gian Calabo-Yau cuối cùng bên phải ở hàng trên trong hình 11.5 - ND). Tính toán này thực hiện tương đối dễ và chúng tôi đã hoàn thành nhiều tuần trước đó. Đáp số nhận được là 3 theo đơn vị đặc biệt mà chúng tôi thường dùng. Vì bây giờ chúng tôi đang làm tính toán bằng số trên không gian Calabi-Yau ảnh giả định, nên chúng tôi hy vọng sẽ nhận được một con số không chính xác bằng 3 nhưng rất gần con số đó, đại khái như 3,000001 hay 2,999999, chẳng hạn.

Morrison ngồi bên máy tính với ngón tay nhăm nhăm trên phím Enter. Với giọng hơi căng thẳng, anh nói: "Xong rồi" và cho chương trình chạy. Sau mấy giây, máy tính cho kết quả: 8,999999. Tim tôi thót lại. Lẽ nào những dịch chuyển làm xé rách không gian đã phá vỡ quan hệ đối xứng gương và điều đó có nghĩa là những dịch chuyển đó không thực sự xảy ra trong tự nhiên? Tuy nhiên, ngay lập tức chúng tôi hiểu ra rằng chắc là có trục trặc gì đó. Bởi vì nếu thực sự có sự không phù hợp giữa hai vật lý suy ra từ hai không gian, thì khả năng những tính toán trên máy tính cho một đáp số rất gần với một số nguyên như vậy là cực kỳ nhỏ. Và nếu như những ý tưởng của chúng tôi là sai, thì chẳng có lý do gì trên đời này để chờ đợi nhận được một điều gì khác ngoài những con số ngẫu nhiên. Chúng tôi đã nhận được một đáp số sai, nhưng là một đáp số gợi ý chắc rằng là chúng tôi đã phạm một sai lầm số học đơn giản nào đó. Aspinwall và tôi bèn đi tới chiếc bảng đen và trong giây lát chúng tôi đã tìm ra sai lầm: chúng tôi đã bỏ mất một thừa số 3 trong tính toán "đơn giản hơn" mà chúng tôi đã hoàn thành nhiều tuần lễ trước đó. Nghĩa là đáp số đúng phải là 9. Vì vậy đáp số của máy tính đúng là số mà chúng tôi mong muốn.

Tất nhiên, sự phù hợp sau khi chuyện đã rồi không có sức thuyết phục lắm. Một khi chúng ta đã biết trước đáp số thì bao giờ cũng rất dễ hình dung ra cách để nhận được nó. Vì vậy chúng tôi cần phải làm một ví dụ khác. Sau khi đã có sẵn chương trình thì làm việc đó không mấy khó khăn. Chúng tôi tính khối lượng của một hạt khác trong không gian Calai-Yau ở hàng trên, nhưng lần này hết sức thận trọng để không bị mắc sai lầm nữa. Và chúng tôi tìm ra đáp số là 12. Lại một lần nữa chúng tôi vây quanh chiếc máy tính và mấy giây sau, nó cho kết quả là 11,999999. Một sự trùng hợp tuyệt vời! Vậy là chúng tôi đã chứng minh được rằng ảnh gương giả định đúng là ảnh gương thật và do đó những dịch chuyển lật là một bộ phận của lý thuyết dây.

Đúng lúc đó, tôi nhảy ra khỏi ghế và chạy lung tung trong phòng như một gã điên, còn Morrison cười hớn hở phía sau chiếc máy tính. Tuy nhiên, phản ứng của aspinwall hoàn toàn khác: "Thật là vĩ đại, nhưng mình biết trước mọi chuyện sẽ OK mà" - cậu ta nói tỉnh bơi - "Nhưng bia của mình đâu?"

Thứ hai tuần sau, chúng tôi đắc thắng tới gặp Witten. Nhưng hóa ra ông cũng vừa mới tìm ra một cách để xác lập rằng những dịch chuyển lật cũng xảy ra trong lý thuyết dây. Lập luận của ông cho phép hiểu được rõ hơn tại sao sự xé rách không gian lại không gây ra những hậu quả tai biến nào...

•◎Phương pháp của Witten

Thứ hai tuần sau, chúng tôi đắc thắng tới gặp Witten. Ông rất vui mừng trước kết quả của chúng tôi. Nhưng hóa ra ông cũng vừa mới tìm ra một cách để xác lập rằng những dịch chuyển lật cũng xảy ra trong lý thuyết dây. Lập luận của ông rất khác với chúng tôi và nó cho phép hiểu được rõ hơn tại sao sự xé rách không gian lại không gây ra những hậu quả tai biến nào.

Phương pháp của Witten làm nổi bật sự khác nhau giữa lý thuyết dựa trên các hạt điểm và lý thuyết dây khi mà xảy ra sự xé rách không gian. Sự khác biệt chủ yếu là ở chỗ: có hai loại chuyển động của dây ở gần chỗ rách nhưng chỉ có một loại chuyển động của hạt điểm. Cụ thể là dây có thể chuyển động kề với chỗ rách giống như một hạt điểm, nhưng khi chuyển động về phía trước, nó còn có thể bao quanh chỗ rách, như được minh họa trên hình 11.6. Về căn bản, sự phân tích của Witten cho thấy

rằng các dây bao quanh chỗ rách - điều không thể xảy ra đối với các hạt điểm - đã chắn cho vũ trụ xung quanh khỏi những hiệu ứng tai biến, mà nếu không, nhất định sẽ xảy ra. Điều đó tựa như mặt vũ trụ của dây (từ chương 6 ta biết rằng đó là mặt hai chiều mà dây quét nên khi chuyển động qua không gian) tạo ra một tấm chắn bảo vệ có tác dụng triệt tiêu những hiệu ứng tai biến do sự xé rách cấu trúc không gian gây ra.

Hình 11.6. Mặt vũ trụ quét nên bởi một dây tạo ra một tấm chắn có tác dụng triệt tiêu những hiệu ứng tai biến do sự xé rách cấu trúc không gian gây ra.

Đến đây bạn có thể hỏi: Liệu điều gì sẽ xảy ra nếu như có sự xé rách không gian nhưng ở lân cận đó chẳng có một dây nào để che chắn? Hơn nữa, chắc bạn cũng băn khoăn rằng ở thời điểm xảy ra sự xé rách không gian, nói một dây - tức một vòng dây nhỏ xíu - có thể che chắn những hiệu ứng tai biến thì có khác gì nấp sau một chiếc vành gỗ để tránh mảnh bom! Việc giải quyết hai vấn đề đó dựa trên một đặc điểm trung tâm của cơ học lượng tử mà chúng ta đã thảo luận ở chương 4. Ở đó chúng ta đã thấy rằng, trong hình thức luận cơ học lượng tử của Feynman, một đối tượng bất kỳ, dù là hạt hay dây, đi từ nơi này đến nơi khác "bằng cách thăm dò" mọi quỹ đạo khả dĩ. Chuyển động kết quả quan sát được là tổ hợp của tất cả những khả năng đó với những đóng góp tương đối của mỗi quỹ đạo khả dĩ được xác định một cách chính xác bởi công cụ toán học của cơ học lượng tử. Nếu có sự xé rách trong cấu trúc của không gian thì trong số những quỹ đạo khả dĩ của dây chuyển động sẽ có những quỹ đạo bao quanh chỗ rách giống như những quỹ đạo trên hình 11.6. Ngay cả khi không có một dây nào ở gần chỗ xảy ra sự xé rách, thì cơ học lượng tử cũng tính tới những hiệu ứng vật lý từ tất cả các quỹ đạo khả dĩ trong đó có rất nhiều (thực tế là vô hạn) quỹ đạo bảo vệ bao quanh chỗ rách. Và theo Witten, thì chính những đóng góp này đã triệt tiêu một cách chính xác tai biến vũ trụ, mà nếu không, sự xé rách không gian sẽ tạo ra tai biến đó.

Tháng Giêng năm 1993, Witten và ba chúng tôi đã tung đồng thời hai bài báo lên Internet, thông qua đó các bài báo về vật lý nhanh chóng tới được khắp nơi trên thế giới. Hai bài báo đã mô tả, trên những quan điểm rất khác nhau của chúng tôi, những ví dụ đầu tiên về các dịch chuyển làm thay đổi tôpô (tên gọi chuyên môn của các quá trình xé rách không gian mà chúng tôi đã tìm ra). Vậy là câu hỏi tồn tại đã rất lâu về

sự xé rách của cấu trúc không gian đã được giải quyết một cách định lượng bởi lý thuyết dây.

Nếu chúng ta có khả năng hình dung được hình học sáu chiều, thì chúng ta sẽ thấy rằng đúng là không gian bị rách, nhưng nó rách theo một cách khá êm ái như vết nhạy cắn trên len chứ không như chiếc quần chật cứng bị rách toạc ở gối khi người mặc quỳ xuống...

•◎Những hệ quả

Chúng tôi đã tốn rất nhiều công sức để phát hiện ra rằng sự xé rách cấu trúc không gian không dẫn tới một tai biến vật lý nào. Vậy thì điều gì sẽ xảy ra khi cấu trúc không gian bị xé rách? Từ đó có thể rút ra những hệ quả gì? Chúng ta đều thấy rằng nhiều tính chất của thế giới xung quanh chúng ta phụ thuộc vào cấu trúc chi tiết của các chiều bị cuộn lại. Do đó, hẳn là bạn sẽ nghĩ rằng sự biến đổi khá dữ dội từ một không gian Calabi-Yau này sang không gian Calabi-Yau khác như được minh họa trên hình 11.5, chắc sẽ có những tác động vật lý đáng kể. Tuy nhiên, những hình vẽ với số chiều thấp mà chúng ta sử dụng để hình dung những không gian có số chiều cao hơn đã làm cho những phép biến đổi đó phần nào phức tạp hơn so với thực tế. Nếu chúng ta có khả năng hình dung được hình học sáu chiều, thì chúng ta sẽ thấy rằng đúng là không gian bị rách, nhưng nó rách theo một cách khá êm ái như vết nhạy cắn trên len chứ không như chiếc quần chật cứng bị rách toạc ở gối khi người mặc quỳ xuống.

Công trình của chúng tôi và công trình của Witten chứng tỏ rằng những đặc trưng vật lý như số họ các dao động của dây và các loại hạt trong mỗi họ đó đều không bị ảnh hưởng bởi những quá trình này. Vì không gian Calabi-Yau tiến hóa qua một giai đoạn bị xé rách nên cái có thể sẽ bị ảnh hưởng là giá trị chính xác của khối lượng mỗi hạt riêng rẽ. Các bài báo của chúng tôi cũng chứng tỏ rằng những khối lượng đó sẽ biến thiên liên tục phù hợp với dạng hình học thay đổi của thành phần Calabi-Yau của không gian, một số giá trị thì tăng một số khác thì giảm. Tuy nhiên, điều quan trọng nhất là không có sự nhảy cóc gây tai biến, hay sự tăng (giảm) đột ngột hoặc một đặc điểm dị thường nào khác của những khối lượng biến thiên đó khi sự xé rách xảy ra. Trên quan điểm vật lý, thời điểm cấu trúc không gian bị xé rách không có những đặc tính khác biệt nào.

Tuy nhiên, điều này đặt ra hai vấn đề: thứ nhất, chúng ta đã tập trung xem xét sự xé rách cấu trúc không gian trong thành phần Calabi-Yau sáu chiều phụ của vũ trụ. Vậy liệu sự xé rách đó có xảy ra trong ba chiều quen thuộc với chúng ta hay không? Câu trả lời gần như chắc chắn là có. Xét cho tới cùng, không gian là không gian, bất kể chúng được cuộn thành một không gian Calabi-Yau hay được nở ra thành những khoảng không bao la của vũ trụ mà chúng ta cảm nhận được vào những đêm đẹp trời lấp lánh ánh sao. Thực tế, chúng ta đã thấy chính các chiều không gian quen thuộc cũng có thể cuộn lại thành một vòng tròn cực lớn đó sao. Vì thế, sự phân biệt giữa các chiều cuộn lại và không cuộn lại cũng hơi có vẻ nhân tạo. Tuy những phân tích của chúng tôi và của Witten dựa trên những đặc điểm toán học cụ thể của các không gian Calabi-Yau, nhưng kết quả, tức là sự xé rách cấu trúc không gian, chắc chắn là có phạm vi ứng dụng rộng lớn hơn.

Thứ hai, vậy thì sự xé rách làm thay đổi tôpô như vậy có thể xảy ra hôm nay hoặc ngày mai hay không? Và liệu nó đã xảy ra trong quá khứ hay chưa? Câu trả lời là có. Những phép đo thực nghiệm đối với khối lượng các hạt sơ cấp chứng tỏ rằng giá trị của chúng khá ổn định theo thời gian. Nhưng nếu chúng ta quay trở lại những thời kỳ sớm nhất sau Big Bang, thì ngay cả những lý thuyết không dựa trên các dây cũng phải viện đến những giai đoạn quan trọng, trong đó giá trị khối lượng của các hạt sơ cấp biến thiên theo thời gian. Những giai đoạn đó, theo quan điểm của lý thuyết dây, có nhiều khả năng liên quan tới những xé rách làm thay đổi tôpô mà ta vừa thảo luận ở trên. Gần đây hơn, sự ổn định quan sát được của khối lượng các hạt sơ cấp hàm ý rằng nếu như vũ trụ đang chịu sự xé rách làm thay đổi tôpô, thì điều đó diễn ra cực kỳ chậm chạp, chậm tới mức ảnh hưởng của nó đến khối lượng các hạt sơ cấp còn nhỏ hơn độ nhạy của các máy móc thực nghiệm ngày hôm nay của chúng ta. Một điều đáng nói nữa là, nếu như điều kiện nói trên là đúng, thì ngay ở thời điểm này vũ trụ cũng có thể đang bị xé rách cũng nên. Nếu như sự xé rách xảy ra là đủ chậm, thì chúng ta thậm chí cũng không biết được là nó đang xảy ra. Đây là một trong số những ví dụ hiếm hoi trong vật lý, khi mà sự thiếu vắng những hiện tượng lạ quan sát được lại là nguyên nhân cho sự phấn khích mạnh mẽ. Việc không có những hệ quả tai biến quan sát được từ một tiến hóa hình học lạ lùng như vậy là một bằng chứng cho thấy lý thuyết dây đã vượt xa ra ngoài sự chờ đợi của Einstein đến mức nào.

Khi các nhà vật lý nghiên cứu những phương trình của một trong số 5 lý thuyết dây, họ đã phát hiện ra rằng chúng thực sự có nhiều nghiệm...

CHƯƠNG 12

CUỘC TÌM KIẾM LÝ THUYẾT – M

Trong cuộc tìm kiếm một lý thuyết thống nhất kéo dài nhiều thập niên của mình, Einstein đã từng trăn trở: liệu "Thượng đế có tạo ra vũ trụ theo một cách khác, tức là sự thiết yếu phải có tính đơn giản về mặt lôgíc có chừa lại một chút tự do nào hay không [1]". Với nhận xét như vậy, Einstein lần đầu tiên đã phát biểu một quan điểm mà ngày nay nhiều nhà vật lý còn chia sẻ, đó là: nếu như tồn tại một lý thuyết tối hậu về vũ trụ, thì một trong những luận cứ có sức thuyết phục nhất bênh vực dạng cụ thể của nó là lý thuyết đó không thể khác được. Lý thuyết tối hậu phải có dạng như nó có, bởi vì nó là khuôn khổ giải thích duy nhất có khả năng mô tả vũ trụ mà không có mâu thuẫn nội tại cũng như những điều vô lý về mặt lôgíc nào. Một sự thay đổi nhỏ, dù nhỏ đến đâu đi nữa, cũng sẽ gieo những hạt mầm phá hủy ngay trong lý thuyết đó, giống như mệnh đề "câu này là sự dối trá" vậy.

Quá trình xác lập đặc tính tất yếu đó của cấu trúc vũ trụ là một con đường dài dằng dặc và lắm chông gai, bởi vì nó phải đối mặt với những câu hỏi cơ bản nhất của mọi thời đại. Những câu hỏi này vấp phải những bí ẩn bao quanh người nào hoặc cái gì đã làm những lựa chọn thiết yếu cho sự thiết kế nên vũ trụ của chúng ta. Tính tất yếu trả lời cho những câu hỏi đó bằng cách xóa bỏ đi những sự lựa chọn khác. Thực sự ra, tính tất yếu có nghĩa là không có sự lựa chọn. Tính tất yếu tuyên bố rằng vũ trụ không hề là khác được. Chúng ta sẽ thảo luận trong chương 14, không có gì đảm bảo rằng vũ trụ lại được cấu trúc quá chặt chẽ như thế. Tuy nhiên, việc săn đuổi tính chặt chẽ nghiêm ngặt như vậy trong các định luật của tự nhiên lại chính là vấn đề trung tâm của chương trình thống nhất của vật lý hiện đại.

Ngay từ cuối những năm 1980, các nhà vật lý đã hiểu được rằng cho dù lý thuyết dây có tiến dần tới sự mô tả duy nhất vũ trụ đi nữa thì nó cũng không bao giờ đạt tới được hoàn toàn. Có hai lý do. Trước hết, như đã được nêu một cách ngắn gọn trong chương 7, các nhà vật lý thực sự

đã tìm ra 5 phiên bản khác nhau của lý thuyết dây. Đó là các lý thuyết có tên gọi là Loại I, loại IA, loại IIB, Heterotic 0 (32) (thường gọi tắt là Heterotic 0) và Heterotic E8 (E8 thường gọi tắt là Heterotic E). Tất cả năm lý thuyết này đều có chung nhiều đặc trưng cơ bản như các mode dao động của dây xác định khối lượng và tích lực khả dĩ của các hạt, các lý thuyết này đều đòi hỏi phải có cả thảy 10 chiều không gian, những chiều cuộn lại phải là một trong số các không gian Calabi-Yau v.v. Chính vì lý do đó mà trong các chương trước, chúng tôi không nhấn mạnh sự khác biệt của các lý thuyết này. Tuy nhiên, vào những năm 1980, người ta đã chứng minh được rằng những lý thuyết đó là khác nhau. Bạn có thể đọc thêm về điều này trong phần chú thích ở cuối sách, nhưng thực ra chỉ cần biết rằng chúng khác nhau ở cách thức mà chúng bao hàm siêu đối xứng và ở một số chi tiết quan trọng trong các mode dao động của các dây [2]. (Ví dụ, trong lý thuyết loại I, ngoài các vòng dây kín mà chúng ta đã xét ở trên còn có các dây hở với hai đầu tự do). Đây là một mối lo lắng thực sự đối với các nhà lý thuyết dây, bởi vì mặc dù có một đề xuất nghiêm túc cho một lý thuyết thống nhất tối hậu đã gây ra một ấn tượng sâu sắc, nhưng việc có tới năm đề xuất đã làm cho ấn tượng ban đầu giảm đi rất nhiều.

Sự lệch thứ hai khỏi tính tất yếu còn tinh tế hơn nhiều. Để đánh giá điều này một cách đầy đủ, chúng ta cần phải thừa nhận rằng, tất cả các lý thuyết đều gồm có hai phần. Phần thứ nhất là tập hợp những ý tưởng cơ bản của lý thuyết và thường được biểu đạt bằng các phương trình toán học. Phần thứ hai của lý thuyết bao gồm lời giải của các phương trình đó. Nói chung, một số phương trình có một và chỉ một nghiệm trong khi những phương trình khác có thể có nhiều nghiệm. (Xin nêu một ví dụ đơn giản, phương trình "2 nhân với một số nào thì bằng 10" có một nghiệm bằng 5. Nhưng phương trình "0 nhận với số nào thì bằng 0" lại có vô số nghiệm, vì bất cứ số nào nhân với 0 cũng cho kết quả bằng 0). Và như vậy, cho dù sự nghiên cứu có dẫn tới một lý thuyết duy nhất với các phương trình duy nhất đi nữa, thì tính tất yếu vẫn có thể bị phương hại bởi vì những phương trình đó có thể có nhiều nghiệm khả dĩ khác nhau. Vào cuối những năm 1980, người ta nhận ra rằng đó chính là trường hợp của lý thuyết dây. Khi các nhà vật lý nghiên cứu những phương trình của một trong số năm lý thuyết dây, họ đã phát hiện ra rằng chúng thực sự có nhiều nghiệm. Ví dụ, có nhiều cách khả dĩ để làm cuộn các chiều phụ và mỗi một cách (cũng tức là mỗi một nghiệm) lại tương ứng với một vũ trụ có những tính chất khác. Phần lớn

các vũ trụ này, mặc dù đều xuất hiện từ những nghiệm hợp thức của các phương trình trong lý thuyết dây, nhưng chúng chẳng có liên quan gì đến vũ trụ chúng ta.

Những sự sai lệch đó đối với tính tất yếu dường như là một đặc tính đáng tiếc của lý thuyết dây. Song, những nghiên cứu vào giữa những năm 1990 đã mang lại cho chúng ta niềm hy vọng mạnh mẽ rằng những đặc tính đó chẳng qua là do cách thức phân tích lý thuyết dây của các nhà vật lý mà thôi. Nói một cách ngắn gọn, các phương trình của lý thuyết dây phức tạp tới mức không ai biết dạng chính xác của nó là như thế nào. Do vậy, các nhà vật lý đành phải viết ra các phương trình gần đúng. Và chính những phương trình gần đúng này đã tạo nên sự khác biệt đáng kể giữa một lý thuyết dây này với các lý thuyết dây khác. Và trong bối cảnh của mỗi trong số 5 lý thuyết dây, chính những phương trình gần đúng này đã cho rất nhiều nghiệm, tức cũng có nghĩa là đã tạo ra rất nhiều vũ trụ không mong muốn.

Từ khi bắt đầu cuộc cách mạng siêu dây lần thứ hai vào năm 1995, ngày càng có nhiều bằng chứng cho thấy các phương trình chính xác - mà dạng cụ thể của chúng vẫn còn ở ngoài tầm nghiên cứu của chúng ta - có thể giải quyết được các vấn đề đó, và do vậy giúp cho lý thuyết dây vẫn giữ được con dấu về tính tất yếu. Thực tế, các nhà lý thuyết dây đã vô cùng hài lòng khi xác lập được rằng: một khi đã hiểu được phương trình chính xác, thì sẽ chứng minh được tất cả năm lý thuyết dây thực sự có mối liên hệ khăng khít với nhau. Giống như năm cánh tay của con sao biển, năm lý thuyết này thực tế chỉ là các bộ phận của cùng một thực thể với những chi tiết còn đang được nghiên cứu một cách ráo riết. Hiện nay các nhà vật lý tin rằng thay vì có 5 lý thuyết dây phân biệt, sẽ chỉ có một lý thuyết có khả năng khâu tất cả 5 lý thuyết đó lại thành một khuôn khổ lý thuyết duy nhất. Và tựa như ánh sáng sẽ được nảy sinh khi các mối quan hệ ẩn dấu được phát lộ, sự thống nhất này sẽ mang lại cho ta một quan điểm mới đầy sức mạnh để tìm hiểu vũ trụ phù hợp với lý thuyết dây.

Để giải thích những phát hiện mới này, chúng ta cần phải đề cập tới một số phát triển mũi nhọn nhất và cũng là khó khăn nhất của lý thuyết. Chúng ta cũng cần phải hiểu những phép gần đúng hiện đang được dùng để nghiên cứu lý thuyết dây cũng như những hạn chế cố hữu của những phép gần đúng đó. Chúng ta cũng cần làm quen với những kỹ

thuật thông minh hơn - thường được gọi là tính ngẫu - mà các nhà vật lý đã sử dụng để né tránh một số phép gần đúng đó. Và cuối cùng, chúng ta còn phải theo dõi những suy luận khá tinh tế trong việc sử dụng những kỹ thuật đó để đi tới những phát hiện mà chúng ta vừa nói qua ở trên. Nói thế, nhưng bạn đừng có lo: phần thực sự khó khăn nhất của công việc thì các nhà lý thuyết dây đã làm rồi và chúng ta chỉ còn việc giải thích những kết quả mà họ đã nhận được mà thôi.

Tuy nhiên, vì có nhiều vấn đề tưởng như tách biệt mà chúng ta cần phải phát triển rồi lắp ghép lại với nhau, nên trong chương này dễ chỉ thấy cây mà không thấy rừng. Và vì vậy, nếu như có một lúc nào đó sự thảo luận hơi quá rắc rối và bạn định chuyển thẳng tới các lỗ đen (chương 13) hoặc vũ trụ học (chương 14) thì nên quay lại đọc lướt qua mục tiếp sau, vì chúng tóm tắt những phát minh chủ yếu của cuộc cách mạng siêu dây lần thứ hai.

[1] Albert Einstein, được trích trong cuốn Theories of Everything, của John Barrow (New york: Fawcett – Columbine, 1992) trang 13.

[2] Bây giờ chúng ta sẽ tổng kết một cách ngắn gọn sự khác nhau của 5 lý thuyết dây. Để làm điều đó, cần lưu ý rằng những sóng dao động truyền dọc theo vòng dây có thể theo chiều kim đồng hồ và ngược chiều kim đồng hồ. Các dây loại IIA và loại IIB khác nhau ở chỗ trong lý thuyết loại IIB, các dao động thuận và ngược chiều kim đồng hồ là hoàn toàn đồng nhất, trong khi đó trong lý thuyết loại IIA chúng có dạng ngược nhau. Ngược ở đây có một ý nghĩa toán học rất chính xác, nhưng dễ hình dung nhất là nên nghĩ về spin của mode dao động tạo thành trong mỗi lý thuyết. Trong lý thuyết loại IIB, hoá ra là spin của tất cả các hạt đều có cùng một hướng, trong khi đó ở lý thuyết loại IIA, chúng có hai hướng. Tuy nhiên, mỗi lý thuyết đều bao hàm siêu đối xứng. Hai lý thuyết Heterotic cũng khác nhau tương tự nhưng phức tạp hơn nhiều. Các dao động theo chiều kim đồng hồ của hai lý thuyết này nhìn giống như những dao động có trong lý thuyết dây loại II (khi chỉ xét những dao động thuận chiều kim đồng hồ thì các lý thuyết loại IIA và loại IIB là như nhau), nhưng những dao động ngược chiều kim đồng hồ của chúng thì lại là những dao động của lý thuyết bosonic (tức là lý thuyết dây đầu tiên). Mặc dù, lý thuyết bosonic có những vấn đề không thể giải quyết nổi khi được chọn cho cả dao động thuận chiều cũng như ngược chiều kim đồng hồ, nhưng vào năm 1985 David Gross, Jeffrey Harvey,

Emill Martinec và Rayn Rhom (hồi đó tất cả họ đều làm việc ở Princeton và được mệnh danh là "bộ tứ dây của Princeton") đã chứng minh được rằng một lý thuyết hoàn toàn OK sẽ xuất hiện nếu như các dây bosonic được sử dụng kết hợp với các dây loại II. Một đặc tính khá lạ lùng của sự kết hợp này là, từ những công trình của Cluade Lovelace thuộc Đại học Rutgers công bố năm 1971 và của Richard Brower thuộc Đại học Boston, Peter Goddard thuộc Đại học Cambridge và Charles Thorn thuộc Đại học Florida công bố năm 1972, người ta đã biết rằng dây bosonic đòi hỏi một khoảng thời gian 26 chiều còn các siêu dây chỉ đòi hỏi 10 chiều. Và như vậy cấu trúc dây heterotic là một sự lai tạp lạ (heterosis – gốc từ tiếng Hy Lạp heteros có nghĩa là khác, là lai tạp), trong đó những mode dao động ngược kim đồng hồ sống trong 26 chiều còn những mode dao động thuận chiều kim đồng hồ lại sống trong 10 chiều. Trước khi bạn thử tìm hiểu ý nghĩa của sự thống nhất lạ lùng đó, thì Gross và các cộng tác viên của ông đã chứng minh được rằng 16 chiều phụ thêm của các dây bosonic được cuộn thành một trong hai dạng hình xuyến rất đặc biệt có số chiều cao, từ đó mà xuất hiện các lý thuyết heterotic – 0 và E. Do 16 chiều phụ thêm này cuộn rất chặt nên hai lý thuyết đó xử sự như thực sự chỉ có 10 chiều, hệt như trong các lý thuyết loại II. Và cả hai lý thuyết này cũng bao hàm cả siêu đối xứng. Cuối cùng, lý thuyết loại I và họ hàng gần gũi của lý thuyết loại IIB, trừ một điều là trong đó ngoài các dây kín mà chúng ta đã thảo luận trong các chương trước, nó còn chứa cả những dây hở.

5 lý thuyết dây được xem là hoàn toàn tách rời nhau. Nhưng với những phát minh được tìm ra trong những nghiên cứu mới đây, chúng ta thấy rằng, giống như 5 chi của con sao biển, tất cả 5 lý thuyết dây giờ đây được coi như một khuôn khổ lý thuyết duy nhất...

•◎Khái lược về cuộc cách mạng siêu dây lần thứ hai

Phát minh đầu tiên trong cuộc cách mạng siêu dây lần thứ hai được đúc kết trong các hình 12.1 và 12.2. Hình 12.1 minh họa tình hình trước khi có khả năng vượt ra ngoài (một phần) các phương pháp gần đúng mà các nhà vật lý thường dùng để phân tích lý thuyết dây. Chúng ta thấy rằng 5 lý thuyết dây được xem là hoàn toàn tách rời nhau. Nhưng với những phát minh được tìm ra trong những nghiên cứu mới đây, chúng ta thấy rằng, giống như 5 chi của con sao biển, tất cả 5 lý thuyết dây giờ đây được coi như một khuôn khổ lý thuyết duy nhất, như được minh

họa trên hình 12.2 (thực tế ở cuối chương này chúng ta sẽ thấy rằng thậm chí cả lý thuyết thứ 6 - chi thứ 6 - cũng sẽ được nhập sự thống nhất đó). Khuôn khổ thống nhất này hiện tạm được gọi là lý thuyết - M, vì những lý do mà chúng ta dần dần sẽ thấy.

Hình 12.1.

Hình 12.1. Trong nhiều năm, các nhà vật lý làm việc trong 5 lý thuyết dây đã nghĩ rằng họ làm việc trong 5 lý thuyết hoàn toàn tách rời nhau.

Hình 12.2 minh họa một thành tựu có tính chất bước ngoặt trong cuộc tìm kiếm một lý thuyết tối hậu: những nhánh tưởng như rời rạc của lý thuyết dây giờ đây đã được kết thành một lý thuyết duy nhất, bao quát được tất cả và có thể sẽ là một lý thuyết về tất cả mà loài người đã tìm kiếm từ rất lâu.

Hình 12.2.

Hình 12.2. Kết quả của cuộc cách mạng siêu dây lần thứ hai đã chứng tỏ rằng tất cả 5 lý thuyết dây thực sự là một bộ phận của một khuôn khổ thống nhất duy nhất mà người ta tạm gọi là lý thuyết - M.

Tuy vẫn còn rất nhiều việc phải làm, nhưng các nhà vật lý đã phát hiện ra hai đặc điểm cơ bản của lý thuyết - M. Thứ nhất, lý thuyết - M có 11 chiều (10 chiều không gian và một chiều thời gian). Cũng tựa như Kaluza đã tìm ra một chiều phụ không gian cho phép thống nhất được một cách bất ngờ thuyết tương đối rộng với lý thuyết điện từ, các nhà lý thuyết dây cũng phát hiện ra rằng, thêm một chiều không gian phụ nữa (cùng với chín chiều không gian và một chiều thời gian mà chúng ta đã thảo luận ở các chương trước) sẽ cho phép thống nhất một cách thỏa đáng năm phiên bản của lý thuyết. Hơn thế nữa, chiều không gian phụ mới thêm vào này không phải từ trên rơi xuống, mà thực tế, các nhà lý thuyết dây đã phát hiện, những suy luận của những năm 1970 và 1980 dẫn tới một chiều không gian và chín chiều không gian chỉ là gần đúng và những tính toán chính xác mới được thực hiện gần đây chứng tỏ rằng chúng ta đã bỏ sót một chiều không gian.

Đặc điểm thứ hai của lý thuyết - M mà các nhà vật lý đã phát hiện là, ngoài các dây dao động ra, nó còn chứa cả những đối tượng khác, đó là các màng hai chiều dao động, các giọt gợn sóng (còn gọi là màng ba chiều) và nhiều đối tượng khác nữa. Cũng như với chiều không gian

thứ mười một, đặc điểm này của lý thuyết - M xuất hiện khi những tính toán thoát khỏi sự ràng buộc của các phép gần đúng thường được dùng cho tới tận giữa những năm 1990.

Ngoài những đặc điểm nói trên và nhiều phát hiện khác vào ít năm trở lại đây, bản chất thực của lý thuyết - M vẫn còn là một điều bí ẩn - một ý nghĩa giả định của chữ "M" (tiếng Anh từ mysterious có nghĩa là bí ẩn - ND). Các nhà vật lý trên khắp thế giới hiện đang làm việc ráo riết để có được sự hiểu biết đầy đủ về lý thuyết - M và điều này có thể sẽ trở thành vấn đề trung tâm của thế kỷ XXI.

Những hạn chế của các phương pháp mà các nhà vật lý sử dụng để phân tích lý thuyết dây gắn liền với cái được gọi là lý thuyết nhiễu loạn...

•◎Một phương pháp gần đúng

Những hạn chế của các phương pháp mà các nhà vật lý sử dụng để phân tích lý thuyết dây gắn liền với cái được gọi là lý thuyết nhiễu loạn. Lý thuyết nhiễu loạn là tên được dùng để gọi một phép tính gần đúng, trong đó người ta thử cho một đáp số thô, rồi hoàn thiện dần dần bằng cách tính tới những tính chất tinh tế hơn mà ta đã bỏ đi trong bước đầu tiên. Lý thuyết này đóng một vai trò quan trọng trong nhiều lĩnh vực nghiên cứu khoa học, và đã từng là một yếu tố căn bản trong việc tìm hiểu lý thuyết dây, đồng thời, như chúng ta sẽ thấy, nó cũng thường gặp trong đời sống hàng ngày của chúng ta.

Hãy hình dung, một hôm, chiếc xe của bạn bị trục trặc và bạn phải đưa đến một người thợ kiểm tra. Sau khi kiểm tra sơ qua, anh ta báo cho bạn một tin không mấy tốt lành: cần phải thay cả khối động cơ với tiền mua phụ tùng lẫn tiền công khoảng 900 đôla. Tất nhiên, đây mới chỉ là ước tính gần đúng, và bạn chờ đợi nhận được con số chính xác sau khi những chi tiết tinh vi mà sự hoạt động của chiếc xe đòi hỏi trở nên rõ ràng hơn. Ít ngày sau, sau khi đã có thời gian kiểm tra thêm, người thợ sửa chữa cho bạn biết con số ước tính chính xác hơn là 950 đôla. Anh ta giải thích rằng bạn còn phải thay cả bộ điều tiết nữa với giá tiền kể cả công thay là 50 đôla. Cuối cùng, khi bạn nhận xe, anh ta đã cộng tất cả các khoản chi phí lại và đưa cho bạn tờ hóa đơn với giá tiền là 987,93 đôla. Số tiền này - anh ta giải thích - bao gồm 950 đôla cho khối động cơ và bộ điều tiết, cộng thêm 27 đôla cho dây cuaroa của quạt gió, 10 đôla

cho dây cáp ắcquy và 0,93 đôla cho mấy cái đai ốc. Như vậy, con số ước tính ban đầu đã được chính xác hóa dần trong quá trình tính thêm các chi tiết. Theo ngôn ngữ vật lý thì những chi tiết thêm dần vào đó được gọi là các nhiễu loạn đối với giá trị ước tính ban đầu.

Nếu như lý thuyết nhiễu loạn được áp dụng một cách thích đáng và có hiệu quả, thì giá trị ước tính ban đầu sẽ khá gần với đáp số cuối cùng, đồng thời những chi tiết mà ta đã bỏ qua trong ước tính ban đầu sẽ chỉ tạo ra những khác biệt nhỏ trong kết quả cuối cùng. Nhưng cũng có khi bạn tới thanh toán lại nhận được hóa đơn với số tiền khác xa với ước tính của bạn. Mặc dù bạn có thể dùng một thuật ngữ khác tình cảm hơn, nhưng trong giới chuyên môn, trường hợp này được gọi là sự thất bại của lý thuyết nhiễu loạn. Điều này có nghĩa là phép gần đúng ban đầu chưa phải là một chỉ dẫn tốt để đi tới đáp số cuối cùng, bởi vì phần "bổ chính" thay vì gây ra những sai khác nhỏ lại dần tới những thay đổi lớn so với ước tính thô ban đầu.

Như đã đề cập một cách ngắn gọn trong những chương trước, sự thảo luận của chúng ta về lý thuyết dây cho tới lúc này đều dựa trên cách tiếp cận nhiễu loạn na ná như phương pháp mà người thợ sửa xe đã dùng. "Sự hiểu biết chưa đầy đủ" về lý thuyết dây mà thỉnh thoảng chúng ta vẫn nhắc tới, theo cách này hay cách khác, đều bắt nguồn từ phương pháp gần đúng này. Để hiểu được rõ hơn nhận xét quan trọng đó, ta hãy xét lý thuyết nhiễu loạn trong một bối cảnh ít trừu tượng hơn lý thuyết dây nhưng lại gần với áp dụng của nó trong lý thuyết dây ví dụ về người thợ sửa xe mà ta vừa trình bày ở trên.

Việc tìm hiểu chuyển động của trái đất trong hệ mặt trời cho ta một ví dụ kinh điển về cách sử dụng lý thuyết nhiễu loạn. Ở những khoảng cách lớn như vậy, ta chỉ cần xét lực hấp dẫn, nhưng nếu như không dùng các phép gần đúng tiếp nữa thì các phương trình vẫn còn cực kỳ phức tạp...

•◎Một ví dụ kinh điển về lý thuyết nhiễu loạn

Việc tìm hiểu chuyển động của trái đất trong hệ mặt trời cho ta một ví dụ kinh điển về cách sử dụng lý thuyết nhiễu loạn. Ở những khoảng cách lớn như vậy, ta chỉ cần xét lực hấp dẫn, nhưng nếu như không dùng các phép gần đúng tiếp nữa thì các phương trình vẫn còn cực kỳ phức tạp. Chắc bạn còn nhớ rằng, theo cả Newton lẫn Einstein, mọi vật

đều tác dụng lên các vật khác một lực hấp dẫn và điều này nhanh chóng dẫn tới một trận giằng co của các lực hấp dẫn vô cùng phức tạp và không thể xử lý được về mặt toán học giữa Trái đất, Mặt trời, Mặt trăng, các hành tinh và về nguyên tắc, tất cả các thiên thể khác. Và chắc bạn cũng hình dung được rằng, không thể tính hết những ảnh hưởng đó và xác định được chuyển động chính xác của trái đất. Thực tế, chỉ cần có ba thiên thể tham gia thôi là các phương trình đã trở nên phức tạp tới mức cho tới lúc này cũng chưa có ai giải được một cách chính xác [1].

Tuy nhiên, chúng ta vẫn có thể tiên đoán rất chính xác chuyển động của trái đất trong hệ Mặt trời bằng cách sử dụng phương pháp nhiễu loạn. Khối lượng rất lớn của Mặt trời so với các thành viên khác trong thái dương hệ và khoảng cách từ nó đến trái đất rất ngắn so với khoảng cách từ trái đất đến tất cả các ngôi sao khác, khiến cho mặt trời có ảnh hưởng mạnh nhất đến chuyển động của trái đất. Và như vậy, chúng ta sẽ có một ước tính gần đúng tốt bằng cách chỉ xét ảnh hưởng hấp dẫn của mặt trời. Đối với nhiều mục đích, thì gần đúng này là đủ rồi. Trong trường hợp cần thiết, ta có thể hoàn thiện thêm đánh giá gần đúng đó bằng cách lần lượt tính thêm ảnh hưởng hấp dẫn của những thiên thể quan thiết nhất, chẳng hạn như Mặt trăng và bất cứ hành tinh nào đi qua gần trái đất nhất, tại thời điểm đang xét. Các tính toán có thể sẽ trở nên khó khăn hơn theo mức độ các ảnh hưởng hấp dẫn được tính đến trở nên phức tạp hơn, nhưng điều đó cũng không che lấp triết lý của phương pháp nhiễu loạn: tương tác hấp dẫn Mặt trời /trái đất cho chúng ta một sự giải thích gần đúng chuyển động của trái đất, trong khi những phức tạp do các ảnh hưởng hấp dẫn khác chỉ dẫn tới những hoàn thiện ngày càng tinh thêm mà thôi.

Phương pháp nhiễu loạn áp dụng rất tốt cho trường hợp này là bởi vì có một ảnh hưởng vật lý nổi trội và điều này cho phép sự mô tả lý thuyết tương đối đơn giản. Song, không phải bao giờ cũng như vậy. Ví dụ, nếu như chúng ta quan tâm tới chuyển động của ba ngôi sao có khối lượng cỡ như nhau, quay xung quanh nhau trong một hệ sao ba, thì trong trường hợp này sẽ không có một quan hệ hấp dẫn duy nhất có ảnh hưởng lấn át các lực hấp dẫn khác. Do đó, cũng sẽ không có một tương tác nổi trội duy nhất để cho ta một đánh giá thô ban đầu, còn các hiệu ứng khác chỉ là những bổ chính nhỏ. Nếu chúng ta cứ cố tình áp dụng lý thuyết nhiễu loạn, chẳng hạn chỉ chọn lấy tương tác hấp dẫn giữa hai sao và dùng nó để có một đánh giá thô ban đầu, thì chúng ta sẽ nhanh

chóng phát hiện ra rằng phương pháp của chúng ta đã thất bại. Bởi vì các tính toán của chúng ta sẽ cho thấy rằng, những "bổ chính" đối với những chuyển động đã được tiên đoán do kể thêm vào ngôi sao thứ ba sẽ không phải là nhỏ, mà thực tế cũng cỡ như đánh giá thô ban đầu.

Điều này không phải xa lạ gì: chuyển động của ba người nhảy điệu "hora" không giống chút nào với hai người nhảy điệu tănggô. Những giá trị "bổ chính" lớn có ý nghĩa là phép gần đúng ban đầu đã quá xa đích và toàn bộ sơ đồ tính toán của chúng ta được xây dựng trên lâu đài cát. Cũng cần lưu ý rằng ở đây không đơn thuần chỉ là vấn đề đưa vào những bổ chính lớn do tính đến ngôi sao thứ ba. Thực ra còn có hiệu ứng đôminô nữa: bổ chính lớn có tác động đáng kể đến chuyển động của hai ngôi sao kia, và đến lượt mình, hai ngôi sao đó lại có ảnh hưởng đáng kể đến chuyển động của ngôi sao thứ ba, và cứ như vậy mãi. Mọi sợi chỉ của tấm vải hấp dẫn này đều có tầm quan trọng như nhau và đều phải được tính đến đồng thời. Thường thường, trong những trường hợp như vậy, cách duy nhất là dùng sức mạnh to lớn của các máy tính để mô phỏng chuyển động của ba thế hệ

Khi sử dụng lý thuyết nhiễu loạn, ví dụ trên đã cho chúng ta thấy rõ tầm quan trọng của việc xác định ước lượng thô ban đầu có thực sự là một ước lượng gần đúng hay không và nếu đúng như vậy, thì những chi tiết tinh tế hơn phải được đưa vào như thế nào để đạt được độ chính xác mong muốn. Như chúng ta vừa mới thảo luận ở trên, những vấn đề này là cực kỳ quan trọng đối với việc áp dụng các công cụ của lý thuyết nhiễu loạn cho những quá trình vật lý trong thế giới vi mô.

[1] Trong chương này, khi ta nói về các câu trả lời "chính xác", chẳng hạn như chuyển động "chính xác của trái đất, là chúng ta muốn nói tới sự tiên đoán chính xác đối với một đại lượng vật lý nào đó trong một khuôn khổ lý thuyết đã chọn. Chừng nào chúng ta chưa có một lý thuyết cuối cùng - điều mà bây giờ chúng ta có thể làm được mà cũng có thể là không bây giờ - thì tất cả những lý thuyết chỉ là những mô tả gần đúng của thực tại. Nhưng khái niệm gần đúng đó không liên quan gì tới thảo luận của chúng ta trong chương này. Ở đây chúng ta chỉ quan tâm tới thực tế là, trong một lý thuyết đã chọn, rất khó, nếu không muốn nói là không thể, rút ra được những tiên đoán chính xác. Thay vì thế, chúng ta cần phải rút ra những tiên đoán bằng cách dùng các phương pháp gần đúng dựa trên lý thuyết nhiễu loạn.

...Các nhà lý thuyết dây đành phải sử dụng lý thuyết nhiễu loạn với giả thuyết rằng quá trình không có vòng là một ước lượng ban đầu hợp lý, còn những giản đồ có vòng sẽ cung cấp những bổ chính tinh tế hơn...

•◎Một cách tiếp cận nhiễu loạn của lý thuyết dây

Những quá trình vật lý trong lý thuyết dây được xây dựng từ các tương tác cơ bản giữa các dây dao động. Các nhà lý thuyết dây đã tìm ra công thức toán học chính xác gắn với giản đồ trên hình 12.3, một công thức biểu diễn ảnh hưởng của mỗi dây tới đến chuyển động cuối cùng của dây kia. (Chi tiết của công thức này khác nhau đối với 5 lý thuyết dây, nhưng ở đây chúng ta tạm thời không đề cập tới những đặc điểm tinh tế đó). Nếu như không có cơ học lượng tử, thì công thức này có thể coi như là kết thúc của câu chuyện tương tác giữa các dây. Nhưng sự náo nhiệt vi mô do sự áp đặt của hệ thức bất định lại dẫn tới hệ quả là cặp dây/phản dây (tức hai dây có mode dao động ngược nhau) có thể đột nhiên được sinh ra nhờ vay mượn năng lượng của vũ trụ, với điều kiện là chúng phải nhanh chóng hủy nhau để hoàn trả món nợ năng lượng đã vay. Những cặp dây sinh ra từ sự náo nhiệt lượng tử nhưng sống nhờ vào năng lượng vay mượn và do vậy phải tổ hợp rất nhanh thành một vòng dây duy nhất đó được gọi là các cặp dây ảo. Và thậm chí mặc dù điều đó diễn ra chỉ trong khoảnh khắc thôi, nhưng sự hiện diện chớp nhoáng của các cặp dây ảo đó vẫn có ảnh hưởng đến những tính chất chi tiết của tương tác.

Hình 12.3. Các dây tương tác bằng cách nhập vào và tách ra

Hình 12.3. Các dây tương tác bằng cách nhập vào và tách ra

Điều này được minh họa một cách khái lược trên hình 12.4. Hai dây ban đầu va chạm với nhau ở điểm (a), tại đây chúng hòa nhập thành một vòng dây duy nhất. Vòng dây này chuyển động một chút, nhưng đến (b) những thăng giáng lượng tử mãnh liệt đã tạo ra một cặp dây ảo, cặp dây này tiếp tục chuyển động rồi hủy nhau tại (c) và một lần nữa tạo ra một vòng dây duy nhất. Cuối cùng đến (d) vòng dây này giải phóng năng lượng bằng cách tách thành hai vòng dây đi theo hai hướng mới. Vì chỉ có một vòng (lỗ) duy nhất ở trung tâm của hình 12.4, nên các nhà vật lý gọi quá trình này là quá trình "một vòng". Cũng như với tương tác được minh họa trên hình 12.3, giản đồ tương tác trên hình 12.4 cũng được biểu diễn bằng một công thức toán học chính xác mô tả ảnh hưởng

của các cặp dây ảo đến chuyển động của hai dây ban đầu.

Hình 12.4. Sự náo nhiệt lượng tử có thể sinh ra cặp dây/phản dây (b) rồi hủy nhau (c) làm cho tương tác trở nên phức tạp hơn.

Hình 12.4. Sự náo nhiệt lượng tử có thể sinh ra cặp dây/phản dây (b) rồi hủy nhau (c) làm cho tương tác trở nên phức tạp hơn.

Nhưng câu chuyện chưa kết thúc ở đó, bởi vì những thăng giáng lượng tử mãnh liệt có thể sinh ra các dây ảo với số lần bất kỳ, tạo ra mộ dãy các cặp dây ảo. Điều này làm cho giản đồ càng có nhiều vòng hơn, hình 12.5. Các sơ đồ này cho phép ta minh họa một cách trực quan và đơn giản những quá trình vật lý có liên quan: các dây tới hòa nhập vào nhau, những thăng giáng lượng tử làm cho vòng dây mới tạo thành tách ra thành cặp dây ảo, cặp dây này chuyển động một đoạn lại hủy nhau bằng cách nhập thành một vòng dây duy nhất, vòng dây này chuyển động một đoạn lại tạo ra một cặp dây ảo khác và cứ như vậy mãi. Cũng như với mỗi giản đồ, mỗi một quá trình cũng đều có một biểu thức toán học tương ứng mô tả ảnh hưởng đến chuyển động của hai dây ban đầu [1].

Hình 12.5. Những thăng giáng lượng tử có thể làm cho nhiều dãy cặp dây /phản dây sinh ra rồi hủy đi.

Hình 12.5. Những thăng giáng lượng tử có thể làm cho nhiều dãy cặp dây /phản dây sinh ra rồi hủy đi.

Hơn thế nữa, cũng tựa như người thợ sửa xe tính tiền trong hóa đơn thông qua sự bổ chính giá ước tính thô ban đầu 900 đôla bằng cách thêm dần vào nó 50, 27, 110 và 0,93 đôla và cũng tựa như ta tiên đoán được chuyển động ngày càng chính xác của Trái Đất bằng cách bổ chính dần ảnh hưởng của Mặt Trời bằng cách tìm đến những ảnh hưởng nhỏ hơn của Mặt Trăng, và của các hành tinh khác, các nhà lý thuyết dây cũng đã chứng tỏ được rằng chúng ta có thể hiểu được sự tương tác giữa các dây, bằng cách cộng tất cả các biểu thức toán học tương ứng với tất cả các giản đồ không có vòng (tức không có cặp dây ảo), hai vòng (có hai cặp dây ảo) và v.v., như được minh họa trên Hình 12.6

Hình 12.6 ảnh hưởng tổng hợp của một dây tới lên một dây tới khác bằng tổng ảnh hưởng tương ứng với các giản đồ có vòng tăng dần.

Hình 12.6 ảnh hưởng tổng hợp của một dây tới lên một dây tới khác bằng tổng ảnh hưởng tương ứng với các giản đồ có vòng tăng dần.

Phép tính chính xác đòi hỏi chúng ta phải cộng các biểu thức toán học tương ứng với tất cả các giản đồ với số vòng tăng dần. Nhưng vì vô số các giản đồ và các biểu thức toán học, tương ứng với mỗi giản đồ cũng phức tạp dần khi số vòng tăng lên, do đó đây là một nhiệm vụ không thể thực hiện nổi. Vì lý do đó, các nhà lý thuyết dây đành phải sử dụng lý thuyết nhiễu loạn với giả thuyết rằng quá trình không có vòng là một ước lượng ban đầu hợp lý, còn những giản đồ có vòng sẽ cung cấp những bổ chính tinh tế hơn.

Thực tế, hầu hết mọi chuyện mà chúng ta biết về lý thuyết dây, đều được các nhà lý thuyết dây phát hiện nhờ thực hiện những tính toán chi tiết và phức tạp bằng cách dùng lý thuyết nhiễu loạn. Nhưng để tin vào độ chính xác của các kết quả tìm được, ta còn phải xác định xem gần đúng thô mà ta chọn ban đầu bằng cách bỏ đi tất cả các giản đồ trừ giản đồ đầu tiên trên Hình 12.6, đã thực sự hợp lý hay chưa. Điều này dẫn chúng ta tới một câu hỏi cực kỳ quan trọng: vậy, chúng ta đã thực sự có được những gần đúng tốt hay chưa?

Cũng tựa như sức bền của sợi dây thừng xác định xác suất để sự kéo và giật mạnh sẽ làm cho nó đứt thành hai sợi, trong lý thuyết dây cũng tồn tại một con số dây duy nhất tách thành hai dây, tạo ra tức thời một cặp dây ảo...

•◎Gần đúng nhưng có thật là gần đúng không?

Điều này còn tùy. Mặc dù biểu thức toán học tương ứng với mỗi giản đồ trở nên rất phức tạp khi số vòng tăng lên, nhưng các nhà lý thuyết dây đã nhận ra một đặc trưng rất cơ bản. Cũng tựa như sức bền của sợi dây thừng xác định xác suất để sự kéo và giật mạnh sẽ làm cho nó đứt thành hai sợi, trong lý thuyết dây cũng tồn tại một con số dây duy nhất tách thành hai dây, tạo ra tức thời một cặp dây ảo. Con số đó được gọi là hằng số liên kết (nói một cách chính xác hơn 5 lý thuyết dây đều có một hằng số liên kết riêng của mình). Đây là một cái tên rất gợi tả: cỡ của hằng số này cho biết những thăng giáng lượng tử của ba dây (gồm vòng dây ban đầu và hai vòng dây ảo được tách ra), liên hệ với nhau mạnh tới mức nào, hay có thể nói, chúng liên kết với nhau chặt chẽ tới mức nào. Những tính toán chứng tỏ rằng hằng số liên kết càng lớn, thì

những thăng giáng lượng tử càng có khả năng làm cho dây ban đầu tách ra làm hai (và sau đó nhập lại với nhau); còn hằng số liên kết càng nhỏ thì điều đó càng ít có khả năng hơn.

Chúng ta sẽ đề cập một cách ngắn gọn về vấn đề xác định hằng số liên kết trong 5 lý thuyết dây, nhưng trước hết, ta hãy giải thích rõ nói hằng số liên kết "lớn" và "nhỏ" là có ý nghĩa gì. Cơ sở toán học của lý thuyết dây chứng tỏ rằng đường phân chia giữa "lớn" và "nhỏ" chính là số 1, theo nghĩa sau. Nếu như hằng số nhỏ hơn 1 thì, cũng giống như một loạt các tia chớp, sẽ càng ít có khả năng sinh ra và tồn tại tức thời một lượng lớn các cặp hạt ảo. Còn nếu hằng số liên kết lớn hơn 1, thì khả năng sinh ra một số lượng lớn các cặp dây ảo đó sẽ càng tăng [2]. Tóm lại, nếu hằng số liên kết nhỏ hơn 1 thì những giản đồ có số vòng càng lớn sẽ cho đóng góp càng nhỏ. Đây chính là tính chất cần thiết để có thể dùng lý thuyết nhiễu loạn, vì nó chỉ ra rằng chúng ta vẫn có thể nhận được kết quả khá chính xác nếu như ta bỏ đi tất cả các quá trình chỉ chứa một số ít vòng. Nhưng nếu hằng số liên kết của các dây không nhỏ hơn 1, thì những giản đồ càng có nhiều vòng càng cho đóng góp lớn hơn. Cũng như trường hợp của hệ sao ba, điều này sẽ làm mất hiệu lực của lý thuyết nhiễu loạn. Và khi đó, phép gần đúng thô giả định lúc đầu, tức là quá trình không có vòng nào - sẽ không còn là gần đúng tốt nữa. (Điều nói trên đúng với cả 5 lý thuyết dây, tức là giá trị của hằng số liên kết các dây sẽ quyết định tính hiệu quả của sơ đồ tính toán theo lý thuyết nhiễu loạn).

Phát hiện này dẫn chúng ta tới câu hỏi quan trọng tiếp theo: vậy thì cụ thể giá trị của hằng số liên kết của các dây là thế nào (hay chính xác hơn, các giá trị của hằng số liên kết trong 5 lý thuyết dây là như thế nào)? Hiện nay chưa có ai trả lời được câu hỏi đó. Đây là một trong số những vấn đề quan trọng nhất còn chưa được giải quyết trong lý thuyết dây. Chúng ta biết chắc chắn rằng những kết luận dựa trên lý thuyết nhiễu loạn chỉ đáng tin cậy khi hằng số liên kết của các dây nhỏ hơn 1. Hơn thế nữa, giá trị của hằng số liên kết còn có ảnh hưởng trực tiếp đến khối lượng và tính lực được mang bởi các mode dao động khác nhau của dây. Như vậy, chúng ta thấy rằng rất nhiều tính chất vật lý phụ thuộc vào hằng số liên kết của dây. Và bây giờ chúng ta sẽ xét kỹ hơn lý do tại sao câu hỏi quan trọng về giá trị của hằng số liên kết trong cả 5 lý thuyết dây lại chưa thể trả lời được.

Phương pháp nhiễu loạn dùng để xác định tương tác của các dây với nhau cũng có thể được dùng để xác định các phương trình cơ bản của lý thuyết dây...

•◎Các phương trình của lý thuyết dây

Phương pháp nhiễu loạn dùng để xác định tương tác của các dây với nhau cũng có thể được dùng để xác định các phương trình cơ bản của lý thuyết dây. Về căn bản, các phương trình của lý thuyết dây chẳng qua cũng là xác định tương tác của các dây nên ngược lại, cách mà các dây tương tác cũng trực tiếp xác định phương trình của lý thuyết.

Để làm ví dụ đầu tiên, bạn hãy lưu ý rằng trong 5 lý thuyết dây mỗi lý thuyết đều có một phương trình dùng để xác định hằng số liên kết. Tuy nhiên, hiện nay trong mỗi lý thuyết dây, người ta mới chỉ tìm được dạng gần đúng của phương trình đó thông qua việc đánh giá bằng toán học một số nhỏ các giản đồ có liên quan khi dùng phương pháp nhiễu loạn. Trong cả 5 lý thuyết dây, hằng số liên kết có giá trị sao cho khi nhân nó với số không (0) lại cho kết quả bằng không (0). Đây là một phương trình gây thất vọng ghê gớm, bởi vì bất cứ số nào nhân với số không mà chả cho kết quả bằng không và như vậy nghiệm của phương trình này, cũng chính là hằng số liên kết, có thể là bất cứ số nào. Như vậy, trong cả 5 lý thuyết dây, phương trình gần đúng để tìm hằng số liên kết không cho ta một thông tin nào về giá trị của nó.

Trong khi đó, trong cả 5 lý thuyết dây còn có một phương trình xác định dạng cụ thể của các chiều có quảng tính lớn và các chiều không gian bị cuộn lại. Dạng gần đúng của phương trình này mà hiện chúng ta đang có, đã hạn chế hơn rất nhiều so với phương trình gần đúng xác định hằng số liên kết, nhưng nó vẫn cho nhiều nghiệm. Ví dụ, bốn chiều không-thời gian có quảng tính lớn và sáu chiều không gian phụ cuộn lại thành một không gian Calabi-Yau nào đó cho ta cả một lớp nghiệm, nhưng ngay cả như thế cũng không vét hết mọi khả năng vì nó cũng cho phép một sự phân chia khác giữa số các chiều có quảng tính lớn và số các chiều bị cuộn lại.

Vậy chúng ta có thể làm gì từ những kết quả đó? Có ba khả năng. Thứ nhất, ta hãy bắt đầu từ khả năng bi quan nhất, mặc dù cả 5 lý thuyết dây đều có các phương trình xác định giá trị của hằng số liên kết cũng như số chiều và dạng hình học chính xác của không - thời gian - một điều mà

chưa có lý thuyết nào dám kỳ vọng -, nhưng thậm chí dạng chính xác (hiện còn chưa biết) của các phương trình đó vẫn có thể chấp nhận một phổ rộng lớn các nghiệm và điều này sẽ làm yếu đi đáng kể sức mạnh tiên đoán của nó. Nếu đúng là như vậy thì đây quả là một bước lùi. Vì lý thuyết dây hứa hẹn rằng nó có thể giải thích được những đặc điểm đó của vũ trụ chứ không cần xác định chúng bằng thực nghiệm rồi chèn vào lý thuyết một cách khá tùy tiện. Chúng ta sẽ còn trở lại khả năng này vào chương 15. Thứ hai, sự mềm dẻo không mong muốn (tức khả năng chấp nhận nhiều nghiệm) của các phương trình gần đúng có thể là một chỉ dẫn về một lỗi tinh vi nào đó trong suy luận của chúng ta. Chúng ta đã thử dùng lý thuyết nhiễu loạn để xác định chính giá trị của hằng số liên kết. Nhưng như đã thấy, các phương pháp nhiễu loạn chỉ có nghĩa khi hằng số liên kết nhỏ hơn 1 và do đó tính toán của chúng ta có thể dựa trên một giả thiết không có căn cứ về đáp số của nó, cụ thể là kết quả phải nhỏ hơn 1. Thất bại của chúng ta có thể là một dấu hiệu báo rằng giả thiết đó sai, và có lẽ hằng số liên kết trong cả 5 lý thuyết đều lớn hơn 1. Thứ ba, sự mềm dẻo không mong muốn cũng có thể đơn giản là do ta đã dùng các phương trình gần đúng chứ không phải chính xác. Ví dụ, mặc dù hằng số liên kết trong một lý thuyết dây nào đó cứ cho là nhỏ hơn 1 đi, nhưng các phương trình của lý thuyết dây còn phụ thuộc một cách khá nhạy cảm vào đóng góp của tất cả các giản đồ. Tức là, những bổ chính nhỏ từ các giản đồ có số vòng tăng dần tích tụ lại, có thể sẽ có ảnh hưởng quan trọng đối với việc làm thay đổi các phương trình gần đúng (chấp nhận nhiều nghiệm) thành các phương trình chính xác có tính hạn chế hơn rất nhiều.

Vào đầu những năm 1990, nhờ khả năng thứ hai và thứ ba nói ở trên, phần lớn các nhà lý thuyết dây đã thấy rõ rằng nếu dựa hoàn toàn vào khuôn khổ nhiễu loạn thì sẽ khó có thể tiến lên được. Hầu như mọi người đều khá nhất trí rằng bước tiếp sau sẽ nhất thiết phải dùng cách tiếp cận phi nhiễu loạn - tức là cách tiếp cận không phụ thuộc vào các kỹ thuật tính gần đúng nữa, và như vậy mới có thể vượt ra ngoài giới hạn của khuôn khổ nhiễu loạn. Vào năm 1994, sự phát minh ra các phương tiện như thế vẫn chỉ là mơ ước. Tuy nhiên, mơ ước cũng có khi sẽ trở thành hiện thực.

[1] Những giản đồ này được gọi là các giản đồ Feynman trong lý thuyết dây. Thực ra, Feynman đã phát minh ra các giản đồ này để thực hiện những tính toán nhiễu loạn trong lý thuyết trường lượng tử của các hạt

điểm.

[2] Nói một cách chính xác hơn, mỗi một vòng trong một giản đồ đã cho, ngoài những thừa số khác phức tạp hơn, có chứa một thừa số là hằng số liên kết. Nếu giản đồ có nhiều vòng thì tương ứng sẽ có tích của nhiều hằng số liên kết. Nếu hằng số liên kết dây nhỏ hơn 1, thì tích của nhiều hằng số đó sẽ làm cho đóng góp tổng thể càng nhỏ; còn nếu nó bằng hoặc lớn hơn 1, tích nhiều lần của hằng số liên kết sẽ làm cho đóng góp tổng thể có cùng cỡ độ lớn hoặc càng lớn hơn.

Đến lượt mình, Edward Witten đĩnh đạc bước lên diễn đàn và đọc một bài giảng châm ngòi cho cuộc cách mạng siêu dây lần thứ hai... Phần trung tâm của kế hoạch này liên quan với khái niệm đối ngẫu...

•◎Tính đối ngẫu

Mỗi năm một lần, hàng trăm nhà lý thuyết dây trên khắp thế giới đều tới dự một hội nghị dành để tổng kết những kết quả đã thu được trong năm trước và đánh giá triển vọng của các phương hướng nghiên cứu khác nhau. Tùy theo sự tiến bộ đã đạt được trong năm, người ta có thể tiên đoán được mức độ quan tâm và phấn khích của những người tham gia. Vào giữa những năm 1980, thời kỳ hoàng kim của cuộc cách mạng siêu dây lần thứ nhất, các cuộc hội nghị tràn ngập một bầu không khí hân hoan. Các nhà lý thuyết dây có niềm hy vọng to lớn rằng chẳng bao lâu nữa họ sẽ hiểu được hoàn toàn lý thuyết dây và khi đó họ sẽ thấy rằng đây chính là lý thuyết tối hậu của vũ trụ. Giờ đây nhìn lại, mới thấy rằng điều đó thật là ngây thơ. Những năm tháng trôi đi mới cho họ thấy rằng còn có rất nhiều những khía cạnh tinh tế và sâu sắc mà chắc chắn phải tốn nhiều thời gian và công sức hơn nữa người ta mới hiểu được. Vì tất cả vẫn còn chưa đâu vào đâu, nên nhiều nhà nghiên cứu tỏ ra thất vọng. Vào cuối những năm 1980, các hội nghị siêu dây đã phản ánh tâm trạng ủ dột đó: các nhà vật lý vẫn trình bày những kết quả rất lý thú, nhưng bầu không khí thì không còn hứng phấn như trước nữa. Thậm chí một số người còn cho rằng cộng đồng nên dừng họp hội nghị hàng năm. Nhưng vào đầu những năm 1990, tình hình đã khởi sắc trở lại. Nhờ rất nhiều đột phá quan trọng mà chúng ta đã thảo luận một số trong các chương trước, lý thuyết dây đã lấy lại được phong độ và các nhà nghiên cứu đã tìm lại được hưng phấn và lạc quan. Nhưng rất ít người có thể phỏng đoán được điều gì sẽ xảy ra tại hội nghị siêu dây (String95) tổ chức vào tháng 3 năm 1995 tại Đại học Nam California.

Đến lượt mình, Edward Witten đĩnh đạc bước lên diễn đàn và đọc một bài giảng châm ngòi cho cuộc cách mạng siêu dây lần thứ hai. Được gợi ý bởi những công trình trước đó của Duff, Hull, Townsend và dựa trên những phát hiện của Schwarz, của nhà vật lý ấn Độ Asshoke Sen và những người khác, Witten đã đưa ra một chiến lược nhằm thoát ra khỏi khuôn khổ của lý thuyết nhiễu loạn. Phần trung tâm của kế hoạch này liên quan với khái niệm đối ngẫu.

Thuật ngữ đối ngẫu được các nhà vật lý sử dụng để mô tả những mô hình lý thuyết bề ngoài tưởng như là khác nhau nhưng thực sự lại mô tả cùng một nội dung vật lý. Có nhiều ví dụ tầm thường về tính đối ngẫu, trong đó những lý thuyết thực sự đồng nhất với nhau nhưng bề ngoài lại khác nhau hóa ra chỉ bởi vì chúng được trình bày một cách khác nhau mà thôi. Đối với một số người chỉ biết tiếng Anh, thì họ không thể nhận ra ngay lập tức thuyết tương đối rộng của Einstein nếu như nó được trình bày bằng tiếng Trung Quốc. Tuy nhiên, một nhà vật lý thông thạo cả hai thứ tiếng, có thể dễ dàng dịch từ tiếng này sang tiếng khác, sẽ xác lập được ngay sự tương đương của chúng. Sở dĩ chúng ta gọi ví dụ này là "tầm thường" vì trên quan điểm vật lý, sự dịch đó chẳng mang lại cho chúng ta điều gì mới mẻ cả. Nếu như một người thông thạo cả tiếng Anh lẫn tiếng Trung Quốc nghiên cứu những vấn đề khó khăn trong thuyết tương đối rộng, thì những vấn đề này cũng vẫn sẽ khó khăn như thế, bất kể chúng được trình bày bằng ngôn ngữ nào. Sự chuyển từ tiếng Anh sang tiếng Trung Quốc và ngược lại không hề mang lại cho chúng ta một phát hiện vật lý gì mới.

Những ví dụ không tầm thường về tính đối ngẫu là những ví dụ trong đó những mô tả khác nhau của cùng một tình huống vật lý thực sự cho những phát hiện vật lý và các phương pháp toán học khác nhau nhưng bổ sung cho nhau. Thực tế, ở các chương trước chúng ta cũng đã từng gặp hai ví dụ về tính đối ngẫu. Trong chương 10, chúng ta đã giải thích rằng, lý thuyết dây trong một vũ trụ có chiều cuộn tròn với bán kính R cũng có thể được mô tả tốt như thế trong một vũ trụ với chiều tròn có bán kính 1/R. Đó là hai tình huống hình học khác nhau, nhưng nhờ những tính chất của lý thuyết dây, chúng hoàn toàn đồng nhất về mặt vật lý. Ở đây hai không gian Calabi-Yau khác nhau của sáu chiều phụ không gian cuộn tròn - tương ứng với hai vũ trụ tưởng chừng như hoàn toàn khác nhau - lại có chính xác những tính chất vật lý hoàn toàn như

nhau. Một điều cực kỳ quan trọng là, khác với trường hợp tiếng Anh với tiếng Trung Quốc, ở đây có những phát hiện vật lý quan trọng được suy ra từ việc dùng hai cách mô tả đối ngẫu đó, chẳng hạn như kích thước cực tiểu của các chiều cuộn tròn và các quá trình làm thay đổi tôpô trong lý thuyết dây.

Trong bài giảng tại hội nghị "string'95", Witten đã đưa ra bằng chứng về một loại đối ngẫu mới sâu sắc hơn. Như đã được nói tới một cách ngắn gọn ở đầu chương này, Witten cho rằng 5 lý thuyết dây, mặc dù nhìn bên ngoài rất khác nhau, nhưng chẳng qua chỉ là những cách mô tả khác nhau của cùng một nội dung vật lý. Khi này thay vì có 5 lý thuyết dây, chúng ta có 5 cửa sổ nhìn vào cùng một khuôn khổ lý thuyết duy nhất.

Trước khi có những phát triển vào những năm 1990, khả năng tồn tại một loại đối ngẫu kỳ vĩ như vậy là một trong những ý tưởng mà các nhà vật lý hằng mơ ước, nhưng rất hiếm khi, nếu không muốn nói là chưa bao giờ, họ nói ra bởi vì nó có vẻ quá viễn tưởng. Nếu như hai lý thuyết dây có những khác biệt về những chi tiết quan trọng trong cấu trúc của chúng, thì thật khó mà hình dung được rằng chúng thực ra lại là hai cách mô tả khác nhau của cùng một vật lý. Tuy nhiên, nhờ sức mạnh của lý thuyết dây, ngày càng có những dấu hiệu mách bảo rằng, 5 lý thuyết dây thực sự là đối ngẫu. Và hơn thế nữa, như chúng ta sẽ thấy dưới đây, Witten còn đưa ra bằng chứng cho thấy rằng thậm chí cả lý thuyết dây thứ 6 cũng sẽ được trộn vào trong nồi hầm đó.

Những phát triển nói trên đan bện chặt chẽ với những vấn đề liên quan tới khả năng ứng dụng các phương pháp nhiễu loạn mà chúng ta đề cập đến ở cuối mục trước. Lý do là ở chỗ cả 5 lý thuyết dây đều trở nên rất khác nhau khi mỗi lý thuyết đều là liên kết yếu, một thuật ngữ chuyên môn có nghĩa là hằng số liên kết của lý thuyết nhỏ hơn 1. Vì quá tin vào những phương pháp nhiễu loạn, nên một thời gian dài, các nhà vật lý không thể trả lời được câu hỏi mỗi lý thuyết dây sẽ có những tính chất vật lý gì nếu như lý thuyết đó là liên kết mạnh, tức là có hằng số liên kết hơn 1. Điều mà Witten và những người khác tuyên bố, như chúng ta sẽ thấy ngay dưới đây, đó là bao giờ câu hỏi ấy đã có thể trả lời được. Những kết quả của họ gợi ý một cách có sức thuyết phục rằng, cùng với lý thuyết thứ sáu mà chúng ta sẽ nói tới sau, hành vi liên kết mạnh của bất kỳ lý thuyết nào trong số 6 lý thuyết dây đều có một sự mô tả đối

ngẫu qua hành vi liên kết yếu của một lý thuyết khác và ngược lại.

Để hiểu một cách cụ thể hơn về điều nói trên, ta hãy xét sự tương tự sau. Hãy hình dung có hai người sống biệt lập. Một người rất thích nước đá nhưng điều lạ lùng là anh ta chưa bao giờ thấy nước (ở dạng lỏng) cả. Còn người kia thì lại thích nước, nhưng cũng lạ không kém là anh ta lại chưa từng nhìn thấy nước đá bao giờ. Trong một lần gặp nhau tình cờ, họ quyết định cùng nhau đi cắm trại trong sa mạc. Khi chuẩn bị lên đường, người này đều bị quyến rũ bởi hành trang của người kia. Người thích nước đá rất mê thứ chất lỏng trong suốt mát mẻ của người thích nước; còn người thích nước lại mê những cục tinh thể rắn mà người thích nước đá mang theo. Nhưng không một ai mảy may biết rằng, có một mối quan hệ thực sự giữa nước và nước đá cả; đối với họ, đó là hai chất hoàn toàn khác nhau. Nhưng khi cả hai tiến vào sa mạc nóng như thiêu đốt, họ mới sững sờ nhận ra rằng nước đá dần dần tan thành nước. Và trong cái lạnh băng giá về đêm ở sa mạc, họ lại một lần nữa sững sờ nhận thấy nước dần dần biến thành nước đá. Và thế là họ phát hiện ra rằng hai chất - mà ban đầu họ tưởng không có liên quan gì với nhau - lại có quan hệ chặt chẽ với nhau.

Tính đối ngẫu giữa 5 lý thuyết dây cũng na ná như vậy. Nói một cách nôm na, các hằng số liên kết giữa các dây đóng vai trò tương tự như nhiệt độ trong ví dụ trên. Giống như nước đá và nước, hai trong số 5 lý thuyết dây thoạt nhìn tưởng như là hoàn toàn khác nhau. Nhưng khi chúng ta làm thay đổi các hằng số liên kết tương ứng, thì những lý thuyết này lại hoán đổi thành nhau. Tựa như nước đá hoán đổi thành lý thuyết dây khác khi chúng ta làm tăng hằng số liên kết. Và phải mất biết bao thời gian chúng ta mới chứng tỏ được rằng tất cả các lý thuyết dây đều là sự mô tả đối ngẫu của một cấu trúc cơ bản, như H20 đối với nước và nước đá vậy.

Cơ sở để duy trì những kết quả này gần như hoàn toàn dựa trên việc dùng những lập luận bắt nguồn từ các nguyên lý đối xứng, mà chúng ta sẽ trình bày ở mục tiếp sau.

Chẳng hạn, bạn là người chứng kiến một tội ác, nhưng vì sự việc xảy ra quá nhanh, bạn chỉ kịp nhìn thấy phần bên phải gương mặt của tên tội phạm, thì người họa sĩ trong cơ quan cảnh sát có thể dùng thông tin mà bạn cung cấp dựng lại được toàn bộ khuôn mặt của tên giết người. Đó là nhờ đối xứng...

•◎Sức mạnh của đối xứng

Trong nhiều năm, không có ai, dù chỉ là có ý định, nghiên cứu các tính chất của một trong 5 lý thuyết dây có hằng số liên kết lớn, bởi vì không một ai biết hành động như thế nào khi không có khuôn khổ nhiễu loạn. Tuy nhiên, vào cuối những năm 1980 và đầu những năm 1990, các nhà vật lý đã có những tiến bộ chậm chạp nhưng đều đặn trong việc nhận ra một số tính chất đặc biệt - trong đó có một số khối lượng và tích lực - thuộc vật lý liên kết mạnh của một lý thuyết dây đã cho và vẫn còn nằm trong khả năng tính toán được. Việc tính toán những tính chất này - tất nhiên là vượt ra ngoài khuôn khổ của lý thuyết nhiễu loạn - đã đóng vai trò trung tâm trong việc thúc đẩy sự tiến bộ của cuộc cách mạng siêu dây lần thứ hai và được bắt nguồn vững chắc từ sức mạnh của đối xứng.

Các nguyên lý đối xứng cung cấp cho ta những công cụ rất có hiệu quả để tìm hiểu thế giới vật lý. Ví dụ, các định luật vậy lý không ưu ái một vị trí nào trong không gian và một thời điểm nào trong thời gian đã cho phép chúng ta khẳng định: các định luật có hiệu lực ở đây và bây giờ cũng sẽ có hiệu lực như thế ở bất kỳ đâu và bất kỳ khi nào. Đó là một ví dụ có tầm bao quát rộng lớn, tuy nhiên, những nguyên lý đối xứng cũng có tầm quan trọng không kém trong những hoàn cảnh ít bao quát hơn. Chẳng hạn, bạn là người chứng kiến một tội ác, nhưng vì sự việc xảy ra quá nhanh, bạn chỉ kịp nhìn thấy phần bên phải gương mặt của tên tội phạm, thì người họa sĩ trong cơ quan cảnh sát có thể dùng thông tin mà bạn cung cấp dựng lại được toàn bộ khuôn mặt của tên giết người. Đó là nhờ đối xứng. Mặc dù có sự khác biệt nhất định giữa nửa bên trái và nửa bên phải của mặt người, nhưng phần lớn là đối xứng với nhau đủ để hình ảnh của một bên có thể lật sang bên kia để nhận được một hình ảnh khá gần với nửa mặt còn lại.

Trong tất cả những ứng dụng khác nhau đó, sức mạnh của đối xứng là ở chỗ, nó có khả năng xác định được những tính chất một cách gián tiếp mà thường thường lại dễ dàng hơn nhiều so với phương pháp trực tiếp. Chúng ta có thể biết được vật lý cơ bản trên thiêu hà Andromeda bằng cách đi tới đó, tìm một hành tinh quay quanh một ngôi sao nào đó, xây dựng trên đó các máy gia tốc, rồi thực hiện các loại thực nghiệm như chúng ta đã làm trên Trái đất. Nhưng phương pháp gián tiếp lợi dụng sự đối xứng của tất cả các vị trí trong không gian làm cho công việc trở

nên dễ dàng hơn rất nhiều. Tất nhiên, chúng ta cũng có thể biết về các đặc điểm ở nửa bên trái gương mặt của tên giết người bằng cách bắt hắn và khảo sát phần mặt đó, nhưng vẫn sẽ là dễ dàng hơn nếu như ta lợi dụng đối xứng trái/phải của gương mặt.

Siêu đối xứng là một đối xứng trừu tượng hơn, nó liên hệ những tính chất của các thành phần cơ bản của vũ trụ có spin khác nhau một lượng nhất định. May lắm cũng chỉ có một số gợi ý từ những kết quả thực nghiệm, nhưng vì những lý do mà ta đã thảo luận ở các chương trước, người ta hầu như tin chắc rằng thế giới vi mô chứa đựng đối xứng đó. Và đối xứng này chắc chắn sẽ là một bộ phận hợp thành của lý thuyết dây. Vào những năm 1990, được dẫn dắt bởi những công trình tiên phong của Nathan Seilberg thuộc Viện nghiên cứu cao cấp, các nhà vật lý đã phát hiện ra rằng siêu đối xứng cung cấp một công cụ sắc bén và hiệu quả, có khả năng trả lời được một số vấn đề quan trọng và rất khó bằng cách gián tiếp.

Ngay cả khi không có sự hiểu biết về các chi tiết phức tạp của lý thuyết, thì chỉ riêng việc lý thuyết chứa siêu đối xứng cũng đã cho phép chúng ta đặt những hạn chế đáng kể đối với những tính chất mà lý thuyết cần phải rõ. Ta hãy xét một ví dụ tương tự trong ngôn ngữ học: giả thử người ta nói với bạn rằng có một dãy các chữ cái được viết trên một mẩu giấy và trong đó chứa ba lần chữ cái "y" và tờ giấy được cho vào phong bì dán kín. Nếu như người ta không cho một thông tin gì khác, thì bạn không thể có cách nào đoán được dãy chữ cái đó, vì theo tất cả những điều bạn biết thì đó chỉ là một dãy ngẫu nhiên các chữ cái trong đó có ba chữ "y", ví như mvcfojziyxidqfqzyycdi hoặc vô số những khả năng khác. Nhưng giả thử sau đó người ta cho tiếp hai manh mối nữa: dãy chữ cái dấu trong phong bì là một tiếng Anh và nó có số chữ cái ít nhất phù hợp với thông tin thứ nhất, tức là phải có ba chữ cái "y". Như vậy, từ một số vô hạn các dãy chữ cái lúc khởi đầu, những manh mối này đã quy những khả năng đó về một từ - đó là tiếng Anh duy nhất có chứa ba chữ cái "y": syzygy.

Siêu đối xứng cũng cung cấp cho các lý thuyết chứa nó những manh mối tương tự, cho phép hạn chế những khả năng khả dĩ. Để hiểu rõ hơn điều đó, hãy tưởng tượng người ta đưa cho bạn một câu đố hóc búa về vật lý giống như câu đố ngôn ngữ học mà ta vừa mô tả ở trên. Người ta giấu trong hộp một thứ gì đó mà bạn cần phải xác định, biết rằng nó có

một tích lực nào đấy. Tích lực thì có thể là điện tích, từ tích hay bất kỳ một loại tích tổng quát hóa nào đó khác, nhưng để cụ thể hơn giả thử đó là ba đơn vị điện tích. Nếu không có thêm thông tin thì bạn không thể đoán được đó là thứ gì. Nó có thể là ba hạt cùng điện tích là 1, chẳng hạn như ba positron hoặc ba proton, nó cũng có thể là bốn hạt có điện tích 1 và một hạt có điện tích - 1 (chẳng hạn như êlectron), vì tổ hợp các điện tích này vẫn cho điện tích tổng cộng bằng 3; nó cũng có thể là chín hạt có điện tích 1/3 (như các quark u) hoặc nó có thể gồm chín hạt đó cộng với một số hạt khác không mang điện (như các photon), chẳng hạn. Và cũng giống như trường hợp dãy chữ giấu kín, khi chúng ta chỉ có một manh mối là ba chữ "y" thôi, thì các khả năng về vật chất trong hộp là nhiều vô kể.

Bây giờ giả thử rằng, cũng như trong ví dụ về ngôn ngữ học, người ta cho thêm hai manh mối nữa: lý thuyết mô tả thế giới và do đó cả vật chất không hộp nữa - là siêu đối xứng và vật chứa trong hộp có khối lượng cực tiểu phù hợp với manh mối thứ nhất là có ba đơn vị điện tích. Dựa trên những phát hiện của E. Bogomol'nyi, Manoj Trasad và Charles Sommerfield, các nhà vật lý đã chứng minh được rằng sự đặc tả đó về một khuôn khổ tổ chức chặt chẽ (ở đây là khuôn khổ siêu đối xứng, còn trong ví dụ tương tự là tiếng Anh) và một hạn chế về tích cực tiểu (ở đây là khối lượng cực tiểu đối với một lượng điện tích đã chọn trước, còn trong ví dụ tương tự là từ có độ dài cực tiểu đối với số các chữ cái "y" đã chọn trước) sẽ dẫn tới xác định được duy nhất thứ được giấu trong hộp. Điều này có nghĩa là, chỉ cần đảm bảo rằng thứ giấu trong hộp là nhẹ nhất và có điện tích đã được chỉ định, là các nhà vật lý có thể xác lập được "căn cước" đầy đủ của thứ giấu trong hộp. Thực tế, các thành phần có khối lượng cực tiểu đối với một giá trị diện tích được chọn trước, được biết với cái tên là các trạng thái BPS để tôn vinh những những người đã phát hiện ra chúng.

Một điểm quan trọng về các trạng thái BPS là các tính chất của chúng có thể xác định một cách dễ dàng, chính xác và duy nhất mà không cần viện đến lý thuyết nhiễu loạn. Điều này là đúng bất kể hằng số liên kết có giá trị như thế nào. Tức là, ngay cả khi hằng số liên kết có giá trị lớn, không dùng được lý thuyết nhiễu loạn, thì ta vẫn có thể suy ra những tính chất chính xác của các cấu hình BPS. Những tính chất này thường được gọi là khối lượng và tích lực phi nhiễu loạn, vì những giá trị của chúng vượt ra ngoài sơ đồ của phép gần đúng nhiễu loạn. Vì những lý

do đó, bạn có thể xem các trạng thái BPS như "các trạng thái đứng ngoài các nhiễu loạn".

Các tính chất của BPS chỉ là một phần nhỏ của toàn bộ vật lý của một lý thuyết dây đã cho khi mà hằng số liên kết của nó lớn, tuy nhiên chúng cũng đã cho ta một phương tiện cụ thể để nắm bắt được một số đặc trưng liên kết mạnh mẽ của lý thuyết đó. Khi hằng số liên kết trong một lý thuyết dây đã cho tăng vượt ra ngoài phạm vi áp dụng của lý thuyết nhiễu loạn, thì sự hiểu biết hạn chế của chúng ta chỉ còn biết bám vào các trạng thái BPS. Cũng giống như một nhúm từ nước ngoài có chọn lọc, những trạng thái này, như chúng ta sẽ thấy, vẫn có thể đưa chúng ta đi khá xa.

Kết quả rất cơ bản và mới này, trong đó vật lý liên kết mạnh của một lý thuyết được mô tả bởi vật lý yếu của một lý thuyết khác, được gọi là đối ngẫu mạnh - yếu...

•◎Tính đối ngẫu trong lý thuyết dây

Theo Witten, ta hãy bắt đầu từ một trong số 5 lý thuyết dây, ví dụ như lý thuyết loại I, chẳng hạn, và hình dung rằng tất cả chín chiều không gian đều phẳng và không bị cuộn lại. Dĩ nhiên, điều này là hoàn toàn không hiện thực, nhưng nó sẽ làm cho sự thảo luận của chúng ta trở nên đơn giản hơn. Vả lại chúng ta cũng sẽ nhanh chóng quay trở lại với các chiều bị cuộn lại. Trước hết, ta giả thiết rằng hằng số liên kết nhỏ hơn 1 nhiều. Trong trường hợp đó, lý thuyết nhiễu loạn có thể dùng được và vì vậy, nhiều tính chất của lý thuyết có thể và thực sự đã tìm ra một cách khá chính xác. Nếu ta tăng giá trị của hằng số liên kết nhưng vẫn giữ nó khá nhỏ hơn 1, thì các phương pháp nhiễu loạn vẫn còn áp dụng được. Các tính chất của lý thuyết có thay đổi đôi chút, ví dụ như các giá trị bằng số liên quan với sự tán xạ của một dây này trên dây khác sẽ hơi khác, bởi vì khi đó những quá trình có nhiều vòng trên hình 12.6 sẽ cho những đóng góp lớn hơn khi hằng số liên kết tăng. Nhưng ngoài những thay đổi đó của những tính chất chi tiết bằng số ra, nội dung vật lý tổng thể thì vẫn như trước miễn là hằng số liên kết vẫn nằm trong vương quốc nhiễu loạn.

Khi chúng ta tăng hằng số liên kết trong lý thuyết loại I, vượt qua giới hạn 1, các phương pháp nhiễu loạn không còn áp dụng được nữa, và vì vậy chúng ta chỉ tập trung xem xét một tập hợp hạn chế các khối lượng

và tích lực phi nhiễu loạn, tức là các trạng thái BPS vì chúng vẫn ở trong khả năng hiểu biết của chúng ta. Và đây là điều mà Witten đưa ra và sau đó đã được khẳng định thông qua công trình chung của ông với Joe Polchinski thuộc Đại học California ở Santa Barbara: Những đặc trưng liên kết mạnh đó của lý thuyết dây loại I phù hợp một cách chính xác với những tính chất đã biết của lý thuyết dây Heterotic - 0 khi lý thuyết sau có hằng số liên kết nhỏ. Tức là, khi hằng số liên kết của lý thuyết loại I là lớn, thì những khối lượng và tích lực đặc biệt mà chúng ta đã biết cách suy ra lại đúng bằng những khối lượng và tích lực mà chúng ta tìm được trong lý thuyết Heterotic - 0 khi hằng số liên kết của nó là nhỏ. Điều này gợi ý rằng hai lý thuyết dây đó, giống như nước với nước đá, thoạt nhìn tưởng là hoàn toàn khác nhau, nhưng thực sự là đối ngẫu. Và như vậy, có nhiều khả năng vật lý của lý thuyết loại I đối với các giá trị lớn của hằng số liên kết là đồng nhất với vật lý của lý thuyết Heterotic - 0 đối với các giá trị nhỏ của hằng số liên kết. Những lập luận có liên quan cũng cho bằng chứng có sức thuyết phục rằng điều ngược lại cũng đúng. Tức là vật lý của lý thuyết loại I đối với các giá trị nhỏ của hằng số liên kết là đồng nhất với vật lý của lý thuyết Heterotic - 0 đối với các giá trị lớn của hằng số liên kết [1]. Mặc dù khi phân tích dựa trên lý thuyết nhiễu loạn, hai lý thuyết dây này dường như không có quan hệ gì với nhau, nhưng giờ đây chúng ta thấy rằng, khi hằng số liên kết biến thiên, hai lý thuyết này lại hoán đổi cho nhau - giống như sự hoán đổi giữa nước đá và nước vậy.

Kết quả rất cơ bản và mới này, trong đó vật lý liên kết mạnh của một lý thuyết được mô tả bởi vật lý yếu của một lý thuyết khác, được gọi là đối ngẫu mạnh - yếu. Cũng như đối với những đối ngẫu khác mà chúng ta đã xét ở trên, đối ngẫu mạnh - yếu cho chúng ta biết rằng hai lý thuyết này thực sự là không khác nhau, chúng ta chỉ cho ta hai cách mô tả không giống nhau của cùng một lý thuyết cơ sở mà thôi. Khác với đỗi ngẫu tầm thường tiếng Anh - tiếng Trung, đối ngẫu liên kết mạnh - yếu là một đối ngẫu rất mạnh. Khi hằng số liên kết của một thành viên trong cặp lý thuyết đối ngẫu là nhỏ ta có thể dùng các công cụ quen thuộc của lý thuyết nhiễu loạn để phân tích các tính chất vật lý của nó. Còn nếu hằng số liên kết của lý thuyết này là lớn và lý thuyết nhiễu loạn không còn dùng được nữa, thì bây giờ chúng ta biết rằng có thể dùng mô tả đối ngẫu, trong đó hằng số liên kết là nhỏ và lại có thể dùng phương pháp nhiễu loạn được. Và như vậy giờ đây chúng ta đã có trong tay các phương pháp định lượng để phân tích lý thuyết mà ban đầu chúng ta

tưởng như là không thể làm được.

Việc thực sự chứng minh được vật lý liên kết mạnh của lý thuyết loại I đồng nhất với vật lý liên kết yếu của lý thuyết Heterotic - 0 và ngược lại là một nhiệm vụ cực kỳ khó khăn mà hiện nay chúng ta còn chưa làm được. Lý do thật là đơn giản. Một thành viên của cặp lý thuyết giả định là đối ngẫu không thể đưa về phân tích bằng lý thuyết nhiễu loạn khi hằng số liên kết của nó là quá lớn. Điều này cản trở những tính toán trực tiếp nhiều tính chất vật lý của nó. Thực tế, chính điều này đã làm cho tính đối ngẫu giả định trở nên có sức mạnh, bởi vì nếu đúng, nó sẽ cho chúng ta một công cụ mới để phân tích các tính chất của một lý thuyết liên kết mạnh: đó là dùng các phương pháp nhiễu loạn trong mô tả đối ngẫu liên kết yếu của nó.

Nhưng ngay cả khi không thể chứng minh được hai lý thuyết đó là đối ngẫu, thì sự phù hợp tuyệt vời giữa những tính chất mà chúng ta có thể rút ra một cách đáng tin cậy cũng đã cho ta một bằng chứng rất hấp dẫn về sự đúng đắn của mối quan hệ liên kết mạnh - yếu giả định của lý thuyết loại I và lý thuyết Heterotic - O. Thực tế, những tính toán ngày càng thông minh hơn đã được thực hiện nhằm kiểm tra tính đối ngẫu giả định nói trên đều cho những kết quả khẳng định. Phần lớn các nhà lý thuyết dây đều đinh ninh rằng tính đối ngẫu đó là đúng.

Theo đúng phương pháp đó, người ta có thể nghiên cứu được những tính chất liên kết mạnh của một lý thuyết khác trong số các lý thuyết dây còn lại; ví dụ lý thuyết loại IIB, chẳng hạn. Như đã được phỏng đoán ban đầu bởi Hull và Townsend và được hỗ trợ bởi những nghiên cứu của nhiều nhà vật lý khác, một điều tuyệt vời không kém cũng đã xuất hiện. Khi hằng số liên kết của lý thuyết loại IIB tăng dần, thì những tính chất vật lý mà chúng ta còn có thể biết được hóa ra lại trùng một cách chính xác với những tính chất của chính lý thuyết loại IIB khi hằng số liên kết của nó nhỏ. Nói một cách khác, lý thuyết loại IIB là tự đối ngẫu[2]. Đặc biệt, sự phân tích chi tiết đã gợi ý một cách có sức thuyết phục rằng, nếu hằng số liên kết của lý thuyết IIB có giá lớn hơn 1 và nếu ta thay giá trị đó bằng nghịch đảo của nó (do vậy sẽ nhỏ hơn 1) thì lý thuyết nhận được sau phép thay thế ấy hoàn toàn đồng nhất với lý thuyết ban đầu. Tương tự như trường hợp khi ta thử ép các chiều cuộn tròn tới thang nhỏ hơn chiều dài Planck, ở đây nếu ta thử tăng hằng số liên kết của lý thuyết loại IIB tới giá trị lớn hơn 1, thì tính tự đối ngẫu sẽ

cho thấy rằng lý thuyết nhận được hoàn toàn tương đương với lý thuyết loại IIB với hằng số liên kết nhỏ hơn 1.

[1] Nói chính xác hơn, thì nếu chúng ta gọi hằng số liên kết trong lý thuyết Heterotic - 0 là gHO và trong lý thuyết loại I là gl thì mối liên hệ giữa hai lý thuyết được phát biểu là: vật lý của hai lý thuyết này là đồng nhất với nhau chừng nào mà gHO = 1/gl (hay tương đương thế gl = 1/gHO). Điều này có nghĩa là khi một hằng số này là lớn thì hằng số kia là nhỏ.

[2] Đây là sự tương tự rất gần gũi với đối ngẫu R, 1/R mà ta đã thảo luận. Nếu chúng ta gọi hằng số liên kết trong lý thuyết loại IIB là gIIB thì mệnh đề nói rằng gIIB và 1/gIIb mô tả cùng một vật lý là đúng. Nếu gIIB lớn thì 1/gIIBB là nhỏ và ngược lại.

Những mối liên hệ bất ngờ đó đã khích lệ chúng tôi theo bước Witten khảo sát tiếp hai lý thuyết dây còn lại là lý thuyết loại IIA và lý thuyết Heterotic - E để xem chúng ăn khớp tới mức nào trong bức tranh chung. Và ở đây chúng tôi lại phát hiện ra những điều bất ngờ còn lạ lùng hơn nữa...

•◎Tổng kết những điều đã biết cho tới đây

Bây giờ chúng ta hãy xem hiện mình ở đâu. Vào giữa những năm 1980, các nhà vật lý đã xây dựng được 5 lý thuyết dây khác nhau. Trong sơ đồ gần đúng của lý thuyết nhiễu loạn, thì 5 lý thuyết này không có quan hệ gì với nhau. Nhưng phép gần đúng này chỉ áp dụng được khi hằng số liên kết của một lý thuyết đã cho là nhỏ hơn 1. Người ta đã đặt nhiều kỳ vọng vào việc các nhà vật lý sẽ tính được giá trị chính xác của hằng số liên kết trong một lý thuyết cho trước, nhưng dạng của các phương trình gần đúng hiện có không cho phép họ làm được điều đó. Vì lý do ấy, các nhà vật lý đã đặt ra mục tiêu nghiên cứu từng lý thuyết dây đối với phạm vi các giá trị khả dĩ của hằng số liên kết tương ứng của nó, cả lớn hơn 1 lẫn nhỏ hơn 1, nghĩa là cả liên kết mạnh lẫn liên kết yếu.

Mới đây nhờ dùng sức mạnh của siêu đối xứng, các nhà vật lý đã biết cách tính được một số tính chất liên kết mạnh của một lý thuyết dây cho trước. Và tất cả các nhà lý thuyết dây đều sững sờ khi phát hiện ra rằng những tính chất liên kết mạnh của lý thuyết Heterotic - 0 lại đồng nhất với các tính chất liên kết của lý thuyết loại I và ngược lại. Hơn thế nữa, vật lý liên kết mạnh của lý thuyết loại IIB lại đồng nhất với những tính

chất của chính nó khi liên kết là yếu. Những mối liên hệ bất ngờ đó đã khích lệ chúng tôi theo bước Witten khảo sát tiếp hai lý thuyết dây còn lại là lý thuyết loại IIA và lý thuyết Heterotic - E để xem chúng ăn khớp tới mức nào trong bức tranh chung. Và ở đây chúng tôi lại phát hiện ra những điều bất ngờ còn lạ lùng hơn nữa. Để chuẩn bị cho điều đó, chúng tôi xin phép được nói ngoài đề một chút để trình bày ngắn gọn đôi điều về lịch sử.

•◎Siêu hấp dẫn

Vào cuối những năm 1970 và đầu những năm 1980, trước khi bùng lên sự quan tâm tới lý thuyết dây, nhiều nhà vật lý lý thuyết đã tìm kiếm một lý thuyết thống nhất của cơ học lượng tử, lực hấp dẫn và các lực khác trong khuôn khổ lý thuyết trường lượng tử dựa trên các hạt điểm. Họ hy vọng rằng sự không tương thích giữa các lý thuyết hạt điểm có liên quan với lực hấp dẫn và cơ học lượng tử có thể sẽ khắc phục được bằng cách nghiên cứu những lý thuyết có nhiều đối xứng. Năm 1978, Stanley Deser và Bruce Zumino làm việc ở Cern và độc lập với họ Daniel Freedman, Sergio Ferrara và Peter Van Niewenhuizen tất cả đều làm việc tại Đại học quốc gia New york ở Stonty Brook, đã phát hiện ra rằng hứa hẹn nhất là các lý thuyết có liên quan với siêu đối xứng vì các hạt boson và ferimion có xu hướng cho những thăng giáng lượng tử triệt tiêu nhau, làm cho sự náo nhiệt vốn có của thế giới vi mô dịu hẳn đi. Họ đã đưa ra thuật ngữ siêu hấp dẫn để mô tả các lý thuyết trường lượng tử siêu đối xứng với ý định bao hàm cả thuyết tương đối rộng. Những cố gắng sáp nhập thuyết tương đối rộng và cơ lượng tử như vậy cuối cùng đều chịu thất bại. Tuy nhiên, như đã nhắc ở chương 8, từ những nghiên cứu đó người ta đã rút ra được một bài học quý giá, báo trước sự phát triển của lý thuyết dây.

Bài học này có lẽ trở nên rõ ràng nhất là nhờ các công trình của Eugene Cremmer, Bernard Julia và Scherk, tất cả đều làm việc ở trường Cao đẳng S ư phạm Paris (một trường đại học hàng đầu về khoa học cơ bản của Pháp - ND) vào năm 1978, đó là: những cố gắng gần tới thành công nhất là những lý thuyết siêu hấp dẫn được phát biểu không phải trong bốn chiều quen thuộc mà trong nhiều chiều hơn. Đặc biệt, hứa hẹn nhiều nhất là những lý thuyết cần tới 10 chiều hoặc 11 chiều và 11 chiều là tối đa [3]. Sự chấp nối với bốn chiều quen thuộc, lại một lần nữa, được thực hiện trong khuôn khổ của Kaluza và Klein; các chiều phụ

được cuộn lại. Trong các lý thuyết 10 chiều, như lý thuyết dây, thì 6 chiều phụ được cuộn lại, còn trong các lý thuyết 11 chiều thì có 7 chiều phụ được cuộn lại.

Khi lý thuyết dây cuốn hút các nhà vật lý qua cơn lốc năm 1984, thì quan điểm về các lý thuyết siêu hấp dẫn dựa trên các hạt điểm đã thay đổi một cách nhanh chóng. Như đã nhiều lần nhấn mạnh, nếu chúng ta xem xét các dây với độ chính xác của công nghệ hiện nay và trong tương lai gần, thì nó nhìn sẽ giống như một hạt điểm. Hay nói một cách khác chính xác hơn: khi chúng ta nghiên cứu những quá trình năng lượng thấp trong lý thuyết dây, tức là những quá trình không có đủ năng lượng để thăm dò được bản chất siêu vi mô và quảng tính của dây, thì chúng ta có thể xem gần đúng dây là một hạt điểm không có cấu trúc và dùng được khuôn khổ của các lý thuyết trường lượng tử dựa trên các hạt điểm. Tuy nhiên, chúng ta không thể sử dụng phép gần đúng này đối với các quá trình ở khoảng cách rất ngắn hoặc có năng lượng rất cao, bởi vì chúng ta biết rằng, bản chất quảng tính của dây là hết sức quan trọng đối với việc giải quyết những xung đột giữa thuyết tương đối tổng quát với cơ học lượng tử mà lý thuyết các hạt điểm không thể giải quyết nổi. Nhưng ở những quá trình năng lượng đủ thấp - khoảng cách đủ lớn - thì những vấn đề này không được đặt ra và người ta dùng phép gần đúng đó để thuận tiện cho việc tính toán.

Lý thuyết trường lượng tử gần đúng nhất với lý thuyết dây theo cách đó không gì khác hơn là siêu hấp dẫn 10 chiều. Những tính chất đặc biệt của siêu hấp dẫn 10 chiều đã được phát hiện vào những năm 1970, 1980 giờ đây được hiểu như là những tàn tích năng lượng thấp của sức mạnh tiềm ẩn của lý thuyết dây. Các nhà vật lý nghiên cứu siêu hấp dẫn 10 chiều mới chỉ phát hiện ra phần nổi của tảng băng chìm rất sâu - cấu trúc phong phú của lý thuyết siêu dây. Thực tế, hóa ra là có tới bốn lý thuyết siêu hấp dẫn 10 chiều, chúng khác nhau ở những chi tiết liên quan tới cách thức cụ thể bao hàm siêu đối xứng. Ba trong số này thực ra là gần đúng hạt điểm năng lượng thấp của lý thuyết dây loại IIA, lý thuyết dây loại IIB và lý thuyết dây Heterotic - E. Lý thuyết siêu hấp dẫn thứ tư là gần đúng hạt điểm năng lượng thấp của cả lý thuyết dây loại I và lý thuyết dây Heterotic - 0; bây giờ nhìn lại thì đây chính là dấu hiệu đầu tiên chỉ ra mối liên hệ gần gũi của hai lý thuyết dây này.

Đây là một câu chuyện rất đẹp chỉ trừ một điểm là siêu hấp dẫn 11

chiều đã bị bỏ rơi trong lạnh nhạt. Sở dĩ như vậy là vì lý thuyết dây được phát biểu trong 10 chiều nên không có chỗ cho chiều thứ 11. Trong nhiều năm, đa số, các nhà lý thuyết dây đều cho rằng siêu hấp dẫn 11 chiều chẳng qua chỉ là một thứ của lạ toán học chứ không có liên quan gì đến lý thuyết dây cả.

[3] Nếu tất cả trừ bốn chiều đều cuộn lại, thì một lý thuyết có số chiều tổng cộng lớn hơn 11 chiều nhất thiết sẽ làm xuất hiện các hạt không khối lượng như có spin lớn hơn 2, điều mà cả lý thuyết lẫn thực nghiệm đều bác bỏ.

Dù cho lý thuyết 11 chiều là gì đi nữa, Witten cũng tạm đặt cho nó cái tên là lý thuyết - M. Bạn hỏi bao nhiêu người thì có bấy nhiêu cách giải thích về cái tên này...

•◎Những bước chập chững của lý thuyết - M

Quan điểm hiện nay đã rất khác. Tại hội nghị String'95, Witten đã thông báo rằng nếu chúng ta xuất phát với lý thuyết dây loại IIA và tăng hằng số liên kết của nó từ giá trị rất nhỏ hơn 1 đến giá trị rất lớn hơn 1, thì vật lý mà chúng ta còn phân tích được (mà chủ yếu là vật lý của các cấu hình BPS) sẽ có gần đúng năng lượng thấp là siêu hấp dẫn 11 chiều.

Khi Witten công bố phát hiện đó, cả phòng họp đã sững sờ và từ đó đã làm chấn động cộng đồng các nhà lý thuyết dây. Đối với phần lớn các nhà nghiên cứu, thì đây là một phát triển hoàn toàn bất ngờ. Và phản ứng của bạn chắc cũng đồng điệu với phản ứng của các chuyên gia trong lĩnh vực này: Làm sao mà một lý thuyết vốn là 11 chiều lại có thể liên quan tới một lý thuyết khác chỉ có 10 chiều.

Câu trả lời có một ý nghĩa sâu sắc. Để hiểu được điều đó chúng ta cần phải mô tả kết quả của Witten một cách chính xác hơn. Thực tế, sẽ là dễ dàng hơn nếu chúng ta bắt đầu từ một kết quả có quan hệ rất gần gũi được phát minh sau đó bởi Witten và một thực tập sinh sau tiến sĩ ở Đại học Princeton có tên là Petr Horava, công trình tập trung xét lý thuyết dây Heterotic - E. Họ đã phát hiện ra rằng lý thuyết dây Heterotic - E liên kết mạnh cũng có một sự mô tả 11 chiều và hình 12.7 minh họa tại sao lại như vậy. Trong phần trái cùng của hình 12.7 chúng ta lấy hằng số liên kết của lý thuyết Heterotic - E là rất nhỏ hơn 1. Đây là địa hạt mà chúng ta đã mô tả trong các chương trước và đã được các nhà lý thuyết dây nghiên cứu trong nhiều thập kỷ. Sự dịch chuyển sang bên phải của

hình 12.7 tương ứng với hằng số liên kết liên tiếp tăng lên. Trước năm 1995, các nhà lý thuyết dây đã biết rằng, điều này làm cho các quá trình có vòng (xem hình 12.6) sẽ cho đóng góp lớn hơn và khi hằng số liên kết lớn hơn nữa thì toàn bộ khuôn khổ nhiễu loạn sẽ không còn dùng được nữa. Nhưng cái mà không ai ngờ tới khi hằng số liên kết tăng lên, đó là: một chiều mới trở nên thấy được! Đó là chiều "thẳng đứng" trên hình 12.7. Cần lưu ý rằng, trong hình này, lưới hai chiều biểu diễn toàn bộ chín chiều không gian ban đầu của lý thuyết dây Heterotic - E. Như vậy, chiều mới thẳng đứng biểu diễn chiều không gian thứ mười và cùng với chiều thời gian nữa chúng ta sẽ có cả thảy 11 chiều.

Hình 12.7

Hình 12.7. Khi hằng số liên kết của lý thuyết Heterotic - E tăng, một chiều không gian mới xuất hiện và chính bản thân dây được ra kéo giãn thành một màng hình trụ.

Hơn thế nữa, hình 12.7 còn minh họa một hệ quả sâu sắc của chiều không gian mới này. Cụ thể là cấu trúc của dây Heterotic - E thay đổi khi hằng số liên kết tăng. Nó được kéo giãn từ một vòng dây một chiều thành một dải rồi sau đó thành một mặt trụ biến dạng khi chúng ta tăng giá trị của hằng số liên kết. Nói một cách khác, dây Heterotic - E thực sự là một màng hai chiều với chiều rộng (theo phương thẳng đứng trên hình 12.7) được chi phối bởi giá trị của hằng số liên kết. Trong hơn một chục năm, các nhà lý thuyết dây đã thường xuyên dùng lý thuyết nhiễu loạn dựa trên giả thiết rằng hằng số liên kết là rất nhỏ. Nhưng theo lý lẽ của Witten thì chính giả thiết này đã khiến cho những thành phần sơ cấp của vũ trụ nhìn và xử sự giống như là những sợi dây một chiều, ngay cả khi nó thực sự còn có chiều thứ hai ẩn giấu. Bằng cách bỏ đi giả thiết hằng số liên kết nhỏ và xét vật lý của dây Heterotic - E khi hằng số liên kết lớn, chiều thứ hai sẽ hiện ra.

Phát hiện này không thể làm phương hại gì đến những kết luận mà chúng ta đã trình bày trong các chương trước, nhưng nó buộc chúng ta phải nhìn nhận những kết luận đó trong một khuôn khổ mới. Ví dụ, điều đó làm thế nào phù hợp được với một chiều thời gian và chín chiều không gian được đòi hỏi bởi lý thuyết dây? Từ chương 8 chúng ta đã biết rằng, hạn chế (10 chiều) đó là xuất phát từ việc đếm số hướng dao động của dây và từ yêu cầu số chiều đó phải đảm bảo sao cho các giá trị xác suất của cơ học lượng tử là có nghĩa. Chiều mới mà chúng ta vừa

phát hiện ra không phải là hướng mà dây Heterotic có thể dao động, vì nó là chiều bị khóa bên trong "cấu trúc" của chính các dây. Nói một cách khác, khuôn khổ nhiễu loạn mà các nhà vật lý đã dùng để rút ra đòi hỏi phải có 10 chiều không-thời gian, đã ra giả thiết ngay từ đầy rằng hằng số liên kết của lý thuyết Heterotic - E là nhỏ. Mặc dù mãi sau này mới được nhận ra, nhưng điều đó đã ngầm dẫn tới hai phép gần đúng phù hợp với nhau: đó là chiều rộng của màng trên hình 12.7 là nhỏ và chiều thứ mười một cũng nhỏ tới mức nó nằm ngoài khả năng nhạy cảm của các phương trình nhiễu loạn. Sơ đồ gần đúng này đã dẫn chúng ta tới một vũ trụ 10 chiều chứa đầy các dây một chiều. Bây giờ thì chúng ta thấy rằng đó chỉ là một vũ trụ gần đúng của vũ trụ 10 chiều chứa các màng hai chiều.

Thực ra, vì những lý do kỹ thuật, Witten đầu tiên phát hiện ra chiều thứ 11 khi nghiên cứu những tính chất liên kết mạnh của lý thuyết dây loại IIA kia, nhưng ở đó câu chuyện cũng tương tự như chúng ta vừa trình bày ở trên. Cũng như trong lý thuyết dây Heterotic - E, trong lý thuyết loại IIA cũng có chiều thứ 11 có kích thước được chi phối bởi hằng số liên kết của nó. Khi giá trị của hằng số này tăng, kích thước của chiều mới cũng tăng. Nhưng khi này - Witten giải thích - thay vì bị kéo giãn ra thành một màng như trong lý thuyết Heterotic - E, thì dây loại IIA lại phình ra thành một "chiếc xăm", như được minh họa trên hình 12.8. Lại một lần nữa, Witten cho thấy rằng, mặc dù các nhà lý thuyết luôn xem các dây loại IIA là những đối tượng một chiều, chỉ có chiều dài mà không có bề dày, nhưng quan điểm đó chỉ là sự phản ánh của sơ đồ gần đúng nhiễu loạn trong đó hằng số liên kết được giả thiết là nhỏ. Nếu như tự nhiên thực sự đòi hỏi giá trị nhỏ của hằng số liên kết thì đó là phép gần đúng tin cậy được. Tuy nhiên, những luận chứng của Witten và của các nhà vật lý khác trong cuộc cách mạng siêu dây lần thứ hai đều đưa ra những bằng chứng mạnh mẽ cho thấy rằng dây loại IIA về cơ bản là những màng hai chiều sống trong một vũ trụ 11 chiều.

Hình 12.8

Hình 12.8. Khi hằng số liên kết của lý thuyết loại IIA tăng, thì các vòng dây một chiều được phình ra thành các đối tượng hai chiều nhìn giống như bề mặt của chiếc xăm xe đạp.

Nhưng lý thuyết 11 chiều đó là gì? Ở năng lượng thấp (so với năng lượng Planck), Witten và những người khác giải thích, lý thuyết đó có

một gần đúng là lý thuyết trường lượng tử siêu hấp dẫn 11 chiều đã bị bỏ rơi từ lâu. Thế còn ở năng lượng cao, chúng ta có thể mô tả lý thuyết đó như thế nào? Đây là một chủ đề hiện đang được xem xét một cách ráo riết. Từ các hình 12.7 và 12.8, chúng ta biết rằng lý thuyết 11 chiều phải chứa hai đối tượng có quảng tính hai chiều, đó là các màng hai chiều, các đối tượng quảng tính có số chiều khác cũng đóng vai trò rất quan trọng. Nhưng ngoài một mớ lộn xộn những tính chất ra, hiện chưa có ai biết lý thuyết 11 chiều là cái gì cả. Những tính chất định nghĩa nên lý thuyết đó là những tính chất nào? Nó liên hệ như thế nào với vật lý mà chúng ta đã biết. Nếu như hằng số liên kết tương ứng là nhỏ, thì những câu trả lời tốt nhất của chúng ta hiện nay cho các câu hỏi đó đã được mô tả trong các chương trước, vì hằng số liên kết nhỏ sẽ dẫn chúng ta trở lại chính lý thuyết dây. Nhưng nếu như hằng số liên kết là lớn, thì hiện chưa có ai biết được các câu trả lời.

Dù cho lý thuyết 11 chiều là gì đi nữa, Witten cũng tạm đặt cho nó cái tên là lý thuyết - M. Bạn hỏi bao nhiêu người thì có bấy nhiêu cách giải thích về cái tên này. Xin nêu một số ví dụ: Lý thuyết Mẹ (như trong "Mẹ của mọi lý thuyết"), Lý thuyết Màng (vì dù thế nào đi nữa, màng cũng là một phần của câu chuyện), Lý thuyết Ma trận (theo một công trình mới đây của Tom Banks thuộc Đại học Rutgers, Willy Fischler thuộc Đại học Texas ở Austin, Stephen Shenker thuộc Đại học Rutgerts và Susskid, những người đã đưa ra một cách giải thích mới của lý thuyết đó). Nhưng dù chưa nắm bắt chắc được cái tên cũng như những tính chất của nó, ta cũng đã thấy rằng lý thuyết - M sẽ cung cấp cho ta một khuôn khổ thống nhất để thâu tóm cả 5 lý thuyết dây vào trong đó.

Trong nhiều năm, các nhà vật lý cũng mò mẫm trong bóng đêm như những anh mù, họ nghĩ rằng các lý thuyết dây khác nhau là rất khác nhau. Nhưng giờ đây, nhờ những phát minh của cuộc cách mạng siêu dây lần thứ hai, họ nhận ra rằng lý thuyết - M tựa như con voi, chính là một khuôn khổ để thống nhất cả 5 lý thuyết dây...

•◎Lý thuyết - M và mạng lưới những mối quan hệ của nó

Có một câu chuyện ngụ ngôn cổ kể về ba anh mù và một con voi. Anh mù thứ nhất sờ thấy chiếc ngà voi và mô tả cái bề mặt cứng và nhẵn mà anh ta cảm thấy. Anh mù thứ hai sờ được chân voi bèn mô tả cái khối cơ bắp sần sùi thô ráp mà anh ta cảm thấy. Anh mù thứ ba sờ được chiếc đuôi thì mô tả nó thon thả và hiếu động như anh ta cảm thấy. Vì những

mô tả họ kể cho nhau nghe hoàn toàn khác nhau và cũng vì họ không nhìn thấy nhau, nên mỗi người đều nghĩ ràng mình đã sờ vào một con vật khác. Trong nhiều năm, các nhà vật lý cũng mò mẫm trong bóng đêm như những anh mù, họ nghĩ rằng các lý thuyết dây khác nhau là rất khác nhau. Nhưng giờ đây, nhờ những phát minh của cuộc cách mạng siêu dây lần thứ hai, các nhà vật lý mới nhận ra rằng lý thuyết - M tựa như con voi, chính là một khuôn khổ để thống nhất cả 5 lý thuyết dây.

Trong chương này chúng ta đã thảo luận về những thay đổi trong nhận thức của chúng ta về lý thuyết dây, khi chúng ta vượt ra ngoài địa hạt của lý thuyết nhiễu loạn - một khuôn khổ đã ngầm được sử dụng ở các chương trước. Hình 12.9 đã tổng kết mối quan hệ lẫn nhau mà chúng ta tìm thấy cho tới nay với các mũi tên chỉ các lý thuyết là đối ngẫu với nhau. Như bạn thấy, chúng ta có cả một mạng những mối quan hệ, nhưng mạng đó còn chưa đầy đủ. Phải bao hàm cả những đối ngẫu ở chương 10 nữa, chúng ta mới có thể hoàn tất công việc.

Hình 12.9

Hình 12.9. Những mũi tên chỉ hai lý thuyết là đối ngẫu với nhau.

Cần nhớ lại rằng tính đối ngẫu giữa các bán kính lớn /nhỏ làm hoán đổi các chiều cuộn tròn có bán kính R và chiều có bán kính 1/R. Trước đây chúng ta đã lờ đi một khía cạnh của đối ngẫu này và bây giờ chúng ta cần phải giải thích rõ điều đó. Trong chương 10, chúng ta đã thảo luận những tính chất của các dây trong một vũ trụ có các chiều cuộn tròn mà không chỉ rõ chúng ta đang xét lý thuyết nào trong số 5 lý thuyết dây. Khi đó, chúng ta đã chỉ ra rằng sự hoán đổi các mode quấn và mode dao động của dây cho phép chúng ta mô tả một vũ trụ có chiều cuộn tròn với bán kính 1/R bằng cách quy về mô tả một vũ trụ có chiều cuộn tròn với bán kính là R. Điều mà chúng ta đã lờ đi, đó là: các lý thuyết dây loại IIA và loại IIB cũng như các lý thuyết dây Heterotic - 0 và Heterotic - E đều thực sự đã được hoán đổi bởi tính đối ngẫu đó. Như vậy, tính đối ngẫu bán kính lớn / nhỏ được phát biểu một cách chính xác hơn như sau: vật lý của lý thuyết dây loại IIA trong một vũ trụ có chiều cuộn tròn với bán kính R hoàn toàn đồng nhất với vật lý của lý thuyết dây loại IIB trong một vũ trụ có chiều cuộn tròn với bán kính 1/R (một phát biểu tương tự cũng đúng với các lý thuyết dây Heterotic - 0 và Heterotic - E). Việc giải thích rõ hơn tính đối ngẫu bán kính lớn /nhỏ không ảnh hưởng

đáng kể đến những kết luận mà chúng ta đã rút ra trong chương 10, nhưng lại có ảnh hưởng quan trọng đến những điều chúng ta hiện đang thảo luận ở đây.

Hình 12.10.

Hình 12.10. Bằng cách kể cả những đối ngẫu liên quan tới dạng hình học của không - thời gian (như trong chương 10) cả 5 lý thuyết dây và lý thuyết - M được kết nối với nhau trong một mạng lưới các đối ngẫu.

Lý do là ở chỗ bằng cách cung cấp cho chúng ta mối liên hệ giữa các lý thuyết dây loại IIA và loại IIB cũng như giữa các lý thuyết dây Heterotic - 0 và Heterotic - E, tính đối ngẫu bán kính lớn / nhỏ đã hoàn tất mạng lưới các mối liên hệ, như được minh họa bằng mũi tên đứt nét trên hình 12.10. Hình này cho thấy rằng tất cả 5 lý thuyết dây cùng với lý thuyết - M đều là đối ngẫu của nhau. Tất cả những lý thuyết đó đều được khâu lại thành một khuôn khổ duy nhất, cho ta năm cách tiếp cận khác nhau để mô tả cùng một cơ sở vật lý. Đối với ứng dụng này hay khác, một trong những cách đó có thể hiệu quả hơn nhiều so với cách tiếp cận khác. Ví dụ, làm việc với lý thuyết Heterotic - 0 liên kết yếu sẽ dễ dàng hơn nhiều so với lý thuyết loại I liên kết mạnh. Tuy nhiên, cả hai lý thuyết đó cùng mô tả một vật lý.

Mặc dù chúng ta mới chỉ có một sự hiểu biết manh mún về lý thuyết - M, nhưng những luận cứ gián tiếp này đã là một chỗ dựa vững chắc cho khẳng định rằng: lý thuyết M cung cấp một thể nền thống nhất cho 5 lý thuyết dây của chúng ta...

•◎Bức tranh tổng thể

Bây giờ chúng ta đã có thể hiểu được đầy đủ hơn về hai hình, hình 12.1 và 12.2, mà ta đã đưa vào ở đầu chương để tóm tắt những điểm căn bản. Trong hình 12.1, chúng ta thấy rằng trước năm 1995, khi chưa tính đến các đối ngẫu, chúng ta có 5 lý thuyết dây tách rời nhau. Các nhà vật lý khác nhau làm việc trong từng lý thuyết, nhưng do chưa biết tới tính đối ngẫu, nên họ cho rằng đó là những lý thuyết khác nhau. Mỗi một lý thuyết đều có những đặc điểm khác với các lý thuyết khác, như cỡ của hằng số liên kết cũng như dạng hình học và kích thước của các chiều cuộn tròn. Người ta đã hy vọng (và vẫn đang còn hy vọng) rằng những tính chất cơ bản đó sẽ được xác định bởi chính lý thuyết, nhưng do chưa có khả năng xác định được bằng các phương trình gần đúng hiện có,

nên lẽ tự nhiên các nhà vật lý chuyển sang nghiên cứu vật lý được suy ra từ những khả năng khác. Điều này được biểu diễn trên hình 12.1 bằng các vùng tô đen - mỗi điểm thuộc vùng này ký hiệu một sự lựa chọn cụ thể đối với hằng số liên kết và hình học cuộn tròn. Khi chưa viện đến tính đối ngẫu, chúng ta vẫn có 5 lý thuyết dây tách rời nhau.

Nhưng giờ đây, nếu như chúng ta áp dụng tất cả các đối ngẫu đã biết, thì khi làm biến thiên các hằng số liên kết và các tham số hình học, chúng ta sẽ chuyển từ lý thuyết này sang lý thuyết khác, với điều kiện phải bao hàm cả vùng trung tâm đóng vai trò thống nhất của lý thuyết - M. Điều này đã được minh họa trên hình 12.2. Mặc dù chúng ta mới chỉ có một sự hiểu biết manh mún về lý thuyết - M, nhưng những luận cứ gián tiếp này đã là một chỗ dựa vững chắc cho khẳng định rằng: lý thuyết M cung cấp một thể nền thống nhất cho 5 lý thuyết dây của chúng ta. Hơn thế nữa, chúng ta còn biết rằng lý thuyết - M có quan hệ gần gũi với lý thuyết thứ sáu là siêu hấp dẫn 11 chiều và điều này đã được ghi nhận trên hình 12.11, một phiên bản chính xác hơn của hình 12.2 [1].

Hình 12.11.

Hình 12.11. Bằng cách tính đến các đối ngẫu, tất cả 5 lý thuyết dây, siêu hấp dẫn 11 chiều và lý thuyết - M được hòa nhập làm một khuôn khổ thống nhất.

Hình 12.11 cho thấy rằng những ý tưởng cơ bản và các phương trình của lý thuyết - M, mặc dù hiện nay chỉ mới hiểu được phần nào, sẽ thống nhất được tất cả các lý thuyết dây. Lý thuyết - M chính là con voi lý thuyết đã giúp cho các nhà lý thuyết dây nhìn ra một khuôn khổ thống nhất rộng lớn hơn.

[1] Nói một cách chính xác hơn, sơ đồ này có thể giải thích được bằng cách nói rằng chúng ta chỉ có một lý thuyết nhưng nó phụ thuộc vào một số tham số, trong đó có hằng số liên kết, những tham số về kích thước và hình dạng hình học của không - thời gian. Về nguyên tắc, chúng ta có thể dùng lý thuyết này để tính được giá trị cụ thể của tất cả các tham số đó, nhưng với trình độ hiểu biết lý thuyết hiện nay, chúng ta vẫn còn chưa biết làm điều đó như thế nào. Vì thế, để hiểu lý thuyết này tốt hơn, các nhà lý thuyết dây đã nghiên cứu những tính chất của nó khi cho giá trị của các tham số này biến thiên trong toàn bộ miền giá

trị khả dĩ của chúng. Nếu giá trị được chọn của những tham số đó nằm trong một vùng nào đó trong số 6 bán đảo trên hình 12.11, thì lý thuyết có những tính chất cố hữu của một trong 5 lý thuyết dây tương ứng hoặc của lý thuyết siêu hấp dẫn 11 chiều. Còn nếu giá trị các tham số được chọn nằm trong vùng trung tâm thì vật lý sẽ được chi phối bởi lý thuyết - M vẫn còn đầy bí ẩn.

...Như vậy, lý thuyết dây hay lý thuyết - M, cho dù cuối cùng nó được gọi bằng cái tên gì đi nữa, thực sự chứa các đối tượng có quảng tính với cả một tập hợp các chiều khác nhau...

•◎Một số đặc điểm lạ lùng của lý thuyết - M: Nền dân chủ mở rộng

Khi hằng số liên kết của các dây là nhỏ trong năm bán đảo bên trên của bản đồ lý thuyết - hình 12.11 - thì thành phần cơ bản của lý thuyết dường như là các dây một chiều. Tuy nhiên, chúng ta đã vừa có được một quan điểm mới về nhận xét đó. Nếu xuất phát từ các vùng Heterotic - E hoặc loại IIA và tăng giá trị của hằng số liên kết, thì chúng ta sẽ di trú vào vùng giữa của bản đồ trên hình 12.11 và cái mà chúng ta tưởng là sợi dây một chiều lại bị kéo giãn thành một màng hai chiều. Hơn thế nữa, nhờ một dãy khá phức tạp những quan hệ đối ngẫu liên quan tới cả các hằng số liên kết và dạng chi tiết của các chiều không gian bị cuộn lại, chúng ta có thể di chuyển trơn và liên tục từ điểm này đến điểm khác trên bản đồ các lý thuyết trên hình 12.11. Các màn hai chiều mà chúng ta đã gặp trong các lý thuyết Heterotic - E và loại IIA vẫn có thể còn đi theo khi chúng ta di trú tới ba lý thuyết dây còn lại trên hình 12.11. Như vậy cả 5 lý thuyết dây đều có liên quan tới các màng hai chiều.

Điều này đã đặt ra hai câu hỏi: Thứ nhất, liệu các màng hai chiều có phải là thành phần sơ cấp của lý thuyết dây hay không? Thứ hai, vào những năm 1970 và 1980, khi người ta làm một bước nhảy dũng cảm từ những hạt điểm không - chiều tới các dây một chiều và giờ đây khi đã thấy rằng lý thuyết dây lại liên quan tới các màng hai chiều, thì liệu trong lý thuyết dây có thể có cả những thành phần sơ cấp nhiều chiều hơn hay không? Khi chúng tôi viết những dòng này, thì chưa có câu trả lời nào được biết đầy đủ cả, nhưng tình hình cụ thể là như sau.

Chúng ta đã chủ yếu dựa trên siêu đối xứng để có được những hiểu biết nhất định về mỗi một phiên bản của lý thuyết dây ngoài phạm vi áp

dụng của các phương pháp nhiễu loạn. Đặc biệt, tính chất của các trạng thái BPS, mà cụ thể là khối lượng và các tích lực của chúng, đã được xác định một cách duy nhất bởi siêu đối xứng. Điều này cho phép chúng ta hiểu được một số đặc trưng liên kết mạnh của chúng mà không cần phải thực hiện những tính toán trực tiếp khó không thể tưởng tưởng nổi. Thực tế, nhờ những nỗ lực ban đầu của Horowitz và Strominger và cũng nhờ công trình có tính đột phá sau đó của Polchinski, chúng ta giờ đây không chỉ biết được khối lượng và cách tích lực của các trạng thái đó mà còn có một ai hiểu biết rõ ràng là chúng nhìn giống như cái gì. Và có lẽ, bức tranh này là một phát triển đáng kinh ngạc nhất mà ta biết. Một số trạng thái BPS là các dây một chiều. Một số trạng thái khác là các màng hai chiều. Giờ đây những dạng đó đã trở nên quá quen thuộc với chúng ta. Nhưng sự bất ngờ là ở chỗ, một số những trạng thái khác nữa là ba chiều, bốn chiều và thực tế tới tận chín chiều. Như vậy, lý thuyết dây hay lý thuyết - M, cho dù cuối cùng nó được gọi bằng cái tên gì đi nữa, thực sự chứa các đối tượng có quảng tính với cả một tập hợp các chiều khác nhau. Các nhà vật lý đã đặt ra thuật ngữ 3-brane để chỉ các đối tượng có quảng tính ba chiều, 4 - brane để chỉ các đối tượng quảng tính bốn chiều và tổng quát là p - brane để chỉ một đối tượng quảng tính p chiều, cứ như vậy cho tới tận chín chiều (lưu ý rằng, trong tiếng Anh membrane có nghĩa là màng, các nhà vật lý đã lấy phần đuôi của từ này để tạo nên thuật ngữ p - brane - ND). Khi dùng thuật ngữ này, đôi khi các dây cũng được gọi là 1 - brane và các màng được gọi là 2 - brane. Việc tất cả các đối tượng có quảng tính đó thực sự là một bộ phận của lý thuyết dây dã dẫn đến tuyên bố của Townsend về một "nền dân chủ của các brane".

Cho dù có nền dân chủ của các brane, nhưng các dây - đối tượng quảng tính một chiều - vẫn có một vai trò đặc biệt vì lý do sau. Các nhà vật lý đã chứng minh được rằng, khối lượng của các đối tượng quảng tính bất kể có số chiều là bao nhiêu, trừ trường hợp một chiều, đều tỷ lệ nghịch với hằng số liên kết tương ứng khi chúng ta ở trong năm bán đảo dây trên hình 12.11. Điều này có nghĩa là với liên kết yếu, trong tất cả 5 phiên bản của lý thuyết dây tất cả các đối tượng có quảng tính, trừ các dây, đều có khối lượng rất lớn - với cỡ độ lớn còn lớn hơn cả khối lượng Planck. Vì những đối tượng này nặng như thế, và do đó theo hệ thức Einstein E = mc2, chúng đòi hỏi một năng lượng cực lớn để được tạo ra, nên các brane chỉ có ảnh hưởng rất nhỏ đến nhiều tính chất vật lý (nhưng không phải tất cả, như chúng ta sẽ thấy ở chương sau). Tuy

nhiên, khi chúng ta di chuyển ra ngoài các vùng bán đảo trên hình 12.11, thì những brane có số chiều cao sẽ nhẹ dần đi và do đó có tầm quan trọng tăng lên.

Như vậy, hình ảnh mà bạn nên ghi nhớ trong đầu là như sau: ở vùng trung tâm của hình 12.11, chúng ta có một lý thuyết với những thành phần sơ cấp không phải chỉ là các dây hay màng mà còn là các "brane" với số chiều cao hơn nữa, và tất cả những thành phần đó đều khá bình đẳng với nhau. Hiện nay chúng ta còn chưa nắm chắc được những đặc trưng đầy đủ của lý thuyết này. Nhưng một điều mà ta biết được chắc chắn, đó là: khi chúng ta di chuyển từ vùng trung tâm tới bất cứ một bán đảo dây nào, thì chỉ có các dây (hoặc các màng cuộn lại nhìn rất giống dây, như trong hình 12.7 và 12.8) là đủ nhẹ để có thể liên quan với vật lý mà chúng ta đã biết - tức là các hạt trong bảng 1.1 và bốn lực tương tác giữa các hạt đó. Những phân tích bằng lý thuyết nhiễu loạn mà các nhà lý thuyết dây đã dùng trong gần hai thập kỷ qua, đã không đủ độ tinh để phát hiện ra dù chỉ là sự tồn tại của các "brane" siêu nặng có số chiều cao hơn. Các dây đã ngự trị hoàn toàn khiến cho lý thuyết được khoác cái tên quá thiếu dân chủ là "lý thuyết dây". Như vậy, một lần nữa chúng ta lại thấy rằng tại những vùng bán đảo của hình 12.11, trong phần lớn các trường hợp, việc bỏ qua tất cả trừ các dây là có căn cứ. Về căn bản, đó cũng là điều mà chúng ta đã làm cho tới đây trong cuốn sách này.

Tuy nhiên, giờ đây chúng ta cũng biết rằng, trong thực tế lý thuyết của chúng ta còn phong phú hơn người ta trước kia đã tưởng rất nhiều.

Tính đối ngẫu và lý thuyết - M đã thống nhất 5 lý thuyết dây và đưa ra một kết luận quan trọng. Rất có thể là sẽ không còn những bất ngờ nào khác nữa đang chờ đợi chúng ta...

•◎Vậy có cái gì giúp ta giải quyết những vấn đề còn tồn đọng trong lý thuyết dây hay không?

Có và không. Chúng ta đã hoàn thiện sự hiểu biết của chúng ta bằng cách giải thoát khỏi một số kết luận, mà bây giờ nhìn lại, chúng là những hệ quả của sự phân tích theo phương pháp gần đúng nhiễu loạn, chứ không phải của lý thuyết dây đích thực. Nhưng tập hợp những công cụ phi nhiễu loạn của chúng ta còn rất hạn chế. Sự phát hiện ra mạng những mối quan hệ đối ngẫu tuyệt vời đã cung cấp cho chúng ta

những phương tiện để hiểu sâu hơn lý thuyết dây, nhưng còn nhiều vấn đề vẫn chưa giải quyết được. Ví dụ, hiện nay, chúng ta vẫn còn chưa biết bằng cách nào có thể vượt ra ngoài những phương trình gần đúng dùng để xác định các hằng số liên kết, vì như chúng ta đã biết những phương trình này là quá thô nên không thể mang lại cho chúng ta thông tin gì hữu ích cả. Chúng ta cũng vẫn còn chưa biết tại sao lại có chính xác ba chiều không gian có kích thước lớn hoặc làm thế nào chọn được dạng chi tiết cho các chiều bị cuộn lại. Những vấn đề đó đòi hỏi phải có các phương pháp phi nhiễu loạn mạnh và sắc bén hơn.

Cái mà chúng ta đã thực sự làm được, đó là chúng ta đã hiểu sâu hơn nhiều cấu trúc lôgíc và tầm của lý thuyết dây. Trước những phát minh được tổng kết trong hình 12.11, hành vi liên kết mạnh của cả 5 lý thuyết dây đều là một hộp đen, một sự bí ẩn hoàn toàn. Cũng như trên những tấm bản đồ thời xa xưa, thế giới của liên kết mạnh là những vùng đất còn chưa được khám phá, tiềm ẩn đầy những con rồng và quỷ biển. Nhưng giờ đây chúng ta thấy rằng, cuộc phiêu lưu đến vùng đất liên kết mạnh có thể đưa chúng ta qua những vùng còn ít hiểu biết của lý thuyết - M, nhưng cuối cùng sẽ đưa chúng ta trở lại cập bến bình an của vùng đất liên kết yếu, nhưng theo ngôn ngữ đối ngẫu của cái mà chúng ta tưởng là một lý thuyết dây khác.

Tính đối ngẫu và lý thuyết - M đã thống nhất 5 lý thuyết dây và đưa ra một kết luận quan trọng. Rất có thể là sẽ không còn những bất ngờ nào khác nữa đang chờ đợi chúng ta. Một khi nhà địa đồ đã vẽ hết mọi vùng trên quả địa cầu thì tấm bản đồ coi như đã làm xong và tri thức về địa lý có thể coi là hoàn tất. Tất nhiên, nói như thế không có nghĩa là những cuộc thám hiểm ở Nam Cực hay ở một hòn đảo cô độc nào đó ở Micronesie là không có giá trị khoa học hay văn hóa gì cả. Điều đó chỉ muốn nói rằng thời đại của những phát kiến địa lý đã qua rồi. Sự không có một điểm trắng nào trên bản đồ thế giới là một minh chứng. "Tấm bản đồ lý thuyết" trên hình 12.11 đóng một vai trò tương tự đối với các nhà lý thuyết dây. Nó bao trùm toàn bộ các lý thuyết mà ta có thể đạt tới bằng cách dong buồm từ bất kỳ một phiên bản nào trong số 5 phiên bản của lý thuyết dây. Mặc dù chúng ta còn xa mới hiểu được đầy đủ vùng đất lạ là lý thuyết - M, nhưng trên bản đồ không còn những vùng trắng. Giống như nhà địa đồ, nhà lý thuyết dây giờ đây cũng có thể rất lạc quan mà tuyên bố rằng phổ của những lý thuyết lôgíc nhất, bao gồm những phát minh quan trọng nhất của thế kỷ XX như thuyết tương đối

hẹp và thuyết tương đối rộng; cơ học lượng tử, những lý thuyết chuẩn của các lực mạnh, yếu và điện từ; siêu đối xứng, các chiều cuộn lại của Kaluza và Klein - tất cả đều có mặt trên tấm bản đồ trong hình 12.11.

Thách thức đối với nhà lý thuyết dây - hoặc cũng có thể nói là đối với nhà lý thuyết - M - là phải chỉ ra được điểm nào trên tấm bản đồ lý thuyết của hình 12.11 thực sự mô tả vũ trụ chúng ta. Để làm được điều đó, đòi hỏi phải tìm ra những phương trình chính xác và đầy đủ, mà nghiệm của chúng sẽ chỉ ra cái điểm khó nắm bắt đó trên bản đồ các lý thuyết và sau đó phải tìm hiểu vật lý tương ứng với độ chính xác đủ để so sánh được với thực nghiệm. Như Witten đã nói: "Hiểu được lý thuyết M thực sự là gì và vật lý mà nó thể hiện, sẽ làm biến đổi sự hiểu biết của chúng ta về tự nhiên ít nhất cũng triệt để như đã từng xảy ra trong những cuộc đảo lộn khoa học vĩ đại nhất trong quá khứ 10". Đó là chương trình thống nhất dành cho thế kỷ XXI.

Trong chương này và chương tiếp sau, chúng tôi sẽ mô tả chặng đường mà các nhà lý thuyết dây đã đi được trên hành trình tìm hiểu các lỗ đen và nguồn gốc của vũ trụ...

CHƯƠNG 13

CÁC LỖ ĐEN THEO QUAN ĐIỂM CỦA LÝ THUYẾT DÂY /LÝ THUYẾT – M

Sự xung đột trước khi có lý thuyết dây giữa thuyết tương đối rộng và cơ học lượng tử đã xúc phạm tới tình cảm sâu xa của chúng ta vốn cho rằng các định luật của tự nhiên phải gắn kết với nhau trong một chỉnh thể hài hòa. Tuy nhiên, sự xung đột này không phải là sự tách rời trừu tượng cao vời. Những điều kiện vật lý cực hạn xảy ra ở thời điểm Big Bang và phổ biến trong các lỗ đen sẽ không thể hiểu được nếu như không có một lý thuyết lượng tử của lực hấp dẫn. Với sự phát minh ra lý thuyết dây, giờ đây chúng ta hy vọng sẽ giải đáp được những điều bí ẩn sâu xa đó. Trong chương này và chương tiếp sau, chúng tôi sẽ mô tả chặng đường mà các nhà lý thuyết dây đã đi được trên hành trình tìm hiểu các lỗ đen và nguồn gốc của vũ trụ.

•◎Lỗ đen và hạt sơ cấp

Thoạt nhìn, khó có thể hình dung hai vật nào lại khác nhau ghê gớm như các lỗ đen và hạt sơ cấp. Chúng ta thường hình dung các lỗ đen là những thiên thể kỳ vĩ nhất còn các hạt sơ cấp là những mẩu bé nhỏ nhất của vật chất. Nhưng những nghiên cứu của Demetrios Chritodoulou, Werner Israel, Richard Price, Brandon Carter, Roy Kerr, David Robinson, Hawking và Penrose cùng với nhiều nhà vật lý khác vào cuối những năm 1960 và đầu những năm 1970 đã chứng tỏ rằng các lỗ đen và các hạt sơ cấp có lẽ không khác nhau ghê gớm như người ta tưởng. Họ đã tìm ra những bằng chứng ngày càng có sức thuyết phục hơn về cái mà John Wheeler đã tổng kết trong mệnh đề: "các lỗ đen không có tóc". Ý của Wheeler là muốn nói rằng, ngoài một số rất ít các đặc điểm phân biệt ra, tất cả các lỗ đen đều giống nhau.

Những đặc điểm phân biệt đó là gì? Thứ nhất, tất nhiên, là khối lượng của lỗ đen. Thế còn những đặc điểm khác? Nhiều nghiên cứu còn phát hiện ra rằng, các lỗ đen cũng mang điện tích và một số tích lực khác

cũng như cả vận tộc tự quay (spin) nữa. Và chỉ có thế thôi. Như vậy, hai lỗ đen có cùng khối lượng, cùng các tích lực và cùng spin sẽ hoàn toàn đồng nhất với nhau. Các lỗ đen không có những "kiểu tóc" cầu kỳ, tức là những đặc điểm nội tại khác, để phân biệt với nhau. Điều đó lẽ nào không gợi cho bạn điều gì sao? Hãy nhớ lại rằng chính những tính chất như khối lượng, các tích lực và spin cũng là những đặc điểm để phân biệt các hạt sơ cấp. Sự tương tự về những tính chất nhận dạng như thế, trong nhiều năm, đã dẫn nhiều nhà vật lý tới một lối suy diễn lạ lùng là: rất có thể các lỗ đen thực sự là các hạt sơ cấp khổng lồ.

Thực ra, theo lý thuyết của Einstein, không có một giới hạn cực tiểu nào đối với khối lượng của một lỗ đen. Nếu chúng ta nén một mẩu vật chất có khối lượng bất kỳ tới một kích thước đủ nhỏ, thì những tính toán không mấy khó khăn theo thuyết tương đối rộng sẽ chứng tỏ rằng nó sẽ trở thành một lỗ đen. (Khối lượng càng bé thì phải nén tới kích thước càng nhỏ). Và như vậy, chúng ta có thể hình dung một thí nghiệm tưởng tượng, trong đó xuất phát từ những giọt vật chất nhỏ dần, nén chúng tới những kích thước bé dần, rồi đem so sánh những lỗ đen tạo thành với những hạt sơ cấp. Mệnh đề không có tóc của Weeler sẽ dẫn chúng ta tới kết luận rằng đối với những khối lượng đủ nhỏ, các lỗ đen mà chúng ta tạo nên theo cách đó sẽ nhìn rất giống các hạt sơ cấp. Cả hai nhìn đều giống như những gói nhỏ vật chất được đặc trưng hoàn toàn bởi khối lượng, các tích lực và spin.

Nhưng có một điểm khác biệt mấu chốt. Các lỗ đen trong vật lý thiên văn, với khối lượng lớn hơn Mặt Trăng nhiều lần, có kích thước và nặng tới mức cơ học lượng tử hầu như không có liên quan và chỉ cần dùng các phương trình của lý thuyết tương đối rộng để tìm hiểu các tính chất của chúng (ở đây chúng ta mới chỉ xét cấu trúc tổng thể của các lỗ đen, chứ chưa nói đến điểm kỳ dị trung tâm ở bên trong lỗ đen. Kích thước cực kỳ nhỏ bé của vùng trung tâm này chắc chắn sẽ đòi hỏi phải dùng tới cơ học lượng tử). Tuy nhiên, khi chúng ta thử làm cho khối lượng của các hố đen nhỏ dần, sẽ tới một điểm các hố đen này nhẹ và nhỏ tới mức cơ học lượng tử phải vào cuộc. Điều này xảy ra nếu như khối lượng toàn phần của lỗ đen cỡ khối lượng Planck hoặc nhỏ hơn. (Trên quan điểm vật lý của các hạt sơ cấp, khối lượng Planck là rất lớn - nó lớn hơn khối lượng của proton cỡ 10 tỷ tỷ lần. Tuy nhiên, trên quan điểm của các lỗ đen, thì khối lượng Planck chỉ cỡ khối lượng của hạt bụi trung bình, nghĩa là rất nhỏ bé). Và như vậy, các nhà vật lý, những người đã

từng xem các lỗ đen nhỏ xíu và các hạt sơ cấp có mối liên hệ gần gũi với nhau, sẽ ngay lập tức vấp phải sự không tương thích giữa thuyết tương đối tổng quát - trái tim lý thuyết của các lỗ đen, và cơ học lượng tử. Trong quá khứ, chính sự không tương thích này đã cản trở hoàn toàn sự tiến bộ theo phương hướng nghiên cứu hấp dẫn đó.

Nhờ những phát hiện rất phức tạp và khá bất ngờ về các lỗ đen, lý thuyết dây đã xác lập được mối liên hệ lý thuyết đầu tiên giữa các hố đen và hạt sơ cấp...

•◎Lý thuyết dây có cho phép tiến lên hay không?

Câu trả lời là có. Nhờ những phát hiện rất phức tạp và khá bất ngờ về các lỗ đen, lý thuyết dây đã xác lập được mối liên hệ lý thuyết đầu tiên giữa các hố đen và hạt sơ cấp. Mặc dù con đường tìm ra mối liên hệ này khá quanh co, nhưng nó đưa chúng ta qua những phát triển lý thú nhất của lý thuyết dây, nên cũng đáng để chúng ta lần theo hành trình đó.

Mọi chuyện bắt đầu từ một câu hỏi tưởng chừng như chẳng có liên quan gì mà các nhà vật lý đã đặt ra từ những năm 1980. Từ lâu, các nhà toán học và vật lý đã biết rằng khi các chiều không gian cuộn lại thành một không gian Calabi-Yau, nói chung, có hai loại mặt cầu nằm trong cấu trúc không gian đó. Một loại chính là mặt cầu hai chiều, giống như mặt một quả bóng, đã từng đóng vai trò cực kỳ quan trọng trong dịch chuyển lật mà chúng ta đã xét trong Chương 11. Loại thứ hai khó hình dung hơn nhưng cũng có tầm quan trọng không kém. Đó là những mặt cầu ba chiều- cũng giống như bề ngoài một quả bóng nhưng trong một vũ trụ có bốn không gian rộng lớn. Tất nhiên, như chúng ta đã thảo luận trong Chương 11, một quả bóng bình thường trong Vũ trụ chúng ta bản thân nó đã là ba chiều, nhưng bề mặt của nó, cũng giống như bề mặt ống dẫn nước, chỉ là hai chiều thôi: bởi vì bạn chỉ cần có hai con số, ví dụ như vĩ độ và kinh độ, chẳng hạn, là bạn có thể xác định được bất cứ điểm nào trên bề mặt đó. Nhưng bây giờ chúng ta hãy tưởng tượng có thêm một chiều nữa: một quả bóng bốn chiều với bề mặt ba chiều. Vì hầu như không thể tưởng tượng được một quả bóng như vậy, nên cách tốt nhất để hình dung, là hạ bớt tất cả đi một chiều. Nhưng chúng ta sẽ thấy, một khía cạnh trong bản chất ba chiều của các mặt cầu lại có tầm quan trọng hàng đầu.

Bằng cách nghiên cứu các phương trình của lý thuyết dây, các nhà vật lý

đã phát hiện ra rằng, rất có thể, theo thời gian các mặt cầu ba chiều này sẽ co lại tới một thể tích nhỏ gần như bằng không. Nhưng điều gì sẽ xảy ra - nhà lý thuyết dây hỏi - nếu như cấu trúc của không gian bị co lại theo cách đó? Liệu có xuất hiện những hiệu ứng tai biến do sự co lại đó của cấu trúc không gian hay không? Câu hỏi này rất giống với câu hỏi mà chúng ta đã đặt ra và giải đáp trong chương 11, nhưng ở đây chúng ta tập trung xem xét mặt cầu ba chiều co lại, chứ không phải mặt cầu hai chiều như trong chương 11. (Cũng như trong chương 11, chúng ta xem rằng một mẩu của không gian Calabi-Yau co lại chứ không phải toàn bộ không gian đó, nên tính đối ngẫu bán kính lớn /bán kính nhỏ mà chúng ta xét trong chương 10 là không áp dụng được). Và đây mới chỉ là sự khác biệt về chất xuất hiện do sự thay đổi số chiều. Từ chương 11 chúng ta đã biết một phát hiện quan trọng, trong đó các dây, khi chuyển động qua không gian, chúng bao quanh mặt cầu hai chiều. Tức là, mặt vũ trụ hai chiều do các dây này quét nên khi chuyển động đã bao hoàn toàn mặt cầu hai chiều, như được minh họa trên hình 11.6. Điều này có tác dụng bảo vệ, giữ cho sự co lại của mặt cầu hai chiều không gây ra những tai biến vật lý. Nhưng bây giờ chúng ta lại xét một loại mặt cầu khác trong không gian Calabi-Yau và do nó quá nhiều chiều, nên các dây chuyển động không còn bao quanh được nữa. Nếu bạn cảm thấy khó hình dung được điều đó, thì hãy hình dung một tình huống tương tự nhưng hạ thấp tất cả đi 1 chiều. Bạn hãy hình dung một mặt cầu ba chiều như mặt cầu hai chiều của quả bóng bình thường, miễn là bạn cũng phải hình dung sợi dây một chiều như một hạt điểm không có chiều nào. Và vì một hạt điểm không có chiều nào không thể bao quanh bất cứ cái gì, nên tương tự các dây một chiều cũng không thể bao quanh một mặt cầu ba chiều.

Lập luận như vậy đã dẫn các nhà lý thuyết dây tới ý nghĩ rằng, nếu chúng ta hoàn toàn dựa vào các phương trình gần đúng của lý thuyết dây, thì khi mặt cầu ba chiều trong không gian Calabi-Yau bị co bé lại, rất có khả năng sẽ dẫn tới một kết quả tai biến. Thực tế, các phương trình gần đúng của lý thuyết dây được phát triển từ trước năm 1995 đã chỉ ra rằng sự vận hành của vũ trụ sẽ buộc phải dừng lại nếu như quá trình co thắt đó thực sự xảy ra, ngoài ra một số giá trị vô hạn mà lý thuyết dây đã chế ngự được bây giờ sẽ lại sống ra do sự co lại đó của cấu trúc không gian. Trong nhiều năm, các nhà lý thuyết dây đã phải sống thấp thỏm với nỗi lo âu mơ hồ đó. Nhưng tới năm 1995, Andrew Sttrominger đã chứng minh được rằng những suy luận bi quan đó là sai

lầm.

Dựa trên công trình có tính đột phá trước đó của Witten và Sieberg, Strominger đã sử dụng phát minh cho thấy rằng lý thuyết dây, khi phân tích với độ chính xác mới có được nhờ cuộc cách mạng siêu dây lần thứ hai, không còn là thuyết chỉ của các dây một chiều nữa. Ông lý luận như sau. Một dây một chiều - nói theo ngôn ngữ chuyên môn mới là 1 - brane - có thể bao quanh trọn vẹn một đối tượng một chiều của không gian, ví dụ như một vòng tròn trên hình 13.1. (Lưu ý rằng điều này khác với hình 11.6, trong đó dây một chiều, khi chuyển động theo thời gian, có thể bao quanh một mặt cầu hai chiều. Còn hình 13.1 giống như một bức ảnh chụp tại một thời điểm).

Hình 13.1.

Hình 13.1. Dây có thể bao quanh một mẩu chiều của cấu trúc không - thời gian bị cuộn lại; còn một màng hai chiều có thể bao quanh một mẩu hai chiều.

Tương tự, trong hình 13.1, chúng ta thấy rằng một màng hai chiều - tức một 2-brane - có thể bao quanh và phủ kín một mặt cầu hai chiều, giống như một miếng cao su có thể bọc kín một quả cam vậy. Mặc dù hơi khó hình dung, nhưng Strominger vẫn đi theo đường hướng suy nghĩ đó và cuối cùng ông đã hiểu ra rằng, các thành phần sơ cấp ba chiều mới được phát hiện ra trong lý thuyết dây - tức các 3-brane - có thể bao quanh và hoàn toàn phủ kín một mặt cầu ba chiều. Sau đó bằng những tính toán vật lý đơn giản và đã thành tiêu chuẩn, Strominger đã chứng minh được rằng 3-brane bao quanh đã tạo thành một lớp vỏ bảo vệ vừa khéo có khả năng triệt tiêu chính xác mọi hiệu ứng tai biến tiềm tàng mà trước đó các nhà lý thuyết dây rất lo sợ sẽ xảy ra, nếu như mặt cầu không gian ba chiều bị co lại.

Đây là một phát hiện quan trọng và tuyệt vời. Tuy nhiên, phải một thời gian ngắn sau đó, sức mạnh của phát hiện này mới được phát lộ hết.

Theo cách này thì một không gian Calabi-Yau về căn bản có thể tự biến đổi thành một không gian Calabi-Yau hoàn toàn khác, giống như một hình xuyến biến thành một quả bóng trên hình 13.3 trong khi đó các tính chất vật lý vẫn bình an vô sự...

- Sự xé rách không - thời gian - một điều chắc chắn

Một trong số những điều phấn khích nhất về vật lý là trạng thái hiểu biết của chúng ta có thể thay đổi một cách triệt để chỉ sau một đêm. Buổi sáng sau hôm Strominger đưa bài toán của mình lên Internet, tôi đã đọc nó tại văn phòng làm việc ở Đại học Cornell. Trong chớp mắt, Strominger đã biết cách sử dụng tất cả những phát triển mới nhất trong lý thuyết dây để giải quyết được một trong số những vấn đề hóc búa nhất xung quanh sự cuộn lại của các chiều phụ thành không gian Calab-Yau. Trong khi ngồi suy ngẫm về bài báo đó, tôi chợt nhận ra rằng có lẽ đây mới chỉ là một nửa của câu chuyện.

Trong công trình về dịch chuyển lật làm xé rách không gian được mô tả trong chương 11, chúng tôi đã nghiên cứu một quá trình gồm hai phần, trong đó mặt cầu hai chiều bị co thành một điểm, làm cho cấu trúc của không gian bị rách, rồi sau đó mặt cầu hai chiều này lại phồng lên theo một cách mới, do đó đã hàn chỗ rách đó lại. Trong bài báo của Strominger, ông đã nghiên cứu điều gì sẽ xảy ra khi mặt cầu ba chiều bị co lại thành một điểm và đã chứng minh được rằng, các "brane" mới tìm được trong lý thuyết dây sẽ đảm bảo cho vật lý hoàn toàn không xảy ra một tai biến gì. Nhưng bài báo của ông chỉ dừng lại ở đó. Liệu còn có nửa thứ hai của câu chuyện, liên quan với sự xé rách không gian và sự hàn lại sau đó nhờ sự phồng trở lại của các mặt cầu?

Mùa xuân 1995, Dave Morrison có tới thăm tôi tại Đại học Cornell. Một buổi chiều chúng tôi ngồi thảo luận về bài báo của Strominger và chỉ vài giờ sau chúng tôi đã phác ra nửa thứ hai của câu chuyện. Sử dụng một số phát minh của các nhà toán học Herb Clemens thuộc Đại học Utah, Robert Friedman thuộc Đại học Columbia và Miles Reid thuộc Đại học Warwick, như đã được ứng dụng bởi Candela, Green và Tristan Hubsch, hồi đó thuộc Đại học Texas ở Austin, chúng tôi đã phát hiện ra rằng khi mặt cầu ba chiều bị co lại, không gian Calabi-Yau có thể bị xé rách và sau đó tự hàn lại nhờ sự phồng trở lại của các mặt cầu đó. Nhưng có một điều bất ngờ quan trọng. Trong khi mặt cầu co lại có ba chiều thì quả cầu phồng trở lại chỉ có hai. Thật khó mà hình dung điều này xảy ra như thế nào, nhưng chúng ta có thể có một ý niệm về điều đó bằng cách xét một mô hình tương tự có số chiều thấp hơn. Thay vì trường hợp mặt cầu ba chiều co lại khó hình dung và sau đó được thay thế bởi mặt cầu hai chiều, ta hãy hình dung mặt cầu một chiều và sau đó được thay thế bởi một mặt cầu không chiều.

Hình 13.2

Hình 13.2. Các mặt cầu với số chiều dễ hình dung: số chiều của (a) là hai; của (b) là một và của (c) là không.

Trước hết, các mặt cầu một chiều và không chiều là gì? Ta hãy lập luận theo phương pháp tương tự. Một mặt cầu hai chiều là tập hợp các điểm trong không gian ba chiều cách đều một điểm cho trước gọi là tâm mặt cầu đó. Hình 13.2 (a). Theo đúng ý tưởng đó, thì mặt cầu một chiều là tập hợp các điểm trong không gian hai chiều (như mặt trang giấy này, chẳng hạn) cách đều một tâm cho trước. Như được minh họa trên hình 13.2 (b), nó không gì khác chính là vòng tròn. Cuối cùng, mặt cầu không chiều là tập hợp các điểm trong không gian một chiều (một đường thẳng) cách đều một tâm cho trước. Như minh họa trên hình 13.2 (c) thì đó chỉ là hai điểm, với "bán kính" là khoảng cách từ chúng tới tâm chung. Như vậy mô hình tương tự có số chiều thấp hơn mà ta nói qua ở đoạn trước liên quan với một vòng tròn (mặt cầu một chiều) co lại, rồi xé rách không gian và sau đó được thay thế bằng một mặt cầu không chiều (hai điểm). Hình 13.3 thể hiện ý tưởng trừu tượng đó trên thực tế.

Hình 13.3.

Hình 13.3. Một vòng tròn trên hình xuyến co lại thành một điểm. Bề mặt bị xé rách hở ra thành hai lỗ. Một hình cầu không chiều (hai điểm) được "dính vào" thay cho mặt cầu một chiều ban đầu (vòng tròn) và hàn lại bề mặt bị xé rách. Điều này cho phép hình xuyến ban đầu biến đổi thành một dạng hoàn toàn khác - một quả bóng.

Ban đầu chúng ta hãy hình dung một mặt hình xuyến, trên đó có một mặt cầu một chiều (thực ra là một vòng tròn), như được tô đậm trên hình 13.3. Bây giờ ta hãy hình dung, theo thời gian vòng tròn trên mặt hình xuyến co lại làm cho cấu trúc không gian bị thắt đứt ra. Chúng ta có thể hàn lại chỗ đứt đó, bằng cách cho phép cấu trúc không gian xé rách tức thời, rồi sau đó thay cho mặt cầu một chiều (tức vòng tròn) đã bị co lại thành một điểm bằng một mặt cầu không chiều (tức hai điểm) bịt kín hai lỗ tạo thành ở phần trên và phần dưới của hình dạng mới tạo thành do sự xé rách gây ra. Như được chỉ ra trên hình 13.3, hình dạng mới tạo thành có hình quả chuối cong và nhờ sự biến dạng mềm mại và trơn tru (không gây xé rách không gian) nó dần trở thành bề mặt của một quả bóng. Do đó, chúng ta thấy rằng, khi mặt cầu một chiều co lại

và được thay thế sau đó bởi một mặt cầu không chiều, thì tôpô của hình xuyến ban đầu đã bị thay đổi một cách ghê gớm. Trong bối cảnh của các chiều phụ không gian bị cuộn lại, thì sự tiến hóa gây xé rách không gian trên hình 13.3 sẽ làm cho vũ trụ được vẽ trên hình 8.8 tiến hóa thành vũ trụ được vẽ trên hình 8.7

Mặc dù đây là một mô hình tương tự với số chiều thấp hơn, nhưng nó cũng đã thâu tóm được những đặc điểm căn bản của nửa thứ hai câu chuyện của Strominger mà Morrison và tôi đã dự kiến. Sau khi mặt cầu ba chiều bên trong không gian Calabi-Yau co lại thành một điểm, dường như không gian bị xé rách và sau đó tự hàn lại bằng cách mọc ra một mặt cầu hai chiều, dẫn đến những thay đổi về tôpô còn ghê gớm hơn sự thay đổi mà Witten và chúng tôi đã phát hiện ra trong các công trình trước đó (đã được thảo luận trong chương 11). Theo cách này thì một không gian Calabi-Yau về căn bản có thể tự biến đổi thành một không gian Calabi-Yau hoàn toàn khác, giống như một hình xuyến biến thành một quả bóng trên hình 13.3 trong khi đó các tính chất vật lý vẫn bình an vô sự. Mặc dù một bức tranh đã bắt đầu được hiện ra, nhưng chúng tôi biết rằng, còn có nhiều khía cạnh quan trọng cần được làm sáng tỏ, trước khi xác lập nửa thứ hai câu chuyện của chúng tôi có đưa vào những kỳ dị nào hay không, tức là có dẫn đến những hệ quả tai biến và không thể chấp nhận được về mặt vật lý hay không. Tối hôm đó cả hai chúng tôi vui sướng đi về nhà với linh cảm chắc chắn rằng chúng tôi sắp nắm được một phát minh quan trọng.

Chúng tôi đã thuyết phục được cộng đồng các nhà lý thuyết dây tin rằng, cấu trúc không gian không chỉ có thể bị rách nhẹ như đã được phát hiện trước kia (chương 11) mà còn có thể bị xé rách ghê gớm hơn nhiều, như được minh họa trên hình 13.3...

•◎Một trận mưa các thư điện tử

Sáng hôm sau, tôi nhận được một bức thư điện tả của Strominger đề nghị tôi cho nhận xét về bài báo của ông. Ông cũng nhắc rằng "về phương diện đó nó có quan hệ với công trình cộng tác của anh với Morrison và aspinwall", bởi vì hóa ra, ông cũng đang khám phá mối quan hệ với hiện tượng thay đổi tôpô. Tôi cũng gửi ngay thư cho ông thông báo những nét đại thể phương hướng mà tôi và Morrison đã vạch ra. Trong thư trả lời của ông, chúng tôi thấy rõ sự phấn khích của ông không kém chúng tôi ngày hôm trước.

Trong ít ngày tiếp sau, ba chúng tôi liên tục trao đổi thư từ với nhau, bởi vì chúng tôi nôn nóng muốn chứng minh một cách chặt chẽ ý tưởng về sự thay đổi tôpô ghê gớm vừa nói ở trên. Chậm chạp nhưng chắc chắn, mọi chi tiết dần dần đã được đặt vào đúng chỗ của chúng. Cho tới ngày thứ tư sau đó tức là một tuần sau khi Strominger tung bài báo của mình lên Internet, chúng tôi đã nháp xong bài báo chung về phép biến đổi mới của cấu trúc không gian, một sự biến đổi có thể xảy ra do sự co lại của mặt cầu ba chiều.

Strominger có chương trình xêmina tại Đại học Harvard ngày hôm sau và ông đã rời Santa Barbara vào sáng sớm. Chúng tôi thỏa thuận rằng Morrison và tôi sẽ tiếp tục hoàn tất bài báo và tới buổi tối sẽ tung lên Internet. Sau khi kiểm tra đi kiểm tra lại mọi tính toán cho tới tận 11h 45 đêm và thấy rằng mọi chuyện dường như đã hoàn hảo, chúng tôi gửi bài báo đi và ra về. Trên đường đi đến ô tô của tôi (vì tôi phải đưa Morrison về ngôi nhà mà anh đang thuê trong một học kỳ), chúng tôi thử cùng nhau phản biện bài báo của mình với những phê phán gay gắt nhất mà ai đó nếu không chấp nhận kết quả của chúng tôi có thể đưa ra. Khi xe đã ra khỏi nơi đỗ và sắp sửa rời khu đại học, chúng tôi chợt nhận thấy rằng những lập luận của chúng tôi quá mạnh mẽ và tự tin đồng thời cũng chưa thật chặt chẽ. Cả hai chúng tôi đều tin chắc kết quả của chúng tôi không thể sai được, nhưng cũng phải thừa nhận rằng tính chặt chẽ trong những khẳng định của chúng tôi và một số từ ngữ mà chúng tôi dùng ở đôi chỗ trong bài báo có thể tạo sơ hở cho những phê phán không thiện chí, có nguy cơ làm lu mờ tầm quan trọng của các kết quả. Chúng tôi nhất trí cách tốt nhất là nên viết lại bài báo của với lời lẽ nhũn nhặn hơn, giảm bớt tầm cỡ của các khẳng định, để cho cộng đồng các nhà vật lý tự do phán xét bài báo theo chất lượng của nó chứ không theo cách thức trình bày. Trên đường đi, Morrison nhắc tôi rằng theo thể lệ lưu trữ các bài báo trên Internet, chúng tôi có thể chỉnh lại bài báo trước 2 giờ sáng, còn sau đó thì nó sẽ được tung ra cho công chúng truy cập. Tôi ngay lập tức quay xe và trở lại tòa nhà của khoa vật lý, rút bài báo lại và viết lại với giọng văn mềm mỏng hơn. Thật may, làm điều đó không khó khăn lắm. Sự thay đổi một số từ trong những đoạn dễ gây tranh cãi làm dịu đi tính cực đoan trong một số tuyên bố của chúng tôi mà vẫn không ảnh hưởng đến nội dung chuyên môn. Sau một giờ sửa chữa, chúng tôi đã gửi lại bài báo và thỏa thuận trên đường về nhà sẽ không nói tới chuyện đó nữa.

Vào đầu giờ chiều hôm sau, một điều rõ ràng là, sự phản hồi về bài báo là rất nhiệt thành. Trong số rất nhiều thư điện tử gửi tới có một bức của Plesser, người đã gửi tới chúng tôi những lời khen ngợi cao nhất của một nhà vật lý có thể dành cho một đồng nghiệp khác với lời tuyên bố rằng: "bản thân mình cũng muốn là người nghĩ ra điều đó". Mặc dù chúng tôi lo sợ đêm trước, nhưng chúng tôi đã thuyết phục được cộng đồng các nhà lý thuyết dây tin rằng, cấu trúc không gian không chỉ có thể bị rách nhẹ như đã được phát hiện trước kia (chương 11) mà còn có thể bị xé rách ghê gớm hơn nhiều, như được minh họa trên hình 13.3.

Lần đầu tiên lý thuyết dây đã xác lập được một cách tường minh mối quan hệ trực tiếp, cụ thể và định lượng không thể chối cãi giữa các lỗ đen và các hạt sơ cấp...

•◎Trở lại với các lỗ đen và hạt sơ cấp

Những điều nói trên phỏng có liên quan gì đến các lỗ đen và hạt sơ cấp? Để thấy điều đó, ta cần phải tự hỏi mình chính câu hỏi mà chúng ta đã đặt ra trong chương 11. Cụ thể là sự xé rách cấu trúc không gian như vậy sẽ có những hệ quả vật lý nào quan sát được? Đối với những dịch chuyển lật, như chúng ta đã thấy, câu trả lời bất ngờ cho câu hỏi đó là hoàn toàn chẳng xảy ra gì hết. Đối với những dịch chuyển conifold - một thuật ngữ chuyên môn dùng để chỉ những dịch chuyển xé rách không gian ghê gớm mà chúng tôi vừa mới tìm ra - lại một lần nữa, cũng chẳng có tai biến vật lý nào (như có thể có trong thuyết tương đối rộng truyền thống), nhưng có những hệ quả quan sát được thể hiện rõ nét hơn.

Có hai khái niệm liên quan với nhau là cơ sở cho những hệ quả đó, và chúng ta sẽ giải thích lần lượt từng khái niệm một. Thứ nhất, như chúng ta đã thảo luận, sự đột phá ban đầu của Strominger chính là phát hiện của ông cho thấy rằng một mặt của ba chiều trong không gian Calabi-Yau có thể co lại thành một điểm mà không gây ra những tai biến, bởi vì một 3-brane bao quanh đã tạo ra một màn bảo vệ hoàn hảo. Nhưng cấu hình của brane bao quanh như vậy nhìn như thế nào? Câu trả lời đã có từ công trình trước đó của Horowitz và Strominger. Họ đã chứng minh được rằng đối với những người như chúng ta, tức là những người chỉ nhận thức được ba chiều không gian rộng lớn, thì 3-brane được "trải" bao quanh một mặt cầu ba chiều sẽ tạo nên một trường hấp dẫn nhìn

giống như trường hấp dẫn của một lỗ đen [1]. Điều này không phải là hiển nhiên và nó chỉ trở nên rõ ràng khi nghiên cứu một cách chi tiết những phương trình chi phối các brane. Và lại một lần nữa, những cấu hình có số chiều cao như vậy rất khó vẽ một cách chính xác trên trang giấy, nhưng dù sao hình 13.4 cũng cho ta một ý niệm thô sơ bằng cách sử dụng mô hình tương tự với số chiều thấp hơn liên quan với những mặt cầu hai chiều. Chúng ta thấy rằng màng hai chiều (tức 2-brane) có thể tự trải ra bao quanh một mặt cầu hai chiều (chính mặt cầu này nằm trong không gian Calabi-Yau đặt tại một vị trí nào đó trong các chiều rộng lớn quen thuộc). Một ai đấy nhìn qua các chiều rộng lớn này hướng về phía vị trí đó sẽ cảm nhận được brane bao quanh nhờ khối lượng và các tích lực của nó - những tính chất mà Horowitz và Strominger đã chứng minh được là rất giống các tính chất của lỗ đen. Hơn nữa, trong bài báo có tính đột phá của Strominger vào năm 1995, ông đã chứng minh được rằng khối lượng của một 3-brane - tức cũng là khối lượng của lỗ đen - tỷ lệ thuận với thể tích của hình cầu ba chiều mà nó bao quanh. Thể tích của hình cầu càng lớn, thì 3-brane càng phải lớn để bao quanh được hình cầu đó và do đó nó càng nặng. Tương tự, thể tích hình cầu càng nhỏ, khối lượng của 3-brane bao quanh nó cũng càng nhỏ. Vì mặt cầu này sẽ co lại dần về một điểm, nên 3-brane bao quanh mặt cầu này và được cảm nhận như một lỗ đen cũng trở nên nhẹ dần. Khi mặt cầu là chiều co lại thành một điểm thắt, lỗ đen tương ứng sẽ không còn khối lượng nữa. Mặc dù điều đó nghe có vẻ khó hiểu - một lỗ đen không có khối lượng là cái gì kia chứ? - nhưng ngay dưới đây chúng ta sẽ thấy mối liên hệ của câu đố bí hiểm này với các tính chất vật lý quen thuộc hơn của các dây.

Hình 13.4.

Hình 13.4. Khi một brane bao quanh một mặt cầu ở trong các chiều bị cuộn lại, nó nhìn giống như một lỗ đen trong các chiều rộng lớn quen thuộc.

Khái niệm thứ hai mà chúng ta cần viện đến, đó là: như đã nói trong chương 9, số các lỗ trong một không gian Calabi-Yau xác định số các mode dao động của dây có năng lượng thấp, do đó có khối lượng nhỏ, tức là các mode có thể tương ứng với các hạt trong bảng 1.1 và các hạt truyền tương tác. Vì các dịch chuyển conifold xé rách không gian, làm thay đổi số lỗ (ví dụ, trong hình 13.3, lỗ trong hình xuyến bị mất trong

quá trình xé rách/hàn lại), nên chúng ta cũng chờ đợi có sự thay đổi số mode dao động với khối lượng nhỏ. Thực vậy, khi Morrison, Strominger và tôi nghiên cứu chi tiết điều đó, chúng tôi đã phát hiện ra rằng, khi mặt cầu hai chiều mới thay thế cho mặt cầu ba chiều bị co lại thành một điểm thắt trong không gian Calabi-Yau của các chiều bị cuộn lại, số các mode dao động không có khối lượng của dây tăng đúng một đơn vị. (Ví dụ về chiếc xăm biến thành quả bóng trên hình 13.3 dẫn chúng ta tới kết quả là số lỗ và do đó số mode dao động giảm, nhưng dây là một tính chất không đúng của mô hình tương tự có số chiều thấp hơn).

Để kết hợp những nhận xét ở hai đoạn trước lại, ta hãy hình dung một dãy các bức ảnh của một không gian Calabi-Yau trong đó kích thước của một mặt cầu ba chiều co lại nhỏ dần. Nhận xét thứ nhất muốn nói rằng một 3-brane bao quanh một mặt cầu ba chiều - mà đối với chúng ta nó giống như một lỗ đen - sẽ có khối lượng nhỏ dần cho tới khi tại điểm co lại cuối cùng, nó không còn khối lượng nữa. Nhưng điều này có ý nghĩa gì? Câu trả lời sẽ trở nên rõ ràng nếu ta viện đến nhận xét thứ hai. Công trình của chúng tôi đã chứng tỏ được rằng, mode dao động mới không có khối lượng của dây, xuất hiện do sự dịch chuyển confold xé rách không gian, chính là sự mô tả vi mô của hạt không khối lượng do lỗ đen chuyển hóa thành. Chúng tôi cũng đã kết luận rằng khi không gian Calabi-Yau trải qua sự dịch chuyển conifold xé rách không gian, lỗ đen có khối lương ban đầu sẽ trở nên nhẹ dần cho đến khi không còn khối lượng nữa và khi đó nó sẽ chuyển hóa thành một hạt không khối lượng - như photon, chẳng hạn - và vật này trong lý thuyết dây không gì khác chính là một dây duy nhất thực hiện một mode dao động cụ thể nào đó. Theo cách đó, lần đầu tiên lý thuyết dây đã xác lập được một cách tường minh mối quan hệ trực tiếp, cụ thể và định lượng không thể chối cãi giữa các lỗ đen và các hạt sơ cấp.

[1] Nói một cách chính xác hơn, đây là những ví dụ về các lỗ đen cực trị, tức là các lỗ đen có khối lượng cực tiểu phù hợp các tích lực cho trước của chúng, giống như các trạng thái BPS trong chương 12. Những lỗ đen tương tự cũng có vai trò rất quan trọng trong thảo luận về entrôphy của lỗ đen.

Cũng giống như ai đó chưa bao giờ gặp nước lỏng hoặc nước đá rắn sẽ không nhận ra ngay chúng là hai pha của cùng một chất, các nhà vật lý

trước đây cũng không nhận thấy các loại lỗ đen mà chúng ta đang nghiên cứu và các hạt sơ cấp thực sự là các pha của cùng một vật liệu dây...

•◎Sự tan của các lỗ đen

Mối liên hệ giữa các lỗ đen và các hạt sơ cấp mà chúng tôi phát hiện được rất giống với một hiện tượng mà chúng ta gặp hằng ngày mà thuật ngữ chuyên môn gọi là sự chuyển pha. Một ví dụ đơn giản về sự chuyển pha chính là ví dụ mà chúng ta nói tới ở chương trước: nước có thể tồn tại ở thể rắn (nước đá) cũng như ở thể lỏng (nước lỏng) và thể khí (hơi nước). Những thể đó gọi là các pha của nước và sự chuyển đổi từ thể này sang thể khác được gọi là sự chuyển pha. Morrison, Strominger và tôi đã chứng minh được rằng có một sự tương tự rất sát cả về mặt toán học lẫn vật lý giữa những sự chuyển pha như vậy và những chuyển dịch conifold xé rách không gian từ không gian Calabi-Yau này tới không gian Calabi-Yau khác. Cũng giống như ai đó chưa bao giờ gặp nước lỏng hoặc nước đá rắn sẽ không nhận ra ngay chúng là hai pha của cùng một chất, các nhà vật lý trước đây cũng không nhận thấy các loại lỗ đen mà chúng ta đang nghiên cứu và các hạt sơ cấp thực sự là các pha của cùng một vật liệu dây. Trong khi nhiệt độ xung quanh xác định pha mà nước tồn tại, thì dạng tôpô - tức hình dạng của không gian Calabi-Yau của các chiều cuộn lại sẽ xác định một số cấu hình vật lý trong lý thuyết dây là các lỗ đen hay các hạt sơ cấp. Tức là, trong pha thứ nhất - không gian Calabi-Yau ban đầu (chẳng hạn, tương tự như pha rắn của nước), chúng ta phát hiện ra sự tồn tại của một số lỗ đen. Trong pha thứ hai - không gian Calabi-Yau thứ hai (chẳng hạn, tương tự như pha lỏng của nước), thông qua sự chuyển pha, các lỗ đen đã "tan", nếu có thể nói như vậy, thành các mode dao động cơ bản của dây. Sự xé rách không gian thông qua những dịch chuyển conifold đã đưa chúng ta từ pha không gian Calabi-Yau này sang pha không gian Calabi-Yau khác. Và khi làm như vậy, chúng ta thấy rằng các lỗ đen và các hạt sơ cấp giống như nước đá và nước, chẳng qua chỉ là hai mặt của một đồng xu. Và như vậy, các lỗ đen đã được lồng một cách tuyệt vời vào khuôn khổ của lý thuyết dây.

Chúng ta đã cố ý dùng một mô hình tương tự (nước) cho những biến đổi làm xé rách ghê gớm không gian và những biến đổi giữa 5 lý thuyết dây với nhau (chương 12), bởi vì chúng có mối liên hệ rất sâu sắc. Chắc

bạn còn nhớ rằng, hình 12.11 minh họa một thực tế là: 5 lý thuyết dây là đối ngẫu của nhau và do đó chúng được thống nhất thành một lý thuyết của duy nhất. Nhưng liệu khả năng di chuyển được liên tục từ một mô tả này đến một mô tả khác - tức là dong buồm từ một điểm bất kỳ trên bản đồ trên hình 12.11 có thể tới bất cứ điểm nào khác - có còn được duy trì ngay cả sau khi chúng ta cho phép các chiều phụ được cuộn lại thành một không gian Calabi-Yau này hay không gian Calabi-Yau khác hay không? Trước khi phát hiện ra những kết quả về sự thay đổi tôpô một cách ghê gớm, câu trả lời được đoán trước là không, bởi vì người ta không biết làm cách nào để biến đổi một cách liên tục từ một không gian Calabi-Yau thành một không gian Calabi-Yau khác. Nhưng giờ đây, chúng ta thấy rằng câu trả lời là có. Nhờ những dịch chuyển conifold xé rách không gian có ý nghĩa vật lý, chúng ta có thể thay đổi liên tục một không gian Calabi-Yau đã cho thành một không gian Calabi-Yau khác. Bằng cách thay đổi hằng số liên kết và hình học của không gian Calabi-Yau, chúng ta sẽ thấy rằng tất cả các phiên bản của lý thuyết dây chỉ là những pha khác nhau của một lý thuyết duy nhất. Như vậy, thậm chí cả khi các chiều phụ cuộn lại, thì sự thống nhất trên hình 12.11 vẫn sẽ còn đúng.

Năm 1970, Jacob Bekenstein, hồi đó là nghiên cứu sinh của John Wheeler ở Đại học Princeton, đã đưa ra một ý kiến táo bạo. Anh đã đưa ra một ý tưởng cho rằng các lỗ đen cũng có thể có entrôpy và với giá trị rất lớn...

•◎Entrôphy của lỗ đen

Trong nhiều năm, một số nhà vật lý lý thuyết xuất sắc nhất đã đưa ra giả thuyết về sự tồn tại của những quá trình xé rách không gian và mối liên hệ giữa các lỗ đen và các hạt sơ cấp. Mặc dù sự tư biện của họ thoạt nhìn có vẻ như là chuyện khoa học viễn tưởng, nhưng sự ra đời của lý thuyết dây cùng với khả năng của nó có thể thống nhất được thuyết tương đối rộng với cơ học lượng tử, giờ đây đã cho phép chúng ta đưa những khả năng đó thành những vấn đề thời sự của khoa học hiện đại. Thành công này đã khích lệ chúng ta đặt ra câu hỏi: liệu có còn những tính chất bí ẩn khác của vũ trụ chúng ta, những vấn đề đã từng "ương bướng" chống lại mọi sự giải thích hàng thập kỷ, nay đã khuất phục trước sức mạnh của lý thuyết dây hay không? Trước hết trong những tính chất đó là khái niệm entrôpy của lỗ đen. Đây là một vấn đề có ý

nghĩa rất sâu sắc, tồn đọng từ hơn một phần tư thế kỷ nay, và đã được lý thuyết dây giải quyết một cách ngoạn mục nhất.

Entrôpy là thước đo sự hỗn loạn hay tính ngẫu nhiên. Ví dụ, nếu như bàn làm việc của bạn xếp lung tung hàng chồng những cuốn sách để mở, những bài báo đang học dở, những tờ báo cũ và hàng đống thư từ, thì nó ở trong trạng thái hỗn loạn cao hay có entrôpy lớn. Trái lại, nếu nó được sắp xếp có tổ chức, với các bài báo được xếp theo vần ABC, các tờ báo cũ được xếp theo thứ tự ngày tháng, sách được xếp theo trật tự ABC theo tên tác giả, thì bàn làm việc của bạn khi này ở trạng thái trật tự cao, tức là có entrôpy nhỏ. Ví dụ này minh họa ý tưởng cơ bản của khái niệm entrôpy, nhưng các nhà vật lý đã cho nó một định nghĩa hoàn toàn định lượng, cho phép mô tả entrôpy của một số hệ bằng cách dùng một giá trị bằng số xác định: giá trị bằng số này càng lớn nghĩa là entrôpy càng lớn, giá trị này càng nhỏ thì entrôpy cũng càng nhỏ. Mặc dù xét chi tiết thì khá phức tạp, nhưng nói một cách nôm na, con số này cho biết số cách sắp xếp khả dĩ những thành phần sơ cấp của một hệ vật lý đã cho, mà không làm thay đổi biểu hiện tổng thể của nó. Khi chiếc bàn của bạn đã được xếp một cách ngăn nắp, thì bất cứ một sự sắp xếp lại nào, chẳng hạn như thay đổi trật tự các tờ báo, chồng sách hay các bài báo, cũng đều làm xáo trộn tính trật tự cao của nó. Trái lại, khi bàn của bạn để lộn xộn, thì có nhiều cách sắp xếp các tờ báo, sách vở và các bài báo vẫn làm cho nó lộn xộn, do đó không làm thay đổi diện mạo tổng thể của nó. Chính vì thế mà entrôpy của nó có giá trị lớn.

Tất nhiên, sự mô tả việc sắp xếp sách báo trên bàn làm việc của bạn và việc khẳng định những cách sắp xếp nào "không làm thay đổi diện mạo tổng thể của nó" là không chính xác về mặt khoa học. Định nghĩa chặt chẽ của entrôpy thực sự liên quan tới việc đếm hay tính số những sắp xếp khả dĩ các tính chất vi mô của các thành phần sơ cấp thuộc một hệ vật lý mà không ảnh hưởng tới những tính chất vĩ mô (như năng lượng hay áp suất) của hệ đó. Chi tiết không quan trọng lắm, chỉ cần bạn nhớ rằng entrôpy là một khái niệm cơ học lượng tử hoàn toàn định lượng, nó đo chính xác mức độ hỗn loạn tổng thể của một hệ vật lý.

Năm 1970, Jacob Bekenstein, hồi đó là nghiên cứu sinh của John Wheeler ở Đại học Princeton, đã đưa ra một ý kiến táo bạo. Anh đã đưa ra một ý tưởng cho rằng các lỗ đen cũng có thể có entrôpy và với giá trị rất lớn. Động cơ đã thúc đẩy Bekenstein đưa ra ý tưởng này là định luật

thứ hai của nhiệt động học, một đinh luật kỳ cựu và đã được kiểm chứng kỹ lưỡng. Định luật này phát biểu rằng, entrôpy của một hệ luôn luôn tăng: mọi vật đều có xu hướng tiến tới có mức độ hỗn loạn lớn hơn. Ngay cả khi bạn đã sắp xếp ngăn nắp chiếc bàn bừa bộn của bạn, làm cho entrôpy của nó giảm, nhưng entrôpy toàn phần, kể cả entrôpy của cơ thể bạn và của không khí trong phòng, vẫn thực sự tăng. Thực vậy, để sắp xếp ngăn nắp chiếc bàn, bạn cần phải tốn năng lượng, do đó phải làm xáo trộn một số phân tử, vốn được sắp xếp rất trật tự, trong lớp mỡ của cơ thể bạn để tạo ra năng lượng đó cung cấp cho cơ bắp của bạn, đồng thời trong quá trình sắp xếp như thế, cơ thể bạn tỏa nhiệt làm cho các phân tử không khí trong phòng chuyển động nhiệt mạnh hơn, vì vậy hỗn loạn hơn. Khi gộp tất cả những hiệu ứng đó lại, kể cả việc bù trừ lượng entrôpy giảm do chiếc bàn được sắp xếp ngăn nắp, thì về tổng thể entrôpy vẫn tăng.

Nhưng điều gì sẽ xảy ra - Bekenstein thực sự đã đặt câu hỏi - nếu như bạn sắp xếp lại bàn làm việc ở gần ngay cạnh chân trời sự kiện của một lỗ đen, và dùng một bơm chân không hút hết các phân tử không khí mới được làm cho chuyển động nhiệt mạnh thêm từ phòng vào sâu bên trong lỗ đen? Thậm chí ta còn có thể hỏi một cách cực đoan hơn nữa: điều gì sẽ xảy ra nếu như bơm chân không hút hết toàn bộ không khí, toàn bộ các thứ có trên bàn và ngay cả chiếc bàn nữa vào trong lỗ đen, để lại một mình bạn trong căn phòng lạnh lẽo, không có không khí và cực kỳ ngăn nắp? Vì entrôpy trong phòng bạn chắc chắn là giảm, nên Bekenstein lý luận rằng, cách duy nhất để thỏa mãn định luật thứ hai của nhiệt động học là lỗ đen phải có entrôpy và trong quá trình hút các thứ vào trong lỗ đen, entrôpy này phải tăng đủ để đảm bảo sau khi trừ đi phần entrôpy giảm quan sát được ở bên ngoài lỗ đen, entrôpy toàn phần vẫn tăng.

Thực tế, Bekenstein đã dựa vào kết quả nổi tiếng của Stephen Hawking để củng cố thêm cho ý tưởng của mình. Hawking chứng minh được rằng diện tích chân trời sự kiện của lỗ đen - xin nhắc lại, đây là mặt không thể quay lui (nếu rơi vào trong nó) che kín một lỗ đen - luôn luôn tăng trong mọi tương tác vật lý. Ông đã chứng minh rằng nếu một tiểu hành tinh rơi vào lỗ đen hoặc nếu một lỗ đen hút một phần lớp khí bao bọc xung quanh một ngôi sao ở lân cận, hoặc khi hai lỗ đen va chạm vào nhau rồi hòa làm một, thì diện tích toàn phần của chân trời sự cố của lỗ đen đều tăng. Đối với Bekenstein, sự tiến hóa dẫn tới diện tích toàn

phần luôn luôn tăng đã gợi ý về một mối liên hệ với sự tiến hóa không tránh khỏi dẫn tới entrôpy toàn phần luôn tăng, được thể hiện trong nguyên lý thứ hai của nhiệt động học. Và Bekenstein đã đưa ra giả thuyết rằng, diện tích chân trời sự cố là thước đo chính xác entrôpy của lỗ đen.

Tuy nhiên, xem xét một cách kỹ lưỡng, ta thấy có hai lý do để đa số các nhà vật lý nghĩ rằng ý tưởng của Bekenstein có thể không đúng. Thứ nhất, các lỗ đen dường như là những đối tượng có trật tự và có tổ chức nhất trong toàn bộ vũ trụ. Một khi ta đã đo được khối lượng, các tích lực và spin của nó, thì "nhân dạng" của nó đã được xác định hoàn toàn. Với một số ít đặc điểm nhận dạng như vậy, một lỗ đen dường như chưa đủ cấu trúc để có thể trở nên hỗn loạn, cũng tương tự như trên bàn chỉ có một cuốn sách và một bài báo thì chẳng có cách nào làm cho nó lộn xộn được. Lý do thứ hai để cho giả thiết của Bekenstein khó chấp nhận là, như chúng ta vừa thảo luận ở trên, entrôpy là một khái niệm lượng tử, trong khi đó các lỗ đen, cho tới tận gần đây, vẫn được xem là đứng về phe đối lập, tức là phe của thuyết tương đối rộng cổ điển. Vào đầu những năm 1970, do không có cách nào hòa nhập thuyết tương đối rộng với cơ học lượng tử, nên người ta không mấy mặn mà với việc bàn về entrôpy của lỗ đen.

Tình hình là như vậy cho tới năm 1974, khi mà Hawking đã thực hiện được một phát minh thực sự kinh ngạc. Các lỗ đen - Hawking tuyên bố - không phải hoàn toàn là đen...

•◎Đen là đen như thế nào?

Hóa ra là Hawking cũng đã nghĩ tới sự tương tự giữa định luật về sự tăng diện tích chân trời sự kiện của ông và định luật về sự tăng không thể tránh khỏi của entrôpy, nhưng ông đã gạt bỏ ý tưởng đó coi như là một sự trùng hợp ngẫu nhiên. Sau hết, dựa trên định luật tăng diện tích của mình và những kết quả mà ông cùng với James Bardeen và Brandon Carter đã tìm ra, Hawking đã lập luận rằng, nếu như người ta coi sự tương tự giữa các định luật về lỗ đen và các định luật nhiệt động học là thực sự nghiêm túc, thì người ta không chỉ buộc phải đồng nhất diện tích chân trời sự kiện của lỗ đen với entrôpy mà còn phải gán cho nó một nhiệt độ nữa (với giá trị được xác định một cách chính xác bởi cường độ lực hấp dẫn của lỗ đen tại chân trời sự kiện của nó). Nhưng nếu lỗ đen có nhiệt độ khác không - bất kể là nhỏ tới mức nào - thì

những nguyên lý vật lý cơ bản nhất và vững chắc nhất sẽ đòi hỏi nó phải bức xạ, giống như thanh cời than nóng sáng. Nhưng ai cũng biết, các lỗ đen là đen và chúng được xem là không phát ra bất cứ thứ gì. Do đó, Hawking và hầu hết mọi người vẫn nhất trí bác bỏ giả thuyết của Bekenstein. Trái lại, ông nghĩ rằng, nếu như vật chất có mang entrôpy bị rơi vào trong lỗ đen thì đơn giản coi như entrôpy đó bị mất hẳn. Và như vậy cũng là vì định luật thứ hai của nhiệt động học.

Tình hình là như vậy cho tới năm 1974, khi mà Hawking đã thực hiện được một phát minh thực sự kinh ngạc. Các lỗ đen - Hawking tuyên bố - không phải hoàn toàn là đen. Nếu người ta tạm gác sang một bên cơ học lượng tử và chỉ dùng đến các định luật của thuyết tương đối rộng cổ điển thôi, thì đúng như đã được phát hiện ra từ sáu chục năm trước, lỗ đen không cho bất cứ thứ gì, kể cả ánh sáng, thoát ra khỏi vòng xiết hấp dẫn của nó. Nhưng việc đưa cơ học lượng tử vào đã làm cho kết luận đó thay đổi một cách sâu sắc. Mặc dù không có trong tay một lý thuyết lượng tử về hấp dẫn, Hawking vẫn khéo léo thống nhất được một phần hai công cụ lý thuyết đó để đưa ra được một kết quả đáng tin cậy nhưng còn hạn chế. Và kết quả quan trọng nhất mà ông tìm được là các lỗ đen thực sự có bức xạ, song theo các quy luật của cơ học lượng tử.

Những tính toán thì rất dài và phức tạp, nhưng ý tưởng cơ bản của Hawking lại khá đơn giản. Như chúng đã biết, nguyên lý bất định đảm bảo rằng ngay cả chân không của không gian trống rỗng cũng là một trạng thái náo động và nhung nhúc các cặp hạt ảo sinh ra tức thời rồi sau đó lại hủy nhau. Những thăng giáng lượng tử này cũng xảy ra trong vùng không gian ngay bên ngoài chân trời sự kiện của các lỗ đen. Tuy nhiên, Hawking đã phát hiện ra rằng lực hấp dẫn mạnh của lỗ đen có thể tiếp thêm năng lượng cho cặp hạt ảo, ví dụ như hai photon, chẳng hạn, kéo chúng ra đủ xa nhau khiến cho một hạt bị hút vào lỗ đen. Do một hạt bị biến mất trong lỗ đen, hạt photon còn lại của cặp hạt ảo không còn hạt bạn để cùng hủy nữa. Hawking đã chứng minh được rằng, photon còn lại thậm chí còn nhận được sự tiếp thêm năng lượng của trường hấp dẫn lỗ đen và trong khi hạt bạn của nó bị hút vào bên trong lỗ đen thì nó được bắn ra phía ngoài. Khi đó, đối với một người nào đó quan sát lỗ đen từ một khoảng cách xa đủ an toàn, thì hiệu ứng tổ hợp của sự tách các hạt ảo ra xa nhau này, xảy ra liên tục xung quanh chân trời sự kiện lỗ đen, tựa như có một dòng liên tục bức xạ đi từ lỗ đen ra ngoài. Nghĩa là các lỗ đen bức xạ.

Hơn thế nữa, Hawking còn tính được nhiệt độ mà một người quan sát ở xa gắn nó với bức xạ phát ra và tìm thấy nhiệt độ này được xác định bởi cường độ của trường hấp dẫn tại chân trời sự kiện của lỗ đen, giống hệt như sự tương tự giả định giữa các định luật của vật lý các lỗ đen với các định luật của nhiệt động học đã chỉ ra [1]. Vậy là Bekenstein đã đúng: những kết quả của Hawking đã chứng tỏ rằng sự tương tự đó cần phải được tiếp nhận một cách nghiêm túc. Thực ra những kết quả này cho thấy điều đó còn hơn cả sự tương tự, đó là sự đồng nhất. Như vậy, một lỗ đen có entrôpy. Một lỗ đen có cả nhiệt độ. Và các định luật hấp dẫn của vật lý các lỗ đen, chẳng qua chỉ là viết lại các định luật của nhiệt động học trong một bối cảnh khác lạ và cực hạn của trường hấp dẫn mà thôi. Đó là phát minh gây bàng hoàng của Hawking vào năm 1974.

Để cho bạn một ý niệm về cỡ của các đại lượng, bạn nên biết rằng, nếu tính tới cả các chi tiết, thì một lỗ đen có khối lượng lớn gấp ba lần Mặt trời sẽ có nhiệt độ khoảng một phần trăm triệu độ trên không độ tuyệt đối. Nghĩa là nó không bằng không, nhưng rất gần không. Như vậy, các lỗ đen không phải là đen, nhưng cũng gần là đen. Thật không may, điều này làm cho bức xạ của lỗ đen là quá yếu, không thể phát hiện bằng thực nghiệm được. Tuy nhiên, có một ngoại lệ. Những tính toán của Hawking còn chứng tỏ được rằng những lỗ đen càng nhẹ thì nhiệt độ của nó càng cao và do đó bức xạ mà nó phát ra càng lớn. Ví dụ, một lỗ đen nhẹ như một tiểu hành tinh có thể bức xạ mạnh như một quả bom khinh khí với công suất một triệu mêgatôn, tập trung ở phần tia gamma của phổ điện tử. Các nhà thiên văn đã săn tìm ráo riết bức xạ đó trong bầu trời đêm, nhưng ngoài một số khả năng rất ít thuyết phục, họ đều trở về trắng tay. Điều đó dường như là dấu hiệu cho thấy rằng những lỗ đen có khối lượng nhỏ, nếu có, thì cũng rất hiếm hoi. Hawking thường nói đùa rằng, điều đó thật quá tồi tệ, vì nếu như người ta phát hiện được bức xạ của lỗ đen mà ông tiên đoán [2], thì cầm chắc là ông đã được trao giải thưởng Nobel rồi.

Trái với nhiệt độ có giá trị rất nhỏ, cỡ dưới một phần triệu độ K, khi người ta tính entrôpy của một lỗ đen, chẳng hạn có khối lượng gấp ba lần Mặt trời, kết quả thu được là một số cực lớn: một con số 1 với 78 con số 0 tiếp sau. Và lỗ đen càng nặng thì entrôpy của nó càng lớn. Thành công của Hawking là đã xác lập được một cách chắn chắn rằng, điều đó phản ánh một sự hỗn loạn rất lớn được thể hiện bởi một lỗ đen.

Nhưng hỗn loạn ở đây là hỗn loạn của cái gì? Như chúng ta đã thấy, các lỗ đen là những đối tượng cực kỳ đơn giản, vậy cái gì là nguồn gốc của những hỗn loạn ghê gớm đó? Về vấn đề này, những tính toán của Hawking hoàn toàn im lặng. Sự hòa nhập được một phần thuyết tương đối rộng và cơ học lượng tử của Hawking có thể được dùng để tính giá trị bằng số entrôpy của lỗ đen, nhưng không đưa ra được một chỉ dẫn nào về ý nghĩa vi mô của nó. Trong gần một phần tư thế kỷ, một số nhà vật lý vĩ đại nhất đã cố gắng tìm hiểu những tính chất vi mô của các lỗ đen để giải thích entrôpy của chúng. Nhưng do thiếu một sự cộng sinh đáng tin cậy của cơ học lượng tử và thuyết tương đối rộng, nên người ta chỉ có thể phát hiện ra những mảnh rời rạc của câu trả lời, chứ sự bí ẩn thì vẫn còn nguyên đó.

[1] Bức xạ được phát ra từ lỗ đen cũng tương tự như bức xạ được phát ra từ bếp lò - đây cũng chính là vấn đề đã được thảo luận ở đầu chương 4 và đã đóng vai trò rất quan trọng trong sự phát triển của cơ học lượng tử.

[2] Người ta thấy rằng các lỗ đen tham gia trong các dịch chuyển conifold, do là cực trị, nên không phát bức xạ Hawking, ngay cả khi chúng đã trở nên rất nhẹ.

Trái với con đường tạo ra các lỗ đen trên thực tế, Strominger và Vafa đã tự "thiết kế" nên các lỗ đen...

•◎Mời vào lý thuyết dây

Nhưng, mãi đến năm 1996 điều này đã làm được, khi mà Strominger và Vafa, dựa trên các công trình trước đó của Susskind và Sen, đã tung lên Internet một bài báo nhan đề: "Nguồn gốc vi mô của entrôpy Bekenstein - Hawking". Trong công trình đó Strominger và Vafa đã dùng lý thuyết dây để nhận dạng các thành phần vi mô của lớp các lỗ đen và tính được một cách chính xác entrôpy của các lỗ đen đó. Công trình của họ đã lợi dụng khả năng thoát được một phần ra ngoài những phép gần đúng nhiễu loạn mới được tìm ra và đang được sử dụng rộng rãi trong những năm 1980 và đầu những năm 1990. Kết quả mà họ nhận được phù hợp một cách chính xác với điều mà Bekenstein và Hawking đã tiên đoán. Vậy là cuối cùng, bức tranh mà người ta đã vẽ dở dang hơn hai mươi năm trước, nay đã được hoàn tất.

Strominger và Vafa đã tập trung xem xét một lớp các lỗ đen có tên là lỗ

đen cực trị. Đó là các lỗ đen có tích lực - bạn có thể xem nó là điện tích cũng được - hơn thế nữa, nó còn có một khối lượng cực tiểu khả dĩ phù hợp với diện tích mà nó mang. Như ta thấy từ định nghĩa đó, những lỗ đen này rất giống với các trạng thái BPS mà ta đã thảo luận ở chương 12. Thực tế, Strominger và Vafa đã triệt để khai thác sự tương tự này. Họ đã chứng minh được rằng, họ có thể xây dựng - về lý thuyết, dĩ nhiên - một số lỗ đen cực trị bằng cách xuất phát từ một tập hợp những trạng thái BPS cụ thể (với một số chiều cho trước) và liên kết chúng với nhau theo một sơ đồ toán học rất xác định. Điều này rất giống với cách xây dựng một nguyên tử - cũng lại về lý thuyết thôi - xuất phát từ một số hạt quark và electron, sau đó sắp xếp chúng một cách chính xác thành các proton và nơtron với các electron quay xung quanh. Strominger và Vafa đã chỉ ra cách thức tương tự để tạo ra các lỗ đen cụ thể từ những thành phần mới được tìm ra trong lý thuyết dây.

Trong thực tế, các lỗ đen là sản phẩm của sự tiến hóa của các sao. Sau khi một ngôi sao đã đốt hết nhiên liệu hạt nhân của mình qua hàng tỷ năm trong các phản ứng tổng hợp hạt nhân, nó không còn đủ sức mạnh - tức áp lực ra phía ngoài - để chống lại được lực hấp dẫn cực mạnh hướng vào phía trong. Và khi một số khá lớn các điều kiện được thỏa mãn, điều này sẽ gây ra một vụ nổ cực mạnh hướng vào trong khiến cho ngôi sao bị co lại rất mạnh, dưới tác dụng của trọng lực cực lớn của chính nó và tạo nên một lỗ đen. Trái với con đường tạo ra các lỗ đen trên thực tế, Strominger và Vafa đã tự "thiết kế" nên các lỗ đen. Họ đã làm đảo ngược con đường tạo ra các lỗ đen bằng cách chỉ ra một phương thức xây dựng có hệ thống - trong trí tưởng tượng của nhà lý thuyết - bằng cách liên kết một cách thận trọng, chậm chạp và tỉ mỉ các brane - thành phần cơ bản mới được phát hiện ra trong cuộc cách mạng siêu dây lần thứ hai - thành một tổ hợp chính xác.

Sức mạnh của phương pháp này là ở chỗ, nó kiểm soát được một cách hoàn toàn về mặt lý thuyết cấu tạo vi mô của các lỗ đen, do đó Strominger và Vafa dễ dàng và trực tiếp đếm được số cách sắp xếp các thành phần vi mô của lỗ đen mà vẫn giữ được nguyên những tính chất tổng thể quan sát được (tức là khối lượng và điện tích) của nó không thay đổi. Sau đó họ so sánh con số này với điện tích chân trời sự kiện của lỗ đen, tức là entrôpy mà Bekenstein và Hawking đã tiên đoán, và họ đã nhận được sự phù hợp tuyệt vời. Như vậy là họ đã thành công trong việc sử dụng lý thuyết dây để giải thích được các thành phần vi

mô và entrôpy của lỗ đen, ít nhất thì cũng đối với lớp các lỗ đen cực trị. Vậy là, một câu đố ám ảnh trong hơn hai chục năm, đã được giải đáp [3].

Nhiều nhà lý thuyết dây coi thành công này là một bằng chứng quan trọng và có sức thuyết phục khẳng định sự đúng đắn của lý thuyết dây. Sự hiểu biết của chúng ta về lý thuyết dây còn quá manh mún, nên chưa thể thiết lập được mối quan hệ trực tiếp và cụ thể với những quan sát thực nghiệm, như khối lượng của quark và electron. Nhưng giờ đây, chúng ta thấy rằng, lý thuyết dây đã cung cấp được sự giải thích cơ bản đầu tiên cho một tính chất đã được biết từ rất lâu của các lỗ đen, một tính chất đã từng làm bối rối các nhà vật lý trong nhiều năm, khi họ chỉ sử dụng các lý thuyết truyền thống. Hơn nữa, tính chất này cũng liên quan mật thiết với tiên đoán của Hawking cho rằng các lỗ đen có bức xạ, một tiên đoán, mà về nguyên tắc, có thể đo được bằng thực nghiệm. Tất nhiên, điều này đòi hỏi chúng ta phải thực sự tìm thấy các lỗ đen trong vũ trụ và sau đó chế tạo những thiết bị đủ nhạy cảm để thu được bức xạ do lỗ đen phát ra. Nếu như lỗ đen là đủ nhẹ, thì bước thứ hai nói ở trên hoàn toàn nằm trong tầm tay của công nghệ hiện nay. Ngay cả nếu chương trình thực nghiệm này còn chưa mang lại thành công, thì điều này cũng nhấn mạnh một lần nữa rằng, ít nhất cũng đã có một cây cầu bắc qua cái vực thẳm giữa lý thuyết dây với thực tại vật lý của thế giới tự nhiên. Thậm chí cả Glashow - đối thủ chính của lý thuyết dây vào những năm 1980 - mới đây cũng đã nói rằng: "Khi các nhà lý thuyết dây nói về các lỗ đen là họ chủ yếu nói về những hiện tượng quan sát được, và điều đó thật là có ấn tượng" [4].

[3] Stephen Hawking, Bài giảng tại Hội nghị Amsterdam về Hấp dẫn, Lỗ đen và Dây, ngày 21 tháng 6 năm 1996.

[4] Trong những tính toán ban đầu của mình, Strominger và Vafa đã phát hiện ra rằng nếu làm việc với 5 chiều có quảng tính lớn (chứ không phải 4) thì việc tính toán sẽ dễ dàng hơn. Một điều đáng ngạc nhiên là, sau khi hoàn tất việc tính toán entrôpy của lỗ đen 5 chiều như vậy, họ mới phát hiện ra rằng còn chưa có nhà lý thuyết nào xây dựng những lỗ đen giả thuyết 5 chiều đó trong khuôn khổ của thuyết tương đối rộng 5 chiều. Vì chỉ bằng cách so sánh đáp số của họ với diện tích chân trời sự kiện của một lỗ đen giả thuyết đó, họ mới có thể khẳng định được kết quả của mình. Sau đó Strominger và Vafa đành phải bắt tay xây dựng

về mặt toán học một lỗ đen giả thuyết 5 chiều như vậy. Và họ đã thành công. Sau đó việc chứng minh những tính toán entrôpy dựa trên lý thuyết dây phù hợp với kết quả tính toán của Hawking dựa trên diện tích chân trời sự kiện chỉ còn là một công việc đơn giản. Nhưng điều lý thú là ở chỗ, vì nghiệm lỗ đen được tìm ra sau, nên họ không biết trước đáp số mà họ săn tìm khi tiến hành tính toán entrôpy của những lỗ đen đó. Sau công trình của họ, nhiều nhà nghiên cứu, chủ yếu được dẫn dắt bởi nhà vật lý Curtis Callan ở Princeton, đã thành công trong việc mở rộng những tính toán entrôpy cho khuôn khổ quen thuộc hơn của bốn chiều không - thời gian có quảng tính lớn và tất cả đều phù hợp với những tiên đoán của Hawking.

Ngay cả với những phát triển đầy ấn tượng đó, vẫn còn hai điều bí ẩn bao quanh các lỗ đen...

•◎Những điều bí ẩn còn lại của các lỗ đen

Ngay cả với những phát triển đầy ấn tượng đó, vẫn còn hai điều bí ẩn bao quanh các lỗ đen. Điều thứ nhất có liên quan với tác động của các lỗ đen đến khái niệm quyết định luận. Vào đầu thế kỷ XIX, nhà toán học người Pháp Pierre - Simon de Laplace phát biểu một hệ quả chặt chẽ và có tầm quan trọng lớn nhất, được suy ta từ các định luật chuyển động của Newton, về guồng máy của vũ trụ:

"Một trí tuệ, mà ở thời điểm đã cho, có khả năng hiểu được tất cả các sinh lực làm sống động tự nhiên và tình huống cả tất cả mọi sinh vật tạo nên tự nhiên đó, hơn thế nữa, trí tuệ đó còn đủ quảng bác để có thể phân tích các dữ liệu, thì nó sẽ có thể thâu tóm được, trong một công thức, những chuyển động của các vật lớn nhất trong vũ trụ và cả những vật nhỏ bé nhất như các nguyên tử. Đối với một trí tuệ như vậy, không tồn tại một thứ gì là bất định và tương lai cũng như quá khứ đều được mở ra trước mắt nó" [1]

Theo những lời đó, nếu như ở một thời điểm nào đấy, bạn biết được vị trí và vận tốc của mọi hạt trong vũ trụ, thì bạn có thể dùng các định luật chuyển động của Newton để xác định được, ít nhất là về nguyên tắc, các vị trí và vận tộc của chúng ở bất kỳ thời điểm nào trước đó hoặc trong tương lai. Theo quan điểm đó, mọi sự kiện, từ sự tạo thành Mặt trời cho tới sự đóng đinh câu rút của chúa Giêsu, tới chuyển động của mắt bạn qua những hàng chữ này, nhất nhất đều có thể suy ra từ vị trí và vận tốc

chính xác của mọi hạt của vũ trụ ngay sau Big Bang. Quan điểm cứng nhắc đó về sự tiến triển của vũ trụ đã làm nảy sinh rất nhiều quan điểm triết học khá phức tạp xung quanh vấn đề về ý chí tự do, nhưng tác động của nó đã suy giảm đi rất nhiều với sự ra đời của cơ học lượng tử. Nguyên lý bất định của Heisenberg đã đánh nốc ao quyết định luận của Laplace, vì chúng ta về cơ bản không thể biết được vị trí và vận tốc chính xác của tất cả mọi thành phần của vũ trụ. Trái lại, các tính chất cổ điển đó được thay bằng các hàm sóng chỉ cho ta biết xác suất để một hạt đã cho ở nơi này hay nơi khác hoặc có vận tốc này hay vận tốc khác.

Tuy nhiên, sự thất bại của quan điểm Laplace chưa làm cho khái niệm quyết định luận sụp đổ hoàn toàn. Các hàm sóng - tức là sóng xác suất của cơ học lượng tử - vẫn tiến triển theo thời gian theo những quy tắc toán học rất chính xác, như phương trình Schrodinger, chẳng hạn (hay chính xác hơn là các phương trình tương đối tính của Dirac và Klein - Gordon). Điều này có nghĩa là quyết định luận lượng tử đã thay thế cho quyết định luận cổ điển của Laplace. Sự hiểu biết về hàm sóng của tất cả mọi thành phần của vũ trụ ở một thời điểm nào đó, cho phép mọi trí tuệ đủ quảng bác xác định được các hàm sóng ở bất cứ thời điểm nào trước đó hoặc trong tương lai. Quyết định luận lượng tử nói với chúng ta rằng, xác suất để một sự kiện cụ thể nào đó xảy ra ở một thời điểm đã chọn nào đó trong tương lai là hoàn toàn được xác định bởi hiểu biết về các hàm sóng ở thời điểm bất kỳ trước đó. Khía cạnh xác suất của cơ học lượng tử đã làm cho quyết định luận của Laplace mềm đi rất nhiều bằng cách chuyển dịch sự không tránh khỏi của các kết cục thành xác suất xảy ra của các kết cục, nhưng những xác suất đó vẫn được xác định hoàn toàn trong khuôn khổ thông thường của lý thuyết lượng tử.

Năm 1976, Hawking tuyên bố rằng ngay cả dạng mềm đó của quyết định luận cũng vẫn bị vi phạm bởi sự hiện diện của các lỗ đen. Lại một lần nữa những tính toán phía sau tuyên bố đó hết sức đồ sộ, nhưng ý tưởng chủ yếu thì cũng khá đơn giản. Khi một vật nào đó rơi vào lỗ đen, hàm sóng của nó cũng bị hút vào theo. Nhưng điều này có nghĩa là, trong nhiệm vụ xác định hàm sóng tại mọi thời điểm trong tương lai, "trí tuệ đủ quảng bác" của chúng ta sẽ bị lừa gạt một cách không thể cứu vãn nổi. Để tiên đoán toàn bộ tương lai, chúng ta cần biết đầy đủ tất cả các hàm sóng của ngày hôm nay. Nhưng nếu như một số hàm sóng bị biến mất trong vực thẳm của lỗ đen, thì thông tin mà các hàm sóng đó mang theo cũng sẽ bị mất.

Thoạt nhìn, người ta nghĩ rằng sự rắc rối do các lỗ đen gây ra này không đáng phải bận tâm. Vì mọi thứ nằm trong chân trời sự kiện của một lỗ đen đều bị cắt đứt khỏi phần còn lại của vũ trụ, vậy thì lẽ nào ta không thể quên đi những thứ đã không may bị rơi vào đó? Hơn nữa, về mặt triết học mà nói, lẽ nào ta không thể tự nhủ rằng, vũ trụ không hề mất thông tin được mang bởi vật đã bị rơi vào lỗ đen; đơn giản là thông tin đó bị khóa trong một vùng không gian mà những sinh vật có lý trí như chúng ta đã chọn để tránh xa bằng mọi giá? Trước khi Hawking phát hiện ra rằng các lỗ đen không hoàn toàn là đen, thì câu trả lời là có thể. Nhưng khi Hawking thông báo với thế giới rằng, các lỗ đen bức xạ, thì mọi chuyện đã thay đổi. Do bức xạ mang theo năng lượng, mà các lỗ đen bức xạ, nên khối lượng của nó sẽ giảm dần, tức là nó sẽ bay hơi dần. Và một khi điều đó xảy ra, thì khoảng cách từ tâm lỗ đen đến chân trời sự kiện của nó sẽ co dần lại, do đó vùng không gian trước kia bị cắt đứt đi này sẽ hồi dần trở lại với vũ trụ. Và bây giờ những tư biện triết học của chúng ta sẽ phải đối mặt với thực tế sau: thông tin chứa trong các vật bị rơi vào lỗ đen - tức dữ liệu mà chúng ta hình dung tồn tại trong lỗ đen - liệu có xuất hiện trở lại khi lỗ đen bay hơi hay không? Đây là thông tin đòi hỏi để cho quyết định luận lượng tử không bị vi phạm và như vậy câu hỏi này dẫn thẳng tới câu hỏi liệu các lỗ đen có tiêm nhiễm cho sự tiến hóa của vũ trụ chúng ta bằng một yếu tố ngẫu nhiên, thậm chí còn cơ bản hơn nữa hay không.

Khi chúng tôi đang viết các dòng này, thì các nhà vật lý còn chưa nhất trí về câu trả lời cho câu hỏi đó. Trong nhiều năm, Hawking đã tuyên bố rất mạnh mẽ rằng thông tin đã mất sẽ không xuất hiện trở lại: theo ông các lỗ đen đã phá hủy những thông tin ấy và do đó "đưa vào vật lý một cấp độ bất định mới, ngoài sự bất định thông thường gắn liền với cơ học lượng tử" [2]. Thực tế, Hawking cùng với Kip Thorne thuộc Học viện công nghệ California đã đánh cuộc với John Preskill cũng thuộc Học viện đó về điều gì sẽ xảy ra đối với thông tin đã bị bắt giữ bởi một lỗ đen: Hawking và Thorne cuộc rằng thông tin này sẽ vĩnh viễn bị mất, còn Preskill giữ quan điểm ngược lại, tức là cuộc rằng thông tin sẽ xuất hiện trở lại, khi lỗ đen bức xạ và co bé lại. Họ cược nhau cái gì? Cũng chính là thông tin thôi: "Người thua sẽ phải mất cho người thắng một bộ bách khoa thư do người thắng chọn".

Cuộc đánh cược này cho tới nay vẫn chưa ngã ngũ, nhưng mới đây Hawking đã thừa nhận rằng, những hiểu biết mới tìm ra về lỗ đen của

lý thuyết dây như vừa được thảo luận ở trên, chứng tỏ rằng có thể có một cách cho phép các thông tin xuất hiện trở lại. Ý tưởng mới này là đối với các loại lỗ đen đã được Strominger và Vafa cũng như nhiều nhà vật lý khác nghiên cứu từ khi xuất hiện bài báo ban đầu của họ, thông tin có thể được lưu trữ và phục hồi từ những thành phần brane tạo nên lỗ đen. Khả năng này, theo Strominger, "đã dẫn một số nhà lý thuyết dây tới ý muốn tuyên bố rằng thông tin sẽ được khôi phục khi lỗ đen bay hơi. Theo ý tôi, kết luận này có lẽ hơi sớm; vẫn còn nhiều việc phải làm mới có thể khẳng định được điều đó có đúng hay không" [3]. Vafa cũng đồng ý như thế, nhưng ông còn nói thêm rằng: "Ông hoàn toàn mù tịt về vấn đề này - nó vẫn có thể xảy ra theo một chiều hướng khác" [4]. Việc trả lời câu hỏi này là một mục tiêu trung tâm của sự nghiên cứu hiện nay. Như Hawking đã bình luận:

"Đa số các nhà vật lý đều muốn tin rằng thông tin không bị mất đi, vì điều đó đã làm cho thế giới của chúng ta an toàn hơn và còn có thể tiên đoán được. Nhưng tôi thì tôi tin rừng, nếu ta nghiên cứu thuyết tương đối rộng một cách thật nghiêm túc, thì ta cần phải chấp nhận khả năng không - thời gian tự thắt lại và thông tin sẽ bị mất trong các nếp gấp đó. Vấn đề xác định thông tin có thực sự bị mất hay không là một trong số những vấn đề chủ yếu của vật lý lý thuyết hiện đại" [5].

Bí ẩn thứ hai của lỗ đen hiện vẫn còn chưa giải đáp được có liên quan tới bản chất của không - thời gian ở tâm điểm của lỗ đen [6]. Việc áp dụng trực tiếp thuyết tương đối rộng, khởi đầu từ những công trình của Schwarzaschild từ năm 1916, chứng tỏ rằng khối lượng và năng lượng cực lớn bị dồn nén tại tâm lỗ đen làm cho cấu trúc của không - thời gian bị biến dạng dữ dội dẫn tới trạng thái có độ cong vô hạn - tức là bị đục thủng bởi một kỳ dị không - thời gian. Từ đó các nhà vật lý đã rút ra một kết luận rằng, vì tất cả vật chất qua chân trời sự kiện đều không tránh khỏi bị hút tới tâm của lỗ đen và cũng vì vật chất đó không có một tương lai nào, nên thời gian cũng kết thúc ở tâm lỗ đen. Một số nhà vật lý khác, những người đã nhiều năm dùng các phương trình Einstein để nghiên cứu lõi của lỗ đen, còn đưa ra một khả năng táo bạo hơn cho rằng, lỗ đen có thể tạo thành một cổng đi ra một vũ trụ khác - vũ trụ này gắn một cách mỏng manh với vũ trụ chúng ta chỉ ở tâm của lỗ đen. Nói một cách nôm na, chỗ mà thời gian trong vũ trụ chúng ta kết thúc cũng là chỗ bắt đầu thời gian của một vũ trụ khác.

Chúng ta sẽ đề cập tới những hệ quả của khả năng đáng kinh ngạc đó trong chương sau, còn bây giờ chúng tôi muốn nhấn mạnh một điểm quan trọng [7]. Chắc bạn còn nhớ một bài học chủ chốt: những giá trị cực hạn của khối lượng lớn và kích thước nhỏ, dẫn tới mật độ cao không thể tưởng tưởng nổi, sẽ làm vô hiệu hóa việc chỉ dùng lý thuyết cổ điển của Einstein và đòi hỏi phải có sự can thiệp của cơ học lượng tử. Điều đó dẫn chúng ta tới câu hỏi: vậy thì lý thuyết dây có thể nói gì về sự kỳ dị của không - thời gian ở tâm lỗ đen? Đây là một đề tài hiện đang được nghiên cứu rất mạnh mẽ, nhưng cũng như với câu hỏi về sự mất thông tin, nó vẫn chưa được giải đáp. Lý thuyết dây đã xử lý tuyệt vời đối với nhiều kỳ dị khác - như sự biến dạng và xé rách không gian đã được thảo luận ở chương 11 và ở đầu chương này [8]. Nhưng nếu như bạn đã thấy một kỳ dị, thì bạn lại chưa thấy được tất cả những kỳ dị. Cấu trúc của vũ trụ chúng ta có thể bị biến dạng, bị đục thủng và bị xé rách theo nhiều cách khác nhau. Lý thuyết dây đã cho chúng ta sự hiểu biết sâu sắc về một số kỳ dị đó, nhưng những kỳ dị khác, như kỳ dị của lỗ đen, chẳng hạn, thì vẫn còn lảng tránh ở ngoài tâm của lý thuyết dây. Lý do chủ yếu của điều đó, lại một lần nữa gắn liền với những công cụ của lý thuyết nhiễu loạn trong lý thuyết dây và chính những phép gần đúng này đã làm lu mờ khả năng phân tích đáng tin cậy và đầy đủ những cái xảy ra ở sâu bên trong lỗ đen.

Tuy nhiên, căn cứ vào những tiến bộ to lớn gần đây trong các phương pháp phi nhiễu loạn và những áp dụng thành công của các phương pháp đó cho những khía cạnh khác của lỗ đen, các nhà lý thuyết dây rất hy vọng rằng, sẽ không còn lâu nữa, những bí ẩn ở tâm lỗ đen sẽ được làm sáng tỏ.

[1] Phỏng vấn Sheldon Glashow, ngày 29 tháng 12 năm 1997.

[2] Stephen Hawking, trong cuốn The Nature of Space and Time của Hawking và Penrose (Princeton: Prionxceton University, 1995), trang 41.

[3] Stephen Hawking, Bài giảng tại Hội nghị Asterdam về Hấp dẫn, Lỗ đen và Dây ngày 21 tháng 6 năm 1996.

[4] Phỏng vấn Andrew Strominger, ngày 29 tháng 12 năm 1997.

[5] Phỏng vấn Cumrun Vafa, ngày 12 tháng 1 năm 1998.

[6] Stephen Hawking, trong cuốn The Nature of Space and Time của

Hawking và Penrose (Princeton: Prionxceton University, 1995), trang 41.

[7] Vấn đề này cũng có liên quan nhất định với vấn đề mất thông tin: trong nhiều năm các nhà vật lý đã đưa ra giả thuyết rằng có thể có một "cục" trung tâm nằm sâu trong lỗ đen ở đó lưu trữ tất cả thông tin mang bởi vật chất bị bẫy vào trong chân trời của lỗ đen.

[8] Thực tế, dịch chuyển conifold làm rách không gian được thảo luận trong chương này có liên quan tới các lỗ đen và do đó dường như có quan hệ mật thiết với các điểm kỳ dị của lỗ đen. Nhưng nên nhớ rằng sự xé rách không gian trong dịch chuyển conifold xảy ra chỉ khi lỗ đen đã mất hết khối lượng của nó và do đó không có quan hệ trực tiếp với các điểm kỳ dị của lỗ đen.

Trong chương này, chúng ta sẽ trình bày vắn tắt những tiến bộ bước đầu đó, nhưng trước hết chúng ta sẽ kể một cách ngắn gọn lịch sử của vũ trụ học trước khi có lý thuyết dây, mà người ta thường gọi là mô hình chuẩn của vũ trụ học...

CHƯƠNG 14

NHỮNG SUY TƯ VỀ VŨ TRỤ HỌC

Loài người trong suốt lịch sử của mình đã có một khát vọng đam mê muốn tìm hiểu về nguồn gốc của vũ trụ. Có lẽ chưa từng có vấn đề nào lại vượt lên tất cả sự cách biệt về văn hóa và thời đại, kích thích trí tưởng tưởng của tổ tiên xa xưa của chúng ta cũng như những nghiên cứu của các nhà vũ trụ học hiện đại đến như vậy. Ở một mức độ sâu xa, thực sự vẫn tồn tại một khát vọng tập thể muốn giải thích tại sao lại có vũ trụ, nó đã tiến hóa như thế nào để có dạng như chúng ta quan sát ngày hôm nay cũng như hiểu được cái lôgíc - tức là những nguyên lý - chi phối sự tiến hóa đó. Một điều đáng kinh ngạc là, loài người giờ đây đã tới giai đoạn được chứng kiến sự xuất hiện một khuôn khổ có thể giải thích được một số câu hỏi đó một cách khoa học.

Theo lý thuyết khoa học được chấp nhận hiện nay về sự sáng chế, thì vũ trụ, ở những khoảnh khắc đầu tiên của mình, đã trải qua những điều kiện cực đoan nhất - năng lượng, nhiệt độ và mật độ cực cao. Những điều kiện đó đòi hỏi cần phải tính đến cả cơ học lượng tử cũng như thuyết tương đối rộng và do đó, sự ra đời của vũ trụ đã mang đến cho chúng ta một mảnh đất đắc dụng để thực hiện những phát minh của lý thuyết dây. Trong chương này, chúng ta sẽ trình bày vắn tắt những tiến bộ bước đầu đó, nhưng trước hết chúng ta sẽ kể một cách ngắn gọn lịch sử của vũ trụ học trước khi có lý thuyết dây, mà người ta thường gọi là mô hình chuẩn của vũ trụ học.

•◎Mô hình chuẩn của vũ trụ học

Lý thuyết hiện đại về nguồn gốc của vũ trụ bắt đầu khoảng mười lăm năm sau khi Einstein hoàn tất thuyết tương đối rộng. Mặc dù Einstein không tin vào giá trị bề ngoài của lý thuyết của chính mình và cũng không chấp nhận hệ quả suy ra từ nó khẳng định rằng vũ trụ không phải là vĩnh viễn và cũng không phải là tĩnh tại, nhưng Alexander Friedmann thì có. Như chúng ta đã thấy từ chương 3, Friedmann đã

phát hiện ra cái mà ngày nay chúng ta gọi là nghiệm Big Bang của các phương trình Einstein, nghiệm này cho thấy rằng vũ trụ xuất hiện đột khởi mãnh liệt từ một trạng thái có độ nén vô hạn và đến nay vẫn còn tiếp tục chịu hậu quả giãn nở của vụ nổ nguyên thủy đó. Einstein đã tin chắc cái nghiệm phụ thuộc thời gian đó không phải là hệ quả của lý thuyết của mình tới mức, ông đã cho công bố một bài báo ngắn, trong đó ông khẳng định đã tìm ra một sai lầm nghiêm trọng trong các công trình của Friedmann. Tuy nhiên, khoảng 8 tháng sau, Friedmann đã thuyết phục được Einstein tin rằng thực tế không có một sai lầm nào hết; Einstein đã công khai rút lại sự phản đối của mình, nhưng vẫn tỏ ra lạnh nhạt. Bởi lẽ, ông vẫn tin rằng những kết quả của Friedmann không có liên quan gì đến thực tế hết. Nhưng khoảng 5 năm sau, những quan sát chi tiết của Hubble đối với hơn một chục thiên hà nhờ kính thiên văn lớn nhất thời đó đặt ở Đài thiên văn trên núi Wilson, đã khẳng định rằng quả thực vũ trụ đang giãn nở. Từ đó, những công trình của Friedmann, sau này được Howard Robertson và Arthure Wilker tu chỉnh lại dưới dạng có hiệu quả và hệ thống hơn, vẫn còn là nền tảng của vũ trụ học hiện đại.

Nói một cách khái lược, thì lý thuyết hiện đại về nguồn gốc của vũ trụ là như sau. Khoảng 15 tỷ năm trước, vũ trụ đã được phun ra từ một sự kiện kỳ dị có năng lượng cực lớn cùng với toàn bộ không gian và toàn bộ vật chất. (Bạn khỏi cần phải tìm đâu xa nơi Big Bang đã xảy ra, vì đó chính là nơi bạn đang ở cũng như bất cứ nơi nào khác; tại lúc bắt đầu, tất cả các nơi mà hiện nay chúng ta thấy tách biệt nhau thực ra đã ở cùng một chỗ). Nhiệt độ của vũ trụ ở thời điểm 10-43 giây sau Big Bang - cái được gọi là thời gian Planck - ước tính cỡ 1032 độ K, tức là nóng gấp 10 triệu tỷ tỷ lần vùng tâm mặt trời. Theo thời gian, vũ trụ giãn nở to ra và lạnh đi. Nhờ đó, khối plasma nguyên thủy nóng bỏng và ban đầu là đồng tính của vũ trụ bắt đầu xuất hiện những nhiễu động và các cục vón. Chừng một phần trăm ngàn giây sau Big Bang, tất cả đã đủ lạnh (khoảng 10 ngàn tỷ độ K, tức là nóng hơn phần lõi của mặt trời cỡ một triệu lần) để cho các quark cụm lại thành từng nhóm ba hạt một để tạo nên các proton và nơtron. Chừng một phần trăm giây sau đó, các điều kiện đã trở nên tối ưu để cho hạt nhân của một số nguyên tố nhẹ nhất trong bảng tuần hoàn các nguyên tố bắt đầu hình thành từ khối plasma đang lạnh dần của các hạt. Khoảng ba phút tiếp sau, khi vũ trụ đã lạnh xuống còn khoảng một tỷ độ, thì các hạt nhân đã xuất hiện chủ yếu là hạt nhân hiđrô và hêli cùng với một lượng nhỏ đơteri (hiđrô

"nặng") và liti. Thời kỳ này được gọi là thời kỳ tổng hợp hạt nhân nguyên thủy. Trong khoảng vài trăm ngàn năm tiếp theo, không có mấy sự kiện xảy ra, trừ sự tiếp tục giãn nở và lạnh đi của vũ trụ. Nhưng sau đó, khi nhiệt độ đã giảm xuống còn vài ngàn độ, thì các electron vốn chuyển động như điên giờ chuyển động chậm dần, tới mức các hạt nhân nguyên tử, mà chủ yếu là hiđrô và hêli, có thể bắt được chúng để tạo nên những nguyên tử trung hòa về điện đầu tiên.

Đây là thời điểm bước ngoặt: từ đây trở đi vũ trụ, về tổng thể, trở nên trong suốt. Trước thời kỳ các electron bị bắt để tạo nên nguyên tử - một số tích điện dương như proton và một số tích điện âm như electron. Các photon, vốn chỉ tương tác với những hạt tích điện, nên chúng bị va chạm không ngừng với một biển dày đặc các hạt tích điện đó vì vậy rất khó đi được một khoảng cách nào trước khi bị lệch hướng hoặc bị hấp thụ. Hàng rào các hạt tích điện đó đối với chuyển động tự do của các photon đã làm cho vũ trụ trở nên hoàn toàn không trong suốt, tựa như bạn cảm thấy trong một buổi sáng sương mù dày đặc. Nhưng khi các electron bị bắt quay trên các quỹ đạo xung quanh những hạt nhân tích điện dương để tạo ra các nguyên tử trung hòa về điện, thì hàng rào các hạt tích điện không còn nữa giống như màn sương mù đã tan. Từ đó trở đi, các photon có từ thời Big Bang đã có thể chuyển động thoải mái và toàn bộ khoảng bao la của vũ trụ dần dần trở nên nhìn thấy được.

Khoảng một tỷ năm sau, khi mà vũ trụ đã trở nên tĩnh lặng sau những náo động dữ dội lúc ban đầu, các thiên hà, các ngôi sao và cuối cùng là các hành tinh đã bắt đầu xuất hiện như những cụm các nguyên tố nguyên thủy được liên kết với nhau bởi lực hấp dẫn. Ngày hôm nay, 15 tỷ năm sau Big Bang, chúng ta đã có thể thán phục sự kỳ vĩ của vũ trụ cũng như khả năng tập thể của chúng ta đã cùng nhau xây dựng trên một lý thuyết logic và có thể kiểm chứng bằng thực nghiệm về nguồn gốc của vũ trụ.

Nhưng chúng ta đã thực sự tin tưởng đến mức nào vào lý thuyết Big Bang?

Để kiểm chứng lý thuyết Big Bang ở những giai đoạn còn sớm hơn nữa, các nhà vật lý và các nhà thiên văn phải dùng tới những phương pháp gián tiếp hơn. Một trong số những phương pháp tinh tế nhất có liên quan tới cái mà người ta gọi là bức xạ nền của vũ trụ...

- ◎Kiểm chứng Big Bang

Quan sát vũ trụ bằng những kính thiên văn mạnh nhất, các nhà thiên văn có thể nhìn thấy ánh sáng đã được phát ra từ các thiên hà và các quasar khoảng vài tỷ năm sau Big Bang. Điều này cho phép họ có thể kiểm chứng sự giãn nở của vũ trụ đã được lý thuyết Big Bang tiên đoán, cho tới tận những giai đoạn rất sớm của nó và tất cả đều phù hợp một cách tuyệt vời. Để kiểm chứng lý thuyết ở những giai đoạn còn sớm hơn nữa, các nhà vật lý và các nhà thiên văn phải dùng tới những phương pháp gián tiếp hơn. Một trong số những phương pháp tinh tế nhất có liên quan tới cái mà người ta gọi là bức xạ nền của vũ trụ.

Nếu như bạn sờ vào chiếc xăm xe đạp ngay sau khi được bơm căng, bạn sẽ thấy nó nóng lên. Một phần năng lượng bạn sản ra khi bơm đã làm tăng nhiệt độ của không khí trong chiếc xăm. Điều này phản ánh một nguyên lý chung: trong một số điều kiên rất rộng rãi, các vật khi bị nén đều nóng lên. Trái lại, khi giãn nở, các vật sẽ lạnh đi. Các máy điều hòa cũng như các tủ lạnh đều hoạt động lựa chọn trên nguyên tắc đó. Khi cho các chất, như khí freon chẳng hạn, thực hiện những chu trình nén và giãn (cũng như bay hơi hoặc ngưng tụ) lặp đi lặp lại, người ta có thể làm cho dòng nhiệt đi theo hướng mà ta mong muốn. Mặc dù đây chỉ là những tính chất đơn giản của vật lý trên mặt đất chúng ta, nhưng hóa ra chúng có những thể hiện rất sâu sắc trong vũ trụ nói chung. Ở trên chúng ta đã thấy rằng: sau khi các electron và hạt nhân liên kết với nhau để tạo nên nguyên tử, các photon có thể tự do chuyển động trên khắp vũ trụ. Điều này có nghĩa là vũ trụ bị choán đầy bởi một "chất khí" photon chuyển động tự do và phân bố đều trong khắp vũ trụ. Do vũ trụ giãn nở, nên chất khí photon này cũng giãn nở theo, vì về cơ bản vũ trụ chính là bình chứa nó. Và cũng như nhiệt độ của một chất khí thông thường (như không khí trong chiếc xăm, chẳng hạn) sẽ giảm khi khí giãn nở, nhiệt độ của khí photon cũng giảm khi vũ trụ giãn nở. Thực tế, ngay từ những năm 1950, George Gamow cùng với hai nghiên cứu sinh của ông là Ralph Alpher và Robert Hermann và sau này, vào những năm 1960, Robert Dicke và Jim Peebles đã phát hiện ra rằng vũ trụ ngày hôm nay của chúng ta được tắm trong biển gần như đồng đều của các photon nguyên thủy đó. Biển các photon này sau 15 tỷ năm giãn nở của vũ trụ đã lạnh xuống chỉ còn khoảng dăm ba độ trên không độ tuyệt đối [1]. Năm 1965, Arno Penzias và Robert Wilson làm việc tại các phòng thí nghiệm của hãng Bell Telephone ở New Jersey đã tình cờ làm được một

trong số những phát minh quan trọng nhất của thời đại chúng ta. Trong quá trình điều chỉnh anten dùng để liên lạc với các vệ tinh viễn thông, họ đã tình cờ thu được cái ánh sáng còn rơi rớt lại đó từ thời Big Bang. Những nghiên cứu sau đó đã hoàn thiện cả lý thuyết lẫn thực nghiệm, và đã kết thúc mỹ mãn trong các phép đo trên vệ tinh COBE (Consmic Background Exoplorer - Vệ tinh khám phá bức xạ nền của vũ trụ) vào đầu những năm 1990.

Với những dữ liệu đo được, các nhà vật lý và thiên văn đã khẳng định chắc chắn rằng vũ trụ được choán đầy bởi bức xạ vi ba (và nếu mắt chúng ta nhạy với loại sóng điện từ này, thì chúng ta sẽ nhìn thấy một nền sáng lãng đãng trong thế giới xung quanh ta) với nhiệt độ khoảng 2,7 độ trên không độ tuyệt đối, hoàn toàn phù hợp với tiên đoán của lý thuyết Big Bang. Nói một cách cụ thể hơn, thì mỗi một mét khối trong vũ trụ, kể cả ở chỗ mà hiện bạn đang ngồi, trung bình có khoảng 400 triệu photon, tất cả chúng đã cùng nhau tạo nên cả một biển bao la bức xạ vi ba của vũ trụ - ánh sáng còn rơi từ lúc sáng thế. Những chấm "tuyệt" xuất hiện trên màn TV khi bạn bỏ anten và kênh truyền hình ngừng phát cũng có một phần trăm nào đấy đóng góp của bức xạ vi ba này. Sự phù hợp tuyệt vời giữa lý thuyết và thực nghiệm đã khẳng định bức tranh Big Bang của vũ trụ học cho tới tận thời kỳ các photon chuyển động tự do trên khắp vũ trụ, tức là khoảng vài trăm ngàn năm sau Big Bang.

Liệu chúng ta có thể đẩy xa hơn nữa sự kiểm chứng lý thuyết Big Bang tới những thời kỳ còn sớm hơn nữa không. Có thể. Bằng cách dùng những nguyên lý sơ cấp của lý thuyết hạt nhân và nhiệt động học, các nhà vật lý có thể đưa ra những tiên đoán xác định về độ phổ biến tương đối của các nguyên tố nhẹ được tạo ra trong thời kỳ tổng hợp hạt nhân nguyên thủy, tức là thời kỳ giữa một phần trăm giây và vài phút sau Big Bang. Ví dụ, theo lý thuyết, 23% thành phần của vũ trụ là hêli. Bằng cách đo độ phổ biến của hêli trong các ngôi sao và các tinh vân, các nhà thiên văn đã tập hợp được những dữ liệu hoàn toàn phù hợp với tiên đoán đó. Có lẽ còn có ấn tượng hơn nữa là tiên đoán và sự khẳng định bằng thực nghiệm độ phổ biến của đoteri, vì thực chất không có một quá trình vật lý thiên văn nào, trừ Big Bang, có thể giải thích được một lượng nhỏ nhưng rất xác định của nó trong vũ trụ. Sự khẳng định bằng thực nghiệm những độ phổ biến đó, và mới đây hơn cả độ phổ biến của liti nữa, là một sự kiểm chứng rất có ý nghĩa đối với sự hiểu biết của

chúng ta về vật lý ở thời kỳ đầu của vũ trụ, tới tận thời kỳ của những tổng hợp hạt nhân nguyên thủy.

Thành công đó thậm chí đã dẫn tới sự cao ngạo. Tất cả những dữ liệu mà chúng ta có được đều khẳng định lý thuyết vũ trụ học có khả năng mô tả vũ trụ chúng ta từ khoảng một phần trăm giây sau Big Bang tới tận hiện nay, tức là 15 tỷ năm sau. Tuy nhiên, không nên quên một thực tế là vũ trụ sơ sinh tiến hóa với một tốc độ ghê gớm. Những phần rất nhỏ của giây - nhỏ hơn nhiều so với một phần trăm của giây - tạo nên những giai đoạn, trong đó những đặc điểm cơ bản còn kéo dài tới sau này của vũ trụ lần đầu tiên được hình thành. Chính vì vậy, các nhà vật lý vẫn tiếp tục đẩy xa tiếp với hy vọng giải thích được vũ trụ ở những thời điểm còn sớm hơn nữa. Vì khi càng trở lại những thời điểm sớm hơn, vũ trụ càng nhỏ, nóng và đặc hơn, nên sự mô tả chính xác vật chất và các lực theo cơ học lượng tử càng trở nên quan trọng. Như chúng ta đã thấy trong những bối cảnh khác ở các chương trước, lý thuyết trường lượng tử của những hạt điểm chỉ dùng được cho tới khi năng lượng của các hạt cỡ năng lượng Planck. Theo quan điểm vũ trụ học, giới hạn này tương ứng với thời điểm toàn bộ vũ trụ có thể chứa trong một thể tích cực nhỏ có kích thước cỡ chiều dài Planck, do đó nó có mật độ lớn đến mức không thể tìm được cái gì để so sánh hoặc tưởng tưởng ra cái gì đó tương tự, chỉ có thể nói rằng mật độ vật chất của vũ trụ ở thời điểm Planck là khổng lồ. Tại những năng lượng và mật độ như vậy, lực hấp dẫn và cơ học lượng tử không thể được xem như những thực thể tách biệt nhau như trong lý thuyết trường lượng tử của các hạt điểm nữa. Trái lại, một thông điệp chủ yếu mà cuốn sách này muốn nhắn gửi là, tại những năng lượng cực lớn đó và còn cao hơn nữa, chúng ta phải dùng tới lý thuyết dây. Nói theo ngôn ngữ thời gian, thì chúng ta sẽ gặp những năng lượng và mật độ khổng lồ đó khi chúng ta thăm dò tới những thời điểm còn sớm hơn thời gian Planck, tức là thời điểm cỡ 10-43 giây sau Big Bang và do đó, thời kỳ sớm nhất này chính là đất dụng võ của lý thuyết dây.

Bây giờ chúng ta sẽ dấn thêm vào thời kỳ đó, nhưng trước hết chúng ta hãy xem mô hình chuẩn của vũ trụ học nói gì với chúng ta về vũ trụ trước một phần trăm giây sau Big Bang, nhưng sau thời gian Planck.

[1] Nói một cách chính xác hơn, vũ trụ cần phải được choán đầy bởi các photon phù hợp với bức xạ nhiệt của "vật đen" (tức vật hấp thụ lý tưởng

nói theo ngôn ngữ nhiệt động học) trong khoảng nhiệt độ đáng xét. Đây cũng chính là phổ bức xạ được phát bởi các lỗ đen theo cơ học lượng tử như đã được Hawking giải thích và bởi lò nóng như đã được Plankc giải thích.

Các nhà vật lý tin chắc rằng, giữa thời gian Planck và thời điểm một phần trăm giây sau Big Bang, vũ trụ cũng xử sự theo cách rất tương tự, tức là ít nhất nó cũng đi qua hai sự chuyển pha...

•◎Từ thời gian Planck tới một phần trăm giây sau Big Bang

Trong chương 7 (đặc biệt là hình 7.1) chúng ta đã biết rằng, ba lực phi hấp dẫn sẽ hội nhập với nhau trong môi trường cực nóng của vũ trụ lúc mới hình thành. Những tính toán của các nhà vật lý về sự phụ thuộc năng lượng và nhiệt độ của cường độ các lực ấy cho thấy rằng, trước 10-35 giây sau Big Bang, các lực mạnh, yếu và điện từ đều là một lực "thống nhất lớn" hay "siêu lực". Trong trạng thái đó, vũ trụ là đối xứng hơn rất nhiều so với ngày hôm nay. Giống như tính đồng tính xuất hiện khi một tập hợp các kim loại rời rạc được nấu chảy thành một chất lỏng đồng đều, năng lượng và nhiệt độ cực cao ở thời kỳ sớm nhất của vũ trụ đã xóa đi mọi khác biệt giữa các lực mà hiện nay chúng ta quan sát được. Nhưng với thời gian, vũ trụ giãn nở và lạnh đi thì theo lý thuyết trường lượng tử, đối xứng nói trên sẽ bị thu hẹp lại một cách nghiêm trọng theo một dãy các bước khá đột ngột và cuối cùng dẫn tới sự bất đối xứng mà chúng ta thấy hiện nay.

Nội dung vật lý nằm phía sau sự thu hẹp đối xứng lại đó, hay nói một cách chính xác hơn là sự phá vỡ đối xứng, cũng không khó hiểu lắm. Hãy hình dung một bể lớn chứa đầy nước. Các phân tử H20 được phân bố đồng đều trong toàn bể chứa và bất kể bạn đặt mắt ở đâu cũng nhìn thấy nước hệt như nhau. Bây giờ ta hãy xem điều gì sẽ xảy ra khi ta hạ thấp nhiệt độ của bể nước xuống. Ban đầu thì chẳng có gì nhiều xảy ra. Xét ở thang vi mô, thì vận tốc trung bình của các phân tử nước giảm, nhưng cũng chỉ có vậy thôi. Tuy nhiên, khi nhiệt độ giảm xuống tới 0oC thì bạn đột nhiên thấy rằng có một điều gì đó đặc biệt đã xảy ra. Nước lỏng bắt đầu đóng băng và biến thành nước đá. Như đã thảo luận trong chương trước, điều này là một ví dụ đơn giản về sự chuyển pha. Đối với mục đích của chúng ta bây giờ thì điều quan trọng đáng lưu ý là quá trình chuyển pha đã dẫn tới sự giảm mức độ đối xứng được thể hiện bởi các phân tử H20. Trong khi nước lỏng được nhìn hoàn toàn như nhau

bất kể góc nhìn của bạn, tức là nó có đối xứng quay, thì nước đá lại khác. Do nước đá có cấu trúc tinh thể, nên nếu bạn xem xét nó một cách đủ chính xác, thì giống như các tinh thể khác, nó sẽ thể hiện khác nhau dưới những góc nhìn khác nhau. Như vậy sự chuyển pha đã làm mất đi tính chất đối xứng quay mà trước đó nó đã có.

Mặc dù chúng ta mới chỉ xét những ví dụ quen thuộc, nhưng đó là một tính chất khá tổng quát: khi chúng ta hạ thấp nhiệt độ của nhiều hệ vật lý, thì tới một điểm nào đó sẽ diễn ra sự chuyển pha và kết quả là sẽ có "sự phá vỡ" một số đối xứng mà trước đó hệ đã có. Thực tế, một hệ có thể trải qua một dãy các chuyển pha, nếu như nhiệt độ của nó có thể thay đổi trong một khoảng đủ rộng. Và một lần nữa, nước lại cho chúng ta một ví dụ đơn giản. Nếu chúng ta bắt đầu với H20 ở trên 100oC, thì nó ở thể khí, tức hơi nước. Ở thể đó nước thậm chí còn đối xứng hơn so với nó ở thể lỏng, vì bây giờ các phân tử H20 riêng lẻ không còn liên kết với nhau như trong thể lỏng nữa. Trái lại, bây giờ chúng tự do lang thang trong bình chứa, hoàn toàn bình đẳng với nhau, không tụ tập hoặc "bè phái" để tạo nên những nhóm phân tử tách biệt nhau. Khi chúng ta hạ thấp nhiệt độ xuống dưới 1000C, tất nhiên, các giọt nước sẽ tạo thành thông qua quá trình chuyển pha khí - lỏng và đối xứng đã được thu hẹp lại. Tiếp tục hạ thấp nhiệt độ xuống nữa, không có gì đặc biệt xảy ra cho tới khi chúng ta vượt qua nhiệt độ 0oC, khi mà, như đã thấy ở trên, sự chuyển pha lỏng - rắn lại đột ngột làm giảm đối xứng một lần nữa.

Các nhà vật lý tin chắc rằng, giữa thời gian Planck và thời điểm một phần trăm giây sau Big Bang, vũ trụ cũng xử sự theo cách rất tương tự, tức là ít nhất nó cũng đi qua hai sự chuyển pha. Ở những nhiệt độ trên 1028 K, ba lực phi hấp dẫn thể hiện như một lực duy nhất và có tính đối xứng cao nhất có thể có. (ở cuối chương này, chúng ta sẽ thảo luận về việc bao hàm cả lực hấp dẫn vào trong sự thống nhất ở nhiệt độ đó bởi lý thuyết dây). Nhưng khi nhiệt độ giảm xuống dưới 1028K, vũ trụ sẽ trải qua một sự chuyển pha, trong đó ba lực được kết tinh riêng theo những cách khác nhau. Cường độ tương đối cũng như cách thức mà chúng tác dụng lên vật chất bắt đầu thể hiện khác nhau. Và như vậy, đối xứng giữa các lực thể hiện rõ ràng ở những nhiệt độ cao đã bị phá vỡ khi vũ trụ lạnh đi. Tuy nhiên, các công trình của Glashow, Salam và Weiberg (xem chương 5) đã chứng tỏ rằng không phải toàn bộ đối xứng ở nhiệt độ cao đều bị xóa sạch: các lực yếu và điện từ vẫn còn liên hệ

chặt chẽ với nhau. Khi vũ trụ tiếp tục giãn nở và lạnh đi, không có gì nhiều xảy ra cho tới khi nhiệt độ giảm xuống tới 1015K, tức là gấp 100 triệu lần nhiệt độ ở lõi của Mặt trời. Khi đó, vũ trụ sẽ trải qua một sự chuyển pha thứ hai, lần này liên quan tới lực yếu và lực điện từ. Ở nhiệt độ ấy, hai lực này cũng được tách rời ra khỏi sự thống nhất trước đó, đối xứng hơn và khi vũ trụ tiếp tục lạnh đi, sự khác biệt giữa lực yếu và lực điện từ càng trở nên rõ nét. Hai quá trình chuyển pha này là nguồn gốc xuất hiện ba lực phi hấp dẫn khác biệt nhau, tuy nhiên lược sử của vũ trụ mà ta vừa trình bày ở trên cho thấy rằng, thực tế, ba lực đó có mối liên hệ rất sâu xa với nhau.

Những nghiên cứu chi tiết về bức xạ nền vũ trụ đã chứng tỏ rằng bất kể ta hướng anten theo hướng nào lên bầu trời, nhiệt độ của bức xạ này cũng đều như nhau với độ chính xác tới 1 phần 100.000. Nếu bạn dành ít phút để suy nghĩ về điều này, bạn sẽ thấy rằng điều đó hơi lạ...

•◎Một câu đố hóc búa của vũ trụ học

Vũ trụ học của thời kỳ sau thời gian Planck đã cho chúng ta một khuôn khổ thanh nhã, nhất quán và có thể xử lý về mặt toán học để tìm hiểu vũ trụ tới tận những khoảnh khắc ngắn nhất sau Big Bang. Nhưng cũng như đối với phần lớn các lý thuyết thành công, những phát hiện mới của chúng ta lại đặt ra những câu hỏi còn chi tiết hơn nữa. Hóa ra một số những câu hỏi này, mặc dù không làm vô hiệu hóa kịch bản chuẩn của vũ trụ học như vừa được trình bày ở trên, nhưng chúng làm nổi rõ một số khía cạnh tinh tế đòi hỏi phải có một lý thuyết mới sâu sắc hơn. Bây giờ chúng ta sẽ tập trung xem xét một trong số những câu hỏi đó, có tên là bài toán chân trời. Đây cũng là một trong những vấn đề quan trọng nhất của vũ trụ học hiện đại.

Những nghiên cứu chi tiết về bức xạ nền vũ trụ đã chứng tỏ rằng bất kể ta hướng anten theo hướng nào lên bầu trời, nhiệt độ của bức xạ này cũng đều như nhau với độ chính xác tới 1 phần 100.000. Nếu bạn dành ít phút để suy nghĩ về điều này, bạn sẽ thấy rằng điều đó hơi lạ. Tại sao những vị trí khác nhau trong vũ trụ, cách nhau những khoảng cách rất lớn, lại có nhiệt độ khớp với nhau đến như thế? Giải pháp dường như là tự nhiên cho câu đố này là cần lưu ý rằng, hai vị trí hiện nay ở đối kính với nhau qua bầu trời đúng là rất xa nhau, nhưng cũng giống như hai đứa trẻ song sinh tách ra khỏi nhau, trong những thời điểm sớm nhất của vũ trụ, hai điểm đó (và mọi điểm khác) đều ở rất gần nhau. Vì cùng

xuất hiện từ một điểm xuất phát chung, nên bạn có thể cho rằng không có gì phải ngạc nhiên nếu như chúng cùng chia sẻ một số tính chất vật lý chung, chẳng hạn như nhiệt độ của chúng.

Trong mô hình chuẩn của vũ trụ học, ý kiến đó không đúng. Lý do như sau. Một bát súp nóng sẽ nguội dần tới nhiệt độ phòng vì nó tiếp xúc với không khí xung quanh lạnh hơn. Nếu như bạn đợi đủ lâu, thì nhiệt độ của bát súp và nhiệt độ không khí trong phòng, thông qua sự tiếp xúc với nhau, sẽ trở nên như nhau. Nhưng nếu súp được đựng trong phích, tất nhiên, nó sẽ giữ được nóng lâu hơn, bởi vì bây giờ nó ít liên lạc với môi trường bên ngoài. Điều này phản ánh một tính chất là: sự đồng nhất hóa nhiệt độ giữa hai vật dựa trên sự liên lạc kéo dài và thường xuyên giữa hai vật đó. Để kiểm chứng giả thiết cho rằng hai vị trí trong không gian hiện ở cách xa nhau những khoảng cách lớn vẫn chia sẻ cùng một nhiệt độ vì ban đầu chúng có tiếp xúc với nhau, chúng ta cần phải kiểm tra hiệu quả trao đổi thông tin giữa hai vị trí đó ở thời kỳ đầu của vũ trụ. Thoạt tiên, bạn tưởng rằng do ban đầu hai vị trí đó ở gần nhau, nên sự liên lạc khá dễ dàng. Tuy nhiên, sự gần gũi về không gian chỉ mới là một phần của câu chuyện mà thôi. Phần còn lại phải tính đến cả sự kéo dài về thời gian nữa.

Để xem xét vấn đề một cách đầy đủ hơn, hãy tưởng tượng ta nghiên cứu một "cuốn phim" về sự giãn nở của vũ trụ, nhưng cho nó chạy theo chiều ngược lại, tức là bắt đầu từ ngày hôm nay và giật lùi lại cho tới Big Bang. Vì vận tốc ánh sáng đặt ở một giới hạn trên mọi tín hiệu và thông tin, nên vật chất ở hai vùng khác nhau của không gian có thể trao đổi năng lượng nhiệt và do đó có cơ may tiến tới cùng một nhiệt độ chỉ khi khoảng cách giữa chúng ở thời điểm đã cho phải nhỏ hơn khoảng cách mà ánh sáng đi được kể từ Big Bang. Và như vậy, khi cho cuốn phim chạy ngược chiều thời gian, chúng ta sẽ thấy có hai hiệu ứng cạnh tranh nhau: một mặt, là mức độ gần gũi của hai vùng không gian và mặt khác, là khoảng thời gian cần thiết để đưa hai vùng trở lại khoảng cách gần gũi đó. Ví dụ, nếu để cho khoảng cách hai vùng là 300.000km, chúng ta cần phải quay về tới thời điểm nhỏ hơn một giây sau Big Bang, thì mặc dù bây giờ hai vùng đã gần nhau hơn nhiều, nhưng chúng không có cách nào để ảnh hưởng lên nhau, vì ánh sáng phải mất trọn một giây mới đi hết khoảng cách giữa chúng [1]. Nếu để cho khoảng cách giữa hai vùng còn nhỏ hơn nữa, ví dụ như 300km chẳng hạn, ta phải cho cuốn phim chạy ngược lại tới thời điểm nhỏ hơn một phần ngàn giây

sau Big Bang, thì ta lại suy ra chính kết luận đó: hai vùng vẫn không thể ảnh hưởng lên nhau vì trong thời gian nhỏ hơn một phần ngàn giây, ánh sáng không thể đi được khoảng cách 300km giữa chúng. Tương tự, nếu chúng ta cho cuốn phim chạy ngược tới thời điểm một phần tỷ giây sau Big Bang, để hai vùng cách nhau chỉ là 30cm, thì chúng vẫn không thể ảnh hưởng lên nhau vì không có đủ thời gian từ Big Bang để ánh sáng đi hết khoảng cách 30cm giữa chúng. Điều này chứng tỏ rằng, chỉ riêng thực tế là hai điểm ngày càng gần nhau khi chúng ta càng lùi dần về Big Bang, thì chưa đủ để đảm bảo chúng có thể trao đổi nhiệt với nhau để dẫn tới có cùng nhiệt độ.

Các nhà vật lý đã chứng minh được rằng đây chính là vấn đề đã nổi cộm lên trong mô hình chuẩn của vũ trụ học. Những tính toán chi tiết còn chứng tỏ rằng những vùng hiện nay ở rất xa nhau không thể có cách nào để trao đổi nhiệt, do đó không thể giải thích được sự đồng nhất về nhiệt độ của chúng. Vì từ chân trời dùng để chỉ tầm xa mà ta có thể nhìn thấy - tức ánh sáng có thể truyền xa tới mức nào, nếu có thể nói như vậy - nên các nhà vật lý đã gọi sự đồng đều về nhiệt độ trong toàn vũ trụ mà ta chưa giải thích được đó là "bài toán chân trời". Vấn đề hóc búa này không có nghĩa mô hình chuẩn của vũ trụ học là sai. Nhưng sự đồng đều về nhiệt độ đã gợi ý rất rõ ràng, chúng ta đã bỏ sót một phần quan trọng trong câu chuyện vũ trụ học. Năm 1979, nhà vật lý Alan Guth, hiện làm việc ở Học viện Công nghệ Massachussetts, đã viết nốt chương bị bỏ sót đó.

[1] Sự trình bày của chúng tôi chuyển tải tinh thần của những vấn đề có liên quan mặc dù chúng tôi có lờ đi một số khía cạnh tinh tế liên quan tới sự chuyển động của ánh sáng trong vũ trụ giãn nở (nhưng điều này chỉ có ảnh hưởng tới những con số chi tiết mà thôi). Đặc biệt, mặc dù thuyết tương đối hẹp khẳng định rằng không gì có thể chuyển động nhanh hơn ánh sáng, nhưng điều này không hề ngăn cấm hai photon được mang theo cùng sự giãn nở của không gian lùi ra xa nhau với vận tộc lớn hơn vận tốc ánh sáng. Ví dụ, vào thời kỳ đầu tiên vũ trụ bắt đầu trở nên trong suốt, tức là khoảng 300.000 năm sau Big Bang, hai vị trí ở cách xa nhau 900.000 năm ánh sáng vẫn có thể có ảnh hưởng lẫn nhau, thậm chí mặc dù hai vị trí đó ở cách xa nhau lớn hơn 300.000 năm ánh sáng. Thừa số 3 (tức 3 x 300.000 = 900.000) ở đây chính là do sự giãn nở của cấu trúc không gian. Điều này có nghĩa là khi chúng ta cho cuộn phim tiến hóa của vũ trụ quay ngược lại theo thời gian, thì khi trở lại

thời điểm sau Big Bang 300.000 năm, hai điểm chỉ cần ở cách xa nhau nhỏ hơn 900.000 năm ánh sáng là đã có khả năng ảnh hưởng đến nhiệt độ của nhau. Tuy nhiên, những con số chi tiết đó không hề làm thay đổi những đặc điểm định tính của những vấn đề mà chúng ta đã thảo luận.

Guth đã tìm ra một nghiệm khác của phương trình Einstein trong đó vũ trụ nguyên thủy trải qua một giai đoạn ngắn giãn nở cực nhanh, thời kỳ mà vũ trụ "lạm phát" về kích thước với tốc độ giãn nở theo hàm mũ...

•◎Sự lạm phát

Nguồn gốc của bài toán chân trời là ở chỗ: để cho hai vùng ở cách rất xa nhau trong vũ trụ tiến lại gần nhau, chúng ta cần phải cho cuốn phim tiến hóa của vũ trụ chạy ngược trở lại điểm bắt đầu của thời gian. Thực tế, sự chạy lui trở lại xa tới mức không có đủ thời gian cho những ảnh hưởng kịp truyền từ vùng này đến vùng khác. Do đó khó khăn là ở chỗ, khi chúng ta cho cuốn phim quay ngược và lùi dần về Big Bang, thì vũ trụ không co lại với tốc độ đủ nhanh.

Tất nhiên, đấy mới chỉ là một ý tưởng thô sơ, nhưng nó cũng đáng để chúng ta nói kỹ hơn một chút. Bài toán chân trời xuất hiện từ một thực tế: cũng giống như đối với quả bóng được ném lên, lực hút hấp dẫn làm cho tốc độ giãn nở của vũ trụ bị chậm lại. Điều này có nghĩa là, để giảm một nửa khoảng cách giữa hai vùng trong vũ trụ, thì chúng ta cần phải cho cuộn phim chạy ngược quá một nửa trên con đường trở lại gốc thời gian. Nói một cách khác, để khoảng cách giữa hai vùng giảm đi một nửa thì chúng ta phải mất hơn một nửa khoảng thời gian ngăn cách chúng ta với Big Bang. Càng ít thời gian kể từ Big Bang thì có nghĩa là hai vùng càng khó liên lạc với nhau, ngay cả khi chúng tới gần nhau hơn.

Giải pháp của Guth về bài toán chân trời bây giờ có thể trình bày một cách đơn giản như sau. Guth đã tìm ra một nghiệm khác của phương trình Einstein trong đó vũ trụ nguyên thủy trải qua một giai đoạn ngắn giãn nở cực nhanh, thời kỳ mà vũ trụ "lạm phát" về kích thước với tốc độ giãn nở theo hàm mũ. Khác với trường hợp quả bóng chuyển động chậm dần khi được ném đi lên, sự giãn nở theo hàm mũ lại mỗi lúc một nhanh hơn. Và khi chúng ta cho cuộn phim vũ trụ chạy ngược lại, thì sự giãn nở tăng tốc nhanh trở thành sự co lại giảm tốc nhanh. Điều này có nghĩa là để giảm một nửa khoảng cách giữa hai vùng trong vũ trụ (ở thời kỳ lạm phát) chúng ta cần cho cuốn phim chạy ít hơn một nửa

đường, mà thực tế là ít hơn nhiều. Cho cuốn phim chạy lại ít hơn có nghĩa là hai vùng có nhiều thời gian hơn để liên lạc với nhau, và giống như bát súp và không khí, hai vùng có đủ thời gian để đi tới cùng một nhiệt độ.

Nhờ phát minh của Guth và những hoàn thiện rất quan trọng sau đó của Andrei Linde hiện thuộc Đại học Stanford, Paul Steinhardt và Andress Albrecht hồi đó thuộc Đại học Pénnylvania cùng với nhiều người khác, mô hình chuẩn của vũ trụ học đã được đổi mới thành mô hình lạm phát của vũ trụ học. Trong khuôn khổ đó, mô hình chuẩn của vũ trụ học chỉ bị thay đổi trong một cửa sổ nhỏ về thời gian - từ 10-36 đến 10-34 giây sau Big Bang - trong đó vũ trụ giãn nở với một hệ số khổng lồ, ít nhất nó cũng lớn lên gấp 1030 lần (để so sánh, lưu ý rằng trong mô hình chuẩn, với cùng một khoảng thời gian đó, vũ trụ chỉ lớn lên gấp 100 lần). Điều này có nghĩa là trong một khoảng thời gian cực nhỏ, cỡ một phần tỷ tỷ tỷ tỷ giây sau Big Bang, kích thước của vũ trụ đã tăng với một tỷ lệ phần trăm lớn hơn cả 15 tỷ năm sau đó. Trước sự giãn nở này, vật chất mà hiện nay ở những vùng rất xa nhau trong vũ trụ thực sự đã ở rất gần nhau, gần hơn so với trong mô hình chuẩn, điều này khiến cho chúng dễ dàng thiết lập một nhiệt độ chung. Sau đó, nhờ sự bùng nổ lạm phát gần như tức thời của Guth, rồi tiếp sau là sự giãn nở bình thường theo mô hình chuẩn - những vùng này của không gian có thể trở nên rất cách xa nhau như chúng ta chứng kiến hiện nay. Và như vậy, một sự thay đổi lạm phát ngắn ngủi nhưng cơ bản, đã làm cho mô hình chuẩn của vũ trụ học giải quyết được bài toán chân trời (cũng như nhiều vấn đề quan trọng khác mà chúng tôi không trình bày ở đây) và đã được đông đảo các nhà vũ trụ học chấp nhận [2].

Chúng tôi tóm tắt lịch sử của vũ trụ từ ngay sau thời gian Planck cho tới nay, theo lý thuyết hiện hành, trên hình 14.1

Hình 14.1.Hình 14.1. Đường thẳng thời gian ghi lại những thời điểm then chốt trong lịch sử vũ trụ

[2] Để có thể hiểu biết chi tiết và sinh động hơn về vũ trụ học lạm phát và những vấn đề mà nó giải quyết được, hãy xem cuốn The Inflationary Universe của Alain Guth (Reading, Mass: Anddison - Wesley, 1997)

Tới thời gian zêrô, khi kích thước của vũ trụ không còn nữa thì nhiệt độ và mật độ tăng vọt tới vô cùng, báo hiệu với chúng ta rằng mô hình vũ

trụ của chúng ta chỉ dựa trên thuyết tương đối tổng quát đã thất bại hoàn toàn...

•◎Vũ trụ học và lý thuyết dây

Vẫn còn có một mẩu rất nhỏ trên hình 14.1 giữa Big Bang và thời gian Planck, mà ta chưa hề đề cập tới. Bằng cách áp dụng một cách máy móc các phương trình của thuyết tương đối rộng cho khoảng này, các nhà vật lý đã phát hiện ra rằng vũ trụ sẽ càng nhỏ hơn, nóng hơn và đặc hơn khi càng tiến gần tới Big Bang. Tới thời gian zêrô, khi kích thước của vũ trụ không còn nữa thì nhiệt độ và mật độ tăng vọt tới vô cùng, báo hiệu với chúng ta rằng mô hình vũ trụ của chúng ta chỉ dựa trên thuyết tương đối tổng quát đã thất bại hoàn toàn.

Tự nhiên đã long trọng mách bảo chúng ta rằng, trong những điều kiện như vậy cần phải kết hợp cơ học lượng tử với thuyết tương đối rộng. Nói một cách khác, chúng ta cần phải sử dụng lý thuyết dây. Hiện nay, những nghiên cứu về các hệ quả của lý thuyết dây đối với vũ trụ học mới ở giai đoạn phát triển ban đầu. Các phương pháp nhiễu loạn, may lắm, cũng chỉ cho chúng ta những chỉ dẫn khái lược, bởi vì ở những năng lượng và mật độ cực cao như vậy đòi hỏi phải có sự phân tích hết sức chính xác. Tuy cuộc cách mạng siêu dây lần thứ hai đã cung cấp một số kỹ thuật phi nhiễu loạn, nhưng cũng phải mất một thời gian nữa, để những kỹ thuật này được mài dũa và hoàn chỉnh thêm mới có thể dùng được cho những tính toán trong vũ trụ học, trong khoảng một chục năm trở lại đây, các nhà vật lý đã đi được những bước đi đầu tiên trên con đường tìm hiểu vũ trụ học dây. Dưới đây là những điều họ đã phát hiện được.

Hóa ra, lý thuyết dây có thể cải tiến mô hình chuẩn của vũ trụ học theo ba cách cơ bản. Thứ nhất, theo cách mà các nghiên cứu hiện nay đang tiếp tục làm rõ: vũ trụ có thể có kích thước cực tiểu là bao nhiêu? Điều này có những hệ quả rất cơ bản đến hiểu biết của chúng ta về vũ trụ ở chính thời điểm Big Bang, khi mà mô hình chuẩn của vũ trụ học tuyên bố rằng kích thước của vũ trụ co dần tới zêrô. Thứ hai, lý thuyết dây có tính đối ngẫu bán kính lớn /bán kính nhỏ (liên quan mật thiết với kích thước tối thiểu khả dĩ) và điều này cũng có những hệ quả quan trọng đối với vũ trụ học như chúng ta sẽ thấy dưới đây. Và cuối cùng, lý thuyết dây có hơn bốn chiều không - thời gian và trên quan điểm vũ trụ học, thì chúng ta phải xét sự tiến hóa của tất cả các chiều đó. Bây giờ

chúng ta sẽ xem xét tất cả những điểm đó một cách chi tiết hơn.

Ngay ban đầu đã có một cục với kích thước planck

Vào cuối những năm 1980, Robert Brandenberger và Cumrun Vafa đã có những bước đi quan trọng đầu tiên tiến tới tìm hiểu cách thức áp dụng những đặc trưng lý thuyết của lý thuyết dây để làm thay đổi những kết luận của mô hình chuẩn trong vũ trụ học. Họ đã đi tới hai phát minh quan trọng. Thứ nhất, khi chúng ta cho đồng hồ chạy ngược về phía bắt đầu, nhiệt độ liên tục tăng cho tới khi kích thước của vũ trụ đạt tới cỡ chiều dài Planck theo mọi hướng. Nhưng tới đó, nhiệt độ sẽ vấp phải một cực đại rồi bắt đầu giảm. Để đơn giản, hãy tưởng tượng (như Brandenberger và Vafa) rằng tất cả các chiều không gian của vũ trụ đều cuộn tròn lại. Khi chúng ta cho đồng hồ chạy ngược chiều dòng thời gian và bán kính các vòng tròn này co lại, nhiệt độ của vũ trụ sẽ tăng. Nhưng khi mỗi bán kính này đều co lại về kích thước Planck và sau đó vượt qua giới hạn đó, chúng ta biết rằng, theo lý thuyết dây, điều này về mặt vật lý là đồng nhất với trường hợp các bán kính co lại tới chiều dài Planck rồi nảy ngược trở lại theo hướng có kích thước tăng. Vì nhiệt độ giảm khi vũ trụ giãn nở, nên chúng ta có thể hy vọng rằng, việc không thể nén vũ trụ xuống dưới kích thước Planck có nghĩa là nhiệt độ sẽ ngừng tăng, tức là đạt cực đại, rồi sau đó bắt đầu giảm. Thông qua những tính toán chi tiết, Brandenberger và Vafa đã chứng tỏ một cách tường minh rằng thực sự đúng là như vậy.

Điều này đã dẫn Brandenberger và Vafa đi tới bức tranh vũ trụ học sau. Ban đầu, tất cả các chiều không gian của lý thuyết dây đều cuộn chặt với kích thước nhỏ nhất có thể, đại khái cỡ chiều dài Planck. Nhiệt độ và năng lượng rất cao, nhưng không phải là vô hạn, vì lý thuyết dây đã tránh được vấn đề điểm xuất phát có độ nén vô hạn và kích thước zêrô. Tại thời điểm bắt đầu đó của vũ trụ, tất cả các chiều không gian của lý thuyết dây đều hoàn toàn bình đẳng với nhau, hay nói cách khác là chúng hoàn toàn đối xứng, tất cả đều bị cuộn lại thành một cục nhiều chiều có kích thước cỡ chiều dài Planck. Sau đó, theo Brandenberger và Vafa, vào khoảng thời gian Planck, vũ trụ sẽ trải qua giai đoạn phá vỡ đối xứng đầu tiên, khi mà ba chiều không gian được tách riêng ra để giãn nở, trong khi đó các chiều còn lại vẫn giữ nguyên kích thước ban đầu cỡ chiều dài Planck. Ba chiều không gian này sau đó được đồng nhất với ba chiều trong kịch bản vũ trụ lạm phát, sự tiến hóa sau thời

gian Planck được tổng kết trên hình 14.1 nắm quyền chi phối và ba chiều này giãn nở tới dạng hiện nay như chúng ta quan sát được.

Điều gì đã làm phá vỡ đối xứng để chỉ tách ra và cho giãn nở đúng ba chiều không gian?... lý thuyết dây có đưa ra một lý do cơ bản nào để giải thích tại sao những số chiều khác (như 4, 5, 6...) hoặc đối xứng hơn, tất cả các chiều không gian lại không giãn nở?...

•◎Tại sao lại là ba?

Một câu hỏi ngay lập tức được đặt ra là: điều gì đã làm phá vỡ đối xứng để chỉ tách ra và cho giãn nở đúng ba chiều không gian? Tức là, ngoài sự kiện thực nghiệm là chỉ có ba chiều không gian đã giãn nở tới kích thước quan sát được, lý thuyết dây có đưa ra một lý do cơ bản nào để giải thích tại sao những số chiều khác (như 4, 5, 6...) hoặc đối xứng hơn, tất cả các chiều không gian lại không giãn nở? Brandenberger và Vafa cũng đưa ra một cách giải thích khả dĩ. Hãy nhớ lại rằng tính đối ngẫu bán kính lớn / bán kính nhỏ của lý thuyết dây dựa trên một thực tế là, khi một chiều bị cuốn thành một vòng tròn thì dây có thể quấn quanh nó. Brandenberger và Vafa đã phát hiện ra rằng, giống như một dải cao su quấn quanh một chiếc xăm xe đạp, những dây quấn như thế có xu hướng xiết chặt những chiều mà chúng bao quanh, giữ cho chúng không thể giãn nở được. Thoạt nhìn, điều này dường như có nghĩa là tất cả các chiều đều bị xiết chặt, vì các dây có thể và thực sự quấn quanh tất cả các chiều đó. Vấn đề là ở chỗ, nếu một dây quấn và phản dây tương ứng với nó (nói một cách nôm na là dây quấn quanh chiều đó nhưng theo hướng ngược lại) tiếp xúc với nhau, chúng sẽ hủy nhau rất nhanh để tạo ra một dây không quấn. Nếu quá trình này xảy ra đủ nhanh và có hiệu suất cao, thì sự hạn chế giống như dải cao su sẽ được nới lỏng, và chiều đó có thể giãn nở. Brandenberger và Vafa khẳng định rằng sự gỡ bỏ tác dụng xiết chặt của các dây quấn đó chỉ xảy ra đối với ba chiều không gian. Dưới đây là lý do vì sao.

Hãy hình dung hai hạt lăn trên một đường một chiều trong Xứ sở Phẳng. Nếu chúng không có vận tốc như nhau, thì sớm hay muộn chúng cũng sẽ va chạm với nhau. Tuy nhiên, lưu ý rằng nếu hai hạt điểm đó lăn ngẫu nhiên trên một mặt phẳng hai chiều của Xứ sở Phẳng, thì rất có thể là chúng sẽ chẳng bao giờ va chạm với nhau. Như vậy, chiều không gian thứ hai đã mở ra một thế giới mới cho quỹ đạo của các hạt, trong đó đa số không cắt nhau tại cùng một điểm ở cùng một thời

gian. Với ba, bốn hay bất kỳ số chiều cao nào cao hơn, thì lại càng ít có khả năng để các hạt gặp nhau hơn. Brandenberger và Vafa cũng nhận thấy rằng ý tưởng tương tự cũng đúng nếu ta thay các hạt bằng các vòng dây quấn quanh các chiều không gian. Mặc dù khi này sẽ khó hình dung hơn nhiều, nếu như có ba (hoặc ít hơn) các chiều không gian cuộn tròn, thì hai dây quấn sẽ có nhiều khả năng gặp nhau hơn, tương tự như hai hạt chuyển động một chiều. Nhưng nếu như có bốn hoặc nhiều hơn các chiều không gian bị cuộn tròn, thì các vòng dây quấn càng ít có khả năng gặp nhau hơn - tương tự như hai hạt chuyển động trong mặt phẳng hai chiều.

Điều này sẽ dẫn đến bức tranh sau. Trong những khoảnh khắc đầu tiên của vũ trụ, sự chuyển động náo nhiệt ở nhiệt độ cao, nhưng hữu hạn, làm cho tất cả các chiều cuộn tròn đều có xu hướng giãn nở ra. Nhưng khi đó, các dây quấn sẽ kiềm chế sự giãn nở, xiết chặt các chiều trở lại kích thước Planck ban đầu của chúng. Nhưng rồi sớm hay muộn những thăng giáng nhiệt ngẫu nhiên cũng sẽ làm cho ba chiều không gian tức thời trở nên lớn hơn các chiều khác và như đã thảo luận ở trên, những dây quấn quanh các chiều này dễ có khả năng gặp nhau hơn. Khoảng một nửa các va chạm của cặp dây/phản dây sẽ hủy nhau, do đó nới lỏng sự kiềm chế, cho phép các chiều này tiếp tục giãn nở. Và khi các chiều này giãn nở càng nhiều thì lại càng ít có khả năng để các dây khác quấn quanh, vì để quấn quanh những chiều lớn hơn đòi hỏi phải có nhiều năng lượng hơn. Như vậy, sự giãn nở hồi tiếp cho chính nó, làm cho các chiều càng giãn nở càng ít bị kiềm chế hơn. Bây giờ thì chúng ta có thể hình dung được rằng ba chiều không gian đó tiếp tục tiến hóa theo cách đã được mô tả ở các mục trước và giãn nở tới kích thước lớn bằng hoặc lớn hơn vũ trụ mà chúng ta quan sát thấy hiện nay.

•◎Vũ trụ học và các không gian Calabi-Yau

Để đơn giản, Brandenberger và Vafa đã hình dung rằng tất cả các chiều không gian bị cuộn tròn. Thực tế, như đã nói trong chương 8, dạng tròn sẽ là phù hợp với vũ trụ mà chúng ta quan sát được, chừng nào mà các chiều tròn là đủ lớn để tự cuộn lại ở bên ngoài khả năng quan sát hiện nay của chúng ta. Nhưng đối với các chiều có kích thước nhỏ, thì sẽ hiện thực hơn nếu như chúng cuộn thành một không gian Calabi-Yau phức tạp. Tất nhiên, vấn đề then chốt là không gian Calabi-Yau nào? Làm thế nào xác định được không gian cụ thể nào đó? Hiện nay chưa ai có thể

trả lời được câu hỏi đó. Nhưng bằng cách tổng hợp những kết quả do sự thay đổi dữ dội của tôpô đã được trình bày trong chương trước với những phát hiện mới trong vũ trụ học, người ta có thể đề xuất những phương tiện làm chuyện đó.

Nhờ những dịch chuyển conifold xé rách không gian, chúng ta biết rằng một không gian Calabi-Yau này có thể tiến hóa thành một không gian Calabi-Yau khác. Như vậy chúng ta có thể hình dung rằng, trong những thời điểm rất nóng với những thăng giáng dữ dội, thành phần Calabi-Yau của không gian tuy vẫn rất nhỏ, nhưng thông qua một vũ điệu cuồng loạn, trong đó cấu trúc của nó bị xé rách rồi lại hàn lại nhiều lần, nó sẽ nhanh chóng tạo ra một dãy dài những không gian Calabi-Yau khác nhau. Khi vũ trụ lạnh đi và ba chiều không gian trở nên lớn hơn, những chuyển dịch từ không gian Calabi-Yau này sang không gian Calabi-Yau khác sẽ chậm lại, với các chiều phụ, cuối cùng, an bài ở một không gian Calabi-Yau cho những tính chất vật lý phù hợp với thế giới xung quanh chúng ta. Thách thức đối với các nhà vật lý hiện nay là phải hiểu được một cách chi tiết sự tiến hóa của thành phần Calabi-Yau của không gian sao cho dạng hiện nay của nó có thể tiên đoán được từ các nguyên lý vật lý. Với khả năng mới phát hiện được về sự biến đổi trơn và liên tục từ một không gian Calabi-Yau này sang không gian Calabi-Yau khác, chúng ta thấy rằng vấn đề chọn ra được một không gian Calabi-Yau từ rất nhiều không gian như thế, thực tế, có thể suy về một bài toán của vũ trụ học.

Trong cái kịch bản được gọi là tiền Big Bang này, vũ trụ được bắt đầu trong một trạng thái khác rất nhiều so với trạng thái trong khuôn khổ Big Bang... thay vì bị cuộn chặt thành một cục không gian rất nóng và nhỏ xíu, vũ trụ xuất phát là rất lạnh và cơ bản là vô hạn về không gian...

•◎Thế còn trước lúc bắt đầu

Do không có những phương trình chính xác của lý thuyết, nên trong những nghiên cứu vũ trụ học của mình, Brandenberger và Vafa buộc phải dùng nhiều phép gần đúng và giả thiết. Như Vafa đã nói mới đây:

Công trình của chúng tôi đã làm nổi bật phương cách mới trong đó lý thuyết dây cho phép chúng ta đề cập tới những vấn đề gai góc nhất trong mô hình chuẩn của vũ trụ học. Ví dụ, chúng ta thấy rằng, toàn bộ khái niệm kỳ dị ban đầu đã tránh được hoàn toàn nhờ lý thuyết dây.

Nhưng, do những khó khăn trong việc thực hiện những tính toán thực sự đáng tin cậy trong những tình huống cực hạn như vậy với sự hiểu biết hiện nay của chúng ta về lý thuyết dây, nên công trình của chúng tôi mới chỉ cung cấp một cái nhìn ban đầu vào vũ trụ học dây và còn rất xa mới có thể nói lời cuối cùng [1].

Từ công trình của họ, các nhà vật lý đã có những bước tiến đều đặn trên con đường tìm hiểu vũ trụ học dây, mà tiên phong là Gabriele Veneziano và cộng sự của ông là Maurizio Gasperini thuộc Đại học Torino cùng với những người khác. Thực tế, Gasperini và Veneziano đã đề xuất một phiên bản khác của vũ trụ học dây, trong đó có nhiều đặc trưng chung với kịch bản mà ta vừa mô tả ở trên, nhưng cũng có những đặc trưng khác một cách đáng kể. Giống như trong công trình của Brandenberger và Vafa, họ cũng dựa trên tính chất có chiều dài cực tiểu của lý thuyết dây để tránh nhiệt độ và năng lượng vô hạn đã từng xuất hiện trong mô hình chuẩn cũng như trong mô hình lạm phát của vũ trụ học. Nhưng thay vì kết luận điều đó có nghĩa là vũ trụ bắt đầu từ một cục rất nóng và có kích thước Planck, Gasperini và Veneziano lại cho rằng có thể có cả một tiền sử của vũ trụ - xuất phát từ rất lâu trước cái mà chúng ta gọi là thời gian zêrô - rồi mới tới cái bào thai vũ trụ có kích thước Planck.

Trong cái kịch bản được gọi là tiền Big Bang này, vũ trụ được bắt đầu trong một trạng thái khác rất nhiều so với trạng thái trong khuôn khổ Big Bang. Công trình của Gasperini và Veneziano đề xuất rằng thay vì bị cuộn chặt thành một cục không gian rất nóng và nhỏ xíu, vũ trụ xuất phát là rất lạnh và cơ bản là vô hạn về không gian. Khi đó, những phương trình của lý thuyết dây chỉ ra rằng - tựa như trong thời kỳ lạm phát của Guth - một sự không ổn định nào đó có thể làm cho mọi điểm trong vũ trụ nhanh chóng phi ra xa nhau. Gasperini và Veneziano đã chứng minh được rằng điều đó làm cho không gian càng bị cong hơn, dẫn tới nhiệt độ và mật độ năng lượng tăng lên ghê gớm. Sau một thời gian, một vùng ba chiều có kích thước cỡ milimét ở bên trong khoảng không bao la đó nhìn rất giống với một mảnh đặc và nóng trong thời kỳ lạm phát của Guth. Sau đó, nhờ sự giãn nở chuẩn trong vũ trụ học Big Bang thông thường, mảnh này có thể giải thích cho toàn bộ vũ trụ mà chúng ta quen thuộc. Hơn nữa, vì thời kỳ tiền Big Bang liên quan với sự giãn nở lạm phát riêng của nó, nên giải pháp của Guth cho bài toán chân trời cũng tự động được đưa vào trong kịch bản vũ trụ học tiền Big Bang.

Như Veneziano đã nói: "Lý thuyết dây đã dâng cho chúng tôi một phiên bản về vũ trụ học lạm phát trên một chiếc khay bạc" [2].

Vũ trụ học siêu dây đã nhanh chóng trở thành một lĩnh vực nghiên cứu sôi động và màu mỡ. Ví dụ, kịch bản tiền Big Bang đã làm nảy sinh nhiều cuộc cạnh tranh gay gắt song rất bổ ích, nhưng còn lâu chúng ta mới thấy rõ vai trò của nó trong lý thuyết vũ trụ học, một lý thuyết cuối cùng sẽ xuất hiện từ lý thuyết dây. Để đạt được những tiến bộ như thế trong vũ trụ học, chắc chắn sẽ phải dựa trên khả năng thâu tóm được mọi phương diện của cuộc cách mạng siêu dây lần thứ hai của các nhà vật lý. Ví dụ như, sự tồn tại của các brane cơ bản với số chiều cao sẽ có những hệ quả gì đối với vũ trụ học? Những tính chất vũ trụ học được trình bày ở trên sẽ thay đổi như thế nào, nếu như hằng số liên kết của lý thuyết dây cuối cùng sẽ đưa chúng ta tới vùng trung tâm của hình 12.1 chứ không tiến tới một vùng bán đảo nào? Nói một cách khác, lý thuyết - M, với tất cả sức mạnh và tầm vóc của nó, sẽ có tác dụng gì đến những khoảnh khắc sớm nhất của vũ trụ? Những vấn đề trung tâm này hiện đang được nghiên cứu rất ráo riết và người ta cũng đã phát hiện được một điều quan trọng.

Mặc dù nói thì quá dễ dàng, nhưng điều đó chỉ ra rằng, nếu ta dùng khuôn khổ rộng lớn hơn của lý thuyết - M thì sự thống nhất của vũ trụ học sẽ trở nên dễ dàng hơn rất nhiều...

•◎Lý thuyết - M và sự thống nhất của bốn lực

Hình 7.1 đã cho chúng ta thấy, khi nhiệt độ của vũ trụ đủ cao, cường độ của ba lực phi hấp dẫn đã hội tụ lại với nhau như thế nào. Nhưng một câu hỏi được đặt ra: vậy thì cường độ lực hấp dẫn thể hiện như thế nào trên bức tranh đó? Trước khi xuất hiện lý thuyết - M, các nhà lý thuyết dây đã chứng minh được rằng, với những lựa chọn đơn giản nhất cho thành phần Calabi-Yau của không gian, thì lực hấp dẫn cũng gần như chứ không hoàn toàn hòa nhập với ba lực kia, như được minh họa trên hình 14.2. Các nhà lý thuyết dây cũng đã phát hiện ra rằng sự không trùng khớp đó có thể khắc phục được nếu như chúng ta "đục nặn" một cách cẩn thận không gian Calabi-Yau được chọn cùng với nhiều xảo thuật khác, nhưng sự hoàn chỉnh kiểu vuốt đuôi như vậy không bao giờ làm cho các nhà vật lý hài lòng cả. Vì hiện nay không ai biết làm thế nào tiên đoán được dạng cụ thể của không gian Calabi-Yau tạo bởi các chiều phụ, nên sẽ rất là nguy hiểm nếu như ta dựa vào lời giải của những bài

toán phụ thuộc rất nhạy cảm vào những chi tiết tinh tế của không gian đó.

Tuy nhiên, Witten đã chứng tỏ rằng cuộc cách mạng siêu dây lần thứ hai đã cung cấp một giải pháp vững chắc hơn rất nhiều. Bằng cách nghiên cứu sự biến thiên của cường độ các lực khi hằng số liên kết không nhất thiết phải nhỏ, Witten đã phát hiện ra rằng, đường cong biểu diễn cường độ của lực hấp dẫn sẽ tiến tới gần và hòa nhập với ba lực kia, như được minh họa trên hình 14.2, mà không phải đúc nặn cầu kỳ gì đối với phần Calabi-Yau của không gian. Mặc dù nói thì quá dễ dàng, nhưng điều đó chỉ ra rằng, nếu ta dùng khuôn khổ rộng lớn hơn của lý thuyết - M thì sự thống nhất của vũ trụ học sẽ trở nên dễ dàng hơn rất nhiều.

Hình 14.2.

Hình 14.2. Bên trong lý thuyết - M. cường độ của tất cả bốn lực có thể hòa nhập một cách tự nhiên.

Những phát triển mà ta đã thảo luận ở mục này và các mục trước là những bước thăm dò đầu tiên trên con đường tìm hiểu những hệ quả của lý thuyết dây /lý thuyết - M đối với vũ trụ học. Trong những năm tới, khi các công cụ phi nhiễu loạn của lý thuyết dây /lý thuyết - M được mài dũa sắc bén hơn, các nhà vật lý hy vọng sẽ có những tiến bộ cơ bản trong việc giải đáp nhiều câu hỏi quan trọng của vũ trụ học.

Nhưng do hiện nay còn chưa có những phương pháp đủ mạnh để tìm hiểu vũ trụ học theo lý thuyết dây một cách đầy đủ, nên rất cần phải suy nghĩ về một số khảo sát chung hơn liên quan tới vai trò của vũ trụ học trong cuộc tìm kiếm một lý thuyết tối hậu. Cũng cần phải cảnh báo rằng một số trong những ý tưởng đó có bản chất tư biện còn hơn những gì mà chúng ta đã thảo luận trước đây, nhưng chúng cũng đặt ra những vấn đề mà bất cứ một lý thuyết nào được xem là tối hậu, sớm muộn gì cũng sẽ phải trả lời.

[1] Phỏng vấn Cumrun Vafa, ngày 12 tháng 1 năm 1998.

[2] Phỏng vấn Gabriele Veneziano, ngày 19 tháng 5 năm 1998.

Nhưng những nghiên cứu vũ trụ học hứa hẹn mang lại cho chúng ta sự hiểu biết đầy đủ nhất về bối cảnh của cái tại sao - sự ra đời của vũ trụ -

và ít nhất điều đó cũng cho phép chúng ta có được một quan điểm khoa học về cái khuôn khổ mà trong đó các câu hỏi đã được đặt ra...

•◎Những tư biện vũ trụ học và lý thuyết tối hậu

Vũ trụ học có khả năng cuốn hút chúng ta ở mức độ rất sâu xa, bởi lẽ, ít nhất cũng là đối với một số người, hiểu được vạn vật bắt đầu như thế nào cũng có cảm giác tựa như là đã tiến gần đến chỗ hiểu được tại sao lại như thế. Điều đó không có nghĩa là khoa học hiện đại xác lập được mối quan hệ giữa câu hỏi thế nào và câu hỏi tại sao và cũng rất có thể là mối quan hệ khoa học như thế chẳng bao giờ có thể tìm được. Nhưng những nghiên cứu vũ trụ học hứa hẹn mang lại cho chúng ta sự hiểu biết đầy đủ nhất về bối cảnh của cái tại sao - sự ra đời của vũ trụ - và ít nhất điều đó cũng cho phép chúng ta có được một quan điểm khoa học về cái khuôn khổ mà trong đó các câu hỏi đã được đặt ra. Sự thấm nhuần tới mức sâu sắc nhất một câu hỏi đôi khi lại là sự thay thế tốt nhất của chúng ta cho việc thực sự có câu trả lời.

Do đó, trong bối cảnh của cuộc tìm kiếm lý thuyết tối hậu, những suy tư cao siêu đó về vũ trụ học lại dẫn tới những xem xét cụ thể hơn nhiều. Cách thức mà vũ trụ học trở nên như nó ngày hôm nay - ở đầu phải cùng của mũi tên thời gian trên hình 14.1 - phụ thuộc vào các định luật cơ bản của vật lý, đó là một điều hiển nhiên rồi, tuy nhiên, nó cũng có thể còn phụ thuộc vào một số khía cạnh của vũ trụ lúc tất cả đều mới bắt đầu, từ tận đầu phải cùng của mũi tên thời gian, mà những khía cạnh này có thể nằm ngoài tầm của lý thuyết mạnh nhất trong số tất cả các lý thuyết.

Điều này cũng dễ hình dung thôi. Bạn hãy thử nghĩ xem điều gì sẽ xảy ra khi bạn ném một quả bóng lên không. Những định luật về hấp dẫn sẽ chi phối chuyển động sau đó của quả bóng, nhưng nếu chỉ dùng những định luật đó thôi, bạn sẽ không thể tiên đoán được điểm rơi của quả bóng trên mặt đất. Muốn vậy, bạn còn phải biết vận tốc - cả độ lớn và hướng của nó - khi quả bóng rời tay bạn. Nói một cách khác, bạn còn phải biết những điều kiện ban đầu của chuyển động của quả bóng nữa. Tương tự, cũng tồn tại những đặc trưng của vũ trụ tùy thuộc vào lịch sử của nó - lý do tại sao ngôi sao này lại hình thành ở đây, hành tinh này lại hình thành ở kia phụ thuộc vào một chuỗi phức tạp về một số đặc trưng của vũ trụ khi tất cả vừa mới bắt đầu. Nhưng ngay cả những đặc trưng hạt sơ cấp của vật chất lẫn của tương tác cũng có thể phụ thuộc trực tiếp

vào sự tiến hóa lịch sử - một sự tiến hóa mà chính bản thân nó cũng tùy thuộc vào những điều kiện ban đầu của vũ trụ.

Thực tế, chúng ta cũng đã từng thấy một sự thể hiện khả dĩ của ý tưởng đó trong lý thuyết dây. Khi vũ trụ cực nóng ở những khoảnh khắc đầu tiên bắt đầu tiến hóa, các chiều phụ có thể chuyển đổi từ dạng này sang dạng khác, rồi cuối cùng an bài ở một không gian Calabi-Yau cụ thể, khi mà mọi thứ đã đủ lạnh. Nhưng, cũng giống như quả bóng được ném lên không, kết cục của cuộc hành trình qua nhiều không gian Calabi-Yau đó có thể phụ thuộc một cách chi tiết vào chuyện cuộc hành trình đã xuất phát từ vị trí đầu tiên như thế nào. Và thông qua ảnh hưởng của không gian Calabi-Yau cuối cùng đến khối lượng và tính chất của các lực, chúng ta thấy rằng sự tiến hóa vũ trụ học và trạng thái của vũ trụ khi nó bắt đầu có thể tác động một cách sâu sắc đến vật lý mà ta quan sát thấy hiện nay.

Hiện chúng ta còn chưa biết những điều kiện ban đầu là gì, thậm chí những ý tưởng, khái niệm và ngôn ngữ được dùng để mô tả những điều kiện đó, chúng ta cũng chưa biết. Chúng ta tin rằng, trạng thái dữ dội ban đầu với năng lượng, mật độ và nhiệt độ vô hạn xuất hiện trong mô hình chuẩn và lạm phát của vũ trụ học là tín hiệu báo rằng những lý thuyết đó đã thất bại trong việc mô tả những điều kiện vật lý thực sự tồn tại. Lý thuyết dây đã hoàn thiện một bước bằng cách chứng tỏ được rằng, những giá trị vô hạn đó có thể tránh được, nhưng hiện vẫn chưa có ai có một ý niệm gì về chuyện mọi thứ đã được bắt đầu như thế nào. Thực tế, sự không hiểu biết của chúng ta còn nằm ở bình diện cao hơn: chúng ta cũng chưa biết vấn đề xác định các điều kiện ban đầu có phải là một câu hỏi có nghĩa hay không. Điều này cũng chẳng khác gì câu hỏi thuyết tương đối rộng có thể xác định được lực mà tay bạn đã ném quả bóng lên hay không - câu hỏi này vĩnh viễn nằm ngoài tầm của bất cứ một lý thuyết nào. Một số nhà vật lý, như Hawking và James Hartle thuộc Đại học California ở Santa Barbara đã táo bạo định đưa câu hỏi về những điều kiện ban đầu của vũ trụ học vào dưới cái ô của vật lý lý thuyết, nhưng những kết quả của họ chưa thực sự có sức thuyết phục. Trong bối cảnh lý thuyết dây /lý thuyết - M, những hiểu biết của chúng ta hiện nay về vũ trụ học còn quá thô sơ để có thể xác định được ứng viên cho "lý thuyết của tất cả" có xứng với cái tên đó hay không và liệu nó có xác định được các điều kiện ban đầu của vũ trụ học riêng của nó không. Đây là vấn đề có tầm quan trọng hàng đầu trong những nghiên

cứu tương lai.

Tuy nhiên, ngay cả khi tạm gác sang một bên vấn đề về các điều kiện ban đầu và sự tác động của chúng đến sự tiến hóa của vũ trụ đi nữa, thì những giả thiết mới đây, mang nặng tính tư biện, còn đưa ra những hạn chế tiềm tàng khác về khả năng giải thích của bất cứ lý thuyết tối hậu nào. Chưa có ai biết những ý tưởng đó đúng hay sai, và hiện thời chúng đang được phát triển ở ngoài rìa những dòng chủ lưu của khoa học. Tuy thế, những ý tưởng này cũng làm nổi rõ - theo một cách rất khiêu khích và tư biện - một trở ngại mà bất cứ lý thuyết tối hậu nào cũng sẽ vấp phải.

Ý tưởng cơ bản ở đây là như sau. Hãy tưởng tượng cái mà chúng ta thường gọi là vũ trụ thực sự chỉ là một phần nhỏ trong khoảng không vũ trụ to lớn hơn rất nhiều, một trong vô số những hòn đảo vũ trụ nằm rải rác trong một quần đảo vũ trụ học vĩ đại. Mặc dù điều này xem ra khá gượng ép - xét cho đến cùng cũng rất có thể - nhưng Andrei Linde đã đưa ra một cơ chế rất cụ thể để có thể dẫn tới một vũ trụ khổng lồ như vậy. Linde đã nhận thấy rằng, sự bùng nổ ngắn ngủi nhưng rất quan trọng của sự giãn nở lạm phát mà ta đã nói ở trên có thể không phải là một sự kiện duy nhất chỉ xảy ra một lần. Thay vì thế, theo Linde, những điều kiện của sự giãn nở lạm phát có thể xảy ra lặp đi lặp lại trong những vùng biệt lập nằm rải rác trong khắp vũ trụ, khiến cho những vùng này có thể có sự giãn nở lạm phát riêng, rồi tiến hóa thành những vũ trụ mới tách biệt nhau. Và trong mỗi một vũ trụ mới đó, quá trình này lại tiếp tục với những vũ trụ mới được nảy sinh ở những vùng xa xôi nhất của vũ trụ cũ, tạo ra một mạng vô tận những giãn nở vũ trụ. Mặc dù thuật ngữ này hơi rườm rà, nhưng chúng ta cũng đành theo thời thượng gọi khái niệm khá phổ biến này là đa vũ trụ, trong đó mỗi một bộ phận hợp thành của nó được gọi là một vũ trụ.

Như đã thảo luận trong chương 7, tất cả những điều mà chúng ta biết đều chỉ ra rằng, vật lý học vẫn còn nhất quán và như nhau trong khắp vũ trụ, nhưng điều này có thể không còn là đúng đối với những thuộc tính vật lý của các vũ trụ khác, chừng nào những vũ trụ đó ở rất xa chúng ta hay ít nhất cũng đủ xa để ánh sáng của chúng không có đủ thời gian tới được chúng ta. Và như vậy, chúng ta có thể hình dung rằng vật lý sẽ thay đổi từ vũ trụ này sang vũ trụ khác. Trong một số trường hợp, những khác biệt này rất tinh tế: chẳng hạn, khối lượng của electron

hoặc cường độ của lực mạnh chỉ khoảng một phần trăm ngàn lớn hơn hoặc nhỏ hơn so với trong vũ trụ chúng ta. Trong một số trường hợp khác, vật lý sẽ khác một cách rõ rệt hơn: chẳng hạn, quark u có thể nặng hơn cả chục lần so với trong vũ trụ chúng ta, hoặc cường độ lực điện từ có thể lớn hơn hàng chục lần so với giá trị mà chúng ta đo được, cùng với tất cả những hệ quả sâu sắc tác động đến các ngôi sao, đến sự sống mà chúng ta đã biết (như đã chỉ ra trong chương 1). Trong những vũ trụ khác nữa, vật lý còn có thể thay đổi một cách dữ dội hơn nữa: bản danh sách các hạt sơ cấp và các lực có thể hoàn toàn khác so với vũ trụ của chúng ta hoặc ngay cả đối với một đặc điểm riêng của lý thuyết dây, số chiều có quảng tính lớn cũng có thể sẽ khác: một số vũ trụ không có hoặc chỉ có một chiều có quảng tính lớn, trong khi đó một số vũ trụ khác lại có tới tám, chín thậm chí tới mười chiều như vậy. Nếu để cho trí tưởng tượng của chúng ta bay bổng hơn nữa, thì thậm chí ngay cả những định luật vật lý cũng sẽ khác rất nhiều từ vũ trụ này sang vũ trụ khác. Những khả năng có thể kéo dài đến vô tận.

Nhưng đây mới là điểm cốt yếu. Nếu chúng ta quét qua một số rất lớn những vũ trụ đó, thì đại đa số sẽ không còn những điều kiện thích hợp đối với sự sống hoặc ít nhất cũng khác xa với sự sống mà chúng ta đã biết. Đối với những thay đổi ghê gớm trong vật lý quen thuộc, thì điều này là rõ ràng: nếu như vũ trụ chúng ta giống như vũ trụ ống nước thì sự sống như chúng ta biết không thể tồn tại được. Nhưng ngay cả những thay đổi nhỏ nhất đối với vật lý cũng sẽ có ảnh hưởng ngay đến sự tạo thành các ngôi sao, chẳng hạn, sẽ làm cho nó không còn khả năng đóng vai trò là lò luyện kim vũ trụ tổng hợp nên những nguyên tử phức tạp - cơ sở của sự sống - như cacbon và ôxy, là những nguyên tử vốn được phóng ra khắp vũ trụ bởi các vụ nổ sao siêu mới. Dưới ánh sáng của sự phụ thuộc nhạy cảm của sự sống vào những chi tiết của vật lý, nếu bây giờ ta hỏi, chẳng hạn, tại sao các lực và các hạt của tự nhiên lại có đúng những tính chất cụ thể như chúng ta quan sát được, thì một câu trả lời khả dĩ là: trong toàn bộ đa vũ trụ, những đặc trưng này thay đổi trong một khoảng rất rộng; những tính chất đó có thể là khác và thực sự là khác trong những vũ trụ khác. Cái đặc biệt của tổ hợp cụ thể những tính chất của các hạt và các lực như chúng ta quan sát được chỉ là ở chỗ, chúng cho phép sự sống hình thành. Và sự sống, mà đặc biệt là sự sống có trí tuệ, thậm chí còn là điều kiện tiên quyết để đặt ra câu hỏi tại sao vũ trụ chúng ta lại có những tính chất mà nó hiện có. Nói theo ngôn ngữ bình dan, thì mọi thứ như nó đang hiện hữu trong vũ trụ chúng ta là bởi

vì nếu chúng không như thế, chúng ta sẽ không có mặt ở đây để mà đặt ra câu hỏi. Giống như những người thắng cuộc trong trò chơi rulét tập thể ở Nga, sự bất ngờ được sống sót của họ đã bị giảm bớt đi nhiều bởi một thực tế là, nếu như họ không thắng, mới là điều ngạc nhiên, giả thuyết đa vũ trụ cũng thế, nó có khả năng làm giảm bớt sự bức xúc phải giải thích tại sao vũ trụ chúng ta lại làm như nó hiện nay.

Đường hướng lập luận ở trên thực chất là một phiên bản của ý tưởng đã có lịch sử từ lâu được gọi là nguyên lý vị nhân. Như đã trình bày ở trên, đây là một quan điểm đối ngược hẳn với giấc mơ về một lý thuyết thống nhất, chặt chẽ và có khả năng giải thích được tất cả. Theo nguyên lý này, mọi vật như ta quan sát thấy là bởi vì vũ trụ không thể khác được. Trái hẳn với mô hình thơ mộng, trong đó mọi vật đều hài hòa với nhau trong một sự thanh nhã chuẩn xác, đa vũ trụ và nguyên lý vị nhân đã vẽ nên bức tranh về một tập hợp các vũ trụ quá ư hoang dã và hết sức đa dạng. Chúng ta rất khó, thậm chí thể nói là không thể, biết được bức tranh đa vũ trụ có đúng hay không. Thậm chí nếu có những vũ trụ khác, thì chúng ta cũng không bao giờ có thể liên lạc được với những vũ trụ đó. Nhưng bằng cách mở rộng hơn nữa "những cái ở ngoài kia", - theo cách thu nhỏ phát minh của Hubble cho thấy rằng Ngân hà chẳng qua cũng chỉ là một trong số rất nhiều thiên hà mà thôi - khái niệm đa vũ trụ ít nhất cũng cảnh báo với chúng ta rằng có thể chúng ta đòi hỏi quá nhiều ở lý thuyết tối hậu.

Chúng ta muốn đòi hỏi rằng lý thuyết tối hậu của chúng ta cho một sự mô tả lượng tử nhất quán của tất cả các lực và toàn bộ vật chất. Chúng ta cũng muốn đòi hỏi lý thuyết tối hậu cho một vũ trụ học trong vũ trụ chúng ta. Nhưng nếu bức tranh đa vũ trụ là đúng - lại một chữ nếu to tướng - thì việc đòi hỏi nó phải giải thích được cả những chi tiết như khối lượng, tích lực của các hạt cũng như cường độ của các lực, có lẽ, sẽ là một đòi hỏi quá đáng.

Nhưng cũng cần phải nhấn mạng rằng, nếu như chúng ta chấp nhận giả thiết tư biện về đa vũ trụ, thì kết luận cho rằng điều đó sẽ làm phương hại tới sức mạnh tiên đoán của chúng ta cũng không phải là chắc chắn gì. Lý do, nói một cách vắn tắt, là ở chỗ nếu chúng ta đã thả cho trí tưởng tưởng của chúng ta bay bổng và cho phép mình chiêm ngưỡng đa vũ trụ, thì chúng ta cũng phải thả cho giấc mơ lý thuyết phiên du để thấy được bằng cách nào có thể chế ngự được đặc tính ngẫu nhiên khá

rõ ràng của đa vũ trụ. Đối với những giấc mơ chừng mực hơn, chúng ta có thể hình dung rằng - nếu mô hình đa vũ trụ chính xác - thì chúng ta có thể mở rộng hết cỡ lý thuyết tối hậu của chúng ta và cái "lý thuyết tối hậu mở rộng" đó có thể cho chúng ta biết chính xác sự phân bố giá trị của các tham số cơ bản trong tập hợp những vũ trụ thành phần là như thế nào và tại sao lại như vậy.

Lee Smolin thuộc Đại học quốc gia Pennsylvania còn đưa ra những ý tưởng triệt để hơn nữa. Được kích thích bởi sự tương tự giữa những điều kiện ở Big Bang và ở tâm lỗ đen - cả hai đều được đặc trưng bởi mật độ khổng lồ của vật chất bị nén cực mạnh - Smolin đã đề xuất rằng mỗi một lỗ đen là một hạt mầm nảy sinh ra một vũ trụ mới thông qua một vụ nổ tựa như Big Bang, nhưng vĩnh viễn được chân trời sự kiện của lỗ đen che giấu không cho chúng ta nhìn thấy. Không chỉ hài lòng với việc đề xuất một cơ chế khác để sinh ra đa vũ trụ, Smolin còn đưa ra một yếu tố mới - một kiểu "đột biến di truyền" trong vũ trụ - cho phép tránh được những hạn chế của nguyên lý vị nhân [1]. Ông cho rằng khi vũ trụ vọt ra từ lõi lỗ đen, những thuộc tính của nó, như khối lượng của các hạt và cường độ các lực là rất gần, nhưng không hoàn toàn đồng nhất với những thuộc tính của vũ trụ mẹ. Vì các lỗ đen sinh ra từ những ngôi sao đã tắt và sự hình thành các sao lại phụ thuộc vào những giá trị cụ thể của khối lượng các hạt và cường độ các lực, nên sức sinh sản của một vũ trụ đã cho, tức là số lỗ đen mà nó có thể tạo ra, phụ thuộc một cách rất nhạy cảm vào những tham số đó. Do vậy, nhưng sai khác nhỏ trong những tham số của các vũ trụ con này sẽ dẫn tới một số vũ trụ có giá trị của các tham số đó là tối ưu đối với sự sinh ra các lỗ đen hơn là vũ trụ mẹ, và do đó các vũ trụ đời cháu do các vũ trụ con này phóng ra sẽ nhiều hơn. Sau nhiều "thế hệ", hậu duệ của các vũ trụ sẽ được tối ưu hóa đối với việc tạo ra các lỗ đen và do vậy, chúng trở nên đông đúc tới mức chiếm đa số áp đảo trong vũ trụ. Và như vậy, thay vì phải viện đến nguyên lý vị nhân, đề xuất của Smolin đã cung cấp một cơ chế động làm cho, về trung bình, các tham số của một thế hệ tiếp theo ngày càng gần tới những giá trị cụ thể là tối ưu đối với việc tạo ra các lỗ đen.

Cách tiếp cận này cho ta một phương pháp, thậm chí ngay cả trong bối cảnh đa vũ trụ, cũng có thể giải thích được các tham số của các hạt sơ cấp và của các lực. Thực vậy, nếu lý thuyết của Smolin là đúng, và nếu chúng ta là những thành viên điển hình của một đa vũ trụ đã trưởng thành (đây lại là những chữ "nếu" to tướng và tất nhiên còn có thể bàn

cãi về nhiều mặt), thì những tham số của các hạt và các lực mà chúng ta đo được có thể đã được tối ưu hóa cho việc sản xuất các lỗ đen. Nghĩa là bất cứ một sự xê dịch nào đối với các tham số đó của vũ trụ chúng ta cũng sẽ làm cho các lỗ đen khó sinh ra hơn. Các nhà vật lý cũng đang bắt đầu nghiên cứu đề xuất này và hiện nay vẫn chưa khẳng định được sự đúng đắn của nó. Nhưng ngay cả khi giả thuyết cụ thể của Smolin là sai, thì nó cũng đã giới thiệu một dạng khác nữa mà lý thuyết tối hậu có thể có. Thoạt nhìn, lý thuyết tối hậu xem ra kém chặt chẽ hơn. Như chúng ta đã thấy, nó có thể mô tả được một lô các vũ trụ, đa số trong đó chẳng có liên quan gì tới vũ trụ mà chúng ta đang sống. Hơn thế nữa, chúng ta có thể hình dung rằng, một lô các vũ trụ đó đều có thể thực hiện được về mặt vật lý để dẫn tới tiên đoán của chúng ta. Thực tế, sự thảo luận ở đây chẳng qua chỉ để minh họa rằng một sự giải thích tối hậu sẽ có thể đạt được chừng nào chúng ta thâu tóm được không chỉ những định luật tối ưu mà còn cả những hệ quả của nó đối với sự tiến hóa vũ trụ học ở những thang lớn hơn cả dự kiến.

Chắc chắn là những hệ quả vũ trụ học của lý thuyết dây /lý thuyết -M sẽ là lĩnh vực nghiên cứu chủ yếu của thế kỷ XXI. Do không có những máy gia tốc có khả năng đạt tới năng lượng Planck, chúng ta sẽ ngày càng phải dựa vào máy gia tốc Big Bang của vũ trụ là những tàn tích còn lại của nó trong khắp vũ trụ để lấy những dữ liệu thực nghiệm. Với sự may mắn và kiên nhẫn, cuối cùng rồi chúng ta cũng sẽ trả lời được cho những câu hỏi như vũ trụ bắt đầu như thế nào, tại sao nó đã tiến hóa tới dạng để giữ chúng ta lơ lửng trong khoảng không và ở trên mặt đất. Tất nhiên, còn nhiều mảnh đất chưa được khám phá giữa nơi chúng ta đang hiện hữu và nơi đang cất giấu những câu trả lời đầy đủ cho những câu hỏi rất cơ bản đó. Nhưng sự phát triển của một lý thuyết lượng tử của hấp dẫn thông qua lý thuyết siêu dây cho chúng ta hy vọng rằng giờ đây chúng ta đã có những công cụ lý thuyết để tiến vào những vùng bao la của những điều chưa biết và chắc chắn sau rất nhiều nỗ lực, có thể sẽ trở về với những câu trả lời cho một số câu hỏi cơ bản nhất mà loài người đã từng đặt ra.

[1] Những ý tưởng của Smolin được trình bày trong cuốn sách của ông nhan đề "The life of Cosmos (New york: Oxford University Press. 1997).

Trong chương cuối cùng này, chúng ta chưa thể kết thúc câu chuyện về cuộc tìm kiếm những định luật cơ bản nhất của vũ trụ mà loài người đã

tiến hành từ nhiều thế kỷ, bởi lẽ cuộc tìm kiếm đó vẫn còn tiếp tục...

CHƯƠNG 15

TRIỂN VỌNG

Nhiều thế kỷ trước, lý thuyết dây hay sự tiến hóa của nó trong lý thuyết - M giả thử đã được phát triển vượt rất xa những gì chúng ta đã có được ngày hôm nay, tới mức ngay cả những chuyên gia trong ngành hiện nay cũng khó có thể nhận được ra. Và khi chúng ta tiếp tục tìm kiếm lý thuyết tối hậu, chúng ta mới vỡ lẽ ra rằng lý thuyết dây chỉ là một trong số nhiều bước ngoặt trên con đường tiến tới một quan niệm rộng lớn hơn nhiều về vũ trụ - một quan niệm liên quan tới những ý tưởng khác một cách triệt để với những gì mà ta đã từng gặp trước đó. Lịch sử khoa học đã dạy chúng ta rằng, cứ mỗi một lần chúng ta tưởng rằng mình đã hình dung ra được tất cả rồi, thì tự nhiên lại tung ra một điều bất ngờ mới đòi hỏi phải có những thay đổi đáng kể và quyết liệt quan niệm của chúng ta về sự vận hành của vũ trụ. Và bây giờ, lại một lần nữa, với một thái độ hơi hỗn xược, chúng ta, cũng như các bậc tiền bối của chúng ta cũng đã từng ngây thơ như vậy, tưởng rằng mình đang ở vào thời kỳ quyết định của lịch sử loài người trong đó việc tìm kiếm những định luật tối hậu của tự nhiên đã đến hồi kết thúc. Như Edward Witten đã nói:

"Tôi cảm giác rằng với lý thuyết dây chúng ta đã ở gần mục tiêu tới mức - trong những phút giây lạc quan nhất - tôi đã tưởng rằng chỉ ngày một ngày hai là dạng cuối cùng của lý thuyết sẽ từ trên trời rơi vào tay một ai đó trên trái đất. Nhưng thực tế hơn, tôi cảm thấy rằng chúng ta đang ở trong quá trình xây dựng một lý thuyết cơ bản hơn rất nhiều so với tất cả những gì chúng ta đã từng có trước đây và có lẽ trong thế kỷ XXI, khi tôi đã quá già để có thể đưa ra được tư tưởng gì lý thú về đề tài này, các nhà vật lý trẻ tuổi hơn sẽ là người quyết định việc chúng ta đã thực sự tìm ra một lý thuyết cuối cùng hay chưa" [1].

Mặc dù chúng ta vẫn còn đang ngây ngất trước những gì mà cuộc cách mạng siêu dây lần thứ hai đã mang lại và đang phải hấp thu nhiều phát hiện mới, nhưng phần lớn các nhà lý thuyết dây đã nhất trí rằng cần

phải có một cuộc cách mạng thứ ba và thậm chí cả thứ tư nữa mới có thể giải phóng hết sức mạnh đầy đủ của lý thuyết dây và vai trò khả dĩ của nó là lý thuyết cuối cùng mới có thể khẳng định được. Như chúng ta đã thấy, lý thuyết dây đã vẽ được nên một bức tranh tuyệt vời về sự vận hành của vũ trụ, nhưng vẫn còn tồn tại nhiều trở ngại và những điểm còn mơ hồ. Chắc chắn đây sẽ là những mục tiêu hàng đầu của các nhà lý thuyết dây ở thế kỷ XXI. Và vì thế trong chương cuối cùng này, chúng ta chưa thể kết thúc câu chuyện về cuộc tìm kiếm những định luật cơ bản nhất của vũ trụ mà loài người đã tiến hành từ nhiều thế kỷ, bởi lẽ cuộc tìm kiếm đó vẫn còn đang tiếp tục. Thay vì, chúng ta hãy hướng cái nhìn của chúng ta tới tương lai của lý thuyết dây bằng cách thảo luận 5 câu hỏi trung tâm mà các nhà lý thuyết dây sẽ phải đối mặt khi họ tiếp tục tìm kiếm lý thuyết tối hậu.

[1] Phỏng vấn Edward Witten, ngày 4 tháng 3 năm 1998.

Khi chúng ta xem xét giai đoạn phát triển tiếp theo của lý thuyết dây, thì việc tìm ra "nguyên lý không tránh khỏi" của nó - tức ý tưởng nền tảng mà từ đó toàn bộ lý thuyết dây được xây dựng nên - sẽ có sự ưu tiên cao nhất...

•◎Nguyên lý cơ bản của lý thuyết dây là gì?

Một trong những bài học chủ yếu mà chúng ta rút ra được trong suốt một thế kỷ qua là những định luật đã biết của vật lý đều gắn liền với những nguyên lý đối xứng. Thuyết tương đối hẹp dựa trên đối xứng được thể hiện trong nguyên lý tương đối, đó là sự đối xứng giữa những người quan sát chuyển động thẳng đều đối với nhau. Lực hấp dẫn, như được thể hiện trong thuyết tương đối rộng, lại dựa trên nguyên lý tương đương - đây là sự mở rộng của nguyên lý tương đối để bao hàm được tất cả những người quan sát, bất kể trạng thái chuyển động của họ phức tạp tới mức nào. Và sau nữa, các lực mạnh, yếu và điện từ lại dựa trên các nguyên lý đối xứng chuẩn trừu tượng hơn.

Như đã thảo luận trước đây, các nhà vật lý có xu hướng nâng cao nguyên lý đối xứng lên vị trí nổi bật bằng cách đặt chúng ngay trên bệ đỡ của mọi sự giải thích. Theo quan điểm đó, lực hấp dẫn tồn tại là để cho mọi người quan sát đều bình đẳng với nhau, tức là để cho nguyên lý tương đương là đúng. Tương tự như vậy, các lực phi hấp dẫn tồn tại là để cho tự nhiên tôn trọng các đối xứng chuẩn gắn với các lực đó. Tất

nhiên, cách tiếp cận này đã chuyển câu hỏi tại sao một số lực tồn tại sang câu hỏi tại sao tự nhiên lại phải tôn trọng những nguyên lý đối xứng gắn liền với các lực đó. Nhưng điều này chắc hẳn đã cho ta một cảm tưởng là đã có tiến bộ, đặc biệt là khi đối xứng đang xét là một đối xứng hoàn toàn tự nhiên đối với chúng ta. Ví dụ, tại sao hệ quy chiếu của người quan sát này lại được đối xử khác với hệ quy chiếu của người quan sát khác? Sẽ là tự nhiên hơn nhiều đối với các định luật của vũ trụ, nếu như mọi người quan sát đều bình đẳng với nhau. Điều này được thực hiện thông qua nguyên lý tương đương và đưa lực hấp dẫn vào cấu trúc của vũ trụ. Mặc dù phải có một kiến thức toán học nhất định với đánh giá được một cách đầy đủ, nhưng như chúng ta đã chỉ trong chương 5, có một lôgic tương tự đối với những đối xứng chuẩn - nền tảng của ba lực phi hấp dẫn.

Lý thuyết dây đã đưa chúng ta xuống sâu một nấc nữa trên những bậc thang của sự giải thích, bởi vì tất cả những nguyên lý đối xứng được trình bày ở trên cũng như một nguyên lý đối xứng khác là siêu đối xứng đều xuất hiện từ cấu trúc của nó. Thực tế, nếu như lịch sử đi theo một con đường khác và các nhà vật lý đã đi tới lý thuyết dây khoảng vài trăm năm trước, thì chúng ta có thể hình dung được rằng, tất cả những nguyên lý đối xứng nói trên đã được phát hiện ra bằng cách nghiên cứu những tính chất của lý thuyết dây. Nhưng bạn phải ghi nhớ kỹ điều này: trong khi nguyên lý tương đương cho chúng ta một hiểu biết nhất định về lý do tồn tại của lực hấp dẫn và các nguyên lý đối xứng chuẩn cho biết lý do tồn tại của ba lực phi hấp dẫn, thì trong bối cảnh của lý thuyết dây các đối xứng đó chỉ là những hệ quả. Mặc dù tầm quan trọng của các đối xứng này không vì thế mà giảm đi, nhưng chúng là một bộ phận của sản phẩm cuối cùng có cấu trúc lý thuyết rộng lớn hơn nhiều.

Điều này dẫn tới một câu hỏi nổi cộm sau: vậy chính bản thân lý thuyết dây có là một hệ quả không tránh khỏi của một nguyên lý nào đó rộng lớn hơn - có thể nhưng không nhất thiết phải là một nguyên lý đối xứng nào đó - giống như nguyên lý tương đối không tránh khỏi dẫn tới thuyết tương đối rộng và những nguyên lý đối xứng chuẩn không tránh khỏi dẫn tới các lực phi hấp dẫn hay không? Khi tôi đang ngồi viết các dòng này thì chưa có ai có một ý tưởng gì về việc trả lời câu hỏi ấy. Để đánh giá hết tầm quan trọng của nó, chúng ta chỉ cần hình dung Einstein định xây dựng thuyết tương đối rộng mà không có được cái tư tưởng hay ho mà ông đã ngộ ra tại văn phòng đăng ký sáng chế ở Bern

vào năm 1907, cái ý tưởng đã dẫn dắt ông tới nguyên lý tương đương. Có lẽ không phải là ông không thể làm được điều đó, nhưng chắc chắn sẽ là khó khăn hơn rất nhiều. Nguyên lý tương đương đưa lại một khuôn khổ tổ chức súc tích, hệ thống và có sức mạnh để phân tích lực hấp dẫn. Sự trình bày thuyết tương đối rộng, chẳng hạn như chúng ta đã làm trong chương 3, đều chủ yếu dựa trên nguyên lý tương đương và vai trò của nó trong hình thức luận toán học đầy đủ của lý thuyết đó thậm chí còn quan trọng hơn nữa.

Hôm nay, các nhà lý thuyết dây cũng đang ở trong tình trạng giống như một Einstein bị tước mất nguyên lý tương đương. Từ khi có đề xuất của Veneziano vào năm 1968, lý thuyết dây đã được ghép nối dần dần từng mẩu một, từng phát minh một và từng cuộc cách mạng một. Nhưng một nguyên lý trung tâm thâu tóm được những phát minh đó và tất cả những đặc tính khác của lý thuyết trong một khuôn khổ tối thượng và có hệ thống, làm cho sự tồn tại của từng thành phần riêng lẻ trở nên tuyệt đối không thể tránh được, thì vẫn còn đang thiếu. Sự phát minh ra nguyên lý này chắc chắn sẽ là thời điểm bước ngoặt đối với sự phát triển của lý thuyết dây, bởi vì nó sẽ làm sáng tỏ những cơ cấu bên trong của lý thuyết dưới một ánh sáng mới. Tất nhiên, không có gì đảm bảo rằng nhất thiết phải tồn tại một nguyên lý như vậy, nhưng sự tiến hóa của vật lý học trong suốt một trăm năm qua đã khích lệ các nhà lý thuyết kỳ vọng lớn rằng có một nguyên lý như vậy. Khi chúng ta xem xét giai đoạn phát triển tiếp theo của lý thuyết dây, thì việc tìm ra "nguyên lý không tránh khỏi" của nó - tức ý tưởng nền tảng mà từ đó toàn bộ lý thuyết dây được xây dựng nên - sẽ có sự ưu tiên cao nhất [2].

[2] Một số nhà vật lý thấy sự gợi ý cho ý tưởng này trong nguyên lý toàn ảnh (holographic principle), một khái niệm được khởi đầu bởi Susskind và nhà vật lý Hà Lan nổi tiếng Gerald't Hooft. Cũng như một bức toàn ảnh có thể tái tạo hình ảnh ba chiều từ một phim hai chiều được thiết kế một cách đặc biệt, Susskind và 't Hoòt đã nêu ra ý kiến cho rằng tất cả những sự kiện vật lý mà chúng ta thường gặp có thể thực sự được mã hóa đầy đủ nhờ các phương trình được xác định trong thế giới có số chiều thấp hơn. Điều này nghe có vẻ lạ tai giống như chuyện vẽ bức chân dung bằng cách chỉ nhìn cái bóng của nó, nhưng chúng ta có thể nắm được ý nghĩa và hiểu được phần nào ý tưởng của Susskind và 't Hooft bằng cách nghĩ về entrôpy của lỗ đen như được thảo luận ở chương 13. Nên nhớ rằng entrôpy của lỗ đen được xác định bởi diện

tích bề mặt chân trời sự kiện của nó, chứ không phải bởi thể tích không gian giới hạn trong bề mặt đó. Do đó, mức độ hỗn loạn của một lỗ đen và cả thông tin mà nó có thể chưa đựng đều được mã hóa trong những dữ liệu hai chiều của diện tích bề mặt. Điều đó gần tựa như chân trời sự kiện của lỗ đen đóng vai trò như một bức toàn ảnh, thâu tóm toàn bộ thông tin chứa ở vùng không gian ba chiều bên trong lỗ đen. Susskind và 't Hooft đã tổng quát hóa ý tưởng đó cho toàn bộ vũ trụ bằng cách cho rằng mọi thứ xảy ra bên trong vũ trụ đó đơn thuần chỉ là sự phản ánh dữ liệu và các phương trình được xác định trên bề mặt biên giới ở rất xa. Mới đây công trình của nhà vật lý Juan Maldacena thuộc Đại học Narvard cùng với những công trình sau đó của Witten và của nhà vật lý Steven Gubser, Igor Klebanov và Alexande Polyakov thuộc Đại học Princeton đã chứng tỏ được rằng, ít nhất cũng là trong một số trường hợp, lý thuyết dây đã chứa đựng nguyên lý toàn ảnh. Theo những nghiên cứu hiện nay thì vật lý của một vũ trụ được chi phối bởi lý thuyết dây có một mô tả tương đương liên quan chỉ với vật lý xảy ra trên mặt biên giới như vậy- một mặt nhất thiết phải có số chiều thấp hơn vùng bên trong của nó. Một số nhà lý thuyết dây còn cho rằng sự hiểu biết đầy đủ về nguyên lý toàn ảnh cũng như vai trò của nó trong lý thuyết dây có thể sẽ dẫn tới cuộc cách mạng siêu dây lần thứ ba.

Ta để cho lý thuyết dây tự sáng tạo ra không - thời gian riêng của mình xuất phát từ một cấu hình không có không gian cũng chẳng có thời gian, tựa như ta để cho họa sĩ làm việc với tấm voan trắng tinh...

•◎Không gian và thời gian là gì và thực sự chúng ta có thể làm được gì nếu không có không gian và thời gian?

Trong nhiều chương trước, chúng ta đã thoải mái sử dụng các khái niệm không gian và không - thời gian. Trong chương 2, chúng ta đã mô tả phát minh của Einstein về mối quan hệ khăng khít giữa không gian và thời gian thông qua một thực tế bất ngờ là chuyển động của một vật trong không gian có ảnh hưởng đến sự trôi của nó theo thời gian. Trong chương 3, nhờ thuyết tương đối rộng, chúng ta đã đào sâu thêm sự hiểu biết của chúng ta về vai trò của không - thời gian trong việc triển khai của vũ trụ, lý thuyết này chứng minh được rằng dạng cụ thể của cấu trúc không - thời gian truyền lực hấp dẫn từ điểm này đến điểm khác. Những thăng giáng lượng tử dữ dội trong thế giới vi mô, như đã được thảo luận trong các chương 4 và 5, đã xác lập sự cần thiết phải có một lý

thuyết mới, dẫn chúng ta tới lý thuyết dây. Và cuối cùng trong nhiều chương tiếp theo, lý thuyết dây tuyên bố rằng vũ trụ có nhiều chiều hơn số chiều mà chúng ta quan sát được, trong đó có một số chiều bị cuộn lại thành những dạng nhỏ bé nhưng rất phức tạp, những dạng này có thể chịu những biến đổi khiến cho cấu trúc của chúng có thể bị đục thủng, bị xé rách và sau đó tự hàn lại.

Nhờ các hình 3.4, 3.6 và 8.10, chúng tôi đã cố gắng minh họa những ý tưởng này bằng cách xem cấu trúc của không gian và không - thời gian giống như một mảnh vải từ đó cắt may thành "chiếc áo" vũ trụ. Những hình ảnh đó có tác dụng giải thích đáng kể và chúng thường được các nhà vật lý sử dung như một sự dẫn dắt trực quan trong những công việc chuyên môn của họ. Mặc dù khi nhìn kỹ các hình mà chúng ta vừa nhắc ở trên, lâu dần cũng cho một cảm giác là ta đã hiểu được ý nghĩa của chúng, nhưng người ta vẫn cứ băn khoăn tự hỏi: thực chất cấu trúc của vũ trụ là gì?

Đây là một câu hỏi rất cơ bản và dưới dạng này hay dạng khác, nó đã từng là đề tài tranh luận hàng trăm năm nay. Newton thì tuyên bố rằng không gian và thời gian là những thành phần vĩnh cửu và không thay đổi trong kết cấu của vũ trụ, là những cấu trúc nguyên thủy nằm ngoài mọi sự chất vấn và giải thích. Như ông đã viết trong cuốn "Những nguyên lý": "Không gian tuyệt đối, trong bản chất của chính nó, không có quan hệ với bất cứ thứ gì bên ngoài, bao giờ cũng vẫn như thế và không hề thay đổi. Thời gian tuyệt đối, thực và toán học, tự bản thân nó và do bản chất riêng của nó, trôi một cách hiền hòa và cũng không có dính líu đến bất cứ vật gì bên ngoài". Gottfried Leibniz và nhiều người khác thì lại phản đối kịch liệt, họ khẳng định rằng không gian và thời gian đơn giản chỉ là những công cụ "kế toán" thuận tiện cho việc tóm lược những quan hệ giữa các vật chất và các sự kiện trong vũ trụ mà thôi. Vị trí của các vật trong không gian và trong thời gian chỉ có ý nghĩa so sánh với các vật khác. Không gian và thời gian chỉ là cuốn "từ điển" của những mối quan hệ đó, không hơn. Mặc dù quan điểm của Newton với sự hỗ trợ bởi ba định luật chuyển động được thực nghiệm kiểm chứng rất thành công đã ngự trị trong suốt hai trăm năm, nhưng quan điểm của Leibniz với sự phát triển sau đó của nhà vật lý người áo Ernst Mach, gần gũi hơn rất nhiều với quan niệm của chúng ta ngày hôm nay.

Như chúng ta đã thấy, thuyết tương đối hẹp cũng như thuyết tương đối

rộng đã kiên quyết vứt bỏ khái niệm không gian và thời gian tuyệt đối và phổ quát. Nhưng chúng ta vẫn có thể tự hỏi mô hình hình học của không - thời gian - một mô hình đóng vai trò cực kỳ quan trọng trong thuyết tương đối rộng và trong lý thuyết dây - phải chăng cũng là cách "viết tắt" thuận tiện cho những quan hệ không gian và thời gian, hay là khi liên tưởng đến sự chìm ngập của chúng ta trong cấu trúc không - thời gian, chúng ta thấy mình thực sự được nhúng trong một cái gì đó?

Mặc dù chúng ta đang dấn thân vào mảnh đất tư biện, nhưng lý thuyết dây cũng đã đưa ra một giải đáp cho câu hỏi đó. Graviton, bó nhỏ nhất của lực hấp dẫn, là một mode dao động cụ thể của dây. Và cũng tựa như sóng điện từ (như ánh sáng thấy được, chẳng hạn) gồm một số rất lớn các photon, một trường hấp dẫn cũng gồm một số rất lớn các graviton - tức là gồm một số rất lớn các dây cùng thực hiện mode dao động graviton. Đến lượt mình, trường hấp dẫn lại được thể hiện trong sự cong của cấu trúc không - thời gian và do đó dẫn chúng ta tới chỗ đồng nhất chính bản thân cấu trúc của không - thời gian với một số khổng lồ các dây cùng thực hiện một mode dao động graviton. Nói theo ngôn ngữ lý thuyết trường, thì một tập hợp có tổ chức của một số rất lớn các dây dao động tương tự như nhau vậy được gọi là một trạng thái kết hợp của các dây. Đây là một hình ảnh khá thơ mộng: các dây của lý thuyết dây giống như các sợi chỉ dệt nên cấu trúc của không - thời gian. Song, chúng ta cũng cần lưu ý rằng, ý nghĩa của hình ảnh đó vẫn còn phải được chính xác hóa một cách chặt chẽ hơn.

Tuy nhiên, sự mô tả cấu trúc của không - thời gian dưới dạng được dệt nên bởi các dây đó lại dẫn chúng ta tới câu hỏi sau. Một tấm vải thông thường là sản phẩm cuối cùng của ai đó đã dày công dệt nên từ những sợi chỉ riêng rẽ - nguyên liệu của đa số các sản phẩm dệt. Tương tự như vậy, chúng ta cũng tự hỏi liệu có một nguyên liệu thô có trước cho tấm vải (cấu trúc) của không - thời gian - một cấu hình dao động của các dây trong cấu trúc của vũ trụ, trong đó các dây còn chưa được tổ chức thành một dạng cụ thể mà ta đồng nhất với không - thời gian hay không? Cũng cần lưu ý rằng việc hình dung trạng thái đó như một mớ hổ lốn các dây riêng rẽ dao động còn chưa gắn kết với nhau thành một tổng thể có trật tự, có điều gì đó không thật chính xác, bởi vì theo cách nghĩ thông thường của chúng ta, điều đó mặc nhiên xem rằng khái niệm không gian và thời gian đã phải có trước đó: có không gian mà trong đó dây dao động và có sự diễn tiến của thời gian mới cho phép chúng ta

theo dõi được sự thay đổi về hình dạng của dây từ thời điểm này sang thời điểm khác. Nhưng ở trạng thái nguyên liệu thô, tức là trước khi các dây dệt nên tấm vải cấu trúc của vũ trụ và bước vào vũ điệu dao động kết hợp và có trật tự mà chúng ta đang thảo luận, thì lại chưa tồn tại cả không gian lẫn thời gian. Thậm chí ngôn ngữ của chúng ta cũng chưa đủ độ tinh vi để diễn đạt những ý tưởng đó, bởi vì, thực tế, ngay cả khái niệm trước đó cũng còn chưa có. Theo một ý nghĩa nào đấy, dường như các dây là "những mảnh nhỏ" của không gian, thời gian và chỉ khi chúng thực hiện đúng những dao động kết hợp mới làm cho khái niệm thông thường về không gian và thời gian xuất hiện.

Việc hình dung một trạng thái tồn tại nguyên thủy và không có cấu trúc như thế, trong đó còn chưa có các khái niệm không gian và thời gian như chúng ta đã biết, sẽ đẩy khả năng hiểu của phần lớn chúng ta (trong đó có tôi) tới giới hạn. Giống như câu chuyện chọc cười của danh hài Stephen Wright về một nhà nhiếp ảnh bị ám ảnh bởi khát vọng chụp cận cảnh đường chân trời, chúng ta cũng vấp phải ngay sự đụng độ của các hình mẫu khi chúng ta thử hình dung một vũ trụ tồn tại mà không cần viện đến các khái niệm không gian và thời gian.

Tuy nhiên, để đánh giá được một cách đầy đủ lý thuyết dây, rất có thể chúng ta cần phải đề cập tới các ý tưởng này và hiểu được sự thực hiện của chúng trước đã. Lý do là ở chỗ, cách phát biểu hiện nay của lý thuyết dây đã giả thiết trước sự tồn tại của không gian và thời gian, trong đó các dây (và các thành phần sơ cấp khác được phát hiện trong lý thuyết - M) chuyển động và dao động. Điều này cho phép chúng ta rút ra các tính chất vật lý của lý thuyết dây trong một vũ trụ với một chiều thời gian, một số chiều có quảng tính lớn (thường được lấy là 3) và một số chiều phụ được cuộn lại thành một trong những không gian Calabi-Yau do các phương trình của lý thuyết quy định. Điều này cũng na ná như việc đánh giá tài năng sáng tạo của một họa sĩ bằng cách đòi hỏi anh ta phải làm việc với một bộ tranh tô màu theo trình tự đã được đánh số. Chắc chắn anh ta cũng sẽ thể hiện những sáng tạo cá nhân của mình chỗ này chỗ kia, nhưng do khuôn khổ làm việc bị hạn chế rất ngặt nghèo, nên chúng ta đã làm che lấp mất tất cả trừ một vài thể hiện nhỏ nhoi tài năng của anh ta. Vì chiến công của lý thuyết dây là đã hợp nhất được một cách tự nhiên cơ học lượng tử với lực hấp dẫn và cũng vì hấp dẫn lại gắn liền với dạng của không gian và thời gian, nên chúng ta sẽ không hạn chế buộc nó phải vận hành bên trong một khuôn khổ không -

thời gian đã có sẵn. Thay vì thế, ta để cho lý thuyết dây tự sáng tạo ra không - thời gian riêng của mình xuất phát từ một cấu hình không có không gian cũng chẳng có thời gian, tựa như ta để cho họa sĩ làm việc với tấm voan trắng tinh.

Hy vọng rằng từ điểm xuất phát còn trong trắng đó - điều này có thể xảy ra trước Big Bang hay tiền Big Bang (nếu như chúng ta vẫn có thể dùng các thuật ngữ chỉ thời gian, vì chúng ta không có một khuôn khổ ngôn ngữ nào khác) - lý thuyết sẽ mô tả một vũ trụ có thể tiến hóa đến dạng trong đó tự động xuất hiện nền (phông) của những dao động kết hợp của các dây, từ đó sẽ sinh ra các khái niệm không gian và thời gian thông thường. Một khuôn khổ như vậy, nếu thực hiện được sẽ cho thấy không gian, thời gian và do đó các chiều gắn với chúng không phải là những yếu tố quyết định của vũ trụ. Mà thực ra, chúng chỉ là những khái niệm thuận tiện xuất hiện từ một trạng thái nguyên thủy và cơ bản hơn.

Những nghiên cứu mới đây nhất về các khía cạnh của lý thuyết - M của những người tiên phong như Stephen Shenker, Edward Witten, Tom Banks, Willy Fischer, Leonard Susskind và rất nhiều tên tuổi khác không thể kể hết ra đây, đã chứng tỏ rằng zêrô - brane có thể là thành phần cơ bản nhất trong lý thuyết - M và nó có thể cho chúng ta một cái nhìn tổng thể về cái vương quốc không có thời gian và không có không gian. Đây là một đối tượng rất giống các hạt điểm ở những khoảng cách lớn, nhưng lại có những tính chất rất khác ở những khoảng cách nhỏ. Các công trình của họ còn phát hiện ra rằng trong khi các dây cho chúng ta thấy các khái niệm không gian và thời gian thông thường không còn ý nghĩa nữa ở dưới chiều dài Planck, thì các zêrô - brane về cơ bản cũng cho những kết luận như thế, nhưng nó còn cung cấp cho chúng ta một cửa sổ bé xíu nhìn sang cái khuôn khổ thay thế, một khuôn khổ mới mẻ và khác thường. Những nghiên cứu với các zêrô - brane này chỉ ra rằng hình học thông thường được thay thế bằng một hình học khác có tên là hình học không giao hoán, một lĩnh vực toán học chủ yếu do nhà toán học người Pháp là Alain Connes phát triển [3]. Trong hình học mới này, những khái niệm thông thường về không gian và khoảng cách giữa các điểm đã tan biến, để lại cho chúng ta một quang cảnh khái niệm hoàn toàn khác. Tuy nhiên, khi chúng ta tập trung chú ý tới những thang lớn hơn chiều dài Planck, thì các nhà vật lý đã chứng minh được rằng khái niệm không gian thông thường lại "tái xuất giang hồ". Rất có thể khuôn

khổ của hình học không giao hoán vẫn mới chỉ là bước đầu tiến tới trạng thái trong trắng nguyên thủy mà chúng ta nói ở trên, nhưng nó cho chúng ta một ý niệm về những công cụ mà một khuôn khổ đầy đủ hơn để bao hàm được không gian và thời gian có thể sẽ cần đến.

Tìm ra những công cụ toán học đúng để xây dựng lý thuyết dây mà không cần viện đến sự tồn tại trước của không gian và thời gian, có thể nói, là một trong những nhiệm vụ quan trọng nhất của các nhà lý thuyết dây. Hiểu được không gian và thời gian đã xuất hiện như thế nào sẽ đưa chúng ta tiến một bước rất xa tới gần câu trả lời cho câu hỏi cực kỳ quan trọng, đó là dạng hình học nào sẽ thực sự xuất hiện.

[3] Nếu bạn đã từng làm quen với đại số tuyến tính, thì một cách đơn giản nhưng thỏa đáng để hình dung hình học không giao hoán là bạn hãy thay các tọa độ Descartes thông thường vốn có tính giao hoán đối với phép nhân bằng các ma trận vốn không có tính chất đó.

Vũ trụ được chi phối bởi các nguyên lý của cơ học lượng tử với một độ chính xác không thể tưởng tượng nổi. Ngay cả như thế đi nữa, trong những lý thuyết đang hình thành hơn nửa thế kỷ qua, các nhà vật lý đã đi theo một chiến lược, trong đó nói về mặt cấu trúc, họ vẫn đặt cơ học lượng tử gần như ở vị trí thứ hai...

•◎Liệu lý thuyết dây có đòi hỏi phải xây dựng lại cơ học lượng tử hay không?

Vũ trụ được chi phối bởi các nguyên lý của cơ học lượng tử với một độ chính xác không thể tưởng tượng nổi. Ngay cả như thế đi nữa, trong những lý thuyết đang hình thành hơn nửa thế kỷ qua, các nhà vật lý đã đi theo một chiến lược, trong đó nói về mặt cấu trúc, họ vẫn đặt cơ học lượng tử gần như ở vị trí thứ hai. Khi xây dựng các lý thuyết này, các nhà vật lý thường xuất phát từ một ngôn ngữ thuần túy cổ điển, không đả động gì đến các xác suất lượng tử, các hàm sóng..., một ngôn ngữ mà các nhà vật lý ở thời Maxell, thậm chí cả ở thời Newton cũng có thể hiểu được, rồi sau đó mới phủ lên khuôn khổ cổ điển đó những khái niệm lượng tử. Cách tiếp cận này cũng không có gì đáng ngạc nhiên lắm, bởi vì nó trực tiếp phản ánh những kinh nghiệm của chúng ta. Thoạt nhìn, vũ trụ dường như đã được chi phối bởi các định luật bắt nguồn từ những khái niệm cổ điển, chẳng hạn như một hạt có vị trí và vận tốc đồng thời xác định ở mọi thời điểm. Chỉ sau khi xem xét kỹ lưỡng về

mặt vi mô, chúng ta mới thấy rằng cần phải thay đổi những khái niệm cổ điển đó. Như vậy, tiến trình phát minh của chúng ta đi từ một khuôn khổ cổ điển đến một khuôn khổ đã được thay đổi nhờ những phát hiện lượng tử. Cho tới ngày hôm nay, cách thức mà các nhà vật lý xây dựng các lý thuyết của họ đều mang dáng dấp của tiến trình đó.

Lý thuyết dây cũng không phải là một ngoại lệ. Hình thức luận mô tả lý thuyết dây bắt đầu từ các phương trình mô tả chuyển động của một sợi dây cổ điển vô cùng mảnh - những phương trình mà, về đại thể, cách đây ba trăm năm Newton cũng có thể viết ra được. Sau đó rồi các phương trình này mới được lượng tử hóa. Tức là, các phương trình cổ điển được biến thành một khuôn khổ cơ học lượng tử theo một thủ tục hệ thống đã được các nhà vật lý phát triển hơn năm mươi năm qua, trong đó xác suất, tính bất định và các thăng giáng lượng tử v.v. mới trực tiếp được đưa vào. Thực tế, ở chương 12 chúng ta đã thấy thủ tục đó được vận dụng như thế nào: các quá trình có vòng (xem hình 12.6) đưa vào các hiệu ứng lượng tử - trong trường hợp đang xét là sự tạo thành tức thời các cặp dây ảo - với số lượng các vòng quyết định độ chính xác mà các hiệu ứng đó được tính đến.

Trong nhiều năm, chiến lược bắt đầu từ sự mô tả cổ điển rồi sau đó mới tính đến những đặc trưng của cơ học lượng tử đã tỏ ra rất hiệu quả. Ví dụ, mô hình chuẩn của vật lý các hạt cơ bản là đi theo chiến lược đó. Nhưng cũng có thể - và ngày càng có nhiều bằng chứng cho thấy rất có thể - phương pháp này vẫn còn quá bảo thủ đối với các lý thuyết có tầm vóc rất lớn như lý thuyết dây và lý thuyết - M. Lý do là ở chỗ: một khi chúng ta thấy rằng vũ trụ được chi phối bởi các nguyên lý của cơ học lượng tử, thì lý thuyết của chúng ta phải dựa trên cơ học lượng tử ngay từ đầu. Sở dĩ cho tới tận hôm nay chúng ta đã rất thành công với sự bắt đầu từ quan điểm cổ điển là bởi vì chúng ta còn chưa khám phá vũ trụ tới một độ sâu đủ để thấy được giới hạn của cách tiếp cận này. Nhưng với độ sâu của lý thuyết dây /lý thuyết - M, chúng ta có lẽ đã đi tới điểm giới hạn của cái chiến lược đã được thử thách qua nhiều trận mạc đó.

Chúng ta có thể tìm ra một bằng chứng cụ thể cho điều vừa nói ở trên bằng cách xem xét lại một số phát minh đã xuất hiện từ cuộc cách mạng siêu dây lần thứ hai (như đã được tổng kết trên hình 12.11, chẳng hạn). Như đã thảo luận ở chương 12, các đối ngẫu - nền tảng để thống nhất năm lý thuyết dây - cho chúng ta thấy rằng các quá trình vật lý xảy ra

trong bất kỳ một lý thuyết dây nào cũng đều có thể được giải thích lại theo ngôn ngữ đối ngẫu của bốn lý thuyết còn lại. Sự giải thích lại này thoạt nhìn có vẻ ít dính dáng đến lý thuyết ban đầu, nhưng thực tế đó chính là sức mạnh của tính đối ngẫu: nhờ có tính đối ngẫu mà một quá trình vật lý có thể được mô tả theo nhiều cách rất khác nhau. Những kết quả này vừa tinh tế vừa tuyệt vời, nhưng chúng ta còn chưa nhắc tới một đặc trưng có lẽ là quan trọng nhất.

Nhưng phép biến đổi đối ngẫu thường xuất phát từ một quá trình được mô tả bởi một trong số năm lý thuyết dây và là một quá trình phụ thuộc mạnh vào cơ học lượng tử (ví dụ quá trình liên quan với sự tương tác giữa các dây, mà nó sẽ không xảy ra nếu như thế giới được chi phối bởi vật lý cổ điển) và giải thích lại quá trình đó như một quá trình phụ thuộc yếu vào cơ học lượng tử theo quan điểm của một trong bốn lý thuyết dây còn lại (ví dụ, một quá trình có các tính chất chi tiết bằng số thì chịu ảnh hưởng của những khảo sát lượng tử, nhưng dạng định tính của nó thì lại giống với dạng mà nó có trong thế giới thuần túy cổ điển). Điều này có nghĩa là cơ học lượng tử đã được đan bện một cách hoàn hảo bên trong các đối xứng đối ngẫu - cơ sở của lý thuyết dây/lý thuyết - M. Đây là những đối xứng cơ học lượng tử cố hữu, vì một trong số những mô tả đối ngẫu chịu ảnh hưởng mạnh của những khảo sát lượng tử. Điều này chỉ ra rằng việc xây dựng hoàn chỉnh lý thuyết dây/lý thuyết - M, bao hàm được những đối xứng đối ngẫu ở mức cơ bản, không thể bắt đầu từ quan điểm cổ điển rồi sau đó mới tiến hành lượng tử hóa như khuôn mẫu truyền thống được. Điểm xuất phát cổ điển nhất thiết sẽ bỏ sót những đối xứng đối ngẫu, vì các đối xứng chỉ đúng khi cơ học lượng tử được tính đến. Trái lại, việc xây dựng hoàn chỉnh lý thuyết dây/lý thuyết - M sẽ phải phá vỡ cái khuôn mẫu truyền thống và cho ra đời một lý thuyết hoàn toàn lượng tử.

Hiện nay, chưa ai biết làm điều đó như thế nào. Nhưng nhiều nhà lý thuyết dây đã thấy trước rằng việc thiết lập lại cách thức đưa những nguyên lý của cơ học lượng tử vào trong sự mô tả lý thuyết vũ trụ chúng ta sẽ là một cuộc đảo lộn quan trọng tiếp sau trong hiểu biết của chúng ta. Ví dụ, như Vafa đã từng nói: "Tôi nghĩ rằng không còn xa nữa chúng ta sẽ thiết lập lại được cơ học lượng tử và điều này sẽ giúp giải quyết được nhiều vấn đề hóc búa. Tôi nghĩ chắc cũng có nhiều người chia sẻ với tôi ý kiến cho rằng những đối ngẫu mới phát hiện ra gần đây đã hướng chúng ta tới một khuôn khổ mới, hình học hơn cho cơ học

lượng tử, trong đó không gian, thời gian và các tính chất lượng tử gắn kết chặt chẽ với nhau" [1]. Và theo Witten: "Tôi tim rằng, địa vị về mặt lôgic của lực hấp dẫn đã thay đổi khi Einstein phát hiện ra nguyên lý tương đương. Quá trình này còn xa mới hoàn tất được đối với cơ học lượng tử, nhưng tôi nghĩ rằng, loài người một ngày nào đó sẽ nhìn lại thời đại của chúng ta như là giai đoạn khởi đầu của quá trình đó" [2].

Với một tinh thần lạc quan đúng mực, chúng ta có thể thấy rằng việc sắp xếp lại những nguyên lý của cơ học lượng tử bên trong lý thuyết dây sẽ mang lại cho chúng ta một hình thức luận mạnh mẽ hơn, có khả năng trả lời được những câu hỏi như: Vũ trụ đã được bắt đầu như thế nào, tại sao lại có không gian và thời gian - một hình thức luận đưa chúng ta tiến một bước lớn tới gần câu trả lời cho câu hỏi của Leibniz: tại sao có một cái gì đó còn hơn là không có gì hết.

[1] Phỏng vấn Cumrun Vafa, ngày 12 tháng 1 năm 1998.

[2] Phỏng vấn Edward Witten, ngày 11 tháng 5 năm 1998.

Trong số nhiều đặc trưng của lý thuyết dây mà chúng ta đã thảo luận trong các chương trước, ba đặc trưng sau có lẽ là quan trọng nhất mà chúng ta cần phải ghi nhớ kỹ trong đầu...

•◎Liệu lý thuyết dây có thể kiểm chứng được bằng thực nghiệm không?

Trong số nhiều đặc trưng của lý thuyết dây mà chúng ta đã thảo luận trong các chương trước, ba đặc trưng sau có lẽ là quan trọng nhất mà chúng ta cần phải ghi nhớ kỹ trong đầu. Thứ nhất, lực hấp dẫn và cơ học lượng tử là một bộ phận hợp thành của bộ máy vũ trụ và do đó bất kỳ một lý thuyết thống nhất nào cũng phải bao hàm cả hai thứ đó. Lý thuyết dây đã thực hiện được điều đó. Thứ hai, những nghiên cứu do các nhà vật lý tiến hành trong suốt thế kỷ qua đã phát hiện ra rằng, còn có nhiều ý tưởng then chốt khác - trong số đó có rất nhiều ý tưởng đã được kiểm chứng bằng thực nghiệm - dường như lại có tầm quan trọng trung tâm đối với sự tìm hiểu vũ trụ của chúng ta. Đó là những khái niệm như spin, cấu trúc thành họ của các hạt vật chất, các hạt truyền tương tác, đối xứng chuẩn, nguyên lý tương đương, phá vỡ đối xứng, siêu đối xứng và còn nhiều khái niệm nữa không thể nêu ra hết. Tất cả những khái niệm này đều xuất hiện một cách tự nhiên từ lý thuyết dây. Thứ ba, khác với nhiều lý thuyết truyền thống, như mô hình chuẩn chẳng hạn - một mô hình có tới 19 tham số tự do mà người ta có thể

hiệu chỉnh để đạt được sự phù hợp giữa lý thuyết với thực nghiệm - lý thuyết dây không có một tham số nào để hiệu chỉnh hết. Về nguyên tắc, những hệ quả của lý thuyết này là rất xác định, chúng có thể cho ta một sự kiểm chứng rõ ràng lý thuyết là đúng hay sai.

Con đường đi từ những lý luận về nguyên tắc đó đến thực tiễn còn lắm chông gai. Trong chương 9 chúng ta cũng đã mô tả một số trở ngại về mặt kỹ thuật, như việc xác định dạng của các chiều phụ đang là một vật cản trên con đường của chúng ta. Trong các chương 12 và 13, chúng ta đã đặt những trở ngại này cùng với những trở ngại khác trong bối cảnh rộng lớn hơn của sự cần thiết phải có hiểu biết chính xác về lý thuyết dây và điều này, như chúng ta thấy, đã dẫn chúng ta một cách rất tự nhiên tới khảo sát lý thuyết - M. Chắc chắn, để có được một sự hiểu biết đầy đủ về lý thuyết dây/lý thuyết - M, đòi hỏi sẽ phải có một nỗ lực to lớn và một sức sáng tạo cũng to lớn không kém.

Ở mỗi giai đoạn tiến triển của mình, các nhà lý thuyết đã và vẫn đang còn tiếp tục tìm kiếm những hệ quả của lý thuyết có thể quan sát được bằng thực nghiệm. Chúng ta cũng đừng quên những khả năng táo bạo mà chúng ta đã thảo luận trong chương 9. Hơn nữa, khi chúng ta có được sự hiểu biết sâu hơn, thì những quá trình hoặc những đặc trưng hiếm hoi khác của lý thuyết dây có thể sẽ gợi ý cho chúng ta các khả năng kiểm chứng gián tiếp khác bằng thực nghiệm.

Nhưng đáng lưu ý nhất, sự khẳng định siêu đối xứng thông qua việc phát hiện ra các siêu hạt như đã được thảo luận trong chương 9 sẽ là một cột mốc quan trọng trong lý thuyết dây. Hãy nhớ lại rằng, siêu đối xứng đã được phát hiện trong quá trình nghiên cứu lý thuyết dây và đây cũng là phần trung tâm của lý thuyết đó. Sự khẳng định bằng thực nghiệm đối xứng này sẽ là một phần bằng chứng có sức thuyết phục, mặc dù là gián tiếp, chứng tỏ sự đúng đắn của lý thuyết dây. Ngoài ra, sự phát hiện ra các siêu hạt cũng mở ra con đường đi tới một thách thức được chào đón nồng nhiệt hơn, bởi vì sự khẳng định siêu đối xứng sẽ dẫn đến những hệ quả xa hơn rất nhiều sự trả lời đơn thuần cho câu hỏi đối xứng này có quan hệ gì đó với thế giới chúng ta hay không. Khối lượng và tích lực của các siêu hạt sẽ làm hé lộ cách thức chi tiết mà siêu đối xứng được bao hàm trong các định luật của tự nhiên. Khi đó, các nhà lý thuyết sẽ phải đối mặt với thách thức phải xem sự thực hiện đó có thể làm hoặc giải thích một cách đầy đủ bởi lý thuyết dây hay không.

Tất nhiên, chúng ta có thể còn lạc quan hơn và hy vọng rằng trong mười năm tới, trước khi Máy va chạm Hadron Lớn (LHC) ở Geneva được đưa vào hoạt động, thì sự hiểu biết của chúng ta về lý thuyết dây đã có những tiến bộ đủ để đưa ra những tiên đoán chi tiết về các siêu hạt trước khi phát hiện ra chúng bằng thực nghiệm. Sự khẳng định được những tiên đoán đó sẽ là một thời điểm trọng đại trong lịch sử khoa học.

Có thể, chúng ta sẽ phải chấp nhận rằng sau khi đạt tới một trình độ hiểu biết sâu nhất có thể đạt được, vẫn còn có những khía cạnh của vũ trụ không thể giải thích được...

•◎Liệu có những giới hạn cho sự giải thích hay không?

Giải thích được tất cả, thậm chí theo nghĩa hạn chế là hiểu được tất cả mọi phương diện của các lực và các thành phần sơ cấp của vũ trụ, là một trong số những thách thức vĩ đại nhất mà khoa học đã từng phải đối mặt. Và lý thuyết dây là lý thuyết đầu tiên cho chúng ta một khuôn khổ dường như đủ cơ bản để đáp ứng thách thức đó. Nhưng liệu chúng ta có thực hiện được trọn vẹn lời hứa hẹn của lý thuyết và chẳng hạn như tính được khối lượng của các quark hoặc cường độ của lực điện từ - những con số có ảnh hưởng quyết định đến vũ trụ chúng ta hay không? Như đã nói trong các mục trước, trên con đường tiến tới mục tiêu đó, chúng ta còn phải vượt qua nhiều trở ngại về mặt lý thuyết mà nổi bật nhất hiện nay là việc xây dựng hoàn chỉnh một lý thuyết dây/lý thuyết - M phi nhiễu loạn.

Nhưng ngay cả khi chúng ta đã có được sự hiểu biết chính xác về lý thuyết dây /lý thuyết - M dựa trên một khuôn khổ mới và trong sáng hơn rất nhiều của cơ học lượng tử đi nữa, thì phải chăng chúng ta vẫn không thể tính được khối lượng các hạt và cường độ của các lực? Nghĩa là chúng ta vẫn phải lấy giá trị của chúng từ các phép đo thực nghiệm, chứ không tính được bằng lý thuyết? Và sự thất bại này có nghĩa là chúng ta không phải tìm kiếm một lý thuyết cơ bản hơn, mà đơn giản nó chỉ phản ánh một thực tế là không có sự giải thích nào hết cho những tính chất quan sát được đó của thực tại?

Câu trả lời ngay lập tức cho các câu hỏi đó là có thể. Như Einstein đã có lần nói: "Điều khó hiểu nhất về vũ trụ là khả năng hiểu được nó của chúng ta". Sự kinh ngạc trước khả năng hiểu được vũ trụ của chúng ta

dễ bị mai một trong thời đại những tiến bộ nhanh chóng và đầy ấn tượng như ngày nay. Tuy nhiên, có lẽ, có một giới hạn đối với khả năng hiểu biết của chúng ta. Có thể, chúng ta sẽ phải chấp nhận rằng sau khi đạt tới một trình độ hiểu biết sâu nhất có thể đạt được, vẫn còn có những khía cạnh của vũ trụ không thể giải thích được. Cũng có thể, chúng ta sẽ còn phải chấp nhận rằng, một số đặc điểm của vũ trụ như nó vốn có là một sự ngẫu nhiên, một sự tình cờ hay một sự lựa chọn thần thánh gì đó. Thành công của phương pháp khoa học trong quá khứ đã khích lệ chúng ta nghĩ rằng với đủ thời gian và nỗ lực, chúng ta có thể làm sáng tỏ mọi bí ẩn của tự nhiên. Nhưng việc vấp phải giới hạn tuyệt đối của sự giải thích khoa học - chứ không phải những trở ngại về mặt công nghệ hay biên giới hiện nay (đang tiến về phía trước) của trí thức loài người - là một sự kiện đặc biệt vì kinh nghiệm quá khứ của chúng ta chưa có sự chuẩn bị cho điều đó.

Mặc dù điều này có liên quan rất nhiều với cuộc tìm kiếm lý thuyết tối hậu thư của chúng ta, nhưng đó là một vấn đề mà chúng ta chưa giải quyết được và thực tế, khả năng có một giới hạn cho sự giải thích khoa học, theo nghĩa rộng lớn mà ta nói ở trên, là một vấn đề có thể vĩnh viễn không giải đáp nổi. Ví dụ, chúng ta thấy rằng, ngay cả khái niệm tư biện về đa vũ trụ, mà thoạt nhìn tưởng là một giới hạn cuối cùng đối với sự giải thích khoa học, hóa ra vẫn có thể thích nghi với nó bằng cách tưởng tượng ra những lý thuyết cũng tư biện không kém, nhưng những lý thuyết này có thể, ít nhất là về nguyên tắc, phục hồi lại được khả năng tiên đoán.

Một điểm nổi bật từ những điều nói trên, đó là vai trò của vũ trụ học trong việc xác định những hệ quả của một lý thuyết tối hậu. Như chúng ta đã biết, vũ trụ học siêu dây là một lĩnh vực còn non trẻ, ngay cả so với lý thuyết dây. Không còn nghi ngờ gì nữa, đây sẽ là một lĩnh vực hàng đầu được tập trung nghiên cứu trong những năm tới và rất có thể sẽ là một lĩnh vực phát triển chủ yếu trong vũ trụ học. Khi chúng ta tiếp tục nhận được những phát hiện mới về các tính chất của lý thuyết dây /lý thuyết - M, thì khả năng phỏng đoán những hệ quả vũ trụ học của ứng viên sáng giá nhất cho lý thuyết tối hậu này sẽ ngày càng trở nên sắc bén hơn. Dĩ nhiên, cũng có thể những nghiên cứu ấy một ngày nào đó, sẽ khẳng định với chúng ta rằng, thực tế, đúng là có một giới hạn cho những giải thích khoa học. Nhưng trái lại, cũng có thể, những nghiên cứu đó sẽ mở đầu cho một kỷ nguyên mới, một kỷ nguyên trong đó

chúng ta có thể tuyên bố: cuối cùng chúng ta cũng đã tìm ra sự giải thích cơ bản của vũ trụ.

Ai có thể đoán được rằng sự hòa nhập của cơ học lượng tử và lực hấp dẫn thành một lý thuyết thống nhất của toàn bộ vật chất và các lực lại có thể tạo ra một cuộc cách mạng như thế trong sự hiểu biết của chúng ta về sự vận hành của vũ trụ?...

•◎Vươn tới những vì sao

Mặc dù khả năng công nghệ buộc chúng ta phải gắn với trái đất và những hành tinh láng giềng gần gũi nhất trong hệ mặt trời, nhưng bằng trí tuệ và thực nghiệm chúng ta đã đi được khá xa trên con đường khám phá không gian cả về bề rộng lẫn bề sâu. Đặc biệt trong hơn một thế kỷ qua, nỗ lực tập thể của đông đảo các nhà vật lý đã phát hiện ra nhiều bí mật sâu kín nhất của tự nhiên. Và một khi được phát hiện, những viên ngọc quý đó đã mở ra cả một chân trời rộng lớn về thế giới mà chúng ta tưởng như đã biết, nhưng thực tế còn xa chúng ta mới hình dung hết sự lộng lẫy của nó. Một thước đó tầm vóc của một lý thuyết đó là phạm vi của những thách thức mà nó đặt ra đối với những quan niệm của chúng ta về thế giới mà trước đó chúng ta tưởng như là bất biến. Theo thước đó đó, thì cơ học lượng tử và hai lý thuyết tương đối đã vượt xa kỳ vọng của những đầu óc táo bạo nhất: các hàm sóng, xác suất, hiệu ứng xuyên hầm, những thăng giáng năng lượng sôi động không ngừng của chân không, sự hòa nhập của không gian và thời gian, bản chất tương đối của tính đồng thời, sự cong của cấu trúc không - thời gian, các lỗ đen, Big Bang... Ai có thể đoán được rằng quan điểm Newton, một quan điểm quá ư trực giác, cơ học và chính xác như một bộ máy đồng hồ hóa ra lại chỉ có ý nghĩa rất "địa phương"? Rằng còn có cả một thế giới mới mẻ và đầy kinh ngạc nằm ngay bên dưới bề mặt của những thứ mà chúng ta trải nghiệm hằng ngày?

Nhưng ngay cả những phát minh làm rung chuyển những hình mẫu đó cũng chỉ là một phần của câu chuyện rộng lớn và bao quát hơn. Với niềm tin vững chắc rằng những định luật của những cái vô cùng lớn và những cái vô cùng bé phải được thống nhất thành một chỉnh thể hài hòa, các nhà vật lý không một phút giây nào ngưng nghỉ trong cuộc tìm kiếm cái lý thuyết tối hậu luôn luôn lẩn tránh họ. Cuộc tìm kiếm đó chưa đến hồi kết thúc, nhưng nhờ lý thuyết dây và sự tiến hóa của nó thành lý thuyết - M, một khuôn khổ tối thượng để hòa nhập cơ học

lượng tử, thuyết tương đối rộng và ba lực phi hấp dẫn cuối cùng cũng đã xuất hiện. Và các thách thức mà những phát triển đó đặt ra cho quan niệm trước kia của chúng ta về thế giới thật là đồ sộ: các dây và các giọt dao động, sự thống nhất của toàn bộ quá trình sáng thế trong một số mode dao động được thực hiện rất tinh vi trong một vũ trụ có nhiều chiều ẩn giấu, có khả năng bị biến dạng ghê gớm, trong đó cấu trúc của không gian bị xé rách rồi tự hàn gắn lại. Ai có thể đoán được rằng sự hòa nhập của cơ học lượng tử và lực hấp dẫn thành một lý thuyết thống nhất của toàn bộ vật chất và các lực lại có thể tạo ra một cuộc cách mạng như thế trong sự hiểu biết của chúng ta về sự vận hành của vũ trụ?

Tất nhiên, chắc chắn sẽ còn nhiều bất ngờ lớn hơn nữa mà tự nhiên sẽ dành cho chúng ta, khi chúng ta tiếp tục cuộc tìm kiếm một sự hiểu biết đầy đủ hơn và có thể tính toán được của lý thuyết siêu dây. Nhờ những nghiên cứu về lý thuyết - M chúng ta đã có một ý niệm đại thể về một vùng đất mới lạ ẩn dưới chiều dài Planck, một vùng đất có lẽ trong đó không có các khái niệm không gian và thời gian. Ở một cực khác, chúng ta cũng thấy vũ trụ chúng ta chỉ là một trong vô số những bọt sóng trên bề mặt của đại dương vũ trụ bao la và sôi động có tên là đa vũ trụ. Những ý tưởng này hiện nay chỉ thuần túy là tư biện, nhưng biết đâu chúng lại chẳng báo trước về bước tiến tiếp sau trong sự hiểu biết của chúng ta về vũ trụ.

Khi nhìn về tương lai và dự đoán những điều kỳ diệu mà tự nhiên sẽ dành cho chúng ta, chúng ta cũng nên suy ngẫm trở lại và chiêm ngưỡng chặng đường khá xa mà chúng ta đã đi được. Cuộc tìm kiếm những định luật cơ bản của vũ trụ là một trong những cuộc đấu tranh điển hình của con người, nó làm cho trí óc phải vật vã nhưng làm phong phú tinh thần. Sự mô tả rất sống động cuộc tìm hiểu lực hấp dẫn của Einstein - "những năm tháng tìm kiếm trăn trở trong bóng tối, tràn trề hy vọng, đan xen giữa tin tưởng và tuyệt vọng, rồi cuối cùng bước ra ánh sáng chói lòa" - có lẽ đã thâu tóm được toàn bộ cuộc đấu tranh đó của loài người. Tất cả chúng ta, mỗi người theo cách của riêng mình, đều là những người đi tìm kiếm sự thật và mỗi chúng ta đều có khát vọng trả lời được câu hỏi tại sao chúng ta lại hiện hữu ở đây. Khi chúng ta cùng nhau leo lên đỉnh núi của sự giải thích, mỗi chúng ta đều đứng vững trên vai của thế hệ trước và kiên cường bước tới. Tuy nhiên, chúng ta không thể biết trước được liệu hậu thế của chúng ta, một ngày nào đó, có lên được tới đỉnh rồi từ đó nhìn xuống vũ trụ bao la và thanh nhã

tuyệt vời của chúng ta với một sự rõ ràng tuyệt đối hay không. Nhưng vì mỗi thế hệ đều leo cao thêm một chút, nên chúng ta đã thực hiện được tuyên bố của Jacob Bronowski: "Mỗi một thời đại đều có một giai đoạn có ý nghĩa quyết định, một cách nhìn nhận và đánh giá mới về sự hài hòa của vũ trụ" [1]. Và khi thế hệ chúng ta kinh ngạc trước quan điểm mới mẻ của chúng ta về vũ trụ, trước cách đánh giá mới mẻ của chúng ta về sự hài hòa của nó là chúng ta đã hoàn thành phận sự của mình, đóng góp được một bậc thang mới vào chiếc thang của loài người để vươn tới các vì sao.

[1]Jacob Bronowski, The Ascent of Man (Boston: Litte, Brown, 1973) trang 20.

Cuốn Giai điệu dây và bản giao hưởng vũ trụ của tác giả Brian Greene, do Phạm Văn Thiều dịch. Nhà xuất bản Trẻ ấn hành năm 2003.

Hết