

MỤC LỤC

CHƯƠNG 5 MÂU THUẤN GIỮA THUYẾT TƯƠNG ĐỐI RỘNG VÀ CƠ HỌC LƯỢNG TỬ: TIẾN TỚI MỘT LÝ THUYẾT MỚI (TIẾP).....	2
CHƯƠNG 6: KHÔNG CÓ GÌ KHÁC NGOÀI ÂM NHẠC: NHỮNG CƠ SỞ CỦA LÝ THUYẾT SIÊU DÂY.....	12
CHƯƠNG 7: CÁI "SIÊU" TRONG SIÊU DÂY.....	44
CHƯƠNG 8 - CÁC CHIỀU ẨN GIẤU.....	64
CHƯƠNG 9 BẰNG CHỨNG ĐÍCH THỰC: NHỮNG ĐẶC TRƯNG KHẢNG ĐỊNH BẰNG THỰC NGHIỆM.....	87

CHƯƠNG 5

MÂU THUẬN GIỮA THUYẾT TƯƠNG ĐỐI RỘNG VÀ CƠ HỌC LƯỢNG TỬ: TIẾN TỚI MỘT LÝ THUYẾT MỚI (Tiếp)

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 proton và neutron, 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.

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.

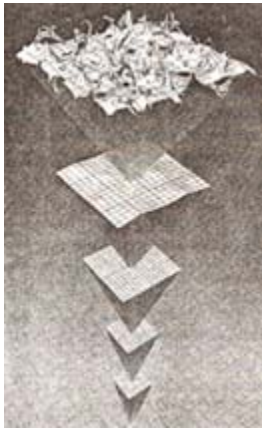
Lực hấp dẫn và lực hạt nhân mạnh có những tính chất hoàn toàn khác nhau (chẳng hạn, lực hấp dẫn yếu hơn lực mạnh rất nhiều và tác dụng trên khoảng cách rất xa). Tuy nhiên, chúng có một di sản chung bởi vì cả hai đều cần phải thực hiện một số đối xứng của Vũ trụ. Tương tự như vậy, lực hạt nhân yếu và 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 điều 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.

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 gân và phóng đại liên tiếp những vùng ngày càng nhỏ của cấu trúc không gian. Thoạt đầu, khi thu lại gân, 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 lơ mơ 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 sợi 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 sôi 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 cô 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 Planck 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 logic 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 chấp 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 học 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 Oxford và được biết tới với tên gọi là lý thuyết “twistor”. Cách tiếp cận thứ hai - được gọi

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.

Phần III

Bản giao hưởng vĩ trụ

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 mẫu 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 dân

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 mẫu 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 về không - thời gian.

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 beta Euler, dường như lại mô tả được nhiều tính chất của các hạt tương tác mạnh. Phát hiện của Veneziano đã cho ta sự thấu tóm rất có hiệu quả bằng toán học nhiều đặc trưng của tương tác mạnh mẽ nhằm sử dụng hàm beta 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 beta Euler đúng là rất có hiệu quả nhưng lại không một ai biết tại sao lại như vậy. Đó là một công thức 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 bên 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 sẽ 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 ngồn ngồn 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 sự 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 quả

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 đã 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 kết 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 vẫn 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 tọa ít ỏi gồm những chuyên gia hàng đầu thế giới về lý thuyết dây phải kinh ngạc, Edward Witten 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.

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 đương 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.

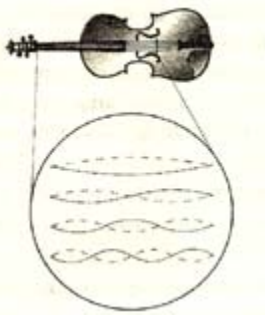
Thông nhất qua lý thuyết dây

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 lẫn 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 tâm 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.

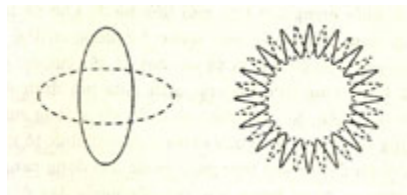
Đó là những dạng sóng trong đó các đỉnh và các hõm sóng cách nhau đều đặn và được sắp xếp vừa khít giữa hai đầu cố định của dây đàn. Tai chúng ta cảm nhận được những mode dao động cộng hưởng khác nhau này là những nốt nhạc khác nhau. Các dây trong lý thuyết dây cũng có những tính chất tương tự. Chúng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



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.

Nhưng đây mới là điều quan trọng nhất: giống như 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 mờ nhạt.

Hình 6.3 là hai ví dụ minh họa. Điều này quá quen thuộc với chúng ta vì cũng tựa như dây đàn violông, nên 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 này 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.

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 mẫu 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 hết 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.

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 $E = mc^2$, 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 họa 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 lý của các hạt có thể tiếp cận được bằng thực nghiệm.

Và đây là một ví dụ quan trọng: Scherk và Schwarz 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 đùng 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 sẩm 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 họa những mode đầu tiên của một dây 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 dây 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.

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.

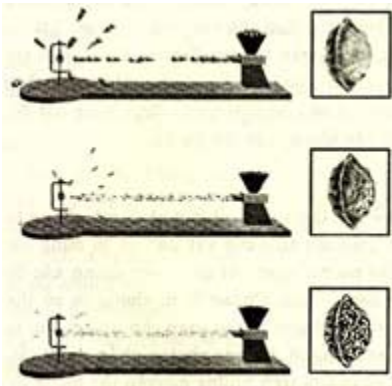
Lý thuyết dây đã làm cho những thăng giáng lượng tử trở nên mềm mại hơn bằng cách làm cho các tính chất của không gian ở những khoảng cách ngắn trở nên "nhoè" đi. Có một trả lời thô và một trả lời chính xác hơn cho câu hỏi: điều này thực sự nghĩa là gì và làm thế nào nó giải quyết được xung đột đó. Chúng 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 quả 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, quang 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 quang 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 quang 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 vĩ 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 vĩ mô. Tương tự, vì dây có quang 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 nhòe 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 được 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 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 quang 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 quang 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 ngừng 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 cốt lõi 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.

Câu trả lời chính xác hơn

Câu trả lời thô đã thấu 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 logic 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 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 quãng 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.

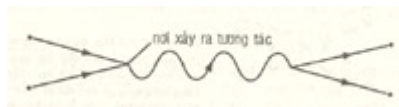
Trước hết chúng ta hãy xét sự tương tác của các hạt điểm, nếu như chúng thực sự tồn tại, và từ đó chúng ta có thể dùng nó như những hạt thử như thế nào. Tương tác cơ bản nhất là tương tác của hai hạt điểm chuyển động tới va chạm với nhau sao cho quỹ đạo của chúng cắt nhau như được minh họa trên hình 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

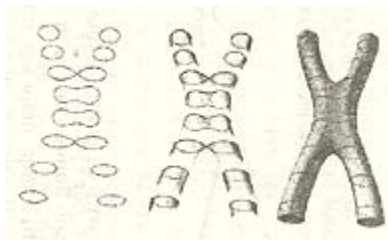
Để cho cụ thể và đơn giản, hãy hình dung một trong hai hạt là electron và hạt kia là phản hạt của nó, tức là hạt positron. Khi vật chất và phản vật chất va chạm với nhau, chúng sẽ hủy nhau tạo thành một chớp sáng của năng lượng thuần túy, tức là tạo ra một photon, chẳng hạn. Để phân biệt quỹ đạo đi ra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

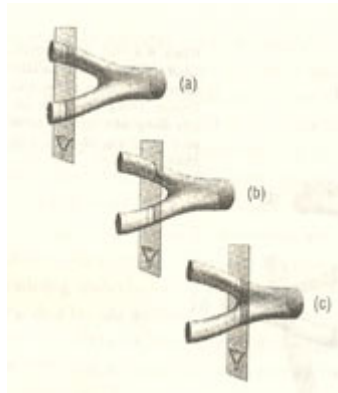


Hình 6.7 (a) Hai dây va chạm có thể hòa thành dây thứ ba, sau đó dây này lại tách thành hai dây đi theo những quỹ đạo đã bị lệch. (b) Vẫn quá trình được minh họa trên hình 6.6, nhưng có nhấn mạnh chuyển động của dây. (c) "Bức ảnh chụp chậm" của hai dây tương tác quét thành một "mặt vũ trụ".

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 chụp 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.



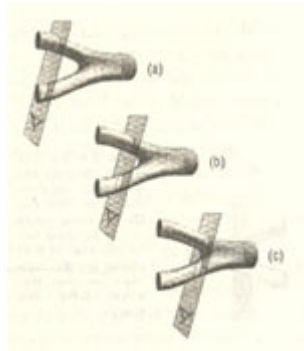
Hình 6.8 Hai dây chuyển động tới gặp nhau ở ba thời điểm theo quan điểm của George. Trong (a) và (b) các dây đang tiến lại gần nhau và ở (c) chúng lần đầu tiên chạm vào nhau, theo quan điểm của George.

Bây giờ chúng ta sẽ làm hết 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 đây là một đối tượng có quang 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.

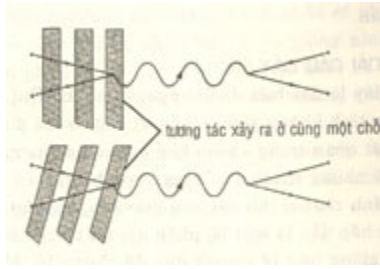


Hình 6.10

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

nhòe đã làm trơn những thặng giáng lượng tử mảnh 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 nhòe 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 thặng 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.

Thế ngoài các dây cấp 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.

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, Hendrik 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 quyết định này được áp đặt bởi sự nhất quán lôgic 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 lôgic. 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 chất 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 bé 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.

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 sử 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 quay 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 Coleman 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.

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 điện 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 - Mandula 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 .

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 túy 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 neutrino và squark cũng có các siêu hạt bạn spin 0 và được gọi là neutrino 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 phủ sạch siêu đối xứng như vậy là quá ư vội vàng.

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 nêu 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 phẩy 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 fermion 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.

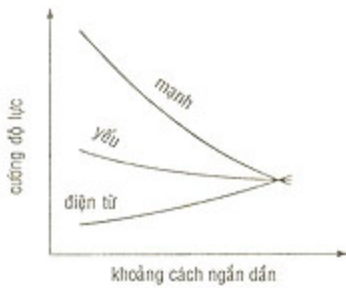
Để phân biệt sự tăng của cường độ điện trường có nguồn gốc cơ học lượng tử khi ta tới gần electron hơn với sự tăng mà ta đã biết trong vật lý cổ điển, các nhà vật lý nói rằng cường độ nội tại của lực điện từ tăng ở những thang khoảng cách ngắn hơn. Điều này phản ánh một thực tế là, cường độ của lực tăng 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 từ 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.

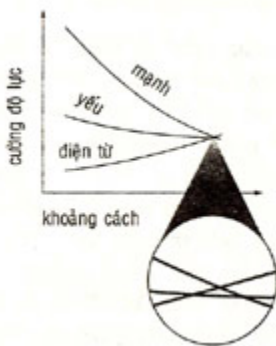
Georgi, Quinn và Weinberg đã nắm lấy điều đó và họ đã đi tới một kết quả rất thú vị. Họ đã chứng minh được rằng, khi tính đến những tác dụng đó của các thăng giáng lượng tử mãnh liệt một cách cẩn thận, thì kết quả cuối cùng cho thấy cường độ của ba lực phi hấp dẫn sẽ hội tụ với nhau. Mặc dù cường độ 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 hàng 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 (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 mẫu 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 siêu 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 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 mỉ 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 vi phạm 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 trị của hạt higg) được tinh chỉnh với độ chính xác vượt quá $1/10^{15}$ 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 nội tại, cường độ của lực yếu (được đo bởi hằng số liên kết của nó – một khái niệm mà chúng 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.

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 lý 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 logic. 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 đây là một lý thuyết rất hấp dẫn, nhưng dây boson vẫn còn thiếu một cái gì đó rất cơ bản.

Năm 1971, Pierre Ramond 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 Imperial 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 và 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 mẫu 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 trở 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 bồi rồi 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 bạn đâu 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 thứ 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 phần kích 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 $E_8 \times E_8$. 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 điều 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 quán về mặt logic 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

CHƯƠNG 8 - CÁC CHIỀU ẨN GIẤU

Einstein đã giải quyết được hai cuộc xung đột khoa học chủ yếu trong vòng một trăm năm trở lại đây, thông qua thuyết tương đối hẹp và sau đó là thuyết tương đối rộng. Mặc dù những vấn đề ban đầu thôi thúc ông xây dựng hai lý thuyết đó không hề báo trước những kết cục của chúng, nhưng mỗi lý thuyết đó đều làm thay đổi hoàn toàn những hiểu biết của chúng ta về không gian và thời gian. Lý thuyết dây giải quyết cuộc xung đột chủ yếu thứ ba của thế kỷ qua và theo cách mà ngay cả Einstein chắc cũng phải thấy là phi thường, nó đòi hỏi chúng ta một lần nữa phải xem xét lại một cách triệt để những quan niệm của chúng ta về không gian và thời gian. Vì vậy, 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.

Ảo giác của thói quen

Kinh nghiệm rèn nên trực giác. Và hơn thế nữa: kinh nghiệm còn thiết lập một khuôn khổ mà mọi cảm nhận của chúng ta đều được phân tích và giải thích trong khuôn khổ đó. Ví dụ, chắc hẳn bạn sẽ nghĩ rằng một "đứa bé hoang dã" được bầy sói nuôi dạy sẽ nhìn thế giới theo cách rất khác với chúng ta. Ngay cả sự so sánh ít cực đoan hơn, chẳng hạn như giữa những người xuất thân trong các truyền thống văn hóa khác nhau, cũng thường nhấn mạnh mức độ quyết định của kinh nghiệm đối với tư duy sáng tạo của mỗi người chúng ta.

Tuy nhiên, có những điều mà mọi người chúng ta đều trải nghiệm qua. Nhưng thường thường, cái khó đồng hóa và khó đánh bại nhất lại là những đức tin và hoài vọng được rút ra từ những kinh nghiệm phổ quát đó. Xin đưa ra một ví dụ đơn giản nhưng sâu sắc sau. Nếu như đang ngồi đọc cuốn sách này mà bạn phải đứng dậy, bạn có thể di chuyển theo ba hướng độc lập nhau. Dù

bạn có đi theo con đường nào, bất kể phức tạp đến đâu chẳng nữa, thì kết cục vẫn chỉ là một tổ hợp nào đó của chuyển động theo "chiều phải - trái", "chiều trước - sau" và "chiều trên - dưới". Mỗi lần nhắc chân là bạn đã ngầm thực hiện ba lựa chọn riêng biệt để quyết định mình sẽ chuyển động theo ba chiều đó như thế nào.

Một phát biểu tương đương mà chúng ta đã gặp trong phần thảo luận về thuyết tương đối hẹp, đó là mỗi điểm trong không gian được xác định hoàn toàn bằng cách cho ba con số chỉ vị trí của điểm đó theo ba chiều nói ở trên. Nói theo ngôn ngữ quen thuộc hơn thì bạn có thể cho một địa chỉ ở thành phố New York bằng cách cho biết đường phố (vị trí theo chiều phải - trái), đường phố hoặc đại lộ cắt ngang (vị trí theo chiều trước - sau) và số tầng (vị trí theo chiều trên - dưới). Và theo quan điểm hiện đại hơn, chúng ta đã thấy rằng công trình của Einstein khuyến khích chúng ta coi thời gian như chiều thứ tư (chiều "quá khứ - tương lai"), tức là chúng ta có cả thấy bốn chiều (ba chiều không gian và một chiều thời gian). Thực tế, bạn vẫn thường xác định các sự kiện trong vũ trụ bằng cách cho biết nó xảy ra ở đây và xảy ra khi nào.

Đặc tính này của vũ trụ là cơ bản, nhất quán và lan tràn rộng khắp tới mức nó thực sự nằm ngoài mọi sự nghi vấn. Tuy nhiên, năm 1919, một nhà toán học không mấy tiếng tăm người Ba Lan tên là Theodor Kaluza thuộc trường Đại học Königsberg đã dám thách thức cái điều tưởng như đã là hiển nhiên: ông cho rằng vũ trụ thực ra không phải chỉ có ba chiều không gian mà là nhiều hơn. Đôi khi những ý kiến nghe có vẻ ngớ ngẩn nhưng là ngớ ngẩn thật. Song đôi khi chúng lại làm rung chuyển cả nền tảng của vật lý học. Mặc dù phải mất một thời gian dài mới được phổ biến, nhưng đề xuất của Kaluza đã gây một cuộc cách mạng trong việc xây dựng các định luật vật lý của chúng ta. Và chúng ta hiện vẫn còn cảm thấy dư chấn của ý tưởng vượt trước thời đại một cách đáng kinh ngạc của ông.

Ý tưởng của Kaluza và sự hoàn thiện của Klein

Ý tưởng cho rằng vũ trụ chúng ta có hơn ba chiều không gian nghe có vẻ vừa ngớ ngẩn, vừa bí ẩn thậm chí là huyền bí nữa. Mặc dù, trên thực tế, nó rất cụ thể và hoàn toàn hợp lý. Để thấy điều đó, cách dễ nhất là ta hãy tạm ngừng xem xét toàn bộ vũ trụ và quay về quan sát một vật quen thuộc hơn, như đường ống dẫn nước dài và mảnh trong vườn nhà chúng ta, chẳng hạn.

Hãy tưởng tượng một đường ống như vậy được bắc qua một khe núi rộng chừng vài trăm mét và ta quan sát nó từ khoảng cách chừng bốn trăm mét, như được minh họa trên hình 8.1 (a). Từ khoảng cách đó, bạn dễ dàng cảm nhận thấy chiều dài nằm ngang của đường ống, nhưng nếu như bạn không có con mắt tinh tường thì khó mà nhận thấy bề dày của nó. Từ điểm quan sát xa như vậy, bạn sẽ nghĩ rằng, nếu có một con kiến buộc phải sống trên đường ống đó, thì nó chỉ có thể đi lại theo một chiều: đó là chiều nằm ngang dọc theo chiều dài của ống. Nếu như có ai đó hỏi bạn về vị trí của con kiến ở một thời điểm đã cho, thì bạn chỉ cần một số liệu, đó là khoảng cách từ con kiến đến đầu bên trái (hoặc đầu bên phải) của đường ống. Kết quả là, ở cách xa bốn trăm mét, đường ống dẫn nước nhìn như là một đối tượng một chiều.



Hình 8.1. (a). Đường ống dẫn nước nhìn từ xa giống như một đối tượng một chiều. (b). Khi được phóng đại lên, chiều thứ hai - có dạng một vòng tròn và được cuộn lại vòng quanh ống - sẽ trở nên nhìn thấy được.

Thực tế, chúng ta biết rằng, ống nước có một bề dày. Bạn khó có thể nhận ra điều đó ở khoảng cách bốn trăm mét, nhưng bằng cách dùng một ống nhòm, bạn có thể thu ảnh của đường ống dẫn lại và có thể quan sát trực tiếp được chu vi của nó, như ta thấy trên hình 8.1 (b). Từ hình phóng đại đó, bạn thấy rằng con kiến nhỏ sống trên đường ống thực sự có thể đi lại theo hai chiều độc lập nhau: dọc theo chiều trái - phải căng theo chiều dài của ống dây và dọc theo "chiều thuận hoặc ngược chiều kim đồng hồ" xung quanh chu vi của ống. Bây giờ thì bạn thấy rằng, để chỉ định vị trí của con kiến ở một thời điểm đã cho, bạn thực sự phải cho hai số liệu: con kiến ở đâu dọc theo chiều dài của ống và nó ở đâu dọc theo chu vi của ống. Điều này phản ánh một thực tế là, bề mặt của đường ống dẫn nước là hai chiều [1].

Tuy nhiên, có một sự khác biệt rõ rệt giữa hai chiều đó. Hướng dọc theo đường ống là dài, tức là có quãng tính lớn và dễ dàng nhận thấy. Trong khi đó hướng vòng quanh bề dày của ống thì ngắn, "bị cuộn lại" và khó nhìn thấy. Để nhận thức được chiều cuộn tròn đó, ta phải khảo sát đường ống với độ chính xác lớn hơn nhiều.

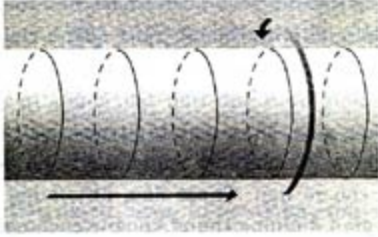
Ví dụ này đã nhấn mạnh một đặc điểm tinh tế và quan trọng của các chiều không gian: chúng thuộc hai loại khác nhau. Chúng

là lớn, có quang tính rộng và do đó thấy được trực tiếp hoặc chúng là nhỏ, bị cuộn lại và do đó khó phát hiện hơn nhiều. Tất nhiên, trong ví dụ này, chúng ta không đến nỗi phải mất nhiều công sức mới phát hiện được chiều "bị cuộn" vòng quanh chu vi của đường ống. Đơn giản là bạn chỉ cần một chiếc ống nhôm. Tuy nhiên nếu như bạn có một đường ống cực nhỏ như sợi tóc hoặc một ống mao dẫn, chẳng hạn, thì phát hiện ra chiều bị cuộn lại chắc sẽ khó khăn hơn.

Trong bài báo gửi cho Einstein vào năm 1919, Kaluza đã đưa ra một ý tưởng lạ lùng. Ông cho rằng cấu trúc không gian của vũ trụ không phải chỉ có ba chiều quen thuộc mà có thể có số chiều nhiều hơn. Sở dĩ Kaluza đưa ra luận điểm có tính triết để như vậy, như chúng ta sẽ thảo luận một cách ngắn gọn dưới đây, là do ông đã phát hiện ra rằng, ý tưởng này đã mang lại một khuôn khổ thanh nhã và đầy quyền rũ để thống nhất thuyết tương đối rộng của Einstein với lý thuyết điện từ của Maxwell thành một lý thuyết duy nhất. Nhưng trước hết một câu hỏi được đặt ra là, làm thế nào ý tưởng này có thể tương thích với một thực tế mười mười là chúng ta chỉ nhìn thấy có ba chiều?

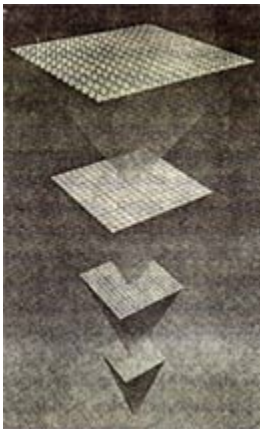
Câu trả lời ngầm chứa trong công trình của Kaluza, sau đó được làm rõ và hoàn thiện thêm bởi nhà toán học người Thụy Điển là Oskar Klein và năm 1926, đó là cấu trúc không gian của vũ trụ chúng ta đồng thời chứa cả những chiều có quang tính rộng lẫn những chiều bị cuộn lại. Tức là, giống như quy mô theo phương ngang của đường ống nước, vũ trụ chúng ta cũng có những chiều lớn, kéo dài và dễ dàng nhìn thấy, đó là ba chiều không gian theo kinh nghiệm sống hàng ngày của chúng ta. Nhưng giống như chu vi hình tròn của đường ống, vũ trụ còn có những chiều không gian phụ cuộn chặt vào một không gian nhỏ xíu, nhỏ tới mức mà những thiết bị thí nghiệm tinh xảo nhất của chúng ta hiện nay cũng không phát hiện được.

Để có một hình ảnh rõ ràng hơn về ý tưởng đặc sắc này, ta sẽ trở lại ví dụ về đường ống dẫn nước một lần nữa. Hãy hình dung đường ống được vẽ những vòng tròn màu đen sát nhau dọc theo chu vi của nó. Cũng như trước, nếu đứng từ xa, đường ống nhìn vẫn giống như một đường thẳng mảnh một chiều. Nhưng nếu thu ảnh của đường ống lại gần nhờ một ống nhòm, bạn có thể phát hiện ra chiều bị cuộn lại, và điều này nhìn còn rõ hơn sau khi bạn vẽ các vòng tròn màu đen, như được minh họa trên hình 8.2.



Hình 8.2. Bề mặt của ống dẫn nước là hai chiều: một chiều (theo phương ngang) được chỉ bằng mũi tên thẳng là dài và có quang tính rộng; một chiều khác (theo chu vi tròn của nó) được chỉ bằng mũi tên uốn tròn là ngắn và cuộn lại.

Hình này nhấn mạnh rằng bề mặt của đường ống là hai chiều gồm một chiều lớn có quang tính rộng và một chiều nhỏ cuộn tròn. Kaluza và Klein cho rằng cấu trúc không gian của vũ trụ chúng ta cũng tương tự như vậy, nhưng nó có ba chiều không gian lớn, có quang tính rộng và một chiều nhỏ cuộn tròn, nghĩa là cả thảy có bốn chiều không gian. Thật khó mà có thể vẽ một cái gì đó có nhiều chiều như vậy, do đó để trực quan, ta đành phải chấp nhận dùng hình minh họa chứa hai chiều lớn và một chiều nhỏ cuộn tròn. Chúng ta minh họa điều này trên hình 8.3, trong đó ta đã phóng đại cấu trúc của không gian rất giống như khi ta thu gần ảnh của ống dẫn nước.



Hình 8.3. Giống như hình 5.1, mỗi một mức tiếp sau biểu diễn hình phóng đại lớn hơn của cấu trúc không gian ở mức trước. Vũ trụ của chúng ta có thể có các chiều phụ, như được thấy ở mức phóng đại thứ tư, nếu như chúng được cuộn lại trong một không gian nhỏ tới mức cho tới nay chúng ta vẫn chưa phát hiện được.

Mức thấp nhất trên hình cho thấy cấu trúc biểu kiến của không gian ở những thang khoảng cách quen thuộc, như thang mét chẳng hạn, tức là thế giới bình thường xung quanh chúng ta. Các khoảng cách này được biểu diễn bởi tập hợp lớn nhất các đường kẻ ô. Trong những hình ảnh tiếp sau, chúng ta thu gần ảnh của cấu trúc không gian, bằng cách tập trung quan sát những vùng không gian còn nhỏ hơn nữa mà chúng ta đã liên tiếp phóng đại để nhìn rõ hơn. Thoạt đầu, khi chúng ta khảo sát cấu trúc không gian ở những thang khoảng cách ngắn hơn, chưa có gì nhiều xảy ra; nó vẫn giữ nguyên dạng cơ bản như ở các thang khoảng cách lớn, như ta thấy ở ba mức đầu tiên của hình phóng đại. Tuy nhiên, khi chúng ta tiếp tục cuộc hành trình tới khảo sát những thang vi mô nhất của không gian - mức phóng đại thứ tư trên hình 8.3 - thì một chiều mới, chiều cuộn tròn, mới hiện ra, nhìn rất giống như

những vòng sợi len tròn xếp chặt tạo nên lớp xốp trên bề mặt một tấm thảm. Kaluza và Klein cho rằng chiều cuộn tròn phụ này tồn tại ở mọi điểm trong các chiều có quang tính rộng, hết như chu vi tròn của ống dẫn nước tồn tại ở mọi điểm dọc theo chiều dài của nó. (Để dễ nhìn, trên hình ta chỉ vẽ minh họa chiều cuộn tròn tại những điểm cách đều nhau của các chiều lớn). Hình 8.4 là một mặt phẳng gần với cấu trúc không gian theo Kaluza và Klein.



Hình 8.4. Những đường kẻ ô biểu diễn các chiều lớn quen thuộc trong đời sống hàng ngày của chúng ta, trong khi đó các vòng tròn biểu diễn chiều mới, chiều nhỏ và bị cuộn tròn lại. Giống như những vòng sợi len xếp chặt tạo nên lớp xốp của một tấm thảm, những vòng tròn này tồn tại ở mỗi điểm trong các chiều lớn quen thuộc, nhưng để dễ nhìn ta chỉ vẽ chúng tại giao điểm của các đường kẻ ô.

Mặc dù sự tương tự với đường ống dẫn nước khá là rõ nét, nhưng có một số điểm khác biệt quan trọng. Vũ trụ của chúng ta có ba chiều không gian lớn, có quang tính rộng (trên hình chúng ta chỉ vẽ được hai) trong khi đó ống dẫn nước chỉ có một và quan trọng hơn, bây giờ chúng ta mô tả cấu trúc không gian của chính bản thân vũ trụ chứ không phải của một vật (như ống dẫn nước) tồn tại bên trong vũ trụ đó. Ý tưởng cơ bản thì vẫn như thế: giống như chu vi tròn của ống dẫn nước, nếu như chiều phụ bị cuộn lại, thì chiều tròn đó của vũ trụ là cực nhỏ và khó phát hiện hơn rất nhiều so với các chiều lớn có quang tính rộng. Thực tế, kích thước của chiều phụ này nhỏ tới mức vượt ra ngoài khả năng phát hiện của những dụng cụ phóng đại mạnh nhất của chúng ta hiện nay. Và, điều quan trọng nhất, đó là chiều nhỏ cuộn tròn không đơn giản là một bước tròn bên trong các chiều lớn quen thuộc mà đây thực sự là một chiều mới tồn tại ở mỗi điểm trong các chiều lớn quen thuộc hết như các chiều phải - trái, trước - sau, lên - xuống tồn tại ở mỗi điểm vậy. Đó là một chiều mới và độc lập, trong đó con kiến, nếu nó đủ nhỏ, có thể chuyển động theo. Để xác định vị trí của con kiến vi mô đó, ta phải biết nó ở đâu trong ba chiều không gian lớn quen thuộc (được biểu diễn bởi lưới ô vuông) cũng như nó ở đâu trong chiều cuộn tròn. Nghĩa là chúng ta cần phải có bốn số liệu về không gian; còn nếu thêm cả chiều thời gian nữa thì chúng ta phải có cả thảy năm số liệu về không - thời gian, nhiều hơn một so với chúng ta thường quan niệm.

Như vậy, chúng ta khá bất ngờ phát hiện ra rằng, mặc dù chúng ta chỉ cảm nhận được ba chiều không gian quen thuộc, nhưng những lý lẽ của Kaluza và Klein lại cho thấy rằng điều đó không hề loại trừ sự tồn tại của những chiều phụ cuộn tròn, miễn là chúng có kích thước cực nhỏ. Vũ trụ rất có thể còn có những chiều ẩn giấu mà mắt chúng ta không nhìn thấy được.

Nhưng nói nhỏ như thế nào? Những thiết bị tân tiến nhất hiện nay có thể phát hiện được những cấu trúc nhỏ tới một phần tỷ tỷ mét. Và nếu như một chiều phụ cuộn tròn có kích thước nhỏ hơn khoảng cách bé xíu đó, thì chúng ta không thể phát hiện được. Năm 1926, Klein đã kết hợp ý tưởng ban đầu của Kaluza với một số ý tưởng của cơ học lượng tử mới ra đời. Những tính toán của ông chỉ ra rằng chiều phụ cuộn tròn cần phải nhỏ cỡ chiều dài Planck, nhỏ hơn rất nhiều so với khả năng của thực nghiệm. Từ đó, các nhà vật lý đã gọi khả năng có những chiều không gian phụ cực nhỏ là lý thuyết Kaluza - Klein[2].

[1] Đây là một ý tưởng đơn giản, nhưng sự thiếu chính xác của ngôn ngữ thông thường đôi khi có thể dẫn tới hiểu nhầm. Hai nhận xét sau sẽ phân nào làm sáng tỏ thêm. Thứ nhất, ta đã giả thiết rằng con kiến buộc phải sống trên bề mặt của ống dẫn nước. Ngược lại, nếu con kiến có thể đào hang vào bên trong ống, tức là nếu nó có thể thâm nhập vào lớp nhựa ống, thì chúng ta cần tới 3 con số để xác định vị trí của nó, bởi vì chúng ta còn phải xác định cả độ sâu mà con kiến đã đào vào nữa. Nhưng nếu con kiến chỉ sống trên bề mặt ống nước thôi, thì vị trí của nó được xác định bằng hai con số. Điều này dẫn chúng ta tới nhận xét thứ hai. Ngay cả khi con kiến sống chỉ trên bề mặt ống nước, chúng ta vẫn có thể xác định vị trí của nó bằng ba con số: trái - phải, trước - sau và trên - dưới trong không gian ba chiều quen thuộc, nếu như chúng ta muốn chọn như vậy. Nhưng một khi chúng ta đã biết con kiến sống trên bề mặt ống dẫn nước, thì hai con số chúng ta nói trong chương 7 là dữ liệu tối thiểu để xác định một cách duy nhất vị trí của con kiến. Và chúng ta nói mặt ống nước là hai chiều chính là với ý nghĩa như vậy.

[2] Điều khá ngạc nhiên là các nhà vật lý Savas Dimopoulos, Nima arkani-Hamed và Gia Dvali, dựa trên những phát hiện của Ignatios Antonniadis và Joseph Lykken, đã chứng minh được rằng, ngay cả khi một chiều phụ cuộn lại có kích thước cỡ milimét, thì có cũng chưa thể phát hiện được bằng thực nghiệm. Lý do là ở chỗ, các máy gia tốc hạt thăm dò thế giới vi mô bằng cách dùng các lực mạnh, yếu và điện từ. Lực hấp dẫn thì quá nhỏ ở những năng lượng trong tầm của công nghệ hiện nay, nên nói chung không được tính đến. Nhưng Dimopoulos và các cộng sự của ông đã nhận thấy rằng

nếu chiều phụ cuộn lại có tác động chủ yếu lên lực hấp dẫn (đây là điều hoàn toàn có thể trong lý thuyết dây) thì mọi thực nghiệm hiện có cũng vẫn có thể bỏ qua nó. Trong một tương lai gần, những thí nghiệm mới, có độ nhạy cao hơn về lực hấp dẫn sẽ tìm kiếm một chiều phụ cuộn lại "lớn" đó. Nếu kết quả là khẳng định, thì đó sẽ là một trong số những phát minh vĩ đại nhất của mọi thời đại.

Tới và lui trên ống dẫn nước

Ví dụ trực quan về ống dẫn nước và minh họa trên hình 8.3 cho ta một ý niệm nhất định về khả năng có những chiều không gian phụ trong vũ trụ chúng ta. Tuy nhiên, ngay cả đối với những nhà nghiên cứu trong lĩnh vực chuyên môn này, việc hình dung một vũ trụ có hơn ba chiều không gian cũng không phải là một việc dễ dàng. Vì lý do đó, các nhà vật lý thường mài giũa trực giác của mình về những chiều phụ bằng cách hình dung cuộc sống sẽ là như thế nào nếu chúng ta sống trong một vũ trụ tưởng tượng có số chiều thấp hơn (theo con đường mà Edwin Abbott đã khởi phát trong tác phẩm *Xứ sở Phẳng* [1], một cuốn sách phổ biến khoa học kinh điển, xuất bản năm 1884), trong đó dần dần chúng ta sẽ nhận thức được vũ trụ có số chiều nhiều hơn ba chiều không gian thông thường mà chúng ta trực tiếp nhìn thấy được. Ta hãy thử làm như vậy bằng cách tưởng tượng một vũ trụ hai chiều giống như cái ống dẫn nước của chúng ta. Muốn làm được như vậy, đòi hỏi bạn phải từ bỏ hẳn quan điểm mình là người "ngoài cuộc" xem đường ống dẫn nước đó như một vật trong vũ trụ. Đồng thời, bạn phải giả biệt thế giới như chúng ta biết để bước vào một vũ trụ mới - vũ trụ ống dẫn nước, mà toàn bộ quy mô không gian của nó chỉ là bề mặt của ống dẫn nước rất dài (có thể xem như là dài vô hạn). Và hãy tưởng tượng rằng bạn là con kiến nhỏ xíu sống trên bề mặt đó.

Trước hết, ta hãy bắt đầu bằng việc làm cho sự vật trở nên hơi cực đoan một chút. Hãy hình dung độ dài của chiều cuộn tròn trong vũ trụ ống nước là rất nhỏ, nhỏ tới mức mà bạn cũng như bất kỳ ai khác sống trong vũ trụ đó không ý thức được sự tồn tại của nó. Tất cả mọi người sống trong vũ trụ này đều xem việc nó chỉ có một chiều không gian là một sự thật hiển nhiên, không một chút nghi ngờ. (Nếu như trong vũ trụ ống nước có sản sinh ra một con kiến Einstein riêng của mình, thì cư dân ở đây chắc sẽ nói rằng vũ trụ của họ có một chiều không gian và một chiều thời

gian). Thực tế, đặc điểm này là hiển nhiên tới mức, cư dân sống trong đó đặt tên cho quê hương của họ là Xứ sở Thăng, ý muốn nhấn mạnh là nó chỉ có một chiều không gian.

Cuộc sống trong Xứ sở Thăng rất khác với cuộc sống mà chúng ta đang sống. Chẳng hạn, các vật thể thông thường mà chúng ta quen thuộc hàng ngày không thể hiện hữu trong xứ sở này. Đối với chúng ta, dù có nỗ lực bao nhiêu đi nữa, cũng không thể làm thay đổi được gì đối với một thực tế là các vật luôn luôn có chiều rộng, chiều dài và chiều cao, tức có một quảng tính không gian ba chiều. Tuy nhiên, trong Xứ sở Thăng, hoàn toàn không có chỗ cho những vật thể cồng kềnh như vậy. Cần nhớ rằng, hình ảnh tưởng tượng của bạn vẫn còn gắn liền với một vật thể dài và mảnh như sợi chỉ tồn tại trong không gian của chúng ta, nhưng bạn cần phải thực sự nghĩ rằng đó là một vũ trụ tự thân, ngoài nó ra không còn tồn tại gì khác. Là một cư dân sống trong vũ trụ đó, bạn phải thích hợp với quảng tính không gian của nó. Hãy thử tưởng tượng điều đó xem. Ngay cả khi bạn hóa thân làm một con kiến đi nữa, thì cũng vẫn chưa thích hợp. Bạn cần ép cái cơ thể kiến của bạn thành một con sâu, rồi phải ép nữa cho tới khi hoàn toàn không còn bề dày. Tóm lại, để phù hợp với Xứ sở Thăng, bạn chỉ có thể có chiều dài không thôi.

Bây giờ hãy tưởng tượng thêm nữa là bạn có mắt ở cả hai đầu. Không giống như mắt người, có thể đảo ngang đảo dọc để nhìn được toàn bộ không gian ba chiều, mắt bạn trong vũ trụ thăng vĩnh viễn khóa chặt ở một vị trí, mỗi mắt chỉ nhìn được theo một hướng. Điều này không phải là một hạn chế về mặt giải phẫu của cơ thể bạn, mà thực ra bạn và những cư dân sống trong xứ sở đó đều thừa nhận rằng vì vũ trụ của họ chỉ có một chiều nên chẳng có một hướng nào khác để nhìn. Tất cả chỉ có đi tới hoặc đi lui mà thôi.

Có thể tiếp tục hình dung thêm nữa về cuộc sống ở Xứ sở Thăng, nhưng chúng ta sẽ nhanh chóng nhận thấy rằng cũng chẳng có gì nhiều để mà hình dung. Ví dụ, có một cư dân khác ở phía bên này hoặc bên kia của bạn, hãy thử tưởng tượng xem điều đó sẽ như thế nào: bạn sẽ chỉ thấy một mắt của cô ta - con mắt đối diện với bạn - nhưng không giống như mắt người, nó chỉ là một điểm duy nhất. Mắt của cư dân trong Xứ sở Thăng không có đường nét cũng chẳng có biểu cảm gì, bởi vì không có chỗ cho những đặc trưng quen thuộc đó. Ngoài ra, bạn sẽ vĩnh viễn bị chặn bởi hình

ảnh giống điểm đó của mắt người lảng giềng. Nếu như bạn muốn đi qua cô ta để thám hiểm thế giới của Xứ sở Thăng ở phía bên kia thì bạn sẽ phải hoàn toàn thất vọng. Bởi lẽ, bạn không thể đi qua cô ta được. Cô ta đã hoàn toàn "chặn hết lối đi của bạn" và cũng chẳng có chỗ để bạn đi vòng qua. Trật tự của cư dân ở đây, như họ đã được an bài, là mãi mãi cố định và không thể thay đổi được. Thật là bất hạnh biết bao.

Vài ngàn năm sau sự giáng thế của một Đấng toàn năng xuống Xứ sở Thăng, một cư dân ở đây tên là Kaluza K. Line (đường thẳng) đã mang lại cho xứ sở này một niềm hy vọng. Hoặc là do sự cảm hứng thiêng liêng nào đó hoặc là do nhiều năm tuyệt vọng nhìn con mắt điểm của người lảng giềng, ông đã nêu ra ý kiến cho rằng, xét cho tới cùng, Xứ sở Thăng này không thể là một chiều. Ông đã đưa ra giả thuyết cho rằng, Xứ sở Thăng thực sự là một vũ trụ hai chiều, với chiều thứ hai là một hướng cuộn tròn rất nhỏ không thể quan sát được trực tiếp vì kích thước không gian cực nhỏ của nó. Ông còn vẽ ra bức tranh về một cuộc sống hoàn toàn mới, chỉ nếu như chiều bị cuộn lại đó nở ra về kích thước - một điều dường như là có thể nhờ công trình của một đồng nghiệp của ông tên là Linestein. Kaluza K. Line mô tả một vũ trụ khiến cho bạn và các bạn của bạn phải kinh ngạc và tràn đầy hy vọng. Đó là vũ trụ mà những cư dân trong đó có thể chuyển động tự do đi qua nhau bằng cách sử dụng chiều thứ hai và thế là chấm hết cảnh nô lệ về không gian! Ta nhận thấy ngay rằng, cuộc sống mà Kaluza K. Line mô tả chính là cuộc sống trong vũ trụ ống nước có "bề dày".

Thực tế, nếu như chiều cuộn tròn lớn lên, Xứ sở Thăng trở thành vũ trụ ống nước, thì cuộc sống của bạn sẽ thay đổi một cách sâu sắc. Lấy cơ thể của bạn làm ví dụ, chẳng hạn. Khi là người thuộc Xứ sở Thăng, bất cứ cái gì ở giữa hai mắt đều thuộc nội tạng của bạn. Do đó đối với cơ thể hình dây của bạn, hai con mắt đóng vai trò như da đối với cơ thể của người bình thường: chúng trở thành rào chắn giữa nội tạng của bạn và thế giới bên ngoài. Một bác sĩ trong Xứ sở Thăng chỉ có tiếp cận được nội tạng của bạn bằng cách xuyên qua bề mặt của nó.

Nói một cách khác, "phẫu thuật" trong Xứ sở Thăng được tiến hành qua mắt.

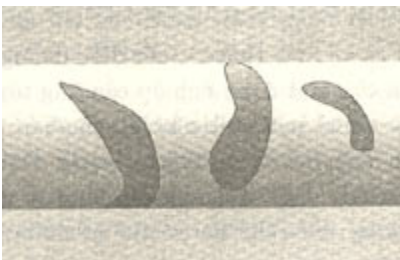
Nhưng bây giờ hãy tưởng tượng xem điều gì sẽ xảy ra nếu như Xứ sở Thăng, theo Kaluza K. Line còn có một chiều bí ẩn cuộn

lại và nếu như chiều này nở ra tới kích thước có thể quan sát được? Bây giờ thì một cư dân ở đây có thể nhìn thấy cơ thể bạn dưới một góc độ nào đó và do đó có thể thấy nội tạng của nó, như được minh họa trên hình 8.5.



Hình 8.5. Một cư dân Xứ sở Thăng có thể nhìn thấy trực tiếp nội tạng của một cư dân khác khi xứ sở này giãn nở thành vũ trụ ống nước.

Dùng chiều thứ hai này, bác sĩ có thể làm phẫu thuật trên cơ thể bạn bằng cách can thiệp trực tiếp vào nội tạng đã phơi sẵn ra đó. Thật là kỳ cục! Chắc hẳn với thời gian, cơ thể của cư dân ở xứ sở này sẽ phát triển một lớp phủ ngoài giống như da, để che cho phần nội tạng mới được phơi bày ra không tiếp xúc với thế giới bên ngoài. Ngoài ra, họ chắc chắn sẽ tiến hóa thành các sinh vật vừa có chiều dài vừa có cả chiều rộng nữa: các sinh vật phẳng này đi lại bằng cách trượt dọc theo vũ trụ ống nước hai chiều, như được minh họa trên hình 8.6. Và nếu như chiều cuộn tròn trở nên rất lớn, thì vũ trụ hai chiều này rất giống với Xứ sở Thăng của Aboott, một thế giới hai chiều tưởng tượng mà Aboott đã dựng nên với cả một di sản văn hóa phong phú và thậm chí có cả một hệ thống đẳng cấp khá khôi hài dựa trên dạng hình học của mỗi người. Trong khi khó có thể hình dung được một vài cái gì thú vị trong Xứ sở Thăng, đơn giản vì không có chỗ, thì đời sống trong vũ trụ ống nước lại đầy ắp những khả năng. Sự tiến hóa từ một thành hai chiều không gian lớn, quan sát được thật là ngoạn mục.



Hình 8.6. Các sinh vật phẳng hai chiều sống trong vũ trụ ống nước.

Và bây giờ là điệp khúc: tại sao lại dừng ở đó? Bản thân vũ trụ hai chiều cũng có thể có chiều bị cuộn lại và do đó nó tiềm ẩn đã là ba chiều. Chúng ta có thể minh họa điều này trên hình 8.4, với điều kiện là bây giờ chúng ta tưởng tượng chỉ có hai chiều không gian có quang tính lớn (trong khi đó, lần đầu tiên khi đưa ra hình này, ta hình dung lưới phẳng kẻ lưới ô vuông biểu diễn ba chiều không gian có quang tính lớn). Nếu chiều cuộn lại cũng được nở ra, thì cư dân trong đó sẽ thấy mình ở trong một thế giới hoàn toàn mới mẻ, trong đó chuyển động không chỉ giới hạn dọc theo các chiều có quang tính lớn là trái - phải và trước - sau như trước nữa. Bây giờ các dân đó có thể chuyển động

theo cả chiều thứ ba, đó là chiều trên - dưới dọc theo một vòng tròn. Thực tế, nếu chiều cuộn tròn này nở ra với kích thước đủ lớn, thì đó chính là vũ trụ của chúng ta. Hiện nay chúng ta còn chưa biết một chiều nào đó trong ba chiều không gian của chúng ta vẫn đang tiếp tục mở rộng mãi ra hay đang tự cuộn lại thành một vòng tròn khổng lồ nằm ngoài phạm vi quan sát của những kính thiên văn mạnh nhất. Nếu chiều cuộn tròn trên hình 8.4 là đủ lớn, cỡ hàng tỷ năm ánh sáng, thì hình này rất có thể là hình vẽ mô tả vũ trụ chúng ta.

Nhưng điệp khúc lại lặp lại: tại sao lại dừng ở đây? Điều này đã đưa chúng ta tới ý tưởng của Kaluza và Klein, cho rằng vũ trụ ba chiều của chúng ta cũng phải có một chiều không gian thứ tư bị cuộn lại mà trước đó ta chưa biết. Nếu khả năng kỳ lạ đó hay sự tổng quát hóa của nó là nhiều chiều bị cuộn lại là đúng và nếu như các chiều này được giãn nở tới kích thước vĩ mô, thì những thí dụ về các trường hợp thấp chiều trình bày ở trên cho thấy rõ ràng rằng sự sống khi đó sẽ thay đổi ghê gớm.

Thật đáng ngạc nhiên là, mặc dù thậm chí các chiều phụ bị cuộn lại có thể mãi mãi bị cuộn lại và có kích thước rất nhỏ, nhưng sự tồn tại của chúng vẫn có những hệ quả rất sâu sắc.

[1] Edwin Abbott, *Flatland* (Princeton: Princeton University Press, 1991)

Sự thống nhất trong các chiều cao hơn

Mặc dù ý tưởng được Kaluza đề xuất năm 1919 cho rằng vũ trụ chúng ta có thể có số chiều không gian nhiều hơn ba chiều quen thuộc, mà chúng ta trực tiếp nhìn thấy được, đã là một khả năng rất thú vị, nhưng còn một điều khác nữa làm cho nó trở nên hấp dẫn hơn. Einstein đã xây dựng thuyết tương đối rộng trong khuôn khổ của một vũ trụ có ba chiều không gian và một chiều thời gian. Tuy nhiên, hình thức luận toán học trong lý thuyết của ông có thể mở rộng một cách khá dễ dàng cho một vũ trụ chứa cả các chiều phụ. Với một giả thuyết khá "khiêm tốn" về một chiều không gian phụ, Kaluza đã tiến hành phân tích về mặt toán học và dẫn ra được các phương trình mới.

Kaluza đã tìm thấy rằng, các phương trình liên quan tới ba chiều không gian quen thuộc thì về cơ bản vẫn giống như các phương trình của Einstein. Tuy nhiên, do có đưa thêm vào một

chiều không gian nữa, nên không có gì đáng ngạc nhiên là, Kaluza còn tìm được những phương trình khác mà trước kia chưa có trong lý thuyết của Einstein. Sau khi nghiên cứu những phương trình mới xuất hiện thêm này, Kaluza hiểu ra rằng đã xảy ra một điều gì đó thật lạ lùng. Những phương trình đó không gì khác chính là các phương trình mà Maxwell đã viết từ những năm 1880 để mô tả lực điện từ! Vậy là bằng cách thêm vào một chiều phụ, Kaluza đã thống nhất được lý thuyết hấp dẫn với lý thuyết điện từ của Maxwell.

Trước công trình của Kaluza, lực hấp dẫn và lực điện từ được xem là hai lực không có quan hệ gì với nhau và cũng không có gì mạch lạc bảo rằng giữa chúng có một mối quan hệ nào đó. Nhờ có tinh thần sáng tạo táo bạo để hình dung được vũ trụ chúng ta còn có một chiều phụ, Kaluza cho rằng giữa chúng thực sự có một mối liên hệ sâu xa. Lý thuyết dây của ông đã chỉ ra rằng cả lực hấp dẫn lực điện từ đều liên quan đến những biến dạng trong cấu trúc của không gian. Lực hấp dẫn được mang bởi những biến dạng trong không gian ba chiều quen thuộc, còn lực điện từ được mang bởi những biến dạng liên quan với chiều phụ bị cuộn lại.

Kaluza đã gửi bài báo của mình cho Einstein và thoạt đầu Einstein đã cảm thấy rất thích thú. Ngày 21 tháng 4 năm 1919, Einstein đã viết thư trả lời và nói với Kaluza rằng ông chưa khi nào nảy ra ý nghĩ sự thống nhất lại có thể đạt được "thông qua một thể giới hình trụ năm chiều (bốn chiều không gian và một chiều thời gian) như vậy cả". Và viết thêm: "Thoáng nhìn, tôi rất thích ý tưởng của anh" [1]. Tuy nhiên, khoảng một tuần sau, Einstein lại viết thư cho Kaluza nhưng lần này ông tỏ vẻ hoài nghi: "Tôi đã đọc kỹ bài báo của anh và thấy nó thực sự lý thú. Cho tới giờ, tôi vẫn chưa thấy có chỗ nào là không thể cả. Mặt khác, tôi cũng phải thú nhận rằng những lập luận mà anh đưa ra cho tới nay còn chưa đủ sức thuyết phục" [2]. Nhưng sau đó vào ngày 14 tháng 10 năm 1921, nghĩa là hơn hai năm sau, Einstein lại viết cho Kaluza, sau khi đã có thời gian nghiền ngẫm ý tưởng của Kaluza một cách đầy đủ hơn: "Tôi vừa mới suy nghĩ lại về chuyện đã ngăn trở việc công bố ý tưởng của anh hai năm trước đây về sự thống nhất của lực hấp dẫn và lực điện từ... Rốt cuộc, nếu anh muốn, tôi sẽ giới thiệu bài báo của anh với Viện hàn lâm". Dù muộn màng, nhưng cuối cùng Kaluza cũng đã được bậc thầy công nhận.

Mặc dù, ý tưởng của Kaluza là một ý tưởng đẹp, nhưng những nghiên cứu chi tiết sau đó, cộng thêm với những đóng góp của Klein, đã cho thấy rằng nó mâu thuẫn sâu sắc với những dữ liệu thực nghiệm. Những cố gắng bao hàm electron vào trong lý thuyết đã dẫn đến tiên đoán về mối quan hệ giữa khối lượng và điện tích của nó khác quá xa so với những giá trị đo được bằng thực nghiệm. Vì không có một cách rõ ràng nào để khắc phục được vấn đề đó, nên nhiều nhà vật lý đã từng theo đuổi ý tưởng của Kaluza, cuối cùng cũng không còn quan tâm tới nó nữa. Mặc dù, Einstein và những người khác đôi lúc vẫn tiếp tục nói tới khả năng tồn tại của các chiều bị cuộn lại, nhưng rồi nó cũng nhanh chóng bị gạt ra rìa của vật lý lý thuyết.

Thực sự mà nói, ý tưởng của Kaluza đã vượt trước thời đại của mình. Những năm 1920 đã đánh dấu sự khởi đầu của những nghiên cứu cuồng nhiệt trong vật lý lý thuyết và thực nghiệm liên quan tới sự tìm hiểu những định luật cơ bản của thế giới vi mô. Các nhà vật lý lý thuyết bị cuốn hút hoàn toàn vào việc phát triển cơ học lượng tử và lý thuyết trường lượng tử. Các nhà thực nghiệm thì chuyên lo thu thập những số liệu chi tiết về các tính chất của nguyên tử cũng như của những thành phần sơ cấp của vật chất. Lý thuyết hướng dẫn thực nghiệm, còn thực nghiệm góp phần hoàn thiện lý thuyết, cứ như vậy các nhà vật lý tiến lên phía trước trong suốt một nửa thế kỷ và cuối cùng là phát minh ra mô hình chuẩn. Vì vậy không có gì là lạ, những tư biện về các chiều phụ cuộn lại bị gạt sang một bên trong những năm tháng sôi động và đầy hiệu quả đó. Đối với các nhà vật lý đang ham khám phá những phương pháp công hiệu mạnh của vật lý lượng tử, với những hệ quả dẫn tới các tiên đoán có thể kiểm chứng bằng thực nghiệm, thì họ rất ít quan tâm tới khả năng vũ trụ là một nơi hoàn toàn khác ở những thang chiều dài quá nhỏ, khiến cho ngay cả những thiết bị mạnh nhất cũng không thể thăm dò tới.

Nhưng rồi sớm hay muộn, sự cuồng nhiệt trong những nghiên cứu đó cũng sẽ lại vắng xuống. Vào cuối những năm 1960 và đầu những năm 1970, cấu trúc lý thuyết của mô hình chuẩn đã gần như đầu vào đáy. Cuối những năm 1970, đầu những năm 1980, nhiều tiên đoán của mô hình chuẩn đã được kiểm chứng bằng thực nghiệm và đa số các nhà vật lý hạt đều nhất trí rằng việc khẳng định phần còn lại chỉ là vấn đề thời gian. Mặc dù một ít các chi tiết quan trọng vẫn còn chưa giải quyết được, nhưng nhiều

người đã cảm thấy rằng những vấn đề chủ yếu của các lực mạnh, yếu và điện từ coi như là đã có câu trả lời.

Thời gian, cuối cùng cũng đã chín muồi để quay trở lại vấn đề lớn nhất, đó là sự xung đột đầy bí ẩn giữa thuyết tương đối rộng và cơ học lượng tử. Thành công trong việc xây dựng một lý thuyết lượng tử của ba lực tự nhiên đã khích lệ các nhà vật lý cố gắng gộp cả lực thứ tư, tức lực hấp dẫn, vào trong cùng khuôn khổ đó. Sau khi theo đuổi rất nhiều ý tưởng khác nhau nhưng đều dẫn tới thất bại, tư duy của cộng đồng các nhà vật lý đã trở nên cởi mở hơn đối với các cách tiếp cận tương đối triệt để. Và lý thuyết Kaluza, một lý thuyết đã bị để cho chết yểu vào những năm 1920, nay đã được hồi sinh trở lại.

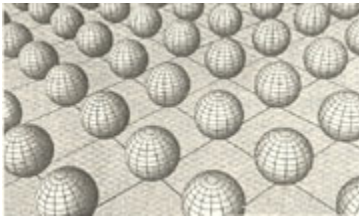
[1] Thư của Einstein gửi Kaluza, được trích trong cuốn *Subtle Is Lord: The Science and the Life Albert Einstein* của Abraham Pais (Oxford: Oxford University Press, 1982), trang 330.

[2] Thư của Einstein gửi Kaluza, được trích trong bài báo "Các chiều ẩn giấu của không - thời gian" của D. Freedman và P. van Nieuwenhuizen, đăng trên *Scientific American*, số 252 (1985), trang 62.

Lý thuyết Kaluza - Klein hiện đại

Trong suốt sáu chục năm từ ngày Kaluza đưa ra ý tưởng độc đáo của mình, những hiểu biết về vật lý đã thay đổi một cách đáng kể và sâu sắc hơn rất nhiều. Cơ học lượng tử đã xây dựng xong và được thực nghiệm kiểm chứng. Các lực mạnh và yếu còn chưa được biết tới hồi những năm 1920 thì nay cũng đã được phát hiện và tìm hiểu cặn kẽ. Một số nhà vật lý nêu ý kiến cho rằng ý tưởng độc đáo của Kaluza sở dĩ thất bại là do ông chưa biết tới hai lực mới đó nên còn quá bảo thủ trong việc đối mới lại không gian. Có nhiều lực hơn có nghĩa là cần phải có nhiều chiều hơn. Người ta thậm chí đã chứng minh được rằng chỉ một chiều mới cuộn tròn thôi thì chưa đủ, mặc dù nó đã cung cấp những chỉ dẫn về mối liên hệ giữa lực hấp dẫn và lực điện từ.

Vào giữa những năm 1980, các nhà vật lý đã tập trung những nỗ lực to lớn vào việc nghiên cứu những lý thuyết có số chiều cao, trong đó có nhiều chiều không gian bị cuộn lại.



Hình ảnh 8.7 minh họa trường hợp có hai chiều phụ cuộn lại thành một mặt cầu. Như trong trường hợp chỉ có một chiều cuộn lại, hai chiều phụ này được thêm vào tại một điểm của ba chiều không gian quen thuộc. (Và để cho dễ nhìn, ta lại chỉ vẽ các mặt cầu này tại những điểm nút cách đều nhau của lưới ô vuông). Ngoài việc đưa ra số các chiều phụ khác nhau, người ta còn tưởng tượng ra cả những hình dạng khác cho các chiều phụ.



Hình 8.8: Hai chiều phụ cuộn thành một mặt hình xuyên.

Ví dụ, trong hình 8.8. Chúng ta minh họa một khả năng trong đó vẫn có hai chiều phụ, nhưng bây giờ hình dạng của nó là một hình xuyên, tương tự như dạng của chiếc săm ô tô. Mặc dù chúng ta không thể vẽ ra, nhưng người ta đã tưởng tượng ra những khả năng phức tạp hơn, trong đó có tới ba, bốn, năm hoặc nhiều hơn nữa các chiều phụ cuộn thành một phổ rộng lớn các hình dạng quái lạ. Lại một lần nữa, yêu cầu căn bản đặt ra là, tất cả những chiều đó phải có quảng tính không gian nhỏ hơn thang chiều dài nhỏ nhất mà chúng ta có thể thăm dò tới, vì thực nghiệm còn chưa phát hiện được sự tồn tại của chúng.

Những đề xuất hứa hẹn nhất là những đề xuất bao gồm được cả siêu đối xứng. Các nhà vật lý hy vọng rằng, sự hủy một phần những thăng giáng lượng tử dữ dội nhất nhờ sự tạo thành theo từng cặp siêu hạt bạn, có thể làm dịu đi sự xung đột giữa lý thuyết tương đối rộng và cơ học lượng tử. Và họ đã đặt ra cái tên siêu hấp dẫn với số chiều cao để chỉ các lý thuyết bao hàm được hấp dẫn, các chiều phụ và siêu đối xứng.

Cũng như ý định ban đầu của Kaluza, rất nhiều các phiên bản khác nhau của siêu hấp dẫn thoát đầu tỏ ra rất hứa hẹn. Những phương trình mới xuất hiện do các chiều phụ giống một cách lạ lùng với những phương trình mô tả lực điện từ cũng như các lực mạnh và yếu. Nhưng sự xem xét một cách kỹ lưỡng và chi tiết hơn đã cho thấy rằng những vấn đề cũ vẫn dai dẳng còn đó.

Điều quan trọng nhất, đó là những biến dạng của không gian do các thăng giáng lượng tử tai hại gây ra mặc dù đã được siêu đối xứng làm cho giảm bớt đi, nhưng chưa đủ để tạo ra một lý thuyết có thể đứng vững được. Đối với các nhà vật lý, việc xây dựng một lý thuyết duy nhất, hợp lý và có vô số chiều cao chứa đựng được tất cả các đặc trưng của lực và vật chất, vẫn còn rất khó khăn.

Dần dần người ta thấy rõ rằng các mảnh khác nhau của một lý thuyết thống nhất đã có đủ, nhưng vẫn còn thiếu một yếu tố căn bản có khả năng kết nối chúng lại với nhau một cách nhất quán theo tinh thần của cơ học lượng tử. Năm 1984, yếu tố còn thiếu đó đã bước ra sân khấu và đóng vai chính, đó là lý thuyết dây.

Nhiều chiều nữa và lý thuyết dây

Bây giờ chắc là bạn đã tin rằng vũ trụ chúng ta có thể có những chiều không gian phụ bị cuộn lại; chừng nào mà những chiều phụ này còn rất nhỏ thì không gì có thể loại bỏ chúng được. Nói thế chứ, các chiều phụ này có thể đối với bạn vẫn có vẻ gì đó như là nhân tạo. Sự không có khả năng thăm dò tới những khoảng cách nhỏ hơn một phần tỷ mét của chúng ta cho phép không chỉ khả năng tồn tại của các chiều phụ mà còn đủ các loại khả năng kỳ quái nữa, chẳng hạn như sự tồn tại của nền văn minh vi mô trong đó sinh sống những người xanh nhỏ xíu. Chắc chắn là khả năng thứ nhất hợp lý hơn khả năng thứ hai, nhưng việc thừa nhận một khả năng nào đó chưa được kiểm chứng bằng thực nghiệm thì đối với cả hai trường hợp dường như đều tùy tiện như nhau.

Tình hình đúng là như vậy cho tới khi xuất hiện lý thuyết dây. Đây là lý thuyết giải thích được mâu thuẫn trung tâm mà vật lý hiện đại phải đối mặt - đó là sự không tương thích giữa cơ học lượng tử và thuyết tương đối rộng, đồng thời nó thống nhất được sự hiểu biết của chúng ta về tất cả các lực và thành phần vật chất cơ bản của tự nhiên. Nhưng để thực hiện được những chiến công đó, hóa ra lý thuyết dây lại đòi hỏi vũ trụ phải có thêm những chiều phụ.

Bây giờ chúng ta sẽ giải thích tại sao lại có sự đòi hỏi đó. Như đã biết, một trong những phát minh vĩ đại nhất của cơ học lượng tử, đó là khả năng tiên đoán của chúng ta bị giới hạn một cách cơ bản do khẳng định rằng các kết quả đều xuất hiện với một xác suất nhất định. Mặc dù Einstein đã cảm thấy khó chịu với

điều đó và bạn cũng chắc đồng ý với ông, nhưng thực tế lại là như vậy và chúng ta hãy chấp nhận nó. Chúng ta ai cũng biết rằng xác suất luôn là con số nằm giữa 0 và 1, hay tương đương thế, nếu tính theo phần trăm thì nó là con số nằm giữa 0 và 100. Nhưng các nhà vật lý đã phát hiện ra một dấu hiệu then chốt báo rằng lý thuyết lượng tử đang có những trục trặc, đó là một số những tính toán cụ thể cho giá trị của các xác suất không nằm trong giới hạn mà chúng ta vừa nêu ra ở trên. Ví dụ, như chúng ta đã có lần nói tới ở trên, dấu hiệu không tương thích giữa thuyết tương đối rộng và cơ học lượng tử trong khuôn khổ dựa trên các hạt điểm, đó là những tính toán cho xác suất có giá trị vô hạn. Và cũng như chúng ta đã thảo luận, lý thuyết dây đã “điều trị” được những vô hạn đó. Nhưng chúng ta còn chưa nói tới một vấn đề còn lại, khá tế nhị. Vào những ngày đầu của lý thuyết dây, các nhà vật lý phát hiện ra rằng một số tính toán thậm chí còn cho xác suất âm, nghĩa là cũng nằm ngoài khoảng giá trị chấp nhận được. Như vậy, thoạt nhìn, thì dường như cơ học lượng tử đang bị chìm trong bể nước lượng tử của chính mình.

Với một quyết tâm sắt đá, các nhà vật lý tìm kiếm và đã tìm thấy nguyên nhân của những kết quả không thể chấp nhận được đó. Sự giải thích bắt đầu từ một quan sát đơn giản. Nếu một dây bị ràng buộc nằm trên một mặt hai chiều, như mặt bàn hay bề mặt ống dẫn nước, chẳng hạn thì số các hướng độc lập mà dây có thể dao động rút về chỉ còn hai: đó là các chiều phải - trái và trước - sau trên mặt này. Và bất kỳ một mode dao động nào trên mặt ấy đều liên quan với một tổ hợp nào đó của các dao động theo hai hướng nói trên. Do vậy, chúng ta thấy rằng điều này có nghĩa là trong Xứ sở Thăng, trong vũ trụ ống nước hay một vũ trụ hai chiều bất kỳ nào khác, cũng đều bị hạn chế dao động chỉ theo hai hướng không gian độc lập. Tuy nhiên, nếu dây được phép rời bề mặt, thì số hướng dao động độc lập sẽ tăng lên thành ba, vì vậy khi đó còn có thể dao động theo hướng trên - dưới nữa. Như vậy, trong một vũ trụ có ba chiều không gian, một dây có thể dao động theo ba hướng độc lập nhau. Mặc dù điều này hơi khó hình dung, nhưng sơ đồ đó cứ tiếp tục mãi: trong một vũ trụ có nhiều chiều không gian hơn nữa, thì các hướng dao động độc lập của dây cũng nhiều hơn.

Chúng ta cần nhấn mạnh thực tế này của các dao động của dây, bởi vì các nhà vật lý đã phát hiện ra rằng những tính toán có vấn đề lại rất nhạy cảm với số lượng độc lập mà dây có thể dao

động. Những giá trị xác suất âm xuất hiện là do sự không ăn khớp giữa cái mà lý thuyết đòi hỏi với cái mà thực tế dường như áp đặt. Những tính toán chứng tỏ rằng, nếu các dây có thể dao động theo chín hướng không gian độc lập, thì tất cả các xác suất âm sẽ bị triệt tiêu hết. Cừ thật, đúng là thiên tài về mặt lý thuyết, nhưng rồi thì sao? Bởi vì nếu như lý thuyết dây được dùng để mô tả thế giới với ba chiều không gian của chúng ta, thì chúng ta chưa thoát khỏi khó khăn.

Liệu có đúng như vậy không? Lần ngược trở lại con đường của hơn một nửa thế kỷ trước, chúng ta thấy rằng Kaluza và Klein đã cung cấp cho ta một lối thoát. Vì các dây là quá nhỏ, nên chúng không chỉ dao động theo các chiều lớn có quang tính rộng mà còn có thể dao động theo các chiều nhỏ bị cuộn lại. Và như thế, có thể đáp ứng được đòi hỏi phải có chín chiều không gian của lý thuyết dây trong vũ trụ chúng ta, bằng cách, theo Kaluza và Klein, giả thiết rằng ngoài ba chiều không gian lớn quen thuộc ra, còn có sáu chiều không gian khác bị cuộn lại. Bằng cách đó, lý thuyết dây, một lý thuyết sắp sửa bị loại bỏ đã được cứu thoát. Hơn thế nữa, thay vì thừa nhận sự tồn tại của các chiều phụ như Kaluza, Klein và những người kế tục họ đã làm, lý thuyết dây lại đòi hỏi phải có những chiều phụ đó. Để cho lý thuyết dây trở nên có ý nghĩa, vũ trụ cần phải có chín chiều không gian và một chiều thời gian, cả thảy là 10 chiều. Và thế là, ý tưởng đề xuất năm 1919 của Kaluza đã tìm được diễn đàn mạnh nhất và có sức thuyết phục nhất của nó.

Một số câu hỏi

Điều này đã làm xuất hiện một số câu hỏi. Trước hết, tại sao để tránh những giá trị xác suất vô nghĩa, lý thuyết dây lại đòi hỏi số chiều không gian cụ thể là chín? Có lẽ, đây là câu hỏi học búa nhất trong lý thuyết dây cần phải trả lời mà không được viện đến toán học. Thực ra, trong lý thuyết dây, bằng những tính toán không mấy khó khăn, người ta tìm ngay ra đáp số đó, nhưng chưa có ai đưa ra được một cách giải thích đơn thuần trực giác cho sự xuất hiện của con số cụ thể này. Nhà vật lý Ernest Rutherford đã có lần nói rằng, về căn bản, nếu như bạn còn chưa giải thích được một kết quả bằng những lời lẽ giản dị, không mang tính kỹ thuật, thì bạn chưa thực sự hiểu được kết quả đó. Ông không muốn nói rằng điều ấy có nghĩa là kết quả đó sai, mà thực ra ông chỉ muốn

nói rằng bạn chưa hiểu được đầy đủ nguồn gốc, ý nghĩa và những hệ quả của nó. Có lẽ điều này cũng đúng đối với đặc tính có những chiều phụ của lý thuyết dây. (Thực tế, nhân đây chúng tôi xin mở ngoặc nói trước về một vấn đề trung tâm của cuộc cách mạng siêu dây lần thứ hai sẽ được thảo luận ở chương 12. Những tính toán dẫn tới kết luận rằng có mười chiều không thời gian, tức chín chiều không gian và một chiều thời gian, hóa ra chỉ là những tính toán gần đúng. Vào giữa những năm 1990, Witten dựa trên những phát minh của mình và những công trình trước đó của Michael Duff thuộc Đại học A & M Texas cũng như của Chris Hull và Paul Townsend ở Đại học Cambridge, đã đưa ra bằng chứng có sức thuyết phục rằng tính toán gần đúng mà ta vừa nói tới ở trên thực sự đã bỏ sót một chiều không gian: Trước sự kinh ngạc của phần lớn các nhà lý thuyết dây, Witten đã giải thích rằng, lý thuyết dây thực sự đòi hỏi mười chiều không gian và một chiều thời gian, tức cả thảy mười một chiều. Chúng ta sẽ tạm gác kết quả cơ bản này sang một bên cho tới chương 12, vì thực tế nó ít liên quan tới những gì được trình bày từ đây cho tới đó).

Câu hỏi thứ hai là, nếu các phương trình của lý thuyết dây (hay nói chính xác hơn là các phương trình gần đúng dẫn dắt sự thảo luận của chúng ta cho tới chương 12) chứng tỏ rằng vũ trụ chúng ta có chín chiều không gian và một chiều thời gian, thì tại sao ba chiều không gian (và một chiều thời gian) lại là lớn và có quảng tính rộng trong khi tất cả các chiều khác đều rất nhỏ và bị cuộn lại? Tại sao tất cả chúng không đều cùng có quảng tính lớn hay đều bị cuộn lại hay một khả năng trung dung nào khác? Hiện tại chưa ai có thể trả lời cho câu hỏi đó. Nếu như lý thuyết dây là đúng, thì rồi rốt cuộc chúng ta sẽ rút ra được câu trả lời, nhưng vì sự hiểu biết của chúng ta về lý thuyết dây còn chưa đủ sâu sắc để tới được mục đích đó. Nói như vậy không có nghĩa là không có những ý định dũng cảm nhằm giải thích điều đó. Ví dụ, theo quan điểm vũ trụ học, chúng ta có thể hình dung rằng, tất cả các chiều đều xuất phát từ trạng thái bị cuộn chặt và sau đó, trong Big Bang, giống như một vụ nổ, ba chiều không gian và một chiều thời gian được mở ra và giãn nở tới mức quy mô như hiện nay, trong khi đó các chiều còn lại vẫn nhỏ bé như trước. Những luận chứng còn thô sơ cũng đã được đưa ra để lý giải câu hỏi tiếp theo là tại sao lại chỉ có ba chiều không gian được mở ra và lớn dần lên, như sẽ trình bày ở chương 14, nhưng phải nói thật rằng những giải thích đó cũng mới chỉ ở giai đoạn hình thành. Trong những phần

trình bày dưới đây, để phù hợp với thế giới mà chúng ta nhìn thấy, ta sẽ giả thiết rằng tất cả, trừ ba chiều không gian và chiều thời gian, đều bị cuộn lại. Mục tiêu hàng đầu của những nghiên cứu hiện nay là phải xác lập được giả thiết đó xuất hiện từ chính bản thân của lý thuyết dây.

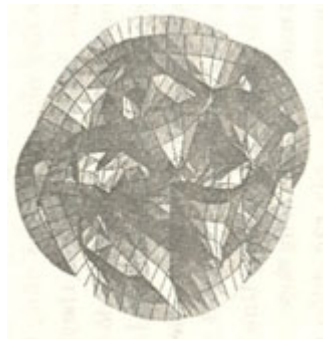
Câu hỏi thứ ba đặt ra là, căn cứ vào đòi hỏi phải có những chiều phụ, vậy thì liệu một số trong đó có thể là các chiều thời gian phụ hay không? Nếu bạn dành một ít phút để suy nghĩ về câu hỏi này, bạn sẽ thấy đây là một khả năng thực sự bí hiểm. Tất cả chúng ta đều hiểu sâu sắc ý nghĩa của chuyện vũ trụ có nhiều chiều không gian, bởi lẽ chúng ta sống trong một thế giới thường xuyên phải đối mặt với sự nhiều chiều đó (mà cụ thể là ba). Nhưng nhiều chiều thời gian là có ý nghĩa gì? Cả nhẽ, một chiều thời gian mà hiện nay chúng ta cảm nhận nó bằng tâm lý, còn có chiều thời gian nữa lại “khác” đi hay sao?

Và lại còn có lạ lùng hơn nữa khi chúng ta nghĩ về các chiều thời gian bị cuộn lại. Ví dụ, nếu một con kiến bé xíu đi vòng quanh một chiều không gian bị cuộn tròn lại, thì cứ sau khi đi hết mỗi vòng trọn vẹn, nó sẽ lại trở về vị trí ban đầu. Điều này chẳng có gì là bí ẩn lắm, vì chúng ta đã quá quen với khả năng quay trở về cùng một nơi trong không gian, bao nhiêu lần cũng được miễn là chúng ta lựa chọn như vậy. Nhưng nếu như chiều cuộn lại là chiều thời gian, thì đi vòng quanh nó tức là, sau một khoảng thời gian, lại quay trở về thời điểm trước đó. Thời gian, như chúng ta biết, là chiều mà chúng ta chỉ có thể đi theo một hướng, tuyệt đối không bao giờ quay trở lại được thời điểm mà ta đã đi qua. Tất nhiên, những chiều thời gian cuộn lại có thể có những tính chất khác với chiều thời gian rộng lớn quen thuộc mà chúng ta có thể tưởng tượng quay ngược trở về thời điểm tạo ra vũ trụ cho tới tận thời điểm hiện nay. Nhưng trái với chiều phụ không gian bị cuộn lại, những chiều thời gian mới mà chúng ta chưa từng biết tới rõ ràng đòi hỏi phải cải tổ lại một cách còn triệt để hơn nữa trực giác của chúng ta. Một số nhà lý thuyết cũng đã khám phá khả năng đưa các chiều thời gian phụ vào lý thuyết dây, nhưng hiện vẫn chưa thể đưa ra một kết luận gì. Trong thảo luận của chúng ta về lý thuyết dây, chúng ta sẽ bám theo cách tiếp cận “thông thường” hơn, trong đó tất cả những chiều bị cuộn lại đều là các chiều không gian, nhưng khả năng đầy hấp dẫn về các chiều thời gian phụ biết

đâu lại có thể đóng vai trò quan trọng trong những phát triển tương lai.

Hình dạng hình học của các chiều phụ

Các chiều không gian phụ trong lý thuyết dây không thể bị làm "teo" lại thế nào cũng được. Các phương trình xuất hiện từ lý thuyết dây đặt ra những điều kiện nghiêm ngặt ràng buộc dạng hình học mà các chiều phụ cuộn lại phải thỏa mãn. Năm 1984, Philip Candelas thuộc Đại học Texas ở Austin, Gary Horowitz và Andrew Strominger thuộc Đại học California ở Santa Barbara và Edward Witten đã chứng minh được rằng, một lớp đặc biệt các hình dạng hình học sáu chiều có thể đáp ứng những yêu cầu đó. Chúng được gọi là các không gian Calabi-Yau (hay các hình dạng Calabi-Yau) để tôn vinh nhà toán học Eugenio Calabi thuộc Đại học Pennsylvania và Shing-Tung Yau thuộc Đại học Harvard. Công trình của hai nhà toán học này thực sự đã có trước lý thuyết dây và đóng vai trò quan trọng trong việc tìm hiểu các không gian đó. Mặc dù toán học mô tả các không gian Calabi-Yau rất phức tạp và tinh tế, nhưng dựa vào các hình vẽ, chúng ta có thể sẽ có một ý niệm về hình dạng của chúng.



Hình 8.9. Một ví dụ về không gian Calabi-Yau

Hình 8.9. là một ví dụ về không gian Calabi-Yau. Khi nhìn hình minh họa này, bạn cần ghi nhớ trong óc rằng, hình vẽ này ngay trong bản thân nó đã có những hạn chế. Ở đây chúng tôi cố gắng biểu diễn một không gian sáu chiều trên mặt giấy hai chiều và điều đó dĩ nhiên đã làm cho nó méo đi một cách đáng kể. Tuy nhiên dù sao hình ảnh này cũng mang lại cho bạn một ý niệm thô sơ về hình dạng của không gian Calabi-Yau. Hình dạng trên hình 8.9 chỉ là một trong số hàng vạn ví dụ về các không gian Calabi-Yau đáp ứng được những đòi hỏi khắt khe đối với các chiều phụ xuất hiện từ lý thuyết dây. Mặc dù việc thuộc một câu lạc bộ có tới hàng vạn hội viên xem ra cũng chẳng vinh hạnh gì lắm, nhưng bạn cần phải so nó với một số vô hạn các hình dạng khả dĩ về mặt toán học và theo thước đo đó, thì các không gian Calabi-Yau thực sự là của hiếm.

Gộp tất cả những điều nói trên lại, bây giờ hãy hình dung rằng mỗi hình cầu trên hình 8.7 biểu diễn hai chiều bị cuộn lại được thay bằng một không gian Calabi-Yau. Tức là, lý thuyết dây tuyên bố rằng, tại mỗi điểm trong ba chiều không gian lớn quen thuộc có sáu chiều không gian bị cuộn chặt lại thành một trong những hình dạng nhìn khá rối rắm, như được minh họa trên hình 8.10. Những chiều này là một bộ phận hợp thành và hiện diện khắp nơi trong cấu trúc của không gian. Ví dụ, khi bạn khoát tay, thì tay bạn không chỉ chuyển động qua ba chiều không gian quen thuộc mà còn qua cả những chiều bị cuộn lại này nữa. Tất nhiên, vì những chiều cuộn lại này có kích thước nhỏ tới mức tay bạn đi qua chúng nhiều tới mức không đếm xuể và không ngừng trở về điểm xuất phát. Kích thước nhỏ bé của chúng có nghĩa là không có nhiều chỗ cho những vật lớn như tay bạn chuyển động - tất cả sẽ được lấy trung bình sao cho sau khi khoát tay bạn không hề ý thức được sự chu du của tay bạn qua những không gian Calabi-Yau đó.



Hình 8.10. Theo lý thuyết dây, vũ trụ có các chiều phụ cuộn chặt lại thành một không gian Calabi-Yau.

Đây là một đặc điểm lạ lùng của lý thuyết dây. Nhưng nếu bạn có đầu óc thực tế, thì chắc hẳn bạn sẽ đưa cuộc thảo luận này về cấp độ cụ thể hơn và cơ bản hơn. Bây giờ một khi chúng ta đã có một ý niệm rõ hơn về các chiều phụ, thì một câu hỏi được đặt ra là những tính chất vật lý nào sẽ được suy ra từ sự dao động của dây qua những chiều phụ đó và làm thế nào để có thể so sánh các tính chất này với những quan sát thực nghiệm. Đó là câu hỏi ngàn vàng của lý thuyết dây.

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 trở 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.

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 chững 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 tuyền 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 chày, 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 phản nản 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 "tra 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 Feynman 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 mười 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 mười năm trở lại đây chưa mấy 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 lật 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 thùng chảo 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 kêu gọi thì đã có rồi.

[1] Sheldon Glashow và Paul Ginsparg, "Sự tìm kiếm tuyệt vọng các siêu dây?". *Physics Today*, 5-1986, trang 7.

[2] Sheldon Glashow, trong *The superworld I* (New York: Plenum, 1990) trang 250

[3] Sheldon Glashow, trong *The Interactions* (New York: Warner Books, 1988) trang 250

[4] Richard Feynman, 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 Brunswick, N. J: Rutgers University Press, 1996) trang 414.

[9] Phỏng vấn Sheldon 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 viển vông 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. "Superstrings 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.

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 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

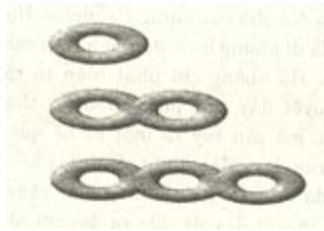
lớn hơn có khả năng tập trung toàn bộ năng lượng vào một hạt duy nhất. Vì chiều dài Planck nhỏ hơn khoảng cách mà hiện nay chúng ta có thể tiếp cận tới khoảng 17 bậc độ lớn, nên nếu dùng công nghệ hiện nay, thì các máy gia tốc phải có kích thước to bằng cả một thiên hà mới thấy được cả dây một cách riêng 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 ngoại 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 nặng 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 ô tô (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 dấu 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 ô tô hay một hình xuyên 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.

Vết 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 Calabi-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 đặt 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 thông kê được hết các tính chất vật lý của một số vô hạn các dạng được.



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.

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 thảo 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.

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 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 những hạt điện tích quái lạ đó, thì nó sẽ là một bằng chứng mạnh mẽ khẳng định lý thuyết dây.

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.

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 nơtrino, 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

nhieu, 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 thể 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 quý 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 quang 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.