

GIẢI THƯỞNG LỚN **MORON 2007**

# TRỊNH XUÂN THUẬN

PHẠM VĂN THIỀU - NGÔ VŨ dịch

## NHỮNG CON ĐƯỜNG CỦA ÁNH SÁNG

Vật lý siêu hình học  
của ánh sáng và bóng tối

TẬP  
I



N H À X U Á T B Á N T R È



NHỮNG  
CON ĐƯỜNG  
CỦA  
ÁNH SÁNG

Vật lý siêu hình học  
của ánh sáng và bóng tối

TÁI BẢN LẦN THỨ 2

LES VOIES DE LA LUMIÈRE của Trịnh Xuân Thuận

Copyright © LIBRAIRIE ARTHÈME FAYARD 2007

---

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

General Sciences Library Cataloging-in-Publication Data

**Trịnh Xuân Thuận**

Những con đường của ánh sáng. T.1 / Trịnh Xuân Thuận ; Phạm Văn Thiều, Ngô Vũ dịch. - Tái bản lần thứ 2. - T.P. Hồ Chí Minh : Trẻ, 2014.

324 tr. ; 24 cm.

Nguyên bản : Les voies de la lumière.

1. Ánh sáng. 2. Ánh sáng trong nghệ thuật. 3. Ánh sáng — Khía cạnh biểu tượng. I. Phạm Văn Thiều. II. Ngô Vũ. III. Ts: Les voies de la lumière.

535 — dc 22

**T833-T53**

TRỊNH XUÂN THUẬN

PHẠM VĂN THIỀU - NGÔ VŨ dịch

NHỮNG  
CON ĐƯỜNG  
CỦA  
ÁNH SÁNG

Vật lý siêu hình học  
của ánh sáng và bóng tối

TẬP  
I

*Tái bản lần thứ 2*

N H Æ X U Á T B Å N T R Ẻ



Đó là một hẻm xanh, nơi con sông ca hát  
Những mảnh bạc vung vãi bay đầu cỏ  
Đỉnh núi cao rực rỡ mặt trời  
Đó là một thung nhỏ ánh nắng reo vui.

Arthure Rimbaud  
Người ngủ trong thung

*Kính tặng gia đình tôi  
và tất cả những sinh linh của ánh sáng.*

## LỜI TỰA

Ánh sáng là người bạn tri kỉ của tôi. Trong công việc của nhà vật lý thiên văn, tôi thường xuyên phải làm việc với nó. Nó là phương tiện đặc ân mà tôi có để đối thoại với vũ trụ. Các hạt có năng lượng cao phát ra từ các cơn hấp hối bùng nổ của các ngôi sao nặng, mà người ta gọi là các “tia vũ trụ”, hay các sóng hấp dẫn, các sóng độ cong của không gian được tạo ra từ sự co mạnh ở lõi của một ngôi sao nặng để trở thành nơi giam cầm ánh sáng – một lỗ đen –, hay từ chuyển động điên cuồng của một cặp lỗ đen nhảy múa quanh nhau, đều mang đến cho chúng ta rất nhiều thông tin mới lạ về không gian xa xôi. Nhưng không phải các tia vũ trụ, cũng chẳng phải các sóng hấp dẫn là các sứ giả chính của vũ trụ. Chính ánh sáng mới là cái đảm nhiệm vai trò này. Không còn nghi ngờ gì nữa, phần lớn các thông tin về vũ trụ mà chúng ta biết được đều là nhờ sự giúp đỡ hữu hiệu và trung thành của ánh sáng. Đó là sứ giả tuyệt vời nhất của vũ trụ. Chính ánh sáng cho phép chúng ta giao tiếp và kết nối với vũ trụ. Chính ánh sáng đã chuyển tải những đoạn nhạc và các nốt rời rạc của cái giai điệu bí ẩn của vũ trụ mà con người kỳ công tái dựng với tất cả vẻ đẹp tráng lệ của nó.

Ánh sáng đóng vai trò sứ giả của vũ trụ nhờ ba tính chất cơ bản mà các bà mẹ đã ban tặng cho nó lúc chào đời: 1) ánh sáng không lan truyền tức thì, và phải mất một khoảng thời gian mới đến được chỗ chúng ta; 2) ánh sáng tương tác với vật chất; và 3) ánh sáng thay đổi màu sắc khi được phát đi bởi một nguồn sáng chuyển động đối với người quan sát.

Bởi vì ánh sáng không lan truyền tức thì, nên chúng ta nhìn vũ trụ bao giờ cũng muộn hơn, và chính điều này cho phép chúng ta lần ngược trở lại theo

thời gian, để khám phá quá khứ của vũ trụ và tái tạo bản sử thi hoành tráng và kỳ diệu của vũ trụ khoảng 14 tỉ năm dẫn đến chúng ta. Ngay cả khi ánh sáng lan truyền với vận tốc lớn nhất có thể trong vũ trụ: 300.000 kilômét mỗi giây – một cái nháy mắt là ánh sáng đã có thể chạy bảy vòng quanh Trái đất! –, thì ở thang vũ trụ vận tốc ấy cũng chỉ như rùa bò. Bởi vì nhìn xa, nghĩa là nhìn sớm – chúng ta nhìn Mặt trăng muộn hơn hơn một giây, Mặt trời gần tám phút, ngôi sao gần nhất hơn bốn năm, thiên hà gần nhất giống dải Ngân hà của chúng ta, thiên hà Andromède, sau 2,3 triệu năm, các quasar<sup>1</sup> xa nhất sau khoảng mười hai tỉ năm –, nên các kính thiên văn, hay còn gọi là các giáo đường của thời hiện đại, nơi đón nhận ánh sáng của vũ trụ, là các cỗ máy đích thực lần ngược lại thời gian. Các nhà thiên văn học đang miệt mài chế tạo các kính thiên văn tiếp nối các kính thiên văn khổng lồ hiện nay để nhìn được những thiên thể mờ hơn, cũng có nghĩa là xa hơn và sớm hơn, và lần ngược lại thời gian khoảng 13 tỉ năm ánh sáng, tới tận khoảng 1 tỉ năm sau Big Bang, với hy vọng ngắm nhìn trực tiếp sự ra đời của các ngôi sao và thiên hà đầu tiên. Bằng cách khám phá quá khứ của vũ trụ, các nhà vật lý thiên văn có thể sẽ hiểu được hiện tại và tiên đoán được tương lai của nó.

Ánh sáng cho phép chúng ta lần ngược trở lại quá khứ do nó cần phải mất một khoảng thời gian mới đến được chúng ta. Ánh sáng cũng mang theo nó bản mật mã vũ trụ, và một khi giải được mật mã này chúng ta sẽ tiếp cận được bí mật về cấu tạo hóa học của các sao và thiên hà, cũng như bí mật về chuyển động của chúng. Sở dĩ như vậy là vì ánh sáng tương tác với các nguyên tử cấu thành vật chất nhìn thấy được của vũ trụ. Trên thực tế, ánh sáng chỉ có thể nhìn thấy được nếu nó tương tác với các vật. Ánh sáng tự thân là ánh sáng không nhìn thấy được. Để ánh sáng nhìn thấy được, thì đường đi của nó phải bị một vật nào đó chặn lại, vật ấy có thể là cánh hoa hồng, là các chất màu trên bảng màu của người họa sĩ, là gương của kính thiên văn hay võng mạc của mắt chúng ta. Tùy theo cấu trúc nguyên tử của vật chất mà ánh sáng tiếp xúc, ánh sáng sẽ bị hấp thụ một lượng năng lượng rất chính xác. Tới mức nếu chúng ta thu được quang phổ của ánh sáng do một sao hay một thiên hà phát ra – hay nói cách khác, nếu chúng ta dùng lăng kính phân tách nó thành các

---

<sup>1</sup> Viết tắt của tên tiếng Anh: quasi-stellar object, có nghĩa là vật thể giống sao (chuẩn tinh) là thiên thể cực xa và cực sáng, với dịch chuyển đỏ rất lớn đặc trưng. Trong phần ánh sáng biểu kiến, quasar trông giống một ngôi sao bình thường. Thực tế, nó là nhân của các thiên hà ở đó có những hoạt động mãnh liệt, với độ trung lớn hơn rất nhiều phần còn lại của thiên hà, thường là các lỗ đen siêu lớn. Được phát hiện lần đầu tiên vào năm 1961 (ND).

thành phần năng lượng hay màu sắc khác nhau –, thì chúng ta sẽ phát hiện ra rằng quang phổ này không liên tục, mà bị ngắt thành các vạch hấp thụ dọc tương ứng với năng lượng đã bị các nguyên tử hấp thụ. Vị trí của các vạch này không hề tùy tiện, mà là phản ánh một cách trung thực sự sắp xếp các quỹ đạo electron trong các nguyên tử của vật chất. Sự sắp xếp này là độc nhất đối với mỗi nguyên tố hóa học. Nó là một dạng dấu vân tay, một loại thẻ căn cước của các nguyên tố hóa học cho phép nhà vật lý thiên văn nhận ra các nguyên tố này một cách dễ dàng. Ánh sáng cho chúng ta biết thành phần hóa học của vũ trụ bằng cách như vậy đó.

Ánh sáng cũng cho phép nhà thiên văn học nghiên cứu chuyển động của các thiên thể. Vì trên trời chẳng có gì là đứng yên. Lực hấp dẫn làm cho tất cả các cấu trúc của vũ trụ – như sao, thiên hà, đám thiên hà... – hút lẫn nhau và “roi” vào nhau. Chuyển động roi này hòa vào chuyển động giãn nở chung của vũ trụ. Thực tế, Trái đất cũng tham gia vào một vũ điệu vũ trụ tuyệt vời. Nó mang chúng ta qua không gian với vận tốc khoảng 30 kilômét mỗi giây trong chuyển chu du hàng năm quanh Mặt trời. Đến lượt mình, Mặt trời lại kéo theo Trái đất, và cùng với Trái đất là chúng ta, trong chuyển chu du của nó quanh trung tâm của Ngân hà, với vận tốc 230 kilômét mỗi giây. Thế vẫn chưa hết: Ngân hà lại roi với vận tốc 90 kilômét mỗi giây về phía thiên hà đồng hành với nó là Andromède. Đến lượt mình, cụm thiên hà địa phương chứa thiên hà của chúng ta và Andromède cũng lại roi với vận tốc khoảng 600 kilômét mỗi giây về đám Vierge, và đám này lại roi vào một tập hợp lớn các thiên hà gọi là “Nhân hút Lớn”. Bầu trời tĩnh và bất động của Aristote đã chết hẳn! Trong vũ trụ, tất cả đều vô thường, đều thay đổi và chuyển hóa liên tục. Chúng ta không nhìn thấy sự náo động mãnh liệt này bởi vì các thiên thể ở quá xa, và cuộc sống của chúng ta quá ngắn ngủi. Một lần nữa, lại chính ánh sáng đã tiết lộ cho chúng ta sự vô thường này của vũ trụ. Ánh sáng thay đổi màu sắc khi nguồn sáng chuyển động so với người quan sát. Ánh sáng dịch chuyển về phía đỏ (các vạch hấp thụ dọc dịch chuyển về phía năng lượng nhỏ hơn) nếu vật tiến ra xa, và về phía xanh lam (các vạch hấp thụ dọc dịch chuyển về phía năng lượng cao hơn) nếu vật tiến lại gần. Bằng cách đo sự dịch chuyển về phía đỏ hay phía xanh này, nhà thiên văn học sẽ tái hiện được các chuyển động vũ trụ.

Như vậy ánh sáng kết nối chúng ta với vũ trụ. Nhưng ánh sáng không chỉ thiết yếu đối với nhà thiên văn học. Tất cả chúng ta đều là con đẻ của ánh sáng. Ánh sáng đến từ Mặt trời là nguồn gốc của sự sống. Dù là tự nhiên hay

nhân tạo, ánh sáng cho phép chúng ta không chỉ ngắm nhìn thế giới, mà còn tương tác với thế giới và tiến hóa trong thế giới. Nó không chỉ ban cho chúng ta nhìn thấy, mà còn ban cho chúng ta tư duy nữa. Từ những thời rất xa xưa cho tới ngày nay, ánh sáng luôn mê hoặc trí tuệ con người, dù đó là nhà khoa học, triết gia, nghệ sĩ hay tu sĩ. Tôi muốn thuật lại ở đây lịch sử hùng tráng của những nỗ lực của con người nhằm thâm nhập vào trong lòng của vương quốc ánh sáng để đột phá những bí mật của nó. Tôi muốn khám phá không chỉ các chiều kích khoa học và công nghệ của ánh sáng, mà cả các chiều kích thẩm mỹ, nghệ thuật và tâm linh của ánh sáng nữa. Tôi muốn nghiên cứu không chỉ vật lý về ánh sáng, mà cả siêu hình học về ánh sáng. Ý đồ của tôi là tìm hiểu xem bằng cách nào ánh sáng đã giúp chúng ta trở thành người.

Các chương từ 1 đến 3 kể lại các những nỗ lực của con người nhằm đột phá các bí mật khoa học của ánh sáng.

Chương đầu tiên bắt đầu với khái niệm của người Hy Lạp về một “ngọn lửa bên trong”, một con mắt chăm chú quan sát thế giới bằng cách phóng chiếu lên nó các tia sáng, trái ngược với quan niệm hiện nay về ánh sáng, theo đó, ánh sáng không phải đi từ mắt tới vật, mà từ vật tới mắt. Chương này tiếp tục với Euclid và hình học của ông về thị giác và mặt nón các tia thị giác, với nhà bác học Ả-rập Alhazen, người vứt bỏ khái niệm ngọn lửa bên trong và đảo ngược hướng của các tia sáng, để rồi kết thúc với Léonard de Vinci, người hiểu được rằng các hình ảnh của thế giới bên ngoài được phóng chiếu theo chiều bị đảo ngược lên võng mạc của mắt.

Chương 2 phát triển các quan niệm mới về ánh sáng do cuộc đại cách mạng khoa học thế kỷ XVII mang lại. Kepler và Descartes đã phát hiện ra rằng não đóng vai trò tích cực trong thị giác, rằng chính não đã tái lập lại sự định hướng đúng của vật và làm cho chúng ta nhìn thấy thế giới ở đúng vị trí của nó. Bằng cách dùng lăng kính phân tách ánh sáng trắng thành bảy màu, bảy sắc cầu vồng, Newton đã đưa ra khái niệm về các màu cơ bản.

Chương 3 tập trung quanh cuộc tranh luận về bản chất của ánh sáng: ánh sáng là hạt, như Newton quả quyết, hay là sóng, như Huygens, Young và Fresnel khẳng định? Vào thế kỷ XVIII, Young đã chứng minh rằng sự thêm ánh sáng vào ánh sáng có thể lại dẫn đến bóng tối, điều này chỉ có thể giải thích được nếu ánh sáng có bản chất sóng. Faraday và Maxwell, khi ngời ca sự kết hợp của điện và từ, và chứng tỏ rằng các sóng điện từ cũng không khác gì các sóng ánh sáng, đã củng cố thêm quan niệm sóng về ánh sáng. Vào thế kỷ

XX, Einstein, bằng cách tự vấn thế giới có thể sẽ trình hiện như thế nào trước mắt mình khi nó cũng chuyển động nhanh như một hạt ánh sáng, đã tạo ra một cuộc cách mạng trong các quan niệm về thời gian và không gian, và đã thống nhất vật chất và năng lượng bằng thuyết tương đối hẹp. Để giải thích hành trạng của các electron phát ra từ bề mặt của một kim loại dưới tác dụng của ánh sáng – mà người ta gọi là “hiệu ứng quang điện” –, Einstein đã đưa trở lại quan niệm ánh sáng là hạt, nhưng gán cho các hạt này một “lượng tử năng lượng”, ý tưởng đã được Planck đưa ra trước đó.

Vậy ánh sáng là sóng hay hạt? Bohr và các đồng nghiệp của ông, những người sáng lập ra một môn vật lý mới gọi là “cơ học lượng tử”, tuyên bố rằng ánh sáng vừa là sóng vừa là hạt. Giống như Janus, ánh sáng có hai khuôn mặt bổ sung cho nhau. Nó xuất hiện như một sóng hoặc như một hạt tùy theo dụng cụ đo được sử dụng.

Chương 4 khám phá các dạng ánh sáng thiên thể khác nhau xuất hiện trong suốt lịch sử dài dằng dặc của vũ trụ. Chương này đặt ra câu hỏi: trong tương lai rất xa những ánh sáng này sẽ trở nên như thế nào? Bắt đầu bằng ánh sáng nguyên thủy, vô cùng nóng, của Big Bang, ánh sáng này trình hiện trước chúng ta ngày nay dưới dạng một bức xạ hóa thạch, bị lạnh đi rất nhiều bởi sự giãn nở của vũ trụ và choán khắp vũ trụ. Sau đó chương này sẽ đề cập đến sự tiến hóa của ánh sáng các sao và thiên hà, từ sự ra đời của các sao đầu tiên cho đến cái chết của các tinh tú gần đây nhất.

Chương này cũng nhắc đến đối trọng của ánh sáng, đó là bóng tối. Sau cùng, vật chất sáng của các sao và các thiên hà chỉ chiếm 0,5 tổng lượng vật chất và năng lượng của vũ trụ. Chúng ta đang sống trong một vũ trụ-tảng băng trôi, chỉ nhìn thấy phần nhô lên rất nhỏ. Trong 99,5% còn lại, 3,5% được cấu thành từ vật chất thông thường không phát ra bất kỳ ánh sáng nhìn thấy được nào, 26% vật chất ngoại lai không phát ra bất kỳ ánh sáng nhìn thấy được hoặc ánh sáng nào khác, và bản chất của chúng thì vẫn hoàn toàn là bí ẩn (người ta gọi đó là “vật chất tối”), và 70% còn lại tạo thành “năng lượng tối”, tác dụng như một lực đẩy làm tăng sự giãn nở của vũ trụ, và bản chất của năng lượng này cũng hoàn toàn bí ẩn.

Chương 5 đề cập chi tiết hơn về ánh sáng mặt trời, nguồn gốc của sự sống và năng lượng, và vô số các cảnh tượng ánh sáng với tất cả những vẻ đẹp mà ánh sáng mặt trời sinh ra trên Trái đất. Chương này đề cập đến sự quang hợp

của cây cối, phản ứng sinh hóa quan trọng nhất cho sự sống của chúng ta trên Trái đất, và những nguy cơ mà con người đang gây ra cho hành tinh bởi hành động phá hủy đại loạt các khu rừng nhiệt đới và gây ô nhiễm khí quyển trái đất. Chương này không chỉ đề cập đến những mặt tích cực, mà còn cả những mặt tiêu cực của ánh sáng mặt trời khi người ta lạm dụng nó. Chương này cũng giải thích cảnh tượng huyền diệu của cầu vồng, màu đỏ rực rỡ của hoàng hôn, “tia xanh” bí hiểm, màu trắng của những đám mây, màu lam thẫm của các dãy núi xa xa, màu xanh thẫm của đại dương, màu xanh vắt của bầu trời quang mây...

Chương 6 kể lại cách con người chế ngự ánh sáng phục vụ cuộc sống của mình và giao tiếp với đồng loại, và nhờ vậy đã biến hành tinh thành một ngôi làng toàn cầu. Chương này bắt đầu bằng công cuộc chinh phục lửa, sau đó đề cập đến ánh sáng nhân tạo với phát minh ra đuốc và đèn thấp bằng mỡ động vật và dầu thực vật, nến, đèn gaz và cuối cùng là bóng điện và đèn huỳnh quang. Tiếp theo là phát minh ra laser, đưa con của cơ học lượng tử, kết quả của sự “khuếch đại” ánh sáng nhìn thấy được, và với vô số các ứng dụng đa dạng bắt nguồn từ đó.

Sau đó chương này đề cập đến việc sử dụng ánh sáng để vận chuyển thông tin và kết nối nhân loại. Các mạng cáp quang khổng lồ vận chuyển ánh sáng ngang dọc khắp thế giới. Chúng tải hàng triệu cuộc điện đàm và kết nối tất cả các máy tính của hành tinh thành một mạng khổng lồ gọi là Internet. Internet hiện nay vẫn dựa trên các máy điện quang, trong đó các electron kết hợp chặt chẽ với các photon để truyền thông tin. Nhưng công nghệ internet điện quang này sẽ sớm được thay thế bằng Internet quang tử, dựa hoàn toàn trên ánh sáng.

Chương 6 kết thúc với các máy của tương lai, các máy lượng tử. Làm thế nào để sử dụng được các tính chất lượng tử lạ lùng và kỳ diệu của ánh sáng để viễn tải các hạt (viễn tải lượng tử), để ngăn chặn tin tặc (mật mã lượng tử) và tính toán cực kỳ nhanh (máy tính lượng tử)?

Chương 7 đề cập đến mối quan hệ mật thiết của mắt và não, đến cách kết hợp chặt chẽ của hai cơ quan này để cho phép chúng ta nhìn thấy. Chương này cũng khám phá cách thức mà ánh sáng góp phần làm phong phú thế giới tinh thần và nghệ thuật của con người. Mắt là một dụng cụ quang học kỳ diệu mà tiến hóa sinh học đã nhào nặn một cách độc lập cho rất nhiều loài. Mặc dù mắt người chỉ chứa ba loại tế bào thị giác nhạy cảm chỉ với ba loại màu: đỏ, xanh và tím, nhưng nhờ hoạt động của não, con người có thể tri giác được tới

khoảng hai trăm sắc thái và màu sắc của thế giới. Chính nhờ có não mà chúng ta nhạy cảm với ánh sáng, mà ánh sáng khơi dậy trong chúng ta biết bao xúc cảm và tình cảm. Theo Goethe, ánh sáng có một bản chất sâu kín và tâm linh, và các màu là “những hành động và nỗi đón đầu của ánh sáng”. Một vật có màu sắc được tri giác bởi cả mắt và não.

Các màu chuyển tải các mã, các ý nghĩa được che khuất, những điều cấm kị và các định kiến mà chúng ta phản ứng lại một cách vô thức. Các họa sĩ là những bậc thầy trong nghệ thuật sử dụng ánh sáng để gợi ấn tượng và cảm giác về hiện thực. Monet, một họa sĩ thuộc trường phái ấn tượng, đã biến ánh sáng thành một yếu tố căn bản và luôn thay đổi trong tranh của ông. Ông muốn thu tóm trên tranh của ông “tính tức thời”, cái thần thái của sự vật ở một thời điểm nhất định. Ánh sáng, vốn thay đổi theo thời gian, và màu sắc, vốn thay đổi theo sự chiếu sáng, phải được tính đến bằng mọi giá. Bị mê hoặc bởi các phát kiến khoa học liên quan đến ánh sáng và thị giác, Seurat đã sáng tạo ra lối vẽ điểm họa của ông. Những biến đổi của sắc độ không còn được tạo ra bằng cách pha trộn các màu trên bảng màu nữa, mà bằng cách bắt mắt và não của người xem phải tổ hợp các điểm màu khác nhau trong một loại “đại tổng hợp thị giác”. Từ bỏ phép phối cảnh truyền thống, Cézane đã tiến hành thử nghiệm với không gian và màu sắc. Theo ông, hội họa không phải là nghệ thuật bắt chước một vật. Vẽ, đó chính là sử dụng màu sắc và hình khối để thể hiện các cảm giác bên trong mãnh liệt trước thế giới bên ngoài. Còn Kandinsky đã đẩy sự trừu tượng đi xa hơn nữa: khẳng định chiều kích tinh thần của ánh sáng và các màu sắc, ông khẳng định rằng hội họa có thể vượt qua các hình khối và chỉ thể hiện bằng các đường nét, các vết và các màu, rằng mỗi một màu sắc đều biểu lộ một sự cộng hưởng nội tại riêng đối với tâm hồn và do đó có thể được sử dụng một cách độc lập với hiện thực thị giác. Chiều kích tinh thần này của ánh sáng đã được các tôn giáo và các truyền thống tâm linh ca ngợi đến cực điểm. Trong Cơ đốc giáo, Chúa là ánh sáng, và nghệ thuật Gothic trước hết là nghệ thuật ánh sáng. Trong Phật giáo, ẩn dụ ánh sáng được sử dụng để chỉ sự tiêu tan của vô minh và nhận ra diệu đế.

Cuốn sách này dành cho những “chính nhân” không nhất thiết phải có một hành trang kỹ thuật, mà chỉ cần có óc tò mò ham hiểu biết về vật lý và siêu hình của ánh sáng. Trong quá trình viết cuốn sách này, tôi đã cố gắng hết sức có thể để tránh sử dụng các thuật ngữ chuyên ngành mà vẫn không làm mất đi độ chính xác và nghiêm túc khoa học. Tôi đặc biệt quan tâm làm thế nào để cho hình thức trình bày là đơn giản nhất, rõ ràng nhất và dễ đọc nhất, nhằm

chuyển tải đến bạn đọc các khái niệm đôi khi khô khan, xa lạ và khó hiểu. Tôi cũng đã đưa vào nhiều hình ảnh và một tập các hình minh họa màu không chỉ để cụ thể hóa những gì tôi đã trình bày, mà còn để việc đọc cuốn sách này thêm vui mắt.

TRỊNH XUÂN THUẬN

*Charlottesville, tháng 11 năm 2006*

## Chương 1

# CON MẮT CỔ ĐẠI VÀ NGỌN LỬA BÊN TRONG

*Ánh sáng chạm đến tất cả các mặt của cuộc sống*

Trong khi viết, tôi nhìn qua cửa sổ. Khung cảnh mùa đông tràn ngập Virginia. Mặt trời vàng tỏa sáng bằng toàn bộ ngọn lửa của nó trong bầu trời xanh thẳm, để lộ ra những thân cây trơ trụi màu nâu, những ngôi nhà sơn trắng thấp thoáng sau những hàng cây, mà tôi có thể đoán được những đường nét kỷ hà của chúng, đây đó vài chiếc xe hơi đỗ bên đường... Chỉ có những chú sóc có bộ lông màu ghi xám nhảy nhót trên mặt đất trơ trụi và chuyển từ cảnh nọ sang cảnh kia, phá vỡ sự yên tĩnh của khung cảnh mùa đông. Nói tóm lại, một tập hợp quen thuộc các đường nét, các motif, các hình ảnh và màu sắc mà ánh sáng làm phát lộ trước mắt và tâm hồn tôi.

Ánh sáng cho phép chúng ta kết nối mình với thế giới bên ngoài và gắn mình vào đó. Ánh sáng là giá đỡ của thị giác, mà thị giác, hơn bất kỳ giác quan nào khác, lại ngự trị trong đời sống tinh thần của chúng ta. Ánh sáng làm cho trải nghiệm thị giác thêm phong phú, giàu sắc thái và chi tiết đến mức chúng ta không thể phân biệt được nó với trải nghiệm về chính thế giới. Cho dù chúng ta có không nhìn thế giới một cách trực tiếp, thì chúng ta không thể ngăn cản mình tưởng tượng thế giới, tái hiện thế giới bằng những hình ảnh trong đầu. Ánh sáng cho phép chúng ta nhận biết thế giới và xây dựng một cơ sở dữ liệu hướng dẫn hoạt động và các hành vi của chúng ta.

Tôi đưa mắt dạo quanh căn phòng. Tất cả nói với tôi về ánh sáng: màn hình sáng của chiếc máy tính đang bật với các dòng chữ lần lượt xuất hiện trước

mắt tôi; chỉ cần bật nhẹ công tắc, ngọn đèn sẽ tỏa đầy bàn của tôi một quang sáng dịu; dàn hi-fi phát ra những nốt nhạc du dương của một bản sonate viết cho piano ghi trong đĩa compact và được đọc bởi một chùm sáng gọi là laser; đầu đọc DVD giúp tôi hiển thị các bộ phim vốn không là gì khác ánh sáng được chuyển hóa thành các tín hiệu số và được ghi trên một giá đỡ kim loại; các bức ảnh gắn trên tường, kết quả của trò bắt ánh sáng của các nhũ tương hóa học; chiếc đài hay tivi cho phép tôi tiếp cận gần như tức thời tất cả các sự kiện trên thế giới, hoặc nghe và xem các nghệ sĩ mà tôi ưa thích.

Ánh sáng đã biến Trái đất thành một ngôi làng toàn cầu. Mạng cáp quang vận chuyển các tín hiệu ánh sáng cho phép kết nối các máy tính của toàn thế giới lại với nhau: tôi có thể gửi đi một thư điện tử, bức thư này sẽ đến gần như tức thì địa chỉ của người nhận, từ phòng làm việc của tôi đến những vùng xa xôi nhất trên hành tinh.

### *Ánh sáng là nguồn sống*

Ánh sáng là một phần không thể tách rời của cuộc sống hàng ngày của chúng ta. Ánh sáng hiện hữu khắp mọi nơi, tới mức chúng ta coi nó là hiển nhiên và đối xử với nó một cách thờ ơ, cho tới khi quanh ta đột nhiên là bóng tối chúng ta mới thấy nhớ ánh sáng. Chúng ta sẽ vui mừng và sáng khoái đón chào một ngày mới, với những hứa hẹn và hy vọng của nó, khi chấm dứt màn đêm và sự tối tăm chứa đầy những mối đe dọa và nỗi sợ hãi truyền kiếp bắt nguồn từ những thời xa lắc xa lơ của tổ tiên. Ánh sáng đối lập với bóng tối. Buổi tối, khi Mặt trời đã lặn xuống dưới đường chân trời, các tia nắng xiên khoai khoai dậy trong ta một nỗi hoài niệm, một cảm giác về sự mất mát không gì an ủi nổi. Một bầu trời xanh và quang đãng làm dịu lòng ta, trong khi một bầu trời đầy mây và xám ngắt sẽ gieo vào đầu óc chúng ta nỗi chán chường kiểu thi sĩ Beaudelaire.

Nhưng chúng ta gắn bó với ánh sáng còn sâu sắc hơn thế. Ánh sáng thậm chí còn là duyên khởi của sự tồn tại của chúng ta. Mọi sự sống trên Trái đất đều phụ thuộc vào ánh sáng Mặt trời. Thực tế, ánh sáng chịu trách nhiệm về sự quang hợp của cây cối. Khi hấp thụ ánh sáng Mặt trời, các phân tử diệp lục của cây xanh khởi phát một chuỗi các phản ứng hóa học chuyển hóa nước và khí cacbonic có trong khí quyển Trái đất thành ôxy và các phân tử đường (gọi là các hydrat carbon). Trong một chừng mực nào đó có thể nói các phân tử này có tác dụng tích trữ năng lượng Mặt trời. Con người không thể thực hiện được sự chuyển hóa này. Chúng ta sử dụng năng lượng Mặt trời trên mâm cơm qua

việc ăn rau hoặc thịt động vật, mà bản thân các con vật này cũng lại ăn thực vật. Chính lượng ánh sáng mà cây cối thu nhận được đã xác định chuỗi thức ăn đảm bảo sự tồn tại của chúng ta.

Như vậy ánh sáng là nguồn sống. Nó cho phép chúng ta tri giác và hiểu thế giới, tiến hóa trong thế giới, tương tác với thế giới, chinh phục các vùng đất, các đại dương và không gian. Ánh sáng giúp ta đánh giá được vẻ đẹp, sự lộng lẫy và hài hòa của vũ trụ quanh ta. Ánh sáng điều chỉnh nhịp sinh học của cơ thể chúng ta. Nhưng ở đây có một nghịch lý lớn: nếu ánh sáng cho phép chúng ta nhìn thấy thế giới, thì bản thân ánh sáng lại không nhìn thấy được nếu không có các vật trong môi trường chặn đường đi của nó và làm cho nó bộc lộ mình. Thật vậy, nếu bạn chiếu ánh sáng vào một cái thùng kín và chú ý để cho nó không đập vào bất kỳ vật hay bề mặt nào, bạn sẽ chỉ thấy bóng tối. Chỉ khi nào bạn đưa một vật ngang qua đường đi của ánh sáng và bạn thấy nó được chiếu sáng thì bấy giờ bạn mới biết rằng cái thùng chứa đầy ánh sáng. Tương tự, một nhà thiên văn học nhìn qua cửa sổ của phi thuyền không gian sẽ chỉ thấy không gian sâu thẳm tối đen như mực, mặc dù ánh sáng Mặt trời choán đầy xung quanh anh ta. Ánh sáng Mặt trời ở đây không đập vào cái gì nên không nhìn thấy được.

Vậy ánh sáng là gì? Ánh sáng bắt nguồn từ đâu? Đây là bản chất của cái vật kỳ diệu và lạ lùng cho phép chúng ta nhìn thấy thế giới xung quanh, nhưng bản thân nó lại không thể nhìn thấy nếu không có sự giúp đỡ của các vật nằm trên đường đi của nó? Làm thế nào chúng ta có thể tri giác được các hình ảnh của thế giới bên ngoài? Bản chất của các hình ảnh này là gì? Não của chúng ta diễn giải thế nào những thông tin chứa đựng trong các hình ảnh này? Những câu hỏi này đã từng ám ảnh các nhà tư tưởng vĩ đại nhất từ hơn 2.500 năm nay. Bởi vì ánh sáng từ lâu đã được coi là yếu tố quý giá nhất của tự nhiên, và mắt người là bộ phận quý giá nhất của cơ thể con người, nên các nhà tư tưởng vĩ đại – như Aristotle, Ptolemy, Alhazen, Léonard de Vinci, Kepler, Newton, Goethe, Einstein và rất nhiều người khác nữa – đã từng quan tâm đến vấn đề bản chất của ánh sáng. Xét về mặt lịch sử, nghiên cứu ánh sáng rất chậm phát triển, và con đường dẫn đến việc giải mã các bí mật của ánh sáng đã rắc đầy những sai lầm và các lạc lối của trí tuệ con người, đầy rẫy những lối đi lầm lạc và những ngõ cụt, nhưng cũng được rọi sáng bởi các trực giác xuất thần và các cú nhảy vọt sáng tạo xuất sắc. Sở dĩ như vậy là bởi vì sự nghiên cứu về ánh sáng liên quan với các yếu tố không chỉ vật lý (hình ảnh đi vào trong mắt như thế nào), mà cả sinh lý nữa (não giải mã hình ảnh như thế nào). Hiểu ánh sáng, nghĩa là phải giải mã được các bí mật của mắt

và của não. Ánh sáng, thị giác và hoạt động thần kinh gắn bó với nhau không thể tách rời.

### *Vương quốc của ánh sáng*

Từ những thời kỳ xa xưa cho đến ngày nay, ánh sáng luôn luôn mê hoặc đầu óc con người. Ánh sáng có ảnh hưởng lớn đến các xúc cảm và suy nghĩ của con người, đến cách con người quan niệm về thế giới, dù đó là thầy tu, triết gia, nhà thơ, nghệ sĩ hay nhà bác học. Rất lâu trước khi trở thành đối tượng của các nghiên cứu khoa học, ánh sáng đã được xếp vào hạng tiên nghiệm (ordre transcendental). Các nguồn sáng trong bầu trời – như Mặt trời, Mặt trăng, các sao, cầu vồng, cực quang – đều đóng vai trò thần thánh trong rất nhiều thần thoại trên thế giới. Ánh sáng là sứ giả của thần thánh. Mối liên kết giữa ánh sáng với quan niệm cho rằng con người được sinh ra từ ánh sáng là một thiết tới mức người ta có thể nói rằng một nền văn hóa được xác định bằng hình ảnh mà người ta ban tặng cho ánh sáng. Cézane đã vẽ không biết một mỗi rất nhiều lần ngọn núi Sainte-Victoire dưới các góc độ chiếu sáng khác nhau. Monet chăm chú theo dõi trò chơi sáng – tối suốt nhiều giờ trên các motif của giáo đường Rouen. Như vậy ánh sáng mang theo nó một hàm ý thẩm mỹ về “cái đẹp” và một hàm ý tinh thần về “cái thiện”. Ánh sáng cho phép chúng ta ngắm nhìn thế giới và giải thích thế giới.

Trong khoa học, ánh sáng cũng đóng vai trò hàng đầu. Ánh sáng thu hút sự chú ý của nhà quang học, người chuyên chế tạo các kính thiên văn và các loại kính viễn vọng khác để bắt bức xạ rất yếu của các thiên thể ở xa. Đối với nhà thiên văn, ánh sáng là phương tiện đặc ân để tiếp xúc với phần còn lại của vũ trụ. Ánh sáng mà nhà thiên văn thu nhận được, thứ ánh sáng đến từ những thời xa lắc xa lơ, vượt qua không gian mênh mông giữa các vì sao và giữa các thiên hà, mang theo nó bản mật mã của vũ trụ mà nhà thiên văn phải hóa giải nếu muốn tái dựng quá khứ, hiểu được hiện tại và tiên đoán tương lai của vũ trụ. Còn nhà vật lý thì lại quan tâm đến bản chất của ánh sáng. Họ đã phát hiện ra rằng ánh sáng có hai mặt, giống như Janus: trong một số hoàn cảnh nào đó, ánh sáng trình hiện như một sóng, nhưng trong các hoàn cảnh khác, nó lại biến hóa thành hạt. Về phần mình, nhà sinh vật học muốn hiểu được làm thế nào mà sự tiến hóa theo Darwin, được kích thích bởi chọn lọc tự nhiên, lại có thể tạo ra được một dụng cụ hoàn hảo đến thế – đó là mắt của con người. Còn nhà thần kinh học thì lại muốn tìm hiểu làm thế nào mà các thông tin thị giác được mắt truyền lên não lại có thể cho phép não xây dựng được một biểu tượng về thế giới.

### *Ánh sáng truyền theo đường thẳng*

Người Hy Lạp là những người đầu tiên suy nghĩ nghiêm túc về ánh sáng, thị giác và màu sắc, cũng như rất nhiều vấn đề khác. Theo họ, một trong hai điều phải xảy ra. Hoặc mắt là một cơ quan thụ động an phận ghi lại màu sắc và hình dạng mà các vật quanh chúng ta gửi đến cho nó. Trong trường hợp này, ánh sáng đi từ vật tới mắt. Đó là quan điểm của chúng ta hiện nay. Hoặc mắt là chủ động và dò xét thế giới bên ngoài bằng cách chiếu vào nó các tia sáng. Trong trường hợp này, ánh sáng đi từ mắt thay vì đi vào mắt – một quan điểm mà ngày nay, đối với chúng ta, dường như là hết sức kỳ cục, thậm chí nực cười. Nhưng liệu ý tưởng cho rằng nhìn là một quá trình chủ động có thực sự đáng cười đến thế không? Xét cho cùng, khi một người đưa ánh mắt dò xét các vật xung quanh, thì anh ta thực sự đã phóng chiếu tâm hồn của mình ra thế giới bên ngoài. Sau này chúng ta sẽ thấy rằng những tiến bộ của ngành sinh lý học giờ đây đã xác lập một cách chắc chắn rằng mắt còn lâu mới là một cơ quan thuần túy thụ động. Chỉ có điều sự hoạt động của mắt không giống như sự hình dung của những người cổ xưa.

Mặt khác, học thuyết theo đó các hình ảnh của thế giới bên ngoài đến với chúng ta, mà ngày nay chúng ta chấp nhận nhưng không mấy bận tâm suy nghĩ về nó, còn lâu mới là hiển nhiên. Ví dụ, một đám đông theo dõi một cuộc thi đấu thể thao trong một sân vận động chật cứng người: hình ảnh của các vận động viên chạy trên đường đua có thể đi vào mắt của hàng nghìn người tại cùng một thời điểm như thế nào? Liệu hình ảnh đó có được nhân lên vô số lần không? Khi chúng ta ngắm nghía những đường viền tinh tế của cánh hoa hồng, các đường cong hài hòa của một bức tượng hay màu đỏ rực rỡ của cảnh hoàng hôn, thì bằng cách nào các hình dạng và màu sắc đó đã tách ra khỏi hoa hồng, bức tượng hay của Mặt trời để đi vào mắt chúng ta? Trả lời cho những câu hỏi này đã đặt ra nhiều vấn đề cho người Hy Lạp. Ý tưởng về ảnh quang học tạo thành trong mắt mới chỉ xuất hiện 1.500 năm sau, nhờ có nhà bác học người Ả-rập Alhazen. Khái niệm ảnh quang học chưa bao giờ xuất hiện trong đầu những người Hy Lạp.

Các quan niệm đầu tiên về ánh sáng không dựa trên những quan sát chính xác cũng chẳng dựa trên các thí nghiệm trong phòng thí nghiệm: phương pháp thực nghiệm lúc đó còn chưa ra đời. Các nhà tư tưởng Hy Lạp quan tâm đến ánh sáng là các triết gia hơn là nhà vật lý học. Một số thậm chí còn tuyên bố rằng các kinh nghiệm từ cuộc sống hàng ngày là lừa dối, rằng không cần tính đến chúng. Chẳng hạn, triết gia Parménide (khoảng 540-450 tr. CN) cho rằng Tồn tại là một, liên tục và vĩnh cửu, và không thể thay đổi. Sự phong phú của

thế giới, sự đa dạng và vô thường của các sự vật hiện tượng chỉ là vẻ bề ngoài, là ảo giác, cần phải tránh xa chúng. Tính hai mặt giữa ảo giác và hiện thực là một chủ đề cũng thường xuyên nổi lên trong nghiên cứu về sự tri giác qua thị giác.

Người Hy Lạp đã biết rằng ánh sáng lan truyền theo đường thẳng. Xét cho đến cùng, chỉ cần hé mở cửa một phòng tối và nhìn các tia sáng của Mặt trời, hay nhìn ánh sáng Mặt trời khoan thủng các đám mây sau cơn giông, là có thể nhận thấy ngay điều đó. Với tình yêu hình học vốn có, ý tưởng cho rằng đường đi của ánh sáng là thẳng là hoàn toàn tự nhiên đối với người Hy Lạp.

### *Lửa trong các con mắt của Empédocle*

Empédocle (khoảng 490-435 tr. CN) là tác giả của lý thuyết về thị giác xưa nhất mà chúng ta biết. Là một người đa tài, ông đồng thời là nhà thơ, triết gia, bác sĩ và giáo sĩ. Ông cũng nổi tiếng vì đã chấm dứt cuộc đời của mình một cách bi thảm bằng cách lao mình xuống núi lửa Etna. Theo Empédocle, vạn vật được sinh ra từ bốn nguyên tố cơ bản: lửa, nước, không khí và đất, chúng được gắn kết với nhau bởi Tình yêu, bị chia rẽ bởi Hận thù. Chính sự hòa trộn bốn nguyên tố này mang lại hình dạng và màu sắc cho vạn vật. Liên quan đến ánh sáng, Empédocle cho rằng mắt truyền các "tia thị giác" đến thế giới bên ngoài. Sở dĩ có lý thuyết về các tia thị giác này một phần là do niềm tin dân gian cho rằng các con mắt có chứa "lửa": thực tế, nếu có ai đó giáng cho bạn một cú đấm vào mắt, thì bạn sẽ có cảm giác như nhìn thấy lửa (mà ta gọi là nẩy đom đóm). Hơn thế nữa, người ta còn nghĩ rằng mèo và các động vật khác cùng họ mèo đều có thể nhìn được trong bóng tối là bởi vì mắt chúng phát ra ánh sáng. Niềm tin này sẽ chẳng có gì là khó hiểu đối với những ai đã từng ngồi quanh đống lửa trại vào ban đêm và nhìn thấy những ánh mắt đe dọa của những động vật hoang dã sáng rực trong bóng tối.

Nhưng, theo Empédocle, ánh sáng không đi theo một chiều từ mắt tới vật; ánh sáng còn đi theo chiều ngược lại, từ vật đến mắt. Như vậy mắt cùng lúc vừa là máy phát vừa là máy thu ánh sáng. Như một chiếc đèn lồng, mắt phát ra lửa, nhưng các vật cũng sinh ra các xạ khí chứa các thông tin liên quan đến các đặc điểm của chúng như màu sắc và hình dạng, chẳng hạn. Để giải mã các thông tin này, mắt truyền các tia thị giác qua các lỗ nhỏ, để các tia này tiếp xúc với các xạ khí của vật và quay trở lại mắt, mang theo các thông tin liên quan đến thế giới bên ngoài. Ở đây thị giác được đánh đồng với xúc giác: tia thị giác là một dạng cánh tay vươn dài của mắt, cánh tay này sẽ sờ mó các xạ khí của vật. Vì tồn tại bốn nguyên tố, nên có bốn màu – trắng, đen, đỏ và xanh-vàng

– đi vào mắt người qua bốn loại lỗ tương ứng. Một sự lựa chọn màu thật là kỳ cục, có thể bạn sẽ nói như vậy. Lẽ nào người Hy Lạp lại nhìn thiếu màu? Đó là điều mà William Gladstone, nguyên thủ tướng Anh đồng thời là triết gia không chuyên đã kết luận: ông đã nhận thấy rằng các tác phẩm của nhà thơ Homère (khoảng thế kỷ IX tr. CN) thường thiếu các từ liên quan đến màu sắc. Thiếu từ vựng có lẽ là cách giải thích hợp lý hơn.

Empédocle cuối cùng đã để trôi vào im lặng một việc quan trọng mà học thuyết của ông không thể giải thích được: đó là tại sao, khác với loài mèo, chúng ta lại không nhìn thấy trong bóng tối? Với đôi mắt phát ra “lửa”, thì lẽ ra sẽ không có bất kỳ sự khác nhau nào trong khả năng nhìn giữa ngày và đêm.

### *Ảo ảnh Leucippe*

Các triết gia Hy Lạp tiếp tục quan tâm đến vấn đề ánh sáng là Leucippe (khoảng 460-370 tr.CN) và học trò của ông là Démocrite (470-360 tr. CN). Hậu thế đã coi họ là những người đầu tiên đã phát biểu ý tưởng cho rằng vật chất được cấu thành đồng thời từ các nguyên tử chuyển động không ngừng và chân không. Chính sự đối lập giữa đầy (tồn tại) và trống rỗng (không tồn tại) là nguồn gốc của thế giới. Quan niệm nguyên tử luận về vật chất đã được kiểm chứng một cách hết sức ấn tượng bởi vật lý lượng tử gần hai mươi lăm thế kỷ sau. Trái ngược với “lửa” trong mắt của Empédocle thoát ra thế giới bên ngoài, Leucippe cho rằng thế giới thị giác đến với chúng ta, và do đó, về thực chất, thị giác là một trải nghiệm thụ động. Dưới tác động của ánh sáng, các hình ảnh về các vật quanh ta – mà Leucippe đặt cho một tên riêng bằng tiếng Hy Lạp là các *eidonlon* (số nhiều là *eidola*), có nghĩa là các *ảo ảnh* – sẽ tách khỏi bề mặt của vật, như da của một con rắn lột xác tách khỏi cơ thể, và đi đến mắt chúng ta.

Leucippe hình dung rằng các “ảo ảnh” này là các tấm voan vật chất rất mỏng, độ dày cỡ một nguyên tử, tróc từng lớp từng lớp một ra khỏi các vật để bay hết tốc lực theo tất cả các hướng của không gian mà vẫn giữ nguyên hình dạng của chúng. Không phải ánh sáng đi vào mắt người, mà là các hình dạng phiêu du được cấu thành từ các nguyên tử biểu thị các hình ảnh vật chất của các vật được nhìn thấy, truyền đến mắt và tạo cảm giác cho mắt chúng ta giống như mùi bay vào lỗ mũi chúng ta.

Học thuyết về các ảo ảnh gợi lên rất nhiều vấn đề thu hút sự chú ý của những người kế tục Leucippe trong gần mười bốn thế kỷ: nếu chúng ta thu nhận toàn bộ hình ảnh của một vật trong mắt chúng ta, thì tại sao chúng ta lại chỉ thấy bề mặt của vật ở trước mắt chúng ta? Lẽ ra chúng ta sẽ phải nhìn thấy

tất cả các cạnh và mặt sau của chúng. Và, bởi vì một ảo ảnh giữ nguyên kích thước ban đầu của vật, vậy thì bằng cách nào hình ảnh của một vật khổng lồ như một quả núi hay một con voi lại có thể đi vào trong một cái lỗ nhỏ như con mắt? Mặt khác, tại sao một vật ở xa trông lại bé hơn? Các hình ảnh liệu có co lại trong khi chúng chuyển động không? Và, cứ cho rằng chúng co lại đi, thì bằng cách nào một hình ảnh có thể biết được tôi đang ở đâu mà điều chỉnh kích thước cho phù hợp để có thể đi vào lỗ mắt của tôi? Bởi vì các ảo ảnh cần có ánh sáng để kích hoạt – ánh sáng Mặt trời, Mặt trăng, hay lửa –, nên ngược lại với Empédocle, Leucippe đã giải thích dễ dàng tại sao chúng ta không thể nhìn thấy trong bóng tối.

### *Giấc mơ Démocrite*

Phát triển các ý tưởng của Leucippe, Démocrite đã đưa ra một lý thuyết về các giấc mơ. Theo ông, các ảo ảnh thoát ra từ cơ thể chúng ta khi chúng ta ngủ mang theo các dấu ấn về các xung động tinh thần của chúng ta, về các phẩm chất đạo đức và xúc cảm của chúng ta. Chúng tỏ ra thực đối với người ngủ và choán đầy các giấc mơ của anh ta. Như vậy, trong bóng tối hoàn toàn, các lớp mỏng nguyên tử thoát ra từ bề mặt của các vật xung quanh để nuôi dưỡng các giấc mơ đêm của chúng ta.

Các quan điểm của Démocrite về ánh sáng và thị giác đều dựa trên học thuyết nguyên tử. Ông chấp nhận bốn màu cơ bản của Empédocle – đen, trắng, đỏ và vàng-xanh –, nhưng thêm vào đó các màu khác gọi là các màu thứ cấp, như lục và nâu. Khác với Empédocle, Démocrite không gán các màu cơ bản cho bốn nguyên tố, mà gán cho các nguyên tử có hình dạng khác nhau. Chẳng hạn, các nguyên tử tạo ra màu trắng là tròn và nhẵn, được sắp xếp sao cho vạch ra các kênh thẳng, “không có bóng”, trong khi các nguyên tử tạo ra màu đen, phát ra bóng tối, lại có hình dạng không đều và sần sùi, được ghép lại với nhau trong các hệ xấp vụn vụn, giam hãm ánh sáng. Các nguyên tử bản thân chúng không có màu. Chỉ có các tính chất gọi là “sơ cấp”, như kích thước, hình dạng, trọng lượng, vị trí hay chuyển động, mới là đặc trưng cho chúng. Các màu (và các đặc tính giác quan khác như mùi và vị) không hiện hữu trong bản thân các vật. Chính vì vậy mà bản thân các nguyên tử, vốn là nguyên nhân tạo ra sự đa dạng của thế giới, có một tập hợp các tính chất rất hạn chế; nhưng chúng có thể được gắn kết lại với nhau theo một nghìn lẻ một cách, làm cho thế giới trở nên vô cùng đa dạng thay vì đơn điệu, nhạt nhẽo và buồn tẻ. Học thuyết về màu sắc của Démocrite là một loại khoa học vật liệu đi trước thời đại.

Démocrite còn đi xa hơn. Ông phát biểu rằng cái mà chúng ta thấy bắt nguồn từ cái mà chúng ta đã tạo ra trong đầu chúng ta: các “nguyên tử màu sắc” chỉ trở nên có màu sau khi đã tương tác với các “nguyên tử của tinh thần”. Mặc dù Démocrite, với học thuyết nguyên tử của ông, đã vượt rất xa Parménide (người xem rằng Tồn tại bất biến là một, trong khi đó theo Démocrite tồn tại được nhân lên thành một số vô hạn các nguyên tử không thể chia cắt và bất biến), nhưng ông có một điểm chung với Parménide, đó là nghi ngờ các dữ liệu cảm tính. Theo cả hai triết gia này, thế giới cảm giác chỉ là một ảo ảnh, một ẩn dụ; bề mặt không tiết lộ được chân lý ở sâu bên trong.

### *Ánh sáng siêu hình của Platon*

Platon (428-347 tr. CN) đã đẩy quan niệm về sự khác biệt căn bản giữa vẻ bề ngoài và bản chất bên trong đến cực điểm. Ông cho rằng có hai cấp độ của thực tại: thực tại của thế giới vật lý mà các giác quan của chúng ta tiếp cận được – đó là thế giới không vĩnh cửu, hay thay đổi và ảo giác – và thực tại của thế giới thực, thế giới của các Ý niệm vĩnh cửu và bất biến. Để minh họa sự lưỡng phân giữa hai thế giới và quan niệm cho rằng thế giới cảm giác và nhất thời chỉ là sự phản ánh nhạt nhòa của thế giới các Ý niệm, Platon đã đưa ra một phúng dụ nổi tiếng gọi là phúng dụ hay thần thoại cái hang. Bên ngoài hang có một thế giới lung linh các màu sắc, các hình dạng và ánh sáng mà con người trong hang không thể nhìn thấy, không thể tiếp cận được. Tất cả những gì con người ở đây tri giác được, đó là bóng của các vật và các sinh vật của thế giới bên ngoài hắt lên thành hang. Thay vì sự rực rỡ của các sắc màu, sự rõ nét của các hình dạng của hiện thực, họ chỉ được thấy một màu xám buồn tẻ và các đường viền mờ nhoè của những cái bóng. Tính hai mặt này của thế giới kéo theo tính hai mặt của Tồn tại. Trong thế giới các Ý niệm nơi cái Thiện ngự trị, nó là vĩnh cửu và bất biến, tồn tại bên ngoài thời gian và không gian; còn trong thế giới cảm giác, con tạo nhào nặn vật chất theo các kế hoạch của thế giới các Ý niệm.

Liên quan đến thị giác, Platon lấy lại một số khái niệm của những người đi trước và sắp xếp chúng lại theo cách riêng của ông. Chẳng hạn, trong cuốn *Timée*, ông đã phát triển ý tưởng “lửa” trong mắt mà Empédocle đã phát biểu bảy mươi năm trước. Ông dẫn ví dụ về cái kim rơi xuống đất; chúng ta có thể tìm cái kim này rất lâu, nhưng, để thấy nó, thì chỉ cần cái nhìn của chúng ta rơi trên nó, chạm vào nó, và trong một chừng mực nào đó là sờ mó nó. Như vậy thị giác là một loại xúc giác hoạt động thông qua các tia thị giác. Bằng chứng:

chẳng phải đôi khi chúng ta cảm thấy có ai đó nhìn sau gáy ta đấy sao? Platon cũng chấp nhận bốn màu cơ bản của Empédocle bằng cách coi chúng gắn liền với bốn nguyên tố. Đi theo dấu chân của Démocrite, ông đã lấy lại quan niệm cho rằng có các màu là do các hạt cơ bản. Nhưng ông bác bỏ các quan niệm nguyên tử luận của Démocrite và cho rằng thế giới được cấu thành không phải từ các nguyên tử, mà từ các đa giác đều.

Ở Platon, ánh sáng thuộc vào hạng siêu hình. Mặt trời là con của cái Thiện, và mắt, nhạy cảm với ánh sáng, là một cơ quan gắn chặt nhất với Mặt trời. Như vậy thị giác là kết quả sự tổng hợp của ba quá trình bổ sung cho nhau. Mắt phát ra lửa, lửa kết hợp với ánh sáng xung quanh để tạo thành một chùm sáng duy nhất. Chùm sáng này được phóng thẳng ra phía trước cho đến khi gặp bề mặt của một vật; ở đó, nó gặp tia các hạt do vật phát ra dưới tác dụng của ánh sáng xung quanh và kết hợp với chùm sáng ban đầu. Tia các hạt này chứa thông tin về tình trạng của vật, màu sắc và kết cấu của nó. Sau đó chùm sáng co lại để truyền đến mắt những thông tin này. Các hạt đi qua những lỗ nhỏ xíu trong mắt để truyền thông tin đến não, nơi diễn giải những thông tin này. Bởi vì hình ảnh sinh ra chỉ do sự gặp gỡ giữa các tia thị giác có bản chất thần thánh phát ra từ mắt chúng ta với các tia phát ra từ vật, “những gì giống nhau đi đến với nhau”, nên Platon có thể giải thích được tại sao chúng ta không thể nhìn thấy trong bóng tối: sở dĩ mắt không thể nhìn trong đêm tối, chính là bởi vì các vật không phát ra các tia, nên “lửa” bên trong mắt không thể tiếp xúc với “lửa” phát ra từ các vật bên ngoài. Trong sơ đồ Platon, mắt đồng thời là cơ quan phát và cơ quan thu, vừa chủ động vừa thụ động, và vai trò của ánh sáng xung quanh đã được nêu ra một cách rất rõ ràng.

### *Aristote và ánh sáng hoạt hóa sự trong suốt của không khí*

Aristote (384-322 tr. CN), học trò của Platon, đưa ra một quan điểm nằm giữa chủ nghĩa duy tâm của Platon và chủ nghĩa duy vật của Démocrite. Là một triết gia thuộc trường phái tự nhiên, ông có cái nhìn cụ thể hơn và kinh nghiệm hơn về hiện thực, đồng thời ông cũng là người bác bỏ thế giới Ý niệm của Platon. Ông cũng không tỏ ra mấy thích thú đối với một thế giới cấu thành từ các nguyên tử và chân không, bởi lẽ chúng không phù hợp với các quan niệm của ông về các phẩm chất và sự thay đổi đặc trưng của thế giới. Trong khi Démocrite quy giản vạn vật về các thực thể định lượng (các nguyên tử), thì Aristote lại cho rằng chính chất chứ không phải lượng mới tạo nên hiện thực cơ bản. Chẳng hạn, hãy nhìn một quả cam chín đặt trên đĩa. Theo Aristote,

tính chất chín là tiềm năng có ngay từ đầu trong quả cam. Tiềm năng này trở thành hiện thực ngay khi quả cam chín. Sự chín, do đó, đối với ông là một phẩm chất cơ bản. Ngược lại, đối với những người theo trường phái nguyên tử luận, quả cam chín là bởi vì các nguyên tử cấu thành nó thay đổi vị trí hoặc cách xếp cạnh nhau của chúng. Bằng cách đưa ra các khái niệm như “tiềm năng” và “thực tại”, Aristote đã bác bỏ quan niệm của Parménide theo đó mọi thay đổi chỉ là ảo giác.

Aristote chấp nhận bốn nguyên tố của Empédocle và kết hợp chúng với bốn phẩm chất cơ bản gắn liền với xúc giác: lạnh, nóng, khô và ẩm. Như vậy, đất là lạnh và khô, nước nóng và ẩm, không khí nóng và ẩm, lửa nóng và khô. Chính sự hòa trộn bốn phẩm chất cơ bản đã tạo ra các tính chất thứ cấp, như các màu sắc và mùi vị. Liên quan đến thị giác, Aristote bác bỏ dứt khoát các “tia thị giác” của Empédocle, bởi theo ông lý thuyết này không giải thích được tại sao chúng ta không nhìn thấy trong bóng tối. Ông cũng bác bỏ quan niệm của Platon về các hạt thoát ra từ bề mặt các vật để đi vào mắt người quan sát. Theo ông, sự tri giác các vật được thực hiện không phải thông qua dòng vật chất, mà bởi ấn tượng của chúng lên các giác quan, cũng giống như sáp tiếp nhận dấu ấn của chiếc nhẫn nhưng không tước mất của nó cái chất, sắt hay vàng, đã tạo nên chiếc nhẫn đó. Ấn tượng tạo bởi vật đã thực tại hóa tiềm năng vốn đã tồn tại trong cơ quan thị giác. Như vậy mắt tiếp nhận các ấn tượng về màu sắc, hình dạng, chuyển động, v.v... Còn sự nhận dạng cuối cùng về vật không diễn ra trong mắt, mà trong một bộ phận mà Aristote gọi là *sensus communis* (luơng tri). Bởi vì Aristote đặt “tâm hồn” không phải trong não, mà trong tim, nên ông cũng đặt “luơng tri” ở trái tim<sup>1</sup>. Để tạo ra một hình ảnh tinh thần về các ấn tượng, tâm hồn sử dụng một khả năng đặc biệt gọi là “tưởng tượng”.

Vậy các ấn tượng về các vật bên ngoài được truyền đến các cơ quan thị giác như thế nào? Theo Aristote, chức năng này được thực hiện trước hết bởi không khí, sau đó bởi chất lỏng có trong mắt<sup>2</sup>. Chúng ta nhìn thấy các vật bởi vì một nguồn sáng đã làm thay đổi tính chất của môi trường giữa mắt và vật; từ không trong suốt, nó trở thành trong suốt. Môi trường này đã có một tiềm năng trong suốt; chính ánh sáng đã thực tại hóa sự trong suốt này mà Aristote gọi là “diaphane”: “Màu làm cho diaphane, như không khí, chẳng hạn, chuyển động, rồi sự diaphane lại truyền chuyển động của nó cho con mắt mà nó tiếp

<sup>1</sup> Aristote cho rằng chức năng của não là làm lạnh máu.

<sup>2</sup> Các ngôi sao được nhìn thấy qua một môi trường khác, là éte. Đó là nguyên tố thứ năm, có các phẩm chất thần thánh, mà Aristote gọi là “tinh chất”.

xúc.” Để nhìn được thì nhất thiết phải có một nguồn sáng – lửa, Mặt trời hay Mặt trăng, chẳng hạn. Nguồn sáng này cho phép thực tại hóa sự trong suốt cần thiết cho thị giác mà trước đó vẫn chỉ là tiềm năng. Như vậy, ánh sáng, màu sắc và các hình dạng không phải là các chất di chuyển qua một môi trường. Chúng chỉ làm một việc là làm thay đổi cái môi trường ấy. Chúng không cần thời gian để đi tới chúng ta; do đó sự tri giác là tức thời. Ngược lại với điều mà Empédocle suy nghĩ, ánh sáng theo Aristote không phải là một vật chất: nó không phải là “lửa”, không phải là vật, cũng không phải là xạ khí của của vật.

Liên quan đến màu sắc, Aristote cho rằng tồn tại hai màu cơ bản: đen và trắng, tạo thành các “phẩm chất cực đoan”, mà ông đồng nhất với tối và sáng. Tất cả các màu khác bắt nguồn từ sự hòa trộn hai màu cơ bản này và biểu hiện các “phẩm chất trung gian”. Tuy nhiên, sự hòa trộn này không đơn thuần chỉ là sự xếp cạnh của màu đen và trắng vốn chỉ tạo ra màu xám. Ở đây Aristote viện đến vai trò của nhiệt. Chẳng hạn, trong tác phẩm *Màu sắc*, ông đã miêu tả những con ốc sên vốn vốn màu xám, sau khi bị luộc sẽ chuyển sang màu tím. Các màu khác cũng có thể bắt nguồn từ sự hòa trộn giữa đen và trắng trong một môi trường bán trong suốt: đó là trường hợp các màu nâu đỏ hoặc da cam của cảnh hoàng hôn.

Tóm lại, người Hy Lạp là tác giả của ba lý thuyết rất khác nhau về thị giác: lý thuyết “tia thị giác” xuất phát từ mắt của Empédocle; lý thuyết “hạt” của Leucippe và Démocrite, theo đó các hình dạng chuyển động được cấu thành từ các nguyên tử tách khỏi bề mặt của các vật; và lý thuyết “diaphane” của Aristote, trong đó một nguồn sáng thực tại hóa sự trong suốt của không khí xung quanh truyền đến mắt người cảm giác về các màu sắc và hình dạng của các vật. Các quan niệm này đã có ảnh hưởng to lớn đến các nhà tư tưởng quan tâm đến vấn đề ánh sáng và thị giác trong suốt hai mươi thế kỷ sau đó.

### *Euclide và hình học về thị giác*

Aristote là người cuối cùng của dòng các nhà tư tưởng gộp cả triết học và khoa học vào một sơ đồ rộng lớn duy nhất. Sau ông, hai phương thức tìm hiểu thế giới này tách ra khỏi nhau. Các nhà khoa học rời xa triết học, và các triết gia chỉ chuyên tâm đến các vấn đề tinh thần, đạo đức và tôn giáo. Nhờ các cuộc chinh phục của Alexandre Đại đế (356-323 tr. CN), một học trò của Aristote, nền văn minh Hy Lạp đã được truyền bá tới tận Indus và Ai Cập. Mặc dù Aten vẫn là kinh đô của triết học với các gương mặt như Épicure (341-270 tr. CN) và học trò của ông là Lucrèce (95-52 tr. CN), mà bài thơ triết học *Về tự nhiên*

của ông được coi là tác phẩm trình hay nhất về các ý tưởng nguyên tử luận của Démocrite, nhưng thành phố Alexandrie ở Ai Cập do Alexandre thiết lập đã trở thành trung tâm khoa học của thế giới Hy Lạp. Chính nơi đây đã ra đời viện hàn lâm khoa học nổi tiếng mang tên “Bảo Tàng”, nơi có một thư viện khổng lồ tập trung gần nửa triệu cuốn sách.

Nhà toán học Euclide (khoảng 300 tr. CN) là một trong những nhà khoa học đầu tiên làm việc tại Bảo Tàng. Ngoài các bài viết và những chứng minh các định lý hình học – một tượng đài trí tuệ hùng vĩ tới mức được chấp nhận hoàn toàn trong suốt hai mươi hai thế kỷ sau –, Euclide còn quan tâm đến vấn đề thị giác. Và sự quan tâm ấy hoàn toàn có cơ sở: ông thấy ở đó một lĩnh vực lý tưởng để áp dụng các ý tưởng hình học thân thiết của ông. Ông đã chấp nhận một cách tự nhiên quan niệm về “tia thị giác” của Empédocle: trong số ba lý thuyết mà các bậc tiền bối đưa ra, thì lý thuyết “tia thị giác” phù hợp nhất với cách xử lý toán học chặt chẽ. Ông đã đưa ra nhiều lập luận xác đáng để ủng hộ giả thuyết này. Chẳng hạn, ông lập luận rằng chúng ta không phải lúc nào cũng tri giác được các vật, ngay cả khi cái nhìn của chúng ta bắt gặp chúng: chưa chắc bạn nhận thấy một cái kim rơi xuống đất ngay cả khi nó nằm trong tầm nhìn của bạn; trong khi đó, nếu thị giác chỉ phụ thuộc vào ánh sáng được cái kim phản xạ đến mắt bạn, thì chắc chắn bạn phải nhìn thấy nó ngay lập tức. Ngược lại, lý thuyết “tia thị giác” phát ra từ “ngọn lửa” bên trong mắt bạn có thể giải thích rất rõ điều đó: cái kim chỉ có thể nhìn thấy được ngay vào lúc các tia phát ra từ mắt chúng ta bắt gặp nó.

Trong cuốn *Quang học*, Euclide đưa ra tiên đề rằng các “tia thị giác” phát ra từ mắt chiếu thẳng vào tất cả những gì mà cái nhìn chạm vào. Mỗi một tia đi đến đâu bên kia chỉ tới một điểm của vật được nhìn thấy. Nhưng thực nghiệm chỉ ra rằng chúng ta có thể đồng thời nhìn được hơn một điểm của vật. Chẳng hạn, không cần cử động mắt, bạn vẫn có thể đồng thời nhìn được nhiều từ trên trang sách này; các từ khác ở xa trở nên mờ nhòe hơn. Vì vậy Euclide đưa ra tiên đề về tập hợp các “tia thị giác” chứa trong một hình nón mà đỉnh của nó là tâm của mắt và đáy là phạm vi nhìn thấy của mắt. Nhờ có tiên đề mặt nón thị giác này và nhờ các tính toán hình học, ông đã giải thích được tại sao cây ở xa trông lại nhỏ hơn cây ở gần<sup>1</sup>. Ông cũng đã đưa ra được lý do giải thích tại sao một vòng tròn nằm trong cùng một mặt phẳng với mắt lại nhìn giống như một đường thẳng.

---

<sup>1</sup> Kích thước góc của một vật giảm theo tỷ lệ nghịch của khoảng cách với người quan sát. Thật vậy, một cây cách xa mười lần thì trông sẽ nhỏ hơn mười lần.

Tất nhiên, vẫn còn nhiều câu hỏi căn bản mà quang hình học của Euclide chưa thể đưa ra câu trả lời: tí như có bao nhiêu “tia thị giác” trong “mặt nón thị giác”, và nhân tố nào quyết định số lượng của chúng? Còn về vấn đề được coi là gót chân Achilles của lý thuyết các “tia thị giác” cũng chưa được giải quyết: tại sao chúng ta nhìn mờ hơn ngay khi ánh sáng ban ngày giảm, và hoàn toàn không nhìn được trong đêm tối? Hơn nữa, chúng ta không thấy Euclide tính đến bất kỳ yếu tố sinh lý (như vai trò của mắt), tâm lý (như vai trò của não) hay vật lý nào liên quan đến bản chất của ánh sáng và của các màu. Euclide mới chỉ giới hạn ở vai trò của nhà toán học.

Quang học của Euclide không vì thế mà không có một ảnh hưởng lịch sử to lớn. Lần đầu tiên toán học (ở đây là hình học) được áp dụng cho một hiện tượng tự nhiên và lần đầu tiên các thực thể trừu tượng xuất phát từ trí tưởng tượng của con người, như đường thẳng, tam giác hay vòng tròn, được sử dụng để làm sáng tỏ một tình huống thực tế: mắt, ánh sáng và thị giác. Đó là sự khởi đầu của nhận thức rằng ngôn ngữ của tự nhiên là toán học. Mặt khác, quan niệm “mặt nón thị giác” đã đóng một vai trò quyết định trong sự phát triển của các ý tưởng trong quang học và đã có một sức sống đặc biệt lâu dài. Nó còn kéo dài rất lâu ngay cả sau khi con người đã nhận ra rằng chính ánh sáng của thế giới bên ngoài đi vào mắt người, chứ không phải ngược lại, và rất nhiều khía cạnh của cơ chế thị giác đã được làm sáng tỏ. Vào thời kỳ khá gần với chúng ta, tức vào năm 1800, rất nhiều nhà vật lý vẫn còn tin rằng một chùm ánh sáng được cấu thành từ nhiều “tia thị giác”, và rằng một chùm sáng sẽ càng sáng nếu nó chứa càng nhiều “tia thị giác”. Còn những người cho rằng ánh sáng được cấu thành từ nhiều hạt thì hình dung những hạt đó chuyển động trên các “tia thị giác” tựa như xe ô tô chạy nối đuôi nhau trên đường nhựa.

### *Ptolémée và bánh xe màu sắc*

Nhân vật tiếp theo bước lên sân khấu của câu chuyện truyền kỳ về ánh sáng là nhà thiên văn học người Hy Lạp tên là Claude Ptolémée (khoảng 100-178). Ông đặc biệt nổi tiếng trong việc xây dựng hệ thống địa tâm của thế giới, trong đó Trái đất ngự ngay trung tâm của Hệ Mặt trời, còn các hành tinh khác và Mặt trời đều quay xung quanh Trái đất. Tác phẩm chính của ông, cuốn *Almageste*, đã trở thành nền tảng của thiên văn học trong suốt mười ba thế kỷ – cho tới tận khi Copernic, vào năm 1543, đã trục xuất Trái đất khỏi vị trí trung tâm của thế giới để đặt vào đó Mặt trời. Ptolémée cũng là tác giả của một tác phẩm về

quang học nhưng rất tiếc đã không được lưu giữ đầy đủ, và chỉ một phần của nó là còn lại đến ngày nay.

Lý thuyết về thị giác của Ptolémée về cơ bản giống với lý thuyết thị giác của Euclide. Nhưng, vốn là người có óc quan sát, ông chú ý đến các kết quả thực nghiệm của lý thuyết nhiều hơn Euclide, người mới chỉ dừng lại ở bình diện toán học trừu tượng. Ptolémée cũng cho rằng mắt đồng thời vừa là máy phát vừa là máy thu: mắt phát ra các “tia thị giác” có cùng bản chất với ánh sáng và màu sắc. Ngay khi chúng ta mở mắt, dòng thị giác lan truyền một cách tức thời theo vô số hướng, và chúng ta tri giác được mọi thứ mà dòng này chạm đến vào thời điểm trời đủ sáng. Ptolémée cũng đưa ra tiên đề về “mặt nón thị giác”, nhưng khác với Euclide, ông cho rằng mặt nón này không chứa một tập hợp các “tia thị giác” tách biệt, mà chứa một continuum các tia có mật độ lớn nhất ở trung tâm, tại đó mắt nhìn thấy rõ nhất, nhưng giảm dần ở rìa mép nơi các chi tiết nhoè mờ hơn. Ptolémée giải thích rằng nếu các tia là tách biệt, thì các vật ở rất xa, như một ngôi sao chẳng hạn, sẽ có nhiều khả năng rơi vào giữa hai tia và do vậy không thể nhìn thấy được. Nhưng thực tế không phải như thế. Theo ông, “mặt nón thị giác” bản thân nó không đủ; còn cần phải có thêm ánh sáng bên ngoài để được khởi phát sự hoạt động của nó. Chẳng hạn, khi “mặt nón thị giác” quét lên bề mặt của một vật, nó chỉ tương tác với vật ấy nếu có ánh sáng xung quanh. Ánh sáng bên ngoài này càng mạnh thì tương tác càng mạnh. Điều này giải thích tại sao chúng ta không nhìn được trong bóng tối.

Ptolémée cũng suy nghĩ về hành trạng của ánh sáng khi nó phản xạ trên một bề mặt (định luật phản xạ) hay đổi hướng khi đi từ môi trường này sang môi trường khác, như đi từ không khí sang nước, chẳng hạn (định luật khúc xạ). Ông cũng là người đầu tiên miêu tả các màu hòa trộn với nhau như thế nào không chỉ trên bảng màu của người họa sĩ, mà còn cả trong mắt nữa. Để làm điều này, ông vẽ các màu khác nhau trên một bánh xe sau đó quay bánh xe thật nhanh. Mắt không có đủ thời gian để phân biệt từng màu một, mà chỉ nhìn thấy các màu này bị trộn vào nhau. Ngoài vận tốc, ông còn nhận thấy rằng sự hòa trộn các màu còn có thể là kết quả của khoảng cách: một bức tranh ghép các màu sáng nhìn từ xa có thể cho ấn tượng về màu xám.

*Theo Galien, trung tâm của thị giác là thủy tinh thể*

Một gương mặt lớn khác góp phần phát triển các ý tưởng về ánh sáng và thị giác vào cuối thời kỳ Hy Lạp là Claude Galien (130-200), và cùng với Hippocrate là hai bác sĩ vĩ đại nhất thời Cổ đại. Ông là bác sĩ riêng của hoàng đế Marc Aurèle, người đã phái ông đến Rome để chăm sóc cho con trai mình là Commode bị bệnh rối loạn tinh thần. Galien đã lấy lại một phần các tư tưởng triết học của triết gia khắc kỉ tên là Zénon (khoảng 384-322 tr. CN), theo đó vũ trụ là một sinh vật sống, duy lý và thông minh, và tự nhiên được thổi một luồng sinh khí và sáng tạo gọi là *pneuma* (linh khí). Theo Galien, *linh khí* của sự sống được các động mạch dẫn đến não và được chuyển hóa thành một *linh khí* tinh tế hơn, gọi là *linh khí* tâm hồn, mà trung tâm của nó nằm trong não. *Linh khí* thị giác là một bộ phận cấu thành quan trọng của *linh khí* tâm hồn. Nó thực hiện một vòng đi từ não, đến mắt qua các dây thần kinh thị giác, rồi đến vật được quan sát để rồi quay ngược trở lại: mắt → dây thần kinh thị giác → não.

Galien cũng đã lấy lại một số quan niệm của Aristote: dưới ảnh hưởng kết hợp của *linh khí* thị giác và ánh sáng, không khí bao quanh ta chịu một biến đổi làm cho mắt nhìn thấy được. Các màu sắc cũng làm cho không khí biến đổi. Theo Galien, trung tâm của thị giác là thủy tinh thể. Tuy ông không giải thích được bằng cách nào hình ảnh của một vật đi vào trong con người, được ghi lại trên thủy tinh thể và được truyền đến não, nhưng các quan niệm của ông vẫn có một ảnh hưởng to lớn đối với hậu thế. Quan niệm cho rằng thủy tinh thể là trung tâm của thị giác đã kìm hãm đáng kể sự phát triển của một lý thuyết đúng đắn: nó không hề bị xem xét lại trong suốt mười bốn thế kỷ, cho tới khi Johannes Kepler chứng tỏ vào năm 1604 rằng chính võng mạc, chứ không phải thủy tinh thể, mới là bộ phận chính của thị giác.

Hy Lạp, vì bị sáp nhập vào Đế chế La Mã vào cuối thế kỷ II tr. CN, nên tư tưởng ở đó đã mất đi sự rực rỡ để rồi tàn lụi bốn thế kỷ sau. Các nghiên cứu về giải phẫu và sinh lý học của Galien và hệ địa tâm của Ptolémée là những lóe sáng cuối cùng của văn minh Hy Lạp. Việc đốt phá Thư viện lớn Alexandrie cùng với năm trăm nghìn cuốn sách vào năm 389 và việc đóng cửa Viện hàn lâm Platon của hoàng đế Justinien vào năm 529 là những đòn chí tử kết liễu hệ tư tưởng Hy Lạp, báo hiệu những thế kỷ đen tối sắp tới. Người La Mã ít quan tâm đến các tư biện trừu tượng nên không có đóng góp gì vào sự tiến bộ của các tư tưởng nói chung, và vào lý thuyết về ánh sáng và thị giác nói riêng. Các cuộc tấn công liên miên của các bộ lạc du mục dã man đến từ phương Đông kéo dài suốt thế kỷ V và VI đã đẩy nhanh sự suy tàn của Đế chế La Mã, vốn đã

bị suy yếu đáng kể bởi sự suy thoái về chính trị, khủng hoảng về kinh tế, hỗn loạn về quân sự, cùng với tệ quan liêu tồi tệ và sự sụp đổ của hệ thống tư pháp.

### *Thế giới Hồi giáo giành lấy ngọn đuốc*

Trong khi Đế chế La Mã suy tàn và sụp đổ thì Đế chế Arập - Hồi giáo lại bắt đầu cất cánh. Cái chết của nhà tiên tri Mohamet năm 632 đã đưa thế giới Arập vào một trạng thái hưng phấn tôn giáo mạnh mẽ. Nhiều làn sóng người sùng đạo dồn dập tỏa khắp địa cầu: về phía Đông, đến đế chế Ba Tư và Ấn Độ; về phía Tây, đến Bắc Phi và Ai Cập; về phía Bắc, đến Tây Ban Nha và cuối cùng bị quân đội của Charles Martel chặn lại gần Poitiers, đúng một thế kỷ sau khi nhà tiên tri Mohamet qua đời. Ngọn đuốc của nền văn minh được truyền từ người phương Tây sang tay của các khalíp (vua) của Bagda, mới được thành lập năm 762. Nền văn hóa Arập-Ba Tư đạt đến đỉnh điểm dưới thời vua Haroun al-Rachid (766-809), một nhân vật huyền thoại của *Nghìn lẻ một đêm*, người đã mở đầu cho một thời kỳ huy hoàng nở rộ tinh thần hiệp sĩ, thơ ca và âm nhạc. Các tác phẩm lớn của Hy Lạp đều được dịch sang tiếng Arập và Bagda đã trở thành trung tâm tri thức lớn của thế kỷ IX.

Một số nhà khoa học Arập ở Bagda quan tâm trở lại vấn đề thị giác. Đúng như người ta chờ đợi, ở đây cũng có những người tán thành các “tia thị giác” và cũng có một số người khác phản đối. Trong số những người tán đồng, Al-Kindi (khoảng 801-866), triết gia đầu tiên và đồng thời cũng là bác sĩ, nhạc sĩ và nhà toán học Arập đã ủng hộ mạnh mẽ các “tia thị giác”, và do đó ông thuộc dòng tư tưởng từ Empédocle đến Galien và Euclide. Về cơ bản, ông lấy lại các quan niệm của những người đi trước: các “tia thị giác” có dạng các mặt nón nhỏ đỉnh chạm vào mắt và kết nối các giác quan của chúng ta với thế giới bên ngoài bằng cách làm thay đổi hình thái của không khí phía trước chúng ta, để không khí có thể truyền được hình dạng và màu sắc của các vật. Theo ông, lý thuyết về các “ảo ảnh” của Démocrite là không đúng đắn, vì nó không giải thích được tại sao một hình tròn lại có thể trình hiện theo một hướng nào đó như là một đường thẳng, trong khi hình học Euclide áp dụng cho các “tia thị giác” có thể dễ dàng giải thích điều đó bằng một phép chiếu đơn giản.

Ngược lại, triết gia và bác sĩ người Iran tên là Avicenne (980-1037) mà ngày nay vẫn được thế giới Arập coi là “ông hoàng của các bác sĩ”, đã bác bỏ lý thuyết về các “tia thị giác” bằng các lập luận sau: “chúng ta có thể dễ dàng nhìn thấy sóng của một con tàu trong một vùng nước trong; vậy thì làm thế nào các tia thị giác có thể đi vào trong nước, vốn là một chất không xốp, mà không làm

cho mặt nước bị cuốn lên? Theo ông, lý thuyết của Galien cũng không thể chấp nhận được: bởi vì không khí không thể dùng để nối dài *linh khí* thị giác, bởi vì nó không thể đi đến được các ngôi sao xa xôi trong khi mắt vẫn hoàn toàn có thể nhìn được các ngôi sao này. Và, biết giải thích thế nào đây việc chúng ta có thể nhìn thấy ngay cả khi gió thổi mạnh và khi không khí chuyển động?

Nhưng, cũng giống như Al-Kindi, Avicenne không đưa ra được sơ đồ khác về căn bản với các bậc tiền bối Hy Lạp. Nhiệm vụ này được trao cho triết gia, nhà toán học và thiên văn học Ibn al-Haytham (965-1039), nổi tiếng hơn ở phương Tây với tên gọi là Alhazen. Trong số khoảng một trăm hai mươi cuốn sách, cuốn *Luận về quang học* của ông vẫn được coi là một kiệt tác về các quan sát và suy diễn đặt vấn đề xem xét lại một số khía cạnh của tư tưởng Hy Lạp, và đã chi phối các suy nghĩ và tư biện về các hiện tượng quang học trong suốt sáu thế kỷ, cho tới khi Johannes Kepler vượt sang giai đoạn tiếp theo.

### *Alhazen dập tắt “ngọn lửa bên trong” và đảo ngược lại các tia sáng*

Alhazen đồng ý với quan điểm của Aristote theo đó ánh sáng đến từ bên ngoài và đi vào mắt, chứ không phải ngược lại. Ông đưa ra nhiều lập luận để bảo vệ quan điểm này. Có một điểm mới: lập luận của ông dựa trên các quan sát hơn là trên các tiên đề toán học theo cách của Euclide. Chẳng hạn, ông đã từng viết, chúng ta không thể nhìn lâu Mặt trời mà không bị chói mắt. Nếu ánh sáng đi từ mắt chúng ta, thì sẽ không có lý do gì để chúng ta phải cảm thấy chói mắt như vậy. Ngược lại, nếu ánh sáng mặt trời đi đến mắt chúng ta, thì ánh sáng chói lòa của nó có thể dễ dàng giải thích tại sao chúng ta lại thấy khó chịu như vậy. Alhazen cũng nêu lên hiện tượng lưu ảnh; hãy nhìn một vật trong nắng và sau đó đi vào bóng râm: hình ảnh về vật vẫn đọng lại vài giây trước mắt chúng ta. Một lần nữa, hiện tượng này cũng chỉ có thể giải thích được nếu ánh sáng đi vào mắt chúng ta từ bên ngoài.

Nhưng nếu Alhazen bác bỏ ý tưởng về “ngọn lửa bên trong”, thì không vì thế mà ông từ bỏ cơ sở hình học của thị giác đã được Euclide phát triển. Theo ông, các tia sáng thật sự tồn tại. Chúng lan truyền theo đường thẳng (người ta có thể nhìn thấy đường đi thẳng của ánh sáng qua một khe nhờ các hạt bụi làm cho ánh sáng nhìn thấy được; chỉ có điều, cảm giác về sự lan truyền của chúng bị đảo ngược: chúng lan truyền từ vật đến mắt, chứ không phải từ mắt đến vật. Khi ánh sáng xung quanh chạm vào một vật liền bị vật này phản xạ. Từ mỗi điểm trên bề mặt của một vật có màu, các chùm tia sáng lan tỏa theo tất cả các hướng (trừ phi vật này là một cái gương, trong trường hợp đó ánh sáng

đi ngược trở lại theo một và chỉ một hướng), và chỉ một tỉ lệ nhỏ của chúng đi vào mắt chúng ta. Ở đây Alhazen đã đưa ra ý tưởng về sự tán xạ ánh sáng.

Ngược lại với điều mà Démocrite và Épicure đưa ra, không phải các “ảo ảnh” xuất phát từ vật, mà là các tia sáng. Mắt nón của Euclide vẫn tồn tại, nhưng bị đảo lại: đỉnh nằm trên vật, và đáy của nó trên con người, chứ không phải ngược lại. Theo Alhazen, ánh sáng trong môi trường xung quanh là cần thiết để nhìn: các tia thị giác chỉ phát ra từ vật nếu bản thân chúng cũng sáng hoặc được chiếu sáng. Ông cũng đã tấn công quan niệm của Aristote về sự trong suốt; ông cho rằng sự trong suốt của các môi trường trung gian giữa mắt và vật không hẳn là có liên kết với nguồn sáng, mà có thể được giải thích bằng các tia sáng lan truyền theo đường thẳng.

### *Mắt – máy thu hình ảnh*

Như vậy Alhazen đã dập tắt “ngọn lửa bên trong” của Empédocle. Ông đã thay vào đó một lý thuyết về thị giác dựa trên các tia sáng có hành trạng được mô tả chính xác bằng ngôn ngữ toán học và hình học của Euclide. Mắt không còn là nơi trú ngụ của một thứ ánh sáng thần thánh và thiêng liêng nữa; mắt chờ được chiếu sáng bởi ánh sáng từ ngoài. Từ vai trò là máy phát, mắt chuyển sang vai trò là máy thu.

Sự đảo ngược vai trò này buộc Alhazen phải suy nghĩ về chính cơ chế của thị giác. Với mắt nón các tia thị giác đi ra từ mắt, ta có thể phân tích cơ chế của thị giác mà không bao giờ cần phải đề cập đến cấu tạo giải phẫu học của mắt, thần kinh thị giác và não. Với các tia thị giác vừa khít với hình dạng của các vật và thấm đẫm các màu sắc của chúng, ta có thể xây dựng một lý thuyết quang học mà không cần phải phát triển một vật lý về ánh sáng. Tất cả những điều đó sẽ thay đổi nếu ánh sáng đến từ bên ngoài, chứ không phải là từ bên trong. Alhazen phát biểu rằng ở mỗi một điểm của thế giới bên ngoài ứng với một và chỉ một hình ảnh lên thủy tinh thể, mà ông nghĩ một cách sai lầm giống bác sĩ Galien rằng đó là một bộ phận chính của thị giác (ở đúng vị trí của võng mạc và mãi sáu thế kỷ sau vai trò của võng mạc mới được Johannes Kepler làm rõ). Cũng giống như Galien, ông đặt sai lầm thủy tinh thể vào tâm của nhãn cầu (chứ không phải ở mặt trước của nhãn cầu) (H. 1). Vì luật Hồi giáo cấm phẫu tích, nên hiểu biết của ông về giải phẫu mắt chủ yếu dựa trên các phẫu tích thông thường của thời kỳ đó được thực hiện tại Ai Cập, nơi có phong tục ướp xác.

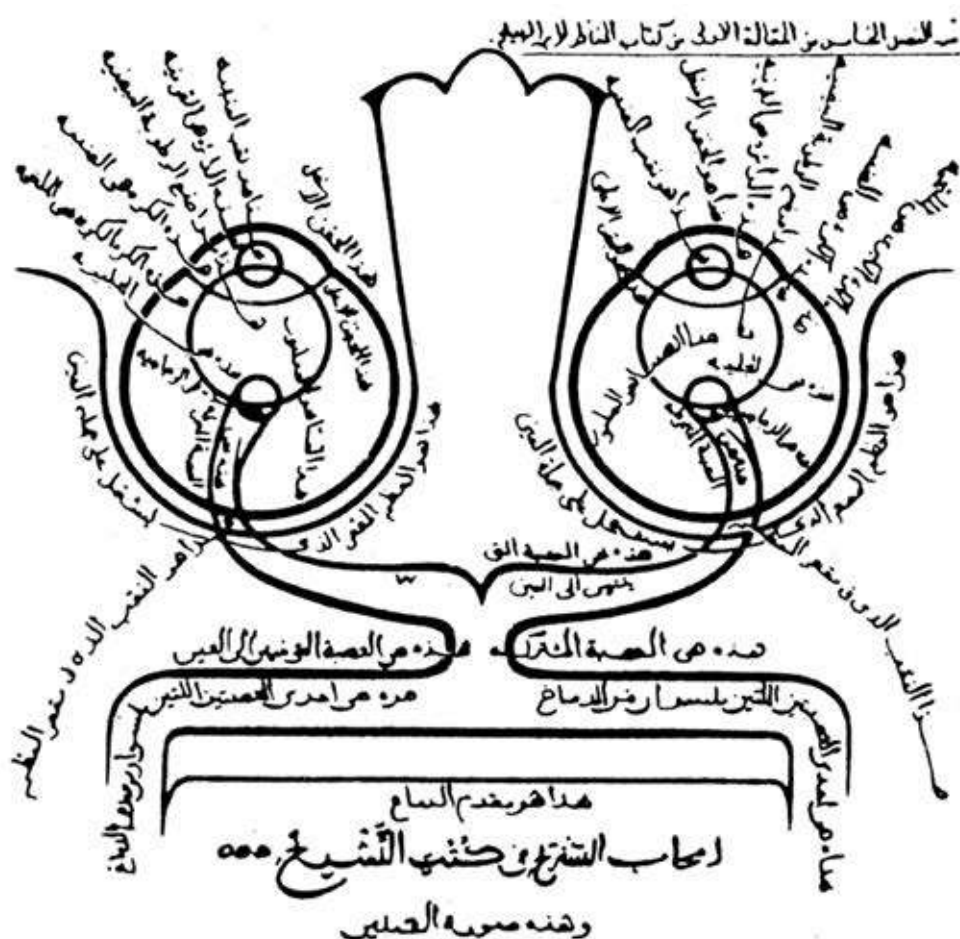
Hơn nữa, để mỗi một điểm của một vật ứng với một và chỉ một phần tử của thủy tinh thể, thì chỉ được phép có một tia sáng đi từ vật đến phần tử này.

Nếu nhiều tia sáng đến từ nhiều điểm khác nhau tác động đến cùng một yếu tố của cơ quan thị giác, thì chúng sẽ gây ra các cảm giác chồng chéo gây nhiễu thị. Để duy trì sự tương ứng duy nhất, và do đó để nhìn được rõ nét, Alhazen thấy cần phải giả định rằng trong vô số các tia sáng chạm vào mỗi điểm ở mặt trước của thủy tinh thể, chỉ một tia là “hữu ích”, đó là tia chạm vào nó theo chiều vuông góc. Tia hữu ích này không bị khúc xạ, nghĩa là đường đi của nó không bị lệch, và vẫn tiếp tục truyền thẳng theo hướng cũ đi vào thủy tinh thể. Chính tia này làm cho mắt *nhìn* thấy điểm mà từ đó nó được phát ra. Tuy Alhazen không đưa ra được những lập luận vật lý để biện minh cho định đề về “tia hữu ích” này, nhưng đột phá trí tuệ mà ông đạt được là rất lớn: lần đầu tiên trong lịch sử tư tưởng nhân loại đã xuất hiện quan niệm cho rằng hình ảnh của thế giới bên ngoài được truyền bởi các tia sáng và được hình thành trong mắt.

Đó là một bước tiến rất quan trọng. Alhazen là người đầu tiên hiểu được rằng các hình ảnh của thế giới bên ngoài không đi toàn bộ, như chúng vốn có, vào trong con ngươi, như những người ủng hộ lý thuyết “ảo ảnh” tuyên bố. Ngược lại, ông đã nhận thấy một cách đúng đắn rằng các cảnh tượng diễn ra dưới mắt ta có thể tách thành vô vàn các điểm mà mắt người nhìn thấy đồng thời. Mỗi một điểm này được một tia sáng kết nối với một yếu tố của cơ quan thị giác, và sau đó mắt tập hợp vô số các yếu tố này lại thành hình ảnh.

Để củng cố lý thuyết thị giác của mình, Alhazen vốn là một nhà thực nghiệm giỏi đã thực hiện rất nhiều thí nghiệm với ánh sáng bằng một buồng tối (*camera obscura*). Các bạn hãy tưởng tượng đang đứng thẳng trong một buồng tối phủ kín rèm. Bên ngoài, trời nắng chói chang. Hãy khoét một lỗ nhỏ trong rèm, bạn sẽ thấy ánh sáng đi qua lỗ này và vẽ lên tường đối diện một hình ảnh của khung cảnh bên ngoài rực nắng. Khung cảnh giàu chi tiết và màu sắc này đã luôn lách qua một lỗ nhỏ chỉ lớn hơn đầu một cái đinh ghim<sup>1</sup>! Alhazen từ đó suy ra một cách chính xác rằng chỉ có những tia sáng đồng thời đi qua cái lỗ này mới có thể giải thích được một hiện tượng lạ lùng đến thế. Tuy nhiên, có một vấn đề rất quan trọng được đặt ra: hình ảnh được phóng chiếu trên tường lại theo chiều lộn ngược (trên lộn xuống dưới, trái chuyển sang phải và ngược lại), nhưng Alhazen không đi sâu vào vấn đề này. Còn về sự liên quan đặc biệt của thí nghiệm buồng tối này với mắt người, phải mất khoảng bốn trăm năm sau mới được làm rõ khi Léonard de Vinci với một trực giác thiên tài đã đồng nhất con mắt với một *camera obscura*...

<sup>1</sup> Cái lỗ này không được quá lớn, nếu không hình ảnh sẽ bị nhòe.



Hình 1: Hệ thị giác theo Ibn al-Haytham (hay Alhazen) (965-1039) khoảng năm 1000. Theo nhà bác học người Ả-rập này, thủy tinh thể ở trung tâm của nhãn cầu là cơ quan thị giác. Các hình ảnh tạo thành từ các tia sáng đi qua các dây thần kinh thị giác rồi gặp nhau ở “điểm giao thoa thị giác”, rồi sau đó được truyền đến não, nơi mà linh hồn sẽ tổng hợp thông tin.

Alhazen cũng là người đầu tiên miêu tả hiện tượng khúc xạ, nghĩa là hành trạng của ánh sáng khi chuyển từ môi trường này sang môi trường khác (chẳng hạn từ không khí vào thủy tinh, hoặc từ không khí vào nước). Ông đã hiểu rằng ánh sáng khi thay đổi môi trường thì cũng đồng thời thay đổi hướng và vận tốc truyền. Hơn sáu thế kỷ sau, Descartes và Newton vẫn dùng lại nguyên vẹn lập luận này.

### *Cảm giác về khoảng cách và màu sắc*

Với Alhazen, ánh sáng đã trở thành một thực thể vật lý. Để giải thích thị giác, sự trong suốt và các màu sắc, chỉ triết học thôi là không đủ. Vật lý và hình học dựa trên thực nghiệm và quan sát vì vậy từ nay có quyền được nêu danh. Alhazen đã lấp đầy lỗ hổng ngăn cách những nghiên cứu về giải phẫu học của mắt và các lý thuyết về thị giác. Sinh lý học đã tràn vào thế giới quang học; mối quan hệ giữa khoa học về thị giác và y học đã trở nên không thể tách rời: kể từ đó người ta không thể bàn về tri giác mà không xét đến các vật tri giác.

Theo Alhazen, các hình ảnh bắt nguồn từ các “tia sáng” đi qua dây thần kinh thị giác, được giả định là rỗng, rồi qua “điểm giao thoa thị giác”, nơi dây thần kinh thị giác phải gặp dây thần kinh trái, và sau đó truyền đến mặt trước của não, ở đó linh hồn – “cảm năng tối hậu” – sẽ tổng hợp các thông tin được hai mắt và các giác quan khác truyền đến, cho phép chúng ta nhìn thấy (H.1).

Vẫn còn phải giải quyết vấn đề về khoảng cách: làm thế nào chúng ta có thể ước lượng được một vật nào đó nằm ở xa hay gần? Những người đi theo lý thuyết “các tia thị giác” cho rằng các tia này, vì có cảm giác về độ dài của chính mình, nên nhờ đó trao cho chúng ta cảm giác về độ dài. Điều này không còn đúng nữa ngay khi ánh sáng đi vào mắt người thay vì từ đó đi ra. Sự “sờ mó” từ xa là không thể, và không thể có được cảm giác về độ sâu bằng tiếp xúc thị giác các đồ vật. Để phán đoán khoảng cách, Alhazen nghĩ (và là nghĩ đúng) rằng chúng ta phải dùng đến các dấu hiệu khác: chẳng hạn, một vật nằm trước che khuất một phần các vật nằm đằng sau nó, hay một vật ở xa (như cây cối chẳng hạn) trông nhỏ hơn cùng vật đó nhưng ở gần hơn. Sở dĩ chúng ta có thể phán đoán khoảng cách từ chỗ mình đứng đến chỗ một người nào đó bởi vì chúng ta đã ước lượng được kích thước trung bình của một người. Chiều cao biểu kiến của một người cũng cho phép chúng ta ước lượng được chiều cao của tất cả các vật ở gần anh ta, như một ngôi nhà hay một bông hoa. Để phán đoán khoảng cách hay độ sâu của các vật, não chấp nối liên tục cái không biết với cái đã biết, cái thực tại với cái đã được ghi nhớ.

Còn về các màu, Alhazen cũng nghĩ như Ptolémée rằng chúng là các tính chất cố hữu của các vật nhìn thấy được. Chính ánh sáng, khi vấp phải bề mặt của một vật không trong suốt, nghĩa là có màu rất đậm, đã lấy ra từ đó màu mà sau đó nó mang đến mắt.

*Ánh sáng siêu hình của Robert Grosseteste và Roger Bacon*

Sau các đỉnh cao trí tuệ của Alhazen, lý thuyết thị giác đã ngừng tiến bộ trong thế giới Ả-rập. Sự vươn rộng của nền văn minh Hồi giáo đã bị các cuộc xâm lược triền miên của đội quân Barbare chặn lại. Bagdad rơi vào tay Hulaga Khan năm 1258. Ngọn đuốc trí tuệ lại chuyển về phương Tây. Các thế kỷ XI và XII đã được chứng kiến một sự đổi mới văn hóa, chính trị và xã hội ở Tây Âu. Các trường đại học đầu tiên đã được thành lập, ở Bologne (Italia) năm 1150, rồi sau đó ở Paris và Montpellier (Pháp), ở Oxford và Cambridge (Anh), v.v... Các tác phẩm lớn của người Hy Lạp và Ả-rập đã được dịch sang tiếng Latinh.

Mối quan tâm lớn về thần học của thời Trung cổ là bản chất của Chúa. Bị ảnh hưởng bởi các tác phẩm của Aristote, một số nhà thần học cho rằng không thể thống nhất một cách hài hòa học thuyết Cơ đốc về Chúa với học thuyết của Aristote trong lĩnh vực khoa học tự nhiên. Robert Grosseteste người Anh (1168-1253), hiệu trưởng trường Đại học Oxford, rồi sau đó là giám mục Lincol, đứng đầu giáo phận lớn nhất nước Anh, đã đóng vai trò quan trọng trong trào lưu tư tưởng này. Ông đã kết hợp chủ nghĩa Platon của thánh Augustin (354-430), theo đó thế giới có thể được giải thích một cách duy lý bằng toán học, và chủ nghĩa kinh nghiệm của Aristote với tư tưởng của thánh Augustin theo đó Chúa là “Ánh sáng là vô thể và vô hạn”. Thực tế, siêu hình học về ánh sáng đã đóng vai trò hàng đầu trong tư tưởng của Grosseteste. Trong tác phẩm *Về ánh sáng*, ông đã viết rằng: “Ánh sáng là dạng thức vô thể đầu tiên từ đó mới xuất hiện vạn vật”, rằng “ánh sáng được nhân lên vô hạn từ một điểm duy nhất đến tất cả các mặt và tán xạ đồng đều theo tất cả các hướng”, và rằng “từ chính hoạt động này mà xuất hiện thế giới vật chất”. Như vậy, toàn bộ vũ trụ vật chất được bắt nguồn từ một ánh sáng đậm đặc. Chỉ cần tưởng tượng một chút là người đọc hiện nay có thể thấy ngay trong cách miêu tả này những điểm tương đồng với lý thuyết hiện đại về sự hình thành thế giới (Big Bang). Chúa của Grosseteste, cũng giống như Thượng đế của Platon, đều là một nhà hình học và toán học, nhưng Chúa của Grosseteste có điểm đặc biệt là đã chọn ánh sáng cho sự Sáng thế của Người. Theo Grosseteste, ánh sáng này có hai khía cạnh: nó không chỉ là nguyên nhân của sự tồn tại vật lý của chúng ta bằng cách ngưng tụ thành vật chất, mà còn ở cấp độ tinh thần. Ánh sáng tinh thần của trí tuệ này đều có ở các sinh vật được Chúa sáng tạo ra, nó là trung gian giữa Chúa và con người, hay còn được gọi là “các thiên thần”.

Sau đó, các nhà tư tưởng về quang học phần lớn theo trường phái Aristote, ngay cả khi họ có thiện cảm nhất định với các tư tưởng của Platon. Sở dĩ như

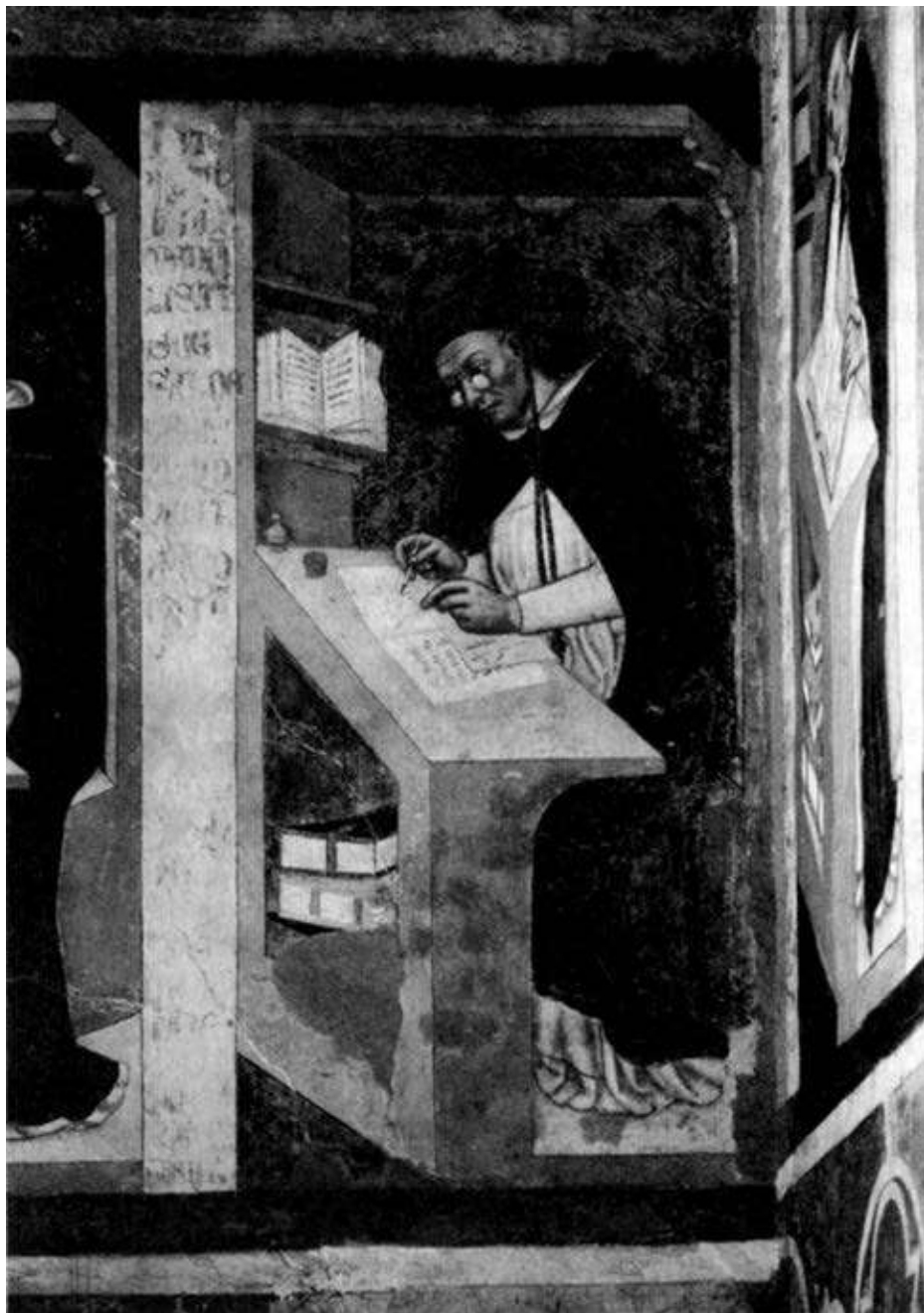
vậy là vì họ bị ảnh hưởng sâu sắc bởi tác phẩm của Alhazen – đã được dịch sang tiếng Latinh khoảng năm 1170 với nhan đề *Perspectiva*, nên người ta còn gọi họ là những người theo trường phái phối cảnh. Người nổi tiếng nhất trong số họ là Rober Bacon người Anh (1214-1292), người đã từng giảng dạy tại các trường Đại học Oxford và Paris. Thường được coi là nhà tiên tri của khoa học và công nghệ hiện đại, ông đã tiên đoán về kính viễn vọng, ô tô, máy bay, v.v... Trong các sách chuyên luận về ánh sáng và màu sắc, ông đã cố gắng tổng hợp các quan niệm của Aristote về ánh sáng và màu sắc (vốn là các “dạng thức” phi vật chất) và các quan niệm của Alhazen (màu sắc được truyền bởi các tia phát ra từ tất cả các điểm của vật). Theo Bacon, mọi vật phóng theo đường thẳng về tất cả các hướng một cái gì đó thuộc tính chất của nó mà ông gọi là “loài”. Chẳng hạn, Mặt trời phát ra các “loài” sáng. Sự phát ra tính chất này không phải là vật chất, vì nếu không Mặt trời đã tắt từ lâu lắm rồi. Bằng sự phát này, Mặt trời thực tại hóa tiềm năng của các vật thị giác làm cho chúng trở thành sáng. Quan niệm này cho phép gắn vật lý với thần học, Chúa cũng có thể được coi là một lò ánh sáng khổng lồ.

### *Léonard de Vinci và buồng tối của mắt*

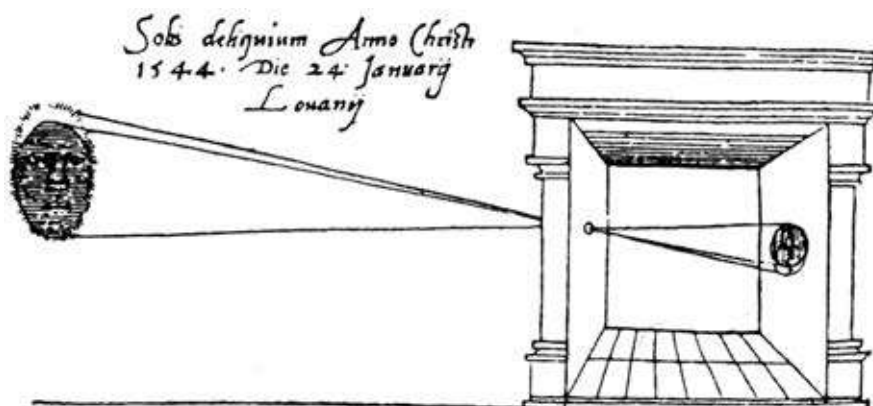
Trong thời kỳ Phục hưng, thời kỳ quá độ giữa Trung cổ và kỷ nguyên hiện đại, khoa học tự nhiên đã bắt đầu tách khỏi Giáo hội và triết học Aristote. Thời kỳ này chứng kiến sự xuất hiện một lớp người làm các nghề mới – nghệ sĩ, kiến trúc sư, thiết kế đồ họa, v.v...– họ không thuộc tầng lớp thầy tu cũng không phải là các giảng viên đại học, nên họ không phải chịu những gò bó cứng nhắc của các truyền thống kinh viện. Máy in được Gutenberg phát minh vào năm 1440 đã góp phần quan trọng vào việc phổ cập khoa học bằng cách thúc đẩy việc truyền bá tư tưởng. Léonard de Vinci người xứ Florence (Italia) (1452-1519) là một trong những người nổi tiếng nhất của thời kỳ này. Là họa sĩ thiên tài, ông cũng đã có những đóng góp quan trọng cho điêu khắc, kiến trúc, cơ học, giải phẫu học và quang học. Quang học, một khoa học bị tàn lụi trong thời Trung cổ, đã cất cánh trở lại trong thời Phục hưng nhờ một phát minh lớn vào khoảng năm 1280: đó là kính. Kính có lẽ đã được phát minh bởi một thợ thủy tinh ở Venise (Venise thời đó đã phát triển một nền công nghiệp thủy tinh lớn) khi nhận thấy rằng các vật nhìn qua một mẫu thủy tinh có phần tâm dày hơn xung quanh sẽ được phóng đại lên. Kính đã trở thành phổ biến, nhiều trí thức và các nhà bác học đã đeo kính mà không hiểu nguyên nhân gì đã tạo ra khả năng phóng đại của nó (H. 2). Một số người thậm chí còn cho rằng kính làm biến dạng hiện thực, mang lại một hình ảnh “sai lệch” về hiện thực.

Khi tấn công vấn đề thị giác, Léonard de Vinci đã biết đến kính. Ông cũng đã biết thí nghiệm *Buồng tối* đã được Alhazen miêu tả vào năm 1000: chọc một lỗ nhỏ vào tấm rèm phủ kín một buồng tối, lập tức các hình ảnh của thế giới được chiếu sáng từ bên ngoài sẽ hiện lên bức tường đối diện, nhưng lộn ngược (H. 3)! Trong một con xuất thần của trí tưởng tượng sáng tạo, Léonard đã tổng hợp hai sự kiện này lại. Ông là người đầu tiên đã đồng nhất mắt với *buồng tối*, nơi các hình ảnh của thế giới được phóng chiếu, các tia sáng từ bên ngoài đi vào qua lỗ con ngươi. Các tia sáng này sau đó bị lệch hướng và được tụ tiêu bởi thủy tinh thể trên dây thần kinh thị giác, cũng giống như mắt kính làm lệch hướng và tụ tiêu ánh sáng. Ý tưởng này rất quan trọng. Léonard đã bác bỏ quan niệm của Galien cho rằng thủy tinh thể là trung tâm của thị giác. Vai trò của thủy tinh thể bây giờ bị rút lại thành vai trò của một dụng cụ quang học đơn thuần giống như mắt của một cái kính. Nhưng sự đồng nhất mắt với *buồng tối* đặt ra một vấn đề: các hình ảnh bị đảo ngược, ấy vậy mà mắt vẫn nhìn thế giới theo đúng tư thế thuận của nó! Léonard đã nghĩ một cách sai lầm rằng đường đi của các tia sáng qua thấu kính thủy tinh thể chịu một sự đảo ngược kép có khả năng tái dựng lại chiều chính xác của các hình ảnh bằng một cơ chế mà ông không giải thích (H. 4).

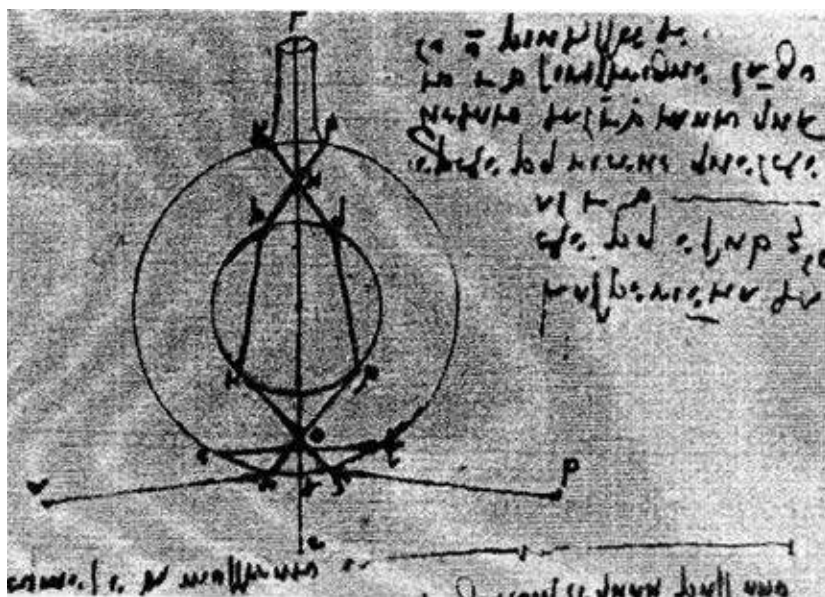
Léonard de Vinci là một trong số những người có đóng góp to lớn cuối cùng cho khoa học về thị giác trước cuộc đại cách mạng cho ra đời khoa học hiện đại, vào cuối thế kỷ XVI. Cảnh đã được dàn dựng để đón nhân vật có vai trò lớn trong câu chuyện truyền kỳ về ánh sáng bước lên sân khấu: đó là Johannes Kepler, một nhà khoa học người Đức.



Hình 2. Hồng y Hugo de Provence do Tomaso de Modène vẽ năm 1352. Đó là bức tranh cổ nhất mà chúng ta biết miêu tả một người đeo kính để đọc và viết. © AKG-Images.



Hình 3. Một trong những hình vẽ xưa nhất (1544) về một buồng tối (*camera obscura*), cho thấy rõ ánh sáng truyền theo đường thẳng, các hình ảnh của thế giới bên ngoài được phóng chiếu qua lỗ lên bức tường của buồng tối theo chiều lộn ngược. Hình ảnh được biểu diễn ở đây là hình ảnh nhật thực trong đó một phần lớn của Mặt trời đã bị Mặt trăng che khuất. Phần nhỏ của Mặt trời không bị che khuất ở phía trên (phần màu trắng) lại nằm ở dưới trong hình ảnh được phóng chiếu.



Hình 4. Hệ thị giác theo Léonard de Vinci (1452-1519). Họa sĩ xứ Florence đã bác bỏ quan niệm cho rằng thủy tinh thể là trung tâm của cơ quan thị giác: đó thực chất chỉ là một thấu kính có tác dụng làm lệch hướng và tiêu tụ ánh sáng. Ông đã nhận ra rằng vì ánh sáng đi vào qua một lỗ nhỏ, lỗ của con người, nên mắt cũng giống như một *camera obscura* ở đó các hình ảnh bị đảo ngược. Léonard đã hình dung sai lầm rằng đường đi của các tia sáng chịu một đảo ngược kép có tác dụng tái lập lại chiều chính xác của các hình ảnh.



## CHƯƠNG 2

# “CÓ NEWTON, TẤT CẢ SẼ BỪNG SÁNG” CUỘC ĐẠI CÁCH MẠNG KHOA HỌC

### *Kepler và cuộc cách mạng Copernic*

Một cuộc đảo lộn lớn đã xảy ra trong lịch sử khoa học tự nhiên vào năm 1543 khi linh mục phụ tá người Ba Lan, Nicolas Copernic (1473-1543) xuất bản cuốn sách *Về sự quay của các thiên cầu*. Copernic đã đặt vấn đề xem xét lại vũ trụ địa tâm của Ptolémée trong đó Trái đất ngự ở trung tâm của vũ trụ, một vũ trụ đã trở thành chuẩn mực trong suốt hơn mười lăm thế kỷ. Giờ đây Trái đất bị đẩy vào hàng một hành tinh bình thường quay quanh Mặt trời, còn Mặt trời chiếm vị trí trung tâm. Quả là một đòn giáng mạnh vào tinh thần con người: con người không còn là trung tâm của thế giới và vũ trụ được tạo ra không còn để dành riêng cho con người nữa. Trong khi phần lớn những người đương thời với Copernic chỉ thấy trong hệ vũ trụ của ông một hệ thống toán học cho phép tính toán chính xác hơn quỹ đạo của các hành tinh nhưng vẫn chưa thực sự miêu tả được thế giới<sup>1</sup>, thì Johannes Kepler (1571-1630), cha đẻ của thiên văn học hiện đại, đã là một trong số những người đầu tiên ý thức được tầm quan trọng của cuộc cách mạng trí tuệ được Copernic phát động.

---

<sup>1</sup> Quan điểm này được thể hiện trong lời tựa cho chính cuốn sách này của Copernic. Theo truyền thuyết, mãi đến lúc sắp qua đời ông mới được đưa cho một bản. Cuốn sách có lẽ đã được nhà xuất bản Andreas Osiander biên soạn lại để bảo vệ linh mục phụ tá Copernic khỏi những đòn sấm sét của Giáo hội.

Sau khi nghiên cứu thần học và toán học, vào năm 1594, chàng trai trẻ Kepler được chọn làm giáo viên toán của trường dòng Graz, ở Áo. Là người theo đạo Luther trong một Nhà nước Thiên chúa giáo, nên Kepler đã bị trục xuất khỏi Áo năm 1600. Ông sống lưu vong ở Praha. Cuộc gặp gỡ với nhà thiên văn học vĩ đại người Đan Mạch, Tycho Brahe (1546-1601) tại thủ đô nước Séc đã đánh dấu một bước ngoặt trong cuộc đời khoa học của Kepler. Không còn được vua Đan Mạch sủng ái nên Brahe sống lưu vong tại Bohême dưới sự bảo trợ của hoàng đế Rodolphe II. Ông đã thuê Kepler làm phụ tá để ghi chép những quan sát về bầu trời. Một năm sau ông qua đời, để lại cho chàng đồng nghiệp trẻ một kho báu vô giá các số liệu quan sát cực kỳ chính xác về chuyển động của các hành tinh được tích lũy trong khoảng hai chục năm – một thời gian đủ để nhìn thấy các hành tinh gần nhất thực hiện được nhiều vòng quay quanh Mặt trời. Là người bảo vệ nhiệt thành hệ thống Copernic, Kepler tin rằng các quan sát của Brahe sẽ giúp ông đột phá những bí mật về chuyển động của các hành tinh. Bất chấp một cuộc sống khó khăn<sup>1</sup>, và sau bốn năm làm việc năng nhọc, Kepler, người kế tục Brahe với vai trò là nhà toán học hoàng gia trong cung đình của vua Rodolphe II, cuối cùng, vào năm 1605, đã công bố với thế giới ba định luật chi phối chuyển động của các hành tinh, cho dù chúng trái ngược với các niềm tin siêu hình của chính ông. Theo Kepler, Chúa là một nhà toán học và hình học, vì vậy các hành tinh phải đi theo các quỹ đạo có hình dạng hoàn hảo (hình tròn) theo một chuyển động hoàn hảo (tức là phải đều); vậy mà các quan sát của Brahe lại cứ ương ngạnh nói với ông một thực trạng hoàn toàn khác: các quỹ đạo hành tinh không tròn, mà có hình elip, và chuyển động của chúng không là đều, các hành tinh tăng tốc khi tiến gần Mặt trời và giảm tốc đi ra xa Mặt trời. Là một nhà khoa học đích thực, Kepler đã nghiêng mình trước phán quyết của quan sát.

### *Võng mạc là trung tâm của thị giác*

Ngoài các công trình về chuyển động của các hành tinh ghi dấu ấn trong lịch sử khoa học, Kepler còn quan tâm đến các vấn đề quang học, trong đó có một số gắn liền với thiên văn học. Chẳng hạn, ông đã tự vấn tại sao đường kính của hình ảnh của Mặt trăng chiếu qua một lỗ vào trong buồng tối lại luôn lớn hơn giá trị mong đợi, làm cho hình ảnh bị nhòe. Ông đã rút ra kết luận đúng

<sup>1</sup> Người vợ đầu của ông phát điên, phần lớn các con của ông đều chết yểu, mẹ ông bị kết tội phù thủy, và bản thân ông cũng nợ như chúa Chổm.

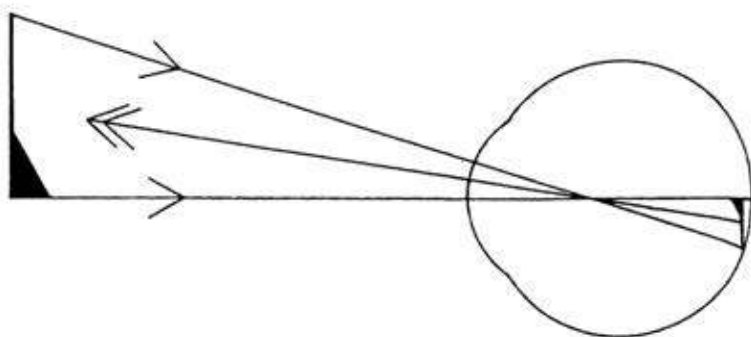
đến rằng nguyên nhân ở đây chính là tại kích thước hữu hạn của cái lỗ. Nhưng, ông tiếp tục, nếu mắt là một buồng tối, như Léonard de Vinci giả định, và nếu các tia sáng đi vào mắt qua con ngươi có một kích thước nhất định, thì thế giới bên ngoài phải trình hiện trước mắt ta một cách mờ nhòe, không rõ nét. Tuy nhiên, thực tế lại không phải như vậy. Do đó, các hình ảnh mà mắt nhìn thấy phải được hình thành theo một cơ chế khác. Kepler đã nhận ra rằng cơ chế này chính là sự khúc xạ. Các tia sáng không lan truyền theo đường thẳng khi đi vào mắt, như trường hợp buồng tối, mà bị lệch hướng khi đi vào thủy tinh thể. Như vậy, mặc dù mượn phần lớn các quan điểm của Alhazen<sup>1</sup>, nhưng Kepler không đồng ý với khẳng định của nhà khoa học Ả-rập này theo đó chỉ có những tia đi vuông góc với giác mạc mới đóng góp cho thị giác. Tại sao một tia sáng rất gần với đường vuông góc với mắt lại không giúp gì cho thị giác? Điều đó không đúng! Kepler đã khẳng định một cách chính xác rằng tất cả các tia sáng đều đóng góp cho thị giác và sở dĩ chúng ta nhìn thấy rõ nét các hình ảnh, chính là bởi vì tất cả các tia này đều bị lệch hướng và hội tụ vào một điểm duy nhất khi đi vào mắt người.

Để kiểm tra giả thuyết của mình, Kepler đã miệt mài tiến hành các thí nghiệm với các bình thủy tinh tròn chứa đầy chất lỏng, giống như mắt. Ông đã chứng tỏ được rằng các tia sáng đi qua các bình thủy tinh nước ấy đều hội tụ vào một điểm duy nhất, và rằng hình ảnh là sáng và nét nếu độ mở mà các tia đi qua đó là tương đối nhỏ. Mắt có một độ mở nhỏ như thế (con ngươi) và một thấu kính (thủy tinh thể) để hội tụ các tia sáng. Nhưng hình ảnh được hình thành ở đâu? Vẫn rất chính xác, Kepler cho rằng nơi hội tụ các tia sáng và hình thành các hình ảnh là võng mạc – chứ không phải là thủy tinh thể như Alhazen và Galien đã nghĩ. Sau hai nghìn năm lý thuyết về thị giác, vai trò của võng mạc là trung tâm của thị giác cuối cùng đã được thừa nhận.

Nhưng Kepler cũng vấp phải vấn đề đã từng hấp dẫn Léonard de Vinci: các hình ảnh của thế giới bên ngoài trên võng mạc bị đảo ngược (H. 5). Ông viết: "Thị giác tạo bởi một hình ảnh của vật nhìn thấy được trên thành màu trắng và lõm của võng mạc; và các vật của thế giới bên ngoài nếu ở bên phải sẽ xuất hiện ở bên trái, những vật ở bên trái sẽ xuất hiện ở bên phải, ở trên thì lộn xuống dưới, ở dưới ngược lên trên".

---

<sup>1</sup> Chẳng hạn, cũng giống như Alhazen, ông cho rằng ở mỗi điểm của bề mặt một vật đều phát ra các tia sáng ứng với một điểm nằm trong mắt.



Hình 5. Hệ thị giác theo Johannes Kepler (1571-1603). Nhà thiên văn học người Đức này là người đầu tiên phát biểu rõ ràng rằng võng mạc là trung tâm của thị giác. Chính ông cũng đã phải đối mặt với vấn đề về các hình ảnh bị lộn ngược. Ông đã đưa ra giả thuyết mang tính cách mạng cho rằng có thể là não đã tái lập lại chiều chính xác của vật. Nhưng ông cũng đã đưa ra một giả thuyết khác sai lầm, gọi là “lý thuyết phóng chiếu” (xem hình vẽ): hình ảnh bị lộn ngược được phóng vào không gian giúp tái lập lại hướng đúng cho hình ảnh. Kepler đã không thể hoàn toàn thoát khỏi tư tưởng “ngọn lửa bên trong” của người Hy Lạp.

### *Thị giác được tạo ra cả trong mắt và trong não*

Vậy thì tại sao chúng ta lại không nhìn thấy thế giới bị lộn ngược? Léonard de Vinci giải thích điều đó bằng sự đảo chiều kép được thực hiện khi các tia sáng khi đi qua thủy tinh thể làm cho các vật trở lại chiều đúng của chúng. Nhưng sự đảo ngược kép này đã diễn ra như thế nào? Kepler đã cố gắng tìm hiểu cách giải thích của Léonard de Vinci, nhưng không có kết quả. Tất nhiên là ông không thể hiểu được bởi vì quan niệm đó là sai lầm! Từ đó ông rút ra kết luận rất đúng đắn rằng Léonard đã đi sai đường và rằng hình ảnh tạo thành trên võng mạc đúng là bị lộn ngược. Ông đã khẳng định điều đó bằng các phẫu tích mắt bò do chính ông tự tay thực hiện và những phẫu tích này đều cho thấy rõ các hình ảnh bị lộn ngược trên võng mạc. Kepler khẳng định, điều xảy ra đối với hình ảnh bị đảo ngược sau khi được dây thần kinh thị giác của mắt truyền tới não trong phần gọi là *lượng tri* (*sensus communis*) nơi mà sự tri giác cuối cùng coi như đã được khu biệt, không còn là một vấn đề của quang học nữa, và do đó không còn thuộc phạm vi của vật lý học mà là của sinh lý học. Bằng một cơ chế nào đó chưa rõ, não biết cách tái lập lại sự định hướng đúng của vật, và nhờ đó mà chúng ta nhìn thấy các vật theo đúng chiều thuận của chúng. Như vậy, Kepler là người đầu tiên gợi ý rằng não có thể đóng một vai trò tích

cực trong thị giác, rằng chúng ta nhìn cả bằng mắt và bằng não. Nhiều thế kỷ sau, vai trò chính xác của não trong quá trình thị giác mới được làm sáng tỏ.

Trung thành với quan niệm huyền bí về thế giới, Kepler đã gán cho ánh sáng một tính chất siêu hình: ánh sáng có lẽ là sự biểu hiện của Chúa. Ngược lại với Aristote, ông cho rằng ánh sáng (thực thể phi vật chất) và màu sắc (tính chất của các vật được chiếu sáng) không cần môi trường trung gian để lan truyền. Ánh sáng lan truyền tức thời: vận tốc của ánh sáng là vô hạn. Bù lại, Kepler chấp nhận quan niệm của Aristote về “ánh sáng tiềm năng” của các vật có màu. Tiềm năng này được thực tại hóa nhờ ánh sáng bên ngoài. Các màu hiện diện bên trong chứ không phải ở trên bề mặt của các vật. Chính vì thế mà sự phản xạ ở bề mặt của các chất lỏng không làm thay đổi màu của các tia tới. Còn về một số kim loại cho sự phản xạ có màu sắc, đó là do chúng đã thêm ánh sáng có màu của chúng vào ánh sáng bên ngoài.

### *Tư tưởng nghi ngờ của Descartes*

Đến cuối thế kỷ XVII, chủ nghĩa Aristote mất dần ảnh hưởng và suy tàn. Lúc này nhu cầu xem xét lại toàn bộ hệ tư tưởng trở nên cấp bách hơn bao giờ hết. Triết gia kiêm nhà toán học Pháp, René Descartes (1596-1650) là người đóng vai trò tiên phong trong cuộc cách mạng về quan niệm này. Sinh ở Touraine, là con trai của một gia đình quý tộc ở Rennes, Descartes học phổ thông tại các trường dòng Tên và năm hai mươi tuổi đỗ cử nhân luật ở Paris. Sau đó ông nhập ngũ và chu du khắp châu Âu, “lăn lộn đây đó khắp nơi, tự trao cho mình nhiệm vụ làm khán giả chứ không phải diễn viên trong các tấn trò đời đang diễn ra ở đó”. Từ năm 1629, ông lập nghiệp ở Hà Lan, sống ở đó hai mươi năm và thường xuyên gặp gỡ giới trí thức tinh hoa của nước này. Năm 1648, ông đến Stockholm theo lời mời của nữ hoàng Thụy Điển, Christine, người muốn theo học triết học của ông. Để tận dụng tối đa thời gian có mặt của Descartes, vị nữ hoàng trẻ trung này hẹn gặp từ 5 giờ sáng vị triết gia khốn khổ vốn không bao giờ dậy trước 12h trưa! Sức khỏe của Descartes suy sụp và ông mất năm 54 tuổi.

Toán học đóng vai trò quan trọng trong tư tưởng của Descartes. Đối với ông cũng như đối với Galileo (1564-1642), toán học là ngôn ngữ của tự nhiên. Descartes sáng tạo ra hình học giải tích, cho phép ông mô tả bằng phương trình các hình hình học như hình tròn hay hình tam giác. Tin vào sự thống nhất cơ bản của các khoa học, ông coi các khoa học, cũng như toán học, phần lớn đều có thể được suy ra bằng lý trí thuần túy. Ở điểm này, ông đi ngược lại với Kepler và Galileo, hai nhà khoa học này nhấn mạnh sự cần thiết phải quan

sát và thực nghiệm để giải mã các bí mật của tự nhiên, nhưng đồng thời không hề phủ nhận vai trò cơ bản của toán học. Như vậy Descartes là biểu tượng của “chủ nghĩa duy lý”.

Descartes xây dựng hệ tư tưởng của ông dựa trên sự nghi ngờ: tất cả đều phải được xem xét lại, vì các giác quan của chúng ta đều có thể bị nhầm lẫn. Xét cho cùng, trong giấc mơ chúng ta thấy các vật cũng thật như khi chúng ta thức. Nhưng, theo Descartes, ít nhất có một điều không thể bị xem xét lại, đó là bản thân việc mình đang nghi ngờ. Khi nghi ngờ, cần phải tư duy và, bởi vì tư duy, nên phải tồn tại với tư cách là người tư duy. Từ đó có câu nói nổi tiếng: “Tôi tư duy, vậy tôi tồn tại”, mở đầu cho tác phẩm *Luận về phương pháp* xuất bản năm 1636 và được dùng làm dẫn nhập cho các tiểu luận của ông về *Khúc xạ học, Sao băng và Hình học*. Trong *Luận về phương pháp*, Descartes đã trình bày các phương pháp “để dẫn dắt lý trí một cách đúng đắn và để tìm kiếm chân lý trong khoa học”, nói cách khác là để xóa bỏ khoa học cũ và xây dựng lại khoa học dựa trên các căn cứ duy lý.

### *Thị giác giống như cây gậy của người mù*

Theo Descartes, hiện thực có hai khía cạnh hoàn toàn khác nhau: khía cạnh tinh thần và khía cạnh thế giới vật chất. Đó chính là “nhị nguyên luận” nổi tiếng của ông. Tinh thần là ý thức thuần túy, không trải rộng trong không gian (tức không có quảng tính) và không thể phân chia. Trái lại, vật chất hoàn toàn không có ý thức, có quảng tính không gian và có thể chia nhỏ đến vô cùng. Descartes có một quan niệm nguyên tử luận về không gian này. Không gian mà ông gọi là *plenum* chứa đầy các hạt có kích thước và hình dạng khác nhau. Lý thuyết hạt của Descartes khác với học thuyết nguyên tử của Démocrite ở chỗ nó bác bỏ sự tồn tại của chân không và cho rằng vật chất chia nhỏ được đến vô cùng.

Descartes áp dụng quan niệm không gian của ông cho ánh sáng theo cách sau: giữa mắt và mỗi vật tồn tại một cột *plenum* mà ánh sáng lan truyền qua với vận tốc vô hạn. Nói cách khác, sự lan truyền của ánh sáng là tức thời. Ánh sáng không phải là vật được phóng ra cũng không phải là chất lỏng, mà là một “xu hướng chuyển động”. Nói theo ngôn ngữ hiện đại, thì đó là một dạng sóng lan truyền trong không gian chứa đầy các hạt mà không làm dịch chuyển đáng kể bản thân các hạt này. Từ quan niệm như thế về ánh sáng, Descartes đã rút ra một phương pháp tiếp cận mang tính cơ giới về thị giác. Theo ông, thị giác giống như cây gậy của người mù; để tìm đường đi, người mù dò dẫm bằng

cách dùng cây gậy chạm vào các vật trên vệ đường. Ngay khi đầu gậy chạm vào một vật, một xung lực truyền ngay đến đầu kia của gậy chỗ tay cầm, và người mù nhận ra ngay vị trí của vật cản. Tương tự, một vật sáng tác động lên *plenum* quanh nó, gây ra trong mắt một xung động, và nhờ đó mà chúng ta nhìn thấy. Descartes miêu tả trong *Luận về phương pháp*: “Ánh sáng không là gì khác, trong các vật mà người ta gọi là sáng, một chuyển động nào đó, hay một tác động cực nhanh và mạnh, truyền đến mắt bạn qua không khí và các vật trong suốt khác, cũng giống như chuyển động hoặc xung động truyền đến tay người mù qua cây gậy”. Như vậy Descartes là người đầu tiên phát biểu rõ ràng một lý thuyết cơ giới về ánh sáng, về môi trường truyền và thị giác. Hoàn toàn có thể coi lý thuyết của ông là điểm mốc khởi đầu của quang học vật lý hiện đại.

### *Descartes và sự ra đời của sinh lý học thần kinh*

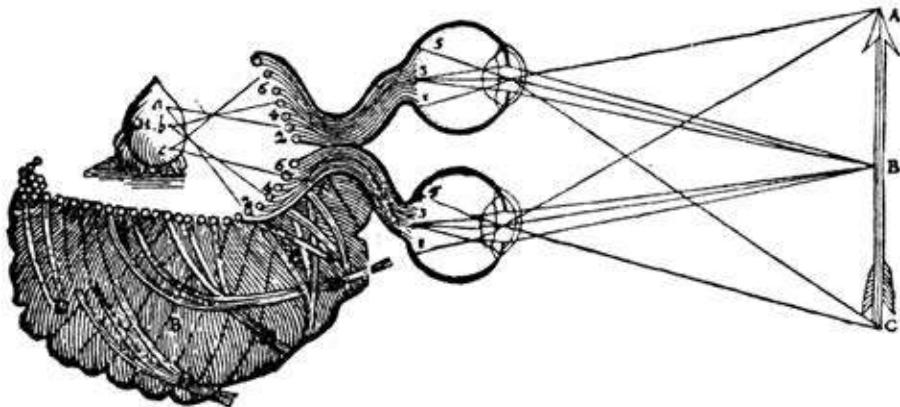
Descartes cũng đề cập đến sinh lý học thông qua các hạt. Ông bác bỏ quan niệm phổ biến của những người đương thời cho rằng linh hồn là khởi nguyên của sự sống. Ông lấy lại thuyết linh khí (*pneuma*) của Galien nhưng dưới dạng giản lược và duy vật. Theo ông, tồn tại một chuỗi các hạt gọi là “linh hồn động vật” đi từ máu đến não, rồi từ tủy sống qua các dây thần kinh có đường kính thay đổi tùy theo các kích tố (*stimuli*). Ông đưa ra một quan điểm quan trọng và độc đáo, mà cho tới nay vẫn còn sức sống: một sự kiện tâm thần (một xúc cảm hay một cảm giác) luôn đi kèm với một sự kiện vật lý nào đó trong não. Nhưng, bởi vì tâm thần là phi vật chất và não là vật chất, vậy thì bằng cách nào chúng ảnh hưởng lẫn nhau? Câu trả lời của Descartes là bằng sự hỗ trợ của “tuyến tùng”, một điểm nhỏ của não. Theo Descartes, tuyến tùng điều khiển não bằng các chuyển động nhỏ, bằng cách mở và đóng các lỗ của nó, giống như một nhạc sĩ đàn organ điều khiển cho các ống mở hoặc đóng bằng cách ấn phím.

Descartes cũng quan tâm đến vấn đề thị giác, đặc biệt là vấn đề hình ảnh bị lộn ngược trên võng mạc do Kepler nêu ra. Ông xem xét và bác bỏ giả thiết cho rằng có một “người tí hon” (*homunculus*) trong đầu, nhìn hình ảnh trên võng mạc và tái lập lại chiều đúng của hình ảnh. Loại lập luận này nhanh chóng dẫn đến phi lý vì cần phải có một người tí hon khác nữa để tái lập chiều của hình ảnh trên võng mạc của *homunculus*, và cứ như vậy đến vô cùng. Sẽ có một chuỗi vô hạn các *homunculus* lồng vào nhau, giống như một chuỗi vô tận các con búp bê Nga.

Trong *Luận về con người*, Descartes đã xây dựng một lý thuyết cơ giới về thị giác. Theo ông, các dây thần kinh thị giác đi từ hai mắt vận chuyển đến não các thay đổi cơ học trên võng mạc do ánh sáng gây ra. Các dây thần kinh này hoạt động như các sợi dây căng truyền mọi nhiễu động từ đầu này đến đầu kia. Chẳng hạn, một hình ảnh kép về thế giới bên ngoài từ võng mạc của hai mắt được truyền lên não. Sau đó hai hình ảnh này được kết hợp thành một hình ảnh duy nhất trong “luơng tri” của não (H. 6).

Về vấn đề hình ảnh trên võng mạc bị lộn ngược, Descartes đã nói rất dứt khoát: chính não đã tái lập lại chiều đúng của các hình ảnh, giúp chúng ta không nhìn thấy thế giới bị lộn ngược. Descartes còn đi xa hơn: hình ảnh trong não mà chúng ta tri giác được là một phiên bản đơn giản hóa của hình ảnh được gửi tới từ thế giới bên ngoài, và chính não đã bổ khuyết thêm những thông tin còn thiếu. Ông so sánh các hình ảnh trong não với các bức tranh. Các bức tranh không phải là sự tái hiện chính xác thế giới thực, tuy nhiên não của chúng ta biết nhận ra ở đó các đồ vật, con người hay phong cảnh bằng sự tri giác các nét cọ chấm phá đây đó. Đó là một quan niệm đi trước rất xa so với thời đại của ông: phải vài thế kỷ sau sinh lý học hiện đại mới đề cập đến vấn đề mã hóa có lựa chọn các đường viền của vật...

Đối với các con vật, mà Descartes coi là không có tâm hồn, các tín hiệu thị giác được tích hợp với các tín hiệu của các giác quan khác, như xúc giác và



Hình 6. Hệ thống thị giác theo René Descartes (1596-1650) (*Luận về con người*, Paris, 1664). Đó là một lý thuyết cơ giới: các dây thần kinh truyền lên não tất cả các thay đổi cơ học do ánh sáng gây ra trên võng mạc của mỗi mắt. Hai hình ảnh tới từ hai mắt sau đó được ghép với nhau và được tuyến tủy của não giải mã.

khứu giác, và được gắn kết với các dữ liệu của trí nhớ trong "luong tri". Sau đó một xung động đi từ não đến các cơ bắp để tạo ra các phản xạ. Còn về con người, do vốn có một tâm hồn, nên các tín hiệu của các giác quan khác nhau được "tuyến tưng" giải mã để cho ta một nhận thức cảm tính. Liên quan đến sự tri giác các màu, Descartes nghĩ rằng đó là do các cuộn xoáy của các hạt. Descartes cho rằng, trái ngược với ánh sáng lan truyền bằng các xung động theo đường thẳng, các màu đến mắt là do chuyển động quay của các hạt.

Như vậy, Descartes là người đầu tiên cố gắng khai mở các con đường từ sự tri giác thế giới bên ngoài cho đến bộ não. Theo nghĩa này, ông có thể được coi là cha đẻ của ngành sinh lý học thần kinh hiện đại.

### *Rômer và vận tốc ánh sáng*

Aristote cho rằng thị giác bắt nguồn từ một thay đổi tức thời môi trường do ánh sáng xung quanh gây ra. Ngoại trừ Alhazen và một số rất ít các nhà bác học khác, cho tới thế kỷ XVII tất cả các nhà tư tưởng vẫn đinh ninh rằng sự lan truyền ánh sáng là tức thời và vận tốc của ánh sáng là vô hạn. Xét cho cùng, mỗi buổi sáng khi tỉnh dậy và mở mắt ra, chúng ta có cảm giác rằng các hình ảnh của thế giới xung quanh xâm chiếm tức thì ý thức của chúng ta. Địa vị siêu hình học của ánh sáng thời Trung cổ vẫn còn tiếp tục củng cố niềm tin này: bởi vì ánh sáng là biểu hiện của Chúa mà Chúa thì hiện diện khắp nơi, nên sự lan truyền của ánh sáng phải là tức thời. Ngay cả Kepler và Descartes, những người đã khai mở kỷ nguyên khoa học hiện đại, cũng khư khư giữ chặt quan điểm cho rằng ánh sáng đến với chúng ta mà không cần mất một khoảng thời gian nào.

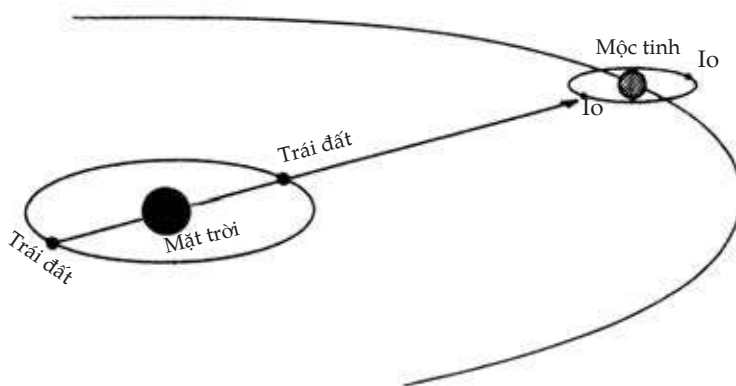
Trung thành với danh tiếng là người quan sát tự nhiên, Galileo là người đầu tiên tiến hành thí nghiệm để kiểm tra giả thiết này. Ông đặt hai người ở hai vị trí khác nhau, mỗi người cầm một cái đèn lồng. Ông yêu cầu họ gửi cho nhau các chớp sáng bằng cách đưa tay che trước đèn, rồi sau đó rút tay lại. Mỗi người phải trả lời cho người kia bằng một chớp sáng ngay khi nhận được chớp sáng do người kia phát ra. Galileo nhận xét một cách đúng đắn rằng nếu ánh sáng phải mất thời gian để lan truyền, thì các khoảng thời gian giữa hai chớp sáng kế tiếp nhau xuất phát từ cùng một người phải càng dài nếu khoảng cách giữa hai người càng xa. Nhưng, khi tách hai người ra xa hơn, ông không phát hiện ra bất kỳ khác biệt nào. Từ đó Galileo kết luận rằng hoặc là sự lan truyền ánh sáng là tức thời, hoặc là vận tốc của ánh sáng là cực lớn.

Phải mãi tới sau này, nhà thiên văn học người Đan Mạch là Ole Rômer (1644-1710) mới chứng minh được rằng kết luận thứ hai của Galileo là đúng. Năm 1671, vua Louis XIV mời Rômer đến làm việc tại Đài thiên văn hoàng gia Paris mà ông vừa thành lập. Tại đây, Rômer chuyên nghiên cứu vấn đề quỹ đạo của một trong các mặt trăng của Mộc tinh, tên là Io, được Galileo phát hiện năm 1610 ngay sau khi phát minh ra kính thiên văn. Rômer xác định thời gian để Io đi hết một vòng quỹ đạo của nó quanh Mộc tinh bằng cách đo khoảng thời gian giữa hai lần nguyệt thực liên tiếp của mặt trăng Mộc tinh, nguyệt thực này xảy ra trong mỗi vòng quay khi Io đi qua phía sau Mộc tinh. Ông phát hiện ra một hiện tượng lạ: thời gian để Io thực hiện được một vòng quay quanh Mộc tinh không cố định, mà thay đổi theo chu kỳ (trung bình là 42 giờ rưỡi). Thời gian này tăng khoảng 20 phút khi Trái đất, trong chuyến chu du hằng năm quanh Mặt trời, ở xa Mộc tinh nhất, và giảm cũng chừng ấy thời gian khi Trái đất gần Mộc tinh nhất (H. 7). Mà thời gian Io quay một vòng quanh Mộc tinh không thể thẳng giáng, cũng giống như Mặt trăng luôn quay quanh Trái đất một vòng hết đúng một tháng.

Rômer đã giải thích chính xác độ lệch biểu kiến của chu kỳ quỹ đạo của Io là bằng chứng cho thấy ánh sáng từ Io phải mất một khoảng thời gian nhất định để đến được Trái đất, và khoảng thời gian gần 20 phút (giá trị chính xác đo được bằng các máy đo hiện đại là 16 phút 36 giây) là ứng với thời gian bổ sung cần thiết để ánh sáng đi từ Io tới vị trí xa nhất của Trái đất<sup>1</sup>. Sở dĩ Rômer thành công ở chỗ mà Galileo đã thất bại, đó là vì khoảng cách Mộc tinh - Trái đất là khoảng 600 triệu kilômét, trong khi hai người truyền cho nhau các chớp sáng trong thí nghiệm của Galileo chỉ cách nhau vài trăm mét! Bởi vì vận tốc của ánh sáng là cực lớn (7,5 lần vòng quanh trái đất trong một giây), nên phải dùng các khoảng cách thiên văn mới có thể làm sáng tỏ được sự chênh lệch thời gian mà ánh sáng phải mất để đến được chúng ta. Như vậy quan niệm của Descartes về một *plenum* truyền tức thời các thay đổi cơ học do ánh sáng gây ra là hoàn toàn sai lầm.

---

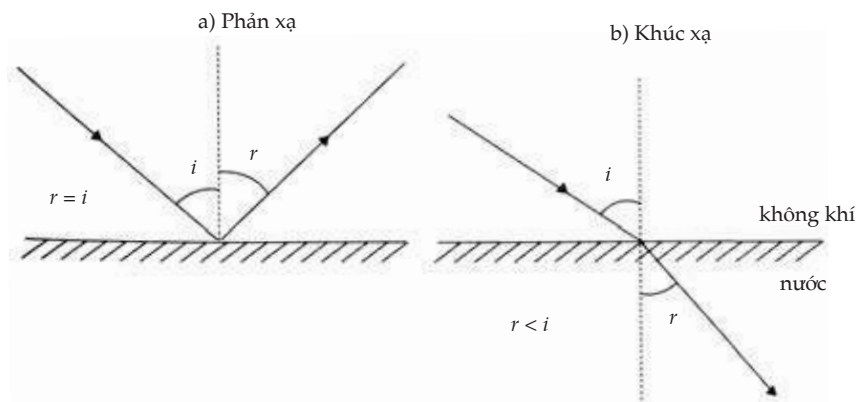
<sup>1</sup> Sau đó, năm 1678, nhà vật lý học người Hà Lan Christian Huygens, dựa trên các quan sát của Rômer về Io, đã tính toán vận tốc của ánh sáng trong chân không khá gần với giá trị 300.000km/s mà chúng ta biết ngày nay.



Hình 7. Ole Rømer (1644-1710) đo vận tốc ánh sáng năm 1676. Nhà thiên văn học Đan Mạch đo khoảng thời gian giữa hai lần nguyệt thực liên tiếp của mặt trăng Io của Mộc tinh, từ hai vị trí khác nhau của Trái đất trên quỹ đạo của nó quanh Mặt trời: 1) khi Trái đất gần Mộc tinh và Io nhất, và 2) khi Trái đất cách xa chúng nhất. Kết quả của hai phép đo chênh nhau khoảng 20 phút: đó là thời gian cần thiết để ánh sáng đi qua khoảng cách bằng đường kính của quỹ đạo Trái đất. Chỉ cần chia khoảng cách này (tính bằng các kỹ thuật khác) cho thời gian 20 phút là biết vận tốc của ánh sáng.

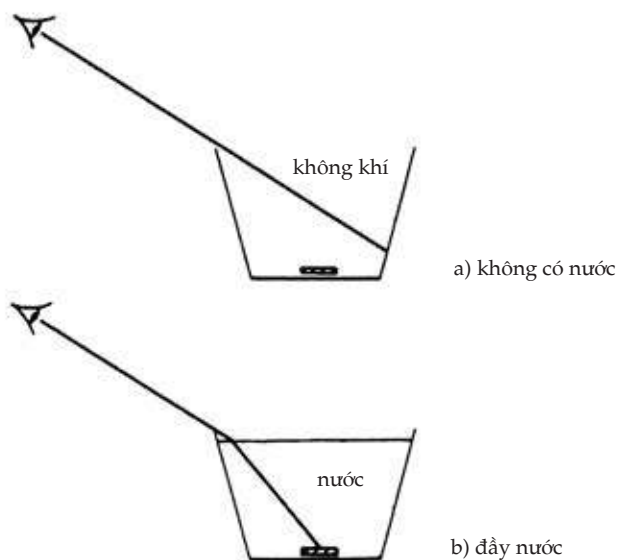
### *Khúc xạ ánh sáng "bẻ gãy" các tia*

Trong cùng một môi trường ánh sáng lan truyền theo đường thẳng. Khi ánh sáng gặp một vật, thì một trong hai hiện tượng sẽ xảy ra: hoặc là nó nảy trên bề mặt của vật để quay lại phía sau, và người ta nói ánh sáng bị phản xạ (chẳng hạn, khi bạn nhìn mình trong gương, thì chính ánh sáng của cơ thể bạn được phản xạ bởi gương đi vào trong mắt bạn); hoặc là ánh sáng đi vào môi trường mới trong suốt bằng cách thay đổi hướng, và người ta nói ánh sáng bị khúc xạ. Bốn thế kỷ trước CN, Euclide đã biết định luật phản xạ trên mặt phẳng: góc của tia tới tạo với pháp tuyến của mặt phẳng bằng góc của tia phản xạ với chính pháp tuyến đó (H. 8). Archimède (khoảng 287-212 tr.CN) đã chứng minh được rằng có thể tập trung toàn bộ ánh sáng tới vào tiêu điểm của gương nếu gương này có dạng parabol. Như vậy, người Hy Lạp đã biết làm chủ kỹ thuật chế tạo gương. Trên thực tế, Archimède đã thiêu rụi hạm đội La Mã đang vây hãm thành phố Syracuse bằng cách dùng các gương parabol khổng lồ tập trung ánh sáng mặt trời lên tàu địch. Ngày nay nguyên lý tập trung ánh sáng này vẫn được dùng trong kỹ thuật để chế tạo các kính thiên văn lớn.



Hình. 8. Các định luật phản xạ và khúc xạ ánh sáng. (a) Đối với phản xạ, các góc tạo bởi tia tới và phản xạ so với pháp tuyến là bằng nhau. (b) Đối với khúc xạ, hiện tượng xảy ra khi, ví dụ, ánh sáng đi từ không khí vào nước (hoặc vào một môi trường trong suốt khác như thủy tinh, chẳng hạn). Trong trường hợp này, góc  $r$  lập bởi tia khúc xạ và pháp tuyến nhỏ hơn góc  $i$  của tia tới lập với pháp tuyến. Khi đi vào một môi trường trong suốt đặc hơn (còn gọi là chiết quang hơn), ánh sáng truyền chậm lại. Người ta định nghĩa chiết suất  $n$  bằng tỷ số  $\sin i / \sin r$ .  $n$  là hằng số có giá trị bằng tỷ số của vận tốc của ánh sáng trong môi trường đầu kém chiết quang hơn (không khí chẳng hạn) với vận tốc trong môi trường sau chiết quang hơn (nước chẳng hạn). Đây chính là định luật Snell. Như vậy chiết suất luôn luôn lớn hơn 1. Giá trị của chiết suất đối với mặt phân cách không khí-nước là 1,333.

Người Hy Lạp cũng đã biết đến hiện tượng khúc xạ. Trong cuốn *Quang học*, Ptolémée miêu tả thí nghiệm đã từng được Euclide nhắc đến (bạn có thể dễ dàng tự mình thực hiện thí nghiệm này để bước đầu tìm hiểu các hiệu ứng của khúc xạ ánh sáng): đặt một cái bát to lên bàn và thả xuống đáy bát một đồng tiền xu. Hãy ngồi ở một chỗ sao cho bạn không thể nhìn thấy đồng tiền xu nếu không hơi nhô người lên. Nghĩa là đồng xu đã nằm ngoài tầm mắt của bạn. Sau đó hãy đổ nước từ từ vào trong bát. Mức nước tăng lên và, đến một lúc nào đó, bạn sẽ nhìn thấy đồng xu mà không phải nhô người lên. Sở dĩ bạn nhìn thấy đồng xu là nhờ khúc xạ ánh sáng: không có nước, các tia sáng xuất phát từ đồng xu không đi vào mắt; có nước, tia sáng bị lệch về phía đáy và đi vào mắt nên bạn có thể nhìn thấy nó (H. 9). Một thí nghiệm khác cũng minh họa những hiệu ứng lạ của khúc xạ: đặt một cái bút chì vào trong bát nước và bạn thấy cái bút chì này dường như không còn là một vật nguyên vẹn nữa, mà trông cứ như bị cắt làm đôi; khúc xạ làm cho phần bị chìm dưới nước trông cứ như không gắn với phần nằm trên mặt nước.



Hình 9. Trong trường hợp (a), bát không có nước và đồng xu không được nhìn thấy từ nơi người ngồi quan sát; trong trường hợp (b), bát đầy nước, ánh sáng đi từ đồng xu bị khúc xạ và người quan sát vẫn ở vị trí đó có thể nhìn được nó.

Mặc dù đã nghiên cứu về khúc xạ, nhưng Ptolémée vẫn chưa biết các định luật chi phối ánh sáng khúc xạ<sup>1</sup>. Nhà bác học Arập Alhazen đã đưa ra một lý thuyết về khúc xạ ánh sáng vào năm 1000, nhưng không phải bằng ngôn ngữ toán học. Tuy nhiên, trực giác của ông đã tỏ ra đúng đắn. Ông đã cho ánh sáng một vận tốc hữu hạn và thừa nhận ra rằng vận tốc ánh sáng phụ thuộc vào môi trường mà nó đi qua<sup>2</sup>. Alhazen tách vận tốc ánh sáng làm hai thành phần: một vuông góc với mặt phân cách giữa hai môi trường trong suốt, chẳng hạn không khí và nước, và một song song với mặt phân cách ấy; ông nghĩ rằng thành phần song song của tia sáng chậm hơn thành phần nằm vuông góc khi ánh sáng đi vào một môi trường chiết quang hơn (như từ không khí vào nước), làm cho ánh sáng bị lệch về phía pháp tuyến của của mặt phân cách (H. 8).

<sup>1</sup> Một số sử gia khoa học thậm chí còn nghi ngờ sự trung thực của các thí nghiệm của Ptolémée. Họ cho rằng Ptolémée đã “giả mạo” một số kết quả thí nghiệm để “chứng minh” rằng tự nhiên tuân theo một định luật toán học. Là một người theo trường phái Platon đích thực, Ptolémée tin rằng khúc xạ phải tuân theo một định luật đơn giản nhất có thể của các con số.

<sup>2</sup> Vận tốc của ánh sáng là 300.000km mỗi giây được nêu ở trên là vận tốc của ánh sáng trong chân không.

*Ánh sáng đi chậm hơn hay nhanh hơn khi đi vào môi trường chiết quang hơn?*

Người đầu tiên thiết lập được công thức toán học về định luật khúc xạ là Kepler. Trong cuốn *Khúc xạ học*<sup>1</sup>, Kepler cho rằng tỷ số của góc tới (tức là góc lập bởi tia và pháp tuyến) và góc khúc xạ là không đổi. Nhưng định luật này chỉ đúng đối với các góc nhỏ. Phải đợi đến thế kỷ XVI, nhà khoa học người Hà Lan Willibrord Snel (1580-1626) mới phát hiện ra định luật đúng về khúc xạ: tỷ số của sin góc tới và sin góc khúc xạ là không đổi, dù góc tới có là thế nào chăng nữa<sup>2</sup>. Định luật khúc xạ được phát hiện sau khoảng một nghìn năm nghiên cứu này là một trong những định luật đầu tiên của vật lý học được phát biểu một cách định lượng.

Nhưng nếu Snel biết miêu tả hành trạng của ánh sáng khúc xạ bằng một công thức toán học, thì ông lại không thể giải thích được nó. Descartes cố gắng tìm ra nguồn gốc của định luật của Snel bằng cách mượn ý tưởng của Alhazen: chính sự thay đổi vận tốc của tia sáng khi đi từ môi trường này sang môi trường khác là nguyên nhân của hiện tượng khúc xạ. Nhưng sơ đồ của ông là ngược với sơ đồ của Alhazen: thay vì phần ánh sáng song song với mặt phân cách giữa hai môi trường chậm lại so với thành phần vận tốc thẳng đứng không thay đổi, Descartes lại cho rằng thành phần vận tốc thẳng đứng tăng lên so với thành phần song song không thay đổi. Ông cho rằng tỷ số sin của góc tới và sin của góc khúc xạ là không đổi và bằng tỷ số của vận tốc ánh sáng trong nước và vận tốc ánh sáng trong không khí. Nhưng, bởi vì góc tới lớn hơn góc khúc xạ, nên theo Descartes, ánh sáng đi trong nước nhanh hơn đi trong không khí. Vận tốc của ánh sáng tăng khi chuyển từ một môi trường kém chiết quang sang một môi trường chiết quang hơn: một kết quả chỉ ít cũng là hoàn toàn phi thực tế!

Sau này bằng cách mượn lại các quan điểm của Alhazen và Descartes, nhà bác học người Anh, Isaac Newton (1642-1727) đã dùng những suy luận theo thủy động lực học để đưa ra một sự biện minh sai lầm: các kênh hẹp hơn trong môi trường đặc hơn sẽ buộc ánh sáng phải đi nhanh hơn, giống như nước chảy nhanh hơn khi chúng ta bóp nhỏ đường kính của ống ở chỗ nước phun ra. Nhưng lương tri của chúng ta chống lại sự biện minh đó: nó mách bảo chúng

<sup>1</sup> Khúc xạ học là khoa học nghiên cứu sự truyền của ánh sáng qua mặt phân cách giữa hai môi trường.

<sup>2</sup> Đối với các góc nhỏ, sin bằng giá trị của các góc này nếu giá trị này được biểu thị bằng một đơn vị gọi là "radian", và đó cũng chính là công thức của Kepler.

ta rằng một môi trường càng đặc (tức chiết quang hơn) sẽ cản trở càng mạnh sự truyền của ánh sáng, và ánh sáng càng bị chậm hơn, chứ không phải ngược lại!

### *Fermat và nguyên lý tiết kiệm của tự nhiên*

Quan điểm nào đúng? Ánh sáng đi nhanh hơn hay chậm hơn khi đi vào môi trường đặc hơn? Người đưa ra câu trả lời cuối cùng là Pierre Fermat (1601-1665). Sinh cùng thời với Descartes, Fermat là thẩm phán tòa Toulouse và là nhà toán học nổi tiếng. Ông là tác giả của nhiều lý thuyết trong đó có lý thuyết xác suất và phép tính vi tích phân cùng với Newton và Gottfried Leibniz (1644-1716). Ông nổi tiếng với định lý cuối cùng, viết nguệch ngoạc bên lề một cuốn sách, và ba thế kỷ rưỡi sau không một nhà toán học vĩ đại nào trên toàn thế giới có thể chứng minh được<sup>1</sup>. Quan tâm đến vấn đề khúc xạ, Fermat hiểu biết khá sâu sắc và tổng hợp về hiện tượng này. Ông bác bỏ định đề của Descartes theo đó “chuyển động của ánh sáng trong các môi trường đặc hơn là dễ dàng hơn và nhanh hơn trong các môi trường loãng hơn. Định đề này có vẻ ngược với ánh sáng tự nhiên”.

Để chứng minh định lý Snel, ông sử dụng nguyên lý mục đích luận của tự nhiên, theo đó tự nhiên thực hiện mọi việc một cách tiết kiệm và dè sẻn: “Chứng minh của chúng tôi dựa trên một định đề duy nhất nói rằng tự nhiên vận hành bằng các phương tiện và con đường dễ nhất và thoải mái nhất” – ông viết. Định đề mang tính mục đích luận này đối lập với quan điểm cơ giới luận của Descartes. Đây không phải là lần đầu tiên nguyên lý tiết kiệm này xuất hiện trong lịch sử của vật lý học. Thực tế, rất nhiều nhà tư tưởng từ thời Cổ đại đã nhắc đến nguyên lý tiết kiệm. Chẳng hạn, để giải thích định luật phản xạ, Héron d’Alexandrie là người đầu tiên đã phát biểu một cách rõ ràng nguyên lý tiết kiệm vào thế kỷ thứ nhất: “Tự nhiên không làm bất cứ việc gì vô ích”. Thời Trung cổ, Robert Grosseteste (“Tự nhiên luôn hành động theo cách ngắn gọn nhất có thể”) và Dante Alighieri (“Tất cả những gì ruộm rà đều không làm Chúa và tự nhiên thích thú”) cũng đã hưởng ứng nguyên lý tiết kiệm này. Đến thời Phục hưng, Léonard de Vinci đã nhắc đến nguyên lý tiết kiệm: “Ôi,

---

<sup>1</sup> Định lý cuối cùng của Fermat được phát biểu như sau: với mọi  $n$  là số nguyên lớn hơn 2, phương trình  $x^n + y^n = z^n$  không có nghiệm nguyên. Nếu  $n = 2$ , thì một trong các nghiệm của phương trình này là  $x = 3, y = 4, z = 5$  ( $3^2 + 4^2 = 5^2$ ). Mãi đến năm 1994 nhà toán học người Anh, Andrew Wiles (sinh năm 1953) mới chứng minh được định lý cuối cùng của Fermat sau hàng trăm trang tính toán!

sự tất yếu diệu kỳ {...} mọi hành động tự nhiên đều phải tuân theo người bằng con đường ngắn nhất, với tư cách là một nguyên lý không thể tránh được". Galileo cũng đã sử dụng nguyên lý tiết kiệm trong các nghiên cứu về chuyển động: "Cuối cùng, trong nghiên cứu này về chuyển động có gia tốc, chúng tôi như bị cầm tay dắt đi, khi quan sát quy tắc mà tự nhiên thường đi theo trong tất cả các hoạt động khác của nó, ở đó tự nhiên có thói quen hành động bằng các phương tiện thông thường nhất, đơn giản nhất, dễ dàng nhất".

Fermat đã áp dụng nguyên lý tiết kiệm này cho hành trạng của ánh sáng: một tia sáng đi từ điểm này đến điểm khác trong một khoảng thời gian ngắn nhất có thể. Khi kết hợp với hai nguyên lý khác – nguyên lý vận tốc truyền ánh sáng hữu hạn trong không khí hoặc trong một môi trường trong suốt đồng tính, và nguyên lý vận tốc ánh sáng chậm lại trong một môi trường đặc hơn, – ông đã chứng minh được định luật khúc xạ ánh sáng của Snell. Chẳng hạn, khi ánh sáng đi từ môi trường chiết quang hơn sang môi trường kém chiết quang hơn, như từ không khí sang nước, chẳng hạn, thì tỷ số sin của góc tới với sin của góc khúc xạ là hằng số, lớn hơn 1 và bằng tỷ số của vận tốc ánh sáng trong không khí với vận tốc của ánh sáng trong nước. Tỷ số này ngược với tỷ số sai lầm mà Descartes thu được, làm cho ông đi đến suy nghĩ không đúng rằng vận tốc của ánh sáng trong nước lớn hơn vận tốc trong không khí.

### *Vấn đề cứu người chết đuối*

Nguyên lý tiết kiệm không chỉ áp dụng cho hành trạng của ánh sáng. Nó còn có các hệ quả khác thực tiễn hơn. Chẳng hạn, vấn đề mà Fermat giải quyết cho đường đi của ánh sáng cũng là bài toán mà một nhân viên cứu hộ phải giải để cứu một người bơi bất cẩn đang bị chìm. Người cứu hộ phải làm thế nào để đến chỗ người chết đuối nhanh nhất có thể. Anh ta có thể lựa chọn đường đi. Có thể chạy thẳng xuống nước theo hướng vuông góc với bờ biển và sau đó bơi đến chỗ người bị nạn. Nhưng bơi sẽ mất nhiều thời gian hơn chạy trên bờ biển, và anh ta có nguy cơ đến muộn. Cũng có thể chạy một khoảng cách dài nhất có thể trên bờ biển nơi anh ta thấy gần người bị nạn nhất rồi sau đó bơi thẳng (vuông góc) từ bờ biển đến chỗ người bị nạn. Hoặc cũng có thể đi theo một con đường nào đó là trung gian giữa hai con đường vừa nêu ở trên. Nguyên lý tiết kiệm nói với chúng ta rằng đường đi nhanh nhất đối với người cứu hộ là sẽ là một trong số những con đường trung gian đó.

Ngay lập tức nghiên cứu của Fermat đã bị các học trò của Descartes tấn công, đặc biệt là Claude Clerselier. Clerselier phê bình Fermat đã sử dụng một

nguyên lý mục đích luận (“Không phải nguyên tắc đạo đức, mà lại là các mục đích buộc tự nhiên hành động”) và một nguyên tắc khác buộc tự nhiên phải do dự (tự nhiên có thể rút ngắn nhất thời gian hoặc khoảng cách cần phải vượt qua; vậy tại sao tự nhiên cứ phải chọn thời gian?). Mặt khác, chứng minh của Fermat đã giả định rằng ánh sáng ngay lúc xuất phát đã “biết” trước nơi mà nó phải đến để cực tiểu hóa thời gian đi. Đó là siêu hình chứ đâu phải là vật lý nữa!

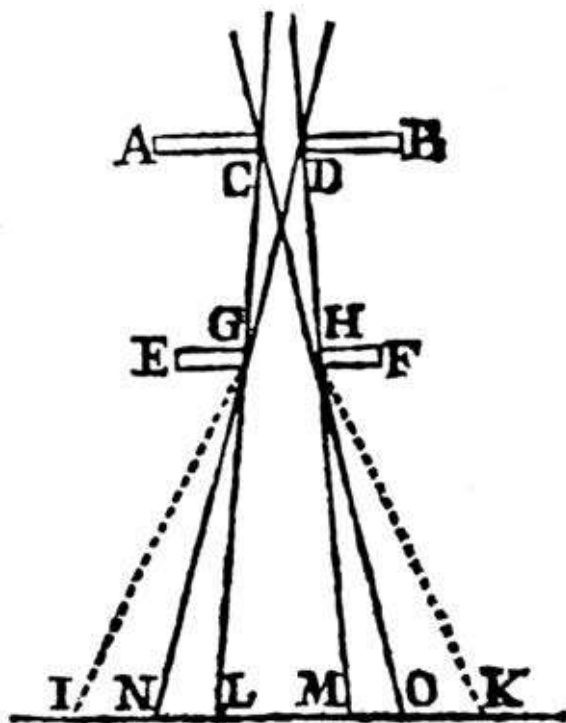
Tuy nhiên, các tiến bộ sau này của vật lý đã chứng tỏ rằng Fermat đã đúng và các phê phán đó là sai lầm. Fermat đã nhận ra một đặc tính chung của tự nhiên bao trùm một loạt các tình huống và có thể được phát biểu đơn giản và ngắn gọn thế này: *tự nhiên hành động tiết kiệm nhất có thể*. Những người sáng tạo ra khoa học về cơ học và chuyển động sẽ thường gặp trên con đường của mình nguyên lý tiết kiệm này, nguyên lý mà họ đặt tên là “nguyên lý tác dụng tối thiểu”<sup>1</sup>.

### *Grimaldi và nhiễu xạ hay phương thức lan truyền mới của ánh sáng*

Như vậy ánh sáng có thể lan truyền theo ba cách khả dĩ: theo đường thẳng, bằng phản xạ trên một mặt phẳng như gương chẳng hạn, và bằng khúc xạ khi thay đổi môi trường. Nhưng liệu ánh sáng có chỉ giới hạn trong ba hành trạng này không? Câu trả lời là không, vì năm 1665, năm Fermat qua đời, là năm công bố di cảo một chuyên luận dài mang nhan đề *Một luận đề siêu hình học và toán học về ánh sáng, màu sắc và cầu vồng*, của một tu sĩ dòng Tên, giáo viên dạy toán ở Bologne (Italia) tên là Francesco Maria Grimaldi (1618-1663). Trong chuyên luận này, Grimaldi đã thông báo một phát hiện quan trọng đạt được trong các nghiên cứu tỉ mỉ về bóng của các vật được chiếu bởi ánh sáng lọc qua các lỗ rất nhỏ. Trên thực tế ông thấy ánh sáng có thể lan truyền theo một cách khác nữa: “Tôi sẽ chứng tỏ với các bạn một phương thức lan truyền thứ tư mà tôi gọi là nhiễu xạ, bởi vì ánh sáng bị phân tán, ngay cả trong một môi trường đồng nhất, ở lân cận một vật cản, thành các nhóm tia khác nhau lan truyền theo các hướng khác nhau”.

Trong quá trình tiến hành thí nghiệm, Grimaldi nhận thấy bóng của các vật được chiếu sáng được mở rộng hơn kích thước được dự liệu bởi các tính toán thuần túy hình học dựa trên các mặt nón tia sáng lan truyền theo đường thẳng (H. 10). Grimaldi từ đó đã suy ra rất chính xác rằng tia sáng không thể chỉ đi

<sup>1</sup> Trong nguyên lý tác dụng, không phải thời gian được cực tiểu hóa, mà là tác dụng được xác định bằng tích của vận tốc và khoảng cách.



Hình 10. Hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng đã được một tu sĩ dòng Tên người Italia tên là Francesco Grimaldi (1618-1663) phát hiện ra. Nếu ánh sáng thực sự chỉ truyền theo đường thẳng thì ánh sáng đi qua hai lỗ CD và GH sẽ chỉ chiếu sáng màn trong vùng ở giữa N và O. Ánh sáng trong vùng I-N và O-K có được là do nhiễu xạ.

theo đường thẳng, rằng một số tia chắc chắn đã bị vật cản làm cho lệch hướng. Một sự kiện khác còn khó hiểu hơn: trong bóng xuất hiện xen kẽ và cách đều nhau các dải màu đỏ và xanh. Tuy nhiên, hiện tượng nhiễu xạ không đến mức quá lạ lùng như thoạt đầu chúng xuất hiện. Thỉnh thoảng trong cuộc sống hằng ngày chúng ta vẫn thấy xuất hiện nhiễu xạ khi ánh sáng đi qua mép của một vật không trong suốt. Chẳng hạn, trong một đêm trời mưa, nếu nhìn ánh đèn đường qua ô che mưa, bạn sẽ thấy rất nhiều hình ảnh màu của ánh sáng này. Tương tự, nếu bạn cầm một vật nhỏ cỡ một centimet giữa ngón cái và ngón trỏ cùng hướng với nguồn sáng, bạn sẽ thấy hiện lên một motif các đường viền và hình dạng tối. Nói cách hình ảnh, thì chính sự đấu tranh của ánh sáng với bóng tối đã cho ra đời các hình dạng và màu sắc này.

Grimaldi nhận ra rằng không một hiện tượng nào trong số các hiện tượng nhiễu xạ, trong đó ánh sáng xâm lấn bóng tối, có thể được giải thích bằng quan niệm về ánh sáng đang thẳng thế ở thời kỳ đó, cụ thể là ánh sáng bao gồm các hạt lan truyền chỉ theo đường thẳng và nối đuôi nhau. Để giải thích các quan sát của ông, Grimaldi đã đưa ra giả thiết cho rằng ánh sáng có bản chất sóng. Xét đến cùng, nhiễu xạ xuất hiện là do ánh sáng đi qua một vật cản giống như một dòng nước uốn qua một tảng đá để tiếp tục con đường của mình. Mà các sóng nước, chuôi các đỉnh và hõm này, rõ ràng là có bản chất sóng. Tại sao lại không phải như vậy với ánh sáng?

Nhưng Grimaldi đã không đi xa hơn.

### *Huygens và bản chất sóng của ánh sáng*

Chính nhà bác học người Hà Lan, Christiaan Huygens (1629-1695) (H. 11) mới là người đầu tiên xây dựng lý thuyết sóng ánh sáng. Sinh ra trong một gia đình ưu tú ở Hà Lan, ông được coi là nhà toán học và vật lý học lớn nhất của thời kỳ giữa Galileo và Newton. Với một bộ óc toàn năng, vừa là nhà thực nghiệm vừa là nhà lý thuyết, Huygens đã có những đóng góp to lớn cho nhiều lĩnh vực khoa học khác nhau. Đóng góp cho thiên văn học của ông là phát hiện ra các vành của Thổ tinh<sup>1</sup> và mặt trăng lớn Titan của hành tinh này. Nhờ phát minh ra kính mắt trong kính thiên văn của ông, cho phép thực hiện được các quan sát chính xác, mà Huygens đã đo đạc được chuyển động quay của Hỏa tinh. Trong toán học, ông là người biên soạn chuyên luận đầy đủ đầu tiên về phép tính xác suất. Trong cơ học, ông đã xây dựng lý thuyết con lắc được sử dụng để điều chỉnh đồng hồ. Trong quang học, ông giải thích các định luật phản xạ và khúc xạ bằng lý thuyết sóng ánh sáng.

Năm 1666, ông được vua Louis XIV và Colbert mời đến Paris để thành lập tại đây Viện Hàn lâm Khoa học, mà ông là Tổng thư ký đầu tiên. Vì là người theo đạo Tin Lành, nên ông đã quay trở về Hà Lan vào năm 1685 do bị cách chức theo chỉ dụ Nantes của vua Henri IV. (Bản thân vua Henri IV trước khi lên ngôi cũng là một người theo đạo Tin Lành nhưng đã cải sang Công giáo để có thể lên ngôi. Việc đưa ra chỉ dụ này đã chấm dứt cuộc chiến tôn giáo tàn phá nước Pháp suốt thế kỷ XVI - ND). Chính tại đây, vào năm 1690, ông đã cho xuất bản cuốn *Luận về ánh sáng* nổi tiếng.

---

<sup>1</sup> Galilée trước đó đã thấy cái mà người ta gọi là các “tai” của sao Thổ, nhưng vì chỉ có kính thiên văn nhỏ nên ông mới chỉ phân biệt được hình dạng của chúng.



Hình 11. Chân dung Christiaan Huygens (1692-1695), do Bernard Vaillant vẽ. Huygens là người đầu tiên đưa ra lý thuyết sóng ánh sáng, đối lập với lý thuyết hạt của Newton (Bảo tàng Huygens “Hofwijck”, Voorburg, Hà Lan). © AKG-Images/Nimatallah.

Theo Huygens, ánh sáng không thể bắt nguồn từ sự dịch chuyển các hạt của vật sáng tới mắt. Ông cho rằng nếu ánh sáng là một chùm các hạt vật chất, thì một tia sáng sẽ phải va chạm với một tia sáng khác nếu hai tia gặp nhau. Nhưng thực tế điều đó đã không xảy ra. Nhà vật lý học người Hà Lan này cũng bác bỏ quan điểm của Descartes cho rằng ánh sáng như một xung động lan truyền tức thời. Theo ông, ánh sáng lan truyền trong không gian cũng giống như sóng được sinh ra khi ta ném một viên đá xuống ao, nó sẽ truyền trên khắp mặt nước. Sự truyền sóng không hề vận chuyển vật chất nào đi theo, như ta có thể nhận thấy khi thả nổi người trên mặt biển. Bạn hãy bơi ra khỏi xa: các con sóng ở đây, với các đỉnh và hõm, cũng giống như là một sóng lan truyền trên mặt biển. Biên độ của các sóng này tăng lên khi càng tiến gần vào bờ. Các sẽ nghĩ rằng với sức mạnh không gì cưỡng lại được, chúng sẽ kéo bạn vào phía bờ và bẻ gãy cơ thể khốn khổ của bạn trên cát chứ gì? Thật may là không phải như vậy. Trên thực tế, khi các con sóng đi qua, bạn không bị đẩy

về phía bờ, mà cơ thể của bạn chỉ lần lượt bị đẩy lên và kéo lên và xuống tại chỗ. Nước không di chuyển về phía bờ, nó chỉ làm mỗi việc là nâng lên và hạ xuống ở *cùng một vị trí*. Khi bạn nhìn thấy các con sóng tiến về phía bạn, thì đó không phải là khối nước tiến đến ập lên bạn, mà là sóng. Chỉ khi nào sóng bị vỡ trên cát thì bản thân nước mới tràn ra. Chuỗi các sự kiện tương tự sẽ xảy ra nếu bạn quan sát một cái chai rỗng hoặc một cái phao nổi trên mặt biển: khi một con sóng đi qua, các vật này nâng lên và hạ xuống, nhưng vẫn ở vị trí cũ. Như vậy ánh sáng không phải là một sự lan truyền của một thực thể vật chất, mà là của một hình dạng.

### *Ête, thực thể huyền bí và vô hình*

Nhưng, giống như các sóng nước lan trên mặt biển, các sóng ánh sáng cũng cần phải có một thể nền vật chất để lan truyền. Theo Huygens, chất nền này là một tinh chất, huyền bí và không sờ mó được, choán đầy trong không gian, một chất lỏng giả thuyết, không trọng lượng và đàn hồi mà người xưa gọi là “ête”. Theo Huygens, ête không có gì giống với không khí cả. Nếu bạn đặt một cái chuông trong bình rồi hút hết không khí trong bình ra, bạn sẽ không thể nghe được tiếng chuông kêu, vì âm thanh cần có không khí để lan truyền. Ngược lại, bạn vẫn sẽ nhìn thấy cái chuông, vì ánh sáng là một sóng lan truyền trong ête, ête không bị hút ra khỏi bình như không khí. Huygens nghĩ – một cách sai lầm, như chúng ta sẽ thấy – rằng ánh sáng, cũng giống như âm thanh, là một sóng nén, rằng nó lan truyền bằng cách nén các hạt ête ở trước nó.

Vậy sóng ánh sáng sinh ra như thế nào? Theo Huygens, một nguồn sáng bao gồm vô số các hạt rung động. Các hạt này truyền rung động của chúng tới các hạt ête bên cạnh dưới dạng các sóng cầu có tâm tại mỗi một hạt rung động này (H.12). Vô số các sóng cầu này được truyền đi, và bán kính tác dụng của chúng tăng dần theo thời gian. Chúng chồng chập lên nhau và biểu hiện hỗn độn của chúng ở gần nguồn sáng giảm dần khi các sóng truyền ra xa nguồn sáng. Càng xa nguồn sáng, sóng càng trở nên tròn và đều đặn hơn.

Ánh sáng còn một tính chất khác cần được giải thích: ánh sáng đi nhanh hơn rất nhiều âm thanh, như ai cũng có thể nhận thấy khi trời có giông. Chúng ta nhìn thấy chớp sớm hơn nhiều nghe thấy tiếng sấm. Vận tốc của âm thanh nghe được, có tần số từ 15 Hz (âm trầm) và 15 kHz (bổng), là khoảng 340 m/s; trong khi đó vận tốc của ánh sáng là 300 triệu m/s, lớn hơn khoảng một triệu lần. Huygens giải thích sự chênh lệch lớn về vận tốc này là do có độ chênh lệch lớn về độ cứng giữa không khí và ête.



Hình 12. Lý thuyết ánh sáng của Huygens. Vô số các hạt (chẳng hạn, A, B và C) trong một nguồn sáng chuyển rung động, chúng truyền rung động cho ête dưới dạng các sóng cầu có tâm tại mỗi một hạt này.

Thật vậy, vận tốc lan truyền của một sóng tăng theo độ cứng của môi trường trong suốt. Để nhận thấy điều đó, bạn hãy kéo căng một sợi dây giữa hai cột. Đập một cái vào một đầu dây và nhìn sóng do cú đập gây ra lan truyền sang đầu dây bên kia. Hãy tăng độ cứng của dây bằng cách kéo căng nó hơn một chút, và lặp lại thí nghiệm. Bạn sẽ thấy nhiều động sóng sẽ chuyển động nhanh hơn. Ngược lại, khi giảm độ căng, và sóng sẽ chuyển động chậm hơn<sup>1</sup>. Huygens thừa nhận rằng các hạt ête cứng và rắn đến mức chúng truyền mọi nhiễu động hầu như tức thời. Chỉ cần một sự rung nhẹ ở đầu bên này của một hạt ête là ngay lập tức nó sẽ được truyền sang đầu bên kia. Ngược lại, các hạt không khí mềm hơn và truyền các rung động chậm hơn rất nhiều.

Nhờ lý thuyết sóng của mình mà Huygens đã có được một cái nhìn tổng hợp về quang học. Ông không chỉ tìm được các định luật phản xạ và khúc xạ, mà còn giải thích được hiện tượng nhiễu xạ đã từng được Grimaldi quan sát, điều mà một lý thuyết hạt không thể làm được. Tuy nhiên, lý thuyết sóng ánh sáng của ông còn chưa chiếm được ưu thế. Một nhân vật mới đã bước lên sân khấu ánh sáng, đó là nhà bác học người Anh, Isaac Newton (1642-1727), người một lần nữa lại làm nghiêng cán cân sang phía lý thuyết hạt.

<sup>1</sup> Thực tế, người ta có thể chứng minh rằng vận tốc của sóng bằng căn bậc hai của tỷ số giữa sức căng và khối lượng của môi trường truyền.

### *Newton, thiên tài cô đơn*

Giống như một loại truyền tiếp ngọn đuốc, Newton sinh đúng vào năm Galileo (1564-1642) mất. Cuộc đời của họ đã xác định thời kỳ của cuộc đại cách mạng khoa học mà hai người đã có rất nhiều đóng góp. Khi còn là sinh viên Đại học Cambridge vào những năm 1664 và 1665, chàng trai trẻ Newton đã thuộc lòng các tác phẩm của Descartes, Galileo và Kepler. Để tránh dịch hạch đang hoành hành trong thời gian đó, năm 1665, ông về nương náu ở nhà mẹ tại Woolsthorpe, vùng nông thôn Lincolnshire. Hai năm tiếp sau đó thật kỳ diệu vì chính trong quãng thời gian này nhà vật lý trẻ đã làm thay đổi diện mạo thế giới bằng sức mạnh trí tuệ của mình. Ông đã phát minh ra phép tính vi tích phân năm hai mươi tư tuổi, có các phát hiện cơ bản về bản chất của ánh sáng, và đặc biệt là xây dựng lý thuyết vạn vật hấp dẫn. Truyền thuyết kể rằng khi nhìn thấy một quả táo trong vườn rơi xuống chân, trực giác thiên tài của ông đã lập tức mách bảo rằng nguyên nhân làm cho quả táo rơi và làm cho Mặt trăng quay quanh Trái đất chỉ là một, đó là lực hấp dẫn.

Newton được phong giáo sư ở Đại học Cambridge, một trường đại học danh tiếng, khi mới sắp bước vào tuổi 29. Nhưng, ngoài một vài đồng nghiệp biết đến các phát minh của ông, còn thì Newton là nhân chứng duy nhất về thiên tài của chính mình. Làm việc đơn độc, ông viết hàng trăm trang tính toán, rồi cuối cùng cất kỹ trong ngăn kéo bàn. Newton không cho đăng các công trình nghiên cứu của mình, có lẽ bởi vì ông cho rằng chúng vẫn còn chưa hoàn chỉnh, mà cũng có thể vì tính ông hay đa nghi và hoang tưởng. Vị giáo sư trẻ này nghĩ rằng việc công bố sẽ gây ra những công kích chống lại các quan điểm của ông, hoặc các quan điểm của ông sẽ bị các đồng nghiệp ăn cắp một cách trắng trợn.

Thiên tài của Newton không chỉ phát lộ trong các nghiên cứu toán học và lý thuyết. Ông còn chứng tỏ là một nhà thực nghiệm ngoại hạng. Với hy vọng xâm nhập sâu hơn vào các bí mật của tự nhiên và của Chúa (Newton là người cực kì sùng tín), ông cũng đã lao vào nghiên cứu giả kim thuật và thần học. Nhưng cuộc đời ông đã có một bước ngoặt quan trọng vào năm 1684, khoảng hai mươi năm sau phát hiện ra định luật vạn vật hấp dẫn, khi ông gặp nhà thiên văn học hoàng gia Edmund Halley. Qua một câu chuyện tình cờ, Halley biết gần hai thập kỷ trước Newton đã giải được bài toán về các chuyển động của hành tinh – tại sao các hành tinh lại tuân theo các định luật của Kepler? – bằng một kỹ thuật toán học do chính ông sáng tạo ra – phép tính vi tích phân! Halley liên tục thúc giục Newton công bố lý thuyết của mình. Nhượng bộ trước những khích lệ của nhà thiên văn học hoàng gia, và sau hai năm viết cật lực, năm 1689, cuối cùng Newton cũng đã xuất bản bằng tiền của Halley tuyệt

tác *Các nguyên lý toán học của triết học tự nhiên* (thường được gọi tắt bằng tên Latinh là *Principia*), trong đó ông trình bày rất tài tình lý thuyết vạn vật hấp dẫn. *Principia* ngày nay vẫn còn là một cuốn sách vật lý có ảnh hưởng nhất của mọi thời đại<sup>1</sup>.

Vài năm sau, một suy sụp tinh thần đã chấm dứt khả năng sáng tạo của Newton. Ông rời Cambridge đến London, tại đây ông được bổ nhiệm làm “Giám đốc Sở đúc tiền”. Ông đã dành nhiều năm để quan tâm đến vấn đề tiền tệ của nước Anh. Chính trong thời kỳ này ông đã viết tác phẩm quan trọng mang tên *Opticks*, xuất bản năm 1704. Trong cuốn sách này ông đã mô tả các nghiên cứu của mình về quang học thực hiện khoảng ba mươi năm trước. Các quan điểm của ông sau đó đã thống trị toàn bộ tư tưởng của thế kỷ XVIII về ánh sáng và màu sắc.

Các quan điểm của Newton lan rộng khắp lục địa và làm ông trở nên nổi tiếng. Đóng góp vào đó là những người phổ biến khoa học tài năng đưa khoa học và triết học Newton đến với giới trí thức châu Âu. Trong số họ, có lẽ xuất sắc và nổi tiếng nhất là Voltaire (1694-1778), một triết gia của kỷ nguyên Ánh Sáng và là người hâm mộ nồng nhiệt Newton, ông đã công bố cuốn *Các yếu tố của triết học Newton trong tầm tay mọi người* vào năm 1738. Trong cuốn sách dành tặng người tình của mình, nữ hầu tước Châtelet, này Voltaire đã tự trao cho mình nhiệm vụ “nhổ gai khỏi các trang sách của Newton đồng thời không tô điểm thêm cho chúng các bông hoa không thích hợp.” Sau khi cuốn sách được xuất bản, ngay cả những đối thủ (các tu sĩ dòng Tên) của Voltaire cũng đã phải thừa nhận rằng “cả Paris vang dội tên tuổi của Newton, cả Paris nghiên cứu và học Newton”. Hơn hai thế kỷ sau, Albert Einstein, một người khổng lồ khác của lâu đài vật lý, đã nói về bậc tiền bối của mình: “Newton là tổng hòa của nhà thực nghiệm, nhà lý thuyết và nhà nghệ sĩ. Ông sùng sùng trước chúng ta, mạnh mẽ, chắc chắn và cô đơn: niềm vui của ông trong sáng tạo và sự chính xác tỉ mỉ của ông hiển hiện trong mỗi con chữ và mỗi phép tính.”

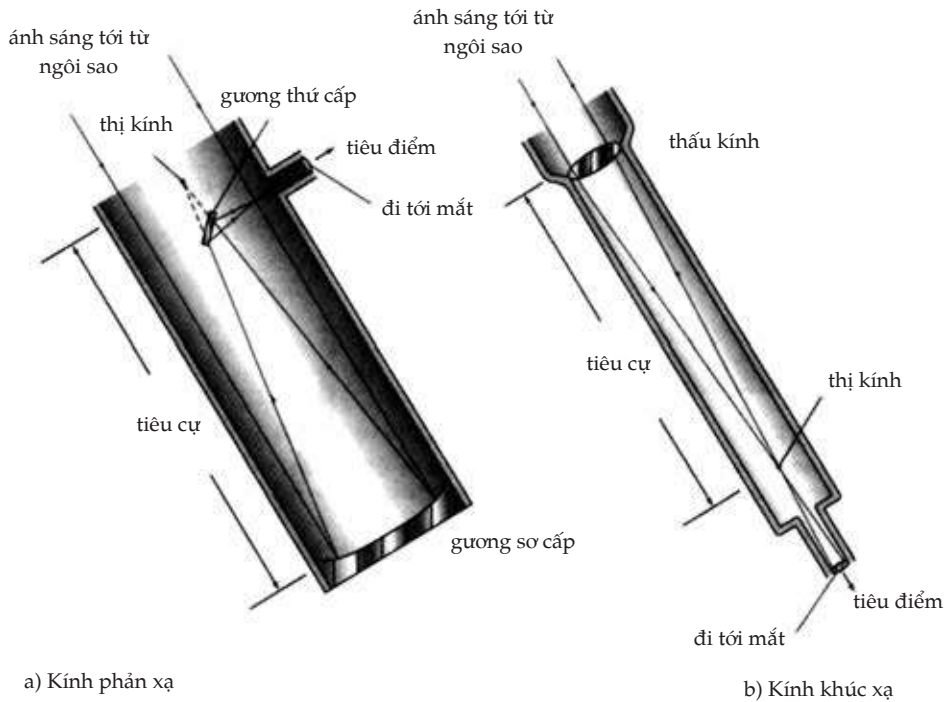
<sup>1</sup> Sử dụng lý thuyết vạn vật hấp dẫn của Newton, Halley đã tính toán được quỹ đạo của sao chổi mang tên ông. Sao chổi Halley quay trở lại thăm con người theo chu kỳ bảy mươi sáu năm.

### *Lăng kính của Newton*

Newton bắt đầu nghiên cứu quang học bằng việc chế tạo một “kính theo kiểu Galileo”. Galileo đã đi vào đầu óc mọi người với vai trò là người đầu tiên hướng kính thiên văn lên trời, vào năm 1609. Với độ phóng đại gấp ba mươi hai lần, kính này cho phép Galileo khám phá rất nhiều kỳ quan. Trong số các khám phá ngoạn mục nhất của ông phải kể đến bốn mặt trăng lớn của Mộc tinh, ngày nay gọi là các “vệ tinh Galileo”, các vết trên Mặt trời và các dãy núi trên Mặt trăng. Kính thiên văn của Galileo hoạt động dựa trên một thấu kính tụ tiêu ánh sáng tới từ một tinh tú xa xôi; khi đi qua thấu kính trong suốt, các tia bị lệch hướng theo các định luật khúc xạ (từ đó kính có tên là “kính thiên văn khúc xạ”) và hội tụ đằng sau thấu kính để tạo thành ảnh ở một vị trí gọi là “tiêu điểm” (H. 13). Nhưng Newton đã nhanh chóng nhận ra rằng các ảnh mà ông thu được bằng kính thiên văn khúc xạ của Galileo có các rìa mép không rõ nét, chúng bị bao quanh bởi một quang ngũ sắc, với các màu luôn theo một trật tự: tím, chàm, lam, lục, vàng, cam và đỏ.

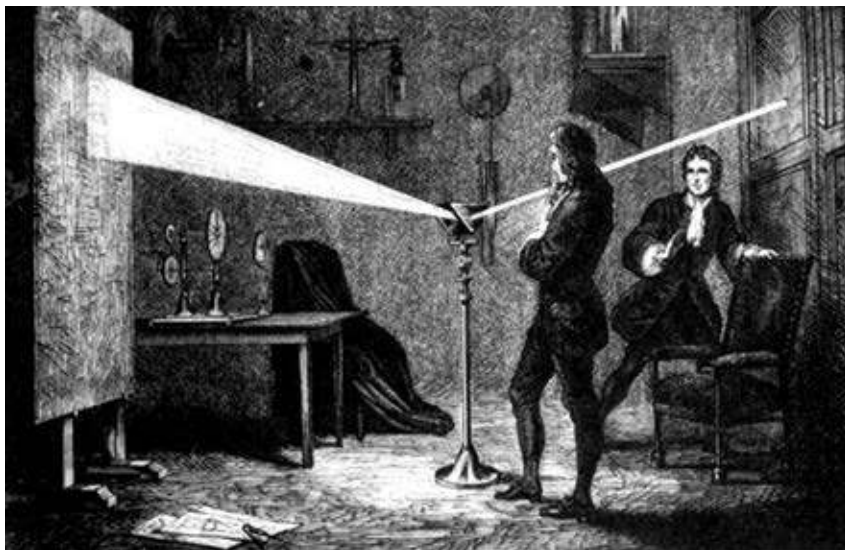
Để hiểu hiện tượng phát ngũ sắc bí ẩn này, Newton đã quyết định tiến hành các thí nghiệm về ánh sáng bằng cách cho nó đi qua các lăng kính rắn, trong suốt có dạng lăng kính với tiết diện ngang là hình tam giác, có tác dụng phân tách và làm lệch hướng ánh sáng (H. 14). Ông đã tiến hành một loạt các thí nghiệm thuộc loại cơ bản nhất và thanh nhã nhất của vật lý học, và cũng có thể là thuộc loại những thí nghiệm nổi tiếng nhất trong lịch sử về ánh sáng. Ông đã dùng lăng kính thủy tinh để phân tách ánh sáng Mặt trời (ánh sáng trắng) thành một lễ hội màu sắc mà chúng ta có thể nhìn thấy trong cầu vồng hoặc trong các giọt sương ban mai vương trên cỏ một buổi sáng nắng đẹp (H.1 trong tập hình ảnh màu). Newton nhận ra rằng dãy màu sắc này đích thị là dãy được nhìn thấy trên rìa mép ngũ sắc của ảnh các thiên thể nhìn được bằng kính thiên văn của Galileo.

Trong một bức thư viết năm 1671 gửi Royal Society, tức Viện Hàn lâm Khoa học đầy uy tín của nước Anh, Newton đã miêu tả sự thích thú của mình khi được chơi với ánh sáng như thế này: “Năm 1666, tôi mua một lăng kính tam giác bằng thủy tinh để thực hiện các thí nghiệm về các hiện tượng nổi tiếng về màu sắc. Sau khi đóng kín phòng cho tối và khoét một lỗ trên cửa sổ để một lượng ánh sáng Mặt trời thích hợp lọt vào, tôi đặt lăng kính trước cái lỗ đó để ánh sáng bị khúc xạ lên tường đối diện. Ban đầu, đó là một trò giải trí rất thú vị vì được ngắm các màu sắc sống động và mạnh được tạo ra”. Ông viết tiếp: “Nhưng, một lúc sau, khi cố gắng xem xét chúng một cách chi



Hình 13. So sánh kính thiên văn khúc xạ (b) với kính thiên văn phản xạ (a). Hai loại kính thiên văn được sử dụng để nhận và tụ tiêu ánh sáng vũ trụ. Các máy dò điện tử được đặt tại tiêu điểm để ghi ánh sáng. Trong trường hợp kính thiên văn khúc xạ, ánh sáng đi qua thấu kính và được tụ tiêu tại tiêu điểm ở sau thấu kính. Trong trường hợp kính thiên văn phản xạ, ánh sáng được một hệ các gương phản xạ và tụ tiêu. Máy dò điện tử có thể được đặt ở tiêu điểm của gương sơ cấp để ghi ánh sáng do gương sơ cấp phản xạ tới. Các gương sơ cấp lớn nhất trên thế giới có đường kính tới mười mét: đó là hai kính thiên văn Keck được đặt trên đỉnh núi lửa đã tắt Mauna Kea ở Hawaii. Nhưng tiêu điểm của các kính thiên văn phản xạ nằm rất cao, và nói chung sẽ là không thực tế nếu đặt các dụng cụ đo tại đó. Thông thường nhất, ánh sáng trên đường đi của nó từ gương sơ cấp bị chặn bởi một gương thứ cấp nhỏ hơn, có tác dụng lái ánh sáng đến một vị trí thuận lợi hơn. Trong kính thiên văn phản xạ loại Newton (gọi theo tên Newton, người phát minh ra nó), chùm sáng bị làm lệch 90 độ về phía thị kính. Loại kính thiên văn này rất được các nhà thiên văn học nghiệp dư ưa thích.

tiết hơn, tôi ngạc nhiên nhận thấy rằng ánh sáng bị tán sắc có hình bầu dục chứ không tròn, như các định luật về khúc xạ dự báo". Newton hiểu rằng sở dĩ có hình dạng bầu dục này là do ánh sáng Mặt trời bị tán sắc bởi lăng kính không trải đều theo tất cả các hướng để tạo cho hình ảnh có dạng tròn, mà chỉ theo hướng vuông góc với mặt của lăng kính, tạo cho nó có hình bầu dục.

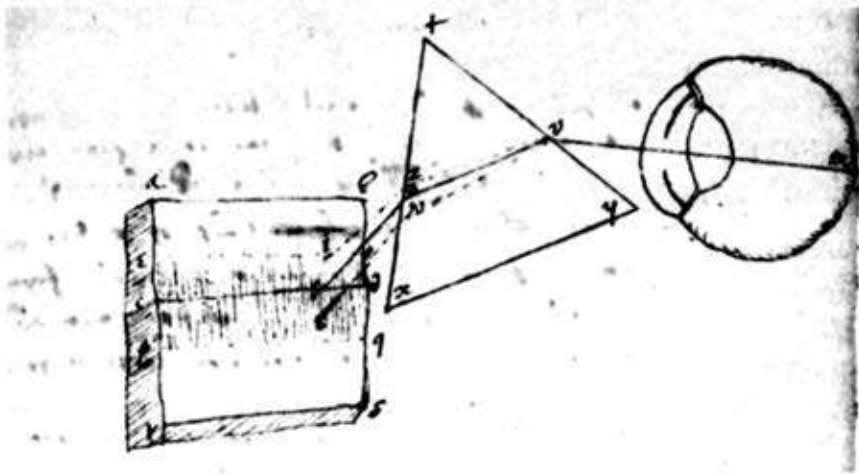


Hình 14. Nhà bác học người Anh, Isaac Newton (1642-1727) đang miệt mài với các thí nghiệm nổi tiếng dùng lăng kính để phân tách ánh sáng trắng của Mặt trời thành các màu cầu vồng. Các thí nghiệm này thuộc loại quan trọng nhất của lịch sử vật lý (Tranh khắc của Froment theo Guillon, thế kỷ XIX). © Rue des Archives/PVDE.

### *Bảy màu cơ bản*

Trong khi cố gắng hiểu dãy các màu, Newton nhớ lại một thí nghiệm khác. Buộc một sợi dây màu đỏ với một sợi dây màu lam, rồi quan sát hai sợi dây qua một lăng kính, ông thấy sợi màu đỏ bị xô xích nhẹ so với sợi màu lam. Thay vì nằm như phần kéo dài của sợi màu lam, sợi màu đỏ nhìn hơi bị dịch lên cao hơn, điều này chỉ có thể được giải thích là do ánh sáng màu lam bị lệch hướng nhiều hơn ánh sáng màu đỏ. Thí nghiệm về sự phân tách ánh sáng bằng lăng kính cũng cho các kết quả tương tự (H. 15). Nó cũng chứng tỏ rằng ánh sáng màu lam khúc xạ nhiều hơn ánh sáng màu đỏ, và lần này, nguồn sáng không còn là sợi dây màu nữa, mà là đĩa trắng Mặt trời.

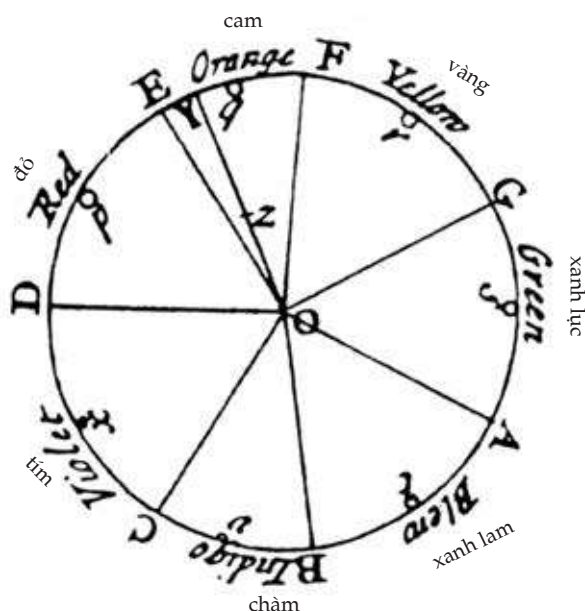
Làm thế nào ánh sáng trắng lại có thể có các màu như vậy? Hai khả năng có thể xảy ra: hoặc các màu là các tính chất do lăng kính tạo cho ánh sáng trắng khi đi qua nó; hoặc ánh sáng trắng đã chứa sẵn trong nó tất cả các màu cầu vồng, chức năng duy nhất của lăng kính là tách các màu này ra. Descartes đã lựa chọn giả thiết thứ nhất. Theo ông, ánh sáng được vận chuyển bởi các hạt, và các hạt có màu sắc bằng cách quay quanh mình theo một chuyển động quay do lăng kính truyền cho. Newton đã bác bỏ giả thuyết này. Trong thí nghiệm



Hình 15. Newton phát hiện ra rằng lăng kính làm khúc xạ ánh sáng màu lam (đường sáng bên dưới) nhiều hơn ánh sáng màu đỏ (đường sáng bên trên).

của ông về hai sợi dây màu, các màu đã tồn tại ở hai sợi dây trước khi ánh sáng đi qua lăng kính. Như vậy không phải là lăng kính tạo ra màu. Mặt khác, ông cũng đã quan sát thấy cùng một dây màu đó khi nghiên cứu sự tương tác của ánh sáng với các bong bóng xà phòng. Như vậy các màu không thể là do lăng kính tạo ra được. Nhưng, để chắc chắn rằng ánh sáng trắng đúng là kết quả của một hỗn hợp các màu, Newton đã có ý tưởng thiên tài là đưa ánh sáng bị phân tách bởi lăng kính đầu tiên thành các màu khác nhau đi qua lăng kính thứ hai giống hệt với lăng kính thứ nhất, nhưng đặt theo chiều ngược lại. Và điều kỳ diệu đã xảy ra: ánh sáng đi ra từ lăng kính thứ hai lại trở về màu trắng! Như vậy ánh sáng trắng chắc chắn là tổng hợp của bảy màu gọi là màu cơ bản.

Theo Newton, việc có bảy màu cơ bản không phải là một ngẫu nhiên. Với bản tính ưa thần bí, ông cho rằng các màu của ánh sáng cũng phải tuân theo nguyên lý hài hòa chi phối các âm trong âm nhạc. Theo ông, bảy màu cơ bản này được phân bố trên một quãng tám, tương ứng với bảy âm của thang nguyên. Newton không phải là người đầu tiên nêu ra sự tương tự giữa ánh sáng và âm nhạc. Trước ông rất lâu, Aristote cũng đã so sánh màu sắc với âm thanh. Nhưng, ngược với Aristote người cho rằng các màu được sắp xếp một cách tuyến tính, đi từ trắng đến đen, Newton là người đầu tiên nhận thấy rằng bảy màu cơ bản (không bao gồm màu trắng và màu đen) không nối tiếp nhau



Hình 16. Bánh xe màu của Newton. Quang phổ của bảy màu cơ bản (đỏ, cam, vàng, lục, lam, chàm và tím) được sắp xếp theo vòng tròn sao cho màu tím và màu đỏ nằm cạnh nhau. Màu trắng nằm ở giữa. Như vậy Newton là người đầu tiên đưa ra một hệ các màu vừa thực tiễn vừa chính xác về mặt tâm lý; giữa đỏ và tím tồn tại một quan hệ gần gũi.

một cách tuyến tính, mà được sắp xếp theo vòng tròn, đi từ tím đến đỏ qua chàm, lam, lục, vàng và cam để rồi trở lại tím, giống như một con rắn tự cắn đuôi mình. Bảy màu nối tiếp tuần tự gối lên nhau. Màu trắng ở giữa (H. 16). Newton đã chỉ ra cách sử dụng vòng tròn màu như thế để biết kết quả pha hai hay nhiều màu với các tỉ lệ khác nhau. Như vậy có thể nói ông còn là cha đẻ của phép phối màu.

### *Kính phản xạ của Newton*

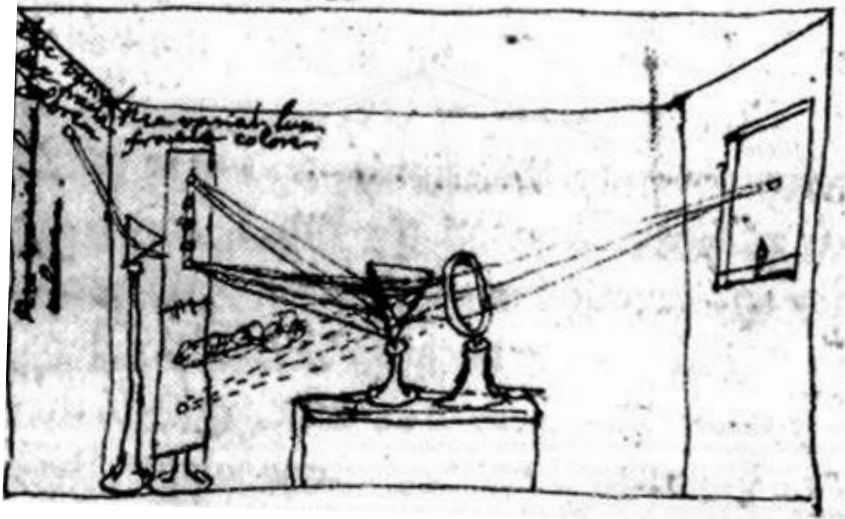
Nhưng Newton không dừng lại ở đó. Ông muốn có thêm luận chứng để tổng khur dứt khoát vào quên lãng cái quan điểm cho rằng lăng kính tạo ra các màu cho ánh sáng. Trong khoa học, nhiều khi chính sự đối chiếu các kết quả thí nghiệm độc lập sẽ tạo niềm tin đối với tính đúng đắn của một lý thuyết.

Nhờ các tấm chắn, Newton đã phân chia các tia màu đi ra từ lăng kính đầu tiên thành nhiều chùm, mỗi chùm chỉ chứa một màu (được gọi là chùm đơn sắc). Sau đó ông cho mỗi chùm sáng đơn sắc này đi qua lăng kính thứ hai, lần

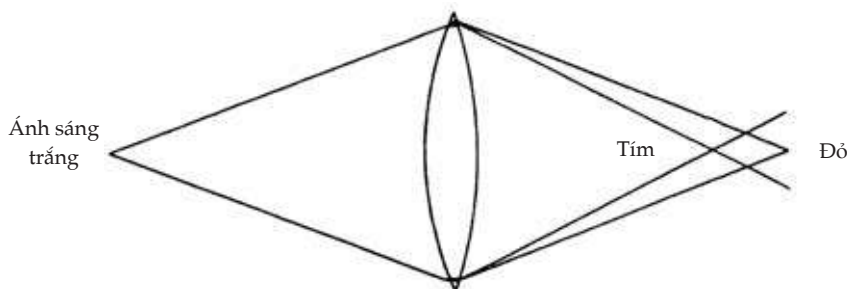
này được đặt cùng chiều với lăng kính thứ nhất. Câu hỏi đặt ra là: các chùm đơn sắc này liệu có bị phân tách thành các thành phần còn cơ bản hơn nữa không? Câu trả lời là không. Một tia là đỏ hoặc lục đi vào lăng kính thứ hai khi đi ra vẫn chính xác là màu đỏ hoặc màu lục ấy (H. 17). Từ đó Newton rút ra kết luận rằng bảy màu do lăng kính thứ nhất tách ra đúng là các màu cơ bản, không thể phân chia được nữa, của ánh sáng trắng.

Một kết quả khác cũng khẳng định kết luận này. Ánh sáng đi từ lăng kính thứ hai có dạng tròn chứ không phải dạng bầu dục, như đi ra từ lăng kính thứ nhất. Điều này có nghĩa là lăng kính thứ hai thực tế không hề làm thay đổi bản chất của ánh sáng tới, ngoại trừ hướng của nó, sự đổi hướng này phụ thuộc vào màu của chùm tới.

Từ các thí nghiệm này Newton kết luận rằng mép thấu kính trong kính thiên văn Galileo có tác dụng như một lăng kính, nó phân tách ánh sáng tới từ một tinh tú xa xôi thành nhiều thành phần màu khác nhau, và làm lệch hướng của chúng một cách khác nhau tùy theo màu sắc. Như vậy, mỗi một chùm sáng đơn



Hình 17. *Experimentum Crucis*. Một thí nghiệm cơ bản cũng của Newton chứng tỏ rằng một chùm sáng đơn sắc không thể bị phân tách bởi lăng kính. Hình này cho thấy một chùm các tia sáng Mặt trời đi vào qua cửa sổ và đi qua lăng kính đầu tiên phân tách nó thành bảy chùm đơn sắc. Một trong các chùm đơn sắc này sau đó được phóng qua một lăng kính thứ hai. Lần này, chùm sáng không bị phân tách thành nhiều chùm khác nhau nữa: ánh sáng trắng là một hỗn hợp, không phải là một màu cơ bản.

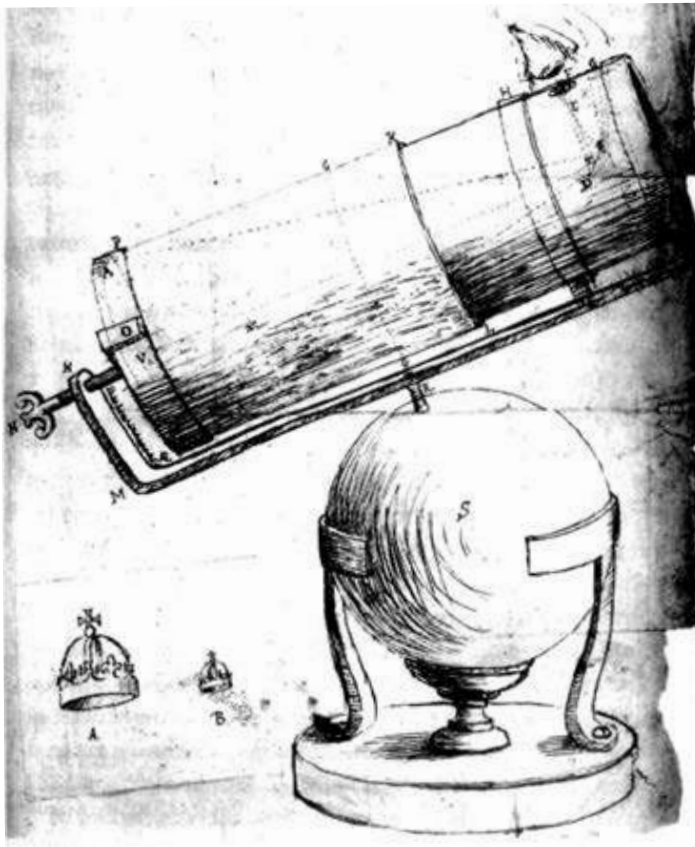


Hình 18. *Sắc sai*. Các mép của một thấu kính trong kính thiên văn khúc xạ xử sự như một lăng kính và làm lệch các thành phần màu theo các góc khác nhau. Chẳng hạn, thành phần tím bị lệch nhiều hơn và tụ tiêu tại một điểm gần thấu kính hơn thành phần đỏ. Điều này có nghĩa là tất cả hình ảnh thu được về các thiên thể đều có một quang màu, dù vị trí của máy dò được đặt ở đâu giữa các tiêu điểm các ánh sáng tím và đỏ.

sắc sẽ có một tiêu điểm riêng. Chẳng hạn, ánh sáng lam bị lệch hướng nhiều hơn, nên tiêu điểm của nó ở gần thấu kính hơn một chút so với ánh sáng đỏ. Chính sự có nhiều các tiêu điểm là nguyên nhân tạo ra quang ngũ sắc. Các nhà thiên văn học gọi hiện tượng này là “sắc sai” (H. 18).

Bởi vì chính thấu kính là nguyên nhân làm cho các ảnh bị mờ nhoè ở viền mép, nên cần phải loại bỏ nó để thu được ảnh rõ nét! Newton vì thế đã phát minh ra một kính thiên văn trong đó ông thay thấu kính bằng gương. Chính gương này thu nhận, phản xạ và tụ tiêu ánh sáng. Kính thiên văn như vậy được gọi là kính phản xạ (H. 13). Ngoài việc loại bỏ được các quang ngũ sắc, kính thiên văn phản xạ còn có có nhiều ưu điểm khác so với kính thiên văn khúc xạ. Trước hết, ánh sáng quý báu đi đến từ vũ trụ không bị hấp thụ cũng không bị tiêu tán, bởi vì nó không phải đi qua thủy tinh của thấu kính. Hiệu ứng hấp thụ này không lớn đối với ánh sáng nhìn thấy được, nhưng lại là lớn đối với các ánh sáng cực tím hoặc hồng ngoại. Thứ hai, thấu kính lớn bằng thủy tinh rất nặng và, vì nó chỉ có thể được đỡ ở hai đầu mút để không chặn các tia sáng tới, nó dễ bị biến dạng dưới tác động của trọng lượng của chính nó, điều này ảnh hưởng đến chất lượng của hình ảnh. Trong khi đó, một gương có hình dạng paraboloid (để tụ tiêu các tia vào một điểm) có thể được đỡ trên toàn bộ mặt phía sau của nó. Cuối cùng, thấu kính có hai mặt (một mặt lồi và một mặt lõm) phải được mài cực kỳ một cách chính xác – một nhiệm vụ cực kỳ khó khăn – để thu được các ảnh rõ nét, trong khi gương chỉ có một mặt, điều này giúp tiết kiệm được rất nhiều công sức mài nhẵn.

Chính vì tất cả những lý do này mà các kính thiên văn lớn hiện đại đều là các kính thiên văn phản xạ và đều sử dụng gương để thu nhận ánh sáng của vũ trụ. Kính thiên văn khúc xạ lớn nhất thế giới, có một thấu kính đường kính khoảng một mét, được chế tạo cách đây đã hơn một thế kỷ, năm 1897, tại đài thiên văn Yerkes, Wisconsin. Kể từ đó, các kính thiên văn phản xạ đã thế chỗ của kính thiên văn khúc xạ. Các kính thiên văn lớn nhất hiện nay có đường kính khoảng 10 mét (đó là các kính Keck, ở đài thiên văn Mauna Kea, trên đảo Hawaii), nhưng các kính thiên văn khổng lồ đường kính 30 mét đã lấp ló ở chân trời. Năm 1672 Newton đã giới thiệu kính thiên văn phản xạ của ông với Royal Society tại London (H. 19). Có khả năng phóng đại các hình ảnh gấp khoảng ba mươi tám lần, sáng chế này đã làm cho danh tiếng của ông vượt ra ngoài cộng đồng giáo sư hạn hẹp ở Cambridge.



Hình 19. Kính thiên văn phản xạ do Newton sáng chế (xem thêm chú thích H. 13).

### *Các hạt ánh sáng*

Newton là một người ủng hộ mạnh mẽ lý thuyết hạt ánh sáng. Theo ông, các tia sáng được cấu thành từ vô số các hạt sáng phát ra bởi các vật được chiếu sáng, lan truyền theo đường thẳng qua không gian nối tiếp nhau, như xe ô tô chạy trên đường cao tốc. Ông xem xét, và sau đó bác bỏ giả thuyết sóng ánh sáng. Lý lẽ chính của ông là người ta có thể nghe thấy rõ một tiếng động ở chỗ rẽ góc phố mà không cần nhìn thấy người hoặc vật đã gây ra tiếng động. Mà, nếu ánh sáng có bản chất sóng, như âm thanh, thì trong những điều kiện như nhau, chúng ta sẽ phải nhìn thấy ánh sáng giống như nghe thấy âm thanh.

Còn về sự tri giác các màu của chúng ta, thì nguyên nhân chính kích thích của các hạt. Chẳng hạn, các hạt nhỏ nhất tạo ra cảm giác tím. Các hạt lớn hơn gây ra cảm giác về màu chàm, và cứ tiếp tục như vậy. Bởi vì tồn tại bảy màu cơ bản, nên các hạt phải có bảy loại kích thích khác nhau. Như vậy sự tổng giác của chúng ta về các màu là biểu thị chủ quan của một hiện thực khách quan được quy định bởi kích thích của các hạt.

Nhờ mô hình hạt và các khái niệm được gợi ý từ lý thuyết vạn vật hấp dẫn của mình – lý thuyết chi phối sự rơi của quả táo và chuyển động của các hành tinh – Newton đã giải thích được các định luật cơ bản của quang học. Chẳng hạn, để giải thích các định luật phản xạ, khúc xạ và nhiễu xạ, Newton đã đưa vào các lực hút và đẩy giữa các hạt ánh sáng, những hạt mà nếu để tự do chúng sẽ truyền theo đường thẳng. Liên quan đến khúc xạ, ông đã đưa ra giả thuyết cho rằng trên bề mặt của một vật trong suốt (như lăng kính, chẳng hạn) tồn tại một vùng rất mỏng, ở đó có một lực tác dụng để kéo các tia sáng vào bên trong nó. Như vậy, các hạt màu tím, do chúng nhỏ hơn, sẽ bị hút bởi một môi trường đặc hơn không khí (như thủy tinh, chẳng hạn) mạnh hơn so với các hạt lớn hơn có màu đỏ, tức các hạt màu tím bị lệch khỏi đường đi ban đầu của nó nhiều hơn các hạt màu đỏ. Như vậy, Newton đã giải thích được tại sao các chùm màu khác nhau lại bị lệch hướng khác nhau bởi cùng một môi trường, và tại sao một chùm đơn sắc bị lệch hướng khác nhau trong các môi trường trong suốt khác nhau. Ông cũng đã tìm lại được định luật khúc xạ của Snel bằng cách thừa nhận – một cách sai lầm, giống như Descartes – rằng ánh sáng đi nhanh hơn trong một môi trường đặc hơn. Để giải thích các tia bị nhiễu xạ của Grimaldi, ông không viện đến một lực hút, mà một lực đẩy có tác dụng đẩy các hạt ánh sáng vào trong bóng tối hình học của một vật.

Nói cách khác, theo Newton, cơ học ánh sáng là đồng nhất với cơ học các thiên thể. Sau khi thống nhất trời và đất bằng lý thuyết vạn vật hấp dẫn,

Newton đã thống nhất thế giới vô cùng bé với thế giới vô cùng lớn bằng cơ học. Trong quan niệm tổng thể về vũ trụ này, hành trạng của vạn vật – từ các vật vô cùng bé, như các hạt ánh sáng, đến các vật vô cùng lớn, như các thiên thể xa xôi – đều bị chi phối bởi cùng các lực cơ học và tất định.

Suốt một thế kỷ sau khi cuốn *Opticks* được công bố (năm 1704), quan niệm hạt của Newton thống trị hoàn toàn các cuộc tranh luận về bản chất của ánh sáng. Các thí nghiệm của ông với các lăng kính được thực hiện chính xác và rất dễ hiểu, các giải thích của ông giàu tính thuyết phục và phần lớn các nhà vật lý đều tán thành. Mọi tiếng nói khác đều nhanh chóng bị dập tắt.

### *Các đám mây đen đã lấp ló ở chân trời*

Huygens đã ra sức bảo vệ lý thuyết sóng ánh sáng của ông. Ông đã tìm được một đồng minh là Robert Hooke (1635-1703), một nhà thực nghiệm kỳ cựu và nổi tiếng của Royal Society chuyên chuẩn bị các thí nghiệm để cung cấp cho các cuộc tranh luận của các thành viên uyên bác của Hội Hoàng gia London. Hooke trước hết nổi tiếng rộng rãi với vai trò là tác giả của cuốn *Micrographia*, tác phẩm đầu tiên miêu tả chi tiết thế giới nhìn qua kính hiển vi. Nhờ có năng khiếu bẩm sinh của một nhà quan sát và một tài năng tuyệt vời của một họa sĩ, ngoài những thứ khác, Hooke đã phát hiện ra bản chất đích thực của mống trên cánh hoa hồng, hay dáng vẻ kì lạ của một số thực vật, các con nhện và bọt chết khi chúng được phóng đại lên nhiều lần. Ông cũng miêu tả trong sách rất chi tiết các màu được tạo bởi các lớp vật chất rất mỏng, như các thành của một bong bóng xà phòng hay hai tấm thủy tinh mỏng ép sát vào nhau. Ông nhận thấy rằng bằng cách thay đổi độ dày của lớp không khí giữa hai tấm thủy tinh, các vòng màu sẽ xuất hiện theo cùng một trật tự như các màu cầu vồng. Hooke cũng phát triển trong tác phẩm của mình một lý thuyết sóng của ánh sáng có nhiều nét giống như lý thuyết của Huygens. Theo ông, ánh sáng bắt nguồn từ chuyển động của các hạt vật chất. Trong một vật sáng, các hạt rung động và sự rung động của chúng lan truyền trong môi trường xung quanh (ête) dưới dạng sóng, mà không có một sự vận chuyển vật chất nào kèm theo.

Nhưng quan niệm này về bản chất sóng của ánh sáng không kéo dài được lâu. Nó đã bị quét bỏ và nhấn chìm bởi làn sóng phản kích đón nhận các quan điểm hạt của Newton. Tuy nhiên, một lý thuyết thuần túy hạt liệu có thể thực sự giải thích được *tất cả* các tính chất của ánh sáng hay không? Một thí nghiệm đặc biệt, do chính Newton thực hiện, khiến người ta phải suy nghĩ.

Khi Newton đặt một thấu kính phẳng lồi lên trên một tấm thủy tinh (với

mặt phẳng ngửa lên trên) và chiếu sáng tất cả bằng ánh sáng đơn sắc, ông đã phát hiện ra một hiện tượng quang học mới, rất lạ. Nhiều vòng tròn đồng tâm (ngày nay được gọi là các “vân tròn Newton”) xuất hiện, đan xen giữa vân đen và vân màu. Hoàn toàn tự nhiên, Newton giải thích các vân đen là vùng ở đó ánh sáng bị thấu kính phản xạ, và các vân màu là các vùng ở đó ánh sáng được truyền qua. Nhưng làm thế quái nào có thể giải thích được một hạt ánh sáng, khi đến bề mặt của thấu kính, lúc thì bị phản xạ, lúc thì được truyền qua? Newton cho rằng, bởi vì các điều kiện của thủy tinh và của thấu kính là giống nhau và không đổi, nên chính các tính chất của các hạt ánh sáng phải biến đổi và khác nhau. Như vậy ông cho mỗi một hạt ánh sáng một tính chất được gọi là “*accès*” (đường tới). Các hạt có “*accès*” truyền qua dễ thì sẽ truyền qua, còn các hạt ánh sáng có “*accès*” phản xạ dễ thì sẽ phản xạ. Nhưng “lý thuyết” này không giải thích được điều gì: nó chỉ làm xuất hiện thêm vấn đề, vì cần phải có một lý thuyết khác để giải thích các tính chất được gọi là “*accès*”.

Bất chấp một vài đám mây đen báo hiệu sắp có giông bão, các công trình của Newton vẫn tiếp tục có ảnh hưởng và gây được tiếng vang lớn. Tiếng vang thể hiện rõ qua hai câu thơ của nhà thơ người Anh, Alexandre Pope (1688-1744) khắc trên bia ở mộ ông, năm 1727:

*Tự nhiên và các định luật của tự nhiên bị bao bọc trong bóng tối,  
Chúa nói: “Sẽ có Newton”, và tất cả bừng sáng!*



## CHƯƠNG 3

# SỰ KỲ LẠ CỦA ÁNH SÁNG: LƯỜNG TÍNH SÓNG/HẠT

### *Tán đồng hay phản đối Newton*

Sau khi cuốn *Opticks* xuất bản năm 1704 và trong suốt thế kỷ XVIII, không thể tranh luận về ánh sáng và màu sắc mà không đưa ra một lập trường đối với các quan điểm của Newton. Hai phe đã hình thành: những người theo Newton thì nhiệt tình bảo vệ các quan điểm của ông, còn những người chống Newton thì lại thấy ở đó có những điểm yếu. Những người chống Newton lập một nhóm tương đối dị đồng. Trong số họ có Huygens và Hooke, những người không hề thấy các thí nghiệm của Newton có sức thuyết phục và không chấp nhận lý thuyết hạt ánh sáng của ông. Nhưng phần lớn những người chống Newton thực chất là phản đối triết học cơ giới về thế giới của ông hơn là các quan điểm của ông về các hiện tượng quang học.

Vũ trụ của Newton là một chiếc đồng hồ trơn tru dầu mỡ nhất mực tuân theo các định luật có tính tất định và không dành một chỗ nào cho sự sáng tạo của tự nhiên. Sau khi khởi động cỗ máy vũ trụ này, Chúa rút lui ra xa và không còn can thiệp vào các công việc của trần thế nữa. Tới mức, khi nhà vật lý người Pháp, Pierre Simon de Laplace giới thiệu với Napoléon Bonaparte cuốn *Luận về cơ học thiên thể* của ông, Hoàng đế nước Pháp có hỏi tại sao không thấy ông không nhắc đến Người thợ đồng hồ vĩ đại, thì Laplace đã trả lời một cách kiêu hãnh: “Thưa bệ hạ, thần không cần tới giả thiết này!”. Newton đã trở thành biểu tượng của hệ tư tưởng thế tục mới trong đó khoa học chiếm đoạt vị trí của tôn giáo.

Cuộc tranh luận giữa những người theo Newton và những người chống Newton không tập trung nhiều vào cuốn *Principia*, một tác phẩm viết về thuyết vạn vật hấp dẫn của ông được trình bày bằng một ngôn ngữ toán học nhìn chung quá trừu tượng và quá khó đối với giới trí thức châu Âu, mà tập trung chủ yếu vào quan niệm về màu sắc được trình bày trong cuốn *Opticks* của ông. Trong suốt thế kỷ XVIII, các cuộc tranh luận tập trung nhiều vào bốn vấn đề chính liên quan đến ánh sáng và màu sắc, mà phải mãi tới thế kỷ sau mới có câu trả lời. Vấn đề thứ nhất liên quan đến mối quan hệ giữa ánh sáng và âm thanh: liệu có tồn tại một mối liên hệ chặt chẽ giữa ánh sáng và âm nhạc không? Vấn đề thứ hai liên quan đến các màu cơ bản: phải chăng chỉ có bảy màu cơ bản, như Newton tuyên bố? Vấn đề thứ ba liên quan đến sự phân biệt các màu sinh ra từ sự hòa trộn các sắc tố, mà người ta gọi là các “màu-vật chất”, và các màu sinh ra từ một hòa trộn quang học các chùm ánh sáng, mà người ta gọi là các “màu-ánh sáng”. Vấn đề thứ tư liên quan đến bản chất của ánh sáng: ánh sáng được tạo thành từ sóng hay hạt?

### *Có bao nhiêu màu cơ bản?*

Về tất cả những vấn đề này, ảnh hưởng của Newton là vô cùng lớn. Bằng chứng là đoạn dưới đây do bá tước Buffon (1707-1788), một nhà tự nhiên học nổi tiếng người Pháp, viết năm 1743. Buffon nghĩ rằng ông có thể phân biệt được hơn bảy màu: “trong phổ ánh sáng, ta thấy rất rõ bảy màu; thậm chí có thể nhìn thấy nhiều hơn bảy màu nếu có một chút nghệ thuật. Khi nhìn các phần khác nhau của phổ ánh sáng được thanh lọc này xuất hiện lần lượt trên một sợi dây màu trắng, tôi vẫn thường đếm được mười tám hoặc hai mươi màu vẫn còn khác biệt rõ rệt đối với mắt tôi. Nếu có các thiết bị tốt hơn hoặc chú ý hơn, người ta còn có thể đếm được nhiều màu hơn nữa”. Tuy nhiên Buffon cũng cho biết ông đã bị các thí nghiệm của Newton thuyết phục và tán đồng quan điểm của Newton về bảy màu cơ bản: “Điều đó không ngăn cản việc người ta phải cố định số màu là 7, không hơn không kém; sở dĩ như vậy là vì một lý do hoàn toàn có cơ sở, đó là bằng cách chia phổ ánh sáng đã được thanh lọc thành bảy khoảng, và theo tỉ lệ mà Newton đã đưa ra, mỗi một khoảng này chứa các màu dù bị gộp lại tất cả với nhau vẫn không thể phân tách được bằng lăng kính và bất kỳ nghệ thuật nào, chính vì thế chúng có tên là màu nguyên thủy (hay cơ bản). Nếu, thay vì chia phổ thành bảy, ta chỉ chia thành sáu, hoặc năm, hoặc bốn, hoặc ba khoảng, thì khi đó các màu chứa trong mỗi một khoảng này sẽ bị lăng kính phân tách, và kết quả là các màu này không phải là thuần khiết nữa,

và do đó không thể được coi là màu cơ bản". Và Buffon đã đứng lên chống lại những người gièm pha Newton, trong đó có những người thậm chí còn chưa nghiên cứu một cách thấu đáo các quan điểm của nhà bác học người Anh này: "Mặc dù trong thời gian gần đây người ta quan tâm rất nhiều đến vật lý của các màu, nhưng dường như người ta đã không đạt được tiến bộ gì lớn kể từ Newton: không phải là vì ông đã khai thác cạn kiệt lĩnh vực này, mà là bởi vì phần lớn các nhà vật lý học chỉ tìm cách tấn công hơn là lắng nghe ông, và tuy các nguyên lý của ông là rõ ràng, các thí nghiệm của ông là không thể chối cãi, nhưng vẫn có ít người chịu bỏ công xem xét một cách kỹ lưỡng các báo cáo và tập hợp các phát hiện của ông".

Nhưng cuộc tranh luận về số các màu cơ bản còn lâu mới đến hồi kết thúc. Các đề xuất được đưa ra về số lượng các màu này là từ hai đến vô hạn! Các họa sĩ, nhà điêu khắc và họa đồ cũng tham gia cuộc tranh luận. Một sự đồng thuận chung đã được thiết lập trong số những người làm việc với các "màu-vật chất" này: theo họ, chỉ tồn tại ba màu cơ bản, đó là đỏ, vàng và lam, tất cả các màu khác thu được bằng cách hòa trộn ba màu này. Quan điểm này đi ngược lại với quan điểm bảy "màu-ánh sáng" của Newton. Một số người còn đẩy lập luận đi xa hơn, gần như luẩn quẩn: tồn tại ba màu cơ bản, vì vậy phải có ba loại ánh sáng kích thích ba loại hạt trong võng mạc, gây ra sự tri giác ba màu cơ bản... Có điều lạ là, ngay cả nhà cách mạng Jean-Paul Marat (1743-1793), biên tập viên của tờ báo được những người cách mạng tư sản Pháp thế kỷ XVIII yêu thích, tờ *Người bạn của nhân dân*, cũng đã tham gia vào cuộc tranh luận này. Năm 1780, ông xuất bản tác phẩm *Những phát minh về ánh sáng*, trong đó ông tuyên bố (một cách sai lầm) rằng ánh sáng tự bản thân nó không có màu, nhưng được cấu thành từ ba loại chất lỏng tạo ra cảm giác về các màu đỏ, vàng và lam trong mắt thông qua dây thần kinh thị giác.

### *Euler, ánh sáng và âm thanh*

Trong suốt thế kỷ XVIII, chỉ một tiếng nói cất lên chống lại sự thống trị gần như tuyệt đối của lý thuyết hạt ánh sáng của Newton, đó là tiếng nói của nhà toán học người Thụy Sĩ Leonhard Euler (1707-1783). Euler sinh ở Bâle. Cha ông là một mục sư, nên ông đã được định hướng nghiên cứu thần học. Nhưng ông đã được trời phú một tài năng toán học phi thường. Ông đã thực hiện nhiều công trình nghiên cứu tại các viện hàn lâm lớn ở châu Âu dưới sự bảo trợ của các quốc vương hùng mạnh. Trong thời gian đó, khoa học và văn học được sáng tạo trong các thiết chế của triều đình thường xuất sắc và có tính

đổi mới hơn trong các trường đại học vẫn đang chìm đắm trong bảo thủ trì trệ. Năm 1728, khi mới 27 tuổi, Euler được mời đến làm việc tại Viện hàn lâm Saint-Petersbourg vừa được nữ hoàng Catherine đệ Nhất, vợ góa của Pierre Đại Đế, thành lập. Mười ba năm sau, năm 1741, đến lượt vua Phổ Frédéric Đại Đế mời ông đến Berlin. Ông ở lại đây đến năm 1766, sau đó lại quay về Saint-Petersbourg. Không một nhà toán học nào viết nhiều, về nhiều chủ đề khác nhau và với một chất lượng đồng đều cao như ông. Euler không chỉ nghiên cứu các phương trình đại số, các hàm mũ và logarit, các phương trình vi phân, phép tính vi tích phân, mà ông còn đóng góp cho nông nghiệp, cơ học, đóng tàu (đặc biệt là cột buồm) và hàng chục lĩnh vực khác. Thậm chí ông còn dành cả thời gian để viết cho công chúng. Cuốn sách *Thư gửi một công chúa Đức* của ông xuất bản năm 1746, chứa đựng các bài học vật lý dành cho mẹ của vua Phổ, vẫn là một trong những kiểu mẫu về sách phổ biến kiến thức vật lý. Bất chấp rất nhiều bất hạnh cá nhân (chỉ ba trong số mười sáu người con của ông còn sống sót và những ngày cuối đời ông bị mù), tính tới khi ông mất, các tác phẩm của ông choán đầy gần tám mươi tập.

Năm 1746, Euler xuất bản tại Berlin tác phẩm lớn về quang học, *Một lý thuyết mới về ánh sáng và màu sắc*. Ông đã phát triển quan niệm cho rằng ánh sáng là sóng bằng cách dựa vào sự tương tự giữa ánh sáng và âm thanh, đặc biệt là các phương thức lan truyền của chúng: “Có một mối quan hệ rất lớn giữa ánh sáng và âm thanh, tới mức càng nghiên cứu các tính chất của hai đối tượng này, người ta càng phát hiện ra ở chúng có nhiều điểm giống nhau. Ánh sáng và âm thanh đều đến với chúng ta theo đường thẳng nếu như không có gì ngăn cản chuyển động này, nhưng ngay cả trong trường hợp có các vật cản, thì cũng không vì thế mà chúng không giống nhau nữa. Bởi vì, như chúng ta thường thấy ánh sáng qua phản xạ hoặc khúc xạ, hai hiện tượng này cũng xảy ra trong sự tri giác âm thanh. Trong các tiếng vọng, chúng ta nghe thấy âm thanh bị dội lại tương tự như khi chúng ta nhìn ảnh trong gương. Khúc xạ ánh sáng là hiện tượng các tia sáng khi đi qua một vật trong suốt và bị vật này làm cho đổi hướng; điều tương tự cũng xảy ra trong âm thanh đi qua vách hoặc các vật khác trước khi đến tai ta: vách và các vật tương tự khác đối với âm thanh cũng giống như các vật trong suốt đối với ánh sáng {...}. Một sự tương đồng lớn đến thế khiến chúng ta phải tin rằng có một sự hài hòa tương tự giữa các nguyên nhân và các tính chất khác của âm thanh và của ánh sáng, và như vậy lý thuyết âm thanh chắc chắn sẽ làm sáng tỏ rất nhiều lý thuyết ánh sáng”.

*Màu sắc bắt nguồn từ một sự phối hợp khổng lồ của các dao động*

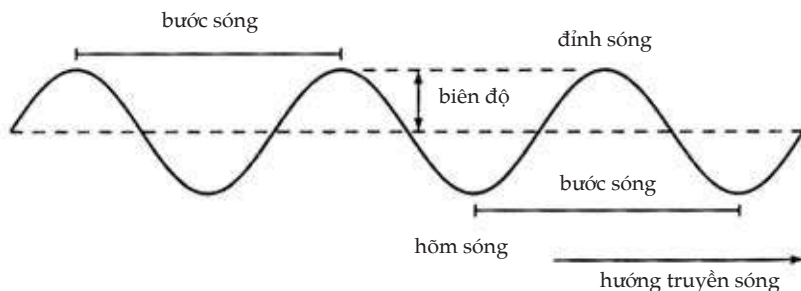
Euler nhận thấy rằng một âm thanh được sinh ra từ một dây hoặc một cột khí dao động với một tần số nhất định. Dao động này có dạng một sóng hình sin<sup>1</sup> được truyền vào không khí (hoặc một môi trường khác), môi trường này đến lượt mình sẽ truyền đến màng nhĩ và tai trong làm cho chúng ta nghe thấy âm thanh. Tương tự, Euler nghĩ rằng ánh sáng có một màu sắc nào đó là kết quả của dao động của các hạt trong vật sáng. Các dao động này tạo ra các sóng trong ête, ête truyền chúng đến mắt chúng ta nhanh hơn rất nhiều so với không khí. Mỗi một màu, cũng như âm thanh, như vậy được đặc trưng bởi một bước sóng nhất định, tức là khoảng cách giữa hai đỉnh hoặc hai hõm liên tiếp của sóng hình sin (H. 20), và bởi một tần số nhất định, tức số các đỉnh hoặc hõm xuất hiện một cách tuần hoàn tại một điểm nhất định trong không gian trong một giây<sup>2</sup>. Euler là người đầu tiên gắn kết các khái niệm bước sóng và tính tuần hoàn với màu sắc.

Chẳng hạn, Mặt trời là một tập hợp khổng lồ các hạt khác nhau, mỗi hạt dao động với một tần số nhất định, tất cả tạo ra màu trắng của Mặt trời. Thế giới đa sắc xung quanh ta là một bản giao hưởng khổng lồ của các hạt dao động. Sở dĩ một bông hoa mào gà trong cánh đồng làm vui mắt chúng ta bằng màu đỏ chói của nó, hay chúng ta thích thú ngắm nhìn bộ váy màu xanh dịu của một cô gái, thì chính là bởi vì các hạt cấu thành hoa mào gà hay váy của cô gái có một cấu trúc sao cho chúng dao động với tần số của màu đỏ hoặc màu xanh. Được phơi bày dưới ánh sáng trắng của Mặt trời, hoa mào gà và chiếc váy chỉ đáp ứng riêng với các dao động đỏ và xanh tương ứng của ánh sáng Mặt trời, và điều đó giải thích tại sao màu của ánh sáng được hoa mào gà phản chiếu lại có màu đỏ, và màu được chiếc váy phản chiếu lại có màu xanh. Như vậy ánh sáng Mặt trời được hoa mào gà và chiếc váy phản chiếu là thứ ánh sáng mới do các hạt ở bề mặt phản xạ của chúng tạo ra. Bản chất của nó là khác với bản chất của ánh sáng tới.

Quan niệm về màu sắc và ánh sáng này rất khác với quan niệm đã thống thiết trước đó, tức là quan niệm cho rằng ánh sáng phản xạ chỉ đơn thuần nảy lên từ bề mặt của một vật mà không thay đổi bất kỳ một tính chất nào của nó, như quả bóng tennis nảy trên bề mặt của sân bóng vậy. Quan điểm của Euler cũng rất khác với quan niệm của Galileo, người cho rằng ánh sáng là kết quả của các

<sup>1</sup> Một đường hình sin là đường cong phẳng biểu diễn hàm sin hoặc cosin.

<sup>2</sup> Điều này làm cho tích của tần số với bước sóng bằng vận tốc của ánh sáng.



Hình 20. Các tính chất của sóng. Sóng được đặc trưng bởi bước sóng, biên độ và hướng truyền sóng. Trong một khoảng thời gian gọi là “chu kỳ”, sóng dịch chuyển được một bước sóng sang phải.

hạt (ngày nay gọi là nguyên tử) được giải phóng khỏi bề mặt của các vật do ma sát. Còn Christiaan Huygens và Robert Hooke thì cho rằng các hạt vốn sẵn đã chuyển động phi trật tự, chúng va vào nhau và va vào cát hạt ête kề bên; mà hành trạng hoàn toàn ngẫu nhiên như vậy sẽ chỉ sinh ra các sóng không đều và không tuần hoàn, làm sao mà có được dạng hình sin.

Cả Huygens, Hooke, và cả Newton vĩ đại nữa đều không đưa ra được một cách giải thích chấp nhận được về nguồn gốc của các màu. Theo Newton, một chùm ánh sáng có một màu cụ thể nào đó chỉ là một tia sáng bị lăng kính làm cho lệch đi một góc nhất định. Euler đã đưa ra được một cách giải thích ở chỗ mà các bậc tiền bối nổi tiếng của ông đã thất bại. Trực giác xuất chúng của ông về các nguyên tử dao động và “ca hát” gần hai thế kỷ sau đã được khẳng định một cách huy hoàng với sự lên ngôi của cơ học lượng tử. Tuy nhiên, khi được công bố, lý thuyết các nguyên tử dao động của Euler hoặc là hoàn toàn không được biết đến, hoặc bị bác bỏ bất chấp ông là một nhà toán học lừng danh. Tới mức mà dịch giả bản tiếng Đức năm 1792 đã cảm thấy buộc phải đưa vào dòng ghi chú lưu ý độc giả rằng lý thuyết được trình bày trong cuốn sách không được “bất kỳ một nhân vật ưu tú nào” ủng hộ. Nó đã vượt quá xa thời đại của mình.

### *Thêm ánh sáng vào ánh sáng có thể sinh ra bóng tối*

Nhưng quan niệm ánh sáng là một sóng quả là có một cuộc sống chìm nổi. Như một con phượng hoàng tái sinh từ tro tàn của chính mình, quan niệm ánh sáng là một sóng đã trở lại. Nhân vật mới bước lên sân khấu trong câu chuyện truyền kỳ về ánh sáng là nhà vật lý học người Anh, Thomas Young (1773-1829) (H. 21), còn đẩy lý thuyết sóng ánh sáng đi xa hơn nữa. Là một thiên tài trong

rất nhiều lĩnh vực, Young có năng khiếu về tất cả: trong các môn khoa học cũng như trong văn học, trong âm nhạc cũng như trong hội họa. Phát triển rất sớm, ông biết đọc ngay từ tuổi lên hai, và năm mười bốn tuổi đã thông thạo mười ngôn ngữ trong đó có tiếng Latinh, Hy Lạp, Do Thái, Ba Tư và Arập. Ông nghiên cứu y học tại London, rồi ở Édimbourg và Gottingen. Thông thạo nhiều lĩnh vực, ông đã có những đóng góp quan trọng vào việc giải mã các dòng chữ tượng hình Ai Cập cổ khắc trên phiến đá Rosette, độc lập với nhà Ai Cập học người Pháp, Jean-Francois Champollion (1790-1832). Ông đã đăng các bài báo về rất nhiều chủ đề khác nhau: luyện kim, huyết động học, hội họa, âm nhạc, ngôn ngữ, toán học, v.v... Ông cũng quan tâm đến cơ chế thị giác và năm 1794 đã phát hiện ra rằng chính thủy tinh thể của mắt đã tạo ra độ nét của ảnh trên võng mạc của các vật ở những khoảng cách khác nhau bằng cách làm thay đổi độ cong của nó. Người ta gọi hiện tượng này là “sự điều tiết” của mắt. Nhờ có phát hiện này, ông đã được bầu là thành viên của Royal Society đầy uy tín của Anh quốc năm mới hai mốt tuổi, trong khi vẫn còn là sinh viên! Ông cũng phát hiện ra hiện tượng loạn thị, một dị thường của thị giác do sự bất cân đối về độ cong của giác mạc hoặc do các bất thường trong các môi trường trong



Hình 21. Chân dung nhà bác học người Anh, Thomas Young (1773-1829). Bằng thí nghiệm cơ bản về các vân giao thoa, qua đó ông phát hiện ra rằng thêm ánh sáng vào ánh sáng có thể sinh ra bóng tối, Young đã chứng tỏ rằng ánh sáng phải có bản chất sóng. © Rue des archives.

suốt của mắt. Các nghiên cứu này của Young về cơ chế sinh lý của mắt là quan trọng nhất kể từ thời Kepler.

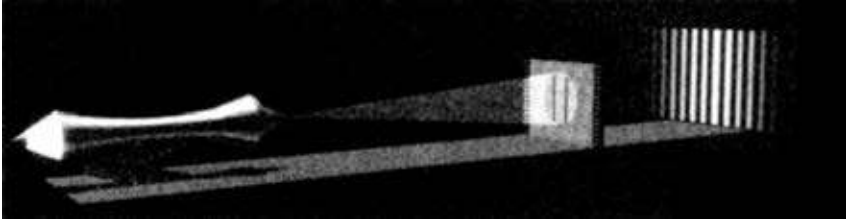
Nhưng hậu thế sẽ còn nhớ tên của Young trước hết là nhờ một thí nghiệm cơ bản về ánh sáng có tên là “các vân giao thoa” (thường còn gọi là thí nghiệm khe kép - ND) mà ông đã giới thiệu ở Royal Society năm 1801. Theo trật tự về mức độ quan trọng, trong lịch sử quang học, thì thí nghiệm này có lẽ chỉ đứng sau thí nghiệm của Newton sự phân tách ánh sáng trắng thành các thành phần khác nhau bởi lăng kính (H. 1 trong tập ảnh màu).

Young là người Anh đầu tiên dám tấn công vào công trình của Newton, và cũng là người đầu tiên cả gan thách thức uy tín vẫn còn sừng sững của Newton sau khi ông qua đời. Đặc biệt, ông nghiên cứu kỹ lưỡng cái mà ông cho là gót chân Achilles của lý thuyết hạt ánh sáng: đó là hiện tượng nhiễu xạ đã được Grimaldi phát hiện. Ông đã nhận thấy rõ rằng nếu tạo một khe nhỏ trên vách của một buồng tối, thì chùm sáng đi qua khe vào buồng, sẽ bị nhiễu xạ, nghĩa là loe rộng hơn và chiếu sáng một vùng rộng hơn với cường độ sáng yếu hơn so với trường hợp nếu giả định các hạt ánh sáng chỉ dịch chuyển theo đường thẳng. Bây giờ chúng ta sẽ tạo không phải một khe, mà hai khe rất gần nhau. Mỗi khe nằm ở gốc của một vùng ánh sáng được mở rộng. Young đặt một màn chắn ở sau hai khe để xem xét vùng, ở đó chùm sáng chồng chập lên nhau. Điều mà ông phát hiện thấy đã khiến ông hết sức sững sờ!

Người ta có thể hồn nhiên nghĩ rằng thêm ánh sáng vào ánh sáng thì vùng được chiếu sáng sẽ sáng hơn và rõ hơn. Vậy mà lại hoàn toàn không phải như thế. Young nhận thấy một hiện tượng thuộc loại bất ngờ nhất: ở vùng có hai chùm sáng chồng chập lên nhau đúng là có các dải sáng hơn, nhưng các dải này lại xen kẽ với các dải tối hoàn toàn (H. 22)! Nói cách khác, ở một số chỗ, thêm ánh sáng vào ánh sáng lại tạo ra bóng tối! Hãy hình dung bạn đi mua thêm một chiếc đèn nhằm thắp sáng hơn căn phòng của bạn và thật vô cùng thất vọng khi bật đèn lên bạn lại thấy các dải tối ở một số chỗ trên tường. Bạn có quyền nổi giận và đòi cửa hàng phải hoàn lại tiền ngay lập tức...

### *Các vân giao thoa của Thomas Young*

Giải thích thế nào hiện tượng kỳ lạ này? Young ý thức được rằng một mô tả ánh sáng thuần túy là hạt sẽ không bao giờ giải thích được. Thêm các hạt ánh sáng vào các hạt ánh sáng, về logic, chỉ có thể tạo ra một lượng lớn hơn các hạt này, và như vậy sẽ tạo ra một vùng sáng hơn. Young cũng đã biết đến lý thuyết sóng ánh sáng của Huygens, lý thuyết mà Newton đã bác bỏ sạch trơn.



Hình 22. Một phiên bản hiện đại của thí nghiệm hai khe Young. Ánh sáng của một chùm laser đi qua hai khe song song và đập lên một màn chắn nằm ở phía sau. Các vân giao thoa xuất hiện trên màn hình, chứng tỏ ánh sáng chắc chắn có bản chất sóng.

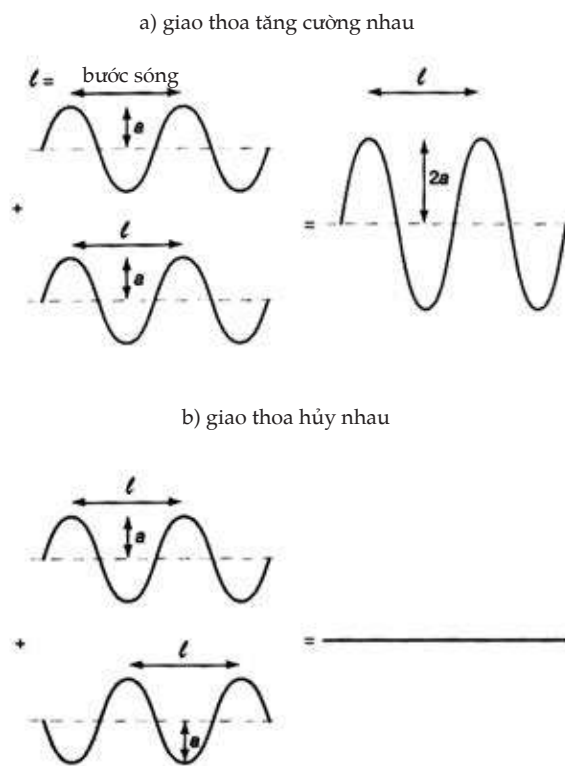
Bất chấp lòng tôn kính đối với bậc tiền bối lừng danh, ông tự hỏi phải chăng chính Newton đã sai lầm và Huygens đã có lý. Thực tế, Young đã nhận thấy rằng ông có thể giải thích được phương trình kỳ lạ “ánh sáng + ánh sáng = bóng tối”, nếu ánh sáng là một sóng với các đỉnh và hõm như một sóng nước trên mặt đại dương.

Thật vậy, chúng ta hãy xét một điểm nào đó trên màn hình nhận hai sóng ánh sáng cùng tần số, nghĩa là có cùng số các đỉnh và hõm đi qua một điểm của không gian trong một giây<sup>1</sup>. Một trong hai điều sẽ phải xảy ra: hoặc là hai sóng đến cùng pha ở một điểm nào đó (đỉnh của chúng đến đó đồng thời), biên độ của chúng cộng vào nhau và màn hình ở điểm này sáng lên gấp bốn (vì cường độ sáng tỷ lệ với bình phương biên độ - ND); hoặc là chúng bị ngược pha (các đỉnh của sóng này đến đồng thời với các hõm của sóng kia), biên độ của chúng triệt tiêu nhau và màn hình tối ở điểm đó. Sự chồng chập lên nhau của các sóng ánh sáng có các tần số bằng nhau được gọi là “giao thoa” (H. 23), và các dải sáng và tối xen kẽ nhau tạo thành từ sự giao thoa này được gọi là “các vân giao thoa”.

Tương tự, cũng với nguyên lý giao thoa của các sóng ánh sáng, Young đã giải thích được các vành sáng, tối, xen kẽ nhau, đã từng làm đau đầu Newton. Young đã mô tả nguyên lý của ông như sau: “Mỗi khi hai phần của cùng một ánh sáng đến mắt qua các hành trình khác nhau, chính xác hoặc gần chính xác theo cùng một phương, thì ánh sáng sẽ là mạnh nhất khi hiệu đường đi là bội số

<sup>1</sup> Trong quang học, chỉ sự chồng chập của hai ánh sáng có cùng tần số mới cho các kết quả thú vị. Trong thực tiễn, người ta có thể thu được hai ánh sáng này bằng cách chia ánh sáng đến từ cùng một nguồn sáng thành hai chùm sáng khác nhau. Trong ví dụ trước về hai ngọn đèn, hai chùm sáng không có cùng tần số, vì chúng không đến từ cùng một nguồn sáng. Điều đó giải thích tại sao bạn không bao giờ có nguy cơ nhìn thấy các vân tối trong phòng của bạn khi thấp cùng lúc hai bóng điện!

của một chiều dài nào đó, và yếu nhất là ở trạng thái trung gian giữa hai phần giao thoa nhau. Các ánh sáng có màu khác nhau thì chiều dài này cũng khác nhau”. Cũng giống như Euler, Young gắn kết mỗi màu với một bước sóng. Như vậy, mỗi một màu có thể được xác định bằng một đại lượng đặc trưng của dao động mang nó. Bước sóng là khoảng cách mà dao động truyền được trong chân không, từ một cực đại (một đỉnh) nó trở lại một cực đại khác sau khi đã đi qua một cực tiểu (một hõm) (H. 23). Thời gian giữa hai cực đại (hay hai cực tiểu) kế tiếp nhau xác định cái mà người ta gọi là một “chu kỳ”. Như vậy, bước sóng là khoảng cách sóng truyền được trong một chu kỳ.



Hình 23. Giao thoa cho phép hai hay nhiều sóng cộng với nhau, gọi là “giao thoa tăng cường nhau” (a) hay triệt tiêu nhau, gọi là “giao thoa hủy nhau” (b). Giao thoa tăng cường xảy ra khi hai sóng đến cùng pha ở một điểm của không gian sao cho các đỉnh (và hõm) của chúng trùng khít với nhau. Chúng kết hợp với nhau tạo ra một sóng có biên độ lớn hơn, nghĩa là một ánh sáng mạnh hơn. Ngược lại, giao thoa hủy nhau xảy ra khi hai sóng lệch pha nửa bước sóng (còn gọi là ngược pha), sao cho các đỉnh (và hõm) của một sóng trùng với các hõm (và đỉnh) của một sóng khác, dẫn đến triệt tiêu hoàn toàn ánh sáng, nghĩa là có một vân tối.

### Bước sóng của ánh sáng

Nhưng Young đã đi xa hơn Euler. Nhờ nguyên lý giao thoa, ông đã cho chúng ta biết làm thế nào để đo được bước sóng của một ánh sáng đơn sắc: chỉ cần xác định khoảng cách giữa các vân giao thoa mà hai chùm sáng của màu này tạo ra. Nếu chẳng hạn chúng ta tách ra một chùm sáng màu đỏ, và nếu chúng ta làm lại thí nghiệm hai khe, chúng ta sẽ quan sát thấy trên màn các vân đỏ và đen xen kẽ nhau. Young xác định được bước sóng của ánh sáng đỏ là 0,676 micron (một micron bằng một phần triệu mét), trong khi bước sóng của ánh sáng tím ngắn hơn, bằng 0,424 micron. Ngày nay chúng ta biết rằng ánh sáng khả kiến – tức ánh sáng mà mắt chúng ta có thể nhìn được – có bước sóng nằm trong khoảng từ 0,350 đến 0,720 micron.

Như vậy, thí nghiệm cơ bản của Young về các vân giao thoa bắt nguồn từ sự chồng chập của hai chùm ánh sáng có cùng tần số đi qua hai khe dẫn tới kết luận rằng ánh sáng là một sóng<sup>1</sup>. Tuy nhiên, đóng góp to lớn của Young cho khoa học về ánh sáng không được thừa nhận khi ông còn sống. Sự sùng kính đối với các công trình của Newton vẫn còn mạnh hơn rất nhiều sự mở cửa đón nhận các ý tưởng mới. Hơn nữa, Newton đã có lý thuyết hạt để giải thích các vành sáng, tối xen kẽ nổi tiếng của ông: đó là lý thuyết “accès”. Theo nhà vật lý lừng danh này thì mỗi một hạt ánh sáng, khi tiến lại gần mặt phân cách giữa hai môi trường trong suốt, sẽ có một “accès” thuộc ba loại: một “accès” dễ truyền qua, một “accès” dễ phản xạ và một “accès” trung gian. Newton đã giải thích được hiện tượng các vành nói trên bằng cách kết hợp ba loại “accès” này. Nhưng khi làm như vậy ông đã phải đưa thêm vào các giả thiết mới, trong đó có giả thiết về các “accès”. Phàm một lý thuyết đã phải đưa vào một giả thiết mới để giải thích mỗi một sự kiện mới là một lý thuyết không giải thích được gì cả.

Nhưng sự uy tín của Newton lớn đến mức không gì có thể khuất phục nổi. Young đã bị một số người đương thời chỉ trích mạnh mẽ. Họ nói thẳng: “Thật khó có thể coi là nghiêm túc một tác giả mà trí tuệ chỉ bận tâm đến một môi trường mà bản chất dao động của nó liên tục thay đổi<sup>2</sup>, {...} một tác giả không cho thấy bất kỳ dấu hiệu nào về sự hiểu biết, sáng suốt hay chân thật ngộ hầu

---

<sup>1</sup> Hiện tượng giao thoa không chỉ đúng cho ánh sáng. Trên thực tế nó còn được áp dụng cho mọi hiện tượng sóng. Người ta cũng quan sát được hiện tượng các sóng âm giao thoa với nhau. Hơn hai thế kỷ sau, hai nhà vật lý Mỹ là Clinton Davisson (1881-1958) và Lester Germer (1896-1971) đã tạo ra được sự giao thoa với các electron, và qua đó chứng minh được những nguyên lý cơ bản của cơ học lượng tử, nghĩa là các hạt cũng là các sóng ở thang dưới nguyên tử.

<sup>2</sup> Đó là ête nổi tiếng, môi trường này truyền các dao động.

có thể bù lại sự thiếu hụt rành rành khả năng tư duy vững chắc". Cả ở Anh lẫn ở Pháp, các quan điểm về bản chất hạt của ánh sáng đều không mấy may thay đổi sau những nghiên cứu phi thường về ánh sáng do Young tiến hành. Thậm chí không một ai chịu làm lại các thí nghiệm này.

### *Màu sắc và các cảm giác cơ bản*

Một quan niệm khác trong số các quan niệm đi trước thời đại của Young liên quan đến thị giác các màu. Mặc dù đã chuyển sang lý thuyết sóng ánh sáng bằng sự tương tự giữa ánh sáng và âm thanh, nhưng nhà vật lý học người Anh vẫn nhận thấy rằng có một sự khác nhau căn bản giữa việc nhìn thấy các màu và việc nghe thấy âm thanh. Ông đã phỏng đoán chính xác rằng nếu âm thanh có thể được tri giác nhờ bộ phận thính giác nằm trong tai, cộng hưởng với mỗi một tông của một hợp âm, thì mắt không phải là một bộ phận đủ lớn để thích nghi với một hệ như thế. Ông viết: "Gần như không thể nghĩ rằng mỗi vị trí nhạy cảm của võng mạc chứa một số vô hạn các hạt, mỗi một hạt dao động ăn nhịp một cách hoàn hảo với mỗi sóng khả dĩ. Như vậy cần phải giả định rằng con số này là hữu hạn, chẳng hạn ở ba màu chính: đỏ, vàng và lam {...}. Mỗi một dây thần kinh gồm ba phần, mỗi phần ứng với một màu chính". Như vậy, Young đã đưa ra quan điểm mới mang tính cách mạng rằng không tồn tại các màu cơ bản, như Newton bảo vệ, mà chính xác hơn là các cảm giác cơ bản. Một năm sau, ông đã thay đổi các màu cơ bản của ông thành đỏ, lục và tím. Nhưng, cũng giống các quan điểm về ánh sáng, quan điểm về màu sắc của ông cũng không được ủng hộ.

Được trời phú cho một trực giác phi thường, là thiên tài trong rất nhiều lĩnh vực, nhưng Young gặp rất nhiều khó khăn để khẳng định các quan điểm của ông, những quan điểm mà không phải lúc nào ông cũng cố gắng phát triển sâu. Công việc cuối cùng có tính quyết định mang lại sự tán đồng thì ông lại dành cho người khác. Young nghiên cứu chữ tượng hình Ai Cập cổ, nhưng Champollion mới là người giải mã phiến đá Rosette. Ông tìm ra nguyên lý giao thoa, nhưng như sau này chúng ta sẽ thấy chính Augustin Fresnel mới là người chứng minh nó bằng toán học. Nhà vật lý và sinh lý học người Đức, Hermann von Helmholtz (1821-1894) nhắc lại quan điểm của Young về ba cảm giác cơ bản về màu và viết về bậc tiền bối của mình thế này: "Ông là một trong những trí tuệ sắc sảo nhất. Nhưng ông thật không may đã đi trước quá xa thời đại mình. Những người đương thời với ông đã kính trọng ông pha lẫn ngạc nhiên, nhưng đã không thể đi theo ông trong các tư biện táo bạo. Chính

vì vậy mà các ý tưởng quan trọng nhất của ông đã bị lãng quên và bị chôn vùi trong các kỷ yếu của Royal Society cho tới khi chúng được các thế hệ sau, các thế hệ biết đánh giá sức mạnh lập luận và sự chính xác của các kết luận của ông, dần phát hiện trở lại”.

*Fresnel đưa ra cơ sở toán học cho nguyên lý giao thoa*

Mọi việc chỉ thực sự bắt đầu thay đổi khi một sinh viên trường Đại học Bách khoa Paris tên là Augustin Fresnel (1788-1827) bước lên sân khấu (H. 24). Mặc dù Fresnel hoàn toàn không biết đến các nghiên cứu của Young, nhưng ông đã tái phát hiện một cách độc lập tất cả những kết luận của nhà vật lý người Anh này. Nhưng, thay vì ngôn ngữ trực giác và vật lý của Young, Fresnel, nhờ được đào tạo nghiêm túc ở trường Bách khoa, đã mô tả lý thuyết sóng ánh sáng và nguyên lý giao thoa bằng một ngôn ngữ toán học chính xác, và như vậy đã đã làm cho nó một cơ sở vững chắc hơn. Sau khi học xong trường Bách khoa, Fresnel chuyển sang học trường kỹ sư Cầu đường (cũng là một trường lớn nổi tiếng của Pháp - ND). Nhưng ánh sáng mới là niềm đam mê thực sự của chàng trai trẻ rụt rè này, và anh đã dùng tất cả những lúc rảnh rỗi trong cuộc đời ngắn ngủi của mình (bệnh lao đã quật ngã anh ở tuổi ba mươi chín) để giải mã các bí mật của hiện tượng huyền bí này.

Hình 24. Chân dung Augustin Fresnel (1788-1827). Chàng kỹ sư Cầu đường người Pháp này đã tái phát hiện một cách độc lập các kết quả của Young về bản chất sóng của ánh sáng và các định luật giao thoa, và hơn thế nữa ông còn xây dựng cho chúng một cơ sở toán học vững chắc. © Rue des archives/ The Granger Collection NYC.



Không biết tiếng Anh, nên Fresnel không hề biết đến các nghiên cứu của Young ở bên kia eo biển Manche. Ông tự đặt cho mình nhiệm vụ phải bảo vệ hết mình lý thuyết sóng ở một trong những bài báo đầu tiên của ông về ánh sáng viết nhân một cuộc thi về hiện tượng nhiễu xạ do Viện Hàn lâm Khoa học phát động. Đa số các thành viên của Hội đồng uy nghiêm này là những người ủng hộ lý thuyết của Newton về bản chất hạt của ánh sáng. Trong số những người này có nhà toán học Siméon Poisson (1781-1840), nhà vật lý Jean-Baptiste Biot (1774-1862), nhà thiên văn học Pierre Simon de Laplace (1749-1827). Thực ra, Viện phát động cuộc thi này với hy vọng một ai đó sẽ giải thích được hiện tượng nhiễu xạ bằng bản chất hạt của ánh sáng. Thay vì, vào năm 1819, họ nhận được từ Fresnel một báo cáo dày 140 trang, trong đó đã giải thích một cách chính xác và chi tiết hiện tượng nhiễu xạ dựa trên chỉ một giả thiết rằng ánh sáng là một sóng trong ête và nó tuân theo nguyên lý giao thoa. Các viện sĩ hàn lâm tỏ ra ấn tượng với khả năng tài tình của chàng sinh viên trẻ trường Bách khoa này. Mặc dù bảo vệ lý thuyết sóng ánh sáng, nhưng chàng trai Fresnel vẫn xuất sắc giành chiến thắng trong cuộc thi.

Mở đầu báo cáo Fresnel dẫn một căn cứ triết học để lập luận phản đối cách mô tả ánh sáng là hạt. Theo Fresnel, tự nhiên hành xử theo nguyên lý tiết kiệm: tự nhiên tạo ra tối đa hiệu quả bằng tối thiểu nguyên nhân. Vậy mà những người ủng hộ lý thuyết hạt ánh sáng không tôn trọng nguyên lý này. Để giải thích một sự kiện mới, họ đưa ra thêm một giả thiết. Chẳng hạn, để giải thích hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng, Newton phải giả định một lực làm lệch các hạt ánh sáng khi đi vào một môi trường khác, đồng thời lại giả định rằng không tồn tại bất kỳ lực nào tác dụng giữa các hạt. Do có quá nhiều giả thiết nên lý thuyết hạt ánh sáng không thể là lý thuyết đúng được. Trong báo cáo của mình, Fresnel mô tả nguyên lý tiết kiệm của tự nhiên như sau: “Chắc chắn rất khó phát hiện được lý do của sự tiết kiệm tuyệt vời này [...] Nhưng, ngay cả khi nguyên lý triết học của các khoa học này không trực tiếp dẫn đến Chân lý, thì nó vẫn có thể dẫn dắt các nỗ lực của trí tuệ rời xa những sơ đồ gán kết các hiện tượng với một số quá lớn các nguyên nhân khác nhau, đồng thời hướng nó tìm đến các sơ đồ dựa trên một tối thiểu các giả thiết nhưng mang lại tối đa kết quả”<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Nguyên lý tiết kiệm của tự nhiên do Fresnel trình bày bởi gọi ta nhớ đến nguyên lý “dao cạo Occam” gọi theo tên của nhà thần học và triết học Guillaum d’Occam thế kỷ XIV. Nguyên lý d’Occam gọt bỏ một cách có hệ thống tất cả những giả thiết không cần thiết cho việc giải thích một sự kiện, và cho rằng một sự giải thích càng đơn giản thì càng có nhiều cơ hội đúng hơn là một sự giải thích phức tạp.

*Tại sao âm thanh lại vòng quanh được các góc phố còn ánh sáng thì không?*

Fresnel đã đưa ra một cách phát biểu lý thuyết hơn, đầy đủ hơn và hệ thống hơn về ánh sáng như một hiện tượng sóng. Hình thức luận toán học này đã cho phép ông không chỉ tổng quát hóa các kết quả của Young, mà còn trả lời được sự bất bẽ chủ yếu của Newton chống lại bản chất sóng của ánh sáng: tại sao người ta có thể nghe thấy tiếng một ai đó ở chỗ rẽ của một con phố mà lại không nhìn thấy anh ta? Nếu ánh sáng là một sóng, như âm thanh, thì nó cũng phải chạy vòng quanh được các góc phố giống như âm thanh, và người ta phải nhìn thấy tất cả những gì ở bên kia góc phố, giống như đã nghe thấy.

Chàng kỹ sư trẻ đã chứng tỏ được rằng ánh sáng cũng chạy vòng quanh các góc phố, nhưng vì các sóng ánh sáng đi theo con đường này giao thoa với nhau và triệt tiêu nhau gần như hoàn toàn khiến cho chúng ta không nhìn thấy gì. Chính sự triệt tiêu gần như hoàn toàn các sóng này đã giải thích được hiện tượng nhiễu xạ đã được Grimaldi phát hiện vào năm 1665, tức là hơn một thế kỷ trước. Cũng giống như sóng ánh sáng chạy vòng quanh góc phố triệt tiêu nhau gần như hoàn toàn, các sóng lan truyền trong vùng tối sau một vật cũng giao thoa với nhau và triệt tiêu nhau gần như toàn bộ, trong khi chúng tăng cường nhau trong vùng sáng. Fresnel tính toán rằng lượng ánh sáng đi vào vùng tối trên một khoảng cách nào đó phụ thuộc vào bước sóng (khoảng cách giữa hai đỉnh sóng liền kề). Bước sóng càng ngắn thì khoảng cách xâm nhập vào vùng tối càng nhỏ, và lượng ánh sáng đi vào vùng tối càng ít. Mà bước sóng ánh sáng nhỏ hơn một triệu lần bước sóng của âm thanh do miệng bạn phát ra. Các sóng ánh sáng chắc chắn cũng chạy vòng quanh góc phố, nhưng triệt tiêu nhau gần như hoàn toàn, điều này giải thích tại sao bạn có thể nghe thấy tiếng một người mà không nhìn thấy anh ta. Chính sự triệt tiêu gần như hoàn toàn này làm cho gần như toàn bộ ánh sáng mà chúng ta nhìn thấy lan truyền theo đường thẳng. Ánh sáng khúc xạ chỉ chiếm một phần rất nhỏ trong tổng lượng ánh sáng.

### *Fresnel và kính râm*

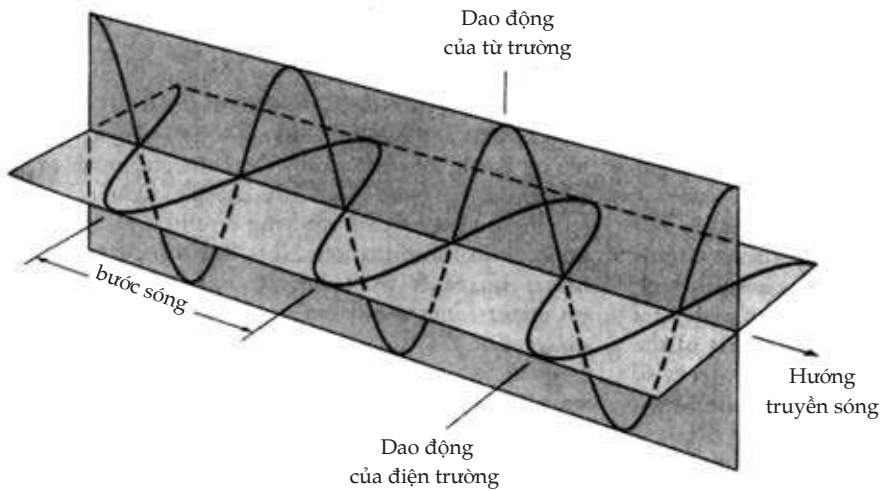
Với cách phát biểu toán học của mình, Fresnel cũng đã giải thích được hiện tượng phân cực của ánh sáng. Tất cả chúng ta đều biết hiện tượng này. Khi lái xe ô tô chúng ta đeo kính râm để giảm độ chói của ánh sáng bị nhựa đường phản xạ, ánh sáng mà chúng ta nhìn thấy bị phân cực. Để hiểu thế nào là ánh sáng phân cực, hãy làm thí nghiệm sau: chiếu sáng một tinh thể đặc biệt có tên là “đá Băng Lan”. Ánh sáng đi ra từ tinh thể đã bị “phân cực”, tức là bị “định

hướng” theo một phương đặc biệt. Các bạn có thể nhận thấy điều này bằng cách đưa ánh sáng từ tinh thể đi ra qua một tinh thể thứ hai y hệt như tinh thể thứ nhất. Đầu tiên hãy đặt chúng theo các hướng giống nhau, sau đó quay hai tinh thể này đối với nhau. Ánh sáng tiếp tục đi ra từ tinh thể thứ hai, nhưng tới một định hướng nào đó giữa hai tinh thể thì nó biến mất. Những người ủng hộ lý thuyết hạt giải thích hiện tượng kỳ lạ này bằng cách viện tới hình dạng của các hạt ánh sáng. Tinh thể đầu tiên được đặt theo sự định hướng đã cho sẽ chọn lọc và chỉ cho qua những ánh sáng có một hình dạng nào đó. Tinh thể thứ hai chỉ cho qua các hạt này nếu nó được định hướng giống như tinh thể thứ nhất. Nếu không sẽ là bóng tối.

Trước Fresnel, những người ủng hộ thuyết ánh sáng là sóng đã rất đau đầu với hiện tượng ánh sáng phân cực này, vì âm thanh không cho thấy bất kỳ hiệu ứng phân cực nào. Nhưng, nếu ánh sáng là một sóng giống như âm thanh, thì cả hai phải có cùng các hiệu ứng giống nhau. Fresnel đã đưa ra một lời giải thật tài tình: mặc dù cả âm thanh và ánh sáng đều có bản chất sóng, nhưng chúng khác nhau về mặt phẳng dao động.

Chẳng hạn, âm thanh là một sóng nén và dãn trong không khí. Hãy nói với một ai đó, khi đó li độ dao động trong không khí mà tiếng nói của bạn gây ra thay đổi theo phương lan truyền của sóng âm từ miệng của bạn đến tai của người nghe. Người ta nói rằng sóng này là “dọc”. Ngược lại, Fresnel tuyên bố, ánh sáng là một dao động của ête, và li độ của dao động này thay đổi không phải trong phương lan truyền của sóng, mà trong mặt phẳng vuông góc với phương truyền đó: đó là một sóng “ngang” (H. 25). Như vậy, sóng ánh sáng giống với các sóng nước ở đại dương hay với các dao động của một dây đàn violon hơn là giống sóng âm. Dây đàn violon có thể dao động từ thấp lên cao hoặc từ trái sang phải (hoặc ngược lại). Như vậy tồn tại hai phương ngang. Hai phương này tương ứng với hai phân cực khả dĩ của ánh sáng: một phân cực theo phương thẳng đứng, và một theo phương ngang. Ánh sáng Mặt trời phản xạ trên mặt đường bị phân cực theo phương ngang. Bằng cách loại bỏ thành phần ngang này và chỉ cho đi qua kính thành phần ngang thẳng đứng, kính râm “phân cực” sẽ loại bỏ được ánh sáng Mặt trời bị mặt đường phản chiếu làm cho ta không bị chói mắt, lái xe sẽ dễ chịu và bớt nguy hiểm hơn.

Sau báo cáo ở Viện hàn lâm khoa học, Fresnel tiếp tục phát triển và hoàn thiện các tính toán của mình. Cuối cùng, các chứng minh của ông đã có sức thuyết phục tới mức ông đã đẩy lùi được lý thuyết hạt của Newton và những người kế nghiệp Newton, và khẳng định lý thuyết sóng ánh sáng. Ngay khi biết đến các nghiên cứu của Young, Fresnel đã không ngần ngại viết thư cho



Hình 25. Quan niệm hiện đại về một sóng điện từ. Sóng này được cấu thành bởi một điện trường và một từ trường dao động vuông góc với nhau. Sóng điện từ lan truyền trong không gian với vận tốc ánh sáng theo phương vuông góc với cả điện trường và từ trường.

Young để thừa nhận những công trình của Young đã được công bố trước mình: “Tôi đã nhiều lần vui vẻ thừa nhận trước công chúng rằng tôi đã đi sau các nghiên cứu của ngài.” Còn Young cũng vui vẻ thừa nhận rằng Fresnel đã có các phát hiện độc lập và rất độc đáo: “Lần đầu tiên tôi rất vui sướng được nghe về một nghiên cứu quang học được Ngài Fresnel trình bày, người đã tái phát hiện các định luật giao thoa bằng các nỗ lực riêng của mình”. Quả là một đối xử mầu mực giữa hai nhà khoa học lớn, cả hai đều đáng được cảm phục. Cách ứng xử mầu mực này cần phải luôn được đặt lên hàng đầu trong thế giới hàn lâm, mặc dù rất tiếc không phải lúc nào người ta cũng làm như vậy!

### *Điện và từ chỉ là hai mặt của cùng một thực tại*

Phát hiện của Fresnel rằng ánh sáng là một sóng ngang – chứ không phải là dọc, như sóng âm – đặt ra vấn đề liên quan đến bản chất của ête, một chất lỏng giả thuyết được coi là tràn ngập toàn bộ vũ trụ và truyền các sóng ánh sáng. Young đã xác định đầy đủ những khó khăn về mặt khái niệm do khẳng định này gây ra khi ông viết vào năm 1823: “Giả thuyết của ngài Fresnel chí ít cũng rất tài tình và cho phép thực hiện các tính toán thỏa đáng. Nhưng nó cũng dẫn chúng ta đến một kết luận rùng rợn: ête choán toàn bộ không gian không chỉ hoàn toàn đàn hồi, mà nó cũng rất rắn!” Trên thực tế, các sóng ngang chỉ có thể

lan truyền trong chất rắn. Chúng có thể lan truyền qua một chất lỏng, nhưng chỉ trên bề mặt (như sóng trên mặt nước), chứ không phải ở bên trong chất đó. Như vậy ête phải rắn như nước đá. Nhưng, nếu quả thật là như vậy thì làm thế nào Trái đất và các hành tinh khác có thể di chuyển trong băng đá này mà không bị chậm lại? Liệu có thể ête chỉ tồn tại trong trí tưởng tượng quá phong phú của con người, cũng giống như các tinh cầu mà con người thời Trung cổ đã ương ngạnh gắn các hành tinh hay các con kỳ lân lên đó?

Bước tiến lớn trong hiểu biết về ánh sáng được thực hiện bằng một rẽ ngang sang lĩnh vực điện và từ. Tác giả chính của chương mới này là nhà vật lý người Anh, Michael Faraday (1791-1867) (H. 26), người được coi là nhà thực nghiệm lớn nhất thời đại ông. Hành trình của Faraday cho thấy khát vọng, sự kiên trì và thiên tài có thể vượt qua các rào cản xã hội kinh khủng nhất như thế nào. Xuất thân trong một gia đình nghèo khó, là con trai một người thợ rèn, Faraday không được học hết phổ thông. Năm 13 tuổi, Faraday học việc đóng sách trong một cửa hàng sách ở London, tại đây ông đã tự học bằng cách ngấu nghiến các cuốn sách của cửa hàng. Một hôm, ông tình cờ bắt gặp trong cuốn Bách khoa thư *Britannica* một bài viết liên quan đến điện. Bài viết này đã chinh phục ông. Thế là bắt đầu một niềm đam mê đối với các hiện tượng điện từ, và niềm đam mê ấy đã kéo dài suốt cả cuộc đời ông. Và chính ông đã có nhiều đóng góp để làm sáng tỏ các hiện tượng này.

Năm 21 tuổi, ông may mắn được tham dự những buổi nói chuyện cho công chúng về điện của nhà hóa học và vật lý học nổi tiếng Humphry Davy (1778-1829). Faraday đã ghi lại nội dung những buổi nói chuyện đó vào một cuốn vở và gửi cho Davy; ấn tượng với nhiệt huyết và trí tuệ của Faraday, ông đã nhận anh làm trợ tá cho mình, mở cửa đón anh vào làm việc tại phòng thí nghiệm của Royal Institution (Viện Hoàng gia) ở London.

Sau đó Faraday lao vào một loạt các thí nghiệm giúp ông trở nên nổi tiếng. Ông đặc biệt muốn tìm lời giải đáp cho câu hỏi cơ bản sau: các hiện tượng điện, từ và hấp dẫn liệu có liên hệ với nhau hay là hoàn toàn tách biệt nhau? Faraday rất gắn bó với chương trình thống nhất vật lý mà hiện nay vẫn còn đang được tiếp tục theo đuổi. Là người cực kỳ sùng đạo, ông có niềm tin mãnh liệt vào sự thống nhất của tự nhiên và xác tín rằng các hiện tượng bề ngoài tưởng như chẳng có liên hệ gì với nhau, nhưng thực tế chỉ là những biểu hiện khác nhau của một và chỉ một nguồn gốc. Faraday đã biết đến các nghiên cứu của nhà vật lý học người Đan Mạch, Christian Oersted (1777-1851). Năm 1820, Oersted đã xác lập được mối liên hệ chặt chẽ giữa các hiện tượng điện và từ khi nhận thấy một dòng điện làm lệch kim la bàn. Bởi vì la bàn chỉ nhạy với một hiện tượng

Hình 26. Chân dung Michael Faraday (1791-1867). Nhà vật lý học người Anh này đã chứng tỏ sự liên quan mật thiết giữa điện và từ, ông là tác giả của khái niệm đường sức của điện trường và từ trường. © Rue des archivess/PVDE.



từ, nên điều này có nghĩa là điện đã sinh ra từ. Faraday tự hỏi liệu điều ngược lại có đúng không. Năm 1831, ông đã chứng minh được rằng một nam châm chuyển động sinh ra một dòng điện. Một tình huống rất đối xứng: các điện tích dịch chuyển sinh ra một hiệu ứng từ, và một từ trường chuyển động sinh ra một hiệu ứng điện. Điểm quan trọng cần ghi nhớ ở đây là dòng điện hay hiệu ứng từ luôn được sinh ra nhờ chuyển động: chuyển động của nam châm hay chuyển động của các điện tích. Nếu tất cả đều đứng yên, bất động, thì sẽ chẳng có gì xảy ra. Như vậy, điện và từ chắc chắn phải là hai mặt của cùng một hiện tượng. Người ta nghĩ ra từ “điện từ” để liên kết chúng về mặt ngôn ngữ.

Một khi sự gắn bó mật thiết giữa điện và từ đã được xác lập, thì chỉ còn một bước nhỏ cần phải vượt qua để làm ra các động cơ và máy phát điện, làm thay đổi căn bản cuộc sống hàng ngày của chúng ta. Một dòng điện sinh ra một từ trường, và đến lượt mình từ trường lại làm chuyển động một tấm sắt: đó chính là nguyên lý của động cơ điện. Một dòng điện được sinh ra trong một sợi dây kim loại bởi một nam châm chuyển động, hoặc bởi một dây kim loại

dịch chuyển trong từ trường của một nam châm: đó là nguyên lý hoạt động của máy phát điện.

### *Các đường sức từ của Faraday*

Thế giới quan thắng thế vào thế kỷ XIX chắc chắn là thế giới quan duy vật: vũ trụ chứa các vật thể vật chất tẩm trong ête, bản thân ête cũng được cấu thành từ vật chất và là môi trường truyền các lực hấp dẫn, ánh sáng, điện và từ của vật này sang vật khác. Thực thể vật chất hiện diện ở khắp nơi. Tuy nhiên, việc lực điện có thể tác dụng từ xa, một dòng điện có thể làm lệch kim la bàn mà không tiếp xúc với nó, vẫn khiến người ta bối rối. Có thể là điện có một bản chất kép: nó không chỉ gồm các điện tích, mà, do khả năng hoạt động từ xa của nó, nó hẳn phải có một đặc tính phi vật chất cho phép nó xuyên qua dễ dàng kim loại và lan truyền trong không gian.

Dựa vào kết quả thí nghiệm, Faraday đã quét sạch tất cả các quan niệm này. Không được học đại học, ông không phải chịu những gánh nặng và sự kìm hãm của một hành trang các tư tưởng định sẵn, và tinh thần của ông tự do đi đến nơi mà trực giác dẫn đến. Để giải thích ảnh hưởng từ xa của các lực điện và từ, ông tưởng tượng ra các đường sức đi từ một điện tích hay một trong các cực của nam châm để lan toả trong không gian và tạo thành ở đó một “trường” điện hoặc từ rộng lớn.

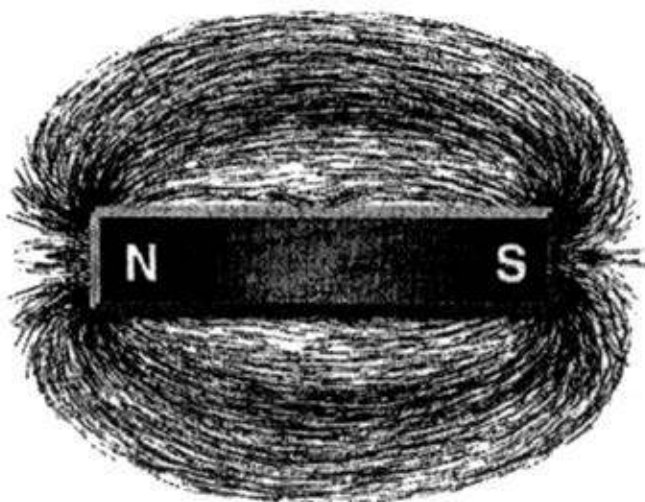
Khái niệm “trường” này mang tính cách mạng và có ảnh hưởng lớn đến sự phát triển của vật lý học trong những thế kỷ tới. Nó cho phép giải thích các hiện tượng trong cuộc sống hàng ngày. Chẳng hạn, ở sân bay, khi bạn đi qua cửa an ninh, bằng cách nào một chiếc máy không chạm vào người bạn mà lại có thể xác định được bạn có mang theo kim loại hay không? Hay bằng cách nào kim của la bàn lại luôn chỉ hướng bắc? Câu trả lời sẽ rất rõ ràng nếu bạn nghĩ đến từ trường. Trong trường hợp thứ nhất, các đường sức từ mà chiếc máy tạo ra tiếp xúc với cơ thể bạn và “định vị” vật kim loại; trong trường hợp thứ hai, chính các đường sức từ của từ trường Trái đất đã làm lệch hướng kim của la bàn.

Bạn cần phải ý thức rằng tất cả chúng ta đều tẩm trong một đại dương khổng lồ điện từ trường. Các trường điện từ này hiện diện ở mọi nơi, mọi lúc trong cuộc sống của chúng ta. Chỉ cần bạn bật tivi hoặc mở radio là các trường điện từ này tự biến thành hình ảnh hoặc âm thanh. Chính các trường điện từ này đã chuyển tải qua không gian các chương trình truyền hình hay bản nhạc yêu thích của bạn từ đài phát cho tới tivi hay radio của bạn. Cũng chính chúng cho phép bạn giao tiếp với bạn bè qua điện thoại di động hoặc kết nối máy vi

tính xách tay của bạn với mạng Internet mà không cần bất kỳ sự kết nối hữu tuyến nào.

Trên băng ghế nhà trường, tất cả chúng ta đều đã thấy thí nghiệm chứng tỏ một cách thuyết phục rằng các trường điện từ này không phải chỉ là sản phẩm của trí tưởng tượng phong phú của Faraday. Hãy đặt một nam châm lên một cái khăn trải bàn và rắc mạt sắt lên xung quanh. Lắc nhẹ chiếc khăn và bạn thấy mạt sắt tự sắp xếp lại với nhau như có phép thần theo các đường vòng cung đi từ cực bắc đến cực nam của nam châm. Các đường này là bằng chứng hữu hình chứng tỏ rằng nam châm đã tạo ra các đường sức từ vô hình choán đầy không gian và hút các mạt sắt (H. 27)

Nhưng đâu là mối liên hệ của các đường sức điện từ này với ánh sáng? Như chúng ta đã thấy, Faraday rất sùng đạo, ông tin vào sự thống nhất của tự nhiên, bởi vì tự nhiên là biểu hiện của Chúa và Chúa là Một: “Tôi từ lâu đã có quan điểm, và nó đã trở thành gần như một đức tin, rằng các dạng thể hiện khác nhau của các lực của vật chất có một nguồn gốc chung”. Ông có trực giác rằng ánh sáng là một sóng ngang chuyển động dọc theo các đường sức điện hoặc từ, như một sóng chạy dọc theo một sợi dây căng ngay khi người ta truyền một chuyển động đột ngột cho một trong hai đầu của nó. Nhưng, vì tự học,



Hình 27. Các đường sức của từ trường. Mạt sắt đã vạch nên các đường sức từ nối cực bắc (N) và cực nam (S) của nam châm.

nên ông không có hành trang cần thiết để chứng minh bằng toán học sự gắn bó mật thiết giữa điện, từ và ánh sáng. Nhiệm vụ này được trao cho nhà vật lý học vĩ đại người Scotland, James Clerk Maxwell (1831-1879) (H. 28).

*Ánh sáng sinh ra từ cuộc hôn phối giữa điện và từ*

Nguồn gốc xã hội và con đường học vấn của Maxwell hoàn toàn khác với Faraday. Sinh ở Édimbourg trong một gia đình địa chủ giàu có và trí thức, Maxwell học Đại học Édimbourg, sau đó là Cambridge và trở thành giáo sư của trường này vào năm 1870. Ông khâm phục các thí nghiệm tài tình của Faraday về điện và từ. Ông tin rằng các ý tưởng về trường của các đường sức choán đầy không gian chắc chắn là đúng: “Faraday đã thấy trong đầu ông các đường sức xuyên qua toàn bộ không gian, trong khi các nhà toán học chỉ thấy các tâm của lực hút từ xa”. Ông đã quyết định vận dụng khả năng toán học phi thường của mình để diễn đạt trực giác của Faraday bằng ngôn ngữ tự nhiên, tức là ngôn ngữ toán học. Bài báo *Một lý thuyết động lực về trường điện*



Hình 28. Chân dung James Maxwell (1831-1879). Nhà vật lý người Scotland là nhà lý thuyết về sóng điện từ. Ông ca ngợi sự hôn phối giữa điện và từ bằng bốn phương trình toán học được viết một cách cô đọng tới mức chúng có thể được ghi trọn chỉ ở mặt trước chiếc áo phông! © Rue des Archives/ The Granger Collection NYC.

từ công bố năm 1864, trong đó ông tổng hợp – dưới dạng một hệ bốn phương trình – các kiến thức tản mát ở thời ông về điện và từ, đã đánh dấu một bước quyết định trong lịch sử vật lý. Bốn phương trình này hiện được đặt tên là các phương trình Maxwell. Mỗi phương trình chỉ dài một dòng; nó được biểu diễn bằng một ngôn ngữ toán học cô đọng, nhìn chúng không khỏi không gọi nhớ tới vẻ đẹp hình thức của các chữ tượng hình cổ Ai Cập hay các biểu tượng thần bí của giả kim thuật. Các phương trình này gọn ghẽ tới mức người ta có thể viết tất cả lên mặt trước của một cái áo phông, và một số thương gia đã không bỏ lỡ cơ hội kiếm lời đó...

Phương trình thứ nhất mô tả bằng cách nào các điện tích sinh ra lực, các lực làm cho một mẫu hổ phách sau khi được chà xát có khả năng hút các mẫu giấy nhỏ.

Phương trình thứ hai mô tả các đường sức của một từ trường, như các vòng cung duyên dáng mà các hạt sắt sắp theo quanh nam châm.

Hai phương trình còn lại mô tả sự kết hợp giữa điện và từ. Một phương trình cho biết bằng cách nào các biến thiên của một từ trường sinh ra các hiệu ứng điện; còn phương trình kia cho biết các biến thiên của một điện trường sinh ra một từ trường như thế nào.

Richard Feynman (1918-1988), giải Nobel Vật lý, đã bình luận thành tựu tuyệt vời của Maxwell thế này: “Không còn nghi ngờ gì nữa, trong một vạn năm nữa, hậu thế vẫn sẽ coi phát hiện về các định luật điện động lực học của Maxwell như một sự kiện lớn nhất của thế kỷ XIX. So với nó, cuộc Chiến tranh Ly khai của Mỹ chỉ như một sự kiện tầm thường ở tỉnh lẻ”.

Nhưng mối quan hệ của các hiện tượng điện từ với ánh sáng là gì? Các phương trình Maxwell phát lộ cho tác giả của chúng một sự kiện thật bất ngờ: các sóng điện từ không gì khác cũng chính là các sóng ánh sáng! Các phương trình này đã kể lại với ông kịch bản sau: một điện trường biến thiên theo thời gian sinh ra một từ trường; do chính sự xuất hiện của mình mà từ trường biến thiên và do đó, đến lượt mình, từ trường lại sinh ra một điện trường biến thiên, điện trường này lại cho ra đời một từ trường và từ trường này đến lượt nó lại sinh ra một điện trường, và cứ như vậy tiếp diễn mãi. Cuộc hôn phối giữa điện và từ vậy là đã hoàn tất. Chúng sẽ tạo thành, từ nay và mãi mãi về sau, một cặp thống nhất không thể rời xa. Chúng là hai thành phần của một sóng điện từ lan truyền trong không gian giống như một sóng lan truyền dọc theo sợi dây đàn violon khi được kéo. Sóng này là sóng ngang, nghĩa là các đỉnh và hõm nằm trong một mặt phẳng vuông góc với phương lan truyền (H. 25).

Năm 1873, Maxwell còn tính toán được rất chính xác vận tốc lan truyền

trong không gian của sóng điện từ này. Đáp số thật là kỳ lạ: vận tốc của sóng này lại chính là vận tốc của ánh sáng<sup>1</sup>.

Như vậy, một sóng điện từ không gì khác chính là ánh sáng! Sau khi Newton đã thống nhất trời và đất, đến lượt Maxwell được coi là nhà thống nhất vĩ đại thứ hai của vật lý học. Như có phép màu, ông đã thống nhất không chỉ điện và từ, mà còn cả quang học nữa!

### *Một thế giới kết nối với nhau bằng ánh sáng*

Phát hiện của Maxwell đã tạo ra một cuộc cách mạng trong các phương thức giao tiếp của con người. Maxwell nói với chúng ta rằng, nếu tại một điểm nào đó của Trái đất, chúng ta tạo ra một tín hiệu dưới dạng một nhiễu động điện từ, chẳng hạn như làm cho một điện tích dao động, thì tín hiệu này sẽ lan truyền trong không gian với vận tốc ánh sáng và sẽ thu được ở một vị trí khác. Tuy nhiên, cần phải có thời gian để công nghệ theo kịp lý thuyết. Mãi đến năm 1887, tức là 14 năm sau công trình thống nhất vĩ đại của Maxwell, nhà vật lý người Đức, Heinrich Hertz (1857-1894) mới phát được một tín hiệu từ một máy phát đến một máy thu nằm cách xa nhau không quá một mét, từ đó mở ra con đường cho điện tín vô tuyến bằng sóng điện từ, còn được gọi là “sóng Hertz”. Hertz đã bày tỏ sự khâm phục các phương trình kỳ diệu của Maxwell như sau: “Người ta không thể nghi ngờ lý thuyết lỗi lạc này mà không có ngay cảm giác rằng các công thức toán học ở đó có một sức sống mãnh liệt và một ý nghĩa thật rõ ràng, như thể chúng trí tuệ hơn chúng ta, tinh tế hơn cả người đã phát hiện ra chúng, như thể chúng mang lại nhiều hơn điều mà người ta kỳ vọng lúc đầu”.

Kể từ đó, các công cụ và phương tiện truyền tin ngày càng tinh vi hơn đã ra đời nhằm kết nối chúng ta ngày một chặt chẽ hơn: rada, radio, truyền hình, tranzito, dàn hi-fi, điện thoại, máy trả lời tự động, laser, chip và máy tính, cáp quang, fax, mạng Internet... Chúng là một bộ phận không thể tách rời của cuộc sống hàng ngày của chúng ta đến mức chúng ta thậm chí không thể hình dung nổi thời kỳ mà chúng chưa xuất hiện. Nhờ có ánh sáng, Trái đất đã trở thành một ngôi làng toàn cầu.

Nhưng phát minh của Maxwell không chỉ kết nối con người với đồng loại. Nó còn kết nối chúng ta với toàn thể vũ trụ. Chuyển động của các electron và proton trong từ trường của một sao neutron trong mặt phẳng của Thiên hà, các

---

<sup>1</sup> Hiện nay người ta đo được vận tốc của ánh sáng trong chân không là 299.792.458km/s.

xung điện bên trong một thiên hà cách xa chúng ta hàng tỉ năm ánh sáng, đã sinh ra các sóng ánh sáng vượt qua không gian giữa các vì sao và giữa các thiên hà xa xôi để được đón nhận trên Trái đất trong các chảo anten thu khổng lồ mà người ta gọi là các kính thiên văn. Các nhà thiên văn học trên Trái đất hồi hải giải những mật mã vũ trụ được mang theo ánh sáng đi đến chúng ta từ những thuở xa lắc xa lơ. Chúng thuật lại lịch sử của vũ trụ, và lịch sử này không là gì khác, nó chính là lịch sử nguồn gốc của chúng ta.

### *Không gian tuyệt đối của Newton*

Một câu hỏi căn bản vẫn còn bị bỏ ngỏ: nếu các sóng điện từ lan truyền trong không gian như các sóng trên mặt nước, thì nước của các sóng ánh sáng của Maxwell là gì? Đây là giá đỡ vật chất cho phép các sóng này lan truyền? Mặc dù, trong mọi trường hợp, các phương trình của ông không đòi hỏi sự hiện diện của một chất choán đầy vũ trụ nào, nhưng Maxwell vẫn nghĩ rằng các sóng ánh sáng của ông lan truyền trong một môi trường gọi là "ête". Ông viết trong bộ Bách khoa toàn thư *Britannica* năm 1878: "Bất chấp những khó khăn mà chúng ta có thể gặp phải khi hình thành trong đầu một ý tưởng chặt chẽ về cấu trúc của ête, thì việc tồn tại một dạng vật chất hoặc một thể nào đó choán toàn bộ không gian giữa các hành tinh và giữa các vì sao là một điều không thể nghi ngờ..."

Khi viện đến ête, Maxwell là người kế thừa về mặt trí tuệ của một chuỗi dài các nhà tư tưởng. Aristote cho rằng trời, lãnh hạt của các hành tinh và các vì sao, chứa đầy ête bởi vì giữa các vì sao không thể có không gian trống rỗng, bản thân các ngôi sao cũng là nơi tập trung ête bức xạ bằng toàn bộ ngọn lửa của mình. Theo Descartes, người định nghĩa không gian là một dạng vật chất, nên sự hiện diện của ête cũng là một đòi hỏi tất yếu. Còn Newton cần ête vì nhiều lý do. Trước hết, bởi vì ông không thể chấp nhận lực hấp dẫn thân thiết của ông hay lực điện lại có khả năng tác dụng từ xa; ête được dùng làm tác nhân để truyền các lực này. Trong đoạn văn tuyệt vời khép lại tác phẩm *Principia*, ông viết: "Và bây giờ, chúng tôi phải thêm vào một chất thuộc loại tinh tế nhất, hiện diện ở khắp mọi nơi và được ẩn giấu trong tất cả các vật thể. Nhờ có lực và tác dụng của chất này, mà các hạt của các vật thể này có thể hút lẫn nhau ở các khoảng cách gần, và kết tụ lại với nhau nếu chúng chạm vào nhau; các vật thể tích điện có thể tác dụng ở các khoảng cách lớn hơn, đẩy hoặc hút các hạt cạnh nhau; và ánh sáng có thể được phát, phản xạ, khúc xạ, nhiễu xạ, và làm nóng các vật thể". Trong đầu Newton, chất tinh tế này không là gì khác mà chính là ête. Mặt khác, Newton cần một hệ quy chiếu để mô tả chuyển động

của các vật: khi nói một vật nằm yên hoặc chuyển động, thì đó là *so với cái gì?* Newton trả lời rằng đó là so với một môi trường trong suốt mà tất cả chúng ta đều tắm trong đó. Ông gọi môi trường này là “không gian tuyệt đối”. Theo ông, khi chúng ta vòng xe đột ngột khi đang chạy với vận tốc cao, là chúng ta đã gia tốc đối với không gian tuyệt đối. Khi một máy bay gia tốc trên đường băng để cất cánh, có một lực ép chúng ta vào lưng ghế, thì chuyển động này được biểu hiện là đối với không gian tuyệt đối. Vậy không gian tuyệt đối này là gì? Newton trả lời bằng một định nghĩa khá mập mờ và không chính xác: “Không gian tuyệt đối, do chính bản chất của nó, không quy chiếu với một vật nào khác bên ngoài. Nó luôn luôn giống với chính nó và không thay đổi”. Nhưng, trong đầu ông, đóng vai trò của không gian tuyệt đối đó chính là ête.

Maxwell cũng phải đương đầu với vấn đề hệ quy chiếu tuyệt đối khi các phương trình của ông nói với ông rằng các sóng điện từ (hay ánh sáng) lan truyền trong không gian với vận tốc  $300.000\text{km/s}$ . Vận tốc này được tính so với cái gì? Các phương trình của Maxwell không trả lời được cho câu hỏi này. Điều này cũng tựa như người ta nói với bạn rằng điểm hẹn nằm cách xa 10 kilômét, mà không nói rõ là cách mười kilômét là so với địa điểm nào. Di theo vết chân của Newton, Maxwell nghĩ hoàn toàn tự nhiên rằng ánh sáng lan truyền với vận tốc  $300.000\text{km/s}$  là so với một chất ête tĩnh choán đầy toàn vũ trụ.

*Tại sao ête lại không tìm thấy chuyển động của Trái đất?*

Nhưng ête này được làm từ gì? Nó bắt nguồn từ đâu và có những tính chất gì?

Bản chất của ête phải tương thích với một số quan sát. Trước hết, khỏi cần nói ai cũng biết, nó phải trong suốt, vì chúng ta ngắm nhìn ánh sáng của các hành tinh và các vì sao mà không gặp bất kỳ sự cản trở nào. Mặt khác, cần phải giải thích là tại sao chúng ta lại không hề cảm nhận được một cơn gió ête nào, khi con tàu Trái đất rẽ không gian với vận tốc  $30\text{km/s}$  trên hành trình của nó quanh Mặt trời. Thực tế, Trái đất đã và đang rẽ lối đi qua ête với vận tốc lớn như thế, hết thế kỷ này sang thế kỷ khác, thế mà người ta không thấy nó bị chậm đi tí nào. Các tính toán của Newton về chuyển động của các hành tinh chứng tỏ rằng việc các hành tinh không bị chậm lại chỉ có thể hiểu được nếu ête không tác dụng bất kỳ lực nào lên chúng. Nếu không, tất cả các hành tinh đều phải chuyển động chậm lại và rơi theo đường xoắn ốc vào Mặt trời từ lâu lắm rồi.

Phát hiện của Augustin Fresnel về hiện tượng ánh sáng bị phân cực và là sóng ngang (các dao động của sóng ánh sáng vuông góc với phương lan

truyền) – chứ không phải là sóng dọc, như sóng âm (các dao động của các sóng âm theo phương lan truyền) – lại hạn chế hơn nữa bản chất huyền bí của ête: nó phải rắn, như Thomas Young đã ghi nhận. Thật vậy, như chúng ta đã thấy, nếu các sóng ngang có thể lan truyền trên bề mặt của một chất lỏng giống sóng biển, thì chúng lại không thể đi qua một chất lỏng. Để làm được điều này, môi trường lan truyền phải có một độ cứng nhất định. Nhưng bằng cách nào mà Trái đất lại có thể chuyển động trong một môi trường cứng mà không bị chậm lại và rơi vào Mặt trời? Bằng cách nào mà ête lại có thể cùng lúc vừa là một chất rắn đàn hồi lại vừa là một chất lỏng tinh tế được? Hay có thể đơn giản là nó không tồn tại?

Đó là các đám mây đen báo hiệu một cơn bão tố sắp nổi lên quét sạch ête... Trong khi chờ đợi, vấn đề này vẫn là một trong những mối quan tâm chính của các nhà vật lý vào cuối thế kỷ XIX. Nhà vật lý người Đức, Heinrich Hertz trong một hội nghị khoa học năm 1889 đã tóm tắt tình hình như thế này: “Vấn đề lớn của tự nhiên liên quan đến các tính chất của ête choán đầy không gian: cấu trúc của nó như thế nào, nó đứng yên hay chuyển động, nó trải rộng hữu hạn hay vô hạn? Chúng ta ngày càng nghĩ rằng đó là vấn đề quan trọng nhất, và rằng việc giải quyết vấn đề này sẽ cho chúng ta biết không chỉ bản chất của cái mà chúng ta gọi là “không trọng lượng”, mà còn cả bản chất của chính vật chất và các tính chất cơ bản của nó – tức trọng lượng và quán tính của nó {...} Đó chính là các vấn đề tối hậu của các khoa học vật lý, mà các đỉnh cao nhất của nó còn đang phủ đầy tuyết”.

### *Sự cáo chung của ête*

Cách tốt nhất để nắm bắt các tính chất của ête khó lường này chỉ có thể là quan sát nó một cách trực tiếp. Năm 1887, nhà vật lý người Mỹ, Albert Michelson (1852-1931) và đồng nghiệp của ông là Edward Morley (1838-1923) đã thực hiện một thí nghiệm tài tình để kiểm tra sự tồn tại của ête (H. 29 a và b). Cũng giống tất cả các thí nghiệm lớn, ý tưởng xuất phát rất đơn giản.

Để hiểu thí nghiệm này, ta hãy cùng Eddy đến bờ biển. Eddy lội xuống nước và bơi theo hướng vuông góc với bờ biển, đến một con sóng đang tiến vào bờ. Eddy thấy con sóng tiến lại gần mình với vận tốc bằng tổng vận tốc của sóng và vận tốc bơi của mình. Eddy quyết định thay đổi hướng, không bơi về phía con sóng nữa mà bơi song song với bờ biển. Anh thấy con sóng tiến đến mình chậm hơn, bởi vì vận tốc tiến gần lại của con sóng chỉ còn là vận tốc của chính con sóng ấy.

Tương tự, ánh sáng là một sóng lan truyền với vận tốc  $300.000\text{km/s}$  trong ête choán đầy vũ trụ, kể cả Hệ Mặt trời của chúng ta. Nếu Trái đất chuyển động trong ête theo phương của một sóng ánh sáng, thì vận tốc của ánh sáng phải lớn hơn  $300.000\text{km/s}$ , bằng với vận tốc của ánh sáng cộng thêm vận tốc của Trái đất. Ngược lại, nếu hành tinh của chúng ta chuyển động theo phương vuông góc với phương truyền của ánh sáng, thì người ta phải đo được một vận tốc bằng  $300.000\text{km/s}$ , tức là vận tốc của chính ánh sáng. Hành tinh của chúng ta thực hiện chuyển chu du của nó quanh Mặt trời với vận tốc  $30\text{km/s}$ , tức là bằng một phần mười nghìn vận tốc ánh sáng. Như vậy, nếu ête tồn tại thực sự, thì Michelson và Morley phải đo được một chênh lệch vận tốc là  $30\text{km/s}$  giữa một chùm sáng lan truyền cùng phương với chuyển động của Trái đất và một chùm sáng khác truyền theo phương vuông góc.

Để đo những biến thiên nhỏ của vận tốc như thế, Michelson và Morley đã chế tạo một dụng cụ gọi là “giao thoa kế”, dựa trên nguyên lý giao thoa của Thomas Young. Trong giao thoa kế này, một chùm sáng có một tần số (hay một bước sóng) duy nhất bị chia thành hai chùm. Hai chùm này đi theo hai con đường khác nhau nhưng có cùng chiều dài, một theo phương chuyển động của Trái đất, một theo phương vuông góc, rồi sau đó lại kết hợp với nhau. Đúng ở thời điểm chúng tách khỏi nhau, các đỉnh và hõm của hai chùm sáng trùng khít vào nhau (người ta nói là chúng cùng pha), nhưng cái cách mà chúng kết hợp lại với nhau phụ thuộc vào vận tốc của chúng ở thời điểm kết hợp. Nếu hai chùm sáng vẫn giữ cùng vận tốc, thì các đỉnh và các hõm của chúng khi đó cũng vẫn cùng pha và, khi kết hợp lại với nhau, chúng sẽ giao thoa tăng cường nhau: kết quả là thu được một chùm sáng hơn. Ngược lại, nếu các chùm có các vận tốc khác nhau do hành trình của một chùm theo phương chuyển động của Trái đất và chùm kia theo phương vuông góc, thì chúng sẽ lệch pha nhau. Trong một tình huống như thế, các đỉnh của chùm đầu tiên có thể đến đồng thời ở cùng vị trí như các hõm của chùm thứ hai: khi đó chúng sẽ giao thoa triệt tiêu nhau, tức là khi này thêm ánh sáng vào ánh sáng, như chúng ta đã thấy, lại tạo ra bóng tối (H. 29c).

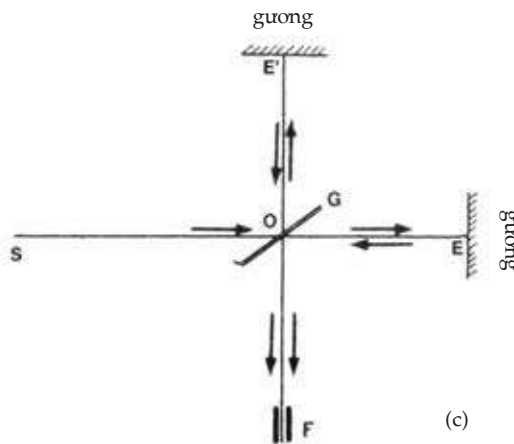
Với giao thoa kế của mình, Michelson và Morley về nguyên tắc có thể đo được các chênh lệch vận tốc cỡ  $1,5\text{km/s}$ , tức một phần hai mươi vận tốc của Trái đất qua chất ête giả thuyết. Nếu có “gió ête”, dù là nhỏ bé nhất, do chuyển động của Trái đất gây ra, thì hai nhà vật lý hần đã phát hiện ra chúng một cách dễ dàng. Michelson và Morley so sánh vận tốc của ánh sáng đo theo phương chuyển động của Trái đất quanh Mặt trời với vận tốc đo theo phương vuông góc. Hoàn toàn thất vọng và hết sức kinh ngạc, vì họ tin rằng ête tồn tại, nhưng



(a)



(b)



(c)

Hình 29. *Thí nghiệm của Michelson và Morley*. Hai nhà vật lý người Mỹ (a và b) chứng minh bằng giao thoa kế rằng vận tốc của ánh sáng luôn luôn không thay đổi, bất chấp chuyển động của người quan sát. Hình (c) cho thấy nguyên lý hoạt động của giao thoa kế của Michelson và Morley: một chùm sáng tới SO chiếu đến một gương bán mạ G, song song với phương chuyển động của Trái đất. Gương G cho một phần chùm sáng tới đi qua, phần này phản xạ trên gương E, sau đó phản xạ trên gương G rồi tới máy dò F (ở dưới). Phần còn lại của chùm sáng tới phản xạ trên gương G nên bị lệch theo hướng vuông góc với phương chuyển động của Trái đất. Phần này bị phản xạ trên gương E', rồi truyền qua gương G đến F, rồi giao thoa với phần kia của chùm sáng. Nếu có một chênh lệch về vận tốc của ánh sáng theo các phương song song và vuông góc với chuyển động của Trái đất, thì các vân giao thoa của hai chùm sáng sẽ biến thiên theo chuyển động của Trái đất trong chuyển chu du hằng năm của nó quanh Mặt trời. Vậy mà hoàn toàn không phải thế. Các vân giao thoa vẫn y nguyên một cách ương bướng: điều này có nghĩa là vận tốc của ánh sáng không thay đổi, độc lập với chuyển động của người quan sát. 29 a © AKG-Images. 29 b © Cosmos.

họ lại không thấy một chút chênh lệch vận tốc nào giữa hai phương. Tuyệt vọng, họ lặp lại các phép đo theo tất cả các hướng khác khả dĩ của chuyển động của Trái đất quanh Mặt trời. Nhưng **vận tốc của ánh sáng không thay đổi dù nó lan truyền theo phương nào.**

Cần phải thừa nhận rằng vận tốc của ánh sáng không thay đổi có nghĩa là Trái đất không chuyển động trong ête. Ête chỉ tồn tại trong trí tưởng tượng của con người. Nó nằm trong nghĩa địa của những khái niệm chết, cũng giống như các tinh cầu và các con kỳ lân. Đương nhiên là đã có những cố gắng vô vọng để cứu vớt khái niệm ête. Một số người thậm chí còn khẳng định rằng Trái đất không chuyển động đối với ête, chính hành tinh của chúng ta đã kéo ête đi theo. Nhưng đó là một giả thiết phi lý, vì tại sao ête, vốn được giả định là choán đầy vũ trụ, lại đi theo chuyển động của Trái đất, một hạt cát vô nghĩa mất hút trong mênh mông vũ trụ?

Sự việc dừng lại ở đó, cho tới khi một nhân viên quèn làm việc tại Văn phòng cấp bằng sáng chế phát minh của thành phố Berne, Thụy Sĩ, tên là Albert Einstein (1879-1955) (H. 30), đã bước ra từ vô danh để phù phép cho vật lý hiện đại, để xua tan những đám mây đen che khuất chân trời và tống khứ ête ra khỏi quang cảnh trí tuệ của con người.

### *Chạy với vận tốc ánh sáng*

Tìm câu trả lời cho các vấn đề khó thường phụ thuộc vào cách đặt các vấn đề ấy. Einstein đã phát triển đến cực điểm nghệ thuật đặt vấn đề một cách rõ ràng và đơn giản. Để làm điều này, ông không thực hiện các thí nghiệm trong phòng thí nghiệm, mà tiến hành trong đầu cái mà ông gọi là “thí nghiệm tưởng tượng”.

Một câu hỏi làm ông day dứt suốt thời niên thiếu: đó là nếu một người có thể chạy nhanh như ánh sáng, thì một sóng ánh sáng có thể trình hiện trước mắt anh ta như thế nào? Bởi vì người này và ánh sáng băng qua ête giả thuyết chính xác có cùng vận tốc, khoảng cách giữa người này và ánh sáng phải luôn như nhau, cũng giống như khoảng cách giữa hai ô tô trên đường luôn không đổi nếu cả hai chiếc xe chạy cùng một vận tốc. Nói cách khác, ánh sáng phải đứng yên so với người chạy này. Người đó có thể chìa tay ra và vốc ánh sáng giống như hái một quả táo. Nhưng ở đây có một điều không ổn. Các phương trình Maxwell nói rằng ánh sáng luôn luôn chuyển động, rằng nó phải lan truyền với vận tốc 300.000km/s; đứng yên và tĩnh là điều không thể đối với



Hình 30. Tháng 6 năm 1902, nhờ sự giúp đỡ của bố của một người bạn tên là Marcel Grossman, chàng trai trẻ người Đức, Albert Einstein được nhận vào làm “chuyên viên kỹ thuật thực tập bậc ba” của Văn phòng cấp bằng sáng chế phát minh liên bang đặt tại Berne. Nhiệm vụ của Einstein là xem xét các đơn xin cấp bằng sáng chế bấy chuột, máy chế rau cơ học, lò nướng bánh mì, những máy móc dùng động cơ vĩnh cửu và các máy móc khác thường khác. Văn phòng sở hữu trí tuệ này là một dạng “tu viện thế tục” mang đến cho nhà vật lý trẻ một sự an toàn tương đối về tài chính và yên ổn về tinh thần để lao vào các nghiên cứu vật lý. Chính tại Berne, Einstein đã phát triển lý thuyết photon, thuyết tương đối hẹp và lý thuyết về chuyển động Brown. Về sau, ông đã mô tả thời kỳ này như là một thời kỳ sáng tạo thành công và viên mãn: “Việc soạn các văn bằng sáng chế là một điểm phức, một trò giải trí bổ ích với một người như tôi”. Einstein làm việc tại Văn phòng sở hữu trí tuệ này trong vòng bảy năm. Được nâng lên chuyên viên kỹ thuật bậc hai tháng tư năm 1906, ông xin thôi việc vào tháng bảy năm 1909. © AKG-Images.

ánh sáng. Không một ai có thể giữ được trong tay mình một vốc ánh sáng. Vậy thì làm thế nào để giải quyết nghịch lý này?

Einstein đã trả lời được câu hỏi này hơn một thập kỷ sau, vào tháng 6 năm 1905, ở tuổi hai mươi sáu, trong một bài báo nổi tiếng có nhan đề *Về điện động học của các thể chuyển động*. Bài báo đánh dấu sự ra đời của thuyết tương đối hẹp. Nó sẽ làm thay đổi vĩnh viễn các quan niệm của chúng ta về thời gian và không gian, vật chất và năng lượng, đồng thời rung chuông báo sự cáo chung của ête.

Einstein có lẽ đã biết đến kết quả thí nghiệm của Michelson và Morley và các

nhà khoa học khác, những người do không phát hiện ra sự biến thiên vận tốc nào của ánh sáng dù đo nó theo hướng nào so với chuyển động của Trái đất, đã buộc phải xem xét lại chính sự tồn tại của ête. Thay vì đưa ra các giải thích cầu kỳ phức tạp, như cho rằng ête chuyển động cùng với Trái đất, Einstein, được dẫn dắt bởi một trực giác phi thường về sự vận hành của tự nhiên, đã chọn con đường đơn giản: sở dĩ các thí nghiệm này không phát hiện được sự tồn tại của ête, chỉ đơn giản là vì ête hoàn toàn không tồn tại! Và lại, các phương trình Maxwell mô tả sự lan truyền của các sóng ánh sáng không hề đòi hỏi sự hiện diện của môi trường lan truyền nào. Theo Einstein, kết luận đó là tất yếu: cả thí nghiệm lẫn lý thuyết đều nói với chúng ta rằng các sóng ánh sáng, trái với các sóng khác, không cần phải có một môi trường đỡ nó. Ánh sáng hoàn toàn có thể lan truyền trong không gian trống rỗng. Ête chỉ là một sáng tạo của đầu óc con người.

### *Một năm kỳ diệu*

Năm 1905 là một năm kỳ diệu đối với vật lý, cũng giống như năm 1666 khi chàng trai trẻ Newton, để thoát khỏi dịch hạch đang hoành hành, đã trở về nhà mẹ ở quê và phát hiện ra định luật vạn vật hấp dẫn, sáng tạo ra phép tính vi tích phân và có những phát hiện quan trọng về bản chất của ánh sáng. Làm việc hoàn toàn tách biệt với thế giới hàn lâm, bằng thiên tài của mình, Einstein đã làm thay đổi diện mạo của vũ trụ bằng bốn bài báo quan trọng đăng từ tháng ba đến tháng sáu trong tạp chí khoa học của Đức *Annalen der Physik*, những bài báo mà chỉ cần một thôi cũng đủ đã để đưa ông vào lâu đài vật lý và lên tột đỉnh vinh quang.

Bài báo thứ nhất đề cập đến thuyết tương đối hẹp. Bài báo thứ hai liên quan đến chuyển động zíc zắc không đều và hỗn độn của các hạt phấn hoa nhỏ xíu lơ lửng trong nước, mà người ta gọi là “chuyển động Brown”, theo tên của nhà thực vật học người Scotland, Robert Brown (1773-1858), người đã phát hiện ra chuyển động này. Trong bài báo này, Einstein đã xác lập một cách dứt khoát tính hiện thực của các nguyên tử bằng cách tính toán kích thước của chúng và chứng minh rằng các va chạm của chúng đã gây ra chuyển động Brown như thế nào.

Bài báo thứ ba, mà ông tự đánh giá là “thiên cảm” trong một bức thư gửi bạn, đề cập đến “hiệu ứng quang điện”: ánh sáng cực tím bứt các electron ra khỏi bề mặt của một miếng kim loại như thế nào. Einstein gợi ý rằng các thí

nghiệm này chỉ có thể hiểu được nếu ánh sáng có một bản chất hạt (dưới dạng các hạt mà ngày nay ta gọi là “photon”), chứ không phải là sóng. Chúng ta sẽ trở lại vấn đề này sau. Chính bài báo về ánh sáng này đã mang lại cho Einstein giải Nobel Vật lý năm 1921, chứ không phải bài báo về thuyết tương đối hẹp như người ta vẫn nhầm tưởng.<sup>1</sup>

Trong bài báo thứ tư, Einstein thống nhất năng lượng và vật chất. Ông chứng tỏ rằng hai khái niệm này chỉ là hai mặt khác nhau của cùng một và chỉ một thực tại. Chúng được liên hệ với nhau bằng công thức có lẽ là nổi tiếng nhất của lịch sử vật lý: năng lượng của một vật bằng khối lượng nhân với bình phương vận tốc ánh sáng ( $E = mc^2$ ). Chính công thức này cho phép không những khám phá được bí mật năng lượng của các sao, mà còn chế tạo ra bom nguyên tử tàn phá hai thành phố Nhật Bản Hiroshima và Nagasaki.

### *Thời gian và không gian cặp đôi và trở nên cơ giãn*

Sau khi ête bị loại bỏ, một câu hỏi khác lại xuất hiện. Vận tốc của một vật chuyển động được đo đối với một điểm mốc cố định, với một cái gì đó đứng yên. Nếu đã tống cổ ête vào trong quên lãng, thì cái gì sẽ đóng vai trò vật mốc này? Các phương trình Maxwell nói với chúng ta rằng vận tốc lan truyền của ánh sáng là 300.000km/s. Nhưng 300.000km/s là so với cái gì? Một lần nữa Einstein, được dẫn dắt bởi niềm tin siêu hình rằng các định luật của tự nhiên phải đơn giản, đã trả lời rằng nếu lý thuyết của Maxwell không đòi hỏi điểm mốc cố định, thì đó là bởi vì không có một điểm mốc duy nhất. Vận tốc của ánh sáng phải luôn cố định, bằng 300.000km/s, bất kể ta đo nó đối với vật mốc nào. Dù bạn có ruot đuối ánh sáng, chạy ra xa nó hay là bạn đứng yên, thì ánh sáng vẫn luôn chuyển động, nó không bao giờ đứng yên cả.

Điều này đặt lương tri của chúng ta trước thử thách khắc nghiệt và làm đảo lộn hoàn toàn các khái niệm thông thường về thời gian và không gian. Thật vậy, theo Einstein, không phải là thời gian và không gian, mà chính vận tốc của ánh sáng mới là phổ quát. Nhưng ánh sáng chỉ có thể bất biến, độc lập với chuyển động của người quan sát, nếu như khoảng cách và khoảng thời gian được đo

---

<sup>1</sup> Trên thực tế, Viện hàn lâm Thụy Điển đã yêu cầu dứt khoát Einstein không được đã động đến thuyết tương đối hẹp của ông trong diễn văn nhận giải. Nhưng cuối cùng, một trở ngại đã không cho phép Einstein tham dự lễ trao giải chính thức ở Stockholm. Ông đã đọc diễn văn nhận giải của mình ở Gothenbourg, với sự hiện diện của Vua Thụy Điển Gustave V. Vua Gustave đã rất tò mò muốn biết thêm về thuyết tương đối hẹp của Einstein và Einstein đã rất hài lòng đáp ứng yêu cầu của ông.

bởi những người quan sát chuyển động khác nhau phải mất đi sự cứng nhắc và trở nên mềm dẻo và co giãn. Vì, xét cho cùng, vận tốc là gì? Vận tốc bằng không gian (quãng đường) chia cho thời gian (thời gian của hành trình). Chẳng hạn, thành phố Tours nằm cách Paris 225 km về phía Tây Nam. Nếu bạn phải mất hai giờ ô tô để đi từ Paris đến đó thì vận tốc trung bình của bạn là  $225/2$ , nghĩa là 112,5km/h. Theo Newton và những người kế tục ông, thì không gian và thời gian được coi là tuyệt đối “không phải quy chiếu tới cái gì ở bên ngoài”. Trong thế giới Newton, thời gian và không gian là phổ quát, là như nhau đối với tất cả mọi người, bất kể họ chuyển động và vị trí của họ như thế nào chẳng nữa. Einstein đã rút bỏ tính chất tuyệt đối của thời gian và không gian.

### *Các lữ khách trong không gian*

Trong vũ trụ của Einstein, mỗi một người trong số chúng ta có một đồng hồ riêng và một thước đo khoảng cách riêng. Mỗi một đồng hồ, mỗi một thước đo đều chính xác như đồng hồ và thước đo của người khác, nhưng chúng không còn đo được cùng các khoảng thời gian và khoảng cách khi chúng ta chuyển động. Cần phải hiểu rằng “chuyển động” ở đây không chỉ được sử dụng trong cách hiểu thông thường. Khi chúng ta nói chuyển động của một vật hay một người, chúng ta thường nghĩ ngay đến một dịch chuyển trong không gian. Nhưng, với thuyết tương đối hẹp, Einstein nhắc chúng ta vào năm 1905 rằng tất cả chúng ta đều là những lữ khách cả trong thời gian. Thật vậy, thời gian trôi là điều không thể tránh khỏi đối với tất cả chúng ta và với tất cả những gì xung quanh chúng ta. Mỗi giây trôi qua là chúng ta xa thêm một chút chiếc nôi chào đời và tất yếu xích gần hơn tới nghĩa địa. Ngay cả khi đứng yên, chúng ta vẫn chuyển động trong thời gian. Newton cho rằng chuyển động trong thời gian là hoàn toàn tách biệt với chuyển động trong không gian, rằng thời gian và không gian là các chủ thể riêng biệt, tách rời, trên sân khấu vũ trụ. Còn Einstein nói với chúng ta rằng quan niệm này là sai lầm và rằng, trái lại, thời gian và không gian tạo thành một cặp thống nhất, không thể tách rời, rằng mọi chuyển động phải được mô tả trong một vũ trụ bốn chiều ở đó chiều thời gian thêm vào ba chiều của không gian. Và ông chứng tỏ được rằng vận tốc tổng hợp của chuyển động không gian và chuyển động thời gian của mọi đối tượng vật chất đúng bằng vận tốc ánh sáng. Hay, chính xác hơn, tổng của bình phương vận tốc không gian và thời gian bằng bình phương vận tốc của ánh sáng.

Thoạt nhìn kết luận này có vẻ kỳ lạ. Chúng ta đã quen nghĩ rằng mọi vật chuyển động với vận tốc thấp hơn vận tốc ánh sáng, chứ không phải bằng vận tốc ánh sáng. Quan điểm này là chính xác nếu đó là vận tốc thuần túy không

gian. Nhưng, bởi vì ngoài ánh sáng mọi đối tượng vật chất còn chuyển động qua thời gian, và do đó có một vận tốc thời gian không âm, nên vận tốc không gian của nó phải nhỏ hơn vận tốc ánh sáng vốn là tổng của vận tốc không gian và thời gian. Điều này cũng hàm ý rằng chuyển động không gian càng nhanh thì chuyển động thời gian càng chậm, bởi vì tổng bình phương của chúng là không đổi. Nói cách khác, bạn đi càng nhanh trong không gian thì thời gian của bạn trôi càng chậm lại và trở nên bất động hoàn toàn khi đạt đến vận tốc của ánh sáng. Như vậy, chỉ ánh sáng mới không có chuyển động thời gian; đối với ánh sáng, thời gian là không trôi. Chỉ riêng ánh sáng là tìm thấy bí mật của suối nước cái lão hoàn đồng; chỉ ánh sáng mới có thể chuyển động vượt không gian với vận tốc 300.000km/s.

Người ta có thể nói rằng thời gian không còn tồn tại đối với ánh sáng. Nếu chúng ta xét tình huống trên theo quan điểm của hạt ánh sáng, thì các kết luận rút ra cũng hết sức khác thường. Photon “nghĩ” rằng nó là bất động và khung cảnh trôi qua trước mắt nó với vận tốc ánh sáng. Nó thấy không gian co lại tới mức tất cả các khoảng phân cách giữa các vật bị rút xuống bằng không. Đối với photon, khái niệm khoảng cách không còn tồn tại nữa. Nó tiếp xúc đồng thời với toàn bộ vũ trụ. Nó đồng thời hiện diện ở khắp nơi trong không gian. Theo quan điểm của photon, thời gian không tồn tại, vì không cần một khắc nào để ánh sáng vượt qua 384.000 km ngắn cách hành tinh của chúng ta với Mặt trăng, 2,3 triệu năm ánh sáng giữa Trái đất và thiên hà Andromède hay 14 tỉ năm ánh sáng giữa Trái đất và các vùng xa xôi của vũ trụ quan sát được.

Để hiểu mối liên hệ mật thiết giữa thời gian và không gian, hãy nhìn chiếc xe của bạn đỗ cạnh vỉa hè. Nó bất động: không có bất kỳ chuyển động nào trong không gian; chuyển động của nó chỉ diễn ra trong thời gian. Nhưng, ngay khi bạn khởi động xe và cho xe chạy với một vận tốc nào đó, thì chuyển động trong không gian của nó tăng lên. Sự tăng tốc chuyển động trong không gian này được bù lại bằng sự giảm tốc chuyển động trong thời gian. Chuyển động trong không gian được thực hiện làm ảnh hưởng đến chuyển động trong thời gian. Một sự giảm tốc chuyển động trong thời gian đồng nghĩa với một thời gian trôi chậm hơn. Nói cách khác, ngay khi xe chuyển động, thì thời gian của người lái xe chậm lại so với thời gian của một ai đó đứng yên.

*Nguồn nước cái lão hoàn đồng cho phép du hành trong tương lai*

Bằng cách đưa vào chuyển động trong thời gian, thuyết tương đối hẹp không chỉ mang lại cho chúng ta một cái nhìn vô cùng phong phú và trung thực về hiện thực, mà còn cung cấp cho chúng ta một nguồn nước cái lão hoàn đồng cho phép chúng ta đi vào tương lai. Để đánh giá được sự việc này, chúng ta hãy nhập hội với anh em sinh đôi Jules và Jim.

Jules có máu phiêu lưu và thực hiện một chuyến du hành không gian trên một tên lửa bay với vận tốc bằng 87% vận tốc ánh sáng. Còn Jim, một người không thích xê dịch, nên ở lại Trái đất. Trong chuyến chu du của Jules, hai anh em vẫn giữ liên lạc với nhau và gửi cho nhau các sóng vô tuyến. Jim nhận thấy rằng với các dụng cụ đo thời gian và khoảng cách mà anh có trên Trái đất, thì Jules bay trong không gian sẽ già chậm hơn mình hai lần, và phi thuyền của Jules cũng ngắn lại hai lần so với chiều dài của nó trên Trái đất. Nói cách khác, Jim nhận thấy rằng khi thời gian dân ra, tức là nó trôi chậm hơn, thì không gian lại co lại đúng chừng ấy. Ngược lại, khi thời gian co lại, thì không gian sẽ lại dân ra. Do vậy những biến dạng liên quan đến thời và không gian có thể được coi như sự chuyển hóa giữa không gian và thời gian và ngược lại. Thời gian dài ra được biến hóa thành không gian bị rút ngắn lại, và thời gian co lại (tức là trôi nhanh hơn) được biến hóa thành không gian rộng hơn. “Tỉ giá” của ngân hàng vũ trụ này là 300.000 kilômét không gian cho mỗi một giây thời gian.

Khi vận tốc càng cao thì các biến dạng của thời gian và không gian sẽ càng lớn. Chẳng hạn, nếu phi thuyền không gian của Jules bay với vận tốc bằng 50% vận tốc ánh sáng, thì một giây của Jules trở thành 1,15 giây của Jim, và một mét của Jules trở thành 87cm của Jim. Với vận tốc bằng 87% vận tốc của ánh sáng, một giây của Jules bằng hai giây của Jim, và một mét của Jules trở thành 50cm của Jim. Nếu vận tốc lên đến 99% vận tốc của ánh sáng thì một giây của Jules trở thành 7 giây của Jim, và một mét của Jules trở thành 14,1cm của Jim. Nếu vận tốc lên đến 99,9999999% vận tốc của ánh sáng thì một giây của Jules trở thành 6,2 giờ của Jim, và một mét của Jules ngắn lại chỉ còn 0,045 mm.

Như vậy, Einstein đã ban cho chúng ta một dạng nước cái lão hoàn đồng. Jules chỉ cần tăng tốc và đi ngày càng nhanh hơn để làm cho thời gian trôi chậm hơn. Đây cũng là một công thức để du hành trong thời gian: thật vậy, thời gian chậm lại của Jules cho phép anh ta du hành trong tương lai của Jim. Giả định rằng Jules bắt đầu chuyến đi của mình vào năm 2000 và chuyến đi kéo dài mười năm theo lịch trên phi thuyền. Nếu vận tốc của phi thuyền bằng 99% vận tốc của ánh sáng, thì Jules sẽ làm chậm lại tốc độ già đi của mình xuống 7 lần.

Khi trở về, lịch trên Trái đất của Jim sẽ chỉ năm 2070 thay vì 2010 như lịch của Jules. Lúc đó sẽ có một sự khác biệt thực sự về sinh lý giữa hai anh em sinh đôi. Jules sẽ có ít tóc bạc và nếp nhăn hơn Jim. Tim của Jules đập ít hơn. Nếu Jules bốn mươi tuổi lúc khởi hành, thì lúc trở về anh ta mới chỉ 50 tuổi vẫn còn hoạt bát và nhanh nhẹn. Ngược lại, Jim ở lại trên Trái đất đã chết từ lâu rồi. Nếu còn sống thì Jim đã 110 tuổi. Jules sẽ thấy buồn vì không được gặp lại người anh mình nữa. Sẽ chỉ có con cháu của Jim còn trên Trái đất để đón chú mình. Như vậy trong một chừng mực nào đó Jules đã đến được tương lai của Jim.

Như vậy, công thức để đi vào tương lai là lên một phi thuyền không gian, đi rất nhanh, sau đó quay ngược lại và trở về Trái đất cũng thật nhanh. Nếu bạn muốn biết điều gì sẽ xảy ra trên Trái đất và loài người trong vòng một trăm năm, một nghìn năm, thậm chí một triệu năm, thì bạn chỉ cần đi với vận tốc bằng 99,999999996% vận tốc của ánh sáng, và hoàn thành chuyến đi chỉ kéo dài lần lượt 2,4 giờ, một ngày và hơn 2,7 năm một chút.

Tuy nhiên một vấn đề khiến bạn phải đau đầu. Hoàn cảnh của Jules và của Jim phải là đối xứng. Nếu Jim ở lại Trái đất thấy Jules bay trong không gian với vận tốc 99% vận tốc ánh sáng và thời gian của Jules chậm hơn 7 lần so với thời gian của mình, thì Jules đang ở trên phi thuyền không gian cũng sẽ thấy Jim được Trái đất mang theo với vận tốc bằng 99% vận tốc của ánh sáng và nghĩ ngược lại rằng chính thời gian của Jim mới bị chậm lại 7 lần so với thời gian của mình. Làm sao thời gian của Jules lại có thể trôi vừa chậm hơn lại vừa nhanh hơn thời gian của Jim? Ở đây phải chăng có một nghịch lý? Thuyết tương đối hẹp phải chăng đã bộc lộ một điểm yếu?

Câu trả lời là không, vì hoàn cảnh của Jules và của Jim không hoàn toàn đối xứng. Để hoàn thành chuyến chu du khứ-hồi trong không gian, để đạt đến vận tốc ổn định của tên lửa, Jules đã phải chịu sự gia tốc kinh hoàng ép chặt anh vào lưng ghế. Sau đó anh ta lại phải giảm tốc khi quay đầu trở lại, rồi lại phải tăng tốc để đạt trở lại vận tốc cũ, rồi lại giảm tốc một lần nữa để đáp xuống Trái đất. Tất cả những lần tăng và giảm tốc này là có thực và ảnh hưởng mạnh mẽ đến cơ thể yếu ớt khốn khổ của Jules. Hoàn toàn không có gì chắc chắn rằng cơ thể con người có thể chịu được các cú tăng tốc như thế mà không bị vỡ vụn. Trong khi đó, trên Trái đất, Jim trải qua những ngày bình yên. Anh không hề cảm thấy các hiệu ứng kinh hoàng này. Đó chính là điều giải thích tại sao anh ta già đi theo nhịp của mình. Bởi lẽ, nếu Jules có được một dạng nước cải lão hoàn đồng cho phép anh ta ghé thăm tương lai, thì anh ta cũng sẽ rất mạo hiểm phải trả giá bằng sự nguyên vẹn cơ thể của mình!

*Bức tường vận tốc ánh sáng*

Như vậy, mọi đối tượng vật chất đều chuyển động trong không gian với vận tốc thấp hơn vận tốc ánh sáng. Thuyết tương đối đã cấm vượt qua “bức tường” vận tốc ánh sáng. Để thấy rõ điều này, ta hãy lấy lại thí nghiệm tưởng tượng của Einstein.

Hãy cưới lên một vật chuyển từ một vận tốc chậm hơn sang vận tốc nhanh hơn vận tốc ánh sáng. Như vậy chúng ta sẽ đuổi kịp một tia sáng đi trước chúng ta, và vượt qua nó. Chúng ta sẽ thấy vận tốc biểu kiến của ánh sáng so với chúng ta giảm xuống, bằng không, rồi tăng lên, điều này mâu thuẫn với quan sát của Michelson và Morley, theo đó một người quan sát luôn đo được cùng một vận tốc ánh sáng trong chân không ( $300.000\text{km/s}$ ) bất chấp chuyển động của anh ta. Tính bất biến của vận tốc ánh sáng là cơ sở của thuyết tương đối hẹp. Tương tự, không có bất kỳ một đối tượng vật chất nào có thể vượt qua “bức tường” theo chiều ngược lại, tức là chuyển từ một vận tốc cao hơn sang một vận tốc nhỏ hơn vận tốc ánh sáng.

Còn một lý do khác, lý do thực tiễn, không cho phép một vật tăng tốc lên tới vận tốc ánh sáng. Thuyết tương đối nói với chúng ta rằng vận tốc của một vật càng tăng, thì khối lượng của nó cũng tăng theo cùng một tỉ lệ như sự kéo giãn thời gian và thu hẹp không gian. Giờ chúng ta lại đến thăm anh bạn Jules của chúng ta đang lao trong không gian trên phi thuyền không gian với vận tốc bằng 99% vận tốc ánh sáng. Không chỉ thời gian của Jules chậm lại bảy lần so với thời gian của anh trai Jim trên Trái đất và phi thuyền nhỏ lại 7 lần, mà khối lượng của phi thuyền cũng tăng lên 7 lần. Điều này đòi hỏi phải có nhiều nhiên liệu hơn để đẩy nó đi, bản thân trọng lượng của nhiên liệu này cũng làm tăng lên khối lượng của phi thuyền, và như vậy lại phải mất nhiều nhiên liệu hơn nữa để làm nó cất cánh và phóng đi. Ở đây có một cái vòng luẩn quẩn: với vận tốc ánh sáng, khối lượng của tên lửa là vô cùng lớn và đòi hỏi một lượng nhiên liệu vô cùng nhiều. Đó là một điều kiện không thể vượt qua, và điều này giải thích tại sao chúng ta sẽ không bao giờ có thể tăng tốc một vật có khối lượng đạt đến vận tốc ánh sáng. Vận tốc của nó có thể ngày càng xích gần 99,99%, 99,999%, 99,9999%... vận tốc ánh sáng, nhưng không bao giờ bằng, càng không bao giờ vượt được vận tốc ánh sáng.

### *Các hạt chuyển động nhanh hơn ánh sáng?*

Nhưng nếu thuyết tương đối loại trừ khả năng vượt qua “bức tường” ánh sáng, thì ngược lại với những gì người ta vẫn tin, nó không cấm sự tồn tại của các hạt hay các hiện tượng chuyển động nhanh hơn ánh sáng với điều kiện chúng không bao giờ giảm tốc để chuyển động chậm hơn ánh sáng. Các hạt giả thuyết chuyển động nhanh hơn ánh sáng được đặt tên là “tachyon” (từ tiếng Hy Lạp *tachus* nghĩa là “nhanh”). Đó là các thực thể lý thuyết sinh ra từ trí tưởng tượng phong phú của các nhà vật lý và không bị thuyết tương đối cấm. Chưa bao giờ người ta phát hiện được trong vũ trụ của chúng ta các tachyon này. Rất may đối với sức khỏe tinh thần của chúng ta, vì nếu chúng tồn tại trên thế giới này thì sẽ có rất nhiều nghịch lý trong vật lý. Logic như chúng ta đang biết sẽ hoàn toàn không còn ý nghĩa gì nữa.

Sự hiện diện của các tachyon trong vũ trụ chúng ta sẽ cho phép, trong một số hoàn cảnh, kết quả lại xảy ra trước nguyên nhân: món trứng rán tồn tại trước khi quả trứng bị đập vỡ, đinh được đóng trước khi búa nện xuống, và viên đạn đến đích trước khi người ta bóp cò. Nhờ các tachyon, tôi có thể gửi các tín hiệu về quá khứ, thay đổi các sự kiện đã diễn ra trước khi tôi sinh ra, như ngăn cha mẹ tôi gặp nhau và hủy bỏ chính sự ra đời của tôi!<sup>1</sup> Einstein đã ý thức rất rõ về những nghịch lý khó chịu nhạo báng logic này. Mặc dù thuyết tương đối hẹp của ông không cấm sự tồn tại của các tachyon, nhưng ông đã tuyên bố một cách dứt khoát trong bài báo viết năm 1905 của mình rằng các hạt không được phép chuyển động nhanh hơn ánh sáng.

### *Vũ trụ giãn nở và bức tường vận tốc ánh sáng*

Năm 1929, nhà thiên văn học người Mỹ, Edwin Hubble (1889-1953) đã phát hiện ra rằng phần lớn các thiên hà đều chạy trốn ra xa Ngân hà của chúng ta cứ như thể nó bị dịch hạch! Chuyển động chạy ra xa này không phải là ngẫu nhiên, mà theo một quy luật nhất định. Vận tốc chạy ra xa của một thiên hà tỉ lệ với khoảng cách của nó: thiên hà càng xa Ngân hà thì tốc độ chạy trốn của nó càng cao. Chính định luật này là nguồn gốc của thuyết Vụ nổ lớn (Big Bang). Thật vậy, thời gian mà một thiên hà phải mất để đi từ điểm khởi thủy đến vị trí của nó hiện nay bằng tỉ số giữa khoảng cách và vận tốc của nó. Nhưng, bởi

<sup>1</sup> Để biết chi tiết hơn các tachyon làm đảo lộn quan hệ nhân quả như thế nào, xem Trịnh Xuân Thuận, *Hỗn độn và Hài hòa*, bản dịch của Phạm Văn Thiều và Nguyễn Thanh Dương, NXB. Khoa học và Kỹ thuật, 2007.

vì khoảng cách và vận tốc biến thiên tỉ lệ với nhau, nên thời gian này là chính xác như nhau đối với tất cả các thiên hà.

Chúng ta hãy cho quay ngược bộ phim các sự kiện: tất cả các thiên hà gặp nhau ở cùng một điểm và ở cùng một thời điểm. Từ đó nảy ra ý tưởng cho rằng vũ trụ là kết quả của một vụ bùng nổ khởi thủy khổng lồ từ một điểm vô cùng nhỏ, nóng và đặc – Big Bang.

Nhưng nếu vận tốc chạy trốn ngày càng lớn đối với các thiên hà ngày càng xa, thì liệu điều này có nghĩa là, khi đã vượt qua một khoảng cách nào đó, các thiên hà sẽ rời xa Ngân hà với vận tốc cao hơn vận tốc ánh sáng? Liệu điều này có trái ngược với thuyết tương đối hẹp cấm vượt qua “bức tường” vận tốc ánh sáng không?

Câu trả lời cho câu hỏi thứ nhất là một khẳng định dứt khoát; còn câu trả lời cho câu hỏi thứ hai là một phủ định cũng rất dứt khoát.

Để hiểu điều này, cần phải ghi nhớ trong đầu ý tưởng rằng, trong thuyết vụ nổ lớn, một vũ trụ giãn nở không có nghĩa là hàng tỉ thiên hà bị phóng hết tốc lực vào trong một không gian trống rỗng, tĩnh và bất biến, có thể đã tồn tại từ lâu, trước cả khi Vụ nổ lớn xảy ra. Như chúng ta đã thấy, Einstein đã phủ định quan niệm của Newton về một không gian tĩnh và bất động bị choán bởi một chất vô hình gọi là ête truyền lực hấp dẫn. Ông đã vứt bỏ quan điểm cho rằng không gian chỉ là một sân khấu thụ động nơi diễn ra tấn kịch vũ trụ vĩ đại. Nhờ có Einstein, không gian trở nên động, và ngoài ra còn là một diễn viên thực thụ trong vở kịch đó. Không gian và thời gian được sinh ra từ Big Bang. Vô cùng nhỏ khi được sinh ra, không gian mở rộng dần cùng với sự trôi của thời gian. Trong vũ trụ của Einstein, không phải các thiên hà chuyển động trong một không gian bất động, mà ngược lại, một không gian giãn nở liên tục được tạo ra và kéo theo nó các thiên hà đứng yên. Einstein nói với chúng ta rằng không gì có thể chuyển động trong không gian nhanh hơn ánh sáng, nhưng không có gì trong thuyết tương đối hẹp của ông ngăn hai điểm của chính không gian tách ra khỏi nhau với vận tốc lớn hơn vận tốc ánh sáng.

### *Chúng ta sống trong một thế giới Newton hơn là Einstein*

Để đảm bảo cho vận tốc của ánh sáng là không đổi, bất chấp chuyển động của người quan sát, như đã được thể hiện trong các phương trình của Maxwell, mà thuyết tương đối hẹp đã ra đời. Einstein đã tiếp bước các nhà thống nhất vĩ đại của vật lý học. Sau Newton, người đã thống nhất đất và trời, sau Maxwell,

người đã thống nhất điện, từ và quang học, Einstein đã thống nhất thời gian và không gian. Cần phải tập quen với ý nghĩ rằng các vật bao quanh chúng ta không chỉ chuyển động trong không gian, mà còn cả trong thời gian nữa. Cần phải có trong đầu ý nghĩ rằng các câu nói bột phát chưa được suy nghĩ kỹ của chúng ta, như “chiếc xe này dài 3 mét” hay “bây giờ là 12 giờ mười lăm phút”, chứa đựng nhiều mập mờ. Chúng chỉ có một ý nghĩa rõ ràng nếu chúng ta xác định rõ chuyển động của xe hay của đồng hồ đối với người thực hiện các quan sát này. Một giây của tôi không giống một giây của bạn nếu tôi chuyển động đối với bạn.

Sự co giãn của thời gian và không gian chế nhạo lương tri của chúng ta. Nhưng quả thật lương tri là một người dẫn đường tồi khi ở vận tốc cao. Hiện tượng thời gian chậm lại ở vận tốc cao đã được quan sát rất nhiều lần, và luôn phù hợp với các tiên đoán của thuyết tương đối hẹp. Mà trong khoa học, nếu các tiên đoán của một lý thuyết được thực nghiệm kiểm chứng thì cần phải chấp nhận nó, dẫu nó có kỳ lạ đến đâu. Xin nêu một ví dụ, các nhà vật lý gia tốc các hạt cơ bản lên tới các vận tốc gần với vận tốc ánh sáng trong các máy gia tốc hạt nhân mạnh như máy gia tốc ở CERN (Trung tâm Nghiên cứu hạt nhân châu Âu), Geneve, Thụy Sĩ. Các hạt này có một thời gian sống rất ngắn, khoảng một micro giây, thậm chí còn ngắn hơn. Nhưng khi đạt đến vận tốc rất cao, người ta quan sát thấy rằng thời gian của chúng chậm lại và thời gian sống của chúng kéo dài tới một phần nghìn giây, một giây..., tùy theo vận tốc của chúng và theo các tỉ lệ luôn phù hợp với thuyết tương đối hẹp.

Điều đó nói lên rằng, trong cuộc sống hàng ngày, vận tốc của ô tô, tàu hỏa, tàu thủy hay máy bay là vô cùng nhỏ so với vận tốc của ánh sáng, nên sự chênh lệch về thời gian và khoảng cách của người quan sát này so với người quan sát khác là vô cùng nhỏ. Chẳng hạn, đồng hồ của một hành khách đi tàu tốc độ cao (TGV) chạy với vận tốc 300km/h sẽ chỉ chậm hơn so với đồng hồ của người đứng trên sân ga một phần mười ngàn tỉ giây. Một giây đối với một hành khách đi trên máy bay siêu âm ứng với 1,0000000000014 giây của người đứng yên trên mặt đất. Chỉ có các đồng hồ nguyên tử mới phát hiện được sự chênh lệch vô cùng nhỏ này. Thế giới vận tốc thấp của chúng ta giống với một thế giới Newton hơn là thế giới Einstein. Rất may cho sự bình yên của chúng ta, vì nếu không, sẽ có biết bao cuộc hẹn hò bị lỡ, các mảnh tách rời sẽ không bao giờ gắn lại với nhau nếu thời gian và các đại lượng thay đổi rõ rệt tùy theo sự chuyển động hàng ngày của mỗi người!

*Không còn khái niệm “bây giờ” phổ quát nữa!*

Trong số các đảo lộn về khái niệm do thuyết tương đối hẹp gây ra thì việc thời gian mất đi tính tuyệt đối và phổ quát chắc chắn là đảo lộn lớn nhất đối với lương tri của chúng ta. Theo Newton, thời gian được điều chỉnh bằng một đồng hồ vũ trụ đồ chuông chính xác từng giờ một như nhau ở khắp mọi nơi trên thế giới. Ông viết thế này trong cuốn *Principia*: “Thời gian tuyệt đối, xác thực và toán học, tự nó và bởi bản chất của nó, trôi một cách đồng nhất mà không cần sự quy chiếu nào tới một hệ bên ngoài”. Ngược lại, Einstein cho rằng khái niệm thời gian của chúng ta được hình thành từ các hiện tượng tạo nhịp điệu cho sự tồn tại của chúng ta. Chẳng hạn, chúng ta đo sự trôi qua của ngày và đêm bằng chuyển động của Trái đất quanh trục của nó, đo tháng bằng chuyển động của Mặt trăng quay quanh Trái đất, và đo năm bằng hành trình chu du của Trái đất quanh Mặt trời. Chúng ta đo thời gian trôi bằng chuyển động tuần hoàn của con lắc đồng hồ treo tường hoặc bằng những tiếng tic tắc đều đặn của đồng hồ đeo tay của chúng ta. Các nhà vật lý làm điều đó bằng cách đếm các dao động đều đặn của nguyên tử cesi. Xét đến cùng thì sự đánh giá thời gian của chúng ta luôn gắn với tính đồng thời của hai sự kiện độc lập. Như Einstein đã viết trong bài báo tháng sáu năm 1905 của mình: “Khi tôi nói rằng tàu đến ga lúc 7 giờ thì thực ra là tôi muốn nói rằng việc kim đồng hồ của tôi chỉ bảy giờ và việc tàu đến ga là hai sự kiện đồng thời”. Ở đây, ánh sáng đóng vai trò căn bản, vì nếu các sự kiện vừa nhắc tới ở cách nhau một khoảng nào đó, thì những đánh giá về tính đồng thời chỉ có thể thực hiện được bằng sự truyền đi các tín hiệu ánh sáng từ vị trí này đến vị trí kia.

Dựa trên hai tiên đề cơ bản tạo nên nền tảng của thuyết tương đối hẹp – các định luật vật lý phải như nhau đối với mọi người quan sát, và vận tốc của ánh sáng phải như nhau bất chấp chuyển động của người quan sát –, Einstein đã chứng tỏ rằng khái niệm đồng thời, sự đánh giá theo đó hai sự kiện xảy ra tại “cùng một thời điểm”, là không như nhau đối với tất cả mọi người, mà phụ thuộc vào chuyển động của người quan sát. Để xem xét cận kề hơn, chúng ta hãy đi lại con đường của Einstein và làm lại thí nghiệm tưởng tượng của ông: sét đánh vào đoàn tàu đang đi qua nhà ga với vận tốc cao.

Một con giông ập đến và sét đánh vào hai đầu của một toa tàu. Có ba người chứng kiến sự kiện trên: Jacques đứng trên sân ga, Jean ngồi trên tàu đang chạy, và Stéphanie ngồi ở tàu bên cạnh chạy theo chiều ngược lại. Cả ba nhân chứng của chúng ta thấy hậu quả của sự kiện trên không giống nhau. Jacques thấy sét đánh đồng thời ở trước và sau toa. Ngược lại, Jean, ngồi ở giữa toa tàu,

thấy sét đánh đầu tiên ở đầu toa và ngay sau đó ở cuối toa. Lý do của sự khác nhau này rất đơn giản: vì tàu chuyển động nên ánh sáng của tia chớp đánh vào đầu toa để đến được với Jean chuyển động cùng với tàu, nó phải vượt qua một khoảng cách ngắn hơn so với ánh sáng đến từ đuôi tàu do phải đuổi theo Jean. Vận tốc của ánh sáng là không đổi, nên ánh sáng đến từ phía trước mất ít thời gian hơn ánh sáng đến từ phía sau. Và hậu quả của sự kiện diễn ra ngược lại đối với Stéphanie ngồi ở tàu chạy theo chiều ngược lại: cô thấy sét đánh vào phần sau trước rồi mới đến phần trước.

Ai có lý? Cả ba, Einstein trả lời, vì tất cả các quan điểm của họ đều đúng. Vận tốc của ánh sáng không đổi, nên trật tự xảy ra các sự kiện có thể bị thay đổi tùy theo chuyển động của người quan sát. Khái niệm “bây giờ” phổ quát không còn tồn tại nữa.

Một lần nữa, sự chênh lệch giữa các “bây giờ” của chúng ta là vô cùng nhỏ, vì vận tốc mà chúng ta đạt được trong cuộc sống hàng ngày là rất nhỏ so với vận tốc ánh sáng. Nhưng chúng sẽ trở nên càng rõ nét hơn nếu vận tốc tương đối càng cao. Chẳng hạn, các thiên hà xa xôi nhất, do sự giãn nở của vũ trụ, rời xa Ngân hà với vận tốc hơn 90% vận tốc của ánh sáng. Khi tôi chuyển động, cái “bây giờ” của các thiên hà xa xôi khác hàng nghìn năm so với cái “bây giờ” của chúng khi tôi ngồi im.

Như vậy hiện tại của tôi có thể là quá khứ của bạn, và là tương lai của một người thứ ba, nếu người thứ ba này và bạn chuyển động đối với tôi. Nhận định này có một hậu quả sâu sắc: nếu, đối với một ai đó khác, tương lai đã tồn tại và quá khứ vẫn còn đang hiện diện, thì tất cả các thời điểm đều có giá trị như nhau, khi đó là thời gian vật lý. Tuy nhiên, trong lòng mình, chúng ta cảm thấy “thời gian trôi”; chúng ta hình dung thời gian như nước của một dòng sông chảy, đưa những con sóng của quá khứ vĩnh viễn rời xa chúng ta và mang đến những con sóng của một tương lai đầy hứa hẹn. Như vậy, cảm giác về thời gian trôi của chúng ta, tức “thời gian sinh lý” của chúng ta, là rất khác với thời gian vật lý. Theo Einstein, thì thời gian không trôi: nó đơn giản ở đó, bất động, như một đường thẳng trải đến vô tận theo cả hai hướng. Einstein đã thể hiện quan niệm này trong một bức thư viết năm 1955 sau khi một người bạn thời thơ ấu của ông là Michele Besso qua đời (và chỉ vài tháng trước khi ông mất) như để tự làm vui đi nỗi buồn của mình: “Đối với những nhà vật lý xác tín như chúng tôi, sự tách biệt giữa quá khứ, hiện tại và tương lai chỉ là một ảo ảnh, dấu rằng nó rất dai dẳng”.

*Liệu tôi có thể sinh ra trước mẹ tôi?*

Như vậy, để tôn trọng nguyên tắc bất khả xâm phạm về tính không đổi của vận tốc ánh sáng bất chấp chuyển động của người quan sát, thuyết tương đối hẹp đã phải vứt bỏ hoàn toàn các khái niệm thời gian tuyệt đối và tính đồng thời phổ quát. Trong một số hoàn cảnh, nó thậm chí còn cho phép sắp xếp lại trật tự của các sự kiện theo chuyển động của người quan sát. Sự tái sắp xếp thời gian này đã làm nổi lên một vấn đề rất quan trọng: liệu nó có làm đảo lộn nguyên lý nhân quả hay không? Kết quả liệu có thể xảy ra trước nguyên nhân được không? Để hai sự kiện gắn với nhau bằng quan hệ nhân quả, thì thông tin phải được truyền từ nguyên nhân đến kết quả. Bởi vì không gì có thể đi nhanh hơn ánh sáng, nên ánh sáng là phương tiện truyền tin nhanh nhất và do đó là hiệu quả nhất trong vũ trụ. Như vậy, hai hiện tượng gắn với nhau bằng quan hệ nhân quả khi ánh sáng có thời gian lan truyền từ nguyên nhân đến kết quả trong khoảng thời gian ngắn cách chúng.

Liệu tôi có thể sinh ra trước mẹ tôi không? Liệu cái đinh có thể được đóng trước khi búa nện xuống nó? Quả bóng gôn có thể bắt đầu quỹ đạo bay của nó trước khi tôi vụt? Trả lời cho tất cả các câu hỏi này là một từ “không” dứt khoát. Thuyết tương đối không đặt lại vấn đề về nguyên lý nhân quả, vì trật tự của hai sự kiện chỉ có thể bị thay đổi nếu chúng ở đủ xa trong không gian hoặc đủ gần trong thời gian để ánh sáng không thể đi từ một sự kiện này sang một sự kiện khác trong khoảng thời gian ngắn cách chúng. Nói cách khác, quá khứ, hiện tại và tương lai của hai sự kiện này chỉ mất đi bản sắc của chúng nếu chúng không thể liên hệ với nhau một cách nhân quả bằng các thông tin được truyền bởi ánh sáng.

Trong ví dụ về sét đánh hai đầu toa tàu, ánh sáng không có thời gian để đi từ một chóp này đến chóp khác, bởi vì Jacques thấy sét đánh đồng thời cả hai đầu toa. Hai chóp như vậy không thể có quan hệ nhân quả với nhau. Trong trường hợp này, trật tự của các sự kiện có thể thay đổi do chuyển động, nên Jacques, Jean và Stéphanie là nhân chứng của các kết quả khác nhau trong thời gian. Ngược lại, ánh sáng có rất nhiều thời gian để đi từ búa tới đinh và từ gậy đến quả bóng gôn, nên trật tự của các sự kiện này không thể được sắp xếp lại bởi chuyển động tương đối của những người quan sát khác nhau. Quan hệ nhân quả được bảo toàn: tôi không thể sinh ra trước mẹ tôi.

### *Các hiệu ứng của lực hấp dẫn và của gia tốc là như nhau*

Thuyết tương đối hẹp chỉ giới hạn mô tả chuyển động của các vật theo đường thẳng với một vận tốc đều và không đổi. Nó không còn đúng vững khi mô tả các chuyển động có gia tốc, tức là khi một vật thay đổi vận tốc hoặc hướng chuyển động của nó. Nó không thể mô tả, chẳng hạn, chuyển động của xe ô tô khi ta nhấn ga hoặc rẽ.

Einstein đã nhận thấy rất rõ các hạn chế của thuyết tương đối hẹp. Sau bài báo năm 1905, nhà vật lý trẻ đã bắt đầu suy nghĩ đến cách ngoại suy thuyết tương đối của ông cho các chuyển động có gia tốc, và đặc biệt là gộp vào đó lực hấp dẫn của vạn vật rất thân thiết của Newton, vốn hoàn toàn vắng bóng một cách đáng thất vọng trong thuyết tương đối hẹp. Một ngày vào tháng 11 năm 1907, trong khi ông đang ngồi mơ màng trong phòng làm việc, thì trong đầu ông chợt lóe lên một ý tưởng – một ý tưởng mà sau này ông đánh giá là “hạnh phúc nhất cuộc đời tôi”. Ông mô tả nó như thế này: “Tôi đang ngồi trong Văn phòng sở hữu trí tuệ ở Berne thì bỗng một ý nghĩ chợt xuất hiện: nếu một ai đó rơi tự do, thì anh ta sẽ không cảm thấy trọng lượng của mình nữa. Tôi đã rất ngạc nhiên. Suy nghĩ rất đơn giản này đã có một tác động sâu sắc đối với tôi”. Thật vậy, khi bạn vấp phải một hòn đá trên đường, thì trong khoảng thời gian giữa thời điểm bạn bắt đầu ngã và thời điểm bạn cảm thấy đau khi cơ thể bạn đập xuống đất, bạn sẽ cảm thấy mất trọng lượng, giống như một nhà du hành vũ trụ trên phi thuyền không gian.

Một lần nữa “nhà ảo thuật” Einstein lại sử dụng tài tình các thí nghiệm tưởng tượng của ông. Thí nghiệm chạy nhanh như ánh sáng đã cho ra đời thuyết tương đối hẹp, góp phần vứt bỏ vĩnh viễn thời gian và không gian tuyệt đối cũng như chất ête. Còn thí nghiệm tưởng tượng về cảm giác thấy mất trọng lượng khi rơi tự do chính là nguồn gốc của thuyết tương đối rộng.

Chúng ta hãy lại gặp Jules trong phi thuyền. Xa mọi hành tinh và các ngôi sao, Jules không chịu bất cứ một lực hấp dẫn nào. Để tiết kiệm nhiên liệu, anh cho dừng tất cả các động cơ. Theo đà phi thuyền tiếp tục rẽ không gian theo đường thẳng và với vận tốc không đổi, nghĩa là không có gia tốc. Nhà du hành của chúng ta, bị gắn chặt với ghế bằng dây an toàn, bắt đầu thiu thiu ngủ. Cuốn sách anh đang đọc trước khi ngủ trôi nổi không trọng lượng ở bên cạnh. Nếu không có dây an toàn, chắc chắn Jules cũng sẽ trôi nổi trong khoang lái. Nhưng Jules chợt tỉnh dậy và quyết định đổi hướng bay. Anh cho chạy các động cơ. Phi thuyền tăng tốc. Sàn phi thuyền tới dính sát vào quyển sách đang trôi nổi. Tất cả hết như có một trường hấp dẫn được sinh ra trong phi thuyền không

gian, hút quyền sách xuống mặt sàn. Các hiệu ứng do gia tốc không đổi của phi thuyền gây ra và các hiệu ứng do một trường hấp dẫn gây ra là hoàn toàn đồng nhất với nhau. “Nguyên lý tương đương” này là cơ sở của thuyết tương đối rộng được công bố năm 1915, mười năm sau khi thuyết tương đối hẹp ra đời. Nguyên lý này nói rằng, khi bị giam trong một cabin kín, bạn sẽ không thể làm bất cứ một thí nghiệm nào khả dĩ chỉ cho bạn biết áp lực của chân bạn là do cabin của bạn đang tăng tốc đi lên (như trong thang máy đi lên hay trong một phi thuyền rời khỏi bệ phóng) hay là do lực hấp dẫn của Trái đất.

*Ánh sáng đi theo các đường viền uốn lượn của cấu trúc không-thời gian*

Nguyên lý tương đương này có những hậu quả thuộc loại kỳ lạ và bất ngờ nhất đối với hành trạng của ánh sáng. Hãy trở lại với Jules trong phi thuyền không gian đang tăng tốc xuyên không gian. Với khẩu súng bắn tia laser trong tay, nhà du hành của chúng ta đang chơi trò ngắm một bia cố định gắn vào vách của buồng lái. Tia laser (chuyển động với vận tốc ánh sáng) chỉ mất một phần rất nhỏ của giây để bay đến đích. Trong thời gian này, sàn của phi thuyền đang tăng tốc tiếp tục cao lên, khiến cho tia laser không chạm vào bia, mà một vị trí nằm hơi thấp hơn. Như thế là đường đi của ánh sáng hơi bị bẻ cong một chút. Nhưng, do các hiệu ứng của một chuyển động gia tốc đồng nhất với các hiệu ứng của một trường hấp dẫn, nên điều này muốn nói rằng đường đi của ánh sáng cũng bị lực hấp dẫn làm cho lệch hướng. Nhưng mọi khối lượng vật chất đều sinh ra một trường hấp dẫn. Do đó chúng ta đi đến một kết luận tất yếu và kỳ lạ là đường đi của ánh sáng bị vật chất bẻ cong.

Nhưng liệu có đúng là đường đi của ánh sáng bị bẻ cong trong một không gian phẳng, hay là ánh sáng chuyển động thẳng nhất trong một không gian cong? Einstein tuyên bố một cách dứt khoát: chính câu trả lời thứ hai mới là đúng. Pierre Fermat đã cho chúng ta thấy rằng ánh sáng tuân theo nguyên lý tiết kiệm. Nó đi từ điểm này sang điểm khác theo một con đường ngắn nhất có thể trong một thời gian ngắn cực tiểu. Trong một không gian phẳng, con đường này là đường thẳng. Nhưng trong một không gian cong, đó là một đường cong. Nói rằng ánh sáng bị bẻ cong bởi vật chất trên thực tế là tương đương với nói rằng vật chất làm uốn cong không gian. Thuyết tương đối rộng dạy chúng ta rằng vật chất quyết định hình học của không gian, và đến lượt mình, hình học này lại quyết định đường đi của ánh sáng. Ánh sáng không đi theo đường thẳng nữa, mà đi theo đường viền uốn cong của cấu trúc không-thời gian do

vật chất nhào nặn nên. Như vậy, mọi thiên thể đều bẻ cong không gian quanh nó, và ánh sáng đi gần nó sẽ bị lệch hướng.

Hãy xem xét ví dụ về Mặt trăng. Mặt trăng hoàn thành chuyển chu du hàng tháng của nó quanh Trái đất theo một quỹ đạo elip với Trái đất nằm ở một trong các tiêu điểm của nó. Theo Newton, quỹ đạo elip bắt nguồn từ lực hấp dẫn mà Trái đất tác dụng lên Mặt trăng, và lực này được truyền đi bởi ête. Einstein đã loại bỏ hoàn toàn các khái niệm lực và ête này: sở dĩ Mặt trăng đi theo một quỹ đạo elip bởi vì đó là đường đi ngắn nhất (mà người ta gọi là “đường trắc địa”) trong không gian bị khối lượng của Trái đất uốn cong.

Chính sự không đổi của vận tốc ánh sáng là cơ sở của thuyết tương đối hẹp. Nó cũng đóng một vai trò không kém phần quan trọng trong thuyết tương đối rộng. Ánh sáng không chỉ chạy theo và phát lộ cho chúng ta thấy những đường viền uốn cong của cấu trúc vũ trụ, mà còn là phương tiện nhanh nhất để truyền thông tin từ điểm này của *continuum* không-thời gian tới một điểm khác.

### *Các sóng hấp dẫn lan truyền với vận tốc ánh sáng*

Ném một viên đá xuống ao, các sóng tròn sẽ lan tỏa trên mặt ao từ điểm viên đá rơi xuống mặt nước cho tới khi choán một phần lớn của mặt ao. Tương tự, chúng ta hãy đặt một vật có khối lượng lớn vào một vùng của *continuum* không-thời gian mà trước đó hình học của nó là phẳng, nghĩa là nó không bẻ cong một độ cong nào. Các biến dạng không gian do lực hấp dẫn của vật gây ra sẽ lan truyền với vận tốc nào? Cần phải mất bao nhiêu thời gian để ảnh hưởng hấp dẫn của vật mới cảm nhận được và không gian quanh nó mới trở nên cong? Nhờ thuyết tương đối rộng, Einstein đã tính được vận tốc lan truyền qua không gian của các biến dạng hình học mà lực hấp dẫn của vật gây ra. Người ta gọi các sóng biến dạng này là “sóng hấp dẫn”. Đáp số thật là đẹp: vận tốc này đúng bằng vận tốc ánh sáng. Nói cách khác, nếu có một bàn tay khổng lồ nhắc Mặt trăng đi chỗ khác, thì chúng ta sẽ thấy, do không còn chịu lực hấp dẫn của Mặt trăng nữa, thủy triều sẽ biến mất sau 1,3 giây, thời gian đủ để các biến dạng hình học của không gian vượt qua được khoảng cách 384.400km giữa Mặt trăng và Trái đất. Thời gian này cũng chính là thời gian ánh sáng phải mất để đi từ Mặt trăng đến Trái đất. Nói cách khác, thủy triều sẽ biến mất vào đúng thời điểm chúng ta nhận thấy rằng Mặt trăng không còn nằm trên bầu trời nữa, điều này là hoàn toàn logic và nhất quán.

Hiện trạng này thỏa mãn tinh thần của thuyết tương đối rộng của Einstein hơn là tinh thần của lý thuyết Newton. Theo Newton, sự truyền lực hấp dẫn

của Trái đất đến Mặt trăng là tức thời, tức vận tốc là truyền của nó là vô hạn; trong ví dụ trên, thủy triều (phụ thuộc vào sự lan truyền của các biến dạng không gian) sẽ biến mất 1,3 giây trước khi Mặt trăng biến mất, bởi vì thông tin Mặt trăng đã biến mất chỉ lan truyền với vận tốc ánh sáng. Trong thuyết của Newton, kết quả lại biến mất trước nguyên nhân, điều này rõ ràng không gì kỳ lạ hơn!

### *Thiên tài được ngưỡng mộ và cô đơn*

Nhưng làm thế nào kiểm tra được ánh sáng bị vật chất làm cho lệch hướng hay không? Einstein cho rằng bằng cách quan sát các ngôi sao mà vị trí của chúng được phóng chiếu trên bầu trời ở gần với trục thẳng nối Trái đất với Mặt trời. Để đến được chúng ta, ánh sáng của các ngôi sao này phải đi qua rất gần Mặt trời và như vậy sẽ bị trường hấp dẫn của nó làm cho lệch hướng. Sự lệch hướng này được thể hiện bằng một độ dịch chuyển góc nhỏ (cỡ 1,7 giây góc, tức cỡ góc trương của một đồng euro đặt ở khoảng cách ba kilômét). Nhưng, để có thể chụp ảnh các ngôi sao này, cần phải chờ cho ánh sáng chói lòa của Mặt trời bị “chấn”. Điều này xảy ra khi có nhật thực, tức khi đĩa Mặt trăng che khuất đĩa Mặt trời. Nhưng thuyết tương đối rộng ra đời trong khi thế giới phương Tây đang chìm đắm trong một trong những cuộc xung đột đẫm máu nhất trong lịch sử nhân loại, và đã phải chờ đến cuối đại chiến thế giới thứ nhất, năm 1919, nhà thiên văn học người Anh, Arthur Eddington (1882-1944) mới thực hiện được một cuộc thám hiểm để quan sát nhật thực trên hòn đảo nhỏ Principe của Bồ Đào Nha, ngoài khơi bờ tây của châu Phi. Bất chấp thời tiết xấu, Eddington đã chụp được một số ngôi sao qua các đám mây. Ánh sáng của các ngôi sao này đúng là bị lệch hướng, chính xác bằng góc mà Einstein tính toán. Vật chất đã uốn cong không gian, làm lệch hướng ánh sáng đúng như thuyết tương đối rộng đã tiên đoán.

Ngay ngày hôm sau, Einstein đã được đẩy lên đỉnh cao của vinh quang. Báo chí trên toàn thế giới rầm rộ thông báo sự lên ngôi của một “Newton mới”, tác giả của một cuộc “đại cách mạng khoa học”. Einstein đã được nồng nhiệt chào đón bởi một thế giới chết chóc, đẫm máu, vừa thoát ra khỏi một cuộc chiến kinh hoàng và đang mong mỏi phát hiện ra một khía cạnh cao quý hơn của loài người. Công chúng, vốn còn đang mệt mỏi vì chiến tranh, đã rất vui sướng khi có thể được giải thoát bằng cách theo đuổi các khái niệm bí ẩn về tính tương đối của thời gian và không gian. Các nhà lãnh đạo chính trị, trí thức, nghệ sĩ tranh nhau đứng về phía thiên tài mới hoặc tìm cách tiếp xúc với

ông: trong số họ có Rabindranath Tagore (H.31b), Sigmund Freud và Charlie Chaplin (H.31a). Trường phái tả khuynh đấu tranh cho hòa bình của Einstein đã mang lại cho ông rất nhiều cảm tình, nhưng cũng cả những ẩn họa ở quê hương ông. Ông di cư sang Mỹ năm 1935 và làm việc cho đến cuối đời ở Viện nghiên cứu cao cấp, tại Princeton. Ông là người ủng hộ mạnh mẽ Hiệp hội các quyền con người và chỉ trích công khai Hội Quốc liên năm 1928 đã pháp điển hóa các luật lệ chiến tranh: “Chiến tranh không phải là một trò chơi mà người ta chơi bằng các luật lệ. Chiến tranh phải bị từ chối bằng mọi giá, và điều này có thể thực hiện được thực sự nếu quảng đại quần chúng từ chối quân dịch, ngay cả trong thời hòa bình”. Trên chuyến tàu chở ông đến Mỹ, Einstein đã lớn tiếng tuyên bố chủ nghĩa hòa bình của mình: “Nếu chỉ hai phần trăm số người được gọi đi nghĩa vụ quân sự từ chối và yêu cầu mọi cuộc xung đột quốc tế phải được giải quyết bằng con đường hòa bình, thì các chính phủ sẽ bất lực”.

Nhưng, dẫu được công chúng ngưỡng mộ và kính trọng, Einstein vẫn là người cô đơn. Trong hai mươi năm cuối đời, ông ngày càng xa dần vật lý



Hình 31. Sau khi thuyết tương đối rộng được kiểm tra bằng thực nghiệm của đoàn thám hiểm nhật thực năm 1919 của nhà thiên văn học người Anh, Arthur Eddington, tên tuổi của Albert Einstein đã đi vào huyền thoại. Công chúng và báo chí ngợi ca ông. Những nhân vật lớn nhất của thời đó tranh nhau đứng về phía ông mặc dù không một ai trong số họ thực sự hiểu công trình này của ông. Hollywood sản xuất ông. Trong bức ảnh (a), Einstein đứng bên cạnh Charlie Chaplin trong buổi ra mắt bộ phim *Ánh sáng kinh thành*. Chaplin có lẽ đã nói với cha đẻ của thuyết tương đối: “Tôi, người ta hoan hô tôi bởi vì tất cả mọi người hiểu tôi, còn ngài, người ta hoan hô ngài bởi vì không một ai hiểu ngài cả”. Bức ảnh (b) chụp Einstein cùng nhà thơ Ấn Độ, Rabindranath Tagore (1861-1941). Bằng cách nào một nhà nghiên cứu đơn độc mà các công trình của ông chỉ một số nhỏ các nhà vật lý hiểu được lại có thể trở thành con người nổi tiếng nhất thời đại ông?

31 a © Rue des Archives/The Granger Collection NYC. 31 b © Rue des Archives/ RDA.

đương đại. Đối với các nhà vật lý trẻ, ông ngày càng trở thành một nhân vật huyền bí mà người ta tôn kính từ xa vì những thành tựu kì diệu trong quá khứ của ông, nhưng là người không còn thực sự tiếp xúc trực tiếp với sự phát triển hiện thời của khoa học nữa. Ông chưa bao giờ thôi đối lập với cách giải thích hiện thực bằng xác suất của cơ học lượng tử, và tỏ ra rất ít quan tâm đến các phát hiện mang tính cách mạng làm đảo lộn vật lý các hạt cơ bản trong những năm 1950. Bởi vì ông không tin là đúng khi đưa thêm hai lực hạt nhân, mạnh và yếu, vào dự án đại thống nhất của ông đối với các lực cơ bản của tự nhiên, nên dự án này đã thất bại. Ông để cho các đồng nghiệp trẻ mặc sức khám phá thế giới kỳ lạ của các “lỗ đen”, những thứ mà ông chưa bao giờ tin. Có thể Einstein cần một khoảng lùi để giữ mình và để có thể suy nghĩ và sáng tạo trong sự yên tĩnh. Nhưng ông cảm thấy rằng mong muốn được đơn độc xâm chiếm toàn bộ con người ông là một phần không thể tách rời khỏi nhân cách ông. Năm 1931, ở tuổi năm mươi hai, ông viết: “Cảm giác đam mê công lý và trách nhiệm xã hội của tôi đã luôn tương phản một cách kỳ lạ với việc trong tôi không hề có mong muốn tiếp xúc trực tiếp với đồng loại. Tôi thực sự là một “lữ hành cô đơn” và chưa bao giờ có cảm giác mình thực sự hoàn toàn thuộc về một đất nước, một quê hương, bạn bè hay thậm chí chính gia đình tôi; đối mặt với những tình cảm gắn bó này, tôi luôn cảm thấy một khoảng cách nhất định, một nhu cầu được đơn độc”.

### *Ánh sáng bị cầm tù bởi các “lỗ đen”*

Lực hấp dẫn của vật chất uốn cong không gian, và ánh sáng, khi đi theo con đường ngắn nhất trong không gian cong này, bị lệch hướng. Năm 1915, trong khi xây dựng thuyết tương đối rộng để mô tả hành trạng của vật chất và của ánh sáng trong một trường hấp dẫn mạnh, Einstein đã nhanh chóng nhận ra rằng, bị đẩy đến cực điểm, lý thuyết của ông tiên đoán sự tồn tại của các đối tượng có trường hấp dẫn mạnh tới mức ánh sáng bị cầm tù ở đó. Lực hấp dẫn của chúng lớn tới mức không gian bị cuộn lại, và ánh sáng đi theo những đường viền uốn lượn của không gian bị uốn cong này không thể thoát ra ngoài được nữa. Vì lực hấp dẫn này cầm tù ánh sáng, nên độ cong cực hạn (hay kỳ dị) trong không-thời gian không bức xạ và được gọi là “lỗ đen”.

Thực ra không phải đợi đến thuyết tương đối rộng khái niệm “lỗ đen” mới ra đời. Trên thực tế, triết gia người Anh, John Mitchell ngay từ năm 1783 đã nhắc đến lỗ đen và một cách độc lập, nhà toán học và vật lý học người Pháp,

Pierre Simon de Laplace (1749-1827) đã tranh luận về nó năm 1796.<sup>1</sup> Lập luận của Mitchell và Laplace không dựa trên không gian bị uốn cong, mà dựa trên vận tốc của ánh sáng. Cần phải đạt đến một vận tốc nhất định để thoát khỏi một trường hấp dẫn. Chẳng hạn, phi thuyền không gian phải được phóng lên bầu trời với vận tốc lớn hơn 11,2km/s thì mới thoát khỏi lực hút của Trái đất, và các nhà du hành vũ trụ phải cất cánh với vận tốc 2,38km/s mới có thể đưa phi thuyền không gian của mình thoát khỏi lực hút của Mặt trăng. Giả định rằng – Michell và Laplace lập luận – tồn tại một khối lượng có lực hút mạnh đến mức vận tốc cần thiết để thoát khỏi lực hút của nó lớn hơn vận tốc của ánh sáng. Trong trường hợp như vậy, ánh sáng không thể thoát ra được và vật trở nên tối đen, không nhìn thấy được nữa.

Ngay cả Einstein, một người có thiên cảm, cũng không thể chấp nhận ý tưởng kì dị như thế về một cái “lỗ” trong không gian có thể cầm tù ánh sáng. Ông cho rằng thuyết tương đối của ông không đúng, rằng nó không thể mô tả hiện thực được nữa khi trường hấp dẫn trở nên quá mạnh, và rằng tự nhiên phải tỏ ra đủ khéo léo để ngăn cản sự tồn tại của các hiện tượng quái dị như thế. Về điểm này, ông đã nhầm. Các “lỗ đen” thực sự tồn tại. Chúng đã để lộ diện trong nhiều hoàn cảnh.

Trước hết là các lỗ đen sao, chúng bắt nguồn từ cái chết của các ngôi sao nặng. Các nhà vật lý thiên văn đã tìm được trong dải Ngân hà của chúng ta một số lượng lớn các xác sao có lõi nặng gấp ba lần khối lượng Mặt trời và khối lượng tổng cộng của chúng lớn hơn khoảng 25 lần khối lượng Mặt trời. Do thiếu nhiên liệu để duy trì lò luyện hạt nhân của mình, lõi của các ngôi sao nặng đã kiệt quệ này co mạnh lại dưới tác dụng của lực hấp dẫn, và cho ra đời một lỗ đen, trong khi đó các lớp bên ngoài của chúng chứa đầy các thành phần sinh ra từ lò luyện hạt nhân bị phóng vào môi trường giữa các vì sao trong một vụ bùng nổ khổng lồ gọi là sao siêu mới.

Ở một thái cực khác có các lỗ đen “siêu nặng” có khối lượng bằng nhiều tỉ lần Mặt trời và tụ tập ở tâm của các vật kinh dị gọi là các “quasar” (chuẩn tinh). Các quasar là những thiên thể phát ra một năng lượng phi thường bằng khoảng 100.000 tỉ Mặt trời từ một vùng chỉ lớn hơn Hệ Mặt trời chút xíu.

Các quasar không phải là các vật duy nhất chứa quỹ dữ trong lòng. Các “thiên hà có nhân hoạt tính” cũng có một tâm rất sáng, cũng phát ra một năng

---

<sup>1</sup> Laplace gọi vật này không phải là “lỗ đen” (tên được nhà vật lý học người Mỹ, John Wheeler đặt vào năm 1967) mà là “*thiên thể bị bít kín*”.

lượng kinh hoàng, nhưng yếu hơn khoảng từ 10 đến 100 lần năng lượng của các quasar, với các lỗ đen có khối lượng bằng từ 10 đến 100 lần khối lượng mặt trời. Ngay cả một thiên hà “bình thường” như Ngân hà của chúng ta cũng chứa trong lòng nó một lỗ đen bằng 3 triệu lần khối lượng Mặt trời!

### *Các lỗ đen hút ăn và tia X*

Nhưng, các bạn sẽ phản bác lại rằng nếu lỗ đen cảm tù ánh sáng thì người ta không thể nhìn thấy nó được; vậy bằng cách nào có thể biết chắc chắn là nó tồn tại? Không có ánh sáng, nhà vật lý thiên văn chẳng phải là hoàn toàn “đui” hay sao?

Câu trả lời dứt khoát là không. Các lỗ đen để lộ sự hiện diện của chúng bằng thói hút ăn. Chúng lộ diện khi ngẫu nhiên nuốt lớp vỏ khí của một (trong trường hợp lỗ đen sao) hay nhiều sao (trong trường hợp lỗ đen siêu nặng) không may gặp hoặc tiến đến gần nó. Lực hấp dẫn của chúng làm cho khí của các sao ở gần này chảy theo đường xoắn ốc tới cái miệng há hốc của lỗ đen và tạo thành một đĩa dẹt quanh lỗ đen. Trong chuyển động này của khí, các nguyên tử khí va chạm với nhau dữ dội và nóng lên đến hàng triệu độ, phát ra vô số tia X. Các tia X có thể dễ dàng bị phát hiện, vì chúng được phát ở bên ngoài miệng của lỗ đen. Như vậy bằng cách thu các tia X qua kính thiên văn tia X, các nhà vật lý thiên văn có thể phát hiện được các lỗ đen hút ăn này.<sup>1</sup>

### *Thời gian chậm lại trong trường hấp dẫn*

Không gian bị trường hấp dẫn của vật chất uốn cong. Điều này có nghĩa là ánh sáng phải bám sát các đường ngoằn ngoèo của không gian cong, đường đi như vậy dài thêm và phải mất nhiều thời gian hơn mới đến được chúng ta. Nếu trường hấp dẫn mà nó đi qua càng mạnh và không gian càng bị uốn cong thì ánh sáng càng mất nhiều thời gian hơn nữa. Cách nhanh nhất để so sánh thời gian của chúng ta với thời gian của một người khác chính là trao đổi các tín hiệu ánh sáng với người đó, điều này có nghĩa là, theo thuyết tương đối rộng, thời gian bị một trường hấp dẫn làm cho chậm lại. Hãy cùng Martine và Amélie thăm tháp Montparnasse ở Paris, chúng ta sẽ thấy điều đó.

<sup>1</sup> Để biết kỹ hơn về các tính chất của các lỗ đen, xem thêm sách của cùng tác giả *Nguồn gốc – Nỗi hoài niệm về những thuở ban đầu*, Bản dịch của Phạm Văn Thiều và Ngô Vũ, NXB Trẻ, 2006; *Hỗn độn và hài hòa*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2007.

Martine leo lên đỉnh tháp cao 210 mét còn Amélie đứng dưới chân tháp. Là người thích nghiên cứu vật lý, Amélie quyết định so sánh thời gian của mình với thời gian của Martine bằng cách cứ mỗi giây theo đồng hồ của mình lại gửi cho Martine một tín hiệu ánh sáng. Amélie, ở dưới chân tháp, vì gần tâm Trái đất hơn nên chịu một lực hấp dẫn của Trái đất mạnh hơn Martine, và các tín hiệu ánh sáng mất nhiều thời gian hơn một chút để thoát ra khỏi không gian quanh Amélie bị uốn cong hơn một chút so với không gian quanh Martine. Các tín hiệu đến với Martine sau khoảng hơn một giây. Theo quan điểm của Martine ở trên đỉnh tháp, thời gian của Amélie đã chậm lại.

Trong thực tế, sự chênh lệch thời gian giữa Martine và Amélie là vô cùng nhỏ, và các đồng hồ bình thường của họ không thể phát hiện ra được. Nhưng sự chênh lệch thời gian giữa đỉnh và chân của tháp là thực sự tồn tại. Sử dụng các máy đo tinh vi, hai nhà vật lý học người Mỹ, Robert Pound và Glen Rebka của trường Đại học Harvard đã đo được độ chênh lệch tương đối của thời gian giữa đỉnh tháp và chân tháp cao 22,5 mét là 2,5 phần triệu tỉ, hoàn toàn phù hợp với tiên đoán của thuyết tương đối rộng. Điều này có nghĩa là đồng hồ ở chân tháp và đồng hồ ở đỉnh tháp sẽ chênh nhau một giây sau một trăm triệu năm.

Việc thời gian bị trường hấp dẫn làm cho chậm lại là hoàn toàn có thực. Đối với những người sống ở tầng trệt, thời gian trôi chậm hơn so với thời gian của những người sống ở tầng cao hơn. Nhưng các hiệu ứng này là vô cùng nhỏ trong cuộc sống hàng ngày. Thật là may nếu không sẽ nổ ra khủng hoảng vì, để sống lâu hơn, ai cũng muốn sống ở tầng trệt và chẳng ai muốn lên sống ở các tầng cao!

Các hiệu ứng này sẽ trở nên lớn hơn nhiều khi lực hấp dẫn trở nên mạnh hơn, như ở gần một ngôi sao, chẳng hạn. Một tín hiệu vô tuyến đi gần đến bề mặt Mặt trời sẽ bị chậm lại cỡ khoảng hai phần triệu lần. Ở cực điểm, thời gian chậm lại tới mức nó hầu như là đứng yên. Chẳng hạn, nó sẽ không trôi nữa ở gần một lỗ đen (chính xác hơn là ở bán kính không thể quay lui của nó). Trường hấp dẫn mạnh và không gian bị cuộn lại tới mức ánh sáng không thể thoát ra được nữa. Các hình ảnh từ bên trong phi thuyền mà Jules gửi cho Jim đang ở trên Trái đất sẽ không thể đến được với Jim nữa. Khi Jules vượt qua bán kính không thể quay lui của lỗ đen, các hình ảnh này không thể được cập nhật nữa và sẽ đứng yên mãi mãi. Đối với Jim, thời gian của Jules đã dừng lại.

### *Ánh sáng và các ảo ảnh vũ trụ*

Như mọi lý thuyết khoa học lớn, thuyết tương đối rộng chứa các kho báu thật bất ngờ; nó không ngừng phát lộ cho chúng ta thấy sự giàu có đáng kinh ngạc, thậm chí đôi khi còn làm cho chính tác giả của nó cũng phải sững sờ. Nó không chỉ hé mở cho chúng ta biết sự giãn nở của vũ trụ (mà ban đầu chính Einstein cũng không tin; ông đã sửa các phương trình của mình để mô tả một vũ trụ tĩnh, không giãn nở; mãi đến năm 1929 ông mới rút lại quyết định, khi Hubbe phát hiện ra sự chạy trốn ra xa nhau của các thiên hà, và đã tuyên bố rằng thay đổi này là một “sai lầm lớn nhất đời tôi”) và sự tồn tại của các lỗ đen (mà Einstein cũng không tin nốt), mà còn nói với chúng ta về các “ảo ảnh vũ trụ”.

Ngay từ năm 1936 Einstein đã nhận thấy rằng nếu ánh sáng đi theo sự uốn cong của không gian được qui định bởi trường hấp dẫn của các thiên thể như sao hay thiên hà, thì các “ảo ảnh hấp dẫn” sẽ phải tồn tại. Einstein chứng minh rằng nếu hai ngôi sao nằm thẳng hàng với Trái đất, thì ánh sáng của sao xa nhất, để đến được chúng ta, sẽ phải đi qua trường hấp dẫn của ngôi sao ở gần hơn, và như vậy sẽ phải đi qua không gian cong bao quanh nó. Do đó ánh sáng sẽ bị lệch hướng. Sự lệch hướng này làm cho ảnh của ngôi sao ở xa bị biến dạng: ngoài ảnh bình thường của điểm sáng, còn tồn tại một ảnh thứ hai có hình chiếc nhẫn sáng bao quanh điểm này. Ảnh thứ hai này là một dạng ảo ảnh của ảnh “thật” thứ nhất, nó giống như ốc đảo xinh đẹp mà người bộ hành khát nước hy vọng sẽ được giải khát ở đó, nhưng thật thất vọng, vì đó chỉ là ảo ảnh của một ốc đảo thật ở xa hàng trăm kilômét. Vành sáng này trên thực tế không tồn tại. Giống như ảo ảnh ốc đảo được sinh ra từ sự lệch hướng của ánh sáng tới từ ốc đảo thật do không khí nóng bốc lên trên sa mạc, ảo ảnh vành sáng bắt nguồn từ sự lệch hướng của ánh sáng tới từ ngôi sao xa do trường hấp dẫn của ngôi sao ở gần hơn gây ra: từ đó mà có tên “ảo ảnh hấp dẫn”. Ngôi sao gần là một “thấu kính hấp dẫn”, vì, cũng giống như mắt kính của bạn, nó làm lệch hướng và tụ tiêu ánh sáng.

Einstein nghĩ rằng rất khó xảy ra việc hai ngôi sao nằm thẳng hàng với Trái đất như thế, rằng các “ảo ảnh hấp dẫn” chỉ tồn tại trong trí tưởng tượng phong phú của ông mà thôi và vẫn mãi mãi chỉ là các thực thể lý thuyết. Ông đã không tin vào khả năng sáng tạo kỳ diệu của tự nhiên. Tự nhiên không dùng các sao làm thấu kính hấp dẫn, mà dùng các thiên hà hay các đám thiên hà. Vì thiên hà và đám thiên hà rộng hơn (các thiên hà có đường kính hàng trăm nghìn năm ánh sáng và các đám thiên hà có đường kính khoảng ba mươi triệu năm ánh sáng), nên ánh sáng của các thiên thể ở xa có nhiều cơ hội bị các vật này chặn

và làm lệch hướng hơn. Bởi vì chúng nặng hơn (các thiên hà có khối lượng lớn gấp hàng nghìn tỉ lần khối lượng Mặt trời, còn các đám thiên hà khoảng một nghìn lần lớn hơn thế), nên trường hấp dẫn của chúng mạnh hơn rất nhiều trường hấp dẫn của một ngôi sao. Không gian như vậy bị uốn cong mạnh hơn và ánh sáng bị lệch hướng cũng nhiều hơn.

Ngày nay, các nhà thiên văn học đã phát hiện được rất nhiều ảo ảnh vũ trụ của các thiên thể khác nhau trong không gian. Đầu tiên là các quasar, tức là các thiên hà chứa trong lòng chúng một lỗ đen siêu nặng cỡ một tỉ lần khối lượng của Mặt trời và phát ra năng lượng bằng một nghìn thiên hà trong một thể tích chỉ lớn hơn Hệ Mặt trời tí chút. Khi một thiên hà nằm giữa Trái đất và quasar, nó có tác dụng như một thấu kính hấp dẫn làm nhân lên các ảnh của quasar. Ảnh của quasar này trở thành hai, ba, hoặc vô số. Chính hiện tượng nhân các ảnh lên này đã từng làm các nhà thiên văn học phải đau đầu và đã giúp họ phát hiện ra thấu kính hấp dẫn đầu tiên. Năm 1979, người ta phát hiện ra một cặp quasar có các tính chất cực kỳ giống nhau: liệu có thể cái nọ là ảo ảnh của cái kia? Nhưng, nếu đúng như vậy thì một thiên hà phải tồn tại trên đường ngắm của hai quasar và đóng vai trò là thấu kính hấp dẫn. Miệt mài tìm kiếm, các nhà thiên văn học đã phát hiện ra một thiên hà đóng vai trò này.

Như vậy trực giác của Einstein đã đúng. Ngày nay, nghiên cứu các thấu kính hấp dẫn đã trở thành một lĩnh vực nở rộ của vật lý thiên văn. Các nhà thiên văn học đã phát hiện được khoảng năm chục ảo ảnh của quasar. Họ cũng đã phát hiện thấy rằng nếu thiên hà-thấu kính có dạng cầu thì ánh sáng của quasar, thay vì sinh ra vô số các ảnh, được phân bố lại dưới dạng chiếc nhẫn sáng bao quanh ảnh của quasar, chính xác như Einstein đã hình dung.<sup>1</sup>

Không phải chỉ có thiên hà đóng vai trò thấu kính hấp dẫn. Các đám thiên hà, tập hợp hàng nghìn thiên hà được liên kết với nhau bằng lực hấp dẫn, cũng không nằm ngoài cuộc chơi này. Chúng phân tách ảnh của thiên thể xa xôi không phải thành rất nhiều ảnh, mà thành một kính vạn hoa của các cung tròn sáng. Nghiên cứu hình dạng, vị trí, độ sáng và kích thước của các cung sáng quanh các thiên hà nằm trong đám đó, các nhà thiên văn học có thể suy ra tổng khối lượng vật chất của đám đó, dù nó có phát sáng hay không phát sáng. Như vậy các đám-thấu kính, cũng giống như các thiên hà-thấu kính, là các “kính thiên văn” hảo hạng để phát hiện vật chất tối không phát ra bất kỳ một dạng bức xạ nào, và phát hiện được chỉ nhờ tác dụng hấp dẫn của nó. Vật chất tối cấu thành phần lớn (gần 98%) khối lượng của vũ trụ.

---

<sup>1</sup> Để vinh danh ông, các vòng nhẫn này được gọi là “vòng nhẫn Einstein”.

Nhưng thấu kính hấp dẫn không chỉ giúp phát hiện vật chất tối. Chúng còn là các “kính thiên văn” tuyệt vời để nghiên cứu vật chất sáng của vũ trụ, vật chất nằm trong các sao và thiên hà. Trên thực tế chúng có thể khuếch đại lên hàng chục, thậm chí hàng trăm lần độ sáng của các vật nằm sau chúng trong cùng đường ngắm từ Trái đất, cho phép nhìn được các thiên thể còn ở xa hơn nữa trong vũ trụ, và như vậy cho phép lần ngược xa hơn trong quá khứ của vũ trụ.

Vũ trụ như một trò chơi ảo tượng khổng lồ chưa đầy các ảo ảnh thách thức trí tưởng tượng của chúng ta. Thật nghịch lý, chính một phần nhờ vào những nghiên cứu về các ảo tượng vũ trụ này mà chúng ta hiểu chính xác hơn về hiện thực!

### *Vật chất giải thoát electron*

Einstein đã đạt được những thành công lớn nhất là nhờ các suy nghĩ về ánh sáng. Tìm cách trả lời cho câu hỏi: thế giới sẽ trình hiện trước mắt ta như thế nào nếu ta chạy cũng nhanh như một hạt ánh sáng, đồng thời nhấn mạnh đến sự không đổi của vận tốc ánh sáng bất chấp chuyển động của người quan sát, ông đã tạo ra một cuộc cách mạng đối với các khái niệm thời gian và không gian và thống nhất vật chất với năng lượng bằng thuyết tương đối hẹp. Bằng cách xem xét ánh sáng bị lệch hướng như thế nào bởi lực hấp dẫn của một vật, ông đã dựng nên tòa nhà tráng lệ của thuyết tương đối rộng. Nhưng thế vẫn chưa hết. Cũng trong năm 1905 kỳ diệu, trên tờ tạp chí vật lý của Đức *Annalen der Physik* (vài tháng sau cũng chính tạp chí này đã đăng bài báo về thuyết tương đối hẹp), Einstein đã công bố một bài báo nhan đề *Về một quan điểm khám phá (heuristic) liên quan đến sự tạo và biến đổi ánh sáng*. Bài báo được công bố đầu tiên này của nhà vật lý trẻ làm việc âm thầm như một “chuyên viên kỹ thuật hạng ba” tại Văn phòng sở hữu trí tuệ liên bang ở Berne sau đó đã khởi phát một cuộc cách mạng khái niệm thực sự về bản chất của ánh sáng. Giả thuyết mà Einstein đưa ra sau đó còn được dùng làm nền tảng cho cơ học lượng tử và đã hé lộ bản chất lưỡng tính của ánh sáng, vừa là sóng vừa là hạt. Nhờ nó ông đã được trao giải Nobel Vật lý năm 1921.

Để xác định bản chất của ánh sáng, Einstein suy nghĩ đến một tính chất của các kim loại gọi là “hiệu ứng quang điện”. Hiệu ứng này được nhà vật lý học người Đức, Heinrich Hertz (1857-1894) phát hiện năm 1887. Hiệu ứng quang điện là một hiện tượng trong đó các electron thoát ra khỏi bề mặt của một tấm kim loại khi có ánh sáng chiếu vào. Trong kim loại, các electron tự do liên kết

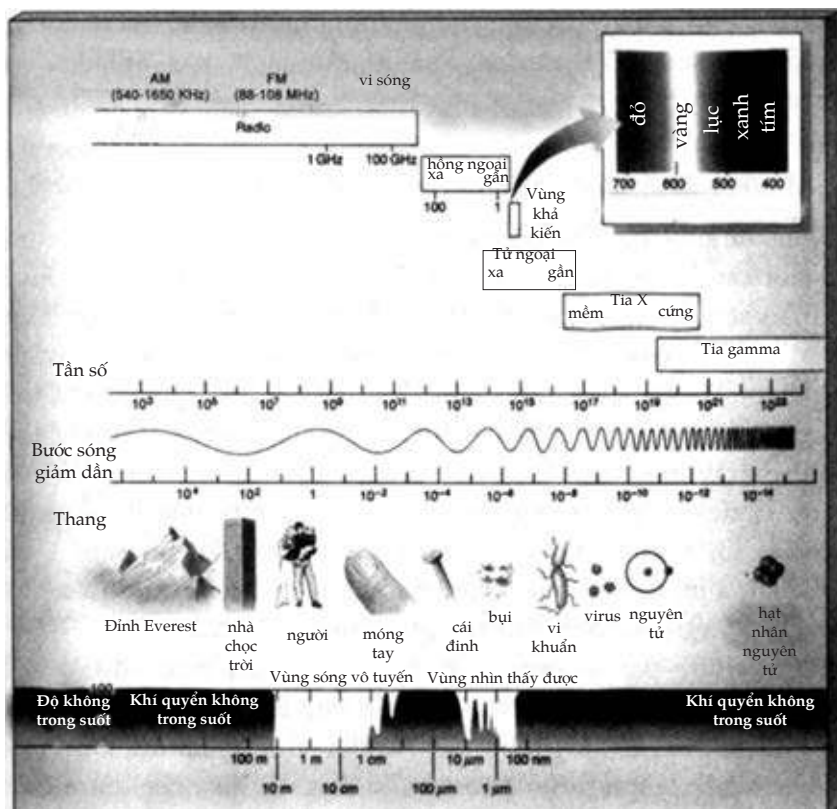
rất yếu với các nguyên tử của chúng (chính điều đó giải thích tại sao chúng là các chất dẫn điện tuyệt vời). Khi một chùm sáng đập vào bề mặt của một kim loại, nó truyền năng lượng của mình cho kim loại đó – giống như khi ánh sáng Mặt trời vuốt ve cơ thể bạn, nó truyền năng lượng của nó cho da bạn, làm cho bạn cảm thấy ấm áp. Năng lượng của ánh sáng truyền cho kim loại làm khuấy động các electron và các electron liên kết yếu nhất sẽ bị bắn ra ngoài. *Theo tiên nghiệm*, bạn tự nhủ rằng nếu muốn tăng vận tốc thoát ra của các electron, và như vậy tức là tăng năng lượng của chúng (năng lượng này phụ thuộc vào bình phương của vận tốc), thì bạn chỉ cần tăng cường độ của chùm sáng. Vậy mà, bạn sẽ hết sức ngạc nhiên khi thấy không phải như thế. Khi ánh sáng mạnh hơn, thì nó làm tăng, không phải vận tốc thoát ra của các electron, mà là số lượng của chúng. Trên thực tế, chỉ có một cách duy nhất để tăng vận tốc và như vậy là tăng năng lượng của các electron thoát ra, đó là thay đổi tần số của ánh sáng, chẳng hạn bằng cách thay đèn phát ánh sáng nhìn thấy được bằng một đèn khác phát ánh sáng cực tím mắt thường không nhìn được. Một ánh sáng có tần số cao, như các tia cực tím, chẳng hạn, thì ngay cả khi cường độ rất nhỏ, cũng giải phóng được các electron giàu năng lượng hơn một ánh sáng có tần số thấp hơn, như ánh sáng nhìn thấy, chẳng hạn, ngay cả khi ánh sáng nhìn thấy này có cường độ rất mạnh.

Trong vùng ánh sáng nhìn thấy, giảm tần số cũng có nghĩa là thay đổi màu sắc của ánh sáng từ tím sang đỏ, trải qua lần lượt tất cả các màu cầu vồng khác: chàm, lam, lục, vàng và da cam. Nếu chúng ta tăng tần số cao hơn ánh sáng màu tím, chúng ta sẽ lần lượt có ánh sáng cực tím (tử ngoại), tia X và tia gamma. Ngược lại, nếu chúng ta giảm tần số xuống dưới ánh sáng đỏ, chúng ta sẽ gặp (theo trật tự tần số giảm dần) ánh sáng hồng ngoại, vi sóng và sóng vô tuyến. Tập hợp tất cả các ánh sáng này sẽ tạo thành cái mà người ta gọi là “phổ điện từ” (H. 32) (từ “phổ” chỉ sự phân tách ánh sáng thành các tần số khác nhau). Người ta quan sát thấy rằng càng giảm tần số của ánh sáng thì vận tốc của các electron thoát ra khỏi bề mặt của kim loại giảm dần đến 0. Giảm các tần số xuống thấp hơn nữa, các electron không thoát ra, dù cường độ của ánh sáng có mạnh thế nào chăng nữa. Vì một lý do huyền bí nào đó, chính tần số của ánh sáng – và cũng tức là màu của nó – lại quyết định hành trạng của các electron, chứ không phải cường độ của ánh sáng.

Để giải thích hành trạng kỳ lạ này của các electron bị bắn ra khỏi bề mặt của kim loại, Einstein không phải tìm đâu xa. Ông đã đặt vấn đề xét lại quan niệm đã được chấp nhận rộng rãi lúc bấy giờ về bản chất sóng của ánh sáng và đưa ra giả thuyết táo bạo rằng hiệu ứng quang điện chỉ có thể hiểu được nếu ánh

sáng bị kim loại hấp thụ không phải là một sóng liên tục, mà được cấu thành từ các “hạt” hay các *lượng tử* năng lượng, hay còn được gọi là “photon”. Mỗi một photon mang một lượng năng lượng xác định. Năng lượng này không thể tùy tiện lấy bất kỳ giá trị nào, mà phải đúng bằng một bội của tần số ánh sáng.

Trong khuôn khổ giả thuyết này, Einstein đã giải thích được tất cả các sự kiện thực nghiệm quan sát được. Chẳng hạn, một ánh sáng có tần số cao chứa các hạt ánh sáng giàu năng lượng hơn một ánh sáng có tần số thấp. Các hạt ánh sáng bị kim loại hấp thụ sẽ truyền một phần năng lượng của chúng cho



Hình 32. *Phổ điện từ*. Đó là tập hợp các loại ánh sáng khác nhau. Tính chất duy nhất phân biệt loại ánh sáng này với loại ánh sáng khác chính là bước sóng, tần số hoặc năng lượng của nó. Bước sóng càng dài thì tần số và năng lượng càng nhỏ, và ngược lại. Theo trật tự bước sóng giảm dần (hay tần số và năng lượng tăng dần) ta có: sóng vô tuyến, vi sóng, hồng ngoại, các ánh sáng nhìn thấy được, tia cực tím và các tia X và gamma. Thang tương ứng với bước sóng được minh họa bằng các vật tiêu biểu. Chỉ có các sóng vô tuyến và ánh sáng nhìn thấy được mới có thể xuyên qua dễ dàng khí quyển Trái đất mà không bị hấp thụ (hình dưới). Để thu nhận tất cả các loại ánh sáng, các nhà thiên văn phải đưa lên quỹ đạo các kính thiên văn vượt ra ngoài khí quyển Trái đất.

các electron thoát ra (năng lượng này bằng tổng năng lượng của photon trừ đi năng lượng cần để bứt electron khỏi kim loại), và chính vì thế một ánh sáng có tần số cao, và do đó có năng lượng cao, sẽ cho các electron thoát ra với năng lượng cao hơn. Tăng cường độ của ánh sáng nghĩa là tăng số photon đập vào bề mặt kim loại, và như vậy là tăng số electron thoát ra. Bằng cách đó, ta không làm tăng năng lượng của các electron thoát ra, bởi vì tần số của ánh sáng không thay đổi. Mặt khác, bởi vì cần phải có một năng lượng tối thiểu để bứt một electron ra khỏi bề mặt kim loại, nên một ánh sáng có tần số thấp gồm các photon có năng lượng thấp hơn năng lượng tối thiểu này sẽ không bao giờ làm cho electron thoát ra được, dù cường độ của nó có mạnh thế nào chăng nữa.

### *Vấn đề lò phát năng lượng vô hạn*

Ý tưởng kỳ lạ cho rằng các hạt ánh sáng không thể làm bất cứ điều gì chúng thích cũng như không thể chấp nhận bất kỳ giá trị nào cho năng lượng của chúng, mà chỉ có thể nhận một số giá trị, rất xác định, tỉ lệ với tần số của ánh sáng, không phải là của Einstein, mà là của nhà vật lý học người Đức, Max Planck (1858-1947). Ngay từ cuối thế kỷ XIX Planck đã quan tâm tới bài toán nhìn có vẻ rất đơn giản về bức xạ do một vật bị nung nóng đến một nhiệt độ nào đó phát ra. Planck ngay lập tức nhận ra rằng vật lý cổ điển đã mang lại cho ông một kết quả vô nghĩa: nó ương ngạnh nói với ông rằng một vật nóng phải phát ra một lượng vô hạn năng lượng, một điều rõ ràng là phi lý.

Hãy xét ví dụ về một cái lò. Maxwell nói với chúng ta rằng bức xạ điện từ phát ra từ các thành nóng của lò bao gồm vô số các sóng. Các sóng này có các đỉnh và hõm, như sóng nước ở đại dương. Khoảng cách giữa hai đỉnh hay hai hõm liên tiếp là “bước sóng”. Số các đỉnh và hõm vượt qua một điểm của không gian trong một giây là tần số ánh sáng. Tần số thay đổi tỷ lệ nghịch với bước sóng. Một bước sóng dài ứng với một tần số thấp, một bước sóng ngắn ứng với một tần số cao. Để hiểu rõ hơn, ta hãy rung đầu của một sợi dây căng. Nếu bạn rung nhẹ nó, với một tần số thấp của tay bạn, thì bước sóng lan truyền dọc theo sợi dây sẽ dài. Ngược lại, nếu bạn rung mạnh, với một tần số cao của tay bạn, bước sóng sẽ ngắn.

Maxwell cũng cho chúng ta biết rằng mỗi một sóng điện từ phải sắp xếp trong lò sao cho tồn tại một số nguyên các đỉnh và hõm giữa hai thành đối diện của lò. Lý thuyết nhiệt động lực học (khoa học về nhiệt) của thế kỷ XIX dạy chúng ta rằng năng lượng của mỗi sóng là không đổi, dù bước sóng của nó thế nào, năng lượng này chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ của lò. Nhưng bởi vì

có một số vô hạn các sóng, mỗi sóng lại chứa cùng một năng lượng, nên tổng năng lượng của lò phải là vô hạn. Kết quả hiển nhiên là phi lý: lò không thể bùng nổ như quả bom nguyên tử khi người ta mở cửa của nó!

Sở dĩ có nghịch lý lò phát ra năng lượng vô hạn, chính là bởi vì, trong khuôn khổ của vật lý cổ điển, năng lượng của một sóng là “liên tục”: nó có thể lấy bất kỳ giá trị nào tùy thích. Để thoát khỏi nghịch lý năng lượng vô hạn, nghịch lý đã làm cho vật lý cổ điển rơi vào khủng hoảng cuối thế kỷ XIX, Planck thấy buộc phải bác bỏ định đề đã được chấp nhận rộng rãi về một năng lượng liên tục. Năm 1900, ông đã mở đầu một thế kỷ mới bằng cách buộc lòng phải đưa ra một giả thiết “đầy tuyệt vọng” nhưng mang tính cách mạng về một năng lượng không liên tục, và chính giả thuyết này đã mang lại cho ông giải Nobel Vật lý năm 1918. Theo Planck, năng lượng tối thiểu gắn với một sóng bên trong lò không thể lấy giá trị bất kỳ, mà chỉ có thể lấy một số giá trị xác định, tỷ lệ với tần số của sóng. Nói cách khác, năng lượng trở nên bị “lượng tử hóa”, và mỗi một sóng gắn với một *quantum* (lượng tử) năng lượng.

Cơ học lượng tử đã ra đời như thế. Do năng lượng được lượng tử hóa nên số các sóng đóng góp vào tổng năng lượng của lò không còn là vô hạn, mà là hữu hạn, điều này có nghĩa là năng lượng của lò cũng không còn là vô hạn nữa.

Hơn nữa, bằng cách sử dụng giả thuyết về năng lượng bị lượng tử hóa, Planck cũng giải thích được sự phân bố năng lượng bức xạ của lò. Để đạt được sự phù hợp giữa lý thuyết và các kết quả thực nghiệm, ông chỉ cần điều chỉnh một thông số: đó là hệ số tỷ lệ giữa tần số của một sóng ánh sáng và năng lượng tối thiểu mà nó có thể chứa. Hằng số tỷ lệ đó ngày nay được gọi là “hằng số Planck”. Giá trị của nó là vô cùng nhỏ, chỉ cỡ sáu phần mười triệu tỉ tỉ tính theo các đơn vị thông dụng.<sup>1</sup> Vì hằng số Planck là vô cùng nhỏ nên các hiệu ứng của tính không liên tục của năng lượng sóng chỉ có thể cảm nhận được trong thế giới nguyên tử và dưới nguyên tử, ở các thang cỡ khoảng một trăm phần triệu centimet (đường kính của một nguyên tử), thậm chí nhỏ hơn. Nếu hằng số Planck lớn hơn (cỡ khoảng 1, chẳng hạn), thì các hiệu ứng lượng tử sẽ biểu lộ ngay trong cuộc sống hằng ngày, và chúng ta sẽ thấy kỳ dị và vô cùng khó chịu. Chẳng hạn, nếu các đại lượng của cuộc sống hằng ngày đều bị lượng tử hóa và không liên tục thì chúng ta sẽ chỉ có thể đi với các bước 20, 40, 60... cm; uống 120, 240, 390...mililít; ăn 13, 26, 39... gam gạo. Mọi đại lượng sẽ là bội số nguyên của một số cực tiểu. Mọi giá trị khác – các bước 25cm, một cốc 340 mililít, một bát com 43 gam – sẽ bị cấm tiệt.

<sup>1</sup> Giá trị chính xác của hằng số Planck là  $6,63 \cdot 10^{-34}$  J.s

### Các lượng tử năng lượng

Giả thuyết mà Einstein đưa ra để giải thích hiệu ứng quang điện – tức là ánh sáng được cấu thành từ các lượng tử năng lượng – ban đầu đã bị cộng đồng các nhà vật lý đón nhận một cách lạnh nhạt và hoài nghi. Vì nó đi ngược lại với toàn bộ vật lý học của ba thế kỷ trước. Các công trình của Young, Huygens, Euler, Fresnel, Faraday và Maxwell trên thực tế đã ủng hộ mạnh mẽ quan điểm ánh sáng là sóng. Các nhà nghiên cứu nổi tiếng này đã công kích kịch liệt quan điểm của Newton theo đó ánh sáng là hạt và truyền theo đường thẳng. Quan niệm ánh sáng được tạo thành từ các hạt đã mất đi sự lừng lẫy của mình từ lâu rồi. Và lại, rất nhiều câu hỏi được đặt ra nếu ánh sáng không có bản chất sóng. Chẳng hạn, làm thế nào hiểu được các vân giao thoa của Young? Giải thích thế nào việc thêm ánh sáng vào ánh sáng lại có thể đôi khi cho bóng tối? Một sóng có thể ngược pha so với một sóng khác và triệt tiêu nó, nhưng bằng cách nào một hạt lại có thể giao thoa với chính nó (hoặc với các hạt khác) và triệt tiêu nhau? Các nhà vật lý học nghĩ rằng Einstein đã đi sai đường. Họ muốn bằng mọi giá phải bảo tồn công trình hài hòa của Maxwell và các bậc tiền bối của ông, trong đó ánh sáng không là gì khác mà chính là sóng điện từ lan truyền trong không gian.

Nhà vật lý học người Mỹ, Robert Millikan, một trong những nhà thực nghiệm tài năng nhất thời đại ông, đã hăm hở bắt tay nghiên cứu hiệu ứng quang điện. Ông rất muốn chứng tỏ rằng Einstein sai lầm, rằng giả thuyết của ông về lượng tử năng lượng là không thể đúng được. Nhưng, bất chấp định kiến của mình, ông đã phải thừa nhận: các thí nghiệm luôn nói rằng Einstein không nhầm, mà ngược lại rất có lý. Hành trạng của các electron thoát ra từ bề mặt kim loại dưới tác dụng của ánh sáng chỉ có thể hiểu được nếu ánh sáng được tạo thành từ các hạt mà năng lượng của chúng tỷ lệ với tần số của ánh sáng này. Tuy nhiên, ngay cả khi Millikan đã phải buộc lòng chấp nhận vào năm 1916 rằng sự khẳng định bằng thực nghiệm lý thuyết của Einstein là “không thể chối cãi”, nhà vật lý học người Mỹ này vẫn bảo lưu quan điểm cho rằng giả thuyết này là “phi lý” và rằng “nó có vẻ mâu thuẫn với tất cả những gì mà các nhà vật lý học đã biết về giao thoa ánh sáng”.

Planck cũng không mấy thoải mái với ý tưởng về lượng tử năng lượng, mặc dù chính ông là người đã đưa nó vào vật lý. Đó là bởi vì ông đã đưa ra nó trong bối cảnh bản chất sóng của ánh sáng, chứ không phải bản chất hạt. Đối với ông, ánh sáng phát ra từ lò là sóng, chứ không phải là hạt. Trong thâm tâm ông nghĩ rằng lượng tử hóa năng lượng của ánh sáng chỉ là một thủ thuật học toán dùng để loại trừ nghịch lý năng lượng vô hạn mà thôi. Ông thiết tha

hy vọng rằng rốt cuộc ánh sáng sẽ không xử sự như vậy, và một ngày nào đó giả thuyết “tuyệt vọng” về lượng tử năng lượng sẽ tự biến mất. Việc đưa vào ý tưởng năng lượng không liên tục đã khiến ông thực sự bị sốc và khiến cho ông cảm thấy nó giống như tà thuyết. Trong suốt nhiều năm ròng, Planck đã cố gắng sửa đổi lý thuyết của ông sao cho vẫn giữ lại được kết quả của nó, nghĩa là loại bỏ được năng lượng vô hạn của các vật bị nung nóng đồng thời cũng loại bỏ được ý tưởng về lượng tử năng lượng. Nhưng ông đã uống công. Ngay cả về sau này, khi đã phải chấp nhận rằng vật chất ở thang nguyên tử dường như có bản chất lượng tử chứ không phải liên tục, nhưng ông vẫn nghĩ rằng bản chất gián đoạn này chỉ đặc trưng cho vật chất, chứ không phải cho ánh sáng.

Thiên tài của Einstein là đã loại bỏ tất cả những né tránh này. Sự táo bạo tràn đầy tính cách mạng của ông thể hiện ở tuyên bố mạnh mẽ rằng ánh sáng được tạo thành từ các hạt có một năng lượng xác định, bằng hằng số Planck nhân với tần số của sóng, và rằng hiệu ứng quang điện chỉ có thể hiểu được nếu ánh sáng không có bản chất sóng, mà được cấu thành từ các hạt năng



Hình 33. *Einstein và Bohr*. Các tranh luận giữa Einstein và nhà vật lý học người Đan Mạch, Niels Bohr (1885-1962) về sự mô tả thực tại bằng cơ học lượng tử vẫn còn rất nổi tiếng trong các cuốn biên niên vật lý. Là một tín đồ trung thành của quyết định luận, Einstein đã bác bỏ cách giải thích xác suất về thực tại của cơ học lượng tử của Bohr. Einstein thích nhắc đi nhắc lại câu này: “Chúa không chơi trò súc sắc”. Một hôm Bohr bực mình đáp lại: “Thôi, đừng có bảo Chúa phải làm gì nữa!” © Amercian Institute/S.P.L./Cosmos.

lượng. Ông tuyên bố: “Các nền tảng hiện nay của lý thuyết bức xạ phải được xem xét lại toàn bộ”.

Trong cuộc đấu tranh trí tuệ của mình chống lại Planck và các đồng nghiệp của ông, Einstein đã nhận được sự ủng hộ bất ngờ của một nhà vật lý học trẻ người Đan Mạch hai mươi bảy tuổi, Niels Bohr (1885-1962) (H. 33), người đã đưa tính gián đoạn không phải vào trong ánh sáng, mà trong vật chất, ở ngay trung tâm của nguyên tử!

### *Tại sao vật chất lại không tự co đặc lại?*

Vào cuối thế kỷ XIX, quan điểm cho rằng nguyên tử là các yếu tố cấu thành tối hậu của vật chất và không tồn tại các thực thể còn cơ bản hơn đã thất bại. Năm 1897, nhà vật lý học người Anh, Joseph Thomson (1856-1940) đã chứng tỏ được rằng nguyên tử có cấu trúc nội tại, rằng có thể lấy ra từ một nguyên tử các hạt có điện tích âm, gọi là các electron. Ông hình dung nguyên tử như một khối cầu chứa đầy một chất có điện tích dương và các hạt điện tích âm – các electron. Sự cố kết của nguyên tử được đảm bảo bằng lực điện từ làm cho các electron bị chất mang điện tích dương hút, còn các điện tích dương thì đẩy nhau.

Mô hình một khối cầu chứa đầy các hạt đã tan thành mây khói vào năm 1910 với các thí nghiệm của một nhà vật lý học khác người Anh là Ernest Rutherford (1871-1937). Để nghiên cứu các thành phần cấu tạo nên vật chất, ông bắn phá nó bằng các hạt có vận tốc cao. Để làm điều này, ông dùng các hạt (hạt nhân của nguyên tử heli) có năng lượng cao bắn phá vào một lá vàng mỏng. Mặc dù giống như mong đợi, phần lớn các hạt đều xuyên qua lá vàng một cách rất dễ dàng, nhưng Rutherford đã rất kinh ngạc khi phát hiện ra rằng một phần rất nhỏ trong số chúng (1 trên 8.000) bị phản xạ và quay ngược trở lại. Chỉ có một cách giải thích khả dĩ: đó là bên trong của nguyên tử phải tồn tại một nhân rất đặc và rất rắn làm dội lại các hạt này. Hạt nhân này phải choán một thể tích rất nhỏ so với tổng thể tích của nguyên tử, bởi vì 99,988% các hạt đó đều bắn trượt nó và xuyên qua lá vàng mà không vướng víu gì. Ngày nay chúng ta biết rằng hạt nhân có kích thước vô cùng nhỏ cỡ một phần mười nghìn tỉ ( $10^{-13}$ ) cm, nói cách khác nó nhỏ hơn đường kính của nguyên tử 100.000 lần. Hạt nhân trong nguyên tử chỉ như một hạt gạo trên một sân bóng đá. Vật chất được cấu thành một phần lớn là từ chân không.

Vì thế Rutherford đã xem xét lại mô hình nguyên tử. Mô hình của ông được xây dựng như một hệ mặt trời thu nhỏ, trong đó hạt nhân có điện tích dương giữ vị trí của Mặt trời, các electron có điện tích âm giữ vị trí của các hành tinh,

và lực hút điện đóng vai trò lực hấp dẫn. Chỉ có một điểm không ổn trong mô hình nguyên tử của Rutherford, nhưng đó là điểm rất quan trọng! Thật vậy, một điện tích không chuyển động thẳng đều, mà chuyển động theo vòng tròn và có gia tốc, như trường hợp của electron, sẽ phải phát ra ánh sáng, do đó sẽ nhanh chóng cạn kiệt năng lượng và rơi vào hạt nhân sau một khoảng thời gian rất ngắn cỡ một phần triệu giây. Lúc đó hẳn chúng ta sẽ phải chứng kiến các vật xung quanh chúng ta sẽ lần lượt sập xuống. Bản thân chúng ta cũng chẳng tồn tại được lâu. Nhưng thực tế hoàn toàn không phải như thế. Vậy thì làm thế nào để có thể giữ được các electron và ngăn không cho chúng rơi theo đường xoắn ốc vào hạt nhân? Bằng cách nào giữ được sự bền vững của các vật trong cuộc sống hàng ngày?

### *Sự gián đoạn cũng bước vào thế giới vật chất*

Niels Bohr, người đã từng làm việc một thời gian trong phòng thí nghiệm của Rutherford ở Anh, đã giải quyết rất tài tình vấn đề này. Trong một đột khởi sáng tạo tuyệt vời, vào năm 1913, ông đã kết hợp mô hình nguyên tử của Rutherford với mô hình các lượng tử của Planck. Làm như vậy là ông đã đưa tính gián đoạn vào trong lòng của chính vật chất.

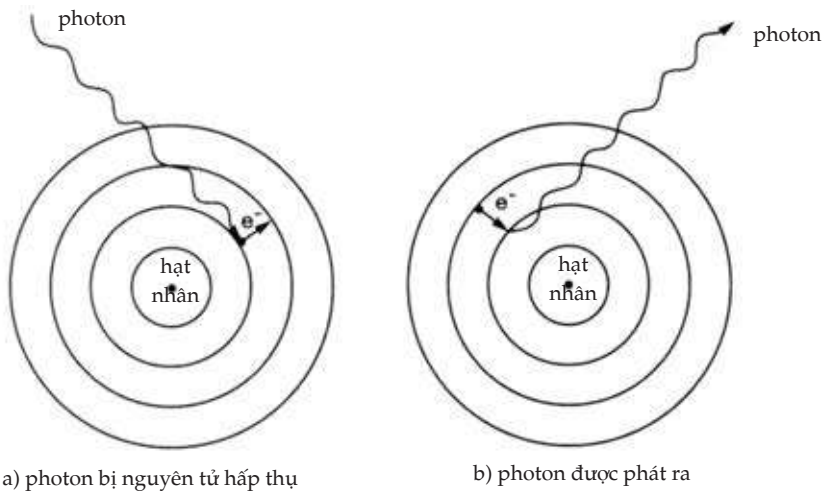
Cũng giống như ánh sáng, quỹ đạo của các electron trong nguyên tử dường như cũng có tính chất lượng tử. Bohr khẳng định rằng electron trong nguyên tử không thể chuyển động thế nào cũng được, mà phải theo các quỹ đạo xác định, ở các khoảng cách xác định so với hạt nhân, và với các năng lượng cũng rất xác định. Nói cách khác, bán kính của các quỹ đạo tròn của electron không thể biến thiên liên tục được nữa. Chúng chỉ có thể có một số giá trị rất xác định, gần với hằng số Planck. Các quỹ đạo cách nhau những khoảng trống, như các bậc của một cái thang, chỉ khác là chúng không cách đều nhau. Đặc biệt, trong mỗi nguyên tử tồn tại một quỹ đạo gần hạt nhân nhất, được đặc trưng bởi một năng lượng tối thiểu và electron không thể phiêu lưu vượt ra ngoài nó. Điều này ngăn không cho nó đến gần nhân và rơi vào hạt nhân. Chính quỹ đạo giới hạn này đã ngăn không để cho cơ thể chúng ta bị suy sập hoàn toàn! Nhưng, trong khoa học, mọi mô hình lý thuyết chỉ có thể được chấp nhận nếu được kiểm chứng bằng thí nghiệm. Vậy làm thế nào có thể kiểm chứng tính gián đoạn bên trong nguyên tử? và một lần nữa ánh sáng lại tới giúp đỡ chúng ta, vì một nguyên tử có thể phát ra ánh sáng. Để xem xét ánh sáng của nguyên tử, cần phải thu được phổ của nó, nghĩa là phân tách nó thành các thành phần năng lượng khác nhau bằng cách cho nó đi qua một lăng kính, giống như Newton

đã từng phân tách ánh sáng trắng của Mặt trời thành các dải màu từ tím đến đỏ. Ánh sáng của nguyên tử đã trình hiện một khía cạnh khá lạ lùng: phổ của nó không liên tục, mà bị băm ra thành rất nhiều vạch dọc.

Để làm ví dụ, ta hãy lấy ánh sáng nhìn thấy của nguyên tử hiđrô, nguyên tố hóa học đơn giản nhất (nó chỉ chứa một proton và một electron duy nhất quay xung quanh), nhẹ nhất và nhiều nhất trong vũ trụ. Phổ của nó trong miền nhìn thấy được đặc trưng bởi ba vạch màu: lam, lam-lục và đỏ (phổ thứ hai tính từ trên xuống của H. 2 trong tập ảnh màu). Bohr giải thích với chúng ta rằng các vạch này là sự biểu hiện trực tiếp của tính gián đoạn của các quỹ đạo electron trong nguyên tử hiđrô. Mỗi một vạch là kết quả của một sự giải phóng năng lượng. Một hạt ánh sáng được phát ra mỗi khi electron duy nhất “nhảy” (người ta gọi đó là những “bước nhảy lượng tử”) từ một quỹ đạo xa sang một quỹ đạo gần hạt nhân hơn (H. 34b). Năng lượng của hạt ánh sáng được giải phóng chính xác bằng hiệu năng lượng của quỹ đạo xuất phát và quỹ đạo đến. Chẳng hạn, vạch đỏ được sinh ra khi electron nhảy từ quỹ đạo thứ ba xa hạt nhân hơn sang quỹ đạo thứ hai, vạch lam-lục khi nó nhảy từ quỹ đạo thứ tư sang quỹ đạo thứ hai, và vạch lam khi nó nhảy từ quỹ đạo thứ năm về quỹ đạo thứ hai.

Khoảng cách của các vạch trong quang phổ là sự phản ánh trung thực khoảng cách giữa các quỹ đạo của electron trong nguyên tử. Nói cách khác, sự phân bố các vạch phổ phản ánh chính xác sự sắp xếp các quỹ đạo trong nguyên tử. Sự phân bố này là độc nhất đối với mỗi nguyên tử. Nó tạo ra một loại “dấu vân tay” của mỗi nguyên tố hóa học. Cũng giống như viên cảnh sát nhận dạng thủ phạm qua dấu vân tay đã vô ý để lại trên hiện trường vụ án, nhà thiên văn có kinh nghiệm nhận dạng được các thành phần hóa học của một thiên thể xa xôi nhờ phân bố các vạch trong quang phổ của nó. Và sở dĩ như vậy là vì tính gián đoạn của vật chất được phản ánh trực tiếp trong tính gián đoạn của ánh sáng.

Như vậy, chính bằng cách nghiên cứu quang phổ của các sao và thiên hà mà các nhà thiên văn học đã có thể phân tích thành phần hóa học của chúng và tái tạo lại lịch sử các nguyên tố trong quá trình tiến hóa của vũ trụ. Tuy vậy, triết gia theo trường phái thực chứng Auguste Comte (1798-1857) đã viết năm 1844 trong *Chuyên luận triết học về thiên văn học đại chúng*: “Vì chỉ các thiên thể chỉ được tiếp cận bằng mắt, nên rõ ràng là hiểu biết của chúng ta về những thiên thể đó là không hoàn hảo và chúng ta chỉ có thể đánh giá một cách xác đáng các hiện tượng đơn giản nhất và chung nhất, những thứ duy nhất có thể khám phá từ xa bằng thị giác. Chính sự hạn chế không tránh khỏi này đã không chỉ không cho phép chúng ta có được các tư biện về mặt hữu cơ mà cả các tư biện



Hình 34. *Tương tác của ánh sáng với một nguyên tử.* Mẫu Bohr của nguyên tử hiđrô gồm một hạt nhân (một proton) và một electron cho thấy điều gì xảy ra khi một nguyên tử hiđrô hấp thụ hoặc phát xạ một photon. Trong hình (a), photon bị nguyên tử hấp thụ, làm cho electron chuyển sang một quỹ đạo có năng lượng cao hơn. Trong hình (b), một photon được phát ra khi electron “nhảy” từ một quỹ đạo có năng lượng cao hơn sang một quỹ đạo có năng lượng thấp hơn.

về mặt vô cơ đối với bản chất hóa học hay thậm chí cả bản chất vật lý của các thiên thể đó.”. Triết gia người Pháp này đã không thể nhầm lẫn nặng hơn. Ông đã không biết rằng chỉ chưa đầy năm mươi năm sau khi viết các dòng này, các nhà khoa học đã phát hiện được tính gián đoạn ngay trong lòng của vật chất và trong ánh sáng của các tinh tú. Ông đã không thể nhận thấy rằng, nhờ có tính gián đoạn này mà ánh sáng sao chứa một mật mã vũ trụ, chỉ cần các nhà thiên văn bắt được ánh sáng này và phân tách nó thành các thành phần năng lượng khác nhau là có thể giải mã và đọc được trong các quang phổ bản chất hóa học của các tinh tú xa xôi này.

### *Một thế giới đa sắc*

Cũng chính nhờ tính gián đoạn của ánh sáng và của vật chất mà thế giới bao quanh chúng ta trở nên đa sắc. Chúng ta sống giữa một lễ hội các màu sắc. Hoa hồng và hoa tulip làm chúng ta mê mẩn bởi các màu sắc sống động của chúng. Màu xanh của lá cây làm cho tâm hồn ta tươi mát. Ngọc lam đeo nơi cổ

những người phụ nữ xinh đẹp khiến chúng ta ngây ngất. Màu sắc tinh tế của hoa súng trong tranh của Monet làm chúng ta rung cảm. Tuy nhiên, thế giới đa sắc màu này hoàn toàn không phải là do bản thân chúng ta một cách tiên nghiệm. Thật vậy, chúng ta tiếp xúc thị giác với tất cả những gì xung quanh mình bằng trò chơi của ánh sáng và vật chất. Ban ngày, phần lớn kinh nghiệm của con người chúng ta đều bắt nguồn từ những phản xạ của ánh sáng mặt trời trên các vật của cuộc sống hàng ngày. Nhưng ánh sáng mặt trời lại là màu trắng. Nếu các vật chỉ an phận phản xạ thứ ánh sáng trắng này thì mọi thứ chắc sẽ trình hiện trước mắt chúng ta chỉ với một màu trắng đồng đều và đơn điệu. Vậy thì tại sao hoa hồng lại có màu hồng, lá màu xanh, phấn màu trắng? Tại sao các vật trong cuộc sống hàng ngày lại xuất hiện trước mắt chúng ta dưới các màu sắc khác nhau?

Câu trả lời nằm trong bản chất gián đoạn của các quỹ đạo của electron trong nguyên tử cấu tạo nên vật chất. Thế giới trình hiện trước mắt ta sẽ có màu trắng nếu các vật chỉ phản xạ một cách thụ động ánh sáng mặt trời. Nhưng thực tế hoàn toàn không phải như vậy. Ánh sáng mặt trời tương tác với các nguyên tử của vật được chiếu sáng và bị thay đổi.

Trước hết cần phải nhắc lại rằng, bằng chiếc lăng kính, Newton đã chứng tỏ được rằng ánh sáng trắng không phải là không phân chia được, mà nó là một hỗn hợp các màu theo trật tự năng lượng tăng dần của các hạt ánh sáng từ đỏ đến tím qua da cam, vàng, lục, lam và chàm. Một số các màu này bị các nguyên tử của vật được chiếu sáng hấp thụ. Thật vậy, hoa hồng hấp thụ màu lam và màu tím; nó chỉ phản xạ màu đỏ, màu đỏ này hòa trộn với màu trắng để cho ra đời màu hồng của hoa hồng làm vui mắt chúng ta. Tại sao hoa hồng lại đặc biệt ưa thích màu lam và màu tím như thế? Đây là do sự sắp xếp các quỹ đạo của electron trong các nguyên tử và phân tử tạo thành các cánh hoa này. Để một nguyên tử hay một phân tử có thể hấp thụ ánh sáng, thì nó phải có các quỹ đạo được sắp xếp sao cho sự khác nhau của chúng về năng lượng đúng bằng năng lượng của các hạt ánh sáng thuộc một màu nào đó. Khi một hạt ánh sáng bị hấp thụ, electron thực hiện một cú nhảy lượng tử từ một quỹ đạo có năng lượng thấp, gần hạt nhân của nguyên tử, sang một quỹ đạo khác có năng lượng cao hơn và ở xa hạt nhân hơn, như vậy, năng lượng của ánh sáng bị hấp thụ đúng bằng sự chênh lệch năng lượng của hai quỹ đạo này (H. 34a). Trong trường hợp hoa hồng, một số quỹ đạo của electron trong các nguyên tử của hoa hồng được sắp xếp sao cho hiệu năng lượng của chúng tương ứng rất chính xác với năng lượng của các màu lam và tím. Điều này giải thích tại sao chính các màu này bị hấp thụ. Ngược lại, không tồn tại các quỹ đạo mà hiệu

năng lượng của chúng tương ứng chính xác với năng lượng của màu đỏ, do đó màu đỏ không bị hấp thụ – và vì thế hoa hồng có màu hồng.

Về phần mình, các quỹ đạo của electron trong các phân tử diệp lục của lá cây được phân bố sao cho nó có thể hấp thụ màu đỏ và màu lam, nhưng không hấp thụ màu lục, điều này làm cho lá cây có thể làm mê mẩn chúng ta bằng bộ lá xanh của chúng. Tương tự, phấn có màu trắng bởi vì nó được cấu thành từ các phân tử mà quỹ đạo của chúng được sắp xếp sao cho chúng không thể hấp thụ bất kỳ một năng lượng nào trong số những năng lượng của màu cầu vồng. Tất cả các màu của ánh sáng ban ngày đều bị phản xạ nên chúng ta thấy phấn và tường được quét vôi có màu trắng.

Sở dĩ chúng ta thoát được ra khỏi một thế giới buồn tẻ nơi các cánh bướm sặc sỡ hay các quả táo màu cam và hoa cẩm quỳ của Cézane sẽ không còn nữa, chính là nhờ tính gián đoạn ngay trong lòng của vật chất và ánh sáng, và nhờ sự đa dạng tuyệt vời của cấu trúc nguyên tử và phân tử cấu tạo nên vật chất.

### *Một hạt ánh sáng giao thoa với chính nó*

Khái niệm hạt ánh sáng hay “photon” theo Planck, Einstein và Bohr đã cho phép giải thích được bức xạ của các vật nóng cũng như hành trạng của các electron được kim loại phát ra dưới tác dụng của ánh sáng. Nó giải thích được ánh sáng của các nguyên tử và các vạch thẳng đứng hiện trên nền phổ của chúng. Nó nói cho chúng ta biết tại sao chúng ta lại sống trong một thế giới đa sắc. Quan niệm của Newton hơn ba trăm năm trước theo đó ánh sáng là một chùm các hạt lại rầm rộ xuất hiện ở tiền cảnh của sân khấu. Tuy nhiên, trên đời này không phải mọi thứ đều hoàn hảo. Lý thuyết hạt ánh sáng đã từng bị Huygens, Euler, Fresnel, Faraday và Maxwell tấn công và đánh bại trong suốt nhiều thế kỷ trước. Họ đã lớn tiếng tuyên bố rằng ánh sáng xử sự như một sóng. Sự chứng minh không thể chối cãi và cũng là ấn tượng nhất về bản chất sóng này là thí nghiệm hai khe của Thomas Young năm 1803. Như chúng ta đã thấy, khi hòa trộn ánh sáng với ánh sáng và phóng chiếu kết quả lên một màn hình, Young đã thu được không chỉ các dải sáng, mà cả các dải không có tí ánh sáng nào. Sự xen kẽ này của các dải tối và dải sáng, được gọi là các “vân giao thoa”, chỉ có thể giải thích được nếu ánh sáng là một sóng. Các vân tối ứng với những chỗ trên màn ở đó hai sóng “ngược pha” nhau – nghĩa là đỉnh của một sóng đi qua một khe đến đồng thời với hõm của một sóng khác đi qua một khe khác –, làm cho hai sóng ở đó triệt tiêu nhau hoàn toàn. Ngược lại, các vân sáng ứng với những chỗ ở đó các sóng đến “cùng pha” – nghĩa là

đỉnh của một sóng đến đồng thời với đỉnh của một sóng khác –, làm cho hai sóng ở đó tăng cường lẫn nhau.

Nhưng làm thế nào giải thích được các vân giao thoa của Young nếu ánh sáng có bản chất hạt? Bằng cách nào một hạt ánh sáng lại có thể tự triệt tiêu khi tương tác với chính nó hoặc với các hạt ánh sáng khác? Để thấy rõ bản chất sự việc, chúng ta một lần nữa xét thí nghiệm khe Young nhưng xem ánh sáng không phải như một sóng mà như một chùm các hạt.

Một chùm ánh sáng chiếu tới một bức vách trên đó có hai khe thẳng đứng giống hệt nhau. Ánh sáng đi qua bức vách được ghi lại trên một tấm kính ảnh khi một khe đóng còn khe kia mở, và khi cả hai khe cùng mở. Trước hết, hãy đóng khe bên phải và mở khe bên trái. Như ta đã dự liệu trước, trên kính ảnh cho thấy một dải ánh sáng không đồng đều ở vị trí nằm trên trục nối khe bên trái với nguồn sáng. Cường độ ánh sáng lớn nhất ở giữa của dải và giảm dần về hai mép. Bây giờ chúng ta đóng khe bên trái và mở khe bên phải. Kính ảnh khi này được chiếu sáng, như nó phải thế, ở vị trí nằm trên trục nối khe bên phải với nguồn sáng. Đến đây vẫn chưa có gì đặc biệt. Nhưng mọi chuyện chỉ trở nên kỳ lạ khi chúng ta mở đồng thời hai khe. Chúng ta có thể sẽ hồn nhiên nghĩ rằng ánh thu được trên tấm kính ảnh đơn giản chỉ là phép cộng hai ảnh trước, nghĩa là nó cho thấy hai dải sáng ở các vị trí nằm trên trục nối nguồn sáng và hai khe. Nhưng như Young đã chứng tỏ, thực tế lại không phải như vậy. Khi hai khe được mở đồng thời, trên tấm kính ảnh thu được không phải là hai dải sáng song song, mà là một dãy các dải thẳng đứng xen kẽ giữa sáng và tối (H. 35). Theo Young, không nghi ngờ gì nữa, chỉ có bản chất sóng của ánh sáng mới có thể giải thích được các vân giao thoa kỳ lạ này, các dải sáng được sinh ra từ các sóng cùng pha, còn các vùng tối từ các sóng ngược pha.

Nhưng nếu đi theo con đường của Einstein và Bohr, và nếu chúng ta giả định rằng ánh sáng được tạo thành từ các hạt, liệu chúng ta có thể nghĩ rằng các vân giao thoa là kết quả của sự tương tác của các photon đi qua khe này với các photon khác đi qua khe kia không? Sự kỳ lạ của thế giới nguyên tử và dưới nguyên tử thậm chí cũng không cho phép chúng ta đưa ra giả thiết hoàn toàn tự nhiên đó. Thật vậy, chúng ta có thể lặp lại thí nghiệm Young nhưng giảm dần cường độ của nguồn sáng, cho tới khi phát ra các photon đơn lẻ. Vậy mà, ngay cả khi chúng ta cho từng photon lần lượt đi qua hai khe, ví dụ cứ mỗi năm giây một photon, thì ảnh thu được trên tấm kính ảnh cũng không thay đổi: các vân giao thoa vẫn luôn hiện hữu. Chừng nào chúng ta vẫn còn kiên nhẫn thực hiện thí nghiệm đủ lâu để một số lượng lớn các photon (một triệu, chẳng hạn) đập vào kính ảnh, mỗi một photon để lại ở đó một vết điểm, và



Hình 35. Thí nghiệm khe Young với các photon đơn lẻ. Vật lý cổ điển tiên đoán rằng nếu các photon đơn lẻ đi qua hai khe song song trên vách, chúng sẽ phải sinh ra trên màn đặt sau vách hai dải sáng song song (hình trái). Nhưng thí nghiệm lại luôn cho thấy một dãy các dải xen kẽ sáng và tối gọi là các “vân giao thoa” (hình phải). Điều đó chỉ có thể hiểu được nếu một photon đơn lẻ đi qua hai khe cùng một lúc.

các điểm này sẽ tổ chức với nhau để vẽ nên các vân giao thoa đẹp. Hiện tượng này thực sự là phi lý và mâu thuẫn với lương tri của chúng ta. Bằng cách nào các photon đơn lẻ đi qua các khe ở những thời điểm khác nhau và đập một cách riêng rẽ vào tấm kính ảnh lại có thể hành động cùng nhau để sinh ra các dải kế tiếp tối và sáng đặc trưng của các vân giao thoa? Logic nói với chúng ta rằng mỗi photon phải đi qua hoặc là khe phải hoặc là khe trái. Chúng không thể giao thoa với chính chúng, và ta chỉ có thể thu được hai dải sáng trên kính ảnh tập trung ở hai vị trí nằm trên trục nối hai khe và nguồn sáng. Vậy mà thực tế lại không phải thế.

Nhưng thế vẫn chưa hết. Các photon còn đập mạnh hơn và nhạo báng logic hơn nữa! Nếu chúng ta xem xét kỹ hơn thí nghiệm hai khe, hành trạng của các hạt ánh sáng còn tỏ ra kỳ lạ hơn nữa. Hãy đóng khe bên phải và phóng lần lượt các photon theo hướng đến khe trái. Một số sẽ đi qua khe, một số khác không. Các tác động điểm của các photon đi qua tạo thành trên kính ảnh một dải sáng. Bây giờ hãy mở đồng thời hai khe. Các vân giao thoa xuất hiện, các dải sáng xen kẽ với các dải tối. Nhưng điều kỳ lạ là ở chỗ: các dải tối lại xuất hiện trên kính ảnh ở các vị trí được chiếu sáng khi chỉ có khe trái được mở. Nói cách khác, tác dụng của các photon đơn lẻ đi qua khe trái, khi khe phải đóng, sẽ bị triệt tiêu khi hai khe cùng mở! Lương tri của chúng ta lại một lần nữa bị thử thách khốc liệt!

Như vậy, hành trạng của một photon không như nhau tùy theo chỉ một khe hay cả hai khe cùng mở. Điều này làm lung lay quan niệm cho rằng hạt ánh sáng giống như một hạt mỗi lần chỉ đi qua một khe. Để giải thích ảnh hưởng của khe bên cạnh, chúng ta buộc phải kết luận, như nhà vật lý học người Anh, Paul Dirac (1902-1984), một trong những cha đẻ của cơ học lượng tử, rằng photon đi qua cả hai khe đồng thời, hay nói cách khác, nó “giao thoa với chính nó”.

### *Một vô hạn các con đường*

Nhà vật lý học người Mỹ, Richard Feynman (1918-1988), một trong số những người tài năng nhất của thế hệ ông và một trong những người sáng tạo nhất của thế kỷ XX, đã đẩy lên đến cực điểm quan niệm về photon đi qua đồng thời hai khe này. Theo ông, chúng ta phải loại bỏ hoàn toàn quan niệm của vật lý học cổ điển cho rằng để đi từ A đến B, photon đi theo một và chỉ một con đường, nó có một và chỉ một lịch sử. Trên thực tế, photon đi theo tất cả các con đường khả dĩ. Nó có vô số lịch sử. Có một xác suất nào đó để nó đi theo con đường ngắn nhất và trực tiếp nhất, nhưng cũng có một xác suất khác không để nó phiêu lưu theo một con đường dài hơn và cầu kỳ hơn, với tất cả các đường zíc-zắc và vòng vèo có thể tưởng tượng ra được. Cũng có thể là nó đi theo các con đường trung gian. Giống như để đi bằng xe hơi từ Paris đến Nice, bạn không đi một đường duy nhất trực tiếp qua xa lộ phía Nam, mà đồng thời đi theo tất cả các lộ trình khả dĩ khác. Có một lộ trình vòng lên phía Bắc để đi qua Lille, rồi lại ngoặt sang phía tây để qua Rouen; một lộ trình khác trình tiến về phía Đông để qua Strasbourg; và một lộ trình nữa đi qua tất cả các thành phố lớn của Pháp... Các khả năng là vô hạn, vì tất cả các con đường đều dẫn đến Rome (hay đến Nice trong trường hợp này).

Lập luận dẫn Feynman đến nhận định này rất rõ ràng. Trong thí nghiệm hai khe của Young, trên vách có hai khe và photon đi qua đồng thời cả hai khe này. Nhưng, thay vì hai khe, giả định rằng chúng ta khoét bốn khe. Vẫn logic ấy nói với chúng ta rằng photon sẽ đi qua cả bốn khe. Nếu chúng ta có khoét một trăm khe, thì sẽ có một trăm con đường khả dĩ, và cứ tiếp tục như vậy. Chúng ta có thể hình dung rằng chúng ta chia bức vách thành một số tăng dần các khe, cho tới khi các khe chồng chập lên nhau, và không còn bức vách nữa. Với bức vách và các khe đã ra ngoài cuộc chơi, Feynman hiểu rằng, để giải thích hành trạng của một photon khi nó đi từ A đến B, cần phải cộng cho nó tất cả các xác suất gắn với mỗi một hành trình khả dĩ. Nói cách khác, ông phải lấy tổng theo tất cả các lịch sử khả dĩ của photon. Chắc chắn, một số lịch sử này có xác suất lớn hơn một số lịch sử khác. Các hành trình ngắn nhất, những hành trình ở gần đường thẳng nối A và B nhất có khả năng xảy ra cao nhất. Xác suất của các hành trình này sẽ tăng cường lẫn nhau. Trái lại, các con đường phức tạp nhất và khác xa con đường thẳng từ A đến B nhất là ít khả năng xảy ra nhất. Xác suất của chúng sẽ triệt tiêu nhau gần như hoàn toàn và đóng góp ít vào tổng. Điều này giải thích đường đi gần như là thẳng tuyệt đối của ánh sáng. Nhưng, như Feynman nói: "Trên thực tế, ánh sáng không chỉ lan truyền theo đường thẳng. Nó "đánh hơi" và cũng đi quanh đường thẳng, choán một thể

tích không gian rất nhỏ xung quanh đường thẳng”. Khi sử dụng phương pháp trên – phương pháp lấy tổng theo lịch sử, – Feynman đã xây dựng thành công một lý thuyết – có tên là điện động lực học lượng tử – giải thích được một cách cực kỳ chính xác hành trạng của ánh sáng và tương tác của nó với vật chất. Trong lý thuyết đó, ánh sáng cũng đóng vai trò quan trọng trong tương tác giữa hai hạt vật chất, như hai electron chẳng hạn. Thực tế, các hạt này tương tác với nhau thông qua sự trao đổi các photon. Chính nhờ công trình này mà Feynman đã được trao giải Nobel Vật lý năm 1965 cùng với nhà vật lý người Mỹ, Julian Schwinger (1918-1994) và nhà vật lý Nhật Bản, Shinichiro Tomonaga (1906-1979). Cần ghi nhớ rằng cơ học lượng tử đã buộc chúng ta phải mở rộng một cách đáng kể khái niệm cổ điển quá khứ và lịch sử. Chúng ta sẽ còn quay lại các khái niệm này.

### *Lưỡng tính sóng - hạt*

Thí nghiệm khe Young tiết lộ cho chúng ta biết rằng các hạt ánh sáng của Einstein khác căn bản với các hạt của Newton. Newton đã quan niệm hạt ánh sáng như các hạt đơn thuần thoát ra từ nguồn sáng, giống như viên đạn bắn ra từ nòng súng. Trái lại, sự hiện diện của các vân giao thoa và hành trạng của photon thay đổi tùy theo một khe khác có được mở hay đóng nói với chúng ta rằng các hạt ánh sáng của Einstein cũng có vẻ sóng. Vả lại, việc năng lượng của một photon phụ thuộc vào tần số của ánh sáng vốn làm chúng ta khó chịu, vì khái niệm về tần số thường chỉ gắn với một sóng. Như vậy, chúng ta phải chấp nhận rằng ánh sáng có hai khuôn mặt giống như Janus; nó vừa là sóng vừa là hạt, nghĩa là nó có bản chất lưỡng tính.

Một câu hỏi đắt giá được đặt ra! Khi nào ánh sáng khoác chiếc áo sóng và trong những hoàn cảnh nào nó chung ra bộ áo hạt? Câu trả lời rất đơn giản: ánh sáng là sóng khi chúng ta không đo nó, khi chúng ta không dò bắt nó; nhưng, ngay khi chúng ta sử dụng một máy dò (detector) để xác định các tính chất của nó, nó liền biến thành hạt. Chúng ta biết điều này một lần nữa nhờ thí nghiệm khe Young.

Hãy đặt một máy dò ánh sáng ngay sau một trong hai khe để theo dõi photon đi qua. Trong thí nghiệm thứ nhất, máy dò không được bật. Trong trường hợp này, các vân giao thoa xuất hiện trên màn hình, và chúng ta biết rằng ánh sáng khoác chiếc áo sóng. Bây giờ chúng ta hãy cho máy dò hoạt động. Ngay lập tức, hai dải ánh sáng xuất hiện trên màn đặt sau các khe; các vân giao thoa không còn ở đó nữa. Vậy là ánh sáng khoác chiếc áo hạt. Trong

trường hợp thứ nhất, bởi vì các máy dò không hoạt động, nên chúng ta không biết mỗi photon đi qua khe nào, khe trái hay khe phải; trong trường hợp thứ hai, vì các máy dò hoạt động, nên chúng ta biết được điều đó. Để thay đổi bộ dạng của các photon, chúng ta chỉ cần cho máy dò hoạt động. Nói cách khác, người quan sát ở đây đóng một vai trò trung tâm. Trong thế giới các nguyên tử, chính người quan sát tạo ra hiện thực. Hiện thực nguyên tử và dưới nguyên tử không còn là khách quan nữa, mà là chủ quan. Giống như Salomon, chúng ta không thể nói dứt khoát: vì ánh sáng vừa là sóng vừa là hạt. Quan điểm của Einstein (ánh sáng được tạo thành từ các hạt năng lượng) cũng đúng như quan điểm của Huygens, Young, Fresnel, Faraday và Maxwell (ánh sáng có bản chất sóng). Hai cách mô tả không loại trừ nhau, mà bổ sung cho nhau. Đó chính là điều mà Bohr gọi là “nguyên lý bổ sung”.

Nhưng tự nhiên vẫn chưa hết làm chúng ta ngạc nhiên và làm ngược với trực giác của chúng ta. Tự nhiên, không chỉ trao cho ánh sáng một bản chất lưỡng tính, mà còn cấp cho ánh sáng vật chất. Còn kì lạ hơn thế, các viên gạch vật chất – electron, proton và neutron –, mà chúng ta tin chắc chắn là thuộc đội ngũ các hạt, lại cũng có các dáng vẻ sóng! Năm 1923, một nhà vật lý trẻ người Pháp, hoàng tử Louis de Broglie (1892-1987), là người đầu tiên đã đưa ra quan niệm rằng vật chất cũng phải có một hành trạng sóng. Lập luận của ông đơn giản và như có thần cảm. Einstein đã dạy chúng ta bằng công thức  $E = mc^2$ , công thức nổi tiếng nhất trong toàn bộ lịch sử vật lý, rằng khối lượng  $m$  của vật chất liên hệ với năng lượng  $E$  của nó bằng bình phương vận tốc  $c$  của ánh sáng. Mặt khác, Planck và Einstein nói với chúng ta rằng năng lượng này lại liên hệ với tần số của một sóng. Điều này dẫn tới hệ quả là vật chất cũng có bản chất sóng, với một bước sóng hay một tần số gắn liền với nó.

Quan điểm này vẫn chỉ là lý thuyết cho tới giữa những năm 1920, khi hai nhà vật lý người Mỹ làm việc tại Công ty Điện thoại Bell Laboratories, là Clinton Davisson (1881-1958) và Lester Germer (1896-1971), đã tiến hành các thí nghiệm khe Young, nhưng không phải với một chùm ánh sáng, mà là với chùm electron. Thay vì cho chùm electron đi qua hai khe trên vách, hai nhà vật lý bắn chúng vào các tinh thể nickel, các hàng nguyên tử nickel ở bên trong các tinh thể này đóng vai trò như các khe Young. Còn ảnh kính được thay bằng một màn hình lân quang ghi sự va đập của một electron bằng một điểm sáng giống như màn hình ti vi. Kết quả thật đáng chú ý: ngay cả khi bắn từng electron một vào tinh thể nickel, các electron vẫn vẽ nên trên màn hình các vân giao thoa với các vùng tối và sáng xen kẽ nhau. Không nghi ngờ gì nữa vật chất cũng có một bản chất sóng. Các electron và các phần tử cấu thành khác của vật

chất tương tác với chính chúng, triệt tiêu nhau ở một số vị trí và tăng cường nhau ở một số vị trí khác; chúng xử sự đúng như các photon. Trục giác thiên tài của Broglie đã được kiểm chứng, và giải Nobel Vật lý đã được trao cho ông năm 1929. Còn Davisson và Germer tám năm sau cũng được nhận giải Nobel.

### *Ngẫu nhiên ở ngay trong lòng nguyên tử*

Với phát minh ra phương trình sóng cho một hạt vào năm 1925, phương trình ngày nay mang tên ông, nhà vật lý học người Áo, Erwin Schrödinger (1887-1961) đã đặt cơ sở toán học vững chắc cho trục giác thiên tài của de Broglie. Các nhà vật lý học đã nhanh chóng sử dụng phương trình Schrödinger để tính toán các tính chất của thế giới dưới nguyên tử: cấu trúc của nguyên tử, các mức năng lượng của electron, và tất cả những gì diễn ra ở đó. Các kết quả thu được luôn luôn phù hợp với quan sát. Như vậy, vật chất chắc chắn là có các dáng vẻ của sóng. Nhưng một câu hỏi vẫn còn bỏ ngỏ: đó là sóng của một hạt nghĩa là gì?

Một sóng được mô tả ở mỗi một thời điểm bởi một dãy các con số. Thật vậy, đối với một sóng ánh sáng, dãy số thể hiện cường độ và phương chiều của điện trường và từ trường ở mỗi một điểm của không gian. Nhưng khi đó là một electron (hay các hạt khác), đại lượng dao động và biến thiên như một sóng nước là gì?

Schrödinger nghĩ rằng phương trình của ông mô tả các electron “trải” ra trong toàn bộ không gian, như các sóng tròn do một viên đá ném xuống ao tạo ra và lan khắp mặt ao. Nhưng giả thiết này không có ý nghĩa gì, bởi vì chúng ta không quan sát được các mẫu của electron, một phần ba electron ở đây hay một nửa electron ở kia, phân tán trong không gian! Các sóng electron rõ ràng không phải là các sóng vật chất. Cuối cùng, nhà vật lý học người Đức, Max Born (1882-1970) mới là người tìm ra câu trả lời đúng đắn vào năm 1926: theo ông, sóng được mô tả bằng phương trình Schrödinger hoàn toàn không phải là một sóng cụ thể được tạo thành từ vật chất, mà là một sóng trừu tượng, được tạo ra bởi các xác suất.

Quan điểm của Born thách thức lương tri của chúng ta, như chúng ta sẽ thấy khi xem xét tình huống sau. Trong trò chơi bi, một viên bi được bắn vào một viên khác đang đứng yên. Sau khi va chạm, hai viên bi đi theo hai hướng và với các vận tốc khác nhau. Các hướng và vận tốc này có thể được tính toán một cách chính xác bằng các định luật cơ học cổ điển của Newton, nếu biết lực tác dụng vào viên bi thứ nhất và hướng mà nó được bắn đi. Bây giờ hãy

thay viên bi thứ nhất bằng một electron và viên thứ hai đứng yên bằng một nguyên tử. Hãy bắn electron vào nguyên tử. Sau khi va chạm với nguyên tử, đường đi của electron không còn được xác định nữa. Nhưng, bằng phương trình Schrödinger, người ta có thể tính xác suất gặp electron ở một điểm nào đó. Born nói với chúng ta rằng xác suất này bằng bình phương của biên độ sóng. Cơ may gặp electron sẽ lớn nhất ở các đỉnh (hoặc hõm) sóng, và nhỏ nhất ở các nút sóng (nơi có biên độ bằng không). Nhưng, ngay cả ở các đỉnh sóng, bạn cũng không bao giờ biết chắc chắn là sẽ nhìn thấy electron. Có thể là hai trong ba lần (xác suất 66%) hay bảy trong mười lần (xác suất 70%), nhưng xác suất này không bao giờ là 100%.

Ngẫu nhiên ở đây răm rộ bước vào thế giới nguyên tử. Nhưng ngẫu nhiên này khác với ngẫu nhiên của thế giới vĩ mô. Ai trong chúng ta cũng đều đã quen với các trò chơi may rủi trong thế giới hàng ngày. Khi chúng ta chơi cá ngựa, khi chúng ta gieo đồng xu hoặc một con súc sắc lên bàn, hay khi chúng ta chơi trò cò quay (ru-lét) ở sòng bạc, là chúng ta đều nói đến xác suất. Chẳng hạn, xác suất để một đồng xu rơi sấp hoặc ngửa là 50%, hay xác suất để con súc sắc rơi hiện một trong các mặt của nó là  $1/6$  (tức 16,6%). Nhưng, trong các trường hợp này, ngẫu nhiên chỉ đơn thuần là sự phản ánh sự hiểu biết không đầy đủ của chúng ta. Về nguyên tắc, nếu chúng ta biết chính xác vị trí ban đầu của đồng xu, lực tung đồng xu, lực cản của không khí,... thì bằng các định luật của cơ học cổ điển chúng ta có thể xác định chính xác đồng tiền sẽ rơi sấp hay ngửa. Tương tự, nếu chúng ta có một hiểu biết hoàn hảo về chuyển động của các ru-lét ở sòng bạc, của các viên bi và sự tương tác giữa chúng, và chúng ta có các máy tính đủ mạnh để thực hiện các phép tính cần thiết, thì về nguyên tắc chúng ta có thể biết trước viên bi sẽ đi vào đâu trong ba mươi bảy ngăn của bánh xe. Đó là điều mà nhà vật lý người Pháp, Pierre Simon de Laplace đã muốn thể hiện trong trích đoạn nổi tiếng đã trở thành tin đồn của quyết định luận: “Một trí tuệ, ở một thời điểm đã cho, nếu biết tất cả các lực thúc đẩy tự nhiên và hoàn cảnh của từng sinh vật cấu thành tự nhiên, và nếu trí tuệ ấy đủ lớn để có thể phân tích tất cả các dữ liệu này, thâu tóm chúng trong cùng một công thức về chuyển động của các vật lớn nhất của vũ trụ cũng như các vật nhẹ nhất như các nguyên tử; thì sẽ không có gì là bất định đối với nó, đồng thời tương lai cũng như quá khứ đều trình hiện trước mắt nó”. Nói cách khác, nếu chúng ta biết chính xác các định luật của vũ trụ cũng như trạng thái ở thời điểm ban đầu của nó, thì chúng ta có thể tiên đoán chính xác trạng thái của vũ trụ ở bất kỳ thời điểm nào sau đó. Nhưng, ngay cả khi biết rõ các định luật vật lý một cách hoàn hảo đi nữa, thì chúng ta cũng chỉ có thể biết được trạng thái

ban đầu một cách gần đúng, và do đó chúng ta không thể nói trước được đồng tiền sẽ rơi sấp hay ngửa, cũng chẳng thể biết được số của bánh xe mà viên bi sẽ rơi vào. Chính vì thế mà chúng ta nói đến ngẫu nhiên. Và lại để vết sạch túi của bạn, các sòng bạc dựa trên một thực tế là bạn sẽ không bao giờ biết đầy đủ về tình trạng ban đầu và do đó bạn không thể dự báo được con số sẽ xuất hiện để mà đặt tiền vào đó. Trong thế giới vĩ mô, ngẫu nhiên là một cái tên khác của sự hiểu biết không đầy đủ của bạn về sự vật hiện tượng. Trái lại, trong thế giới dưới nguyên tử, khái niệm ngẫu nhiên có một bản chất cơ bản hơn. Nó không gắn với một sự hiểu biết không đầy đủ, mà đã được ghi sẵn trong lòng của chính các nguyên tử. Trước khi quan sát, chúng ta không bao giờ có thể nói được rằng electron nằm ở vị trí nào. Chúng ta chỉ có thể nói rằng electron có một xác suất nào đó nằm ở vị trí này hay khác.

### *Một con mèo lơ lửng giữa sống và chết*

Sự bùng phát của ngẫu nhiên trong thế giới nguyên tử là điều chẳng mấy thích thú đối với một số nhà vật lý. Erwin Schrödinger, cha đẻ của hàm sóng giúp ta định lượng được ngẫu nhiên thông qua tính toán các xác suất, đã từ chối chấp nhận sự mô tả hiện thực bằng các tiềm năng chỉ được vật chất hóa khi quan sát. Bằng chứng là lời thốt lên từ trái tim của ông: “Tôi sẽ rất lấy làm tiếc nếu một ngày nào đó tôi bị trộn lẫn vào thuyết lượng tử!” Và ông miệt mài đi tìm các ví dụ trong cuộc sống hàng ngày để chứng tỏ rằng việc tư duy về hiện thực thông qua các xác suất, như cơ học lượng tử làm, chỉ có thể dẫn đến các kết luận phi lý. Và thế là ra đời câu chuyện về con mèo nổi tiếng của ông.

Chúng ta hãy tưởng tượng, ông nói, một con mèo bị nhốt trong một phòng với một lọ thuốc độc xianua. Bên trên bình thuốc độc có một cái búa được điều khiển bằng một chất phóng xạ mà các hạt nhân của nó tự phát phân rã sau một khoảng thời gian nào đó. Khi hạt nhân đầu tiên phân rã, cái búa sẽ rơi xuống và làm vỡ bình, giải phóng xianua đầu độc chết con mèo. Cho tới lúc này thì vẫn chưa có gì là đặc biệt. Nhưng các vấn đề sẽ nổi lên ngay khi chúng ta tiên đoán về số phận của con mèo. Thực tế, sự sống của con mèo phụ thuộc vào lần phân rã đầu tiên. Vậy mà, theo cơ học lượng tử, sự sống này chỉ có thể được mô tả bằng xác suất: có 50% cơ hội để một nhân phân rã (hoặc không phân rã) sau một giờ. Chừng nào chúng ta chưa vào trong phòng để kiểm tra xem con mèo đã chết hay còn sống, thì chúng ta chỉ có thể nói rằng sau một giờ con mèo là một tổ hợp của 50% mèo chết và 50% mèo sống. Bất định luận của thế giới dưới nguyên tử đã lan toả sang cả thế giới vĩ mô. Schrödinger không thể

chấp nhận một mô tả như thế về thế giới. Theo ông, con mèo hoặc sống, hoặc chết. Nó không thể đồng thời vừa sống vừa chết.

Trong cuộc chiến chống lại cách giải thích xác suất của cơ học lượng tử, Schrödinger có thể trông cậy vào một đồng minh lớn, đó là Einstein. Là một người theo quyết định luận kỳ cựu, Einstein cũng bác bỏ quan điểm cho rằng các thành tố cơ bản của thế giới lại xử sự theo cách về cơ bản là có tính xác suất. Einstein tin rằng cơ học lượng tử là chưa đầy đủ, hoặc là đã đi sai đường. Niềm tin ấy được ông thể hiện mạnh mẽ trong câu nói nổi tiếng: “Chúa không chơi trò súc sắc!”.

Thế nhưng không phải cơ học lượng tử, với cách mô tả hiện thực thông qua các xác suất, mà là chính Schrödinger và Einstein mới sai lầm. Cơ học lượng tử là một lý thuyết đúng đắn. Từ khi ra đời đến nay, nó đã luôn được kiểm chứng bằng thực nghiệm trong các hoàn cảnh khác nhau nhất. Còn về nghịch lý con mèo của Schrödinger, lý thuyết mất kết hợp (*décohérence*) có thể mang lại một phần câu trả lời, như chúng ta sau này sẽ thấy dưới đây. Chúng ta phải chấp nhận thực tế là, trong thế giới nguyên tử, ngẫu nhiên có tác dụng giải phóng cơ học lượng tử đã giữ vai trò thống trị và quyết định luận đã từng gò bó cơ học cổ điển đã không còn đất tồn tại nữa. Mô hình nguyên tử của Bohr, trong đó các electron ngoan ngoãn quay quanh nhân theo các quỹ đạo chính xác, giống như cách các hành tinh quay quanh Mặt trời, đã tan vỡ thành mây khói. Nguyên tử giờ đây phải được hiểu như một không gian gần như trống rỗng trong đó các electron nhảy múa và lượn quanh một hạt nhân rất nhỏ, phô bày chiếc áo sóng của nó và choán toàn bộ không gian trống rỗng của nguyên tử. Vì không còn phải chịu sự bức chế cứng nhắc của thế giới quyết định luận, ở đó mỗi một electron phải cho biết một cách chính xác vị trí và tốc độ của mình, giờ đây các electron khoác chiếc áo sóng cùng một lúc hiện diện ở khắp nơi trong phòng khiêu vũ rộng lớn của nguyên tử.

### *Một bất định cơ bản*

Nhưng thế vẫn chưa hết những điều kỳ lạ của cơ học lượng tử. Nó vẫn còn rất nhiều trò khác. Ngay cả khi bạn đặt một máy dò để quan sát các electron và khi đó chúng biến hình thành hạt, thì bạn cũng không bao giờ xác định được chính xác cùng lúc vận tốc và vị trí của chúng. Lý do nằm ở hành động quan sát và chính bản chất của ánh sáng. Bản chất của ánh sáng nhập cuộc vì, để quan sát một electron (hay mọi hạt khác), cần phải chiếu sáng nó bằng một chùm photon. Vậy mà, Planck và Einstein nói với chúng ta rằng mỗi một

photon có năng lượng tỉ lệ thuận với tần số của ánh sáng, và tỷ lệ nghịch với với bước sóng. Bước sóng là khoảng cách giữa hai đỉnh hoặc hai hõm liên tiếp của sóng ánh sáng, và quyết định mức độ chính xác mà chúng ta có thể định vị được electron. Năng lượng càng yếu thì bước sóng càng dài, và vị trí của electron càng không chính xác. Ngược lại, năng lượng càng cao thì bước sóng càng ngắn, và vị trí của electron càng chính xác. Để xác định chính xác vị trí của một electron, do đó cần phải chiếu sáng nó bằng một ánh sáng có năng lượng lớn (như tia X hay tia gamma, chẳng hạn). Nhưng chỉ riêng vị trí của electron thôi thì chưa đủ để mô tả nó. Chúng ta còn cần phải biết chuyển động bằng cách đo vận tốc của nó. Nhưng khi bắn electron bằng photon có năng lượng lớn, chúng ta sẽ làm nhiễu loạn chuyển động của nó. Và năng lượng của photon càng lớn thì sự nhiễu loạn này cũng càng lớn.

Như vậy chúng ta vấp phải một tình thế lưỡng nan: hoặc chúng ta đo vị trí chính xác của electron bằng cách chiếu nó bằng một ánh sáng có năng lượng lớn và sẽ phải từ bỏ việc đo chính xác vận tốc của nó; hoặc là chúng ta đo vận tốc của nó chính xác nhất có thể bằng cách chiếu nó bằng một ánh sáng có năng lượng nhỏ nhất có thể và từ bỏ việc xác định vị trí của nó một cách chính xác. Sẽ không bao giờ giải quyết được thế lưỡng nan này, vì tính bất định của hiện thực của electron không phải là do các dụng cụ đo của chúng ta không đủ hiện đại, hay do một khiếm khuyết trong cách tiến hành của chúng ta. Nhà vật lý người Đức, Werner Heisenberg (1901-1976) đã chứng tỏ vào năm 1927 rằng sự mờ nhòe của hiện thực này là một tính chất cơ bản của thế giới nguyên tử và dưới nguyên tử. Thế giới này bị chi phối bởi cái mà Heisenberg gọi là “nguyên lý bất định”.<sup>1</sup>

Một lần nữa chúng ta gặp lại ở đây sự tương tác giữa người quan sát và vật được quan sát. Chính người quan sát quyết định hiện thực, bởi vì chính anh ta quyết định sử dụng loại ánh sáng nào và muốn đo chính xác nhất vận tốc hay vị trí của hạt. Nói về một hiện thực “khách quan” đối với electron, một hiện thực tồn tại không cần người ta quan sát nó, là vô nghĩa, vì người ta không bao giờ nắm bắt được hiện thực đó. Hiện thực này tất yếu phải được sửa thành hiện thực “chủ quan” phụ thuộc vào người quan sát và dụng cụ đo của anh ta. Các nguyên tử cấu thành một thế giới các tiềm năng; chúng chỉ trở thành các sự vật và sự kiện sau hành động đo của người quan sát.

---

<sup>1</sup> Werner Heisenberg đã biểu thị được bằng toán học mối quan hệ giữa độ chính xác trong phép đo vị trí và độ chính xác trong phép đo vận tốc của một hạt: tích của độ bất định về vị trí và độ bất định về vận tốc luôn bằng hoặc lớn hơn hằng số Planck chia cho  $2\pi$ .

### *Các hạt trong bóng tối được vật chất hóa*

Cơ học lượng tử là một kẻ nổi loạn, nó vi phạm một cách trắng trợn các điều cấm kỵ của cơ học cổ điển. Nó cho phép tồn tại các hiện tượng, cái này còn kỳ cục hơn cái kia. Đặc biệt, nó làm cho một số “lỗ đen” rất nhẹ, mà người ta nghĩ là hoàn toàn cấm đối với ánh sáng, lại có khả năng bức xạ và bốc hơi hoàn toàn thành một chớp sáng. Cơ học lượng tử thực hiện trò ảo thuật này nhờ viện đến nguyên lý bất định của Heisenberg không phải dưới dạng quen thuộc mà dưới một dạng khác. Thật vậy, tự nhiên không phải chỉ ngăn cản chúng ta biết đồng thời vị trí và vận tốc của một hạt cơ bản, mà nó còn làm cho năng lượng của hạt ấy nhòe đi. Sự nhòe này phụ thuộc vào thời gian sống của nó: năng lượng càng bất định thì nó sống càng ngắn.<sup>1</sup> Sự nhòe này của năng lượng trong thế giới lượng tử cho phép tự nhiên vi phạm một nguyên lý thiêng liêng, đó là định luật bảo toàn năng lượng, định luật chi phối thế giới vĩ mô, theo đó “không có gì tự nhiên sinh ra”. Trong thế giới nguyên tử, tự nhiên có thể vay mượn năng lượng mà không phải trả lại ngay, đồng thời sử dụng năng lượng vay được miễn phí này để tạo ra các hạt cơ bản bởi vì, như Einstein đã dạy chúng ta, vật chất và năng lượng là tương đương với nhau. Nhưng sự vay mượn năng lượng này phải tuân theo nguyên lý bất định. Sớm muộn gì rồi nó cũng phải hoàn trả, và năng lượng vay càng nhiều thì việc hoàn trả phải càng nhanh.

Các hạt sinh ra từ nhòe của năng lượng như thế có cuộc sống rất ngắn ngủi. Chúng sinh ra và bị hủy đi theo sự vay và trả năng lượng được tự nhiên thực hiện theo các vòng luân hồi dữ dội kéo dài vô cùng ngắn (khoảng  $10^{-43}$  giây). Người ta gọi chúng là các hạt “ảo”, vì, nếu để tự thân, thì chúng sẽ không bao giờ có thể rời bỏ thế giới bóng tối để có được sự tồn tại ổn định trong thế giới thực. Chỉ trong nháy mắt là chúng biến mất để rồi lại xuất hiện và rồi lại biến mất. Khi bạn đang đọc các dòng này, trong một centimét khối của không gian bao quanh bạn có thể chứa tới 1.000 tỉ tỉ (10<sup>30</sup>) electron ảo.

Nhưng, trong một số hoàn cảnh, một hạt ảo có thể được “hiện thực hóa”, đi vào thế giới thực. Thật vậy, nếu nó tìm được một nhà hảo tâm hào hiệp trả giúp nó món nợ năng lượng, thì nó có thể rời bỏ thế giới ảo để bước vào thế giới vật lý. Các lỗ đen có thể đóng vai trò nhà hảo tâm này và giúp cho các hạt ảo hiện thực hóa tiềm năng của chúng. Sở dĩ như vậy là vì trường hấp dẫn của lỗ đen là cực kỳ mạnh và cực kỳ giàu năng lượng. Trường hấp dẫn này sẽ trả

<sup>1</sup> Chính xác hơn, tích của độ bất định về năng lượng của một hạt và độ bất định về thời gian sống của nó phải lớn hơn hoặc bằng hằng số Planck chia cho  $2\pi$ .

giúp các món nợ năng lượng cho các hạt ảo (và của các phản hạt của chúng, các phản hạt này có tất cả các tính chất của các hạt tương ứng, trừ điện tích của nó có dấu ngược lại) nằm ngay trên bán kính không thể quay lui của lỗ đen. Một khi món vay của chúng đã được trả, các hạt này sẽ bước ra khỏi thế giới ảo để đi vào thế giới thực.

Hãy theo dõi số phận của một cặp electron-phản electron (hay positron). Nhờ có sự hào hiệp của một lỗ đen trả hộ món vay năng lượng, cặp này đã rời bỏ thế giới ảo để được hiện thực hóa. Nhiều trường hợp có thể xảy ra. Hoặc là cặp này bị rơi vào vòng xiết hấp dẫn của lỗ đen, rồi rơi vào cái miệng háu ăn của nó, trong trường hợp này cuộc dạo chơi trong thế giới thực của cặp electron - positron sẽ rất ngắn ngủi. Hoặc là chỉ có electron thoát khỏi móng vuốt của lỗ đen, còn phản hạt của nó rơi vào vực thẳm của lỗ đen; rồi electron lại gặp một positron, chúng ghì xiết lấy nhau, rồi hủy nhau và kết thúc bằng một chớp sáng. Hoặc là cả electron và phản hạt của nó thoát khỏi lực hấp dẫn của lỗ đen, và kết quả của sự gặp lại nhau này cũng là một chớp sáng chói lòa. Như vậy lỗ đen không hoàn toàn là đen. Nó có thể bức xạ. Đó là điều mà nhà vật lý học người Anh, Stephen Hawking (1942-) đã chứng minh từ năm 1974: năng lượng mà lỗ đen cung cấp để trả nợ cho các hạt ảo và giúp chúng hiện thực hóa bắt nguồn từ khối lượng của nó. Theo thời gian, lỗ đen bức xạ và khối lượng của nó giảm dần xuống đến không. Lỗ đen “bốc hơi” hoàn toàn thành ánh sáng.

### *Các lỗ đen mini nguyên thủy bức xạ?*

Phải chăng như thế nghĩa là các lỗ đen mà chúng ta đã gặp trước kia (những lỗ đen gấp vài lần khối lượng Mặt trời, nằm trong mảnh đất màu mỡ của các thiên hà; những lỗ đen gấp vài triệu lần khối lượng mặt trời, ở tâm của các thiên hà có nhân hoạt tính; hoặc các lỗ đen gấp hàng tỉ lần khối lượng mặt trời, cung cấp năng lượng kinh hoàng cho các quasar) cũng sẽ bốc hơi thành ánh sáng trong nháy mắt, làm các thiên hà hoạt tính và các quasar biến khỏi sân khấu vũ trụ? Câu trả lời là không. Tỷ lệ bốc hơi của một lỗ đen phụ thuộc vào khối lượng của nó. Mỗi một lỗ đen được đặc trưng bằng một nhiệt độ, và nhiệt độ này tỷ lệ nghịch với khối lượng của nó. Một lỗ đen càng lớn, thì nhiệt độ của nó càng thấp và nó bốc hơi càng chậm. Một lỗ đen có khối lượng bằng Mặt trời thì thời gian cần thời gian gần như vĩnh cửu để bốc hơi hoàn toàn. Nhiệt độ của nó sẽ chỉ bằng một phần mười triệu độ (lạnh hơn cả môi trường thiên hà có nhiệt độ là 2,7 độ Kelvin), và nó phải mất  $10^{65}$  (sau số 1 là 65 số 0) năm để bốc hơi hoàn toàn. Thời gian bốc hơi của các lỗ đen nặng hơn còn dài hơn nữa,

vì nó tỉ lệ với lập phương khối lượng của lỗ đen. Chẳng hạn, một lỗ đen siêu nặng bằng một tỷ khối lượng mặt trời ở giữa một quasar sẽ phải mất một thời gian gấp hàng triệu tỉ lần thời gian một lỗ đen sao, lớn gấp mười lần khối lượng mặt trời trong Ngân hà, để bốc hơi hoàn toàn.

Tại sao các lỗ đen có khối lượng bằng một ngôi sao hoặc lớn hơn lại cần một thời gian gần như vĩnh cửu để bốc hơi? Lý do rất đơn giản. Chúng ta đã thấy rằng, để bức xạ, một lỗ đen phải giải phóng các hạt ảo ra khỏi bóng tối và vật chất hóa chúng thành các electron, positron và các hạt cơ bản khác. Vậy mà, để một lỗ đen tạo ra các electron và các positron, thì kích thước của nó phải nhỏ hơn kích thước của một hạt nhân nguyên tử (hạt nhân có đường kính bằng một phần mười nghìn tỉ ( $10^{-13}$ ) centimet). Nhiệt độ của nó khi đó sẽ là một tỉ độ. Các lỗ đen lớn hơn và lạnh hơn (và như vậy là nặng hơn, vì bán kính của một lỗ đen tỉ lệ với khối lượng của nó) không thể sinh ra nhiều hạt cơ bản, và như vậy gần như không bức xạ. Như vậy, để tìm được các lỗ đen bức xạ, chúng ta phải tìm kiếm các lỗ đen mini có kích thước bằng một hạt nhân nguyên tử. Những lỗ đen nhỏ li ti như thế liệu có thể tồn tại trong vũ trụ?

Về nguyên tắc, chúng ta có thể tạo ra các lỗ đen nhỏ như chúng ta muốn. Chỉ cần nén một vật tới kích thước nào đó để trường hấp dẫn đủ mạnh có thể uốn cong mạnh không gian và ngăn được ánh sáng thoát ra ngoài. Chẳng hạn, nếu một bàn tay khổng lồ nén Mặt trời – với khối lượng  $2.10^{33}$  gam – từ bán kính 700.000 kilômét hiện nay của nó xuống còn là 3 kilômét, thì nó sẽ trở thành một lỗ đen. Bởi vì bán kính của một lỗ đen biến thiên tỉ lệ với khối lượng của nó, nên chỉ cần thực hiện một phép tính nhỏ là ta sẽ biết rằng Trái đất, có khối lượng bằng  $6.10^{27}$  gam, sẽ trở thành một lỗ đen nếu nó được nén xuống kích thước của một viên bi có đường kính một centimet; và bản thân bạn, nặng 70kg, sẽ trở thành lỗ đen nếu kẻ thù của bạn nén bạn bằng một lực siêu nhiên cho tới khi bạn nhỏ tới  $10^{-23}$ cm, tức một triệu tỉ lần nhỏ hơn kích thước của một nguyên tử.

Điều gì sẽ xảy ra đối với một lỗ đen nhỏ hơn một nhân nguyên tử? Trước hết, khối lượng của nó sẽ lớn hơn rất nhiều khối lượng của một nguyên tử. Chúng ta hãy xem xét, chẳng hạn, một lỗ đen có bán kính  $1,5.10^{-13}$ cm, tức cỡ kích thước của một proton. Khối lượng của nó sẽ là một tỉ tấn ( $10^{15}$ gam), nghĩa là khối lượng của một nghìn tỉ tỉ tỉ (10<sup>39</sup>) proton. Như vậy, để tạo ra một lỗ đen có kích thước bằng một hạt nhân nguyên tử, cần phải nhồi toàn bộ 10<sup>39</sup> proton vào trong một thể tích bình thường chỉ dành cho một proton. Con số vô cùng lớn này không có gì đáng ngạc nhiên nếu biết rằng lực điện từ làm cho hai proton đẩy nhau lớn hơn lực hấp dẫn liên kết chúng với nhau khoảng 10<sup>39</sup>

lần. Như vậy cần phải có khoảng  $10^{39}$  proton để lực hấp dẫn của chúng đủ lớn để thắng lực điện đẩy và giữ chúng lại với nhau.

Nhưng làm thế nào để tạo ra các lỗ đen nhỏ và đặc như vậy? Stephen Hawking gợi ý rằng các lỗ đen như vậy đã có thể sinh ra từ các “bọt lượng tử của không-thời gian” trong những thời khắc đầu tiên của vũ trụ, khi vũ trụ còn cực kỳ nhỏ và cực kỳ đặc, ở thời gian vô cùng nhỏ cỡ  $10^{-43}$  giây, gọi là “thời gian Planck”. Một lỗ đen “mini” nguyên thủy như thế có kích thước cỡ  $10^{-33}$  cm, tức một trăm tỉ tỉ lần nhỏ hơn kích thước của một proton. Sau đó nó lớn dần lên bằng cách kết dính vật chất trong môi trường rất đậm đặc quanh nó, cho tới khi đạt tới kích thước của một proton. Một lỗ đen có kích thước bằng một proton có nhiệt độ lên tới 120 tỉ độ và mất khoảng 14 tỉ năm – tức tuổi của vũ trụ – để bốc hơi hoàn toàn. Nó phát ra công suất 6.000 MW (mêga oát), bằng công suất của 6 nhà máy điện hạt nhân cộng lại. Trong quá trình bốc hơi, khối lượng của lỗ đen giảm xuống, nhiệt độ của nó tăng lên, nó bức xạ mạnh hơn và mất thêm khối lượng. Quá trình này tăng tốc và, sau 14 tỉ năm, khối lượng của lỗ đen chỉ còn là 20 micro gam: lỗ đen “mini” khởi thủy kết thúc cuộc đời của nó trong một vụ nổ khổng lồ, giải phóng ra tia gamma có năng lượng bằng năng lượng của 10 triệu tỉ thiên hà cộng lại. Nhưng, cho tới nay, các màn pháo hoa kinh hoàng này vẫn chưa từng được phát hiện trong vũ trụ. Các lỗ đen mini nguyên thủy bức xạ và bùng nổ vẫn chỉ là các thực thể giả thuyết, mặc dù các tính chất của chúng đã được suy ra một cách chặt chẽ từ hai lý thuyết vững chắc nhất của vật lý thế kỷ XX: cơ học lượng tử và thuyết tương đối rộng.

*Ví của tôi liệu có thể nằm trong túi của bạn?*

Các bạn chắc hẳn là không hiểu. Tất cả những điều đó không có ý nghĩa gì đối với bạn: ánh sáng có một khuôn mặt kép, khoác lên mình chiếc áo sóng khi không bị theo dõi và ngay khi bạn quan sát nó, nó sẽ biến thành hạt; một thế giới dưới nguyên tử, ở đó quyết định luận đã mất đi sức mạnh, chỉ có thể được mô tả bằng xác suất và ở đó sự nhòe lượng tử ngự trị; các hạt ảo xuất hiện rồi biến mất theo các chu kỳ “luân hồi” vô cùng ngắn ngủi! Bạn không phải là những người duy nhất cảm thấy mất phương hướng. Nhà vật lý học người Đan Mạch, Niels Bohr, một trong những cha đẻ của cơ học lượng tử, đã từng tuyên bố: “Nếu bạn không thấy chóng mặt khi nghĩ về cơ học lượng tử, thì đó là vì bạn chưa thực sự đánh giá được nó.” Nhà vật lý học người Mỹ, Richard Feynman, một trong những nhà vật lý đương đại đoạt giải Nobel Vật lý từng suy nghĩ nhiều nhất về vật chất và ánh sáng, còn đi xa hơn: “Tôi có thể nói hoàn

toàn chắc chắn rằng không một ai hiểu được cơ học lượng tử<sup>1</sup>. Nhưng như thế là bởi vì chẳng có gì dễ mà hiểu cả. Thế giới nguyên tử và dưới nguyên tử vốn là như thế. Chúng ta hãy nghe lời khuyên của Feynman: “Cơ học lượng tử mô tả tự nhiên như một cái gì đó phi lý xét trên quan điểm của lẽ phải thông thường. Nhưng nó đã luôn được kiểm chứng bằng thực nghiệm. Tôi hy vọng rằng các bạn có thể chấp nhận tự nhiên như nó vốn thế: phi lý”.

Tuy nhiên, có một câu hỏi đặt ra: các vật vĩ mô của cuộc sống hàng ngày – như cây cối, hoa lá, vòng đeo cổ, đồng hồ đeo tay – đều được tạo thành từ các hạt, mà như chúng ta thấy, chịu sự nhòe lượng tử và hành trạng của chúng không mang tính tất định luận, mà được mô tả bằng các sóng xác suất. Tuy nhiên, chúng ta lại không nhận thấy tính bất định này ở thang bậc của cuộc sống hàng ngày. Chúng ta hoàn toàn có thể xác định được chính xác vị trí và vận tốc của xe ô tô mà chúng ta đang chạy, vị trí và vận tốc của quả bóng mà chúng ta dùng vợt tennis đánh đi, hay vị trí và vận tốc đi dạo của chính chúng ta. Ánh sáng cho phép chúng ta nhìn thấy các vật này và thực hiện các phép đo đã tương tác với chúng; nhưng năng lượng của các photon so với năng lượng của các vật này nhỏ tới mức sự nhiễu động tạo ra từ sự tương tác đó là không đáng kể, như thể là nó chưa bao giờ xảy ra. Bởi vì hành động quan sát gần như không làm nhiễu động các vật vĩ mô, nên các vật này có một hành trạng hoàn toàn tất định. Khi một cầu thủ đá bóng, chúng ta có thể xác định được đồng thời vị trí và vận tốc của quả bóng và, nếu biết lực sút, các định luật vật lý sẽ cho phép chúng ta biết trước quả bóng có đi vào lưới hay không. Như vậy sự nhòe lượng tử và nguyên lý bất định của Heisenberg không thể hiện rõ nét đối với các vật thuộc cuộc sống hàng ngày. Điều này cũng rất tốt, vì trong cuộc sống hàng ngày chúng ta đã có khối việc phải đương đầu, khỏi cần phải lo lắng thêm về các bất định đối với vị trí và vận tốc của các vật!

Tương tự, người ta có thể hỏi tại sao ngẫu nhiên ngự trị trong vũ trụ các nguyên tử lại không xuất hiện khắp nơi trong thế giới vĩ mô, bởi vì các vật của cuộc sống hàng ngày chẳng qua cũng chỉ là tập hợp các nguyên tử. Tại sao các vật bao quanh ta lại không có một bản chất sóng cho phép chúng trải trong toàn bộ không gian và hiện diện cùng một lúc ở khắp nơi? Tại sao chúng ta không thấy Trái đất thành linh biến khỏi quỹ đạo của nó quanh Mặt trời để xuất hiện bên cạnh Mộc tinh? Tại sao chiếc ví của tôi lại không bỗng nhiên nằm trong túi của người bên cạnh mà không cần phải chơi trò móc túi, hay tại sao xe ô tô của tôi đỗ ở quảng trường Denfert-Rochereau, ở Paris lại không

<sup>1</sup> Richard Feynman, *Tính chất của các định luật vật lý*, NXB Giáo dục.

thình lình nằm trên đại lộ Champs-Élysées? Các định luật của cơ học lượng tử nói rằng về nguyên tắc các sự kiện như thế đều có thể xảy ra, nhưng xác suất của chúng nhỏ tới mức chúng chỉ xảy ra nếu người ta có cả một thời gian vĩnh hằng ở phía trước. Tại sao khả năng xảy ra lại nhỏ đến thế? Bởi vì các vật vĩ mô được tạo thành từ một số cực kỳ lớn các nguyên tử (Trái đất chứa khoảng  $10^{50}$  nguyên tử, một chiếc xe ô tô khoảng  $10^{28}$ , một chiếc ví khoảng  $10^{24}$ ), nên chúng mất đi bản chất sóng và các hiệu ứng của ngẫu nhiên bị trung hòa ở đó. Sở dĩ các vật vĩ mô không thình lình tự dịch chuyển từ nơi này sang nơi khác trong cuộc sống hàng ngày, đó là bởi vì xác suất để nó nằm ở một nơi khác với nơi mà chúng đang ở là gần như bằng không.

Vậy đường ranh giới giữa thế giới vi mô, nơi mà hiện thực chỉ có thể được mô tả bằng xác suất, và thế giới vĩ mô, nơi mà ngẫu nhiên thể hiện một cách mờ nhạt, nằm ở đâu? Cho tới nay, các nhà vật lý học vẫn chưa thể xác định được đường ranh giới này, mặc dù họ đã rất cố gắng. Phân tử fullerene, được cấu thành từ sáu mươi nguyên tử cacbon, cho tới nay vẫn được biết đến là vật nặng nhất và phức tạp nhất phát lộ một hành trạng sóng.

### *Cơ học lượng tử có bất toàn?*

Cho tới tận cuối đời, Einstein vẫn không chấp nhận quan niệm phi tất định của cơ học lượng tử và hiện thực dưới nguyên tử được mô tả bằng xác suất. Theo Einstein, thế giới phải giống một trò bi-a, với các viên bi có vị trí và vận tốc xác định, chứ không phải là một ván súc sắc được chi phối bởi các định luật xác suất. Theo ông, vật lý phải tiên đoán được một cách chắc chắn kết quả duy nhất và xác định của một thí nghiệm, chứ không phải là xác suất để một kết quả xảy ra trong vô số khả năng. Einstein đã không ngừng tưởng tượng ra các tình huống khác nhau nhất nhằm vạch ra một điểm yếu trong cấu trúc của lý thuyết lượng tử, và qua đó để khẳng định nó là sai lầm. Các cuộc tranh luận dài của ông về chủ đề này với Niels Bohr, người bảo vệ mạnh mẽ cách giải thích xác suất của cơ học lượng tử, đã trở thành huyền thoại (H. 33). Nhưng, bất chấp tất cả những nỗ lực của Einstein, Bohr vẫn luôn là người có tiếng nói cuối cùng. Thất vọng, Einstein đã quyết định thôi không tìm cách chứng minh rằng cơ học lượng tử là một lý thuyết sai lầm nữa, để lao vào một nhiệm vụ dễ hơn là chứng minh rằng nó bất toàn và không đưa ra một cách mô tả hiện thực một cách đầy đủ.

Nhằm mục đích này, cùng với hai đồng nghiệp của ông là Boris Podolsky và Nathan Rosen, ông đã xây dựng vào năm 1935 một thí nghiệm tưởng tượng

mà ngày nay gọi là “thí nghiệm EPR”, theo chữ cái đầu của tên của ba tác giả. Ông nghĩ rằng thí nghiệm này, trong đó ánh sáng một lần nữa lại đóng vai chính, sẽ phải bắt quả tang cơ học lượng tử phạm tội bất toàn.

Xét hai hạt ánh sáng A và B sinh ra từ sự phân rã của một hạt. Vì những lý do đối xứng, A và B đi theo hai hướng ngược nhau. Hãy đặt các dụng cụ đo và kiểm tra. Nếu A đi về phía Đông, chúng ta sẽ phát hiện thấy B ở phía Tây. Cho tới lúc này dĩ nhiên vẫn chưa có gì là đặc biệt. Nhưng đó là do ta chưa tính đến các tính chất kỳ lạ của cơ học lượng tử. Trước khi bị máy dò bắt, A khoác không phải chiếc áo hạt, mà khoác chiếc áo sóng. Sóng này, vì không định xứ, nên chiếm toàn bộ không gian, và tồn tại một xác suất nào đó để A nằm ở bất kỳ hướng nào. Chỉ khi bị bắt thì A mới khoác chiếc áo hạt và “biết” mình đang tiến về phía Đông. Nhưng nếu, trước khi bị bắt, A không “biết” nó đi theo hướng nào thì làm thế nào B lại có thể “đoán” được hành trạng của A và điều chỉnh hành trạng của mình sao cho bị bắt ở cùng thời điểm nhưng theo hướng ngược lại? Điều này không có nghĩa, trừ phi chấp nhận rằng A có thể thông báo tức thì đến B hướng chuyển động của mình. Bởi vì hai hạt được phát hiện ở cùng một thời điểm, điều này có nghĩa là sự truyền thông tin được thực hiện với một vận tốc lớn vô hạn. Nhưng điều đó lại mâu thuẫn với thuyết tương đối của Einstein nói rằng không một tín hiệu nào có thể lan truyền nhanh hơn ánh sáng. Bởi vì “Chúa không truyền các tín hiệu thần giao cách cảm”, nên Einstein đã kết luận rằng cơ học lượng tử không đưa ra được một cách mô tả hiện thực một cách đầy đủ. Theo ông, A phải biết trước hướng mà nó sẽ theo, và truyền thông tin này cho B trước khi tách ra khỏi nó. Nói cách khác, Einstein tán thành cái mà người ta gọi là “tính hiện thực địa phương”: tại mỗi thời điểm, A có một vận tốc và một vị trí xác định và được định xứ trên hạt, độc lập với hành động quan sát. Theo ông, sở dĩ cơ học lượng tử không có khả năng giải thích được đường đi của một hạt, là bởi vì nó không tính đến một số thông số gọi là “các biến ẩn”. Như vậy nên nó bất toàn.

### *Các photon tách rời vẫn kết nối với nhau*

Trong gần ba mươi năm, sơ đồ EPR vẫn ở nguyên trạng thái là một thí nghiệm tưởng tượng, vì các nhà vật lý học vẫn không biết sử dụng nó trên thực tế như thế nào. Tình hình chỉ được giải tỏa vào năm 1964, nhờ nhà vật lý học người Ailen Jon Bell làm việc tại Trung tâm Nghiên cứu Hạt nhân châu Âu, ở Genève (Thụy Sĩ). Lấy ý tưởng chủ đạo từ EPR, từ tư biện siêu hình ông đã biến nó thành một giả thiết có thể kiểm chứng bằng thực nghiệm. Ông chứng

tỏ được rằng nếu EPR là đúng, thì các phép đo được thực hiện bởi các máy dò nằm cách nhau một khoảng rất xa, các spin của hai photon tương tác với nhau (các nhà vật lý học gọi chúng là các “photon rối” hay “vướng víu”) nhưng tách rời nhau, phải có tương quan với nhau. Spin của một hạt là chuyển động quay của nó quanh một trục nào đó, hoặc theo chiều kim đồng hồ, hoặc theo chiều ngược lại. Mặc dù độ nghiêng của trục quay có thể thay đổi – nó có thể nghiêng chẳng hạn một góc  $80^\circ$ , hay  $30^\circ$  –, nhưng spin vẫn không thay đổi. Bell đã tính toán chính xác mức độ tương quan tồn tại giữa các spin của hai photon. Nếu EPR là đúng, và nếu cơ học lượng tử là bất toàn, và nếu thực sự tồn tại các biến ẩn cho phép xác định đồng thời vị trí và vận tốc của một hạt, thì các spin của hai photon phải luôn như nhau (cả hai quay theo chiều kim đồng hồ hoặc ngược lại) trong hơn một nửa số lần. Trái lại, nếu sự khớp nhau của hai spin thấp hơn 50%, thì EPR là sai và không tồn tại các biến ẩn.

Trong hơn một thập kỷ, công nghệ vẫn chưa đủ hiện đại để cho phép sử dụng các kết quả của Bell nhằm phân định phải trái giữa EPR và cơ học lượng tử. Phải đến đầu những năm 1980 thì nhà vật lý học người Pháp, Alain Aspect và nhóm nghiên cứu của ông ở Đại học Orsay mới thực hiện một loạt các thí nghiệm về các cặp photon để kiểm tra hiệu ứng EPR. Trong thí nghiệm của Aspect, hai máy dò nằm cách nhau 13 mét và nguồn photon đặt nằm giữa và cách đều hai máy dò đó. Kết quả của các thí nghiệm rất rõ ràng: mức độ tương quan của spin của hai electron là thấp hơn 50%. Như vậy không còn nghi ngờ gì nữa, các biến ẩn không tồn tại, EPR đã nhầm và cơ học lượng tử đã đúng.

Các hệ quả thí nghiệm của Aspect rất tuyệt vời: mặc dù các photon A và B không có vị trí và vận tốc xác định, mặc dù chúng cách nhau 13 mét, nhưng B vẫn luôn “biết” tức thì A đang làm gì. Các đồng hồ nguyên tử gắn với máy dò bắt A và B cho phép đo rất chính xác thời điểm đến của từng photon. Chênh lệch giữa hai thời điểm đến là nhỏ hơn khoảng vài chục phần tỉ giây (có lẽ, sự chênh lệch này là bằng không, nhưng độ chính xác của các đồng hồ nguyên tử hiện nay không cho phép đo được thời gian dưới  $10^{-10}$  giây). Vậy mà, ở  $10^{-10}$  giây, ánh sáng, với vận tốc 300.000km/s, chỉ có thể đi được quãng đường 3cm, khoảng cách ngắn hơn rất nhiều khoảng cách 13 mét giữa A và B. Trong mọi trường hợp, A và B không thể truyền cho nhau các thông tin bằng ánh sáng.

Ấn tượng hơn, kết quả vẫn không đổi khi người ta tăng khoảng cách giữa hai photon. Trong thí nghiệm gần đây do nhà vật lý học người Thụy Sĩ là Nicolas Gisin và các đồng nghiệp của ông thực hiện, khoảng cách giữa hai photon là 11km, và các hành trạng của A và B vẫn luôn có tương quan với nhau. Một lần nữa, các nhà vật lý học Thụy Sĩ lại chắc chắn rằng hai photon không thể

thông tin cho nhau bằng ánh sáng. Sự chênh lệch thời gian đáp ứng của hai máy dò trên thực tế nhỏ hơn ba phần mười tỉ giây; trong khoảng thời gian vô cùng ngắn ngủi này, ánh sáng chỉ có thể vượt qua 9cm trên khoảng cách 11km giữa hai photon.

Kết luận của các thí nghiệm này là không thể tránh khỏi: ngay cả khi B nằm trong thiên hà Andromède cách Trái đất 2,3 tỉ năm ánh sáng, hay ở biên của vũ trụ quan sát được cách khoảng 1 tỉ năm ánh sáng, thì nó vẫn tức thì điều chỉnh hành trạng của mình theo hành trạng của A. Dường như tồn tại một sự ảnh hưởng huyền bí liên kết A với B mặc dù hai photon này nằm cách nhau vô cùng xa. Điều này cũng tương tự như bạn và một người bạn của bạn có trong tay hai đồng xu giống y hệt nhau. Bạn của bạn ở Paris trong khi bạn đang ở New York. Bạn và bạn của bạn quyết định chơi trò sắp ngửa. Về nguyên tắc, mỗi đồng xu phải rơi sắp hoặc ngửa độc lập với hành trạng của đồng xu kia. Một đồng rơi sắp và đồng kia rơi ngửa, và ngược lại. Hoặc cả hai rơi cùng sắp hoặc cùng ngửa. Mỗi một đồng xu phải tuân theo nghiêm ngặt các định luật xác suất nói rằng trung bình chúng có 50% khả năng rơi sắp hoặc ngửa. Vậy mà, khi so kết quả, bạn thấy rằng các hành trạng của hai đồng xu chính xác như nhau, rằng chúng luôn rơi sắp hoặc ngửa đồng thời! Như vậy, một trong hai điều phải xảy ra: hoặc là cả hai đồng xu chỉ có một mặt, hoặc là bạn chỉ còn biết thán phục! Một khiếm khuyết trong chế tạo đồng xu đã có thể làm cho hai đồng xu chỉ có một mặt sắp, hoặc một mặt ngửa. Nếu bạn và bạn của bạn chưa kiểm tra đồng xu trước khi gieo, và nếu bạn luôn thu được mặt sắp hoặc ngửa đồng thời, bạn có thể sẽ tin một cách sai lầm rằng hành trạng của hai đồng xu có tương quan với nhau, trong khi hoàn toàn không phải như vậy. Đối với sự lựa chọn này, Einstein chọn giả thiết là hai đồng xu (hay con súc sắc) chỉ có cùng một mặt, nghĩa là chọn sự tồn tại các biến ẩn và cơ học lượng tử là bất toàn. Nhưng giả thiết này dẫn đến việc xem xét hai loại cặp photon khác nhau – các cặp ngửa-ngửa và các cặp sắp-sắp – trong khi, theo quan điểm của cơ học lượng tử, các cặp photon là hoàn toàn đồng nhất. Các thí nghiệm của Aspect và Gisin dựa trên các tính toán của Bell đã cho thấy hết sức thuyết phục rằng sai lầm không thuộc về cơ học lượng tử, mà thuộc về Einstein và các đồng nghiệp của ông.

### *Một vũ trụ kết nối lẫn nhau trong không gian*

Giải thích thế nào về việc B luôn “biết” tức thì những điều A làm mà không có sự truyền thông tin nào? Nghịch lý này chỉ là nghịch lý nếu chúng ta giả định, như Einstein, rằng thực tại bị chia nhỏ và định xứ trên mỗi một photon. Nó sẽ không còn là nghịch lý nữa, nếu chúng ta chấp nhận rằng A và B là một bộ phận trong cùng một thực tại có tính toàn cục. A không cần phải gửi một tín hiệu nào cho B trong chừng mực hai photon “vướng víu” đã từng tương tác cùng nhau, “nhớ lại” tương tác của chúng trong quá khứ và vẫn thường xuyên liên lạc với nhau bằng một loại tương tác huyền bí nào đó. Dù ở đâu, thì hạt thứ hai vẫn tiếp tục là một bộ phận của cùng một thực tại với hạt thứ nhất, ngay cả khi hai hạt ánh sáng nằm ở hai đầu vũ trụ. Như vậy, cơ học lượng tử đã loại bỏ hoàn toàn ý tưởng về sự định xứ. Nó trao một cho không gian đặc tính toàn cục. Khái niệm “đây” và “kia” không còn ý nghĩa nữa: “đây” đồng nhất với “kia”. Đó là cái mà các nhà vật lý gọi là “tính bất khả tách” hay tính “không định xứ” của không gian.

Như vậy, chúng ta đi đến một kết luận bất thường nói rằng tính định xứ không còn được vị trí trong vũ trụ nữa. Chúng ta phải xem xét lại một cách triệt để các khái niệm thường dùng của chúng ta liên quan đến không gian. Những người xây dựng vũ trụ vĩ đại như Newton và Einstein đã có rất nhiều quan điểm khác nhau về không-thời gian. Theo Newton, không gian và thời gian là tuyệt đối, độc lập với người quan sát; chúng hoàn toàn khác biệt và tồn tại tách rời nhau. Trái lại, theo Einstein, không gian và thời gian trở thành tương đối, giá trị của chúng phụ thuộc vào vận tốc của người quan sát và trường hấp dẫn xung quanh người quan sát; chúng tạo thành một cặp thống nhất và những biến thiên của chúng được thực hiện theo cách bổ sung cho nhau. Tuy nhiên, cả hai nhà vật lý học lỗi lạc này đều không xem xét lại khái niệm “định xứ” của không gian. Không gian trên thực tế là môi trường cho phép chúng ta phân biệt vật này với vật kia. Nếu hai người hoặc hai vật tách rời nhau trong không gian, thì ta coi chúng là khác biệt nhau. Trong cuộc sống hàng ngày, các vật choán các vị trí khác nhau trong không gian không nằm trong cùng một thực thể. Để một vật đặt một ảnh hưởng hay một tác dụng lên một vật khác, thì cần phải có một phương tiện hoặc một trung gian gắn kết và lưu thông không gian giữa chúng. Một máy bay bay từ New York đến Paris. Tôi đi từ bàn nơi tôi ngồi viết đến tủ lạnh để lấy một chai nước khoáng Perrier. Khi tôi nói chuyện với người đối thoại xinh đẹp, giọng của tôi làm chuyển động vô số các phân tử không khí, và chuyển động của chúng truyền âm thanh phát ra từ các dây thanh quản của tôi tới tai người phụ nữ trẻ. Tôi nhìn thấy Mặt trăng bởi vì

Mặt trăng phản chiếu ánh sáng của Mặt trời tới mắt tôi. Ngược lại, chấp nhận tính không-định xứ, nghĩa là chấp nhận rằng điều chúng ta làm ở đây có thể ảnh hưởng đến điều đang xảy ra ở kia mà không cần bất kỳ một thông tin nào được truyền từ đây đến kia. Vậy nên hai hạt “vướng víu” – đã từng tương tác với nhau trong quá khứ – như là cái nọ ở ngay trên cái kia, ngay cả khi chúng cách xa nhau hàng tỉ tỉ kilômét. Hành trạng của chúng không phải là ngẫu nhiên, mà được điều phối một cách hoàn hảo. Chúng không tồn tại một cách độc lập, mà thống nhất, được gắn kết bằng một sự kết nối lượng tử huyền bí.

Một câu hỏi được nảy ra trong đầu: vũ trụ có nguồn gốc là Big Bang, vụ nổ khởi thủy ban đầu đã tạo ra một vũ trụ đồng thời với không gian và thời gian từ một trạng thái cực kỳ nhỏ, nóng và đặc; mọi hạt như vậy đã tiếp xúc và tương tác với mọi hạt khác trong món súp nguyên thủy; điều này phải chăng muốn nói rằng tất cả đều vướng víu và kết nối với nhau trong vũ trụ?

Về nguyên tắc, câu trả lời là có. Nhưng phát hiện ra sự “vướng víu lượng tử” khởi thủy từ Big Bang cách đây 13,7 tỉ năm là việc cực kỳ khó, thậm chí không thể. Thật vậy, một hạt ánh sáng nào đó sinh ra trong những phần giây đầu tiên của vũ trụ đã tương tác với vô số các hạt khác trong suốt lịch sử rất dài của vũ trụ, và có lẽ nó đã mất trí nhớ về sự tương tác nguyên thủy của nó với các photon khởi thủy khác.

Nghiên cứu các hạt ánh sáng vướng víu nhau buộc chúng ta phải xem xét lại toàn bộ các quan niệm thông thường của chúng ta về không gian, và phải vứt bỏ các khái niệm như “tính định xứ” và “tính khả tách”. Chúng ta cũng sẽ thấy rằng một số hành trạng của ánh sáng cũng buộc chúng ta phải xem xét lại các quan điểm thông thường của chúng ta về thời gian.

### *Tương lai quyết định quá khứ*

Chưa bằng lòng với việc làm đảo lộn các quan niệm của chúng ta về không gian, cơ học lượng tử còn thách thức các khái niệm yêu thân thiết nhất của chúng ta về sự trôi của thời gian, về quá khứ, hiện tại và tương lai. Chẳng hạn, trong một số tình huống có liên quan tới ánh sáng, dường như cơ học lượng tử xác lập một mối quan hệ huyền bí giữa các sự kiện đã xảy ra rất xa trong quá khứ và những sự kiện xảy ra rất xa sau này trong tương lai.

Chúng ta hãy trở lại thí nghiệm hai khe của Young. Một nguồn sáng (như một tia laser, chẳng hạn) phát các hạt ánh sáng đi qua hai khe song song trên màn chắn, và đập vào một màn ảnh đặt sau màn chắn này. Chúng ta đã thấy rằng, nếu không nhìn vào khe mà photon đi qua, thì photon này khoắc chiếu

áo sóng. Mỗi photon đồng thời đi qua khe trái và khe phải, nó tương tác với chính nó, tạo ra các vân giao thoa nổi tiếng trên màn ảnh. Ngược lại, ngay khi chúng ta bật máy dò đặt lần lượt ngay sau các khe để theo dõi và biết photon đi qua khe nào, thì photon này lại khoác chiếc áo hạt, và các vân giao thoa biến mất. Chỉ còn hai dải sáng song song trên trục của nguồn sáng và hai khe.

Cho tới lúc này vẫn chưa có gì mới. Để lật tẩy trò ảo thuật với thời gian của cơ học lượng tử, nhà vật lý học người Mỹ, John Wheeler đã đề xuất thay đổi thí nghiệm khe Young bằng cách đặt các máy dò xa về phía sau các khe, ngay trước khi photon đi đến màn ảnh. Một lần nữa, các vân giao thoa lại xuất hiện trên màn ảnh khi các máy dò không được bật, và chúng biến mất khi máy dò hoạt động. Nhưng có một điểm mới và lạ trong thí nghiệm này, đó là việc đo quãng đường photon đã đi qua được thực hiện rất lâu sau khi photon đã “quyết định” khoác chiếc áo sóng và đồng thời đi qua hai khe hay khoác chiếc áo hạt và đi qua hoặc là khe trái, hoặc là khe phải. Thế mà, khi đi qua các khe, photon đã không thể “biết” trước liệu các máy dò ở xa đã được bật hay không.

Trên thực tế, thí nghiệm có thể được thực hiện sao cho các máy dò chỉ được kích hoạt sau khi photon đã đi qua các khe. Để chuẩn bị cho tình huống có thể xảy ra khi các máy dò tắt, photon khoác chiếc áo sóng và đi qua hai khe cùng lúc. Nhưng, một khi photon đã đi qua các khe, người làm thí nghiệm tình nghịch quyết định chặn đứng các “kế hoạch” của photon và bật các máy dò. Lúc này, đối với photon, xuất hiện một vấn đề thực sự về “căn cước”: nó đã thu xếp để đi qua hai khe cùng một lúc bằng cách phô ra bộ mặt sóng; một khi photon đã đi qua các khe thì đối với chúng ta dường như không thể, thậm chí phi lý, có chuyện photon rút lại quyết định đã đưa ra và thay đổi hành động đã thực hiện để khoác chiếc áo hạt và mỗi lần chỉ đi qua một khe.

Ấy vậy mà đó lại chính là điều đã xảy ra! Các thí nghiệm cho thấy rằng photon luôn điều chỉnh hành trạng của chúng rất hoàn hảo và không bao giờ nhầm lẫn, bất chấp quyết định của người làm thí nghiệm – quyết định đưa ra sau khi photon đã đi qua các khe. Nếu người làm thí nghiệm bật một trong các máy dò, lập tức photon là hạt và đi qua chỉ một khe; các vân giao thoa không xuất hiện. Nếu quan sát tắt máy dò, ngay lập tức photon là sóng và đi qua cả hai khe cùng lúc; các vân giao thoa xuất hiện. Và điều này xảy ra ngay cả khi máy dò được bật hay tắt rất lâu sau khi photon đã đi qua các khe!

Hành trạng khác thường này thách thức lương tri chúng ta. Cứ như thể photon đã “linh cảm” được những gì sắp xảy ra trong tương lai, “linh cảm” được quyết định mà người làm thí nghiệm sẽ đưa ra (bật hoặc tắt máy dò). Nói cách khác, chúng điều chỉnh hành trạng trong quá khứ của mình theo những

điều sẽ xảy ra trong tương lai. Trong thế giới các hạt, tồn tại một dạng ngẫu nhiên của quá khứ, một hằng hà sa số các khả năng của các quá khứ khác nhau. Chẳng hạn, một photon có thể là một sóng hoặc một hạt; trong số hai khả năng này, chỉ một và duy nhất một quá khứ sẽ xuất hiện, nhưng nó chỉ định dạng sau khi tương lai bắt nguồn từ đó được xác định.

### *Một vũ trụ kết nối lẫn nhau trong thời gian*

Như vậy, quan niệm về quá khứ mà cơ học lượng tử cung cấp khác xa với quan niệm thông thường về quá khứ của chúng ta. Đối với chúng ta (và đối với mọi vật vĩ mô), quá khứ được cấu thành từ các hành động và sự kiện rất xác định. Lịch sử của tôi đã được xác định một lần cho mãi mãi. Tôi sinh ở Việt Nam. Tôi đã học trường trung học Pháp ở Sài Gòn. Tôi đã nghiên cứu vật lý thiên văn ở Mỹ. Tôi có một và chỉ một lịch sử, rất xác định, và, dù điều gì có xảy ra trong tương lai của tôi, thì lịch sử đã qua của tôi cũng sẽ không bao giờ thay đổi. Quá khứ của tôi đã qua. Nó đã được lưu giữ trong ký ức của tôi. Tương lai còn chưa đến và sẽ không bao giờ thay đổi được những gì đã xảy ra.

Tình hình lại hoàn toàn khác đối với một hạt ánh sáng (hay mọi hạt cơ bản khác). Quá khứ của một photon là bất định và nhòe. Nó không duy nhất, mà bị tàn lụi dưới dạng vô số các khả năng. Chẳng hạn, photon có thể lựa chọn giữa một quá khứ hạt và một quá khứ sóng. Quá khứ đa dạng này chỉ được kết tinh sau khi người ta thực hiện quan sát hoặc dò, và do đó là rất lâu sau trong tương lai. Như vậy, cơ học lượng tử không phủ nhận sự tồn tại của một quá khứ; chỉ có điều, đó là một quá khứ bất định. Nó chỉ trở nên xác định nhờ một sự kiện xảy ra trong tương lai. Hành động quan sát trong tương lai sẽ lựa chọn một lịch sử cụ thể và xác định trong hằng hà sa số các quá khứ khả dĩ. Trong thế giới nguyên tử và dưới nguyên tử, lịch sử mà chúng ta kể lại phụ thuộc vào một sự kiện trong tương lai.

Thời gian ngăn cách giữa các sự kiện trong quá khứ với hành động quan sát được ghi trong tương lai có thể lên tới hàng tỉ năm, như trong thí nghiệm tưởng tượng sau của nhà vật lý học người Mỹ, John Wheeler. Thí nghiệm này, về một phương diện nào đó, là một phiên bản vũ trụ của thí nghiệm khe Young.

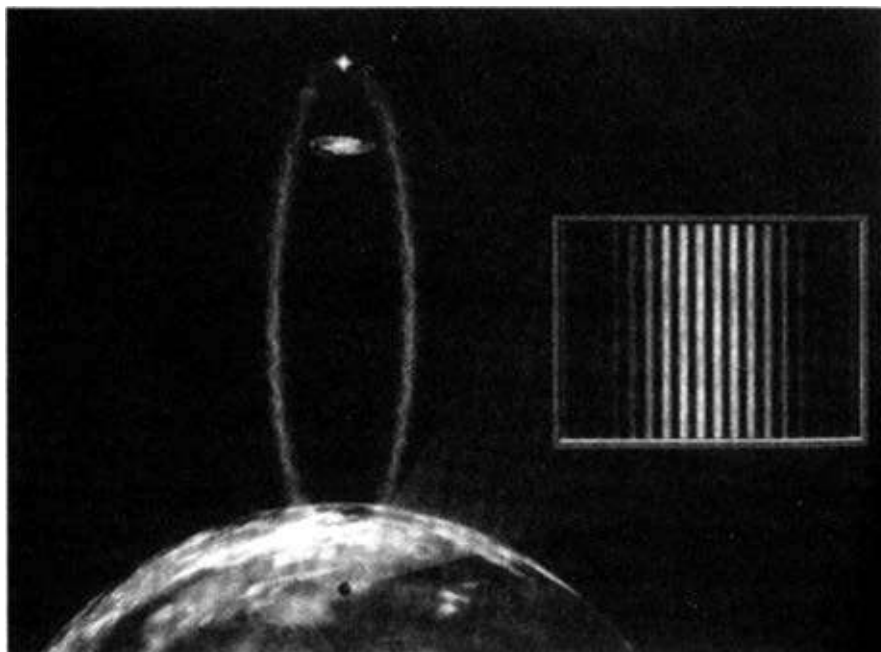
Nguồn sáng lần này là một quasar, một thiên thể quái dị phát ra năng lượng bằng một nghìn thiên hà trong một thể tích chỉ lớn hơn hệ mặt trời chút xíu. Năng lượng khổng lồ này đến từ một lỗ đen siêu nặng cỡ một tỉ lần khối lượng mặt trời ngấu ngiến các ngôi sao của các thiên hà bên cạnh. Các quasar nằm trong số các thiên thể ở xa xôi nhất của vũ trụ: ánh sáng của một số quasar

phải mất hơn mười tỉ năm ánh sáng mới đến được chúng ta. Xét trường hợp nguồn sáng là một quasar nằm cách chúng ta mười tỉ năm ánh sáng. Hai khe trên vách bây giờ được thay bằng một thiên hà nằm cách chúng ta 5 tỉ năm ánh sáng nằm trên cùng đường ngắm với quasar đó. Do tác dụng của lực hấp dẫn, không gian quanh thiên hà bị uốn cong, tới mức ánh sáng tới từ quasar bị lệch hướng. Một phần của ánh sáng này đi sang bên trái của thiên hà, phần khác đi sang bên phải. Hoàn toàn giống như các thấu kính trong kính đeo mắt của bạn tụ tiêu ánh sáng lên võng mạc, thiên hà cũng có tác dụng như một thấu kính hấp dẫn tụ tiêu ánh sáng của quasar, ánh sáng bên trái và ánh sáng bên phải, vào tiêu điểm của một kính thiên văn đặt trên Mặt Đất. Cũng giống như trong thí nghiệm khe Young, nếu chúng ta không đặt máy dò để dò xem photon đến từ bên trái hay bên phải thiên hà, thì về nguyên tắc (thí nghiệm còn chưa được thực hiện) chúng ta phải nhìn thấy các vân giao thoa (H. 36). Nhưng nếu chúng ta bật máy dò, thì các vân giao thoa phải biến mất. Trong trường hợp này, một quan sát được thực hiện hôm nay giúp ta xác định được một lịch sử đã xảy ra trong một quá khứ rất xa, từ năm tỉ năm trước, khi ánh sáng của quasar đi gần thiên hà-thấu kính và đã bị lực hấp dẫn của thiên hà này làm cho lệch hướng. Trong thế giới lượng tử, không chỉ không gian được gắn kết bằng một dạng ảnh hưởng huyền bí, mà còn cả quá khứ, hiện tại và tương lai cũng được gắn kết với nhau một cách chặt chẽ.

### *Tẩy quá khứ*

Nếu hành động của một người quan sát-nhà thực nghiệm có thể làm kết tinh bản chất của hiện thực lượng tử trong quá khứ, thì người ta có thể đặt câu hỏi liệu chúng có khả năng thay đổi quan hệ nhân quả của các sự kiện đã xảy ra và làm nảy sinh các mâu thuẫn logic hay không. Chẳng hạn, liệu tôi có thể sử dụng cơ học lượng tử để gửi về quá khứ các lệnh ngăn cha mẹ tôi gặp nhau và như vậy sẽ hủy bỏ sự ra đời của tôi không? Câu trả lời dứt khoát là không. Mặc dù các thí nghiệm mô tả trước đây cho thấy có một tương tác huyền bí giữa quá khứ và tương lai của các hạt, nhưng trong bất kỳ trường hợp nào đều không thể thay đổi quá khứ bằng những hành động hiện tại. Hành động hiện tại chỉ có thể làm rõ một lịch sử đã xác định trong vô số các quá khứ khả dĩ đã tồn tại; trong bất kỳ trường hợp nào nó không thể tạo ra các khả năng mới.

Nhưng các nhà vật lý học vốn không thiếu trí tưởng tượng. Họ tự nhủ: nếu như không thể thay đổi được quá khứ, thì liệu người ta có thể thu xếp để loại bỏ *hiệu ứng* của quá khứ lên hiện tại không. Theo quan điểm này, năm 1982



Hình 36. Một phiên bản vũ trụ của thí nghiệm khe Young. Ánh sáng của một quasar rất xa bị lực hấp dẫn của một thiên hà nằm giữa Trái đất và quasar làm lệch và chia thành hai chùm, và tự tiêu lại trên Trái đất. Về nguyên tắc, các nhà thiên văn trên Trái đất có thể quan sát được các vân giao thoa.

các nhà vật lý học Marlan Scully và Kai Drühl đã đưa ra thí nghiệm gọi là “tẩy lượng tử”.

Một lần nữa chúng ta lại xét một phiên bản sửa đổi của thí nghiệm khe Young. Ngoài nguồn sáng, hai khe và màn ảnh, người ta còn đặt trước mỗi khe một dụng cụ cho phép gắn nhãn cho các photon. Mỗi photon sẽ được gắn một nhãn để biết nó đi qua khe nào, khe phải hay khe trái. Nhưng gắn nhãn cho photon bằng cách nào? Người ta không thể gắn nhãn lên photon như gắn nhãn lên quần áo. Thực tế, một dụng cụ sẽ bắt spin của photon phải có một hướng xác định nếu nó đi qua khe phải, và một hướng khác cũng xác định nếu nó đi qua khe trái. Để biết đường đi của photon, như vậy chỉ cần đặt một màn ảnh ghi không chỉ vị trí điểm chạm của photon, mà cả spin của nó nữa.

Hãy làm thí nghiệm khi dụng cụ gắn nhãn đã được kích hoạt. Đương nhiên, các vân giao thoa không xuất hiện, bởi vì việc chúng ta biết chính xác mỗi photon đi qua khe nào làm cho nó khoác chiếc áo hạt. Cho tới lúc này chúng

ta vẫn chưa biết gì thêm. Nhưng điều gì sẽ xảy ra nếu, ngay trước khi photon va vào màn ảnh, chúng ta lấy nhãn của nó đi, tức là đã tẩy đi mọi thông tin về đường đi của photon? Khi đó, photon liệu có đổi chiếc áo hạt lấy chiếc áo sóng, và các vân giao thoa có xuất hiện trở lại không?

Để trả lời các câu hỏi này, nhà vật lý học người Mỹ gốc Hoa Raymond Chiao và các đồng nghiệp của ông ở Đại học California, Berkeley, đã thực hiện thí nghiệm “tẩy lượng tử”. Họ đã xóa nhãn của photon bằng cách đặt trước màn ảnh một máy bắt spin của tất cả các photon phải theo một và chỉ một hướng, sao cho việc đo spin của photon khi nó chạm vào màn hình không cho ta bất kỳ một thông tin nào về con đường mà nó đã đi. Như có phép thuật, các vân giao thoa liền xuất hiện trở lại! Điều này nói lên rằng photon đã thay chiếc áo hạt bằng chiếc áo sóng. Nhưng chúng làm như vậy *sau khi* các photon đã đi qua các khe, chứ không phải trước khi đi qua khe!

Như vậy quyết định mà con người đưa ra về việc sử dụng các dụng cụ tẩy thông tin đã ảnh hưởng đến bản chất của hiện thực trong quá khứ. Một lần nữa chúng ta phải chấp nhận rằng, trong thế giới lượng tử, tồn tại một mối quan hệ huyền bí giữa quá khứ và tương lai, rằng điều xảy ra trong tương lai giúp xác định cái đã xảy ra trước đó. Giống như hai hạt tương tác bị “vướng víu” trong không gian vô tận, tồn tại một dạng “vướng víu” lạ lùng giữa quá khứ và tương lai của một hạt.

### *Hành động đo và thực tại lượng tử*

Các thí nghiệm trước đã chứng tỏ một cách thuyết phục rằng người quan sát thực hiện phép đo đóng một vai trò rất cơ bản. Trước hành động đo, photon (hay mọi hạt khác) khoác chiếc áo sóng và hiện diện đồng thời ở khắp nơi. Xác suất tìm nó ở một nơi nào đó được tính bằng bình phương biên độ của hàm sóng Schrödinger. Ngay khi người quan sát thực hiện một phép đo, photon đổi chiếc áo sóng lấy chiếc áo hạt. Nó xuất hiện ở một và chỉ một nơi. Nói cách khác, hàm sóng bằng không ở mọi điểm, trừ ở vị trí ở đó hạt bị bắt và xác suất khi này lên tới 100%. Một lịch sử duy nhất kết tinh từ vô số các lịch sử khả dĩ. Người ta nói rằng đã có sự “rút gọn” sóng.

Sự rút gọn sóng này đặt ra một vấn đề. Thật vậy, cơ học lượng tử nói với chúng ta rằng khi hai hệ lượng tử tương tác với nhau được mô tả bằng hàm sóng, chúng tạo thành một hệ mới được mô tả bằng một hàm sóng mới chứa tổng thể các khả năng của hai hệ. Nói cách khác, lẽ ra thay vì rút gọn, người ta đi đến một sự phức tạp hóa của sóng. Và nếu người ta lại tách hai hệ ra, thì

các thí nghiệm của Aspect chứng tỏ rằng chúng không còn được mô tả bằng hai hàm sóng độc lập nữa, mà bằng chỉ một hàm sóng toàn thể.

Vì vậy một câu hỏi được đặt ra: một dụng cụ đo khác với một vật vĩ mô khác ở điểm nào? Tại sao nó lại gây ra sự rút gọn sóng dẫn đến chỉ một hiện thực trong vô số các khả năng, trong khi, trong trường hợp một vật vĩ mô nào đó, ta lại có một hàm sóng phức tạp hơn chứa tổng thể các khả năng của mỗi hệ tương tác? Rất nhiều nhà khoa học đã cố gắng tìm lời giải đáp cho câu hỏi này, nhưng cho đến nay lời giải cuối cùng vẫn chưa tìm được và cuộc tranh luận vẫn còn diễn ra rất gay gắt.

Các phương pháp tiếp cận nhằm tìm hiểu phép đo lượng tử và sự rút gọn sóng rất đa dạng và phong phú. Theo nhà vật lý học người Đan Mạch, Niels Bohr, nhà thực nghiệm và dụng cụ của anh ta khác với các hạt cơ bản. Chúng được tạo thành từ một số rất lớn các hạt, và muốn mô tả chúng bằng hình thức luận lượng tử của một hàm sóng là sai lầm. Thế giới vĩ mô được chi phối bởi vật lý cổ điển, tức là bởi các định luật của Newton và Maxwell. Vậy đường ranh giới giữa thế giới dưới nguyên tử và thế giới vĩ mô nằm ở đâu? Sự chuyển từ vật lý lượng tử sang vật lý cổ điển được thực hiện như thế nào? Bohr chấp nhận một quan điểm thực dụng: tại sao lại đặt ra những câu hỏi như thế, bởi vì các nhà vật lý học đã có thể sử dụng vật lý để mô tả cực kỳ chính xác đồng thời cả thế giới vĩ mô lẫn vi mô mà không cần đề cập đến chúng? Theo Bohr, khái niệm “nguyên tử” chỉ là một phương tiện thuận lợi để kết nối các quan sát khác nhau vào một sơ đồ logic và chặt chẽ mà thôi. Theo ông, không thể đi vượt ra ngoài các sự kiện và kết quả của thí nghiệm và đo đạc: “Cách mô tả tự nhiên của chúng ta không nhằm mục đích làm phát lộ bản chất thực của các hiện tượng, mà đơn giản chỉ là để khám phá nhiều nhất có thể các mối quan hệ giữa rất nhiều khía cạnh của tồn tại của chúng ta”.

Quan điểm thuần túy kinh nghiệm và thực dụng này là quan điểm được phần lớn các nhà vật lý học chấp nhận. Họ không quá bận tâm về những cơ sở và hệ quả triết học của khoa học vật lý, ngoài những phép đo. Theo phần lớn trong số họ, cơ học lượng tử là một lý thuyết rất tốt, giải thích cực kỳ chính xác hành trạng của vật chất ở cấp độ dưới nguyên tử và sự tương tác của vật chất với ánh sáng. Nó cho phép chúng ta chế tạo ra các chip, laser, bán dẫn, truyền hình, máy tính và các máy móc kỳ lạ khác, làm đảo lộn lối sống của chúng ta. Nó tạo ra hết thành công này đến thành công khác. Vậy thì tại sao lại phải đi tìm kiếm xa hơn làm gì? Tại sao lại phải nghiên cứu sâu hơn? Đối với rất nhiều nhà nghiên cứu, như Bohr, nỗ lực tìm hiểu mức độ của hiện thực bên ngoài các dữ liệu thực nghiệm là chuyện vô ích và phù phiếm.

Nhà vật lý học người Pháp, Jean-Marc Lévy-Leblond đã tóm tắt tình trạng đó như thế này: “Không nên ảo tưởng với sự đồng thuận rộng rãi tồn tại hiện nay giữa các nhà vật lý đối với phần lớn các lý thuyết của họ {...}. Nó liên quan trước hết đến bộ máy lý thuyết, nghĩa là tập hợp các hình thức luận toán học dùng để giải thích kinh nghiệm của chúng ta về thế giới, và những thủ tục tính toán cho phép từ đó suy ra các giải thích và tiên đoán liên quan đến những quan sát của chúng ta {...}. Nhưng sự đồng thuận này vẫn để ngỏ rất nhiều câu hỏi về cách giải thích các lý thuyết này và ý nghĩa các khái niệm của chúng {...}. Đằng sau sự thống nhất bề ngoài này của cộng đồng khoa học, người ta nhận thấy những bất đồng trí tuệ nghiêm trọng, những bất đồng này càng sâu sắc hơn khi mà rất hiếm khi chúng được bộc lộ rõ {...}. Sự có quá nhiều quan điểm khác nhau này vẫn thường bị giấu kín bởi sự thờ ơ hoặc cẩn trọng mà phần lớn các nhà nghiên cứu thể hiện bên ngoài lĩnh vực nghiên cứu chuyên sâu của họ”.

Nói như vậy có nghĩa là một thiểu số các nhà vật lý đã dũng cảm tấn công trực diện vấn đề rút gọn hàm sóng và cố gắng đưa ra lời giải đáp.

### *Một thế giới tự phân chia thành vô số phiên bản*

Một trong những cách tiếp cận độc đáo nhất và triệt để nhất là của nhà vật lý học người Mỹ, Hugh Everett được đưa vào năm 1957. Ông đưa ra một cách giải thích đáng ngạc nhiên về thực tại lượng tử. Theo ông, không hề có sự rút gọn sóng. Thay vì nói rằng hành động đo lựa chọn chỉ một lịch sử duy nhất trong vô số các khả năng được mô tả bằng hàm sóng, ông chủ trương rằng tất cả các khả năng đều được vật chất hóa, nhưng mỗi một khả năng được vật chất hóa trong một vũ trụ song song với vũ trụ chúng ta. Đó là cái mà người ta gọi là lý thuyết các “vũ trụ song song”. Theo lý thuyết này, vũ trụ được phân chia thành các phiên bản gần như giống nhau mỗi khi xuất hiện một thế đôi ngả hay một sự lựa chọn. Chẳng hạn, có một vũ trụ trong đó con mèo của Schrödinger sống, và một vũ trụ khác trong đó con mèo chết. Trong vũ trụ này photon ở đây, trong vũ trụ khác photon ở kia, trong một vũ trụ thứ ba photon ở đó, và cứ như vậy tiếp diễn. Khái niệm vũ trụ song song đặt mèo chết và mèo sống cùng hàng. Nó cũng đặt ngang bằng vị trí được quan sát của photon với tất cả các vị trí khác ở đó xác suất (được tính bằng bình phương biên độ của hàm sóng) không bằng không. Photon chiếm tất cả các vị trí, dù được quan sát hay không, nhưng mỗi vị trí nằm trong một vũ trụ song song khác. Trong vô số các vũ trụ này, người quan sát lựa chọn một vũ trụ cụ thể nào đó, với một con mèo chết hoặc sống, với một vị trí xác định của photon. Các vũ trụ song song

này cùng thực như nhau. Mỗi một vũ trụ chứa một người quan sát, người quan sát này cũng được phân thành vô số phiên bản. Nhưng tất cả hoàn toàn tách rời nhau: những người quan sát của vũ trụ này không bao giờ có thể kiểm tra những điều xảy ra trong một vũ trụ khác. Các vũ trụ song song này chưa bao giờ được kiểm chứng, vì chúng ta không bao giờ có thể quan sát được chúng.

Như vậy vũ trụ lao vào một cuộc hoan lạc nhân đôi, một con số chia nhỏ mỗi khi phải lựa chọn. Một số vũ trụ chỉ khác nhau bởi vị trí của chỉ một photon. Một số khác lại có các khác biệt lớn hơn. Sẽ có một vũ trụ trong đó bạn ở nhà ngồi đọc cuốn sách này, và một vũ trụ khác ở đó bạn đi nghe hòa nhạc. Cũng sẽ có các vũ trụ ở đó chiến tranh của Mỹ ở Việt Nam đã không xảy ra, nước Mỹ đã không xâm chiếm Iraq, bức tường Berlin đã không sụp đổ, con người không đi lên Mặt trăng, v.v... Các vũ trụ khác còn khác biệt một cách căn bản hơn: chúng có các định luật vật lý khác, các hằng số vật lý khác. Sẽ có, chẳng hạn, một vũ trụ ở đó ánh sáng không lan truyền với vận tốc 300.000km/s, mà ba mét mỗi giây. Khái niệm về trách nhiệm đạo đức không có đất tồn tại trong một thế giới các vũ trụ song song. Như vậy, một phạm nhân sẽ dễ dàng cầu xin lòng khoan dung của thẩm phán: mặc dù hắn đã thực hiện một vụ giết người trong vũ trụ này, nhưng trong một vũ trụ khác hắn có lẽ đã không phạm tội ác này. Tất cả mọi sự lựa chọn đã được thực hiện trước, không còn sự lựa chọn đích thực nữa.

Với vai trò là tác giả, bạn nghĩ rằng tôi sẽ phải ủng hộ lý thuyết các vũ trụ song song này. Cuốn sách này sẽ nhân lên thành vô số bản. Nhưng như vậy là đã quên mất rằng tác giả của nó cũng được nhân lên, và tiền bản quyền của mỗi một tác giả trong mỗi một vũ trụ vẫn không đổi!

Đến đây thì lương tri của bạn không còn chịu nổi nữa: bằng cách nào ý thức và cá tính của mỗi chúng ta lại có thể bị phân thân thành vô số các phiên bản mà chúng ta không nhận thấy? Nhưng liệu có thể dùng lương tri làm người dẫn đường trong cái thế giới đầy kỳ lạ của cơ học lượng tử? Dù sao đi nữa, lý thuyết về các vũ trụ song song, cũng như tất cả các lý thuyết được xây dựng để giải thích sự rút gọn của hàm sóng, đều không mâu thuẫn với bất kỳ một thí nghiệm trong phòng thí nghiệm nào.

### *Vai trò của ý thức*

Một số lý thuyết khác không nhân vũ trụ lên vô hạn, mà chấp nhận quan điểm cho rằng hành động đo tách ra một lịch sử cụ thể trong tất cả các khả năng tiềm ẩn. Tác giả của các lý thuyết này dành cho ý thức của người quan

sát một vai trò cốt yếu. Chính ý thức thực hiện sự lựa chọn và gây ra sự rút gọn của sóng. Các lý thuyết viện đến sự can thiệp của ý thức con người gọi là các thuyết “duy tâm” hay “chủ quan”. Tên của nhà vật lý học người Mỹ gốc Hungari, Eugene Wigner (1902-1995) đã được gắn với các lý thuyết này. Hãy nghe ông nói: “Không thể mô tả các hiện tượng nguyên tử mà không nói đến sự tham gia của ý thức. Chính một ấn tượng đi vào ý thức của chúng ta đã làm thay đổi hàm sóng”. Nhưng gán một vai trò chủ đạo cho ý thức chẳng phải là không có vấn đề. Cần phải có một khoảng thời gian nhất định giữa thời điểm máy ghi lại kết quả đo và thời điểm người quan sát ý thức về phép đo này: đó thời gian cần thiết để ánh sáng lan truyền từ máy đo đến mắt của nhà thực nghiệm, và để thông tin được dây thần kinh thị giác truyền lên não và được các neuron của não xử lý. Điều đó đúng là chỉ mất một phần nhỏ của giây, nhưng quá trình này không phải là tức thì. Bằng cách giả định rằng sự rút gọn hàm sóng chỉ xảy ra ở thời điểm ý thức về phép đo, những người theo chủ nghĩa duy tâm phải giả định ý thức của người quan sát phát ra một tín hiệu lần ngược lại thời gian và thông báo cho dụng cụ đo thời điểm chính xác của sự tương tác của hạt với máy đo. Một kịch bản chẳng kém phần kỳ cục và rối rắm.

Sự kỳ cục này đã được đẩy lên đến phi lý khi người quan sát được thay bằng một thiết bị ghi tự động. Trong một thí nghiệm về sự va chạm của các hạt trong máy gia tốc năng lượng cao của CERN, vài tháng, thậm chí vài năm sau thí nghiệm thì các kết quả được ghi trên các dải từ mới được phân tích. Phải đến lúc này chúng mới đi vào ý thức của con người. Có thể giả định như thế nào về tín hiệu mà một bộ óc có ý thức phát ra để nó là nguyên nhân gây ra sự rút gọn của sóng vài tháng hoặc vài năm trước khi nó ý thức về điều đó? Thật khó tin.

Một cách tiếp cận khác, cũng trao vai trò to lớn cho ý thức, đó là cách tiếp cận của Werner Heisenberg, cha đẻ của nguyên lý bất định. Ông coi hàm sóng không phải như một mô tả thực tại lượng tử – một photon ở đây hay ở kia – mà như một biểu diễn sự hiểu biết của chúng ta về hiện thực. Trước khi đo, chúng ta không biết photon ở đâu. Sau phép đo, chúng ta biết chính xác vị trí của nó (nhưng theo nguyên lý bất định chúng ta lại không biết vận tốc của nó). Sự thay đổi đột ngột này trong ý thức của chúng ta về hệ làm cho hàm sóng bị rút gọn thành một và chỉ một khả năng.

Loại giả định này trao cho ý thức con người vai trò quan trọng và làm nổi lên nhiều vấn đề chưa có lời giải. Trước khi con người có ý thức xuất hiện trên Trái đất, chẳng có một ai để nhắc đến sự rút gọn hàm sóng. Thế giới vật lý lúc đó phải chẳng rất khác với trạng thái hiện nay của nó? “Ý thức” của một con amíp, một con cá hay một con chim liệu có thể làm việc đó không? Liệu nó có

đủ “tân tiến” để các thay đổi xuất hiện trong ý thức của chúng về hiện thực có thể gây ra sự rút gọn của hàm sóng?

### *Thay đổi hàm sóng*

Do các quan điểm này vấp phải nhiều khó khăn nên đã xuất hiện các thuyết gọi là “duy vật” hay “khách quan”, đối lập với các thuyết duy tâm. Ngược lại với thuyết duy tâm, các thuyết duy vật khẳng định rằng ý thức không đóng bất kỳ vai trò nào, rằng thế giới không hề phụ thuộc vào sự hiện diện của người quan sát, rằng nó tồn tại như nó vốn thế, độc lập với mọi hành động quan sát. Nhưng khi đó sẽ giải thích như thế nào về sự rút gọn của hàm sóng? Sẽ làm thế nào hiểu được rằng các hệ vĩ mô như các dụng cụ đo không có cùng hành trạng như các hạt cơ bản đối với hàm sóng? Các nhà vật lý người Italia Giancarlo Ghirardi, Alberto Rimini và Tullio Weber đã đề xuất sửa đổi hàm sóng Schrödinger sao cho sự thay đổi này không có bất kỳ tác động nào lên diễn tiến lượng tử của các hạt đơn lẻ, nhưng có một tác động đáng kể lên hành trạng lượng tử của các vật vĩ mô trong cuộc sống hàng ngày, như các dụng cụ đo.<sup>1</sup> Sự thay đổi toán học này đưa vào một sự bất ổn định cố hữu của hàm sóng, gây ra một sự rút gọn tức thì vô số các khả năng thành chỉ một khả năng. Các nhà vật lý người Italia cho rằng đối với một hạt cơ bản, sự rút gọn tức thì này sẽ chỉ được thực hiện trung bình khoảng một tỉ năm một lần. Thời gian quá dài này muốn nói rằng chúng ta sẽ không thấy thay đổi đáng kể trong hành trạng của các hạt so với mô tả mà cơ học lượng tử trong phiên bản quen thuộc của nó đưa ra. Có một điều lý thú là sự mô tả này đã được kiểm chứng bằng quan sát ở một mức độ chính xác rất cao. Ngược lại, đối với các vật vĩ mô cấu thành từ một số rất lớn các hạt, như các nhà thực nghiệm và các dụng cụ đo đạc của họ (cơ thể chúng ta chứa khoảng một tỉ tỉ hạt, và một dụng cụ đo chứa khoảng một phần mười số hạt của cơ thể chúng ta), sự rút gọn tức thì hàm sóng của một hạt trong các vật này chỉ có thể xảy ra trong một phần giây rất nhỏ. Bởi vì tất cả các hạt trong các vật vĩ mô này tương tác với nhau, nên xảy ra một dạng hiệu ứng domino lan truyền sang toàn bộ các hạt, và như vậy xảy ra sự rút gọn hàm sóng của tập hợp “hạt và dụng cụ đo”.

Về nguyên tắc, quan điểm của các nhà vật lý Italia có thể kiểm tra được.

---

<sup>1</sup> Xem biện luận bởi Brian Greene, *The Fabric of the Cosmos*, New York, Alfred A. Knopf, 2004, tr. 207.

Trong một số tình huống, quan điểm tiên đoán các hiệu ứng khác với các hiệu ứng do cơ học lượng tử trong phiên bản quen thuộc của nó dự báo. Nhưng các hiệu ứng này nhỏ tới mức công nghệ hiện nay chưa cho phép chúng ta đo được.

### *Ảnh hưởng của môi trường*

Cuối cùng, tôi đi đến lý thuyết mà tôi thấy có thể chấp nhận được nhất và hứa hẹn nhất, thuyết mà tôi thấy có nhiều khả năng đúng nhất, và được phần lớn các nhà vật lý coi là một thuyết chứa đựng thành phần cốt yếu của thực tại lượng tử. Đó là lý thuyết “mất kết hợp” (*décohérence*). Thuyết này được nhà vật lý người Đức, Dieter Zeh đưa ra năm 1970. Nhà vật lý người Đức, Erich Joos và người Mỹ, Wojciech Zurek cũng đã góp công vào lý thuyết này. Thuyết mất kết hợp đưa vào một thành phần cơ bản mà cho tới đây vẫn vắng bóng trong các thảo luận của chúng ta: đó là môi trường của nhà thực nghiệm và dụng cụ thí nghiệm. Mọi sinh vật, mọi vật đều nằm trong một môi trường và tương tác với môi trường đó. Thật vậy, dụng cụ đo liên tục bị photon và các phân tử không khí va đập. Không có gì là cố định và bất động hết. Tất cả đều chuyển động, tất cả đều thay đổi, tất cả đều vô thường. Trong khi tôi viết các trang này, hàng trăm tỉ hạt neutrino – các hạt có khối lượng rất nhỏ tương tác rất yếu với vật chất, sinh ra từ những khoảnh khắc đầu tiên của vũ trụ – xuyên qua cơ thể tôi mỗi giây. Cuốn sách mà bạn đang cầm trong tay được cấu thành từ vô số nguyên tử và phân tử; nếu bạn có đôi mắt có khả năng nhìn ở thang dưới nguyên tử, bạn sẽ nhìn thấy chúng sôi sục và liên tục va chạm vào nhau. Không có gì là biệt lập, tất cả đều phụ thuộc lẫn nhau.

Nếu mọi người hoặc mọi vật đều phải tương tác với môi trường của mình, thì lẽ tất nhiên chúng ta phải tính đến sự tương tác này khi xem xét diễn tiến lượng tử của hàm sóng của một dụng cụ đo. Nếu, trong các hoàn cảnh bình thường, các photon và phân tử không khí không quá giàu năng lượng để làm thay đổi chuyển động hay vị trí của một máy dò (mặc dù một chuyển động có năng lượng lớn của các nguyên tử không khí, như một cơn gió dữ dội, có thể làm dịch chuyển nó, thậm chí lật đổ nó), thì chúng có thể gây ra các nhiễu động nhỏ trong hàm sóng của dụng cụ đo hay, nói cách khác, làm nhiễu động sự “kết hợp” của nó. Các phân tử không khí bao quanh bạn va chạm thường xuyên với cơ thể bạn. Bạn không cảm thấy áp lực của không khí lên da bạn là do các phân tử này có khối lượng rất nhỏ (cỡ  $10^{-21}$  gam). Nhưng các phân tử không khí làm mất trật tự, mất kết hợp trong dây có trật tự của các đỉnh và hõm của hàm sóng của dụng cụ đo. Chúng làm cho nó trở nên thiếu chính xác hơn, kéo

theo sự biến mất của các vân giao thoa trong thí nghiệm khe Young. Nhưng, nói vắng bóng giao thoa nghĩa là nói rút gọn sóng. Nói cách khác, chính sự bắn phá liên tục của các thành phần của môi trường lên dụng cụ đo đã gây ra sự rút gọn hàm sóng. Nó làm cho hạt ánh sáng đổi bộ áo sóng sang bộ áo hạt.

Chúng ta hãy lấy ví dụ về một photon mà hàm sóng của nó nói với chúng ta rằng nó có xác suất 75% ở “kia” và 25% ở “đây”. Nếu chúng ta đo vị trí của photon bằng một dụng cụ vĩ mô đặt trong một môi trường mà dụng cụ đo có tương tác, dụng cụ này có 75% khả năng chỉ vị trí “kia” và 25% khả năng chỉ vị trí “đây”. Nhưng nó luôn luôn chỉ hoặc là “đây” hoặc là “kia”. Do sự “mất kết hợp” của hàm sóng của dụng cụ đo do môi trường của nó gây ra, dụng cụ này không bao giờ nằm trong một trạng thái hư ảo ở đó nó chỉ một tổ hợp 75% “kia” với 25% “đây”. Giống như bạn gieo một đồng xu: nó có 50% khả năng rơi sấp hoặc ngửa. Nhưng nó sẽ luôn rơi sấp hoặc ngửa. Không bao giờ nó nằm trong trạng thái vừa sấp vừa ngửa cả. Còn về con mèo của Schrödinger, rất lâu trước khi bạn đi vào trong phòng để kiểm tra tình trạng của nó, môi trường đã hoàn thành sứ mệnh của nó và buộc con mèo phải có một số phận xác định. Con mèo hoặc chết, hoặc sống, nhưng không bao giờ vừa sống vừa chết.

Như vậy, các lực làm “mất kết hợp” được tác dụng bởi vô số các nguyên tử và phân tử va chạm vào dụng cụ đo đã loại đi những điều các kỳ lạ của cơ học lượng tử. Các tương tác nhỏ này của một hệ vật lý với môi trường của nó đã gây ra sự rút gọn hàm sóng của hạt được quan sát. Gần như thể là môi trường đã chiếm cho mình vai trò của người quan sát.

Sự mất kết hợp của hàm sóng xảy ra chỉ trong nháy mắt. Hãy xét một hạt bụi lơ lửng trong phòng bạn, bị các phân tử không khí không ngừng bắn phá. Sự rút gọn hàm sóng do môi trường gây ra sau khoảng thời gian vô cùng ngắn cỡ một phần tỉ tỉ tỉ ( $10^{-36}$ ) giây!

Với sự mất kết hợp, hàng rào mà Bohr dựng nên giữa thế giới vĩ mô và thế giới vĩ mô không còn đất tồn tại nữa. Với ý thức và dụng cụ của mình, người quan sát không còn đóng một vai trò tách biệt, bởi vì anh ta nằm trong môi trường giống như photon và các phân tử không khí. Hành động quan sát không còn chuyên biệt nữa, vì nó chỉ là một ví dụ khác về tương tác của hạt được quan sát với môi trường của nó. Người quan sát và hạt cơ bản là bình đẳng, vì sự tiến hóa lượng tử của cả hai đều được mô tả bằng hàm sóng Schrödinger.

Nhưng không phải mọi sự điều hoàn toàn tốt đẹp cả. Một câu hỏi quan trọng vẫn còn cần được làm sáng tỏ trong lý thuyết mất kết hợp. Trong số tất cả các khả năng tồn tại trước hành động đo, bằng cách nào sự mất kết hợp lại chọn một lịch sử xác định nào đó? Hạt có thể quyết định ở “kia” chứ không ở

“đây” như thế nào? Tại sao con mèo của Schrödinger lại sống chứ không chết? Trong trường hợp một đồng xu được gieo, nếu chúng ta biết chính xác nó đã được gieo như thế nào, khối lượng, vị trí và vận tốc ban đầu của nó ra sao, thì về nguyên tắc chúng ta có thể sử dụng vật lý cổ điển để xác định trước nó sẽ rơi sấp hay ngửa (trong thực tiễn, chúng ta không bao giờ có được tất cả các thông tin này với độ chính xác mong muốn, và chính vì thế chúng ta mới nói đến xác suất: đồng xu có 50% khả năng rơi sấp hoặc ngửa). Nhưng điều đó không đúng với thuyết mất kết hợp. Cho tới hiện nay, nó vẫn chưa cung cấp cho chúng ta các phương tiện tính toán, dù chỉ ở dạng nguyên tắc, khả năng nào trong vô số các khả năng sẽ trở thành hiện thực.

Chúng ta đã đi đến đoạn cuối của cuộc viễn du qua lịch sử ánh sáng. Sau rất nhiều biến cố và thăng trầm, ngày hôm nay người ta đã xác lập được một cách chắc chắn rằng ánh sáng có bản chất lưỡng tính. Các quan điểm hạt của Newton, Planck và Einstein đã được trích dẫn cũng nhiều như các mô tả sóng của Huygens, Young, Fresnel, Faraday và Maxwell. Khi chúng ta không quan sát nó, ánh sáng có dáng vẻ sóng và hiện diện đồng thời khắp nơi. Một hàng hà sa số các khả năng được cung cấp cho nó: nó có thể đi đồng thời sang trái và sang phải, giao thoa với chính mình, triệt tiêu nhau thậm chí hoàn toàn ở một số vị trí. Nhưng, ngay khi chúng ta quan sát nó bằng một dụng cụ đo, nó liền khoác bộ áo hạt, với một lịch sử xác định. Hành động đo làm cho một lịch sử cụ thể được kết tinh từ vô số các khả năng.

Sau khi suy nghĩ về bản chất vật lý sâu xa của ánh sáng, giờ chúng ta hãy suy nghĩ về nguồn gốc của nó, về các vật khác nhau là nguồn của ánh sáng trong vũ trụ. Chúng ta hãy nhìn gần hơn những cảnh tượng tuyệt vời mà ánh sáng đã ban cho chúng ta.

## CHƯƠNG 4

# ÁNH SÁNG VÀ BÓNG TỐI: BIG BANG, VẬT CHẤT TỐI VÀ NĂNG LƯỢNG TỐI

### *Bốn lực cơ bản điều chỉnh thế giới*

Ngày nay chúng ta nghĩ rằng cách đây khoảng 14 tỉ năm một vụ nổ kinh hoàng gọi là Big Bang đã sinh ra vũ trụ, thời gian và không gian. Một vụ nổ không xảy ra ở một điểm duy nhất của một không gian đã tồn tại từ trước, mà diễn ra ở mọi điểm của một không gian được tạo ra liên tục. Kể từ đó diễn ra sự thăng tiến không ngừng nghỉ trên con đường phức tạp hóa. Từ một chân không có kích thước nhỏ hơn nguyên tử, vũ trụ giãn nở đã không ngừng lớn lên và loăng đi, tạo ra lần lượt các quark và electron, các proton và neutron, các nguyên tử, các sao và các thiên hà. Một tấm vải vũ trụ khổng lồ đã được dệt nên từ hàng trăm tỉ thiên hà, mỗi thiên hà lại chứa hàng trăm tỉ ngôi sao. Trong vùng ngoại ô của một trong các thiên hà có tên là Ngân hà, trên một hành tinh gần một ngôi sao gọi là Mặt trời, đã xuất hiện con người có khả năng kinh ngạc trước vẻ đẹp và hài hòa của vũ trụ, và được ban tặng một ý thức và trí khôn để biết tự vấn về vũ trụ đã sinh ra mình. Bức bối họa khổng lồ và tuyệt đẹp này cũng chính là lịch sử ra đời và tiến hóa của các nguồn ánh sáng khác nhau trong vũ trụ.

Nhưng, trước khi lần ngược thời gian để tìm gặp nguồn ánh sáng nguyên thủy, cũng tức là Big Bang, chúng ta cần làm quen với bốn lực cơ bản chi phối chỉnh vũ trụ. Trên thực tế, thế giới bao quanh ta – đỉnh Himalaya phủ đầy tuyết trắng, cánh hoa hồng, khuôn mặt xinh xắn của một em bé đang cười –

hoàn toàn do bốn lực cơ bản quyết định: lực hấp dẫn, lực điện từ và hai lực hạt nhân mạnh và yếu. Các lực này có những tính chất rất khác nhau. Và quả là rất may mắn cho chúng ta, vì chính sự đa dạng này đã cứu thế giới thoát khỏi sự đơn điệu tẻ nhạt, tạo ra sự đa dạng và phức tạp tuyệt vời của thế giới. Chẳng hạn, các lực hấp dẫn và điện từ có một tầm tác dụng rất lớn vì cường độ của chúng chỉ giảm theo bình phương của khoảng cách, điều này cho phép chúng chi phối thế giới vĩ mô. Ngược lại, tầm tác dụng của các lực hạt nhân mạnh và yếu lại rất ngắn: chỉ một phần mười nghìn tỉ ( $10^{-13}$ ) centimet – cỡ kích thước của hạt nhân nguyên tử – đối với lực hạt nhân mạnh, và một trăm lần nhỏ hơn đối với lực hạt nhân yếu, điều này giới hạn tác dụng của chúng chỉ ở thế giới dưới nguyên tử. Mặt khác, các lực khác nhau này không tác dụng lên vật chất theo cách như nhau. Lực hấp dẫn không thể hiện sự phân biệt, nó tác động lên mọi vật chất. Còn lực điện từ thì chỉ tác dụng lên các hạt tích điện; nó không có bất kỳ ảnh hưởng nào lên các hạt trung hòa (tức không tích điện). Về phần mình, lực hạt nhân mạnh tác dụng lên các hạt là những viên gạch cấu tạo nên hạt nhân nguyên tử, đó các proton và neutron, nhưng không có bất kỳ tác dụng nào lên electron và neutrino (các hạt trung hòa có khối lượng rất nhỏ, hoặc không trọng lượng và tương tác rất ít với vật chất thông thường). Còn về lực hạt nhân yếu, nó chỉ bộc lộ trong một số phản ứng hạt nhân và là nguyên nhân gây ra sự phân rã phóng xạ của một số hạt nhân.

Bốn lực này có cường độ khác nhau. Chúng được sắp xếp theo một thứ bậc nghiêm ngặt. Ở đầu bảng là lực hạt nhân mạnh. Nó là mạnh nhất, như tên của nó cho thấy. Sau đó đến lực điện từ, yếu hơn 137 lần, và lực nguyên tử yếu, yếu hơn lực hạt nhân mạnh 100.000 lần. Ở cuối danh sách là lực hấp dẫn, nó vô cùng yếu: yếu hơn lực hạt nhân mạnh 1.000 tỉ tỉ tỉ ( $10^{39}$ ) lần. Để hình dung lực hấp dẫn yếu như thế nào so với lực hạt nhân mạnh, bạn chỉ cần dùng một nam châm nhỏ (loại nam châm mà bạn gắn trên cánh cửa tủ lạnh để treo tờ nhắc việc) là có thể nhấc một cái đinh lên khỏi mặt đất. Điều này muốn nói rằng lực điện từ của một nam châm nhỏ tác dụng lên cái đinh cũng mạnh hơn rất nhiều lực hấp dẫn của Trái đất! Bởi vì lực hấp dẫn giữa hai vật tỉ lệ với tích các khối lượng của chúng, nên nó chỉ có tác dụng đáng kể khi đó là các khối lượng vô cùng lớn như các hành tinh, sao và thiên hà. Như vậy lực hấp dẫn chỉ thể hiện quyền lực của nó chủ yếu trong thế giới vô cùng lớn.

### *Bức tường nhận thức*

Đầu thế kỷ XX, hai lý thuyết lớn ra đời và đã trở thành trụ cột của vật lý học hiện đại. Lý thuyết thứ nhất là cơ học lượng tử, mô tả thế giới các nguyên tử và ánh sáng, ở đó hai lực hạt nhân mạnh và yếu cùng với lực điện từ làm chủ cuộc chơi, nhưng lực hấp dẫn lại là vô cùng nhỏ. Lý thuyết thứ hai là thuyết tương đối, giải thích các tính chất của vũ trụ ở thang lớn, thang các thiên hà, các sao và hành tinh, ở đó lực hấp dẫn chiếm tiền cảnh của sân khấu, còn các lực hạt nhân và lực điện từ không còn đóng vai trò hàng đầu nữa. Hai lý thuyết lớn này đã được kiểm chứng nhiều lần qua rất nhiều kết quả đo đạc và quan sát, chúng vận hành hết sức hiệu quả khi chúng tách rời nhau và giới hạn ở lĩnh vực riêng của mình. Nhưng vật lý học sẽ hụt hơi và mất đi mọi phương tiện của mình khi lực hấp dẫn, bình thường là không đáng kể ở thang dưới nguyên tử, trở nên quan trọng ngang bằng với ba lực khác. Vậy mà đó lại chính là điều đã xảy ra ở những khoảnh khắc đầu tiên của vũ trụ, khi cái vô cùng nhỏ để ra cái vô cùng lớn. Để hiểu nguồn gốc của vũ trụ và cũng tức là nguồn gốc của chính chúng ta, cần phải có một lý thuyết vật lý thống nhất cơ học lượng tử và thuyết tương đối, được gọi là lý thuyết “hấp dẫn lượng tử”, có khả năng mô tả tình huống ở đó bốn lực cơ bản có vai trò ngang nhau.

Sự thống nhất này không hề dễ dàng, bởi vì giữa cơ học lượng tử và thuyết tương đối rộng tồn tại một sự không tương thích cơ bản có liên quan với bản chất của không gian. Theo thuyết tương đối, không gian, ở thang lớn, nơi triển khai các thiên hà và sao là tĩnh và tròn, hoàn toàn không có những thăng giáng và sần sùi. Trái lại, không gian ở thang dưới nguyên tử của cơ học lượng tử là tất cả chỉ trừ sự tròn nhẵn. Do sự nhòe của năng lượng, không gian trở thành một dạng bọt lượng tử có các hình dạng liên tục thay đổi, chứa đầy các lượn sóng và những bất thường xuất hiện rồi biến mất ở đây đó theo các chu kỳ vô cùng ngắn ngủi. Độ cong và topo của bọt lượng tử này là hỗn độn và chỉ có thể mô tả bằng xác suất. Như một bức tranh điểm họa của Seurat được tách thành hàng nghìn chấm đa sắc khi nhìn gần, không gian cũng tan rã thành vô số các thăng giáng và không còn tuân theo các định luật tất định nữa khi người ta nghiên cứu nó ở thang dưới nguyên tử. Sự không tương thích cơ bản này giữa hai lý thuyết về bản chất của không gian khiến cho chúng ta không thể ngoại suy các định luật của thuyết tương đối tới tận “thời gian zero” của vũ trụ, khi không gian và thời gian được tạo ra. Một bức tường nhận thức được dựng lên chắn đường chúng ta. Người ta gọi đó là “bức tường Planck”, theo tên của nhà vật lý học người Đức, Max Planck, người đầu tiên quan tâm đến vấn đề này.

Các định luật của thuyết tương đối không còn đứng vững ở thời gian vô cùng nhỏ, ở  $10^{-43}$  giây sau Big Bang, tức thời gian Planck.

Bị đặt trước thách thức, các nhà vật lý đã miệt mài tìm cách đột phá bức tường Planck. Họ đã có những nỗ lực phi thường nhằm xây dựng cái mà họ gọi có lẽ hơi khoa trương là “lý thuyết của Tất cả” (hay lý thuyết của Vạn vật). Lý thuyết này thống nhất cơ học lượng tử và thuyết tương đối, đồng thời cũng thống nhất bốn lực của tự nhiên thành một “siêu lực”. Các nhà vật lý đã vượt qua được các giai đoạn quan trọng. Năm 1967, các nhà vật lý Mỹ, Steven Weinberg (sinh năm 1933) và Sheldon Glashow (sinh năm 1932) và nhà vật lý Pakistan, Abdus Salam (1926-1996) đã thống nhất được các lực điện từ và hạt nhân yếu thành lực điện-yếu. Người ta đã quan sát được các hạt W và Z mà lý thuyết tiên đoán là các hạt truyền tương tác điện yếu trong máy gia tốc hạt của CERN, và ba nhà vật lý này đã được tặng giải Nobel Vật lý vào năm 1979. Các thuyết “thống nhất lớn” cũng đã được xây dựng để thống nhất lực hạt nhân mạnh với lực điện yếu. Những lý thuyết này còn chưa được kiểm chứng bằng thực nghiệm, bởi vì các máy gia tốc hiện nay vẫn chưa thể đạt đến năng lượng cho phép thực hiện sự thống nhất lớn này. Trong một thời gian rất dài, lực hấp dẫn vẫn ương ngạnh cưỡng lại mọi đề xuất thống nhất nó với các lực khác. Chỉ với sự lên ngôi của lý thuyết siêu dây, vào năm 1984, thì lực hấp dẫn mới có vẻ chịu để cho tán tỉnh.

### *Bản giao hưởng dây*

Trong lý thuyết siêu dây, các hạt không còn là các thành phần cơ bản nữa, mà đơn giản chỉ là kết quả của các dao động của các sợi dây vô cùng nhỏ, cỡ  $10^{-33}$  cm, tức chiều dài Planck. Các hạt vật chất và ánh sáng truyền các lực (chẳng hạn, photon truyền lực điện từ), gắn kết các thành phần của thế giới lại với nhau và làm cho thế giới thay đổi và tiến hóa, tất cả đều chỉ là những biểu hiện khác nhau của các dao động của các dây này. Vậy mà, một sự kiện đặc biệt đã xảy ra, đó là graviton, hạt truyền lực hấp dẫn vốn vắng bóng một cách đáng thất vọng trong các lý thuyết trước, thì giờ đây, như có phép thần, đã xuất hiện trong số các biểu hiện này. Như vậy, sự thống nhất lực hấp dẫn với ba lực khác là có thể. Trong thuyết siêu dây, cũng hoàn toàn giống như sự dao động của các dây đàn violon sinh ra các âm thanh khác nhau cùng với các họa ba của chúng, các âm và các họa ba của các dây xuất hiện trong tự nhiên và đối với các dụng cụ đo của chúng ta dưới dạng các photon, proton, electron, graviton... Như vậy, các dây hát và dao động khắp nơi xung quanh chúng ta,

và thế giới chỉ là một bản giao hưởng khổng lồ. Theo một phiên bản của thuyết siêu dây, các siêu dây này tồn tại trong một vũ trụ chín chiều không gian, trong một phiên bản khác chúng lại tồn tại trong một vũ trụ hai mươi lăm chiều. Bởi vì chúng ta chỉ cảm nhận được ba chiều không gian, nên cần phải giả định rằng sáu hay hai mươi hai chiều bổ sung này của không gian bị cuộn lại cho tới khi trở nên nhỏ tới mức không còn cảm nhận được nữa.

Nhưng thuyết siêu dây còn lâu mới đầy đủ và đường đến đích còn rất dài và hết sức cam go. Lý thuyết này vẫn bị bao phủ bởi một tấm màn toán học dày đặc và trừu tượng tới mức nó thách thức tài năng của các nhà vật lý và toán học giỏi nhất hiện nay. Trên thực tế, lý thuyết này chưa bao giờ được kiểm chứng bằng thực nghiệm, vì các hiện tượng mà nó tiên đoán xảy ra ở những năng lượng vượt xa các năng lượng mà các máy gia tốc hạt hiện nay có thể đạt được. Thế nhưng, chừng nào một lý thuyết khoa học còn chưa được kiểm chứng bằng quan sát, thì chừng ấy chúng ta vẫn chưa thể biết liệu lý thuyết ấy đúng và phù hợp với tự nhiên hay nó chỉ là một sản phẩm của trí tưởng tượng phong phú của các nhà vật lý, không có bất kỳ mối quan hệ nào với hiện thực. Bản giao hưởng dây hiện vẫn đang còn dang dở.

### *Các trường bao quanh chúng ta*

Như vậy, vì hiện vẫn chưa có một lý thuyết về hấp dẫn lượng tử đáng tin cậy và được kiểm chứng bằng thực nghiệm, nên có nguy cơ sẽ làm bạn thất vọng, chúng ta sẽ không thể lần ngược lịch sử vũ trụ của ánh sáng (và của cả vật chất nữa) cho tới ngọn nguồn của thời gian. Thời điểm zero cho tới lúc này vẫn chưa tiếp cận được. Nhưng xin bạn đừng buồn, dù sao chúng ta cũng vẫn tiếp cận được tới một thời gian vô cùng gần ngay sau bức tường Planck: cụ thể là  $10^{-43}$  giây (số 1 sau 43 số 0) sau thời gian zero. So với toàn bộ lịch sử của vũ trụ, tức 14 tỉ năm, thì một cái tíc trong đồng hồ của bạn cũng dài hơn hàng trăm triệu tỉ lần thời gian  $10^{-43}$  giây so với một giây. Hiện thực ở bên kia bức tường nhận thức vẫn chưa thể tiếp cận được. Ở đó có thể vũ trụ có một thời gian vô tận. Có thể thậm chí không có “thời điểm zero” tương ứng với thời điểm ra đời của vũ trụ. Ở  $10^{-43}$  giây, vũ trụ là vô cùng nhỏ (nó có kích thước cỡ  $10^{-33}$  cm, tức nhỏ hơn nguyên tử hiđrô mười triệu tỉ lần), nóng ( $10^{32}$  độ Kelvin, nóng hơn mọi hỏa ngục mà đại thi hào Dante của nước Ý có thể tưởng tượng ra) và đặc ( $10^{96}$  g/cm<sup>3</sup>, tức vài triệu tỉ tỉ tỉ tỉ tỉ tỉ tỉ tỉ lần đặc hơn nước). Vật chất và ánh sáng còn chưa xuất hiện. Các hành tinh, sao và thiên hà vẫn còn rất xa trong tương lai. Vũ trụ lúc này là chân không. Nhưng đó không phải là

một chân không tĩnh lặng, không có bất kỳ vật chất và hoạt động nào, như tất cả chúng ta đều nghĩ, mà một chân không lượng tử sống động và sôi sục năng lượng. Năng lượng này được vận chuyển bởi cái mà các nhà vật lý học gọi là một “trường Higgs”, theo tên của nhà vật lý người Scotland, Peter Higgs, tác giả của khái niệm này.

Từ khi được nhà vật lý người Anh, Michael Faraday đưa ra từ thế kỷ XIX, khái niệm “trường” đã đóng một vai trò căn bản trong vật lý học hiện đại. Tất cả chúng ta đều biết các trường điện từ, vì chúng luôn ở quanh ta trong cuộc sống hàng ngày. Trên thực tế, chúng ta sống trong một đại dương các trường này: chúng được tạo ra từ các đài truyền thanh và truyền hình, và ta biến chúng thành âm thanh hoặc hình ảnh khi bật radio hay máy thu hình; chúng cũng được sinh ra từ điện thoại di động khi chúng ta nói chuyện với bạn bè; đó cũng là trường mà Mặt trời gây ra và làm cho chúng ta nhìn thấy ánh sáng thái dương và cảm thấy sức nóng của nó trên da chúng ta. Các hạt ánh sáng hay photon là các thành phần cơ bản của trường điện từ. Sở dĩ chúng ta thấy Mặt trời, đó là bởi vì một trường sóng điện từ đã kích thích võng mạc của chúng ta, hay nói cách khác, bởi vì photon đã đi vào mắt chúng ta. Photon cũng đóng vai trò là hạt truyền tương tác. Chính chúng truyền lực điện từ giữa hai vật và chi phối hành trạng của chúng. Ví dụ, hai electron đẩy nhau khi một photon được phát bởi electron thứ nhất bị electron thứ hai hấp thụ, truyền cho nó mệnh lệnh phải tránh xa electron thứ nhất.

Tương tự, chúng ta cũng đã biết các trường hấp dẫn. Các trường này cũng tồn tại quanh chúng ta. Đó là trường hấp dẫn của Trái đất giúp chúng ta không bị lơ lửng trong không trung và làm chúng ta ngã xuống đất khi bị vấp. Hiệu ứng của trường hấp dẫn của Trái đất đóng vai trò quyết định, nhưng chúng ta cũng cảm thấy trường hấp dẫn của Mặt trăng (chính Mặt trăng đã gây ra thủy triều), của Mặt trời, của các hành tinh, các sao, của Ngân hà, v.v.. Cường độ trường hấp dẫn của các thiên thể xa xôi này càng yếu khi khoảng cách của chúng càng xa, vì nó giảm theo bình phương khoảng cách. Tương tự như photon là thành phần cơ bản và là hạt truyền tương tác điện từ, các graviton cũng đóng vai trò này đối với trường hấp dẫn. Mặc dù chưa ai quan sát thấy graviton trong phòng thí nghiệm cũng như trong vũ trụ, có lẽ do lực hấp dẫn quá yếu, nhưng các nhà vật lý vẫn tin là nó tồn tại. Chẳng hạn, khi bạn vấp phải một hòn đá và ngã xuống đất, bạn có thể giải thích sự vấp ngã này theo ba cách tương đương nhau: bạn có thể nói, theo cách của Newton, rằng bạn rơi là do trường hấp dẫn của Trái đất hút cơ thể bạn; hoặc, nếu bạn quyết định sử dụng ngôn ngữ của Einstein, bạn sẽ nói rằng cơ thể của bạn rơi theo không

gian bị lực hút của Trái đất uốn cong; hay, theo ngôn ngữ của nhà vật lý hiện đại, bạn nói rằng đã có sự trao đổi các graviton giữa Trái đất và cơ thể bạn, và các graviton này ra lệnh cho cơ thể bạn ngã xuống.

Tương tự như trường của các lực điện từ và hấp dẫn, cũng tồn tại các trường của lực hạt nhân mạnh và yếu. Các hạt cấu thành nên chúng là các “gluon” đối với lực hạt nhân mạnh (theo tiếng Anh *glue* nghĩa là “keo”, vì lực hạt nhân gắn kết các viên gạch tạo nên hạt nhân nguyên tử – là proton và neutron – lại với nhau), và các hạt gọi là W và Z đối với lực hạt nhân yếu.

Khái niệm “trường” không chỉ áp dụng cho các lực, mà còn cho cả vật chất. Chẳng hạn, người ta có thể nói đến một trường electron trong đó electron là thành phần cơ bản, cũng giống như photon là thành phần cơ bản của trường điện từ. Nhưng điều làm chúng ta quan tâm nhất, đó là quan điểm cho rằng ở những khoảnh khắc đầu tiên của vũ trụ, còn tồn tại một loại trường thứ ba, một trường không gắn với một lực cũng chẳng gắn với các hạt nào của vật chất. Đó là trường Higgs, mà các nhà vật lý nghĩ rằng nó đã đóng một vai trò cực kỳ quan trọng trong chính sự khởi phát của vụ nổ nguyên thủy. Nhưng, để hiểu điều này, chúng ta phải làm quen với một phát hiện thiên tài của Einstein.

### *Một vũ trụ tĩnh*

Trong các điều kiện mật độ vật chất và năng lượng vô cùng cao thẳng thừng trong những phần giây đầu tiên của vũ trụ, chính lực hấp dẫn đã điều khiển cuộc chơi. Nó lấn át các lực khác. Thế nhưng bình thường lực hấp dẫn phải là hút chứ đâu phải là đẩy. Nó có thể làm cho vũ trụ co mạnh lại, chứ không thể làm nổ tung vũ trụ được. Vậy, giải thích như thế nào về vụ nổ khởi thủy đây? Để giải thích Big Bang, các nhà vật lý bắt tay tìm kiếm một lực không phải là hút, mà là đẩy, có khả năng làm nổ tung vũ trụ. Trong cuộc tìm kiếm này, họ không cần phải nhờ đến một lực thứ năm. Họ đã phát hiện lại một người bạn rất cũ, đó chính là lực hấp dẫn, vì trong một số hoàn cảnh, lực hấp dẫn có thể là đẩy chứ lại không phải là hút. Lần theo con đường này, các nhà nghiên cứu đã nhận thấy, cũng như trong nhiều lĩnh vực khác, rằng Einstein đã đi trước họ.

Các phương trình của thuyết tương đối rộng của Einstein nói với chúng ta rằng vũ trụ không tĩnh, mà là động. Nó phải hoặc giãn nở, hoặc co lại, chứ không thể đứng yên. Một vũ trụ tĩnh chẳng khác nào một quả bóng tennis sau khi bị người chơi vụt, cứ lơ lửng trên không trung, không bay lên mà cũng chẳng rơi xuống. Nhưng năm 1915, năm công bố thuyết tương đối rộng, tất cả mọi người, kể cả Einstein, đã tin rằng vũ trụ là tĩnh và vĩnh hằng, rằng nó là

cố định và bất biến. Einstein đã không có đủ niềm tin vào lý thuyết yêu quý của ông. Lẽ ra ông đã có thể tiên đoán một trong những phát hiện lớn nhất của nhân loại – sự giãn nở của vũ trụ (mãi mười bốn năm sau nhà thiên văn học người Mỹ Edwin Hubble mới phát hiện ra hiện tượng này). Vì thế ông đã sửa các phương trình của thuyết tương đối rộng để chúng phù hợp với một vũ trụ tĩnh. Chiến lược của ông rất đơn giản: bởi vì lực hấp dẫn có tính hút, nên cần phải tìm ra một lực đẩy để trung hòa nó; ông đã đưa vào phương trình của ông lực đẩy này dưới dạng một số hạng mới mà ông gọi là “hằng số vũ trụ” – “hằng số” bởi vì đại lượng này không thay đổi theo thời gian, và “vũ trụ” bởi vì hiệu ứng của nó tác động lên toàn vũ trụ. Hằng số này có ý nghĩa gì? Einstein không nói rõ. Nhưng cách hiểu hiện đại đối với hằng số vũ trụ gọi đến một dạng năng lượng mới không được cấu thành từ bất kỳ hạt cơ bản đã biết nào, như photon, proton, neutron hay electron; năng lượng này choán toàn bộ không gian như một thứ ête mới. Vì thiếu các thông tin rõ ràng hơn, nên người ta thường gọi nó là “năng lượng tối”, bởi vì một chất như thế sẽ trong suốt, cho phép nhìn thấy các nguồn ánh sáng của các sao và thiên hà, và cả màn đêm tối nữa. Không xác định được bản chất của hằng số vũ trụ, nhưng không vì thế mà Einstein không tính toán được các hiệu ứng hấp dẫn của nó, và điều mà ông phát hiện được thật phi thường.

### *Một áp suất âm và một lực hấp dẫn đẩy*

Để hiểu các kết quả của Einstein, cần phải nhắc lại rằng, theo Newton, lực hấp dẫn giữa hai vật tỉ lệ với tích khối lượng của chúng và tỉ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa chúng. Nói cách khác, chính khối lượng của một vật là nguồn gốc của lực hấp dẫn của nó. Trong thuyết tương đối rộng của Einstein, khối lượng cũng là nguồn gốc của lực hấp dẫn, nhưng nó không còn là duy nhất nữa. Tồn tại hai nguồn khác cũng đóng góp vào trường hấp dẫn: năng lượng và áp suất. Chúng ta hãy tìm hiểu tại sao.

Năng lượng của một vật bắt nguồn từ khối lượng của nó, nhưng cũng bao hàm cả năng lượng chuyển động của các nguyên tử cấu thành nó. Thật vậy, hãy lấy hai khối sắt hoàn toàn giống nhau, khối lượng và nhiệt độ như nhau. Hãy nung nóng một khối sắt sao cho nó nóng hơn khối kia 10 độ. Đặt hai khối sắt lên cân, và bạn sẽ thấy đòn cân nghiêng về phía khối sắt nóng hơn. Trọng lượng và hệ quả là khối lượng của khối sắt bị nung nóng và lực hấp dẫn mà nó tác động lên Trái đất đã tăng lên so với khối sắt không được nung nóng. Tất nhiên, khối sắt được nung nóng sẽ chỉ nặng hơn khối sắt không được nung

nóng chỉ một phần triệu tỉ kilogam. Chỉ một cái cân cực kỳ chính xác mới có khả năng phát hiện được sự một chênh lệch nhỏ như thế. Sự chênh lệch này do đâu mà có? Bằng cách tăng nhiệt độ cho khối sắt, chúng ta đã làm tăng chuyển động của các nguyên tử cấu thành nó, và như vậy làm tăng năng lượng của nó, làm cho khối lượng và trọng lượng của khối sắt tăng lên. Nhiệt độ của một vật trên thực tế là thước đo chuyển động của các nguyên tử và phân tử của nó. Chẳng hạn, lúc Mặt trời mọc, khi những tia nắng đầu tiên hâm nóng không khí, các phân tử không khí chuyển động mạnh thêm và va chạm mạnh hơn vào da bạn, làm cho bạn có cảm giác nóng<sup>1</sup>.

Một nguồn hấp dẫn khác là áp suất, như áp suất mà bạn tác động lên lò xo để nén nó lại. Một lần nữa, nếu bạn có một cái cân cực kỳ chính xác và nếu bạn cân hai lò xo hoàn toàn đồng nhất với nhau, chỉ khác nhau một điểm là một lò xo được nén còn lò xo kia thì không, bạn sẽ thấy cân nghiêng về phía lò xo bị nén. Áp suất tạo bởi lò xo bị nén được biểu hiện bằng sự tăng nhẹ trọng lượng so với lò xo không bị nén. Nhưng, để hiểu bản chất của hằng số vũ trụ của Einstein, còn cần phải chỉ rõ rằng tồn tại hai dạng áp suất, áp suất dương và áp suất âm. Tất cả chúng ta đều biết áp suất dương: nó có tác dụng đẩy ra ngoài. Nó chính là áp suất mà chúng ta cảm thấy trong đám đông khi đám người chật chội chen chúc nhau. Đó cũng là áp suất của lò xo. Nếu bạn đặt một lò xo bị nén trong một cái hộp, bạn sẽ thấy nắp hộp bị hé mở, bởi vì nó bị lò xo đẩy lên. Khái niệm áp suất âm khó thấy hơn nhiều. Thay vì đẩy ra ngoài, một áp suất âm lại hút vào trong. Đặc biệt hơn, trong khi một áp suất dương, giống như khối lượng và năng lượng, là một nguồn lực hấp dẫn hút, thì một áp suất âm lại là một nguồn “hấp dẫn âm”, nó có tác dụng đẩy. Chúng ta không thấy lực hấp dẫn đẩy biểu hiện trong cuộc sống hàng ngày vì hai lý do. Thứ nhất, áp suất tác dụng bởi vật chất thông thường tạo thành từ proton, neutron và electron luôn dương, và hấp dẫn mà nó sinh ra luôn luôn là hút. Chính vì thế khi chúng ta vấp, lực hút làm cho chúng ta ngã xuống đất thay vì đẩy chúng ta lên không trung. Thứ hai, ở thang cuộc sống hàng ngày, áp suất và ảnh hưởng hấp dẫn của vật chất thông thường là không đáng kể.

---

<sup>1</sup> Trong vật lý, không độ tuyệt đối – 0 độ Kelvin (viết tắt là °K) – ứng với trạng thái lý tưởng hoàn toàn không có chuyển động của nguyên tử.

### *Hằng số vũ trụ của Einstein*

Nhưng, trong các hoàn cảnh đặc biệt, như ở thang toàn vũ trụ, áp suất có thể âm và tác dụng một lực hấp dẫn đẩy. Einstein đã đưa vào các phương trình của thuyết tương đối rộng của mình một lực hấp dẫn đẩy dưới dạng một hằng số vũ trụ để làm trung hòa các hiệu ứng của lực hấp dẫn hút của vật chất thông thường – lực hấp dẫn của các sao và thiên hà. Như vậy ông đã trao cho vũ trụ một năng lượng huyền bí (“năng lượng tối”) bao trùm toàn bộ vũ trụ. Bởi vì năng lượng tối này tác dụng một áp suất đồng đều trong không gian, nên không tồn tại các áp lực. Các lực này chỉ biểu hiện khi có các chênh lệch áp suất. Chẳng hạn, chính các áp lực đẩy màng nhĩ bạn và làm cho bạn đau tai khi máy bay cất cánh, vì áp suất ở trên mặt đất lớn hơn ở trên cao. Lực tác dụng bởi năng lượng tối có bản chất thuần túy hấp dẫn. Vì thế mà nổ ra một cuộc chiến quyết liệt giữa lực hấp dẫn hút thông thường, lực hấp dẫn mà toàn bộ vật chất và năng lượng của vũ trụ tác dụng, có xu hướng làm cho nó tụ co lại, và lực hấp dẫn đẩy không bình thường, lực hấp dẫn mà hằng số vũ trụ tác dụng và có xu hướng làm nổ tung vũ trụ.

Bằng cách điều chỉnh khéo léo giá trị của hằng số vũ trụ, Einstein đã làm cân bằng lực hấp dẫn hút và lực hấp dẫn đẩy, sao cho vũ trụ là tĩnh. Nó không giãn nở, cũng không co lại. Trong khi lực hấp dẫn hút giảm theo bình phương của khoảng cách, thì lực hấp dẫn đẩy lại tăng theo khoảng cách. Nó càng lớn hơn khi không gian giữa các vật trong vũ trụ càng lớn. Chẳng hạn, lực hấp dẫn đẩy là không đáng kể ở thang của Hệ Mặt trời (khoảng cách của Mặt trời tới Diêm Vương tinh, hành tinh xa nhất trong hệ, là 5,5 giờ ánh sáng) hay kể cả ở thang các thiên hà (100.000 năm ánh sáng) hay các đám thiên hà (vài chục triệu năm ánh sáng). Ở các thang này, chính lực hấp dẫn hút thông thường yêu quý của Newton chiếm ưu thế và chi phối các chuyển động. Tới mức Trái đất giữ Mặt trăng trong quỹ đạo của nó thay vì phóng nó vào không gian giữa các vì sao, và các đám thiên hà bao gồm hàng nghìn thiên hà vẫn gắn kết với nhau chứ không tan rã.

Phần tiếp theo của câu chuyện đã rõ. Năm 1929, Hubble phát hiện ra rằng vũ trụ không tĩnh, mà giãn nở. Phần lớn các thiên hà chạy trốn ra xa Ngân hà như thể Ngân hà đang có nạn dịch hạch. Hằng số vũ trụ không còn lý do tồn tại nữa và Einstein đã xóa bỏ nó khỏi các phương trình của ông và lớn tiếng tuyên bố rằng việc đưa vào hằng số này là “sai lầm lớn nhất đời tôi”. Nhưng hằng số này vẫn có cuộc sống dai dẳng. Sau hơn năm thập kỷ bị trục xuất và quên lãng, đến đầu những năm 1980 nó lại nổi lên, chói lọi hơn bao giờ hết,

nhưng dưới một dạng khác. “Sai lầm” của Einstein lại cho phép chúng ta hiểu được cơ chế đã phát động Big Bang. Ngay cả khi nhầm, cái nhầm của Einstein cũng thật thiên tài!

### *Một trường năng lượng “siêu lạnh”*

Chúng ta hãy trở lại những khoảnh khắc đầu tiên của vũ trụ. Như chúng ta đã thấy, các nhà vật lý nghĩ rằng vũ trụ ở những thời điểm đầu tiên của nó được tắm trong một trường năng lượng gọi là “trường Higgs”. Ở các nhiệt độ cao không thể tưởng tượng nổi ( $10^{32}$  độ Kelvin), trường này chịu những thăng giáng dữ dội, giống như bề mặt nước sôi nổi sóng mạnh với các chuyển động hỗn độn và chảy rối. Nhưng, khi vũ trụ lớn thêm và lạnh đi, các sóng của trường Higgs cũng giảm cường độ, giống như bề mặt nước sôi trở nên yên tĩnh và phẳng lặng hơn khi nhiệt độ giảm xuống. Cùng với sự lạnh đi của vũ trụ, năng lượng trung bình của trường năng lượng cũng tiến đến zero – giá trị mà chúng ta gán một cách trực giác cho khái niệm “chân không” –, với các thăng giáng nhỏ quanh giá trị zero đó.

Nếu, trong khi vũ trụ lạnh đi, trường Higgs thuở ban đầu đã tiến hóa liên tục tới năng lượng zero, thì đã chẳng có gì đặc biệt xảy ra. Vũ trụ cứ tiếp tục con đường ngoan ngoãn của mình, tiếp tục lặng lẽ giãn nở. Trái lại, như nhà vật lý người Mỹ, Alan Guth đã chứng tỏ vào năm 1981, nếu trong quá trình vũ trụ lạnh đi, trường Higgs bị phong tỏa trong một thời gian rất ngắn ở một năng lượng dương nhẹ, thì điều này sẽ có những hậu quả to lớn đối với sự tiến hóa vũ trụ sau đó. Giống như một tảng đá rơi từ đỉnh núi, thay vì lăn một mạch xuống chân núi, ở đó năng lượng của nó sẽ bằng zero, nó lại bị chặn lại tạm thời trên một cao nguyên nơi mà năng lượng của nó là dương. Các nhà vật lý gọi trạng thái của trường Higgs này là “siêu lạnh”, vì mặc dù nhiệt độ của vũ trụ đã đủ thấp để trường có giá trị zero, nhưng nó vẫn giữ một năng lượng dương. Giống như hiện tượng nước “siêu lạnh”: nước tinh khiết có thể bị lạnh dưới 0 độ mà không bị đóng băng; các tạp chất trên thực tế là cần thiết để cho sự hình thành các tinh thể nước đá. Cũng giống như nước có thể bị siêu lạnh đi mà không trở thành đá, trường Higgs có thể bị siêu lạnh mà không có năng lượng zero. Guth chứng tỏ rằng một trường Higgs “siêu lạnh” bị chặn lại trên một cao nguyên với một năng lượng dương không chỉ choán không gian năng lượng, mà còn tác dụng, giống như hằng số vũ trụ của Einstein, một áp suất âm và một lực hấp dẫn đẩy, gây ra một sự giãn nở vũ trụ dữ dội.

### *Một sự lạm phát đến đứt hơi*

Mặc dù hằng số vũ trụ và trường Higgs siêu lạnh có rất nhiều điểm giống nhau, nhưng vẫn có hai khác biệt căn bản, đóng một vai trò quyết định trong sự tiến hóa sau đó của vũ trụ. Thứ nhất, áp suất âm, và do đó là lực đẩy tác dụng lên không gian, của trường Higgs lớn hơn lực đẩy của hằng số vũ trụ rất nhiều, khoảng  $10^{100}$  (sau số 1 là 100 số 0!). Lực hấp dẫn đẩy của hằng số vũ trụ thuộc loại thông thường, vì Einstein chỉ cần nó để cân bằng lực hấp dẫn hút của tổng khối lượng và năng lượng của vật chất thông thường. Trường Higgs thì không phải chịu một sự gò bó như thế, và nó sẽ tung vũ trụ vào một sự giãn nở kinh hoàng làm thay đổi sâu sắc khung cảnh của nó. Nhờ có lực đẩy khổng lồ của trường Higgs, khoảng cách giữa hai điểm của không gian sẽ tăng vô độ theo thời gian. Thứ hai, như tên của nó đã cho thấy, hằng số vũ trụ không biến thiên theo thời gian, nhưng trường Higgs thì không như vậy. Sự nhòe lượng tử làm cho năng lượng của trường này liên tục thăng giáng. Một thăng giáng hơi lớn hơn các thăng giáng khác một chút sẽ đánh bật trường Higgs siêu lạnh ra khỏi cao nguyên năng lượng nơi nó bị tạm thời chặn lại và làm cho nó lăn xuống tới năng lượng zero. Và điều này sẽ làm chấm dứt tác động của nó. Sự giãn nở kinh hoàng của vũ trụ vì vậy sẽ dừng lại để nhường chỗ cho sự giãn nở điều độ hơn. Guth tính toán rằng trường Higgs có thể bị đánh bật khỏi cao nguyên năng lượng dương của nó trong một khoảng thời gian vô cùng ngắn, cỡ  $10^{-32}$  giây. Một chớp sáng của đèn flash chụp ảnh còn dài hơn nó hàng trăm nghìn tỉ tỉ lần.

Vậy là chúng ta được dẫn tới một kịch bản khác thường: trong vòng một phần rất nhỏ của giây, thời điểm khởi đầu của vũ trụ, khi vũ trụ còn vô cùng nóng và đặc, áp suất âm của một trường Higgs siêu lạnh bị chặn lại ở một nhiệt độ dương đã tung vũ trụ vào một vụ nổ kinh hoàng, đẩy các vùng không gian tách khỏi nhau bằng tác dụng của một lực đẩy mạnh không thể tưởng tượng nổi. Trong khoảng thời gian từ  $10^{-35}$  đến  $10^{-32}$  giây, cứ sau mỗi  $10^{-34}$  giây, kích thước của vũ trụ lại tăng lên gấp ba lần. Vì có một trăm khoảng  $10^{-34}$  giây trong  $10^{-32}$  giây – nên thời gian kéo dài của pha lạm phát bằng thời gian của trường Higgs ở trên cao nguyên năng lượng dương trước khi một thăng giáng năng lượng hất nó rơi xuống –, mỗi vùng của vũ trụ sẽ tăng gấp ba kích thước một trăm lần liên. Hãy nhân  $3 \times 3 \times 3 \dots$  một trăm lần, và bạn sẽ thu được kết quả là vũ trụ đã tăng kích thước của nó lên  $10^{50}$  (và thể tích của nó, tỉ lệ với lập phương của bán kính, sẽ tăng lên  $10^{150}$  lần). Nói cách khác, kích thước của vũ trụ tăng theo hàm mũ theo thời thời gian. Giống như một giãn nở chỉ kéo dài một

khoảng rất ngắn -  $10^{-32}$  giây -, vũ trụ đã lớn lên vô cùng nhanh,  $10^{50}$  lần, tức là từ kích thước của một hạt nhân nguyên tử ( $10^{-13}$  cm) đến kích thước của một siêu đám thiên hà ( $10^{27}$  cm)! Tùy thuộc vào hình dạng chính xác của trường Higgs, sự tăng theo hàm mũ này có thể còn lớn hơn, đạt đến  $10^{100}$  lần hoặc hơn nữa! Pha giãn nở chóng mặt này được Guth gọi là “lạm phát”. Cũng giống như lạm phát kinh tế của một đất nước làm cho đồng tiền mất giá và giá cả leo thang kinh hoàng trong một thời gian ngắn, lạm phát của vũ trụ làm cho thể tích của nó giãn nở chóng mặt trong một khoảng thời gian vô cùng ngắn ngủi.

### *Điểm nổ của Big Bang*

Như vậy, trường năng lượng Higgs siêu lạnh là nguyên nhân của sự giãn nở kinh hoàng, của lạm phát (*inflation*) điên rồ của vũ trụ trong những phần giây đầu tiên. Bằng cách so sánh với photon là thành phần cơ bản của trường điện từ, hay với các gluon và graviton vốn là thành phần của các lực cơ bản khác, các nhà vật lý nghĩ rằng chính một hạt gọi là “inflaton” là nguyên nhân gây ra trường Higgs. Trường này vì vậy cũng có tên là “trường inflaton”.

Chúng ta có thể nhận dạng pha lạm phát, ở đó toàn bộ không gian nổ tung ở tất cả các điểm. Trong kịch bản này, vụ nổ xảy ra không phải ở thời gian zero, thời điểm “sáng thế” của vũ trụ, mà ở một thời gian vô cùng ngắn ( $10^{-35}$  giây) sau đó, trong một vũ trụ đã tồn tại từ trước, đã được sinh ra, ở đó thời gian và không gian đã xuất hiện. Trong vũ trụ có mật độ cực lớn ( $10^{78}$  g/cm<sup>3</sup>) và nóng kinh hoàng ( $10^{27}$  độ Kelvin) ở  $10^{-35}$  giây này, có hai lực ngự trị: lực hấp dẫn và lực điện-hạt nhân kết quả của sự thống nhất của các lực điện từ và lực hạt nhân mạnh và yếu.

Nhưng, mặc dù chúng ta đã có một giải thích khả dĩ như thế cho sự bùng nổ của Big Bang, nhưng không phải mọi chuyện trong vũ trụ học đã suôn sẻ và hoàn hảo. Như chúng ta đã thấy, chúng ta vẫn chưa thể tiếp cận tới thời gian zero bằng vật lý học hiện có của chúng ta. Vũ trụ đã được sinh ra đồng thời với thời gian và không gian như thế nào? Đây là các nhân tố đã quyết định bản chất và năng lượng của trường Higgs? Các vấn đề cơ bản này hiện vẫn chưa có câu trả lời. Và chúng ta vẫn chưa có khả năng đề cập đến các câu hỏi có tính chất hiện sinh như: tại sao lại có một vũ trụ? tại sao có các định luật? Chúng ta vẫn (và có lẽ là mãi mãi?) chưa trả lời được câu hỏi của triết gia người Đức, Gottfried Leibniz (1646-1716): “Tại sao có một cái gì đó lại hơn là không có gì cả? Vì không gì đơn giản và dễ hơn là có một cái gì đó. Hơn nữa, giả định rằng

một cái gì đó phải tồn tại, thì người ta phải giải thích được tại sao nó phải tồn tại như thế, chứ không phải khác đi.”

Chưa ai quan sát được inflaton, cả trong phòng thí nghiệm lẫn trong vũ trụ. Tuy vậy, phần lớn các nhà vật lý vẫn tin, ngay cả khi một số chi tiết cụ thể của kịch bản đó có thể sẽ thay đổi trong tương lai, rằng trong những phần giây đầu tiên, vũ trụ đã trải qua một pha lạm phát, bị một áp suất và một lực hấp dẫn âm thúc đẩy làm cho nó nở ở mọi điểm của không gian với một vận tốc kinh hoàng. Và sở dĩ như vậy là bởi vì pha lạm phát sẽ xua tan được các đám mây đen che phủ lý thuyết “chuẩn” Big Bang (lý thuyết theo đó không có pha lạm phát). Chúng ta hãy cùng nhau xem xét kỹ các đám mây này.

### *Tại sao vũ trụ lại đồng nhất đến thế?*

Đám mây đen đầu tiên liên quan đến một tính chất đáng chú ý của vũ trụ: tính đồng nhất. Dù bạn nhìn theo bất kỳ hướng nào, trên hay dưới, phải hay trái, trước hay sau, thì các tính chất của vũ trụ, đặc biệt là nhiệt độ của nó, vẫn không thay đổi. Sở dĩ người ta biết điều đó là vì tồn tại một bức xạ hóa thạch (còn gọi là bức xạ nền vũ trụ) sinh ra, như chúng ta sẽ thấy, khi vũ trụ còn rất trẻ – 380.000 tuổi – và choán toàn vũ trụ (H. 3 trong tập ảnh màu). Về một phương diện nào đó, nó là nhiệt còn lại từ ngọn lửa khởi thủy. Bức xạ hóa thạch này cho chúng ta biết về các tính chất của vũ trụ ở thời kỳ đầu của nó. Bức xạ này hiện ở một nhiệt độ rất lạnh, khoảng 3 độ Kelvin (chính xác là 2,725), hay  $-270^{\circ}\text{C}$ . Các quan sát chứng tỏ rằng nhiệt độ này có độ đồng nhất cực kỳ cao. Nó không thăng giáng quá 0,001% từ một điểm này sang điểm khác. Giải thích thế nào về sự đồng nhất tuyệt vời này của vũ trụ ở những khoảnh khắc đầu tiên của nó?

Chắc các bạn còn nhớ tính phi định xứ của không gian trong vật lý lượng tử, và bạn sẽ tự nhủ rằng tất cả các photon của bức xạ hóa thạch tương tác với nhau “vướng víu” với nhau, rằng chúng là bộ phận của cùng một thực tại tổng thể không thể tách rời, và như vậy các vùng khác nhau của không gian phải có chính xác các tính chất như nhau. Rất tiếc, cách giải thích này là không ổn. Tính không thể tách rời của hai photon được bảo toàn chỉ khi không có tương tác với các hạt khác. Nó sẽ yếu đi hoặc bị phá hủy ngay khi có tương tác, điều này xảy ra đối với các photon của bức xạ hóa thạch. Trong quá khứ, chúng đã có vô số va chạm với các electron của vũ trụ khởi thủy. Như vậy cần phải tìm một lời giải thích khác.

Để đồng nhất hóa nhiệt độ của chúng, các vùng khác nhau của không gian đã phải trao đổi các thông tin bằng ánh sáng, phương tiện truyền thông nhanh nhất trong vũ trụ. Nhưng – và đây chính là điểm mấu chốt – có tồn tại một mặt cầu-chân trời mà nếu vượt ra ngoài nó thì một vùng không còn có thể trao đổi với một vùng khác, giống như một thủy thủ đứng trên cầu tàu không thể nhìn vượt ra ngoài đường chân trời của đại dương. Bán kính của mặt cầu-chân trời này bằng khoảng cách mà ánh sáng đã có đủ thời gian để chạy qua từ khi nó được phát ra. Bên ngoài khoảng cách này, tồn tại các vùng của vũ trụ mà chúng ta chưa thể trao đổi thông tin với chúng, và ánh sáng của chúng vẫn chưa có đủ thời gian để đến được chúng ta. Cùng với sự trôi của thời gian, mặt cầu-chân trời sẽ mở rộng thêm và chúng ta sẽ tiếp xúc được với các vùng khác nữa của vũ trụ.

Ngược lại, điều đó muốn nói rằng, khi vũ trụ trẻ hơn, mặt cầu-chân trời cũng nhỏ hơn. Hãy xét, chẳng hạn, một vùng của vũ trụ ngày nay nằm cách Ngân hà 2 tỉ năm ánh sáng. Bởi vì tuổi của vũ trụ là 14 tỉ năm, nên thời gian này đủ để bảy lần tín hiệu ánh sáng từ vùng xa xôi này đến được Ngân hà. Hãy quay ngược bộ phim các sự kiện và xem vũ trụ khi nó nhỏ hơn 1.000 lần. Như vậy vùng đó gần Ngân hà hơn 1.000 lần, tức ở cách khoảng 2 triệu năm ánh sáng. Nếu tốc độ giãn nở của vũ trụ là đồng đều trong quá khứ, thì vũ trụ cũng sẽ trẻ hơn 1.000 lần. Một lần nữa, thời gian cũng đủ để bảy lần tín hiệu ánh sáng có thể lan truyền từ vùng đó tới Ngân hà. Nhưng – và đây chính là vấn đề! – tốc độ giãn nở của vũ trụ lại không đồng đều. Lực hấp dẫn của tổng lượng vật chất và năng lượng của vũ trụ tác dụng một lực hấp dẫn ngăn cản và làm chậm lại sự giãn nở theo thời gian. Trong quá khứ vũ trụ giãn nở nhanh hơn. Nói cách khác, khi vũ trụ có mật độ lớn hơn 1.000 lần, tuổi của nó không phải 1.000, mà 10.000 lần ít hơn – không phải là 14 triệu năm, mà chỉ là 1,4 triệu năm –, và bán kính của mặt cầu-chân trời tính từ tâm Ngân hà chỉ là 1,4 triệu năm ánh sáng. Như vậy Ngân hà không có đủ thời gian để trao đổi thông tin bằng ánh sáng với những vùng xa xôi nằm cách nó 2 triệu năm ánh sáng.

Trong lý thuyết Big Bang chuẩn, vấn đề là khi lần ngược thời gian về quá khứ của vũ trụ, khoảng cách giữa các vùng khác nhau của không gian thu hẹp lại, nhưng thời gian dành cho ánh sáng để lan truyền giữa các vùng này và cho phép chúng trao đổi thông tin với nhau và phối hợp các tính chất của chúng còn giảm hơn nữa. Vào lúc sinh ra bức xạ hóa thạch, tức ở 380.000 năm sau Big Bang, chỉ có những vùng cách nhau ít hơn 380.000 năm ánh sáng mới có thể trao đổi thông tin với nhau. Nhưng – và đây lại là điểm mấu chốt – ở thời khắc đó đã có các vùng của không gian cách nhau hơn 380.000 năm ánh sáng.

Vậy thì bằng cách nào các vùng xa nhau như thế lại có thể phối hợp nhiệt độ của chúng mà không ảnh hưởng lẫn nhau, không có một trao đổi tín hiệu ánh sáng nào? Lý thuyết chuẩn không thể đưa ra một cách giải thích khả dĩ nào. Người ta gọi đó là vấn đề chân trời vũ trụ.

*Tại sao vũ trụ lại phẳng như thế?*

Đám “mây đen” thứ hai liên quan đến hình học của vũ trụ. Vũ trụ có thể có một độ cong dương, âm hoặc bằng không. Nếu chúng ta minh họa không gian ba chiều bằng các bề mặt hai chiều, một vũ trụ có độ cong dương sẽ có hình học giống bề mặt của một quả bóng; một vũ trụ có độ cong âm sẽ có hình học giống cái yên ngựa; và một vũ trụ có độ cong bằng không thì sẽ có hình học của một mặt phẳng. Thuyết tương đối rộng nói với chúng ta rằng vật chất và năng lượng uốn cong không gian, và rằng hình dạng của không gian phụ thuộc vào tổng lượng vật chất và năng lượng của vũ trụ. Nếu mật độ của vật chất và năng lượng lớn, thì vũ trụ sẽ cuộn lại như một mặt cầu. Nếu mật độ của vật chất và năng lượng nhỏ, vũ trụ sẽ loe ra giống như cái yên ngựa. Và nếu vũ trụ có chính xác mật độ gọi là “tới hạn”, bằng khoảng khối lượng của năm nguyên tử hiđrô hay khoảng  $10^{-23}$  gam trong một mét khối thì vũ trụ không bị uốn cong cả dương lẫn âm, mà là phẳng. Mật độ tới hạn này là rất nhỏ. Nó nhỏ hơn mật độ của nước hàng trăm tỉ tỉ lần. Nhưng, do thể tích của vũ trụ là vô cùng lớn, nên một nhúm vô cùng nhỏ vật chất và năng lượng trên mỗi centimet khối cũng đủ để nhào nặn nên phong cảnh của nó và xác định đồng thời hình học và số phận của nó.

Hình học của vũ trụ có thể còn được hiển thị bằng một thí nghiệm tưởng tượng sau. Giả định rằng chúng ta có một bóng đèn điện có công suất vô hạn và chúng ta chiếu sáng đèn đen bằng chùm sáng của chiếc đèn đó. Trong một vũ trụ có độ cong dương, chúng ta sẽ thấy chùm sáng này sẽ quay trở lại chỗ chúng ta từ hướng ngược lại, sau khi đã đi một vòng quanh vũ trụ, như Phileas Fogg trở lại điểm xuất phát sau 80 ngày vòng quanh Trái đất. Vũ trụ này hữu hạn, hay còn gọi là “đóng”. Điều này không nhất thiết có nghĩa là nó có các giới hạn. Dù bề mặt của Trái đất hữu hạn nhưng bạn có thể đi bao nhiêu vòng quanh nó cũng không bao giờ gặp các giới hạn. Trong một vũ trụ có độ cong âm, chùm sáng sẽ mất hút trong vô tận. Vũ trụ này được gọi là vô hạn, hay “mở”. Trong một vũ trụ phẳng – trung gian giữa vũ trụ đóng và vũ trụ mở –, chùm sáng cũng sẽ mất hút vào vô tận.

Thuyết tương đối rộng nói với chúng ta rằng nếu mật độ của vật chất và

năng lượng của vũ trụ khởi thủy chính xác bằng mật độ tới hạn, thì sự cân bằng hoàn hảo này sẽ được giữ trong suốt quá trình giãn nở của vũ trụ, hai mật độ này giảm chính xác theo cùng một nhịp. Ngược lại, nếu tồn tại một chênh lệch dù rất nhỏ giữa hai mật độ, thì sự chênh lệch này sẽ bị sự giãn nở của vũ trụ khuếch đại lên theo các tỉ lệ khổng lồ chỉ trong một khoảng thời gian vô cùng ngắn. Thật vậy, nếu mật độ của vũ trụ khởi thủy thấp hơn mật độ tới hạn một chút, chẳng hạn, nếu nó bằng 99,99% mật độ tới hạn, thì sự chênh lệch giữa hai mật độ này sẽ tăng nhanh tới mức mật độ của vũ trụ sẽ chỉ còn bằng 0,000000001% mật độ tới hạn sau một giây giãn nở. Ngược lại, nếu nó cao hơn mật độ tới hạn một chút, thì sự giãn nở sẽ khuếch đại nó lên và chỉ trong nháy mắt đã đưa nó tới giá trị cao hơn mật độ tới hạn hàng tỉ lần. Sự cân bằng này là vô cùng mong manh, giống như người làm xiếc giữ thăng bằng trên sợi dây căng. Nếu cơ thể của anh ta nghiêng sang trái hoặc phải một chút thôi là anh ta sẽ bị ngã.

Các quan sát nói với chúng ta điều gì? Để xác định mật độ của vũ trụ (đại lượng này bằng tỷ số của giữa khối lượng với thể tích của nó) ta chỉ cần kiểm kê tổng lượng vật chất và năng lượng của nó trong một thể tích không gian đủ lớn. Việc này không hề dễ dàng vì, như chúng ta sẽ thấy, phần lớn tổng khối lượng của vũ trụ (99,5%) không phát ra ánh sáng và, không có ánh sáng, các nhà thiên văn học sẽ hoàn toàn...đui. Nhưng, bằng cách huy động các kho tàng khéo léo của mình, họ đã xác định được rằng mật độ vật chất và năng lượng của vũ trụ sau 14 tỉ năm giãn nở rất có thể bằng mật độ tới hạn, chứ không phải nhỏ hơn hay lớn hơn mật độ tới hạn hàng tỉ lần.

Vũ trụ đã đạt được kì tích thăng bằng này bằng cách nào? Nó đã điều chỉnh như thế nào mật độ khởi thủy của nó để cho mật độ ấy chính xác bằng mật độ tới hạn? Lý thuyết Big Bang chuẩn không đưa ra được bất kỳ cách giải thích nào. Nhà vật lý thiên văn phải giơ tay lên trời thú nhận sự dốt nát của mình. Người ta gọi đó là “vấn đề phẳng”, vì một vũ trụ chính xác có mật độ bằng mật độ tới hạn sẽ có một hình học phẳng.

*Tại sao vũ trụ lại giàu cấu trúc đến thế?*

Đám “mây đen” thứ ba, về một phương diện nào đó, là đối trọng của vấn đề tính đồng nhất của vũ trụ. Thay vì tự hỏi tại sao vũ trụ lại đồng đều đến thế, nhà vật lý thiên văn lại tự hỏi tại sao nó lại có cấu trúc đến thế. Cũng giống như một bức tranh điểm họa lớn của Seurat, vũ trụ trình hiện trước mắt ta một cách khác nhau tùy theo khoảng cách từ ta đến bức tranh. Từ xa, chúng ta thấy

tổng thể bức tranh của Seurat với các màu sắc, các chủ đề và những motif của nó – những người tắm ở Asnières, rồi những người đi dạo ngày chủ nhật trên đảo Grande Jatte, trên sông Seine. Chỉ cần xích lại gần hơn chúng ta sẽ thấy các nhân vật và phong cảnh biến thành vô số các điểm màu. Tương tự, ở thang rất lớn, trên các vùng không gian trải rộng trên hàng tỉ năm ánh sáng, vũ trụ xuất hiện trước mắt ta vô cùng đồng nhất, như những quan sát bức xạ hóa thạch đã cho thấy. Mọi chi tiết đều bị xóa nhòa. Chỉ khi xem xét vũ trụ ở các thang nhỏ hơn chúng ta mới thấy xuất hiện rất nhiều các cấu trúc hết sức đa dạng. Thật là một điều may mắn cho chúng ta, vì một vũ trụ đều và đồng nhất một cách hoàn hảo thì sẽ vô sinh, cằn cỗi, không có khả năng đón tiếp sự sống và ý thức, và chúng ta sẽ không có mặt ở đây để nói về nó.

Xích lại gần hơn nữa, chúng ta sẽ thấy khung cảnh vũ trụ biến liên tiếp thành các chi tiết ngày càng tinh vi hơn. Đầu tiên là một tấm thảm vũ trụ khổng lồ tạo thành từ các bức tường thiên hà trải rộng trên hàng trăm triệu năm ánh sáng<sup>1</sup> phân định ranh giới các khoảng không gian trống rỗng cũng vô cùng rộng lớn. Rồi các bức tường thiên hà này được tách thành các đám thiên hà trải rộng trên hàng chục triệu năm ánh sáng, bản thân các đám thiên hà này lại tách thành hàng nghìn thiên hà có đường kính hàng trăm nghìn năm ánh sáng. Đến lượt mình các thiên hà này lại tách thành hàng trăm tỉ ngôi sao có đường kính vài triệu kilômét. Một số ngôi sao này lại nằm ở giữa một hệ hành tinh có đường kính hàng chục tỉ kilômét.

Làm thế nào mà vũ trụ lại có thể phát triển một cấu trúc phong phú và đa dạng đến như vậy ở một thang nhỏ xuất phát từ một trạng thái quá u đồng đều ở một thang lớn hơn? Cái phức tạp đã xuất hiện từ cái đơn giản như thế nào? Một lần nữa, thuyết Big Bang chuẩn lại không thể đưa ra câu trả lời. Người ta gọi đó là “vấn đề cấu trúc” trong vũ trụ.

### *Lạm phát xua tan các đám mây đen*

Bị đẩy vào đường cùng, lý thuyết Big Bang chuẩn đã bắt đầu bộc lộ những điểm yếu đe dọa làm sụp đổ cả công trình. Nhưng thuyết lạm phát đã ra tay cứu vớt. Như có phép thần, nó đã xua tan tất cả những đám mây đen làm u ám khung cảnh Big Bang và trả lại cho sự sáng tươi rực rỡ.

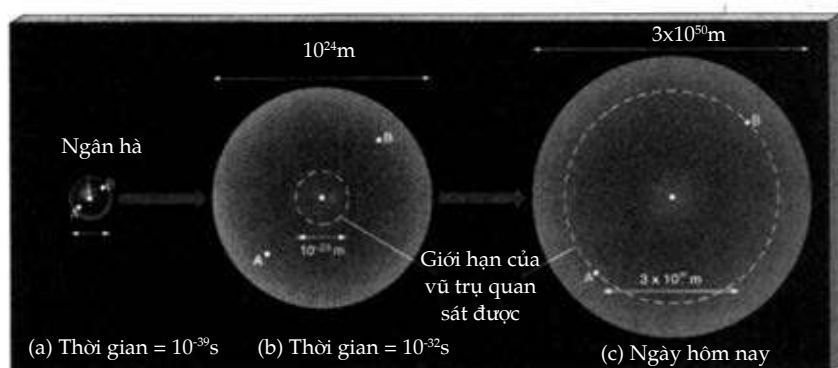
---

<sup>1</sup> Một năm ánh sáng là quãng đường mà ánh sáng đi được trong một năm, và bằng 9.640 nghìn tỉ km.

Tại sao vũ trụ lại đồng nhất đến thế? Trong lý thuyết Big Bang chuẩn, khi chúng ta lần ngược lại thời gian, khoảng cách giữa các vùng khác nhau của không gian giảm xuống, nhưng thời gian mà các vùng này có để trao đổi các tín hiệu ánh sáng với nhau còn giảm nhiều hơn, tới mức chúng không còn có thể tiếp xúc với nhau được nữa. Sở dĩ như vậy là vì trong lý thuyết chuẩn, khi lực hấp dẫn là hút, vũ trụ giảm tốc; nhưng trong pha lạm phát, chính điều ngược lại đã xảy ra: lực hấp dẫn là đẩy, làm tăng vận tốc giãn nở của không gian. Tốc độ giãn nở vì thế ngày càng nhanh hơn, tới mức mà, khi chúng ta cho quay ngược bộ phim các sự kiện cho tới thời kỳ đầu của pha lạm phát, khoảng cách giữa các vùng của không gian giảm, nhưng thời gian mà các vùng này có để truyền cho nhau các tín hiệu ánh sáng không giảm nhanh như thế, nên chúng có đủ thời gian cần thiết để trao đổi các thông tin với nhau và đồng đều hóa nhiệt độ của chúng. Nói cách khác, ở đầu pha lạm phát, ở  $10^{-35}$  giây đầu tiên, vũ trụ vô cùng nhỏ, và tất cả các vùng có thể dễ dàng trao đổi với nhau và điều phối các tính chất của chúng để trở nên cực kỳ giống nhau. Điều này là khả dĩ vì mặt cầu-chân trời ở thời điểm này có bán kính  $3 \cdot 10^{-25}$  cm, bằng kích thước của vũ trụ. Ở cuối pha lạm phát, khi đồng hồ vũ trụ điểm  $10^{-32}$  giây, vũ trụ phồng lên  $10^{50}$  lần để đạt đến kích thước  $10^{26}$  cm, lớn hơn kích thước của một siêu đám thiên hà. Từ  $10^{-35}$  giây đến  $10^{-32}$  giây, vũ trụ đã già đi 1.000 lần, điều này có nghĩa là bán kính của mặt cầu-chân trời cũng tăng lên 1.000 lần, tới  $3 \cdot 10^{-22}$  cm, tức nhỏ hơn vũ trụ 1.000 tỉ tỉ tỉ tỉ tỉ ( $10^{48}$ ) lần. Khi đó, các vùng khác nhau của vũ trụ không còn liên lạc được với nhau, nên không thể điều phối các tính chất của chúng nữa, nhưng chúng đã làm điều đó trước đấy và vẫn còn nhớ những gì đã xảy ra (H. 37),

Còn vấn đề vũ trụ phẳng thì sao? Vũ trụ có thể thực hiện sự cân bằng hết sức mong manh này như thế nào: không có độ cong dương cũng không có độ cong âm, mà có một độ cong chính xác bằng 0? Một lần nữa sự lạm phát lại giúp thực hiện trò ảo thuật này.

Hãy lấy lại sự tương tự của vũ trụ ba chiều với bề mặt hai chiều của một quả bóng. Hình học của không gian sẽ dẹt đi trong quá trình lạm phát giống như một vùng nhỏ của bề mặt quả bóng sẽ dẹt đi khi quả bóng được thổi phồng lên. Độ cong của một mặt cầu càng nhỏ hơn khi bán kính của nó càng lớn (H. 38). Chúng ta nhận thấy độ cong của quả bóng bởi vì bán kính của nó nhỏ (chỉ khoảng chục cm). Nhưng sẽ khó nhận thấy hơn rất nhiều đối với hành tinh của chúng ta (có đường kính 6.378 kilômét ở xích đạo). Bởi vì, xét một cách cục bộ, ở các khoảng cách nhỏ, mặt đất xuất hiện trước mắt ta là phẳng, nhân loại trong suốt một thời gian dài đã nghĩ là mình sống trên một mặt đất phẳng, cho



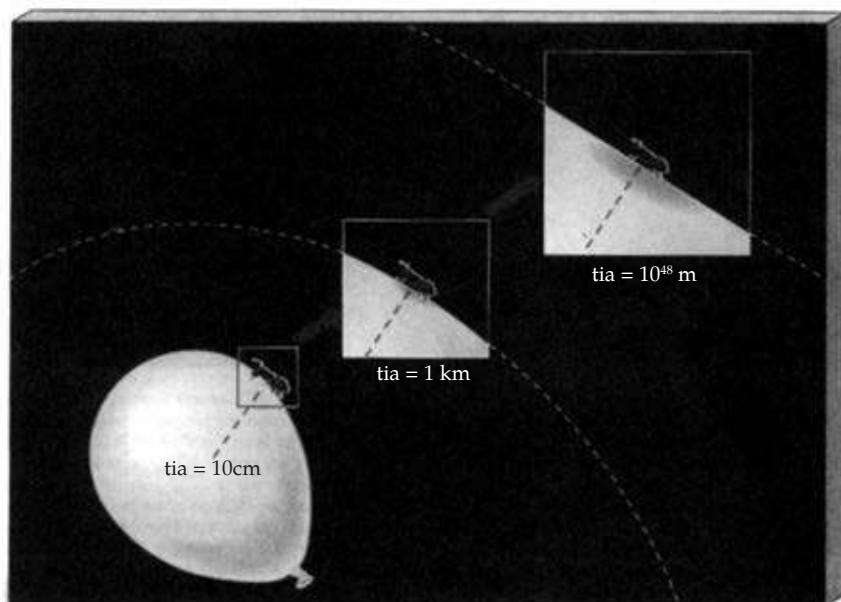
Hình 37. *Lạm phát và vấn đề chân trời vũ trụ.* Sự lạm phát của vũ trụ đã mang lại câu trả lời cho vấn đề chân trời, khi nó làm tăng kích thước của vũ trụ khởi thủy còn rất nhỏ theo hàm mũ cùng với thời gian, nhỏ tới mức tất cả các bộ phận của nó có đủ thời gian để tương tác với nhau bằng ánh sáng và đồng nhất hóa các tính chất của chúng. Trong (a), các điểm A và B nằm hẳn bên trong vùng đồng nhất (màu sẫm) của vũ trụ có tâm ở vị trí trong tương lai của Ngân hà. Trong (b), sau thời kỳ lạm phát, các điểm A và B nằm ngoài chân trời của chúng ta (được biểu diễn bằng vòng tròn đứt nét) và biến khỏi tầm nhìn của chúng ta. Trong các thời kỳ tiếp theo, chân trời (phân định giới hạn của vũ trụ quan sát được) mở rộng nhanh hơn toàn vũ trụ, tới mức các điểm A và B ngày nay lại nằm trong tầm nhìn của chúng ta. Ngày nay các vùng A và B có các tính chất giống nhau bởi vì chúng đã đồng nhất hóa các tính chất của chúng trước thời kỳ lạm phát.

tới khi triết gia và nhà vật lý người Hy Lạp, Ératosthène (276-194 tr. CN) chứng tỏ rằng không phải thế. Bằng cách nhân các chiều của vũ trụ với một thừa số cực lớn  $10^{50}$  (hoặc hơn), sự lạm phát đã trao cho nó một hình học phẳng, bất kể độ cong ban đầu của nó là như thế nào.

### *Các thăng giáng lượng tử nảy nở thành các thiên hà xinh đẹp*

Chưa hài lòng với việc giải thích cho chúng ta tại sao vũ trụ lại đồng nhất đến thế ở thang lớn, sự lạm phát còn cung cấp cho chúng ta một chìa khóa để hiểu tại sao nó không hoàn toàn đồng nhất, mà chứa các cấu trúc ở các thang nhỏ hơn, như các thiên hà, các sao và các hành tinh. Nó còn giải thích cho chúng ta tại sao vũ trụ biến thành vô số các điểm sáng khi nhìn gần, giống như một bức tranh điểm họa.

Để tạo ra một vũ trụ vừa đồng nhất lại vừa rất có cấu trúc, sự lạm phát sẽ phải liên kết chặt chẽ với một đồng minh thân cận, đó là nguyên lý bất định Heisenberg. Nguyên lý này chi phối lĩnh vực lượng tử, thế giới của những cái vô cùng bé. Nó nói với chúng ta rằng có tồn tại một giới hạn rất cơ bản trong



Hình 38. Lạm phát và vấn đề vũ trụ phẳng. Sự lạm phát làm dẹt sự cong của vũ trụ bằng cách làm tăng thể tích của nó lên cực lớn. Giống như khi bạn bơm căng một quả bóng lên kích thước rất lớn thì đối với một con kiến trên quả bóng, bề mặt quanh nó trông sẽ phẳng chứ không hề cong.

hiểu biết của chúng ta về thế giới vật lý nguyên tử và dưới nguyên tử, và rằng chúng ta phải từ bỏ giấc mơ ngàn đời của con người về một sự hiểu biết tuyệt đối. Chẳng hạn, chúng ta không thể đo chính xác đồng thời vị trí và vận tốc của một hạt cơ bản. Chúng ta luôn luôn phải lựa chọn: hoặc là chúng ta xác định chính xác vị trí của hạt và từ bỏ việc biết vận tốc của nó một cách chính xác; hoặc chúng ta đo chính xác vận tốc của hạt và từ bỏ việc biết chính xác vị trí của nó. Người ta gọi đó là sự nhòe lượng tử.

Chính sự nhòe lượng tử này cũng được áp dụng với trường năng lượng gây ra lạm phát. Chúng ta càng biết chính xác giá trị của trường năng lượng tại một vị trí nào đó của không gian, thì chúng ta xác định các biến thiên của trường đó càng kém chính xác. Sự nhòe năng lượng này sinh ra các thăng giáng trong trường năng lượng. Chính nó là nguyên nhân của vô số các hạt ảo xuất hiện rồi biến mất theo các chu kỳ sinh hủy vô cùng ngắn ngủi (cỡ  $10^{-43}$  giây) trong không gian bao quanh chúng ta ngay cả khi bạn đang đọc các dòng chữ này. Chỉ có điều, bạn không ý thức được điều đó, vì hoạt động sôi sục này diễn ra ở các thang vô cùng nhỏ, cỡ  $10^{-33}$  cm.

Nhưng chính ở đó sự lạm phát đã thể hiện vai trò của mình. Bằng cách thổi phồng không gian lên với một thừa số cực lớn ( $10^{50}$ , thậm chí hơn), nó đã khuếch đại các thăng giáng vô cùng nhỏ này lên các kích thước cỡ 1.000 tỉ ( $10^{12}$ ) km, tức là cỡ 100 lần kích thước của Hệ Mặt trời. Làm như vậy, sự lạm phát đã cho phép các thăng giáng lượng tử rời bỏ thế giới dưới nguyên tử để đi vào thế giới vĩ mô. Điều này cũng giống như một vạch nhỏ, gần như không thấy được, trên bề mặt của một quả bóng chưa được bơm, và nó đạt đến các tỉ lệ lớn hơn, trở nên rõ hơn, khi quả bóng được bơm căng.

Các nhà khoa học đã phát hiện được các thăng giáng này trong cấu trúc của không gian được sự lạm phát khuếch đại nhờ quan sát bức xạ hóa thạch – nhiệt độ còn sót lại của vũ trụ khởi thủy – bởi hai vệ tinh của NASA, COBE [*Cosmic Background Explorer* - Vệ tinh thám hiểm bức xạ nền (cũng chính là bức xạ hóa thạch)], phóng năm 1990, và WMAP (*Wilkinson Microwave Anisotropy Probe* – Thăm dò tính bất đẳng hướng của bức xạ vi sóng, được đặt tên như vậy để tưởng nhớ nhà vật lý người Mỹ, David Wilkinson), được phóng lên quỹ đạo năm 2001. Những thăng giáng này được biểu hiện thông qua các thăng giáng nhỏ của nhiệt độ bức xạ hóa thạch, cỡ khoảng vài trăm phần nghìn độ Kelvin. Chúng đóng vai trò như các hạt giống thiên hà. Trong hàng tỉ năm sau, nhờ lực hấp dẫn tác dụng bởi khối lượng của chúng, các hạt giống này hút vật chất xung quanh chúng, tăng khối lượng của mình lên và “nảy mầm” để cho ra đời hàng trăm tỉ thiên hà trong vũ trụ quan sát được, các hệ sinh thái uy nghi gồm hàng trăm tỉ Mặt trời gắn kết với nhau bằng lực hấp dẫn, trang hoàng cho bầu trời ngày hôm nay.

Lần sau, khi bạn chiêm ngưỡng cấu trúc xoắn ốc của một thiên hà đẹp, bạn hãy nghĩ rằng nó đã được sinh ra từ một thăng giáng cực kỳ nhỏ của trường năng lượng của vũ trụ lúc khởi thủy, rằng nó là kết quả của cuộc hôn phối giữa cái vô cùng bé với cái vô cùng lớn, sản phẩm của sự kết hợp giữa sự nhòe lượng tử và lạm phát.

*Chúng ta chỉ có thể nhìn thấy một phần rất nhỏ của cả vũ trụ*

Các tính toán chúng tôi rằng chỉ cần vũ trụ xuất phát từ một không gian rất nhỏ, kích thước khoảng một phần triệu tỉ tỉ ( $10^{-24}$ ) cm (tức một phần trăm tỉ kích thước của một proton), là sự giãn nở lạm phát và sau đó là giãn nở điều độ hơn có thể sinh ra một vũ trụ lớn hơn vũ trụ quan sát được hiện nay.

Điều gì xảy ra ở cuối pha lạm phát, tức ở  $10^{-32}$  giây, khi vũ trụ đã đạt đến kích thước của một siêu đám thiên hà  $10^{26}$  cm? Giống như tảng đá lăn hết tốc

lực để rơi xuống chân núi, ở đó trong thung lũng năng lượng của nó sẽ bằng không, trường Higgs cũng vậy, sau khi bị một thăng giáng lượng tử trong năng lượng của nó hất khỏi cao nguyên, năng lượng của nó sẽ giảm rất nhanh xuống giá trị zero, và sự lạm phát lập tức dừng lại. Vũ trụ tiếp tục giãn nở, loãng và lạnh đi, nhưng với một nhịp độ bất kinh hoàng hơn rất nhiều. Nó lấy lại tốc độ giãn nở bình thường. Từ đây trở đi, nó sẽ ngoan ngoãn chứ không còn lồng lộn lên như trước nữa. Sự giãn nở chóng mặt ở pha lạm phát giờ đây nhường chỗ cho một sự giãn nở uể oải, lặng lẽ và yên tĩnh, tiếp tục cho tới hiện nay. Thay vì bành trướng theo hàm mũ của thời gian, vũ trụ loãng đi theo quy luật tỉ lệ với căn bậc hai của thời gian kéo dài trong 380.000 năm đầu tiên, sau đó là theo quy luật lũy thừa bậc  $2/3$  của thời gian.<sup>1</sup>

Vũ trụ hình thành trong thời kỳ lạm phát và sau đó đã rộng lớn tới mức ngay cả khi chúng ta có các kính thiên văn mạnh nhất trên Trái đất cùng như trong không gian thì cũng chỉ có thể bao quát được một phần rất nhỏ của nó. Trong 14 tỉ năm sau thời kỳ lạm phát, vũ trụ tiếp tục loãng đi  $10^{27}$  lần, làm cho bán kính hiện nay của nó lên tới  $10^{53}$  cm. Nhưng một phần lớn của vũ trụ này chúng ta vẫn chưa tiếp cận được. Bán kính của vũ trụ quan sát được, tức là phần của toàn bộ vũ trụ trong đó ánh sáng của các thiên thể có đủ thời gian để đến được với chúng ta, và do đó có thể tiếp cận được bằng kính thiên văn, chỉ là 47 tỉ năm ánh sáng, tức khoảng  $4,7 \cdot 10^{28}$  cm (H. 37), nhỏ hơn bán kính của toàn vũ trụ. Nếu vũ trụ được thu nhỏ bằng kích thước của Trái đất, thì phần quan sát được của nó sẽ nhỏ hơn kích thước của một proton hai triệu lần.

Bạn chắc chắn sẽ hỏi, nếu tuổi của vũ trụ là 14 tỉ năm, thì tại sao chân trời vũ trụ của chúng ta không phải là 14 tỉ năm ánh sáng mà lại là 47 tỉ năm ánh sáng. Đối với các thiên thể ở gần – chẳng hạn, ở các khoảng cách ngắn hơn 200 triệu năm ánh sáng –, thời gian mà ánh sáng của một thiên thể như thế phải mất để đến được chúng ta có trị số bằng khoảng cách biểu diễn bằng năm ánh sáng. Chẳng hạn, ánh sáng mà ngày nay chúng ta nhận của một thiên hà ở cách ta 50 triệu năm ánh sáng đã xuất phát từ thiên hà này cách đây 50 triệu năm; sở dĩ như vậy là vì sự giãn nở của vũ trụ luôn đưa thiên hà này rời xa Ngân hà (và Trái đất chúng ta) là không đáng kể, 50 triệu năm là khoảng thời gian tương đối ngắn so với tuổi của vũ trụ. Nhưng, đối với các thiên thể xa hơn, sự giãn nở của vũ trụ phải được tính đến. Chẳng hạn, một thiên hà ngày nay cách Trái đất 24 tỉ năm ánh sáng đã ở gần chúng ta hơn khi nó phát đi ánh sáng mà hiện

<sup>1</sup> Xem chú thích 5 trong *Giai điệu bí ẩn – Và con người đã tạo ra vũ trụ*, của Trịnh Xuân Thuận, bản dịch của Phạm Văn Thiều dịch, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2000.

nay chúng ta bắt được bằng kính thiên văn. Trên thực tế, nó chỉ cách chúng ta 12,4 tỉ năm ánh sáng. Ánh sáng của nó có đủ thời gian để đến chúng ta, bởi vì nó chỉ cần 12,4 tỉ năm để hoàn thành chuyến chu du đến Trái đất chúng ta.

Giống như một con kiến bò trên mặt một quả bóng được bơm căng lên. Giả định rằng vận tốc bò của con kiến là 2cm mỗi giây. Sau 20 giây, theo quan điểm của con kiến, khoảng cách nó đi được là 40cm. Nhưng như thế là đã quên mất rằng bề mặt của quả bóng không cố định, mà tăng lên liên tục. Nếu bạn đo khoảng cách mà con kiến đã đi qua bằng một thước dây, bạn sẽ nhận thấy rằng khoảng cách này trên thực tế là lớn hơn 40 cm, do sự giãn nở của quả bóng. Sự chênh lệch giữa khoảng cách thực và khoảng cách biểu kiến càng lớn hơn nếu sự giãn nở của quả bóng càng lớn.

Tương tự, sự chênh lệch giữa khoảng cách hiện tại của một thiên hà và khoảng cách khi nó phát ra ánh sáng đến chúng ta ngày nay càng tăng nếu thiên thể phát sáng ở càng xa và hiệu ứng giãn nở của vũ trụ càng lớn. Ánh sáng đến với chúng ta từ một thiên hà ngày nay cách chúng ta 31,4 tỉ năm ánh sáng đã được phát ra khi thiên hà này chỉ ở cách chúng ta 13,4 tỉ năm ánh sáng. Ánh sáng của một thiên hà hiện nay cách chúng ta 47 tỉ năm ánh sáng thực tế đã được phát đi khi nó chỉ cách 14 tỉ năm ánh sáng – khoảng cách tối đa mà ánh sáng đã có thể vượt qua trong suốt thời gian tồn tại của vũ trụ.<sup>1</sup>

Ánh sáng đến từ các vùng xa xôi của vũ trụ sẽ chỉ đến với con cháu chút chít của chúng ta rất xa trong tương lai: trong khoảng 3 tỉ năm tới, khi mà đám mây Magellan Lớn, một thiên hà lùn vệ tinh hiện đang quay quanh thiên hà của chúng ta, sẽ rơi vào trong Ngân hà và sẽ bị Ngân hà “ăn thịt”; trong khoảng 4 tỉ năm tới, khi Ngân hà va chạm với thiên hà Andromède cạnh nó; trong khoảng 4,5 tỉ năm tới khi Mặt trời tiêu thụ hết dự trữ hiđrô của nó và sẽ chết; trong khoảng 1.000 tỉ năm tới khi mà tất cả các sao của Ngân hà sẽ tắt...

Sở dĩ vũ trụ quan sát được nhỏ hơn rất nhiều vũ trụ thực, đó là bởi vì trong pha lạm phát, sự giãn nở của không gian diễn ra với một vận tốc lớn hơn rất nhiều so với vận tốc ánh sáng. Sự cấm không cho đi nhanh hơn ánh sáng của thuyết tương đối liệu có bị vi phạm? Hiển nhiên là không. Trong Big Bang, không gian không phải là tĩnh, mà là động. Mặc dù không gì có thể chuyển động nhanh hơn ánh sáng qua một không gian đã tồn tại từ trước, nhưng thuyết

---

<sup>1</sup> Các tính toán này phụ thuộc vào sự tiến triển của tốc độ giãn nở của vũ trụ theo thời gian, mà tốc độ này hiện vẫn chưa biết. Ấy là chúng chưa tính đến sự tăng tốc của vũ trụ, được phát hiện năm 1998.

tuong đối lại không cấm bản thân không gian này được tạo ra với một vận tốc cao hơn vận tốc ánh sáng.

### *Một vũ trụ xuất phát từ gần như hư vô*

Như vậy thuyết lạm phát đã được phong phẩm tước. Các tước hiệu vinh quang của rất nhiều: nó đã cung cấp cho chúng ta cơ chế nổ của Big Bang; nó giải thích tại sao vũ trụ đồng nhất đến thế mà lại vẫn rất giàu cấu trúc; nó đã xóa tan rất nhiều đám mây đen làm lu mờ hào quang của thuyết Big Bang chuẩn. Đó là lý do tại sao phần lớn các nhà vật lý ngày nay đều nghĩ rằng vũ trụ rất có thể đã trải qua một pha lạm phát. Tất nhiên, chưa phải mọi chuyện đều đã hoàn hảo, mà vẫn còn rất nhiều vấn đề cơ bản phải giải quyết. Nếu vũ trụ đã tồn tại trước pha lạm phát, thì nó nằm trong trạng thái vật lý nào? Nguồn gốc của trường năng lượng là gì? Tại sao nó lại có một năng lượng khác không? Biết bao nhiêu câu hỏi vẫn đang còn bỏ ngỏ khi chưa phát triển được lý thuyết hấp dẫn lượng tử. Nhưng, cho tới lúc này, Big Bang gắn với một pha lạm phát vẫn là thuyết tốt nhất trên thị trường để giải thích các tính chất hiện đã biết của vũ trụ.

Đây là chưa kể lạm phát còn không ngừng cung cấp cho chúng ta rất nhiều tác dụng tích cực của nó. Chẳng hạn, nó giải thích cho chúng ta ánh sáng đầu tiên xuất hiện đồng thời với vật chất đầu tiên trong vũ trụ như thế nào.

Các bạn hãy nhớ rằng: pha lạm phát kết thúc khi đồng hồ vũ trụ điểm 10<sup>-32</sup> giây. Sự tăng lên theo hàm mũ của không gian bị chặn lại bởi một thăng giáng lượng tử của trường năng lượng (hay trường inflaton) của chân không khởi thủy hất nó ra khỏi cao nguyên năng lượng và làm cho nó lăn xuống tới chân núi. Năng lượng của trường inflaton tiến hóa rất nhanh từ một giá trị dương sang giá trị bằng không, giải phóng rất nhanh một luồng năng lượng. Chính sự giải phóng năng lượng được tích giữ trong trường là nguồn của mọi vật chất và năng lượng mà ngày nay bạn quan sát được trong vũ trụ.

Sẽ là hoàn toàn tự nhiên nếu bạn nghĩ rằng năng lượng ban đầu này phải rất lớn, và suy nghĩ ấy sẽ đúng nếu chúng ta vẫn theo sơ đồ cũ của thuyết Big Bang chuẩn. Thật vậy, trong kịch bản chuẩn, vật chất và năng lượng tác dụng một lực hấp dẫn hút đối lập với sự giãn nở của vũ trụ. Trong quá trình đấu tranh quyết liệt này, diễn ra sự chuyển dịch liên tục năng lượng của các hạt cơ bản (inflaton, electron và proton, bản chất chính xác của hỗn hợp các hạt này phụ thuộc vào từng thời kỳ vũ trụ) sang cho lực hấp dẫn, tới mức mật độ của vật chất và năng lượng của vũ trụ giảm liên tục theo thời gian. Thế mà, nếu

chúng ta quay ngược bộ phim các sự kiện về thời kỳ đầu của vũ trụ, chúng ta sẽ đi đến một năng lượng khổng lồ mà lý thuyết chuẩn không giải thích được.

Tình hình hoàn toàn khác nếu vũ trụ trải qua một pha lạm phát. Trường inflaton, như chúng ta đã thấy, tác dụng một lực hấp dẫn không phải là hút, mà là đẩy. Thay vì chiến đấu chống lại sự giãn nở của vũ trụ, trường này lại làm tăng sự giãn nở đó. Thay vì mất năng lượng do chuyển sang cho lực hấp dẫn, nó lại lấy thêm năng lượng. Nói một cách chính xác hơn, mật độ vật chất và năng lượng của trường inflaton không hề thay đổi trong pha lạm phát. Lạm phát làm tăng kích thước của vũ trụ lên ít nhất  $10^{50}$  lần. Thể tích của nó, tỉ lệ với lập phương của bán kính, sẽ tăng lên  $10^{150}$  lần. Tổng năng lượng của trường, bằng tích của mật độ năng lượng với thể tích của vũ trụ, vì thế cũng tăng theo hàm mũ này. Từ sự khuếch đại kinh hoàng này, người ta suy ra rằng năng lượng của vũ trụ khởi thủy là vô cùng nhỏ. Các tính toán chứng tỏ rằng, để giải thích tất cả những gì vũ trụ chứa ngày nay về vật chất và năng lượng, chỉ cần nó xuất phát từ một không gian vô cùng bé, cỡ một phần triệu tỉ tỉ ( $10^{-24}$ ) cm, được choán bởi một trường inflaton tương ứng với một khối lượng chỉ vài gam, tức là chưa nặng bằng một cái kẹo!<sup>1</sup>

Có thể bạn sẽ tự nhủ rằng, vì chỉ cần rất ít cũng có thể tạo ra một vũ trụ, nên có lẽ bạn cũng có thể chơi trò chứa sáng thể tạo ra các thế giới trong phòng của bạn. Một trường inflaton vài gam, và thế là trò chơi có thể bắt đầu! Nhưng nói bao giờ cũng nhanh hơn làm. Trước hết, inflaton hiện vẫn chỉ là một hạt giả định; chưa ai phát hiện được nó cả. Hơn nữa, muốn tống các inflaton vào một không gian chỉ nhỏ cỡ  $10^{-24}$  cm, tức một phần mười triệu tỉ kích thước của một nguyên tử, lại là một chuyện khác! Chúng ta sẽ không thể tạo ra các vũ trụ ở nhà nhanh đến thế được...

### *Kỷ nguyên ánh sáng*

Lịch sử của vũ trụ chính là lịch sử của vật chất tự tổ chức. Các cấu trúc ngày càng hoàn thiện xuất hiện theo thời gian. Cùng với vũ trụ loãng và lạnh đi, vật chất leo dần dần lên các bậc thang của con đường phức tạp hóa. Trên thực tế, nhiệt độ đồng nghĩa với chuyển động và, trong một vũ trụ quá nóng, các cấu trúc tự hình thành, va vào nhau dữ dội, và chắc chắn sẽ phá hủy nhau. Nhưng

<sup>1</sup> Từ nay về sau chúng ta sẽ biểu diễn năng lượng của vũ trụ qua khối lượng của nó, bởi vì Einstein đã dạy rằng hai đại lượng này tương đương nhau: năng lượng của một vật bằng tích khối lượng của nó với bình phương vận tốc của ánh sáng.

lịch sử của vũ trụ cũng chính là lịch sử của ánh sáng, thường đan xen chặt chẽ với lịch sử của vật chất.

Các nguồn chiếu sáng vũ trụ xuất hiện dưới hai dạng: đầu tiên là bức xạ khuếch tán đồng nhất choán đầy vũ trụ mà người ta gọi là “bức xạ hóa thạch hay bức xạ nền”; tiếp theo là các nguồn sáng đơn lẻ mà người ta gọi là các sao và thiên hà. Lịch sử của vũ trụ không diễn ra một cách đồng nhất. Lúc đầu, các sự kiện kế tiếp nhau dồn dập và các báo cáo của chúng ta về chúng rất sát nhau, thời gian được tính bằng các phần giây. Trái lại, cùng với sự già đi của vũ trụ, sự nồng nhiệt hăm hở của tuổi trẻ nhường chỗ cho sự bình tĩnh thư thái của tuổi trưởng thành. Các phóng sự của chúng ta sẽ thưa thớt hơn, nhưng không vì thế mà để vượt mất những sự kiện quan trọng, và thời gian bây giờ được tính bằng triệu, thậm chí hàng tỉ năm.

Trong khoảng 2500 năm đầu tiên, gần như toàn bộ năng lượng của vũ trụ tồn tại dưới dạng ánh sáng. Chính ánh sáng quy định nhịp giãn nở của vũ trụ. Năng lượng của vật chất lúc này là tương đối nhỏ nên không có vai trò quyết định sự tiến hóa của vũ trụ. Vì chính ánh sáng điều khiển cuộc chơi, nên các nhà vũ trụ học đã gọi thời kỳ này là “kỷ nguyên ánh sáng”. Cũng giống như lịch sử của nhân loại chia thành nhiều thời đại, như thời đại đồ đồng hay thời đại đồ sắt, kỷ nguyên ánh sáng cũng có thể được chia thành nhiều thời đại, mỗi một thời đại được đánh dấu bằng các sự kiện mới và độc nhất.

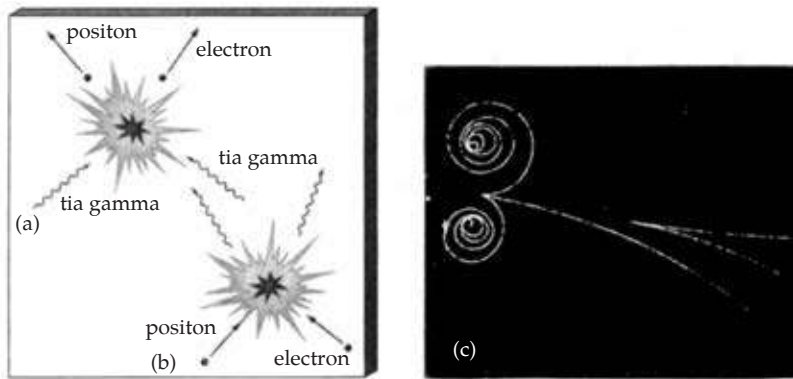
Chúng ta đã làm quen với thời đại Planck, từ thời gian zero (nếu nó tồn tại) cho tới  $10^{-43}$  giây. Ở cuối thời đại Planck, vũ trụ nóng hơn tất cả các hỏa ngục mà Dante có thể tưởng tượng ra ( $10^{32}$  độ Kelvin) và vô cùng đặc ( $10^{95}$  kg/m<sup>3</sup>). Vũ trụ bị chi phối bởi một cặp lực được tách ra từ “siêu lực” khởi thủy: lực hấp dẫn và lực điện-hạt nhân, ở đây lực điện hạt nhân không gì khác là lực thống nhất của các lực điện từ và các lực hạt nhân mạnh và yếu. Lực điện-hạt nhân tồn tại cho tới  $10^{-35}$  giây; chính vì thế thời đại tiếp theo sau thời đại Planck và kéo dài từ  $10^{-43}$  giây đến  $10^{-35}$  giây có tên là thời đại Thống nhất lớn. Một số nhà vật lý nghĩ rằng trong thời kỳ này sinh ra cả một vườn trẻ các hạt cơ bản ngoại lai rất nặng, sau đó có lẽ chính các hạt này đã cấu thành vật chất tối của vũ trụ. Nhưng, cho tới hiện nay, chưa một ai quan sát thấy bất kỳ một hạt ngoại lai nào và chúng hiện vẫn chỉ là sản phẩm của trí tưởng tượng phong phú của các nhà nghiên cứu. Cuối thời đại Thống nhất lớn được đánh dấu bằng sự phân tách lực điện-hạt nhân thành hai lực: lực hạt nhân mạnh và lực điện-yếu. Lực điện-yếu là lực thống nhất của lực điện từ và lực hạt nhân yếu. Cùng với lực hấp dẫn, chúng tạo thành một tam hùng tung hoành các thời đại sau của vũ trụ. Ở  $10^{-35}$  giây, vũ trụ là một mẫu không gian nhỏ, có kích thước cỡ  $10^{-24}$  cm,

choán bởi trường inflaton. Nó vẫn còn vô cùng nóng ( $10^{27}$  độ Kelvin) và mật độ cực cao ( $10^{75}$  kg/m<sup>3</sup>).

*Ánh sáng khởi thủy chính là tổ tiên xa xưa của chúng ta*

Sau đó là thời đại lạm phát kéo dài, như chúng ta đã thấy, từ  $10^{-35}$  giây đến  $10^{-32}$  giây, trong đó kích thước của vũ trụ tăng vọt theo hàm mũ. Ở trên chúng ta cũng đã làm quen với tất cả những ưu việt của thời đại lạm phát. Ở cuối thời kỳ này, trường inflaton giải phóng năng lượng bị giam hãm của nó. Năng lượng này biểu hiện dưới dạng các hạt ánh sáng. Đó chính là ánh sáng khởi thủy. Chính nó sau này sẽ cho ra đời toàn bộ hàm lượng vật chất của vũ trụ qua trò chơi mà các nhà vật lý gọi là sự “sinh cặp”. Ta hãy cùng xem đó là cái trò gì.

Hai photon tiếp xúc với nhau và biến thành một cặp hạt/phản hạt vật chất. Phản hạt giống hạt ở mọi điểm, trừ một điểm là dấu điện tích của nó ngược lại. Chẳng hạn, proton điện tích dương thì phản-proton có điện tích âm, và electron có điện tích âm thì positron (tức phản-electron) có điện tích dương. Bởi vì photon trung hòa về điện, nên sự hiện diện của phản hạt là cần thiết để



Hình 39. Sự ra đời các cặp. (a) Hai photon gặp nhau có thể sinh ra một cặp hạt-phản hạt – trong trường hợp này, là cặp electron và positron – nếu năng lượng toàn phần lớn hơn năng lượng nghỉ (năng lượng sinh ra từ khối lượng của hạt) của hai hạt. (b) Quá trình ngược lại là sự hủy cặp. Ở đây, một electron và một positron hủy nhau sinh ra các tia gamma. (c) Sự sinh cặp có thể được hiển thị nhờ một buồng bọt. Ở đây, một tia gamma đến từ bên trái. Quỹ đạo của tia gamma không nhìn thấy được vì nó không có điện tích. Tia gamma này bứt một electron ra khỏi một nguyên tử, phóng nó sang bên phải (quỹ đạo của nó là dài nhất trên hình). Đồng thời, một cặp electron-positron được sinh ra. Quỹ đạo của hai hạt này có hình xoắn ốc. Do có điện tích của hai hạt trái dấu, nên hai hình này xoắn lại theo các chiều ngược nhau trong từ trường của máy dò.

điện tích của nó triệt tiêu điện tích của hạt, đảm bảo cho điện tích toàn phần được bảo toàn, vì đây là một định luật thiêng liêng bất khả xâm phạm của vật lý học. Quá trình ngược lại cũng có thể xảy ra: một hạt và một phản hạt gặp nhau, chúng sẽ hủy nhau để tạo thành ánh sáng (H. 39).

Như vậy, ánh sáng có thể chuyển hóa thành các cặp hạt/phản hạt, và các cặp này cũng thể xiết chặt lấy nhau để lại trở thành ánh sáng đồng thời vẫn tôn trọng nghiêm ngặt định luật bảo toàn năng lượng toàn phần. Nói cách khác, năng lượng nghỉ và động năng của các cặp hạt/phản hạt phải chính xác bằng năng lượng của hai photon đã tạo ra chúng. Định luật bảo toàn này có một hậu quả quan trọng: nhiệt độ của bức xạ càng cao, thì các photon càng giàu năng lượng, và khối lượng của các hạt và phản hạt được sinh ra sẽ càng lớn. Ngược lại, nhiệt độ càng thấp, thì năng lượng của các photon càng yếu, và khối lượng của các hạt và phản hạt được sinh ra càng nhỏ. Như vậy, đối với mỗi một loại hạt, tồn tại một ngưỡng nhiệt độ tùy thuộc vào khối lượng của hạt và nếu không vượt qua được ngưỡng đó, thì các cặp sẽ không thể sinh ra được. Đối với electron có khối lượng  $9,11 \cdot 10^{-28}$  gam, ngưỡng nhiệt độ của nó là 6 tỉ độ Kelvin. Đối với proton, hạt có khối lượng lớn gấp 2.000 lần electron, nhiệt độ ngưỡng của nó là cao nhất: cỡ 12.000 tỉ độ Kelvin.

Thông qua trò sinh cặp đã xuất hiện một nhóm các hạt vật chất hòa trộn với ánh sáng choán toàn bộ không gian. Bởi vì ánh sáng khởi thủy là nguồn gốc của toàn bộ hàm lượng vật chất của vũ trụ, nên nó là tổ tiên xa xưa nhất của chúng ta. Tất cả chúng ta đều là con đẻ của ánh sáng. Trừ các bất thường nhỏ sinh bởi các thăng giáng lượng tử và được quá trình lạm phát khuếch đại lên, trở thành hạt giống của các thiên hà, còn thì món súp nguyên thủy này gần như là hoàn toàn đồng nhất. Nó chứa các quark, các viên gạch cơ bản tạo nên proton và notron, có điện tích phân số dương hoặc âm, bằng một phần ba hoặc hai phần ba điện tích của proton hay electron; các electron tích điện âm; các neutrino, là các hạt trung hòa có khối lượng gần như bằng không, tương tác rất ít với vật chất; và photon.

Có một sự chuyển hóa liên tục ánh sáng thành vật chất và phản vật chất, và vật chất và phản vật chất thành ánh sáng. Theo các chu kỳ sinh tử vô cùng ngắn ngủi, các hạt và phản hạt của chúng va chạm nhau và hủy nhau để trở thành ánh sáng, và các hạt ánh sáng đến lượt mình biến mất để cho ra đời các cặp hạt/phản hạt mới. Do sự va chạm không ngừng của chúng với các hạt vật chất, các photon có năng lượng cao (photon gamma), cũng không thể tự do lan truyền. Chúng không thể vạch đường qua cánh rừng rậm các electron, và điều này làm cho vũ trụ hoàn toàn tối. Như thế nó bị chìm trong một lớp sương mù

dày đặc không còn thấy gì nữa. Màn sương mù này kéo dài cho tới tận năm 380.000. Cho tới lúc đó mới chỉ có một thứ ánh sáng khuếch tán mà chỉ có cặp mắt nhạy cảm với các tia gamma mới có thể nhìn thấy được.

### *Vũ trụ thiên vị vật chất hơn phản vật chất*

Nếu, trong món súp nguyên thủy, có bao nhiêu hạt mà có bấy nhiêu phản hạt, và nếu tồn tại một đối xứng hoàn hảo giữa vật chất và phản vật chất, thì lịch sử của chúng ta sẽ dừng lại ở đây. Cả bạn cả tôi sẽ không có mặt trên cõi đời này để nói về nó. Vật chất sẽ hủy phản vật chất và chỉ còn lại các photon. Trong quá trình giãn nở, vũ trụ tiếp tục lạnh đi, nhiệt độ của nó ngày càng giảm, photon sẽ có ít năng lượng hơn, và sau một thời gian, nó không thể sinh ra các hạt và phản hạt được nữa. Chỉ còn lại một vũ trụ ánh sáng ngày càng lạnh đi bởi sự giãn nở, sẽ không có thiên hà, sao, hành tinh và con người.

Nhưng, rất may cho chúng ta, tự nhiên không đối xử công bằng đối với vật chất và phản vật chất. Nhà vật lý học người Nga, Andrei Sakharov (1921-1989), cha đẻ của bom khinh khí của Liên Xô (cũ) và là người bảo vệ mạnh mẽ quyền con người ở đất nước mình trong những năm 1970-1980, vào năm 1967, đã gợi ý rằng trong thời kỳ Thống nhất lớn, từ  $10^{-43}$  đến  $10^{-35}$  giây, đã xảy ra sự “rạn nứt” trong đối xứng vật chất và phản vật chất. Vũ trụ đã ưu đãi vật chất hơn phản vật chất một phần tỉ lần. Điều này làm cho, cứ một tỉ phản quark xuất hiện, sẽ có một tỉ +1 hạt quark sinh ra trong vũ trụ.

Về sau, khi đồng hồ vũ trụ điểm ở một phần triệu ( $10^{-6}$ ) giây, nhiệt độ đã giảm xuống còn 10.000 tỉ ( $10^{13}$ ) độ. Sự sôi sục và chuyển động của các quark và phản quark, vốn phụ thuộc vào nhiệt độ, cũng giảm xuống. Tới mức mà lực hạt nhân mạnh giờ có thể bắt được chúng và gắn kết chúng lại với nhau theo bộ ba để cho ra đời các viên gạch cơ bản tạo nên các hạt nhân nguyên tử, tức các proton, neutron và các phản hạt của chúng<sup>1</sup>. Proton và neutron được gọi theo tên phá hệ của chúng là “baryon”, và các phản hạt của chúng là “phản baryon”. Bởi vì các hạt này tồn tại được là nhờ lực mạnh, nên chúng được gọi chung

<sup>1</sup> Chính số ba này đã gợi cho nhà vật lý người Mỹ, Murray Gell-Mann (sinh năm 1929) ý tưởng gọi các thành phần cơ bản của proton và neutron là quark. Từ này, không có nghĩa trước khi Gell-Mann cấp cho nó một nghĩa, đã được nhà văn James Joyce sáng tạo và đưa vào cuốn tiểu thuyết *Finnegans Wake* của ông: “Three quarks for Muster Mark” - Ba quark cho Ngài Mark, - cũng giống như ba quark cho proton hay neutron...

là “hadron” (tiếng Hy Lạp *hadros* có nghĩa là “mạnh”). Thời kỳ tiếp sau thời đại lạm phát kéo dài từ  $10^{-35}$  đến  $10^{-4}$  giây vì thế được gọi là “thời đại hadron”.

### *Cuộc đại hủy diệt lần thứ nhất*

Đến cuối thời đại hadron, khi đồng hồ vũ trụ điểm một phần mười nghìn giây, mật độ của vũ trụ giảm xuống còn  $10^{16}$  kg/m<sup>3</sup>, và nhiệt độ của nó còn 1.000 độ. Photon không còn đủ năng lượng để biến thành các cặp proton/phản proton hoặc neutron/phản neutron nữa, vì như chúng ta đã biết, ngưỡng nhiệt độ để sinh ra các cặp này là  $10^{13}$  độ. Các cặp tồn tại trước đó đã hủy nhau. Phần lớn các proton và neutron ôm chặt lấy nhau trong cái ghì xiết chết chóc với các phản hạt của chúng và trở thành ánh sáng. Nhưng, bởi vì vũ trụ có một phần tỉ ưu tiên vật chất hơn phản vật chất, nên trong mỗi một tỉ cặp hạt/phản hạt hủy nhau, sẽ có một hạt thoát khỏi cuộc đại tàn sát này, vì nó không tìm được đối tác phản hạt để cặp với nó rồi chết và biến thành ánh sáng. Trong mỗi một tỉ photon, sẽ còn lại một proton và một neutron. Tỉ lệ này được thiết lập khi vũ trụ mới trải qua một phần mười nghìn giây và sẽ được duy trì trong suốt thời gian sau đó. Trong vũ trụ ngày nay, số photon (người ta đếm được tổng cộng có 100 triệu tỉ tỉ tỉ tỉ tỉ tỉ tỉ tỉ tỉ tỉ { $10^{98}$ } hạt) vẫn luôn một tỉ lần lớn hơn số proton và neutron ( $10^{80}$ ).

Như vậy, nhờ vũ trụ thiên vị vật chất hơn phản vật chất một phần một tỉ mà chúng ta có mặt ở đây, mà vũ trụ không phải chỉ là một đại dương ánh sáng khổng lồ, mà nó không vô sinh, không vắng bóng sự sống và ý thức, mà chúng ta tiến hóa trong một vũ trụ vật chất ở đó phản vật chất gần như vắng bóng hoàn toàn.

Phản vật chất có thể được sinh ra với một lượng rất nhỏ trong các máy gia tốc hạt cơ bản (như máy gia tốc của CERN ở Genève, Thụy Sĩ) trong va chạm của các hạt vật chất được tăng tốc lên gần bằng vận tốc ánh sáng. Nó cũng xuất hiện trong va chạm của các proton bị các sao nặng bùng nổ (các sao siêu mới) phóng với vận tốc rất cao vào môi trường giữa các vì sao và người ta gọi chúng là các “tia vũ trụ”. Phản vật chất cũng xuất hiện rất ngắn ngủi trong các phản ứng hạt nhân ở vùng tâm của các sao. Nhưng dường như không thấy một lượng lớn các phản-hành tinh, phản-sao và phản-thiên hà rải rác trong vũ trụ. Chúng ta biết vậy, vì nếu, chẳng hạn, các phản-thiên hà tồn tại thì các va chạm ngẫu nhiên của chúng với các thiên hà vật chất sẽ làm cho chúng bốc hơi thành một chớp sáng khổng lồ các tia gamma. Nhưng chúng ta chưa hề quan sát được

các sự kiện khủng khiếp như thế. Bạn sẽ không có nguy cơ, một ngày nào đó, sẽ gặp trên Trái đất một phản-bạn bắt tay bạn và biến bạn thành ánh sáng!

### *Các neutrino khó bắt*

Với sự hủy gần như hoàn toàn proton, neutron và các phản hạt của chúng trong cuộc đại hủy diệt, cái món súp nguyên thủy giờ chủ yếu bao gồm photon, electron và neutrino và các phản hạt của chúng, cùng với một ít proton và neutron thoát nạn. Ở  $10^{-4}$  giây, vũ trụ còn khá nóng (1.000 tỉ độ), và photon vẫn còn đủ năng lượng để biến thành các cặp electron/phản electron và neutrino/phản neutrino, các cặp này, đến lượt chúng, cũng hủy nhau để lại trở thành ánh sáng. Ngưỡng nhiệt độ cho sự sinh các cặp là tương đối thấp, vì electron, neutrino và các phản hạt của chúng đều là các hạt rất nhẹ. Khối lượng của electron nhỏ hơn khối lượng của proton 2.000 lần, và khối lượng của neutrino còn nhỏ hơn nữa.

Chúng ta đã biết ba loại neutrino: neutrino-electron, neutrino-muon và neutrino-tau, với các khối lượng lần lượt thấp hơn một phần tỉ, một phần mười nghìn và một phần nghìn khối lượng của proton. Việc đo khối lượng chính xác của các neutrino là rất khó, nên giá trị của các khối lượng này hiện được biết không chính xác lắm. Neutrino vô cảm với lực hạt nhân mạnh và tương tác chủ yếu nhờ lực hạt nhân yếu. Bởi vì chính các hạt nhẹ chiếm tiền cảnh của sân khấu trong thời đại tiếp theo, gọi là thời đại lepton (tiếng Hy Lạp *leptos* nghĩa là “nhẹ”). Nó kéo dài khoảng từ  $10^{-4}$  giây đến 100 giây.

Nhiều sự kiện quan trọng xảy ra trong thời đại lepton, còn vĩnh viễn để lại dấu vết trong vũ trụ. Khi đồng hồ vũ trụ điểm nửa giây đầu tiên, neutrino tách khỏi phần còn lại của món súp vũ trụ. Trước thời gian định mệnh này, mật độ của vũ trụ lớn tới mức tất cả các hạt của món súp nguyên thủy liên tục tương tác với nhau, không thể đi đâu mà không va chạm ngay với các hạt khác. Kể từ đó, neutrino tách riêng ra, vì chúng chỉ tương tác với vật chất thông thường (proton, neutron, electron) qua trung gian là lực hạt nhân yếu. Thế nhưng, như chúng ta đã thấy, tầm tác dụng của lực này là rất nhỏ, chỉ một phần mười nghìn tỉ ( $10^{-13}$ ) centimet, tức khoảng kích thước của một hạt nhân nguyên tử. Sau nửa giây đầu tiên, vũ trụ đã đủ loãng để khoảng cách trung bình giữa các hạt của món súp nguyên thủy lớn hơn  $10^{-13}$  cm, và do đó lực hạt nhân yếu không còn có tác dụng gì nữa. Kể từ đó, các neutrino cũng gần như không tương tác với cả vật chất thông thường. Chúng kiêu ngạo không thèm đếm xỉa đến vật chất thông thường và hành xử như thể vật chất thông thường không hề tồn tại. Điều này giúp chúng có thể tự do chuyển động. Ngược lại

với ánh sáng, bị cánh rừng rậm electron ngăn không cho lan truyền làm cho vũ trụ hoàn toàn tối tăm, neutrino có thể tự do đi đến đâu chúng thích, tùy ý nhảy nhót trong tất cả các góc ngách của vũ trụ, và choán đầy vũ trụ bằng một số lượng rất lớn.

Số neutrino lang thang này hiện vẫn tồn tại trong vũ trụ. Xét về số lượng, chúng đứng hàng thứ hai trong vũ trụ, chỉ sau photon của bức xạ hóa thạch. Cứ một tỉ photon trong vũ trụ, lại có 100 triệu neutrino (tức ít hơn 10 lần) và một proton (tức ít hơn 1 tỉ lần).

Trong khi bạn đang đọc những dòng chữ này, cơ thể của bạn bị bởi hàng tỉ neutrino nguyên thủy được sinh ra trong những phần giây đầu tiên của vũ trụ xuyên qua. Một số chui lên từ mặt đất để xuyên qua người bạn từ chân, sau khi chúng đã xuyên qua Trái đất từ điểm đối diện với bạn ở phía bên kia của địa cầu. Tuy nhiên, người ta chưa bao giờ phát hiện được số lượng khổng lồ các neutrino này. Nó vẫn chỉ là con số được tiên đoán bởi thuyết Big Bang mà thôi. Sở dĩ như vậy là vì nó tương tác rất yếu với vật chất thông thường. Bạn sẽ uống công chế tạo một máy dò bằng chì dày 1.000 tỉ km (gấp kích thước Trái đất 100 triệu lần), vì neutrino vẫn cứ xuyên qua như không. Bởi vì máy dò của chúng ta và các dụng cụ đo khác đều được làm từ vật chất, nên sẽ vô cùng khó bắt và nghiên cứu các neutrino.

### *Cuộc đại hủy diệt thứ hai và thất bại hoàn toàn của phản vật chất*

Sự kiện thứ hai đánh dấu thời đại lepton là phản vật chất bị hủy hoàn toàn. Chúng ta đã được chứng kiến cuộc đại diệt thứ nhất ở đó tuyệt đại đa số proton và neutron bị hủy trong các vòng ôm ghì đầy chết chóc với các phản hạt của chúng. Thời đại lepton là sân khấu diễn ra cuộc đại diệt thứ hai loại bỏ tuyệt đại đa số electron và toàn bộ các phản hạt của chúng. Cuộc đại diệt thứ hai này đã tống khứ phản vật chất sinh ra trong những phần giây đầu tiên của vũ trụ vĩnh viễn ra khỏi sân khấu. Một lần nữa, chính thời gian trôi cùng với sự giãn nở và lạnh đi của vũ trụ chính là thủ phạm.

Khi đồng hồ vũ trụ chỉ một giây, mật độ của vũ trụ đã giảm xuống còn 100 triệu ( $10^8$ )  $\text{kg}/\text{cm}^3$ , tức gấp 100.000 lần mật độ của nước. Nhiệt độ tụt xuống ngay dưới ngưỡng định mệnh 6 tỉ độ, làm cho ánh sáng không thể sinh ra các cặp electron và phản electron được nữa. Kể từ đó, sẽ không còn có các electron và phản electron mới nữa. Giống như proton và phản proton của cuộc đại hủy diệt lần thứ nhất, electron và phản hạt của chúng tồn tại từ trước đó triệt tiêu nhau trong các ôm ghì chết chóc. Nhưng, cũng giống như đối với proton, tự

nhiên thiên vị vật chất hơn phản vật chất một phần tỉ lần. Vì thế, cứ mỗi một tỉ cặp electron/phản electron biến thành ánh sáng, lại có một electron không có phản hạt và thoát khỏi cuộc đại sát. Điều này làm cho, bất chấp các mất mát nặng nề, vật chất thoát khỏi cuộc đại hủy diệt, trong khi phản vật chất bị loại bỏ hoàn toàn. Kể từ đó, phản vật chất không còn tham gia vào các công việc của vũ trụ nữa. Nó chỉ thi thoảng xuất hiện, và với các số lượng rất nhỏ, trong các va chạm năng lượng cao ở các máy gia tốc hạt trên Trái đất, hoặc trong va chạm của các proton trong môi trường giữa các vì sao của các thiên hà. Mặt khác, bởi vì vũ trụ thiên vị proton mang điện tích dương bao nhiêu thì nó cũng thiên vị electron mang điện tích âm bấy nhiêu, nên còn bao nhiêu điện tích dương thì cũng còn bấy nhiêu điện tích âm sau hai cuộc đại diệt. Nghĩa là vũ trụ trung hòa về điện.

Cuộc đại hủy diệt lần thứ hai còn tạo ra một sự mất cân bằng giữa lượng proton và notron, trước kia vốn tương đương nhau. Sở dĩ như vậy là bởi vì proton và notron có tuổi thọ (hay nói theo ngôn ngữ chuyên môn là thời gian sống) rất khác nhau. Proton có tuổi thọ gần như vĩnh cửu. Các nhà vật lý đã xác định được rằng tuổi thọ của nó lớn hơn hàng nghìn tỉ tỉ ( $10^{30}$ ) năm. So với proton, tuổi thọ của notron tự do chỉ dài như một ngọn lửa rom. Lực hạt nhân yếu làm cho nó phân rã thành một proton, một electron và một phản neutrino sau một phần tư giờ ngắn ngủi.<sup>1</sup> Trước thời gian định mệnh của giây đầu tiên, notron có lẽ đã phân rã hết sau 15 phút. Nhưng proton đã ra tay cứu giúp và, bằng cách cặp đôi với các electron tồn tại vô khối trước đó, đã đẻ ra các notron mới (cộng với các neutrino), và như vậy tái tạo lại số lượng của chúng. Sau cuộc đại hủy diệt thứ hai, số electron giảm xuống như miếng da lừa, proton không còn tìm thấy các đối tác electron để đẻ ra các notron mới nữa, và vì thế số lượng notron lại bị sụt giảm nghiêm trọng. Khi đồng hồ vũ trụ chỉ một giây, chỉ còn lại một notron trên sáu proton. Thời đại lepton kết thúc khi đồng hồ vũ trụ điểm ở 100 giây.

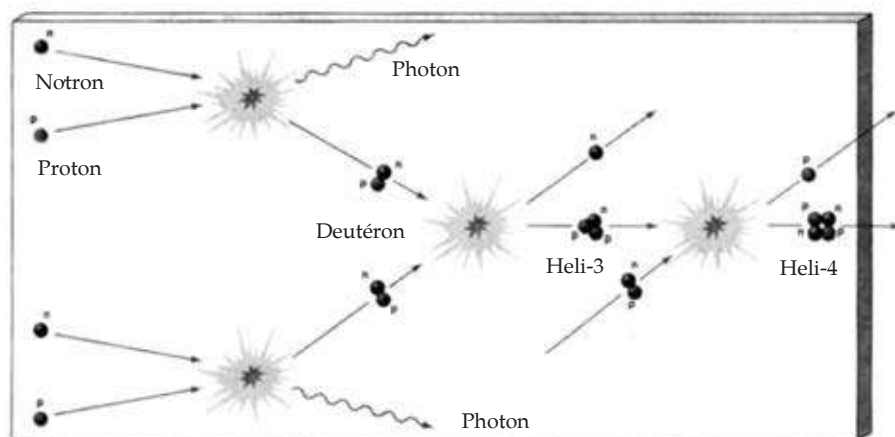
<sup>1</sup> Nói một cách chính xác hơn, trung bình cứ sau 15 phút số notron lại giảm xuống một nửa. Cơ học lượng tử không thể cho chúng ta biết chính xác một hạt sẽ bị phân rã vào thời điểm nào.

### *Một vũ trụ cấu thành từ hiđrô và hêli*

Sau cuộc đại hủy thứ hai, vũ trụ tiếp tục giãn nở, loãng thêm và lạnh đi. Cánh rừng electron vẫn còn đủ rậm rạp để ngăn ánh sáng di chuyển, và vũ trụ vẫn kiên trì ẩn mình dưới màn sương tối nguyên thủy. Chúng ta vẫn đang xem xét kỹ nguyên ánh sáng, vì ánh sáng vẫn tiếp tục thống trị vật chất bởi năng lượng lớn của nó và vẫn giữ vai trò quyết định sự giãn nở của vũ trụ. Các điều kiện bây giờ thuận lợi cho vũ trụ nhảy sang một giai đoạn quan trọng mới trong sự thăng tiến trên còn đường phức tạp hóa: các hạt nhân nguyên tử đầu tiên ra đời. Ở giây thứ 100 bắt đầu thời đại hạt nhân (còn được gọi là thời đại tổng hợp hạt nhân nguyên thủy), kéo dài cho tới năm 2500. Đó cũng là thời kỳ chót của kỷ nguyên ánh sáng, sau đó ánh sáng sẽ chuyển giao quyền lực cho vật chất.

Ở giây thứ 100, mật độ của vũ trụ đã giảm xuống còn  $10.000 \text{ kg/cm}^3$  (bằng mười lần mật độ của nước). Với nhiệt độ một tỉ độ, vũ trụ luôn chứa đầy các photon gamma cực kỳ giàu năng lượng bị electron ngăn không cho di chuyển. Vũ trụ-thợ nề sẽ dùng các viên gạch proton và notron (được gọi chung là “nuclon”) và lực hạt nhân mạnh làm xi măng để xây dựng các cấu trúc đầu tiên của thế giới vật chất. Đối với cấu trúc đơn giản nhất, vũ trụ không mất nhiều công sức. Vũ trụ chỉ cần dùng proton, nuclon bền vững nhất, làm hạt nhân của nguyên tử hiđrô. Không một thợ nề nào xứng với từ này lại sử dụng toàn notron vì nó sẽ phân rã sau 15 phút.

Trái lại, vũ trụ sử dụng notron để xây dựng cấu trúc tiếp sau, phức tạp hơn – đó đơteron, hạt nhân của nguyên tố hóa học gọi là đơteri. Đơteri gồm một proton và một notron liên kết với nhau bằng lực hạt nhân mạnh. Notron không còn dễ dàng bị phân rã khi bị cầm tù trong hạt nhân. Quả là một sự may mắn, vì nếu khác đi, chúng ta sẽ thấy các vật xung quanh sẽ lần lượt phân rã hết sau 15 phút! Đơteron đã xuất hiện từ thời đại lepton. Nhưng vũ trụ vẫn còn nóng tới mức, ngay khi vừa ra đời, đơteron liền bị các photon gamma giàu năng lượng phá hủy ngay. Nhưng thời gian đã ủng hộ nó. Chúng chỉ phải đợi đến khi sự giãn nở của vũ trụ làm giảm nhiệt độ, khi photon cạn kiệt và không còn đủ năng lượng để phá vỡ chúng. Điều này xảy ra khi nhiệt độ tụt xuống dưới 900 triệu độ, ở khoảng phút thứ hai sau Big Bang. Các hạt nhân của đơteri được hình thành cuối cùng đã có thể sống yên ổn mà không phải lo bị các photon gamma quá giàu năng lượng phá hủy. Một số sẽ hợp nhất với một proton để tạo thành hạt nhân hêli-3 (số 3 chỉ tổng số nuclon trong hạt nhân), đến lượt mình, hêli-3 này lại kết hợp với một notron để tạo thành một hạt nhân hêli-4 (H. 40), một loại khí được bơm vào bóng bay làm cho nó bay lên



Hình 40. Sự hình thành hêli-4 trong vũ trụ nguyên thủy. Một proton và một notron kết hợp với nhau để tạo thành một deuteron (đơteron) kèm theo sự giải phóng năng lượng dưới dạng một photon. Đơteron này lại kết hợp với một proton để tạo thành một hạt nhân hêli-3. Hạt nhân này sau đó kết hợp với một notron để tạo thành một hạt nhân hêli-4 (hêli thông thường). Hạt nhân hêli này được cấu thành từ hai proton và hai notron.

trời và làm cho bạn ghệt mũi khi hít phải.

Sau vài phút, vũ trụ sẽ dùng hết dự trữ notron tự do để chế tạo các hạt nhân hêli. Dự trữ notron này giảm xuống bằng 0, và đến cuối thời đại tổng hợp hạt nhân nguyên thủy, ở khoảng giây thứ 1000 sau Big Bang, khi nhiệt độ của vũ trụ vào khoảng 300 triệu độ, cấu tạo hóa học của vũ trụ về cơ bản đã được xác định. Nó chủ yếu được cấu thành từ hiđrô và hêli, với một lượng nhỏ đơteri (cứ 100.000 proton, người ta chỉ đếm được 2 hạt nhân đơteri. Không còn lại nhiều đơteri, vì vũ trụ sử dụng đơteri làm vật liệu để chế tạo hạt nhân hêli) và liti 7 (cứ 10 tỉ proton, lại có hai hạt nhân liti 7; liti 7 được tạo thành từ ba proton và bốn notron).

Tại sao vũ trụ lại không đi xa hơn nữa trong sự tổng hợp hạt nhân nguyên thủy? Tại sao nó không tiếp tục chế tạo hạt nhân của các nguyên tố hóa học nặng hơn và phức tạp hơn bằng cách kết hợp nhiều nuclon hơn nữa? Tại sao nó không tiếp tục đà thăng tiến lên nữa trên con đường phức tạp hóa? Lỗi là do vũ trụ cứ tiếp tục giãn nở, làm cho sự gặp nhau và hợp nhất của các hạt nhân hêli với các proton và notron ngày càng khó khăn hơn. Tình hình còn trầm trọng thêm bởi trong thời gian đó vũ trụ lại lạnh thêm: chuyển động của các hạt vì thế giảm xuống, chúng ngày càng khó thắng lực điện từ đẩy có xu hướng đẩy proton ra xa các nhân hêli. Mặt khác, không có các hạt nhân nguyên tử bền vững được

cấu thành từ năm hoặc tám nuclon, điều này làm cho tình hình càng thêm phức tạp. Tất cả các hoàn cảnh này đã làm cho các phản ứng hạt nhân gần như dừng lại, trước cả khi nguồn dự trữ neutron cạn kiệt.

Bằng cách thống kê lượng proton và neutron, chúng ta có thể xác định chính xác tỉ lệ tương ứng của các hạt nhân hiđrô và hêli, và do đó cả thành phần hóa học của vũ trụ ở giây thứ 100. Các bạn hãy nhớ lại: ở giây thứ nhất, đã có một neutron trên sáu proton. Do sự phân rã của các neutron tự do, nên số lượng các neutron sẽ tiếp tục giảm. Khi đồng hồ vũ trụ điểm ở giây thứ 100, chỉ còn một neutron trên bảy proton, tức hai neutron trên mười bốn proton. Trong một lô nào đó gồm 14 proton, hai proton sẽ tổng hợp với hai neutron để tạo thành một hạt nhân hêli, trong khi mười hai proton còn lại sẽ tạo thành các hạt nhân của nguyên tử hiđrô. Khiến cho, vào khoảng giây thứ 1000, vào cuối thời đại tổng hợp hạt nhân nguyên thủy, cứ 12 proton sẽ có 1 hạt nhân hêli. Bởi vì hạt nhân hêli được cấu thành từ 4 nuclon, nên nó nặng khoảng gấp 4 lần hạt nhân hiđrô cấu thành từ chỉ 1 nuclon. Lý thuyết tổng hợp hạt nhân nguyên thủy trong Big Bang tiên đoán rằng khoảng một phần tư ( $= 4/(4+12)$ ) khối lượng của vũ trụ được tạo thành từ hêli, và ba phần tư là hiđrô. Rồi trong suốt hàng tỉ năm sau đó, các sao, bằng lò luyện hạt nhân của mình, sẽ bổ sung các nguyên tố khác nặng hơn và phức tạp hơn vào bảng các nguyên tố hóa học của vũ trụ, nhưng các nguyên tố này chỉ đóng góp 2% vào tổng khối lượng các nguyên tố hóa học có trong vũ trụ. 98 % thành phần hóa học của vũ trụ đã được xác định trong những phút tồn tại đầu tiên của nó.

Quan sát nói gì với chúng ta? Thật là kỳ diệu! Tỉ lệ khoảng 75% hiđrô và 25% hêli chính xác là tỉ lệ mà các nhà thiên văn học đã quan sát được trong các sao và thiên hà. Sự trùng khớp này là một trong những thành công lớn nhất của thuyết Big Bang.

### *Vật chất vượt lên trên ánh sáng*

Mặc dù sự tạo ra hêli trong thời đại tổng hợp hạt nhân nguyên thủy là rất căn bản để xác định thành phần hóa học của vũ trụ và quyết định tính chất của các sao và thiên hà sau này (chẳng hạn, độ sáng và tuổi thọ của chúng), nhưng vật chất vẫn đóng một vai trò hoàn toàn thứ yếu trong các công việc của vũ trụ trong suốt thời kỳ này. Sự sáng tạo ra các hạt nhân hêli không có ảnh hưởng gì đến sự tiến hóa của vũ trụ, vì vật chất chỉ là một thành phần rất nhỏ trong tổng lượng vật chất và năng lượng của vũ trụ. Chẳng hạn, trong thời kỳ hình thành nhân hêli, năng lượng của ánh sáng lớn hơn năng lượng của vật

chất 5000 lần (năng lượng của vật chất bằng khối lượng của nó nhân với bình phương vận tốc ánh sáng). Chính ánh sáng điều khiển cuộc chơi và quyết định nhịp giãn nở của vũ trụ.

Nhưng thời gian đã ủng hộ vật chất. Mỗi tương quan về năng lượng giữa ánh sáng và vật chất sẽ đảo chiều, và chính vật chất sẽ nắm quyền kiểm soát các công việc của vũ trụ. Tại sao lại có sự đảo ngược tình thế như vậy?

Một lần nữa, nguyên nhân lại chính là sự giãn nở của vũ trụ. Nó là đồng minh không chủ ý của vật chất. Thật vậy, trong quá trình vũ trụ giãn nở, mật độ của các hạt vật chất và mật độ của các hạt ánh sáng giảm xuống theo cùng một nhịp.<sup>1</sup> Nhưng, ngược với các hạt vật chất có năng lượng nghỉ không đổi, các photon lại còn phải chịu thêm một sự mất mát nữa về năng lượng. Chúng ta có thể thấy điều đó nếu sử dụng bộ mặt sóng của photon và tưởng tượng rằng sóng gắn với photon như gắn với cấu trúc không gian đang giãn nở. Vũ trụ giãn nở làm cho bước sóng của photon dài ra và tăng lên. Điều này có nghĩa là năng lượng của photon, vốn tỉ lệ nghịch với bước sóng của nó, cũng giảm xuống.<sup>2</sup> Như thế là photon đã bị sự giãn nở của vũ trụ làm cho kiệt sức. Trong khi đó, các hạt vật chất có năng lượng nghỉ không phải chịu sự mất mát năng lượng như vậy. Do bị mất thêm năng lượng, mật độ năng lượng của ánh sáng giảm theo thời gian nhanh hơn của vật chất. Vì thế mà ánh sáng mất dần sự thống trị của mình.

Khi đồng hồ vũ trụ điểm năm 2500, mật độ năng lượng của ánh sáng và của vật chất bằng nhau. Chỉ một chút nữa thôi là mật độ của ánh sáng giảm xuống nhỏ hơn mật độ của vật chất, và ánh sáng đành phải chuyển giao quyền lực cho vật chất. Kể từ đây, chính vật chất sẽ kiểm soát các công việc của vũ trụ và quyết định nhịp giãn nở của nó. Kỷ nguyên ánh sáng kết thúc để nhường chỗ cho sự trị vì của vật chất.

Sau 14 tỉ năm tiến hóa của vũ trụ, chúng ta vẫn đang nằm trong kỷ nguyên vật chất. Ngày nay, mật độ của vật chất trong vũ trụ ( $2,4 \cdot 10^{-27} \text{ kg/m}^3$ ) lớn hơn mật độ của ánh sáng ( $5 \cdot 10^{-31} \text{ kg/m}^3$ ) khoảng 4800 lần. Bức xạ hóa thạch, mà sau này chúng ta sẽ làm quen, là thành phần chủ yếu của ánh sáng này.

---

<sup>1</sup> Mật độ, tức số các hạt trên đơn vị thể tích, giảm tỉ lệ nghịch với lập phương của bán kính của vũ trụ.

<sup>2</sup> Năng lượng của photon giảm tỉ lệ nghịch với bán kính của vũ trụ; xem chú thích 5 trong *Giai điệu bí ẩn – Và con người đã tạo ra vũ trụ*; Trịnh Xuân Thuận, bản dịch của Phạm Văn Thiều dịch, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2000, 2001, 2006.

### *Những nguyên tử vật chất đầu tiên*

Các sự kiện đánh dấu lịch sử của vũ trụ ngày càng cách xa nhau trong thời gian. Trong khi vào thời kỳ đầu chúng diễn ra với một nhịp điệu điên cuồng và cứ mỗi một phần tỉ hay một phần triệu giây chúng ta phải phát đi một bản tin để thuật lại tình trạng của vũ trụ, thì các diễn tiến mới xảy ra hiện nay lại theo nhịp độ chậm hơn nhiều, và mỗi hàng nghìn, thậm chí hàng trăm nghìn năm chỉ cần một bản tin mới là đủ để theo dõi sự tiến hóa của vũ trụ. Bạn có thể đánh giá sự chậm lại đáng kể của nhịp độ phát đi một bản tin tức mới này bằng một so sánh như thế này: xét theo số sự kiện xảy ra, thì giây thứ nhất của vũ trụ chứa nhiều sự kiện như trong  $10^{17}$  giây (tức 14 tỉ năm) sau đó!

Lúc bắt đầu kỷ nguyên vật chất, vào khoảng năm 2500, vũ trụ đã loãng đi rất nhiều. Mật độ của nó lúc này thấp hơn mật độ của nước: chỉ một phần mười nghìn tỉ ( $10^{-13}$ ) kg/cm<sup>3</sup>. Nhiệt độ của nó đã giảm đi rất nhiều, chỉ còn 60.000 độ. Vũ trụ được choán đầy bởi một hỗn hợp các photon, proton và electron (thoát khỏi hai cuộc đại hủy diệt), các hạt nhân hêli (được sinh ra trong thời đại hạt nhân nguyên thủy) và, như sau này chúng ta sẽ thấy, cả vật chất tối nữa.

Photon vẫn gặp rất nhiều khó khăn để mở lối xuyên qua cánh rừng rậm các electron, và do đó vũ trụ vẫn bị một lớp sương mù dày đặc bao phủ. Vì bị mất năng lượng do sự giãn nở của vũ trụ, photon gamma đã trở thành photon X, và photon cực tím. Nếu chúng ta có mặt ở đó thì cũng không thể nhìn thấy chúng vì chúng vẫn là các tia không nhìn thấy được bằng mắt thường. Năng lượng của photon vẫn còn rất cao nên chưa thể nhảy sang giai đoạn tiếp sau trong sự thăng tiến trên con đường phức tạp hóa: đó là sự hình thành các nguyên tử. Mỗi khi lực điện từ ra tay kết hợp một proton và một electron để tạo thành một nguyên tử hiđrô (các điện tích trái dấu hút nhau), hay một hạt nhân hêli với hai electron để tạo thành một nguyên tử hêli, thì các photon giàu năng lượng lại tới phá vỡ các nguyên tử này, giải phóng các hạt nhân và electron, và tất cả lại phải bắt đầu trở lại. Chúng ta cần phải học kiên nhẫn và chờ đợi thêm một chút.

Vũ trụ tiếp tục loãng và lạnh đi. Khi bắt đầu năm 380.000, nó đã lạnh đi khá nhiều (chỉ còn khoảng 3000 độ) khiến photon không còn đủ năng lượng để phá vỡ các nguyên tử hiđrô và hêli nữa. Các nguyên tử này cuối cùng đã có thể xuất hiện một cách bền vững trên sân khấu vũ trụ. Thế là bắt đầu thời đại nguyên tử. Từ nay, vũ trụ sẽ chứa đầy một hỗn hợp gồm các nguyên tử vật chất (ba phần tư khối lượng là nguyên tử hiđrô, một phần tư còn lại là nguyên tử hêli), photon, vật chất tối và các neutrino.

### *Vũ trụ trở nên trong suốt đối với ánh sáng*

Đồng thời với sự ra đời của các nguyên tử đầu tiên, cũng xuất hiện một sự kiện khác hết sức quan trọng làm thay đổi căn bản bộ mặt của vũ trụ: vũ trụ đã vén được bức màn tối của nó và trở nên trong suốt với ánh sáng. Các bạn hãy nhớ lại rằng trước thời đại nguyên tử, vũ trụ bị bao trùm trong một lớp sương mù dày đặc, ánh sáng không thể xuyên qua cánh rừng rậm các electron tự do. Nhưng, kể từ năm 380.000, các electron mất đi tự do và bị giam trong các nhà tù – nguyên tử. Không còn gì ngăn cản chuyển động của các photon nữa và từ đó chúng có thể đi đâu tùy thích. Sương mù đã được vén lên và vũ trụ trở nên trong suốt đối với ánh sáng. Ánh sáng và vật chất, cho tới lúc đó được hòa trộn với nhau rất mật thiết, giờ bắt đầu tách ra và sống các cuộc sống riêng.

Kể từ đó, chỉ một thiểu số rất nhỏ photon, có năng lượng rất xác định (bằng độ chênh lệch giữa hai mức năng lượng nào đó của các nguyên tử hiđrô và hêli và của các nguyên tố nặng trong tương lai), mới có thể tương tác với vật chất. Còn phần lớn các photon sẽ chẳng có gì để làm với vật chất. Các photon này đến với chúng ta trực tiếp từ các phần giây đầu tiên của vũ trụ, và sự tương tác gần đây nhất của chúng với vật chất đã xảy ra vào năm 380.000, tạo thành cái mà người ta gọi là “bức xạ hóa thạch (hay bức xạ nền)” của vũ trụ. Về một phương diện nào đó, có thể gọi đó là “nhiệt” còn sót lại từ thuở sáng tạo ra vũ trụ. Cùng với sự giãn nở của vũ trụ, đó là một trong hai hòn đá tảng của thuyết Big Bang. Tương tự như hóa thạch cho phép các nhà cổ sinh học lần ngược thời gian và tái tạo lại lịch sử của các nền văn minh xa xưa, ánh sáng hóa thạch cũng cho phép các nhà thiên văn học tái tạo lại lịch sử của vũ trụ ở các thời kỳ đầu tiên của nó.

### *Bức xạ hóa thạch trên màn hình ti vi của bạn*

Vào thời điểm ánh sáng và vật chất tách khỏi nhau, vào khoảng năm 380.000, nhiệt độ của vũ trụ đã giảm xuống còn khoảng 3000 độ, và nó đã loãng đi đáng kể. Mật độ của nó vào khoảng  $10^{-18}$  kg/cm<sup>3</sup>, tức gấp một tỉ lần vũ trụ hiện nay, và một phần nghìn tỉ lần mật độ của nước. Một hạt cơ bản nào đó trung bình có thể dịch chuyển trên một khoảng cách khoảng 10.000 năm ánh sáng mới va chạm với một hạt khác. Ánh sáng hóa thạch choán đầy vũ trụ có bản chất cực tím, trước đó là không nhìn thấy, thì giờ đây đã trở nên nhìn thấy được (đối với mắt người). Màu của bề mặt Mặt trời, có nhiệt độ là 5800 độ, cũng có màu vàng gần giống màu của ánh sáng hóa thạch ở thời kỳ xa xưa này.

Từ khi tách khỏi vật chất, bức xạ hóa thạch đã không ngừng lạnh đi, nhiệt

độ của nó giảm tỉ lệ nghịch với bán kính của vũ trụ. Bán kính của vũ trụ lúc này lớn hơn bán kính của nó vào năm 380.000 cỡ một nghìn lần, nhiệt độ của nó giảm khoảng một nghìn lần, xuống còn 3 độ Kelvin, tức  $-270^{\circ}\text{C}^1$ . Vì bị lạnh đi do vũ trụ giãn nở, nên bức xạ hóa thạch đến với chúng ta ngày nay, khoảng 13,5 tỉ năm sau khi ánh sáng bắt đầu tự do di chuyển mà không bị vật chất ngăn cản, rất nghèo về năng lượng. Nó có bản chất là sóng vi ba, thuộc loại mà lò vi sóng của bạn phát ra. Nó, một lần nữa, lại trở nên không nhìn thấy được đối với mắt người và chỉ các dụng cụ có khả năng bắt các sóng radio, như các kính thiên văn vô tuyến hay... tivi nhà bạn mới có thể bắt được. Hãy bật tivi sau khi kết thúc chương trình lên: bạn sẽ thấy các chấm sáng màu trắng nhảy múa trên màn hình. Khoảng 1% nhiễu này là do các photon của bức xạ hóa thạch gây ra! Như vậy bạn có thể nhìn thấy trên màn hình tivi nhà mình những biểu hiện của các photon già nua nhất mà chúng ta có thể bắt được trên Trái đất. Quan sát chúng nghĩa là bạn đã lần ngược lại thời gian khoảng 13,5 tỉ năm!

Như vậy chúng ta sống bên trong một mặt cầu có tâm ở Trái đất và bán kính khoảng 47 tỉ năm ánh sáng<sup>2</sup>. Việc chúng ta có thể nhìn xa tới 47 tỉ năm ánh sáng trong khi tuổi của vũ trụ mới chỉ là 14 tỉ năm ánh sáng, như chúng ta đã thấy, là do sự giãn nở của vũ trụ. Một thiên thể phát ra ánh sáng cách đây 14 tỉ năm đã bị sự giãn nở của vũ trụ kéo đi một khoảng cách 47 tỉ năm ánh sáng. Bên trong mặt cầu này, ánh sáng có thể lan truyền tự do, và không gian là trong suốt. Bằng cách quan sát các photon của bức xạ hóa thạch, chúng ta có thể lần ngược thời gian tới tận năm 380.000 sau Big Bang. Trái lại, bên ngoài mặt cầu này, chúng ta trở về các khoảng thời gian ở đó không gian vẫn tối tăm, các nguyên tử vẫn chưa được hình thành, electron tự do ngăn không cho ánh sáng chuyển động. Các kính thiên văn dù có mạnh đến đâu cũng không bao giờ tiếp cận được các vùng tối này. Để nghiên cứu vũ trụ ở các thời gian trước năm 380.000, chúng ta sẽ phải dùng các tính toán và các máy gia tốc hạt cơ bản với hy vọng tái tạo được năng lượng kinh hoàng của vũ trụ nguyên thủy. Xét cho cùng, vũ trụ ở thời kỳ đầu chẳng phải là một máy gia tốc tuyệt vời và mạnh nhất trong các máy gia tốc hạt đó sao?

<sup>1</sup> Để chuyển đổi độ Kelvin sang độ C, chỉ cần trừ đi 273.

<sup>2</sup> Tuy nhiên, không nên nghĩ rằng Trái đất chiếm vị trí trung tâm được ưu tiên của vũ trụ. Trong không gian giãn nở, mọi điểm đều là trung tâm, và như vậy chẳng có gì là trung tâm hết. Những gì đúng đối với Trái đất thì cũng đúng với mọi điểm khác của vũ trụ.

### *Chìm bỏ câu và ánh sáng hóa thạch của vũ trụ*

Quan điểm về ánh sáng hóa thạch đến từ thời kỳ xa xưa và choán toàn bộ vũ trụ không phải là mới. Khái niệm về một vũ trụ xuất phát từ một trạng thái vô cùng nóng và có mật độ cực cao đã xuất hiện ngay từ những năm 1920 nhờ các nỗ lực của nhà toán học và thiên văn học người Nga, Alexandre Friedmann (1888-1925) và linh mục phụ tá đồng thời là nhà thiên văn học người Bỉ Georges Lemaître (1894-1966). Hai nhà khoa học này đã sử dụng các phương trình của thuyết tương đối rộng của Einstein, công bố năm 1915, để lần ngược trở lại quá khứ của vũ trụ, như các nhà thám hiểm ngược dòng sông Nil lên thượng nguồn. Dựa trên các công trình của hai nhà tiên phong này, nhà vật lý thiên văn người Mỹ gốc Nga, George Gamow và các sinh viên của ông là Ralph Alpher và Robert Herman trong những năm 1940 đã tiên đoán sự tồn tại của một bức xạ vô tuyến đến từ những khoảnh khắc đầu tiên của vũ trụ và nhiệt độ của nó là khoảng 5 độ Kelvin. Tuy nhiên, không một ai chịu bỏ công đi tìm bức xạ hóa thạch đó, mặc dù ngành thiên văn vô tuyến sau Đại chiến thế giới II đã có những tiến bộ kỳ diệu nhờ những phát triển của radar trong cuộc chiến đó. Các ý tưởng của Gamow và các đồng nghiệp của ông vì thế đã bị rơi vào quên lãng.

Chỉ đến những năm 1960, nhà vật lý học người Mỹ, Robert Dicke và nhóm nghiên cứu của ông ở Đại học Princeton, bang New Jersey, mới xét tới ý tưởng về một vũ trụ trong quá khứ nóng và mật độ cao, và về ánh sáng hóa thạch tắm đẫm toàn vũ trụ. Thật lạ là Dicke và các đồng nghiệp của ông chưa hề biết đến các công trình tiên phong của Gamow, Alpher và Herman, và đã phải tự mình phát hiện lại toàn bộ. Họ phải mất nhiều tháng để chế tạo một bức xạ kế để phát hiện bức xạ hóa thạch. Bỗng một ngày đẹp trời vào năm 1965, Dicke nhận được một cú điện thoại của nhà thiên văn vô tuyến người Mỹ, Arno Penzias, làm việc trong một phòng thí nghiệm của tập đoàn điện thoại Bell ở Holmdel, cách Princeton khoảng 100 km. Penzias thông báo với ông rằng đồng nghiệp của ông là nhà thiên văn vô tuyến Robert Wilson và bản thân ông đã phát hiện ra một bức xạ huyền bí cực kỳ đồng nhất, và bức xạ này dù được quan sát theo bất kỳ hướng nào vẫn có cùng một nhiệt độ là 2,7 độ Kelvin.<sup>1</sup> Vậy là Dicke đã bỏ lỡ cơ hội: một trong những phát hiện vũ trụ học lớn nhất của lịch sử khoa học vừa tuột khỏi tay ông mấy tháng trước! Thời gian để chế tạo xong bức xạ kế...

Vận may đã mỉm cười với Penzias và Wilson. Tuy nhiên, hai nhà thiên văn vô tuyến này không phải là các nhà vũ trụ học và vấn đề về nguồn gốc của vũ

<sup>1</sup> Giá trị hiện đại do vệ tinh WMAP đo được là 2,725 độ Kelvin.

trụ không nằm trong mối quan tâm của họ. Làm việc cho một tập đoàn điện thoại, họ có nhiệm vụ lắp cho kính thiên văn của mình một bức xạ kế cực kỳ nhạy, không phải để nghiên cứu vũ trụ, mà nhằm cải thiện chất lượng liên lạc điện thoại ở Mỹ. Để nhận dạng và trừ khử các nguồn ký sinh làm nhiễu sự hoạt động vốn rất tốt của các vệ tinh viễn thông, họ đã tiến hành nghiên cứu sự phát vi sóng của Ngân hà, một trong những nguồn nhiễu khá dĩ. Trong quá trình quan sát, họ đã nhận thấy rằng, ngoài sự phát sóng vô tuyến của Ngân hà, còn có một dạng “nhiều nền” phía sau, như những tiếng ồn nền mà thỉnh thoảng bạn vẫn nghe thấy trên đài. Bức xạ nền này luôn luôn có các tính chất đồng nhất, dù kính thiên văn được đặt theo hướng nào. Nó xuất hiện ở bất kỳ giờ nào trong ngày, bất kỳ ngày nào trong năm. Hai nhà thiên văn học hoàn toàn không biết gì về nguyên nhân của bức xạ nền huyền bí này. Rất nhiều hướng đã được khám phá, rồi lại bị từ bỏ. Một đôi chim bồ câu đã làm tổ ngay trong kính thiên văn: phải chăng phân của chúng là nguyên nhân của nhiễu loạn nền? Sau khi đuổi đôi chim này đi, hai nhà thiên văn học đã lau sạch lại toàn bộ kính thiên văn – nhưng họ đã uống công: bức xạ nền vẫn luôn xuất hiện. Sau đó họ dò xét kỹ lưỡng các đài phát thanh ở New York (New York cách đó không xa), các trận giông nổ ra trong khí quyển Trái đất, sự phát sóng vô tuyến trên mặt đất, các đoạn mạch trong các thiết bị điện tử. Tất cả đều đã được xem xét! Nhưng không gì có thể giải thích được bức xạ nền huyền bí.

Một hôm, Penzias tâm sự về khó khăn của mình với một giáo sư của MIT, người đã nói với ông về Dicke và các ý tưởng của ông này về một bức xạ hóa thạch sinh ra trong những khoảnh khắc đầu tiên của vũ trụ. Phải đến lúc này Penzias và Wilson mới ý thức được rằng họ đã phát hiện ra nhiệt sót lại từ khi vũ trụ ra đời. Nhờ phát hiện ra bức xạ hóa thạch (người ta còn gọi là “bức xạ nền vi ba”), Penzias và Wilson đã được tặng thưởng giải Nobel về vật lý năm 1978. Vì không phát hiện được trước họ ánh sáng của thời kỳ khởi đầu của vũ trụ, nên Dicke và các đồng nghiệp của ông, khi chế tạo xong bức xạ kế, đã phải bằng lòng với việc khẳng định sự tồn tại của nó.

### *Các phát hiện đồng thời*

Lịch sử phát hiện bức xạ hóa thạch đã minh họa tuyệt vời cho nhiều khía cạnh của các phát minh khoa học lớn. Chúng thường xảy ra một cách tình cờ. Sở dĩ như vậy là vì các nhà khoa học thường nghiên cứu một khía cạnh nhỏ của một vấn đề lớn. Họ khá thực tế khi chấp nhận rằng không dễ tìm ngay được lời giải cho các vấn đề lớn, mà phải bằng các tiến bộ nhỏ. Chẳng hạn, Penzias và

Wilson chỉ muốn nghiên cứu Ngân hà, chứ không phải bức xạ hóa thạch.

Một ví dụ nổi tiếng khác liên quan đến phát hiện các pulsar vào năm 1967, đó là các sao neutron quay rất nhanh quanh mình nó và phát ra các tín hiệu vô tuyến theo các chu kỳ đều đặn. Những người phát hiện ra chúng là hai nhà thiên văn vô tuyến người Anh, Anthony Hewish và Jocelyn Bell ban đầu chỉ muốn nghiên cứu các thiên hà vô tuyến. Họ thậm chí còn chưa hề biết tới sự tồn tại của các pulsar. Nhưng, trong trường hợp này cũng vậy, một phát minh lớn đã được thực hiện, bởi vì hai nhà nghiên cứu được sử dụng một dụng cụ tuyệt vời, thuộc loại công nghệ tân tiến nhất. Penzias và Wilson đã chế tạo được bức xạ kế nhạy nhất có thể; Hewish đã chế tạo được một dụng cụ siêu nhạy, có khả năng phát hiện những thay đổi nhanh trong bức xạ của các nguồn vô tuyến, điều này cho phép ông cùng với Bell phát hiện ra những bức xạ rất ngắn của pulsar lặp lại theo các chu kỳ cực kỳ đều đặn.

Vận may đã mỉm cười với những người được trang bị tốt. Điều này đặc biệt đúng trong thiên văn học, vốn là một khoa học dựa trước hết trên quan sát. Mỗi một lần, nhờ sự phát triển của công nghệ, các nhà thiên văn có thể khám phá được các vùng năng lượng khác nhau bằng các dụng cụ hiệu quả hơn, họ lại phát hiện ra các hiện tượng mới.

Không hiếm xảy ra trong khoa học việc hai nhóm, như Penzias và Wilson và nhóm Dicke và các đồng nghiệp, cùng thu được gần như cùng một lời giải cho một vấn đề, nhưng nhóm của Dicke đã bị vượt qua ngay sát đích. Có một dạng “đồng thời” – nói theo cách của Jung – làm cho ở một thời kỳ nào đó một ý tưởng chín muồi một cách độc lập ở những nơi khác nhau trên thế giới (trong trường hợp bức xạ hóa thạch, hai nhóm chỉ cách nhau một trăm kilômét!), hoặc là công nghệ đạt đến một mức độ tinh vi khá cao trong nhiều phòng thí nghiệm cùng lúc để dẫn đến các phát hiện gần như đồng thời.

### *Big Bang được khẳng định nhờ ánh sáng hóa thạch*

Trước phát hiện của Penzias và Wilson vào năm 1965, vũ trụ học chủ yếu dựa trên một và chỉ một quan sát: đó là sự giãn nở của vũ trụ, do Hubble phát hiện ra vào năm 1929. Hubble đã nhận thấy rằng ánh sáng của các thiên hà xa xôi luôn dịch chuyển về phía đỏ. Sự dịch chuyển về phía đỏ này có thể được giải thích là do các thiên hà chạy trốn ra xa nhau. Người ta gọi đó là hiệu ứng Doppler, tên của nhà vật lý học người Áo, Johann Christian Doppler (1803-1853), người đã phát hiện ra một hiện tượng tương tự đối với âm thanh: âm thanh phát ra từ một vật chuyển động sẽ chói hơn khi nó xích lại gần người

quan sát, và trầm hơn khi nó rời xa người quan sát. Ai trong chúng ta cũng đều nhận thấy sự thay đổi từ bỗng xuống trầm của còi xe cứu thương khi nó đi qua chúng ta đang đứng yên trên vỉa hè. Tương tự, tần số và năng lượng của ánh sáng được đo bởi một người quan sát sẽ trở nên lớn hơn, và bước sóng của nó ngắn hơn, khi vật phát sáng tiến lại gần người quan sát. Vì vậy người ta nói rằng ánh sáng “dịch chuyển về phía xanh”, vì ánh sáng xanh có các tần số tương đối cao. Ngược lại, khi vật phát sáng rời xa người quan sát, ánh sáng mà anh ta nhận được có tần số và năng lượng thấp hơn, bước sóng của nó dài hơn; lúc đó người ta nói rằng ánh sáng “dịch chuyển về phía đỏ”. Khi vận tốc chạy trốn ra xa nhau (hoặc xích lại gần) càng lớn thì sự thay đổi tần số hay sự dịch chuyển về phía đỏ (hoặc lam) cũng càng lớn. Như vậy, nhà thiên văn học chỉ cần đo sự dịch chuyển về phía đỏ của ánh sáng do một thiên hà phát ra là có thể suy ra vận tốc chạy trốn của nó.

Nhưng thế vẫn chưa hết. Không chỉ các thiên hà chạy trốn ra xa Ngân hà, mà chúng còn chạy trốn theo một định luật rất chính xác mà ngày nay người ta gọi là “định luật Hubble”: một thiên hà rời xa Ngân hà càng nhanh khi nó càng ở xa Ngân hà. Nói cách khác, vận tốc của nó tỉ lệ với khoảng cách của nó. Định luật này có một hệ quả rất quan trọng: chính nó đã cho ra đời thuyết Big Bang.

Chúng ta hãy tính toán thời gian mà một thiên hà đã mất để đi từ điểm xuất phát tới vị trí của nó hiện nay. Nếu bạn muốn tính thời gian đi từ Paris đến Orléans, cách thủ đô 115 km về phía Nam, bạn chỉ cần chia khoảng cách này cho vận tốc của bạn. Như vậy, nếu bạn chạy với vận tốc 115km/h, thì bạn sẽ mất đúng một giờ. Tương tự, để tính toán thời gian để một thiên hà chạy đến chỗ của nó hiện nay, bạn chỉ cần chia khoảng cách của nó cho vận tốc. Nhưng, bởi vì vận tốc tỉ lệ thuận với khoảng cách, nên tỉ số này là như nhau đối với mỗi thiên hà. Mỗi thiên hà mất chính xác cùng một thời gian để đi từ vị trí xuất phát đến vị trí hiện nay của nó.

Hãy đảo ngược trình tự chuỗi các sự kiện, ta sẽ thấy tất cả các thiên hà nằm ở cùng một vị trí và ở cùng một thời điểm: từ đây sinh ra ý tưởng rằng vũ trụ xuất phát từ một trạng thái vô cùng nhỏ và đặc, và rằng một vụ nổ khởi thủy lớn, một Big Bang đã làm cho nó phải chịu một sự giãn nở liên tục cho đến ngày nay.

Nhưng thuyết Big Bang chưa được khẳng định ngay lập tức. Quan niệm về điểm khởi đầu của vũ trụ, hay có thể coi là thời điểm “Sáng thế”, có quá nhiều hàm ý tôn giáo. Một số nhà vật lý thiên văn đã đặt vấn đề xem xét lại cách giải thích về sự dịch chuyển về phía đỏ của ánh sáng các thiên hà là do chuyển động chạy trốn ra xa nhau. Theo họ, ánh sáng của các thiên hà bị mất năng lượng

không phải là do vũ trụ giãn nở, mà do các cơ chế khác còn chưa rõ, chẳng hạn như photon bị “mỏi” trong hành trình dài xuyên giữa các vì sao và các thiên hà để đến được chúng ta. Các giả thiết này chưa bao giờ được đón nhận một cách nồng nhiệt, vì chúng không đưa ra được các cơ chế có thể chấp nhận được.

Một số nhà nghiên cứu khác chấp nhận quan điểm về một vũ trụ giãn nở, nhưng trong khuôn khổ các lý thuyết khác, như thuyết vũ trụ tĩnh do các nhà thiên văn học người Anh, Fred Hoyle, Thomas Gold và Hermann Bondi xây dựng năm 1948. Lý thuyết này cho rằng vũ trụ từ xa xưa vẫn cứ như vậy, rằng nó không có bắt đầu cũng chẳng có kết thúc. Như vậy nó sẽ tránh được khái niệm “Sáng thế” và bác bỏ sự thay đổi và tiến hóa gắn liền với thuyết Big Bang. Trong một chừng mực nào đó, nó vay mượn quan điểm vũ trụ bất biến của Aristote. Nhưng làm thế nào dung hòa được một vũ trụ bất biến trong thời gian với quan sát về sự giãn nở của vũ trụ? Nếu không gian trống rỗng được tạo ra liên tục giữa các thiên hà, thì vũ trụ không thể giống với chính nó. Hoyle, Gold và Bondi đã phải thừa nhận có sự tạo ra vật chất liên tục để bù lại chính xác chân không mà sự giãn nở sinh ra. Thay vì sử dụng chỉ một vụ nổ lớn để tạo ra vật chất, họ sử dụng một loạt các vụ nổ nhỏ. Tỷ lệ tạo ra vật chất cần thiết – 1.000 nguyên tử hiđrô trong một centimet khối không gian mỗi một tỉ năm – nhỏ tới mức không nhận thấy và đo đếm được. Lý thuyết vũ trụ tĩnh vẫn thịnh hành cho tới những năm 1950 và đã ảnh hưởng to lớn đến tư duy vũ trụ học thời đó.

Như một trò đùa của lịch sử, chính Fred Hoyle là người đặt tên cho một lý thuyết mà sau đó chính nó đã phế truất lý thuyết của ông. Để nhạo khái niệm vụ nổ khởi thủy, trong một cuộc phỏng vấn của đài BBC, nhà vật lý thiên văn người Anh này đã gọi nhạo nó là “Big Bang”, mà không hề mảy may ngờ rằng cách gọi đó sẽ kích thích trí tưởng tượng của các nhà khoa học và đám đông, và sẽ được sử dụng lâu dài.

Thuyết vũ trụ tĩnh đã bắt đầu cho thấy các khiếm khuyết vào đầu những năm 1960. Thống kê các quasar và thiên hà vô tuyến cho thấy chúng giảm xuống về lượng theo thời gian, rằng có một sự thay đổi về số lượng của chúng. Quan điểm này không phù hợp với một lý thuyết bác bỏ mọi thay đổi. Nhưng chính phát hiện bức xạ hóa thạch năm 1965 mới là kẻ giáng đòn kết liễu. Bởi vì lý thuyết vũ trụ tĩnh bác bỏ quan điểm về một thời kỳ đầu nóng và mật độ cao, nên nó không thể (giống như tất cả các lý thuyết khác cạnh tranh với lý thuyết Big Bang) giải thích một cách tự nhiên sự hiện diện của một bức xạ hóa thạch

choán đầy vũ trụ.<sup>1</sup> Sự xâm nhập của bức xạ hóa thạch vào ý thức của các nhà vật lý thiên văn đã đánh dấu một bước ngoặt quyết định trong tư duy vũ trụ học hiện đại. Một sự thay đổi hình mẫu tư duy đã bắt đầu. Kể từ đó, thuyết Big Bang đã trở thành một sự hình dung mới về thế giới.

### *Nguồn năng lượng sáng lớn nhất trong vũ trụ*

Sau phát hiện của Penzias và Wilson, các nhà thiên văn học đã hăm hở nghiên cứu ánh sáng nguyên thủy với hy vọng khám phá được bí mật của vũ trụ ở thời kỳ đầu. Do được cấu thành từ các photon già nua nhất của vũ trụ có thể tự do đến chúng ta từ năm 380.000, nên bức xạ hóa thạch giúp chúng ta tái dựng lại hình ảnh xa xưa nhất của vũ trụ có thể thu được bằng kính thiên văn. Hình ảnh này cũng là trung thực nhất có thể, vì phần lớn photon của bức xạ nguyên thủy gần như không chịu một tương tác nào với vật chất trong chuyến chu du miên viễn của nó đến với chúng ta. Nhưng, để nghiên cứu ánh sáng của những khoảnh khắc đầu tiên với tất cả sự chói lọi của nó, còn cần phải phóng một kính thiên văn vô tuyến lên không gian, vì khí quyển Trái đất hấp thụ một lượng lớn các photon của nó. Những quan sát sơ bộ đã được các kính thiên văn vệ tinh thực hiện, nhưng phải kiên nhẫn chờ đợi thêm 25 năm nữa, cho tới năm 1990, vệ tinh COBE (*Cosmic Background Explorer* – vệ tinh thám hiểm bức xạ nền vũ trụ) của NASA mới được phóng lên mang theo một kính thiên văn vô tuyến vi sóng, nhờ đó đã vẽ được một bản đồ chi tiết và đầy đủ về ánh sáng đến từ thời kỳ đầu tiên của vũ trụ này.

Kết quả quan sát của COBE được thông báo vào năm 1992 tiết lộ cho chúng ta biết rằng sự phân bố năng lượng của bức xạ hóa thạch chính xác là sự phân bố năng lượng của vũ trụ lúc khởi thủy có nhiệt độ và mật độ vô cùng cao. Ở một số nơi, người ta quan sát thấy, nhiệt độ 2,7 độ Kelvin của nó là cực kỳ đồng nhất. Chỉ thuyết Big Bang mới có thể giải thích được một cách tự nhiên ánh sáng nguyên thủy này. Chính vì thế, cùng với sự giãn nở của vũ trụ do Hubble phát hiện năm 1929, bức xạ hóa thạch tạo thành một trong hai hòn đá tảng của thuyết Big Bang (H. 3 trong tập ảnh màu).

Mỗi một mét khối của không gian chứa khoảng 400 triệu photon nguyên thủy này. Do đó bức xạ hóa thạch chứa một năng lượng tổng cộng là  $5.10^{-31}$  kg

---

<sup>1</sup> Để biết chi tiết cuộc các tranh luận giữa các thuyết cạnh tranh với Big Bang, xem chương IX cuốn *Giai điệu bí ẩn* của Trịnh Xuân Thuận, s.d.d.

trong một mét khối (một lần nữa chúng ta chuyển năng lượng thành khối lượng bằng công thức  $E = mc^2$  của Einstein). Đó là nguồn năng lượng sáng lớn nhất trong vũ trụ. Mặc dù photon của bức xạ hóa thạch đã bị kiệt sức đáng kể bởi sự giãn nở của vũ trụ và năng lượng ban đầu của nó đã giảm xuống rất nhiều, nhưng tổng năng lượng của bức xạ hóa thạch ngày nay vẫn lớn hơn khoảng 10 lần tổng năng lượng ánh sáng của toàn bộ các sao và thiên hà của vũ trụ quan sát được! Lý do của điều này là bức xạ hóa thạch choán toàn bộ vũ trụ, trong khi các sao và thiên hà chỉ choán một phần nhỏ của không gian.

Các photon còn vượt trội về số lượng hiện tồn tại trong không gian. Cứ mỗi proton tồn tại trong vũ trụ, lại có một tỉ photon của bức xạ hóa thạch – sự mất cân bằng về số lượng này, như chúng ta đã thấy, là do vật chất được thiên vị hơn phản vật chất một phần tỉ.

### *Các hạt giống thiên hà*

Như chúng ta đã thấy, bức xạ hóa thạch có độ đồng nhất cực cao. Nhưng đó không phải là một sự đồng nhất tuyệt đối. Quả là rất may mắn cho chúng ta, vì nếu vũ trụ đồng nhất một cách tuyệt đối, thì chúng ta đã không có mặt ở đây để nói về nó. Một vũ trụ không cấu trúc giống như một sa mạc không ốc đảo: sự sống không thể phát triển ở đó được. Một vũ trụ tuyệt đối đồng nhất sẽ đơn điệu, buồn tẻ và vô sinh. Trong vũ trụ này sẽ chẳng có tiếng hót lạnh lùng của chim họa mi, cũng chẳng có hương thơm dịu nhẹ của hoa hồng. Những nụ cười của trẻ thơ cũng hoàn toàn vắng bóng.

Các nhà vật lý thiên văn đã rất vui mừng khi COBE phát hiện được những thăng giáng nhỏ về nhiệt độ của bức xạ hóa thạch, cỡ vài trăm phần nghìn độ Kelvin, ở các vị trí khác nhau trong bầu trời. Các thăng giáng nhiệt độ này tương ứng với những thăng giáng về mật độ vật chất cấu thành từ proton, neutron và các hạt nặng khác. Ở những vị trí có nhiều vật chất hơn một chút, lực hấp dẫn sẽ mạnh hơn một chút, các photon của bức xạ hóa thạch mất thêm một chút năng lượng để thoát khỏi lực hấp dẫn này, và nhiệt độ yếu đi một chút. Ngược lại, ở những chỗ ít vật chất hơn, lực hấp dẫn sẽ nhỏ hơn, photon mất ít năng lượng để thoát ra hơn, và nhiệt độ cao hơn một chút. Các thăng giáng mật độ này sẽ hành xử như các hạt giống, mà nhờ sự tác động của người làm vườn-lực hấp dẫn, chúng sẽ lớn lên với thời gian và nảy mầm thành các thiên hà, sao và hành tinh tươi đẹp mà chỉ ít một trong số các hành tinh đó đã cưu mang sự sống. Như chúng ta đã thấy, những hạt mầm này được sinh ra nhờ sự

nhờ lượng tử, xuất phát từ các thăng giáng vô cùng nhỏ của trường inflaton của vũ trụ nguyên thủy, rồi sau đó bước vào thế giới vĩ mô nhờ sự khuếch đại kinh hoàng kích thước của chúng bởi sự giãn nở lạm phát.

Các quan sát của COBE đã đánh dấu một bước ngoặt có tính chất quyết định trong nghiên cứu vũ trụ học. Trước COBE, các quan sát vũ trụ nguyên thủy chỉ tính trên đầu ngón tay và rất không chính xác. Do đó, các nhà lý thuyết đã thả sức để cho trí tưởng phong phú của mình bay bổng và đưa ra một số lượng đầy ấn tượng các kịch bản vũ trụ (thường trong khuôn khổ của thuyết Big Bang). Nhưng, do thiếu quan sát, các lý thuyết này không được kiểm chứng, khiến cho các nhà vật lý không thể phân biệt được lý thuyết nào đúng lý thuyết nào không đúng. Mọi lý thuyết không mâu thuẫn rõ rệt với những dữ liệu thiên văn hiện có về vũ trụ nguyên thủy đều được coi là chấp nhận được, nhưng do những dữ liệu này không nhiều và không mấy chính xác, nên chúng không có khả năng phân biệt rõ ràng. Nhưng COBE (và tất cả các bóng thám không và vệ tinh sau nó) đã làm thay đổi hoàn toàn tình hình. Bằng cách cung cấp cho chúng ta một cái nhìn rõ ràng và chính xác về vũ trụ nguyên thủy, COBE đã khai thông vướng mắc và đã mở đầu một kỉ nguyên mới, trong đó vũ trụ học trở thành một khoa học thực sự và các kịch bản khác nhau có thể được kiểm chứng với một độ chính xác rất cao.

### *Vũ trụ như một cây vĩ cầm*

Các nhà vật lý thiên văn tiếp tục miệt mài dò tìm những thăng giáng nhiệt độ của bức xạ hóa thạch. Họ biết rằng các thăng giáng này giữ chìa khóa của các bí mật của vũ trụ nguyên thủy và sự hình thành các cấu trúc của vũ trụ: vũ trụ đã chuyển như thế nào từ một trạng thái đồng nhất đến thế, ở năm 380.000 sau Big Bang, khi các thăng giáng nhiệt độ chỉ vài phần trăm nghìn độ Kelvin, thành tám trăm vĩ đại và tuyệt vời dẹt bằng hàng trăm tỉ thiên hà trong vũ trụ quan sát được ngày nay sau 14 tỉ năm tiến hóa?

Vệ tinh tiếp ngay sau COBE mang tên WMAP (*Wilkinsons Microwave Anisotropy Probe*) đã được NASA phóng năm 2001. WMAP bay quanh Mặt trời cách Trái đất khoảng 1,5 triệu kilômét, nó có thể nghiên cứu các thăng giáng nhiệt độ của bức xạ hóa thạch nhạy và chính xác hơn COBE khoảng 40 lần. Mục đích của nó là thực hiện một thống kê chính xác các thăng giáng nhiệt độ của bức xạ hóa thạch, lập một bản kiểm kê các vùng ở đó bức xạ này nóng hơn hoặc lạnh hơn một chút so với nhiệt độ trung bình của nó (2,7 độ Kelvin). Sau

chỉ một năm quan sát, WMAP đã phát lộ cho chúng ta biết rất nhiều điều lý thú (H. 3 trong tập ảnh màu).

Đặc biệt, vệ tinh này cho chúng ta biết rằng các vùng “lạnh” và “nóng” của ánh sáng nguyên thủy được biểu hiện theo các kích thước rất đặc trưng. Bằng cách nghiên cứu các thăng giáng nhiệt độ này thay đổi như thế nào theo kích thước của các vùng này, các nhà vật lý thiên văn đã xác định được tổng lượng vật chất và năng lượng của vũ trụ, đồng thời cả hình học của nó nữa. Sở dĩ như vậy là vì các sóng âm chạy khắp vũ trụ trước năm 380.000. Trên thực tế, trước khi tách khỏi nhau, vật chất và ánh sáng gắn bó mật thiết với nhau và các photon không thể đi đâu mà không va chạm với các electron, giống như viên đạn súng lục bắn vào tường lập tức bị nảy lên. Cũng như giọng của chúng ta khởi phát các sóng âm lan truyền trong không khí để truyền lời nói của chúng ta đến tai người nghe, những thăng giáng nhỏ về mật độ của vật chất, trước năm 380.000, đã gây ra sự lan truyền các sóng âm nén và giãn trong món súp nguyên thủy. Các sóng nén sẽ nén món súp nguyên thủy và làm cho nó nóng lên, còn các sóng giãn thì làm cho nó loãng ra và lạnh đi, tạo ra một bức tranh ghép hình liên tục thay đổi các thăng giáng nhiệt độ. Vì các biến thiên mật độ là những thăng giáng lượng tử được sự lạm phát khuếch đại lên gần như đồng thời, nên các sóng âm của vũ trụ nguyên thủy – cả âm cơ bản lẫn các họa ba của chúng (tức các âm có tần số gấp hai, ba, bốn...lần tần số của âm cơ bản) – được đồng bộ hóa. Như vậy vũ trụ nguyên thủy giống như cây vĩ cầm Stradivarius tinh tế ru chúng ta bằng các âm thanh du dương của nó. Cũng giống như một nhạc sĩ giàu kinh nghiệm có khả năng thẩm định sự chăm chút dành cho sự chế tạo một nhạc cụ khi nghe âm thanh mà nó phát ra, một người mê nhạc sành sỏi có thể phân biệt một cây vĩ cầm Stradivarius với một cây violon bình thường nhờ sự phong phú các họa âm và chất lượng các âm sắc của nó, nhà vật lý thiên văn có thể xác định bản chất của vũ trụ, hình học và kết cấu vật chất và năng lượng của nó bằng cách nghe âm thanh cơ bản và các họa âm của vũ trụ nguyên thủy.

Sự phân tích các âm thanh nguyên thủy của vũ trụ qua các thăng giáng nhiệt độ mà WMAP quan sát được dường như khẳng định rằng vũ trụ trong quá khứ đã trải qua một pha giãn nở lạm phát, rằng hình học của nó là phẳng và mật độ vật chất và năng lượng của nó đúng bằng mật độ tới hạn  $10^{-26} \text{ kg/m}^3$ .

Nhưng các nhà vật lý thiên văn vẫn chưa thỏa mãn với các kết quả này. Họ muốn nghiên cứu ánh sáng hóa thạch ngày càng chính xác hơn và nhạy hơn. Đã lấp ló ở chân trời các vệ tinh tiếp nối COBE và WMAP. Năm 2008, Cơ quan hàng không vũ trụ châu Âu sẽ phóng vệ tinh Planck (gọi như vậy là để vinh

danh nhà vật lý Max Planck) lên cùng quỹ đạo của WMAP. Planck có thể dò được các thăng giáng nhiệt nhỏ cỡ 5 phần triệu độ Kelvin, và xem xét các vùng trời mà kích thước góc của nó chỉ là 0,1 độ (một phần năm kích thước góc của mặt trăng tròn), tức là chính xác hơn WMAP mười lần. Độ chính xác và độ nhạy cao này sẽ giúp các nhà vật lý thiên văn tiếp cận được tập hợp đầy đủ các âm thanh và các họa ba của vũ trụ nguyên thủy. Khi đó sẽ có thể lựa chọn trong số rất nhiều kịch bản lạm phát với những tên gọi giàu tính tưởng tượng (lạm phát cũ, lạm phát mới, lạm phát vĩnh cửu, lạm phát hỗn độn, siêu lạm phát, lạm phát phi mã, lạm phát có sự trợ giúp, v.v...) hiện đang được sử dụng. Tất cả các lý thuyết này đều đề cập đến một thời kỳ lạm phát rất ngắn theo hàm mũ trong quá khứ của vũ trụ, nhưng khác nhau bởi hình thức và bản chất của trường inflaton. Bản giao hưởng nguyên thủy vẫn chưa chịu tiết lộ cho chúng ta các bí mật của nó, và vẫn làm cho chúng ta si mê và phấn khích.

### *Những con mắt ngày một to thêm và được vệ tinh hóa*

Nhưng bức xạ hóa thạch khuếch tán không phải là nguồn sáng duy nhất trong vũ trụ. Cuộc sống của chúng ta còn được chiếu sáng bởi các nguồn sáng điểm: các sao và các thiên hà. Vào một đêm mùa hè đẹp trời không trăng, bạn hãy nằm trên bãi cỏ miền quê xa những ánh sáng nhân tạo của con người và ngược mắt nhìn lên bầu trời. Bạn sẽ lóa mắt bởi cảnh tượng hàng nghìn chấm sáng rải rác trên vòm trời đen như mực. Với một thấu kính (thủy tinh thể) khoảng nửa centimet, mắt người là một bộ phận thu nhận ánh sáng cực kỳ hoàn thiện, bởi vì ngôi sao mờ nhất mà mắt thường con có thể nhìn thấy được mờ hơn ánh trăng rằm khoảng 25 triệu lần. Tuy nhiên, ánh sáng mà mắt chúng ta có thể nhìn được và mang lại cho chúng ta biết bao xúc cảm này đến từ một vũ trụ rất gần. Nó được phát ra từ các sao tạo nên dải Ngân hà, và ngôi sao xa nhất mà mắt chúng ta còn nhìn được chỉ ở cách Trái đất khoảng vài chục nghìn năm ánh sáng. Mắt người hoàn toàn không nhìn được vũ trụ ở xa.

Để nhìn được “mờ hơn”, cũng tức là xa hơn và sớm hơn, và xem xét kiến trúc của vũ trụ xa xưa trong tất cả vẻ tráng lệ của nó, con người đã trang bị cho mình các “con mắt” to hơn: đó là kính thiên văn.

Từ khi Galilée (1564-1642) hướng chiếc kính thiên văn đầu tiên, đường kính 3cm, lên bầu trời vào năm 1609, các kính thiên văn đã không ngừng được hoàn thiện và ngày một to thêm. Ngày nay, trên toàn thế giới có khoảng chục chiếc kính thiên văn đường kính lớn hơn 6 mét. Lớn nhất là hai kính thiên văn Keck đặt trên đỉnh núi lửa đã tắt Mauna Kea, trên đảo Hawaii, cao 4205 mét so với

mặt nước biển, gương của mỗi kính có đường kính 10 mét. Một kính thiên văn Keck có thể thu nhận ánh sáng nhiều hơn mắt chúng ta khoảng 4 triệu lần, và nhiều hơn kính thiên văn Galilée 111.000 lần. Ở miền Bắc Chilê, giữa sa mạc Atacama, trên đỉnh Paranal thuộc dãy núi Andes, cao 2700 mét, có một kính thiên văn khổng lồ gọi là Kính Thiên Văn Rất Lớn (VTL – *Very Large Telescope*) của Đài thiên văn Nam Âu, gồm bốn kính khổng lồ mỗi kính có gương đường kính 8,2 mét, có thể bắt tổng cộng lượng ánh sáng bằng một kính thiên văn nguyên khối có gương đường kính 16 mét.

Đã lấp ló ở đường chân trời các kính thiên văn khổng lồ tương lai: đó là các kính có gương với đường kính có thể lên tới từ 25 đến 100 mét. Dự án của Đài thiên văn Nam Âu mang tên OWL (viết tắt của từ "*Over Whelmingly Large telescope*" hay "Kính thiên văn Cực lớn", khiến ta liên tưởng tới cặp mắt to nhìn xuyên thấu của chim cú (tiếng Anh là *owl*) chắc chắn là tham vọng nhất. Kính thiên văn châu Âu này, dự kiến sẽ hoàn thành vào thập kỷ tới, có một gương đường kính 100 mét và như vậy trong cùng một khoảng thời gian có thể nhận được ánh sáng nhiều hơn kính thiên văn Keck một trăm lần. OWL sẽ có kích thước bằng gần một sân vận động Olympic và trông hùng vĩ như kim tự tháp Khéops. Nó là kết quả của 3.048 miếng gương đường kính 1,6 mét ráp lại với nhau. Trong nghiên cứu vũ trụ xa xôi, cú nhảy về chất giữa VTL và OWL có thể sánh được với cú nhảy từ mắt người đến kính thiên văn Galilée.

Ngoài ra, còn có hai dự án của Mỹ. Dự án thứ nhất là TMT (*Thirty Meter Telescope* - Kính thiên văn 30 mét), gồm 738 gương hình lục giác mỗi gương đường kính 1,2 mét, ghép với nhau để tạo thành một gương có đường kính 30 mét (H. 4 trong tập ảnh màu). Theo dự báo, TMT sẽ hoàn thành trong thập kỷ tới và sẽ quan sát vũ trụ bằng tia hồng ngoại và ánh sáng nhìn thấy. Dự án thứ hai, chắc chắn là dự án tiên tiến nhất trong các dự án khổng lồ trong tương lai của thiên văn học, đó là dự án GMT (*Giant Magellan Telescope* - Kính thiên văn Magellan khổng lồ). Dự án được đặt tên như vậy để vinh danh nhà thám hiểm người Bồ Đào Nha Ferdinand de Magellan, thủy thủ đầu tiên đi vòng quanh thế giới. GMT sẽ được đặt ở cực nam của sa mạc Atacama, Chilê. GMT có kết cấu cổ điển, bao gồm sáu gương tròn mỗi gương đường kính 8,4 mét đặt theo hình cánh hoa quanh một gương thứ bảy có cùng kích thước. GMT có thể thu nhận lượng ánh sáng bằng một kính thiên văn nguyên khối đường kính 25,3 mét.

Mặt khác, nhờ có công cuộc chinh phục vũ trụ, nhà thiên văn đã có thể "vệ tinh hóa" mắt mình. Anh ta có thể đưa lên quỹ đạo các kính thiên văn bắt ánh sáng của vũ trụ ở bên trên khí quyển Trái đất. Vì ánh sáng này không bị

chuyển động của các nguyên tử trong khí quyển Trái đất làm cho lệch hướng, nên các hình ảnh thu được rất nét. Hơn nữa, từ không gian, nhà thiên văn có thể tiếp cận được tất cả các loại ánh sáng bị khí quyển hấp thụ (chỉ có ánh sáng nhìn thấy và ánh sáng radio (tức sóng vô tuyến) mới có thể xuyên qua khí quyển Trái đất của chúng ta) (H. 32). Các kính thiên văn nhạy cảm với ánh sáng gamma, tia X, cực tím, hồng ngoại và vi sóng đã làm phong phú thêm rất nhiều hiểu biết của chúng ta về vũ trụ. Nổi tiếng nhất trong số các kính này chắc chắn là kính thiên văn không gian Hubble, với một gương đường kính 2,4 mét, hoạt động trong vùng ánh sáng cực tím, ánh sáng nhìn thấy và ánh sáng hồng ngoại. Được phóng lên quỹ đạo năm 1990, hàng ngày Hubble vẫn gửi về cho chúng ta các hình ảnh vô cùng đẹp và phát lộ cho chúng ta thấy những khía cạnh lộng lẫy mới của vũ trụ. Về nguyên tắc, nếu không có một bộ phận nào của kính bị hỏng, thì nó sẽ tiếp tục tận tụy phục vụ chúng ta cho tới năm 2010. Kính kế nhiệm Hubble có tên là James Webb Space Telescope (gọi theo họ của một cựu giám đốc NASA) được trang bị một gương có đường kính 6 mét hiện đang được chế tạo (H. 5 trong tập ảnh màu). Dự kiến nó sẽ được phóng lên quỹ đạo năm 2013.

### *Tắm vãi vũ trụ*

Được trang bị những “con mắt to” hơn, nhà thiên văn bắt tay vào nhiệm vụ tái tạo lại kiến trúc kỳ vĩ của vũ trụ rộng lớn dựng từ vô số các nguồn sáng rải rác trong vũ trụ. Theo tiên nghiệm, nhiệm vụ không hề dễ dàng vì vũ trụ trình hiện trước mắt ta như được phóng chiếu hai chiều trên vòm trời, giống như bức tranh của một họa sĩ xem thường mọi quy luật phối cảnh. Nhà thiên văn có nhiệm vụ đo độ sâu của vũ trụ và tái lập chiều thứ ba. Nhưng định luật Hubble đã ra tay giúp đỡ. Chúng ta đã thấy rằng chuyển động chạy trốn ra xa nhau của các thiên hà bắt nguồn từ vụ nổ khởi thủy làm cho ánh sáng của chúng bị dịch chuyển về phía đỏ và thiên hà càng xa thì sự dịch chuyển về phía đỏ này càng lớn. Như vậy, nhà thiên văn chỉ cần phân tích ánh sáng tới từ một thiên hà bằng một phổ kế (dụng cụ được lắp một lăng kính giống như lăng kính mà Newton đã dùng) và đo độ dịch chuyển về phía đỏ là ta có thể biết khoảng cách của nó.

Để lưu giữ ánh sáng, nhà thiên văn lại được một bước nhảy ngoạn mục về công nghệ giúp đỡ. Các tấm kính ảnh sử dụng tại các đài thiên văn cho tới những năm 1960 nay đã nhường chỗ cho các detector điện tử (như các máy lắp cho camera kỹ thuật số của bạn), các loại detector này mạnh hơn 40 lần.

Trong khi Hubble và các đồng nghiệp của ông phải khổ sở cả đêm để đo độ dịch chuyển về phía đỏ của chỉ một thiên hà, thì nhà thiên văn hiện đại có thể làm điều tương tự với hàng trăm thiên hà xa xôi chỉ trong một khoảng thời gian ngắn. Sau một thời gian dài kiên trì đo đạc vũ trụ, bắt đầu từ giữa những năm 1970, các nhà thiên văn ngày nay đã đo được khoảng cách của khoảng một triệu thiên hà. Một cảnh tượng vũ trụ tuyệt vời nhất đã hiện ra trước con mắt đầy sững sốt của họ.

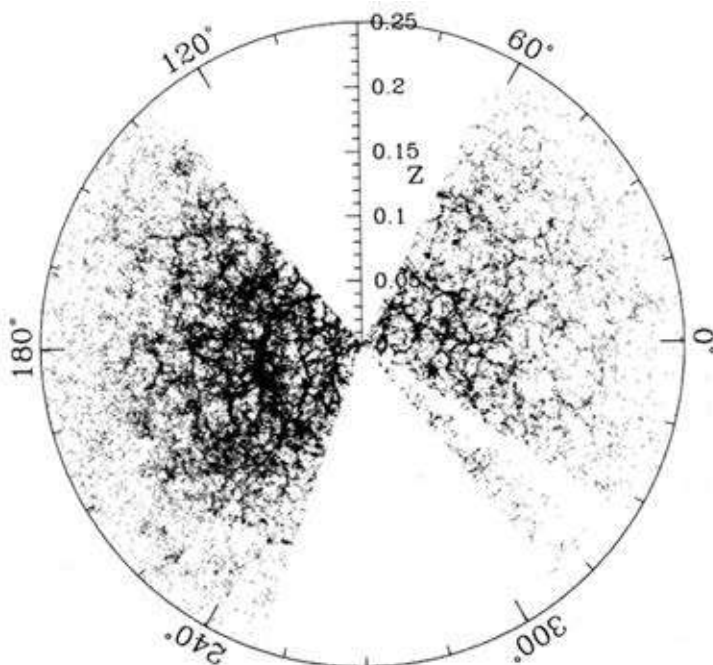
Từ những nỗ lực đo đạc phi thường này, một khẳng định đầu tiên đã được đưa ra. Các thiên hà, tập hợp hàng trăm tỉ ngôi sao liên kết với nhau bằng lực hấp dẫn, không phân bố một cách ngẫu nhiên trong không gian. Chúng thích quần tụ với nhau. Nếu bạn muốn có cơ may tối đa để tìm thấy một thiên hà, thì hãy quan sát xung quanh một thiên hà khác. Bản năng quần cư này không phải là kết quả của các mối quan hệ tình cảm như của con người, mà là do lực hấp dẫn kéo các thiên hà lại với nhau.

Ngoài ra, công việc đo đạc vũ trụ còn cho thấy một thứ bậc tôn ti khó mà tưởng tượng nổi trong kiến trúc của nó. Nếu các thiên hà giống như các ngôi nhà rộng hàng trăm nghìn năm ánh sáng chứa các ngôi sao, thì các cụm thiên hà, tập hợp vài chục thiên hà, là các ngôi làng của vũ trụ. Chẳng hạn, dải Ngân hà của chúng ta nằm trong “Cụm (thiên hà) địa phương” bao gồm, ngoài thiên hà của chúng ta ra, con thiên hà Andromède và khoảng ba chục thiên hà lân cận, nhỏ hơn và nhẹ hơn. Cụm địa phương trải rộng trên quy mô khoảng chục triệu năm ánh sáng. Nhưng cũng còn có các khu dân cư rộng hơn. Các đám thiên hà, tập hợp nhiều nghìn thiên hà, trải rộng trên khoảng 60 triệu năm ánh sáng. Đó là các thành phố tỉnh lị của vũ trụ.

Tổ chức vũ trụ không dừng lại ở đó. Năm sáu đám thiên hà lại tập hợp với nhau tạo thành các siêu đám thiên hà chứa gần một chục nghìn thiên hà và trải rộng trên quy mô khoảng 200 triệu năm ánh sáng. Cụm địa phương của chúng ta như vậy cũng nằm trong “Siêu đám địa phương”, tập hợp trong lòng nó khoảng chục cụm và đám khác.

Nhưng thế vẫn chưa hết! Việc tổ chức vũ trụ vẫn đang con tiếp tục và vũ trụ ở thang lớn hơn con phô bày một khung cảnh thuộc loại đáng ngạc nhiên nhất. Đến lượt mình các siêu đám thiên hà lại tập hợp với nhau thành các cấu trúc khổng lồ có hình chiếc bánh rán dẹt, thành các sợi và các bức tường gồm thiên hà trải hút tầm mắt trên hàng trăm triệu năm ánh sáng, phân định ranh giới các khoảng chân không khổng lồ trong vũ trụ, khiến cho người ta có thể đi qua hàng trăm triệu năm ánh sáng mà không bắt gặp một thiên hà nào sinh sống. Các thiên hà vẽ ra trong bóng đêm đen một bức tranh vũ trụ sáng khổng

lỗ mà các cấu trúc của các siêu đám hình bánh rán dẹt, các dây và các bức tường của nó tạo nên một tấm vải, trong đó các đám đặc hơn tạo thành các nút, và các khoảng chân không lớn tạo thành các “mắt vải” (H. 41).

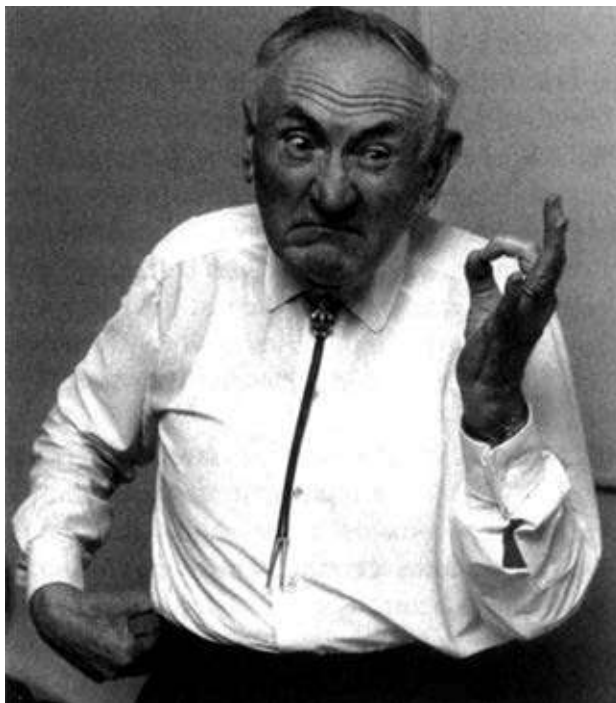


Hình 41. *Tấm vải vũ trụ*. Các thiên hà không phân bố một cách đồng nhất trong không gian, mà tổ chức thành các bức tường và các sợi dây khổng lồ tạo bởi các thiên hà trải trên quy mô hàng trăm triệu năm ánh sáng, phân định ranh giới các vùng không gian chân không với các đường kính cũng kéo dài hàng trăm triệu năm ánh sáng. Các thiên hà dẹt nên một tấm vải vũ trụ khổng lồ mà các sợi của nó được tạo thành từ các bức tường và các sợi dây thiên hà, các nút là các đám thiên hà lớn, và các mắt vải được tạo thành từ các khoảng chân không lớn. Trong các biểu diễn bầu trời ở phía Bán cầu Bắc băng giá (trái) và Nam (phải) của nhóm các nhà thiên văn người Mỹ và Nhật Bản làm việc cho Sloan Digital Sky Survey (một dự án đo đạc bầu trời), các cấu trúc có dạng bức tường, dây và khoảng chân không của tấm vải vũ trụ này là rất rõ ràng. Nhóm này đã đo độ dịch chuyển về phía đỏ, cũng tức là đo khoảng cách của một triệu thiên hà sáng nhất trong Bán cầu Bắc thiên hà và trong một phần Bán cầu Nam thiên hà (Blaton và cộng sự, *Astrophysical Journal*, 592, 819-938, 2003). Trong bản đồ vũ trụ này, Ngân hà nằm giữa vòng tròn và mỗi chấm biểu thị một thiên hà được định vị nhỏ hơn 6 độ của mặt phẳng thiên hà. Tọa độ Z biểu thị độ dịch về phía đỏ của mỗi một thiên hà và như vậy cũng là khoảng cách của nó. Chẳng hạn,  $Z = 0,1$  ứng với một khoảng cách 1,3 tỉ năm ánh sáng và  $Z = 0,25$  ứng với một khoảng cách 3,4 tỉ năm ánh sáng.

### *Zwicky và vật chất tối*

Một vấn đề được đặt ra. Quan sát bức xạ hóa thạch nói với chúng ta rằng vào năm 380.000, khung cảnh của vũ trụ cực kỳ đồng nhất và gần như không có cấu trúc. Bằng chứng là nhiệt độ của bức xạ hóa thạch này không thay đổi quá vài trăm phần nghìn độ ở các điểm khác nhau. Vậy mà, sau quá trình tiến hóa 14 tỉ năm, vũ trụ giờ lại phô bày một tổ chức thuộc loại phức tạp nhất. Bằng cách nào vũ trụ đã có thể dệt nên bức tranh nhiều motif đến thế từ một trạng thái gần như hoàn toàn đồng nhất? Bằng cách nào một hệ thống thứ bậc phong phú các cấu trúc đến thế lại có thể đột khởi từ một trạng thái cực kỳ đồng nhất trong một khoảng thời gian 14 tỉ năm? Bằng cách nào cái đơn giản lại có thể sinh ra cái phức tạp? Chính trong quá trình tìm câu trả lời cho các câu hỏi này các nhà vật lý thiên văn đã phát hiện ra mặt kia của ánh sáng: bóng tối. Họ đã nhận thấy rằng ánh sáng và vật chất sáng chỉ đóng góp một phần rất nhỏ vào tổng lượng vật chất và năng lượng của vũ trụ. Phần lớn của vũ trụ không phát ra bất kỳ loại bức xạ nào và hoàn toàn không nhìn thấy được. Chúng ta đang sống trong một vũ trụ bị bóng tối thống trị. Các nhà thiên văn gọi chúng là “vật chất tối” và “năng lượng tối”.

Tại sao các nhà vật lý thiên văn lại nảy ra ý nghĩ về vật chất tối? Để hiểu được điều này, chúng ta cần phải lần ngược thời gian về năm 1937. Trong một phòng làm việc tại Viện Công nghệ California (*Caltech*) ở Pasadena, California, nhà thiên văn Mỹ gốc Thụy Sĩ, Fritz Zwicky (H. 42) đang làm đi làm lại các tính toán. Áp dụng hiệu ứng Doppler, ông vừa hoàn thành việc đo đạc hàng trăm thiên hà trong đám thiên hà Coma, nằm cách Ngân hà chúng ta khoảng 370 triệu năm ánh sáng. Với giả định rằng đám thiên hà này cân bằng, rằng nó không giãn nở cũng không tự co mạnh lại, việc nghiên cứu chuyển động của các thiên hà cá thể có thể cho phép suy ra tổng khối lượng của đám. Chẳng hạn, các vận tốc cao tiết lộ sự hiện diện của một khối lượng lớn, vì chuyển động phải đủ lớn mới có thể kháng cự lại lực hấp dẫn mạnh của khối lượng lớn. Ngược lại, các vận tốc yếu cho thấy một khối lượng nhỏ. Zwicky đã dựng lên bản cân đối tất cả những bất định khả dĩ. Không gì có thể thay đổi được kết quả thuộc loại đáng ngạc nhiên nhất này: tổng khối lượng của đám Coma được suy từ chuyển động của các thiên hà cao hơn đáng kể so với tổng khối lượng của các thiên hà cá thể. Nói cách khác, lực hấp dẫn tác dụng bởi vật chất sáng của các sao và các thiên hà, chỉ mình nó thôi, thì không đủ để giữ các thiên hà ở lại với nhau trong đám. Chuyển động của các thiên hà nay đáng lẽ đã nhanh chóng làm chúng phân tán vào không gian giữa các thiên hà, và đám đã biến mất từ lâu lắm rồi. Nhưng thực tế, đám vẫn còn đó trong bầu trời làm vui mắt chúng



Hình 42. Chân dung nhà vật lý thiên văn học người Mỹ gốc Thụy Sĩ, Fritz Zwicky (1898-1974). Mặc dù rất khó tính nên không phải lúc nào cũng được đồng nghiệp ưa thích (chúng ta thấy ông đang bĩu môi chế giễu), nhưng Zwicky vẫn là tác giả của nhiều phát minh để lại dấu ấn trong lịch sử thiên văn học: ông là người đầu tiên giải thích sự tồn tại một lượng lớn vật chất tối trong các đám thiên hà, người đầu tiên nói đến (cùng với Walter Baade) sự tồn tại của các sao neutron, và cũng là người đầu tiên tập hợp rất nhiều sao siêu mới và các thiên hà đặc nhỏ. (D.R.)

ta. Chỉ một kết luận khả dĩ: phải tồn tại một nguồn bổ sung lực hấp dẫn tác động bởi một vật chất tối chưa rõ bản chất không phát ra ánh sáng nhìn thấy được, nhưng giúp cho có thể giữ được các thiên hà trong đám. Đó là quan sát đầu tiên nhắc đến sự tồn tại các lượng khổng lồ vật chất không nhìn thấy được (lớn hơn vật chất nhìn thấy được gần 10 lần) trong vũ trụ.

Tôi đã biết Zwicky hồi tôi còn học tại Caltech vào cuối những năm 1960. Chắc chắn đó là một nhà khoa học tầm cỡ. Ngoài phát hiện ra vật chất tối, năm 1933 ông còn dự báo (cùng với nhà thiên văn học người Mỹ gốc Đức, Walter Baade) sự tồn tại của các sao neutron (mãi đến năm 1967 các sao này mới được nhìn thấy dưới dạng các pulsar), và phát hiện ra rất nhiều sao siêu mới (cái chết bùng nổ của các sao nặng) và các thiên hà (đặc biệt là các thiên hà lùn xanh đặc và nhỏ (compact) hiện đang là đề tài nghiên cứu của tôi). Đó cũng

là một nhân vật có cá tính mạnh, tính cách không phải lúc nào cũng dễ chịu. Tôi đã thấy ông hạ uy tín của các đồng nghiệp trước đám đông bằng những lời lẽ gay gắt (ông cũng không ngần ngại tấn công họ dữ dội không kém bằng thư), khẳng định chắc như đinh đóng cột rằng các công trình của họ không có giá trị gì hoặc chỉ nhắc lại và sao chép các công trình của chính ông! Điều này khiến cho các đồng nghiệp không mấy ưa ông: ông bị đẩy xuống phòng dưới tầng hầm của tòa nhà khoa vật lý thiên văn ở Caltech, ở cách xa nhất có thể tất cả các giáo sư khác. Zwicky đáp lại điều đó một cách đáo đả: ông gọi các đồng nghiệp của mình là những “kẻ thô bỉ tròn trặn”, bởi bọn họ luôn là “kẻ thô bỉ” dù nhìn dưới bất cứ góc độ nào!

### *Một cái gì đó tối bao quanh Ngân hà*

Mặc dù rất khó tính, nhưng Zwicky đã gặp phải một khó khăn thật bất ngờ! Từ khi được phát hiện, vật chất tối đã không ngừng biểu hiện trong tất cả các cấu trúc mà chúng ta biết trong vũ trụ. Người ta gặp chúng trong các thiên hà lùn gây cộm cũng như trong Ngân hà hay trong các đám thiên hà. Sự xuất hiện khắp nơi của chúng đã ám ảnh tâm trí các nhà vật lý thiên văn. Vậy chúng ta có thể giải thích như thế nào về sự tồn tại của vật chất tối nếu phần lớn trong số chúng không phát ra bất kỳ một dạng bức xạ nào, và như vậy không những mất thường chúng ta không nhìn thấy được mà cả các detector cũng bó tay?

Zwicky đã chỉ cho chúng ta con đường. Để đo tổng khối lượng của một phức hợp các sao hay thiên hà, chỉ cần nghiên cứu chuyển động của các thiên thể đơn lẻ trong phức hợp này (sao, thiên hà, khí, v.v...). Chuyển động càng lớn thì tổng vật chất, dù nhìn được hay không nhìn được, càng cao. Vận tốc càng thấp thì tổng vật chất càng nhỏ.<sup>1</sup>

Chúng ta hãy xem xét chuyển động của các sao trong mặt phẳng của Ngân hà. Ngân hà là một thiên hà xoắn, được phân loại như vậy bởi vì nó có các tay xoắn đẹp cấu thành từ một chuỗi nhà trẻ các ngôi sao, là những nơi rất phì nhiêu của vũ trụ ở đó sinh ra các sao trẻ và nặng. Ở khoảng 26.400 năm ánh sáng cách tâm của Ngân hà, Mặt trời, kéo chúng ta đi cùng với nó, rẽ không gian trong mặt phẳng thiên hà với vận tốc khoảng 220km/s, và cứ mỗi 225 năm lại hoàn thành một chuyến chu du quanh tâm của thiên hà. Từ khi ra đời cách đây 4,5 tỉ năm, Mặt trời đã hoàn thành hai mươi vòng quanh thiên hà. Chuyển động của Mặt trời cho chúng ta biết rằng tổng khối lượng của Ngân

<sup>1</sup> Tổng lượng vật chất biến thiên tỉ lệ với bình phương vận tốc của các thiên thể cá thể.

hà bên trong quỹ đạo của Mặt trời chúng ta bằng gần 100 tỉ lần khối lượng Mặt trời. Nhưng thế vẫn chưa hết. Ngân hà con trải rộng xa hơn, bởi vì chúng ta đã thống kê được ở đó các ngôi sao ở cách tâm thiên hà tới 50.000 năm ánh sáng: Mặt trời chỉ là một sao ngoại ô nằm ở quá nửa khoảng cách từ tâm đến mép Ngân hà. Bởi vì bụi giữa các vì sao trong mặt phẳng thiên hà hấp thụ ánh sáng nhìn thấy được của các sao xa xôi nằm ở rìa Ngân hà, nên chúng ta không quan sát được các sao này. Chúng ta đành phải nghiên cứu chuyển động của các thiên thể khác. Khí hiđrô nguyên tử là một ứng cử viên lý tưởng. Các nguyên tử hiđrô phát ra sóng các sóng vô tuyến<sup>1</sup> có thể xuyên qua Ngân hà mà không bị bụi giữa các vì sao hấp thụ. Mặt khác, khí hiđrô nhìn chung trải rộng hơn phạm vi của các sao từ hai đến ba lần, cách tâm thiên hà từ 100.000 đến 150.000 năm ánh sáng, điều này cho phép ta có thể khám phá các vùng của Ngân hà không còn chứa các sao nữa.

Quan sát cho thấy các nguyên tử hiđrô, cũng giống như các sao, chuyển động trên các quỹ đạo gần như tròn quanh tâm thiên hà với vận tốc khoảng 220km/s, bằng vận tốc Mặt trời. Chuyển động của khí hiđrô chứng tỏ khối lượng của Ngân hà bên trong bán kính 50.000 năm ánh sáng (đánh dấu viền mép đĩa các sao) bằng khoảng 200 tỉ lần khối lượng Mặt trời. Điều này có nghĩa là trong vòng tròn từ tâm Ngân hà đến Mặt trời có bao nhiêu vật chất thì vùng trải từ Mặt trời tới mép thiên hà cũng có bấy nhiêu vật chất.

Cho tới đây vẫn chưa có gì đặc biệt. Điều đáng ngạc nhiên là những gì xảy ra ở bên ngoài đĩa sáng của các sao. Các quan sát cho thấy rằng các nguyên tử hiđrô không hề chậm lại bên ngoài đĩa thiên hà. Chúng vẫn tiếp tục quay nhanh quanh tâm thiên hà với cùng vận tốc 220km/s! Vậy mà, nếu tất cả vật chất của Ngân hà nằm trong các sao sáng và nếu không có vật chất ở bên mép thiên hà, thì vận tốc của các nguyên tử hiđrô phải giảm, cũng giống như vận tốc của một hành tinh quay quanh Mặt trời càng chậm nếu hành tinh này càng ở xa Mặt trời. Thực tế, vận tốc phải giảm tỉ lệ nghịch với căn bậc hai của khoảng cách tới tâm thiên hà. Thế mà chúng vẫn ương bướng không chịu thay đổi.<sup>2</sup> Từ đây chỉ có thể rút ra một kết luận khả dĩ: bên ngoài đĩa các sao phải có vật chất tối, và chính lực hấp dẫn của nó đã giữ cho khí hiđrô ở trong Ngân hà. Không

<sup>1</sup> Bước sóng của các sóng vô tuyến này là 21 cm, và tần số của chúng là 1.420 MHz.

<sup>2</sup> Trong thuật ngữ thiên văn học, người ta nói rằng các đường cong biểu diễn chuyển động quay tròn của các thiên hà xoắn ốc là phẳng. Trong một đồ thị ở đó người ta đặt vận tốc quay theo khoảng cách đến tâm thiên hà, thì một vận tốc quay không đổi tương ứng với một đường thẳng phẳng.

có nó, thì khí sẽ bị vận tốc cao và lực li tâm làm cho tách ra khỏi Ngân hà để phát tán trong không gian giữa các vì sao từ lâu lắm rồi.

Đĩa khí của Ngân hà dừng lại ở khoảng cách 150.000 năm ánh sáng tính từ tâm. Vận tốc của khí hiđrô, luôn bằng 220km/s, nói với chúng ta rằng vật chất bên trong bán kính này lớn hơn khối lượng Mặt trời khoảng 600 tỉ lần. Điều này có nghĩa là phần không nhìn thấy được của Ngân hà có nhiều vật chất gấp ít nhất hai lần phần nhìn thấy được của nó.

Không còn nghi ngờ gì nữa: chắc chắn có một cái gì đó tối bao quanh thiên hà của chúng ta.

### *Andromède lao vào Ngân hà*

Việc khám phá các vùng không nhìn thấy được quanh Ngân hà của chúng ta đã có lúc phải tạm thời dừng lại ở bán kính 150.000 năm ánh sáng do không có nguyên tử hiđrô nào ở ngoài khoảng cách này. Làm thế nào để biết liệu vật chất không nhìn thấy được của Ngân hà có dừng lại ở đó hay nó tiếp tục trải rộng ra ngoài bán kính này? Làm thế nào để biết quy mô trải rộng và tổng khối lượng của nó? Thiên hà Andromède đã ra tay giúp đỡ chúng ta: chính chuyển động của nó đã cung cấp cho chúng ta câu trả lời.

Ngân hà và Andromède, bằng khối lượng của mình, đã chi phối Cụm địa phương. Cụm này gồm khoảng ba chục thành viên khác, nhưng phần lớn là các thiên hà lùn, nhỏ hơn và nhẹ hơn. Chuyển động của Andromède rất đặc biệt: thay vì rời xa Ngân hà, nó lại lao về phía Ngân hà với vận tốc 90km/s!<sup>1</sup> Thay vì dịch chuyển về phía đỏ, ánh sáng của Andromède lại dịch về phía lam! Tuy nhiên, ban đầu, khi Ngân hà và Andromède được hình thành, có thể là một tỉ năm sau vụ nổ khởi thủy, hai thiên hà này chắc cũng đã bị sự giãn nở của vũ trụ làm cho rời xa nhau. Như vậy ở một thời điểm nào đó trong lịch sử vũ trụ, chuyển động nay đã bị đảo ngược lại. Nói cách khác, tổng lượng vật chất của Ngân hà, nhìn thấy được và không nhìn thấy được, phải đủ lớn để lực hấp dẫn giữa Ngân hà và Andromède chặn không cho Andromède chạy trốn và buộc nó

---

<sup>1</sup> Một số thiên hà rất gần, như các thiên hà nằm trong Cụm địa phương hay trong đám Vierge (ở khoảng cách khoảng 45 triệu năm ánh sáng), có thể xích lại gần Ngân hà thay vì chạy trốn nó. Sở dĩ như vậy là vì đối với các thiên hà gần này, chuyển động do giãn nở của vũ trụ quá yếu (vận tốc giãn nở tỉ lệ với khoảng cách của thiên hà) nên không thể thắng được các chuyển động ngẫu nhiên gây bởi lực hấp dẫn của các thiên hà khác bên trong Cụm địa phương hoặc trong đám Vierge. Đối với các thiên hà xa xôi, vận tốc giãn nở cao hơn và thắng được vận tốc của các chuyển động ngẫu nhiên này, và các thiên hà xa xôi luôn chạy trốn ra xa Ngân hà.

phải quay trở lại. Giả định rằng Ngân hà và Andromède có khối lượng tương đương nhau, thì tổng khối lượng này phải cỡ 1.000 tỉ lần khối lượng Mặt trời. Điều này có nghĩa là tổng khối lượng của Ngân hà, nhìn thấy được và không nhìn thấy được, lớn hơn khối lượng của đĩa các sao năm lần. Như vậy, trong Ngân hà, vật chất không nhìn thấy được nhiều hơn vật chất nhìn thấy được ít nhất bốn lần.

Vậy vật chất không nhìn thấy được này trải rộng đến tận đâu? Vì vận tốc của các sao và của khí hiđrô là không đổi, nên tổng lượng vật chất phải tăng tỉ lệ với bán kính. Bởi vì tổng lượng vật chất của Ngân hà bằng năm lần vật chất bên trong bán kính của đĩa các sao có bán kính 50.000 năm ánh sáng, nên vật chất không nhìn thấy được quanh Ngân hà phải trải rộng trong phạm vi có bán kính đến tận 250.000 năm ánh sáng.

### *Vật chất tối trong không gian giữa các thiên hà*

Ngân hà không có gì đặc biệt. Nếu nó chứa vật chất không nhìn thấy được, thì cần phải đánh cược rằng các thiên hà xoắn ốc khác của vũ trụ cũng có vật chất không nhìn thấy được. Các nhà thiên văn vô tuyến đã hướng các kính thiên văn vô tuyến đến các thiên hà xoắn ốc khác để nghiên cứu chuyển động của khí hiđrô như đã làm với Ngân hà. Một lần nữa, họ đã thấy vận tốc quay của khí ở bên ngoài đĩa sáng các sao cũng không giảm, mà vẫn ương ngạnh không đổi. Một lần nữa, kết luận sau đây là tất yếu: các thiên hà xoắn ốc chứa vật chất tối nhiều gấp từ ba đến mười lần vật chất sáng. Vật chất tối được phân bố theo một quãng hình elip có đường kính ít nhất khoảng 250.000 năm ánh sáng bao quanh đĩa sáng của thiên hà xoắn ốc, còn bản thân đĩa này nhỏ hơn ít nhất năm lần.

Các thiên hà elip cũng không phải là ngoại lệ: nghiên cứu chuyển động của các sao và các thiên thể khác trong lòng các thiên hà này còn gợi ý rằng vật chất sáng của chúng nằm ở tâm của một quãng lớn không nhìn thấy được.

Như vậy, vật chất không nhìn thấy được hiện diện khắp mọi nơi trong tất cả các quần thể thiên hà. Bởi vì đám là các thành phố thiên hà (một phần mười số thiên hà trong vũ trụ nằm trong các đám, số còn lại trong các cụm), nên chẳng có gì ngạc nhiên khi các kết tập này cũng chứa vật chất không nhìn thấy được, và khi Zwicky đã nhận thấy nó trong các công trình tiên phong của ông về đám Coma.

Nhưng một câu hỏi đặt ra: toàn bộ vật chất không nhìn thấy được liệu có nằm trong các quãng thiên hà, trong trường hợp này tỉ lệ giữa vật chất tối với

vật chất sáng của tất cả các thiên hà riêng rẽ cũng sẽ giống hệt như đối với các đám thiên hà, hay là có thể có vật chất tối giữa các thiên hà không gắn với các thiên hà riêng rẽ, trong trường hợp này tỉ lệ đó trong các đám sẽ lớn hơn trong các thiên hà? Sau công trình tiên phong của Zwicky, các nhà thiên văn đã miệt mài nghiên cứu kỹ lưỡng chuyển động của các thiên hà ở nhiều đám khác. Phán quyết đã được đưa ra dứt khoát: tổng lượng vật chất của các đám thiên hà bằng khoảng từ 10 đến 100 lần vật chất sáng, lớn hơn so với tỉ lệ này đối với các thiên hà riêng rẽ 3 đến 10 lần. Điều này có nghĩa là vật chất tối chiếm hơn 90% tổng vật chất của các đám thuộc hai dạng: thứ nhất, vật chất nằm trong các quầng không nhìn thấy được quanh các thiên hà cá thể; thứ hai, vật chất nằm trong không gian giữa các thiên hà của đám và có khối lượng lớn hơn gấp khoảng sáu lần.

### *Thấu kính hấp dẫn và vật chất tối*

Các quầng thiên hà có đường kính khoảng 500.000 năm ánh sáng chứa đầy vật chất tối mà khối lượng của chúng có thể lớn gấp mười lần khối lượng vật chất sáng. Các đám thiên hà trải trên khoảng 60 triệu năm ánh sáng còn chứa nhiều vật chất tối hơn nữa, bằng từ 10 đến 100 lần khối lượng vật chất sáng. Mở rộng điều tra sang các cấu trúc lớn hơn, chúng ta lại phát hiện thêm vật chất tối. Vậy điều gì sẽ xảy ra nếu chúng ta chuyển sang các thang còn lớn hơn nữa? Liệu có thể có nhiều vật chất tối hơn vật chất sáng trong các cấu trúc rộng lớn hơn nữa, như các siêu đám thiên hà và các bức tường thiên hà trải trên quy mô hàng trăm triệu năm ánh sáng không?

Sự phát hiện ra thấu kính hấp dẫn đã thúc đẩy mạnh mẽ công cuộc dò tìm vật chất tối ở các thang rất lớn. Chúng ta đã làm quen với các đối tượng lạ lùng và kỳ diệu khi chúng ta đề cập đến thuyết tương đối rộng và sự uốn cong không gian bởi lực hấp dẫn. Cũng chính Einstein là người đầu tiên đưa ra khái niệm thấu kính hấp dẫn vào năm 1936. Một ảo ảnh hấp dẫn sẽ xuất hiện khi hai thiên thể nằm ở các khoảng cách khác nhau so với Trái đất và hoàn toàn (hoặc gần như hoàn toàn) thẳng hàng với Trái đất. Để đến được chúng ta, ánh sáng của thiên thể xa hơn phải xuyên qua trường hấp dẫn của thiên thể ở gần Trái đất hơn, và vì thế nó bị lệch hướng. Thiên thể thứ hai có tác dụng như một “thấu kính hấp dẫn” làm lệch hướng và tụ tiêu ánh sáng của thiên thể thứ nhất thành một hình ảnh-ảo, như mắt kính của bạn làm lệch hướng ánh sáng để tụ tiêu nó trên võng mạc. Einstein nghĩ rằng sự thẳng hàng của hai sao với Trái đất là rất khó xảy ra và vì vậy phát hiện của ông chỉ có tính chất lý thuyết

không bao giờ có thể được kiểm chứng. Nhưng, năm 1937, Zwicky – cũng vẫn lại ông! – đã nhận ra rằng các thiên hà và các đám thiên hà có thể tạo thành các thấu kính hấp dẫn thậm chí còn tốt hơn cả các sao, và sở dĩ như vậy là vì hai lý do: với kích thước lớn hơn đáng kể, chúng có thể chặn ánh sáng của nhiều thiên thể ở xa hơn; khối lượng lớn hơn của chúng có thể có các hiệu ứng hấp dẫn mạnh hơn và rõ ràng hơn nhiều đối với ánh sáng.

Nhưng sự việc đã dừng lại ở đó trong suốt bốn mươi hai năm, vì công nghệ cần phải mất một thời gian để đuổi kịp trí tưởng tượng của con người. Mãi đến năm 1979, người ta mới phát hiện ra thấu kính hấp dẫn đầu tiên – đó là một thiên hà nằm thẳng hàng với một quasar. Kể từ đó, số thấu kính hấp dẫn được phát hiện, là các thiên hà hoặc các đám thiên hà, đã không ngừng tăng lên. Bằng cách nghiên cứu vị trí, hình dạng<sup>1</sup> và độ sáng của các ảo ảnh vũ trụ do các thấu kính hấp dẫn gây ra, nhà thiên văn có thể suy ra trường hấp dẫn của thấu kính, và nghĩa là cả tổng khối lượng vật chất của nó. Dù thấu kính là thiên hà hay đám thiên hà, thì việc nghiên cứu chúng vẫn cho chúng ta cùng một câu trả lời liên quan đến vật chất tối: khoảng 90% vật chất của các thiên hà và hơn 90% vật chất của các đám thiên hà là không nhìn thấy được.

Cho tới đây vẫn chưa có gì mới. Điều mới mẻ mà các thấu kính mang lại cho chúng ta, đó là khả năng quý báu dò tìm được vật chất tối ở thang rất lớn. Lý do của điều này là đường đi của ánh sáng từ các thiên thể xa xôi bị ảnh hưởng không chỉ bởi trường hấp dẫn của thấu kính, mà còn bởi trường hấp dẫn của mọi loại vật chất tối ở giữa các thiên hà nằm xen vào giữa thiên thể và thấu kính và giữa thấu kính và Trái đất. Trên các thang khoảng cách còn lớn hơn cả các đám thiên hà (hơn một trăm triệu năm ánh sáng), phân bố vật chất trở nên đều hơn, ít tập trung hơn, nên hiệu ứng thấu kính yếu hơn. Tuy nhiên, như thế cũng đủ để cho thấy sự méo mó của ảnh các thiên hà xa xôi. Sử dụng các phương pháp thống kê để phân tích hình dạng của hàng chục nghìn các thiên hà xa xôi này, các nhà thiên văn đã có thể khẳng định rằng vật chất nhìn thấy được và không nhìn thấy được của vũ trụ được phân bố theo một tấm vải vũ trụ khổng lồ có các cấu trúc cực lớn hình bánh rán dẹt, hình sợi và các bức tường thiên hà, trải trên quy mô hàng trăm triệu năm ánh sáng và bao quanh các khoảng chân không vô cùng rộng lớn. Phân tích thống kê các méo mó của ảnh các thiên hà xa xôi còn tiết lộ cho chúng ta biết rằng ở các thang

---

<sup>1</sup> Hình dạng của chúng rất đa dạng: chấm, vòng cung, hình nhẫn..., tùy thuộc vào sự chính xác của sự thẳng hàng của thiên thể xa xôi và thấu kính so với Trái đất, cũng như vào kích thước và hình dạng của thấu kính...

rất lớn, tỉ lệ vật chất không nhìn thấy được và vật chất nhìn thấy được không chênh nhiều hơn so với trong các đám thiên hà. Đường như vũ trụ không chứa các lượng lớn vật chất tối bổ sung rải rác trong bóng đen sâu thẳm của không gian. Các tác dụng của lực hấp dẫn lên hình dạng biểu kiến của các thiên hà dường như đã cho chúng ta thấy rằng thống kê vật chất không nhìn thấy được của chúng ta đã đầy đủ.

### *Phần lớn vật chất không nhìn được bằng mắt thường*

Kết thúc hành trình thám hiểm bóng tối, giờ đã đến lúc tổng kết. Tổng lượng vật chất nhìn thấy được và không nhìn thấy được của vũ trụ là bao nhiêu? Hay nói cách khác, mật độ trung bình (tổng khối lượng chia cho thể tích của nó) là bao nhiêu? Thực tế, nhà thiên văn không tiến hành thống kê khối lượng của tổng lượng vật chất của vũ trụ. Nhiều thế hệ cũng không đủ để làm điều đó. Nhà thiên văn sử dụng cái mà người ta gọi là “nguyên lý vũ trụ học”, nói rằng nhìn chung vũ trụ ở các nơi khác nhau có các tính chất giống nhau. Chúng ta chỉ cần thực hiện thống kê các sao và các thiên hà là có thể biết được mật độ trung bình vật chất trong một thể tích địa phương tương đối rộng, trải ít nhất trên nhiều trăm triệu năm ánh sáng; vì góc vũ trụ của chúng ta không có gì đặc biệt, nên mật độ trung bình của vũ trụ địa phương cũng được coi là bằng mật độ trung bình của toàn vũ trụ. Như vậy, chúng ta có thể yên tâm ngoại suy dựa trên nguyên lý vũ trụ học này, vì như chúng ta đã thấy, nó đã được khẳng định bởi quan sát về tính đồng nhất cực cao của bức xạ hóa thạch.

Mật độ của vật chất và năng lượng trong vũ trụ liên quan mật thiết với chúng ta, vì chính nó xác định hình học của vũ trụ và một phần tương lai của vũ trụ. Cần nhắc lại rằng một vũ trụ có một mật độ chính xác bằng mật độ tới hạn, tức là khoảng năm nguyên tử, tức  $10^{-23}$  gam trên mỗi centimet khối không gian, sẽ có hình học là phẳng và độ cong bằng 0. Điều này tương ứng với khoảng chỉ một thiên hà có vật chất (nhìn thấy được và không nhìn thấy được) bằng vật chất của Ngân hà trong thể tích một khối lập phương có mỗi cạnh dài 360 triệu năm ánh sáng. Các bạn thấy đấy, không gian trong tổng thể của nó là hầu như là trống rỗng. Ngược lại, một vũ trụ có một mật độ lớn hơn mật độ tới hạn sẽ có một độ cong dương, như bề mặt của một quả bóng, và một vũ trụ có một mật độ thấp hơn mật độ tới hạn sẽ có độ cong âm, giống mặt cái yên ngựa. Nếu một vũ trụ chỉ chứa vật chất và ánh sáng (chúng ta sẽ thấy không phải như vậy, vì có vẻ như vũ trụ còn chứa một năng lượng tối huyền bí không phải là vật chất cũng không phải là ánh sáng, và nó có thể sẽ làm thay đổi sự

tiến triển của các sự kiện), thì cũng chính mật độ trung bình quyết định tương lai của nó. Như vậy, nếu mật độ này thấp hơn mật độ tới hạn thì lực hấp dẫn không đủ mạnh để chặn sự giãn nở của vũ trụ, nghĩa là vũ trụ sẽ giãn nở mãi mãi và sẽ là “mở”. Ngược lại, nếu mật độ trung bình cao hơn mật độ tới hạn thì lực hấp dẫn một ngày nào đó sẽ thắng và chặn đứng sự giãn nở; vũ trụ sẽ đảo ngược dòng và tự co lại, và khi đó người ta sẽ được chứng kiến một Big Bang theo chiều ngược lại, một tức là một Big Crunch (“Vụ Co lớn”); vũ trụ sẽ là “đóng”. Các thiên hà sẽ quay đầu và lao về Ngân hà thay vì chạy trốn nó. Các nhà thiên văn trong tương lai sẽ thấy ánh sáng của các thiên hà gần không còn dịch chuyển về phía đỏ nữa, mà về phía lam<sup>1</sup>. Một vũ trụ phẳng có chính xác mật độ tới hạn sẽ cho thấy một hành trạng trung gian giữa một vũ trụ mở và một vũ trụ đóng; nó sẽ mãi mãi giãn nở – hay nói chính xác hơn là nó sẽ chỉ dừng lại sau một khoảng thời gian vô hạn...

Bằng cách đếm số các thiên hà trong một thể tích lớn hơn thể tích của Siêu đám địa phương, đồng thời tính đến tỉ lệ trung bình các sao sáng trong mỗi thiên hà là một trăm tỉ, nhà thiên văn thu được mật độ của vật chất sáng là 0,5% mật độ tới hạn của vũ trụ! Một khối lượng nhỏ không đáng kể! Nhưng, như chúng ta đã thấy, không phải vật chất nào trong vũ trụ cũng phát sáng. Bằng cách nghiên cứu kỹ lưỡng chuyển động của các vật phát sáng của vũ trụ, chúng ta sẽ lại đối diện bóng tối. Bóng tối đã biểu hiện sự tồn tại của nó bằng ánh sáng. Chúng ta đã phát hiện ra rằng chúng ta đang sống trong một “vũ trụ tầng băng trôi” mà phần nổi chỉ chiếm một phần nhỏ của cả tầng băng. Tuyệt đại đa số vật chất của vũ trụ không phát ra bất kỳ loại ánh sáng nào. Chúng ta cũng biết rằng vật chất tối hiện diện khắp nơi bởi vì chính lực hấp dẫn của nó giữ các sao và khí hiđrô trong các thiên hà, và các thiên hà trong đám thiên hà. Không có nó thì thiên hà và các đám thiên hà đã tan rã từ lâu lắm rồi!

Kết quả thống kê tổng vật chất nhìn thấy được và không nhìn thấy được mà nhà vật lý thiên văn thu được là 30% mật độ tới hạn. Bởi vì vật chất sáng đóng góp chỉ 0,5% vào mật độ tới hạn, nên điều đó có nghĩa là vật chất tối của vũ trụ lớn hơn vật chất sáng khoảng 59 ( $=29,5/0,5$ ) lần. Con cáo không tin rằng mình nói hay thế khi khẳng định với Hoàng tử bé của Saint-Exupéry rằng: “Cái cốt yếu thì mắt không nhìn thấy được”.

<sup>1</sup> Ngược lại, ánh sáng của các thiên hà xa xôi trong một thời gian vẫn sẽ tiếp tục dịch chuyển về phía đỏ, vì nó phải mất một thời gian mới đến được chúng ta; trong một khoảng chậm trễ nhất định sau khi vũ trụ đảo chiều chuyển động, chúng ta sẽ vẫn tiếp tục thấy các thiên hà xa xôi vẫn ở thời kỳ mà vũ trụ vẫn đang giãn nở.

Chúng ta tạm thời ghi nhận rằng vũ trụ có tổng mật độ vật chất thấp hơn một phần ba mật độ tới hạn. Vậy liệu vũ trụ có giãn nở mãi mãi?

*Hêli, đơteri và mật độ của vật chất tối thông thường của vũ trụ*

Sau khi sự bùng nổ đã qua, nhà thiên văn phải trấn tĩnh lại để cố gắng biết nhiều hơn về cái chất tối huyền bí thống trị vũ trụ bằng khối lượng của nó. Bản chất của nó là gì? Liệu nó có được tạo thành từ vật chất thông thường, nghĩa là từ proton và notron, như bạn và tôi? Hay nó được tạo thành từ một thứ vật chất ngoại lai mà chúng ta còn hoàn toàn chưa hề biết? Nó được biểu hiện dưới hình thái nào? Dưới dạng các hạt cơ bản chạy khắp vũ trụ, hay dưới dạng các thiên thể khổng lồ ngoại lai như các lỗ đen hay các sao thui chột?

Xác định bản chất của vật chất tối là việc không hề dễ dàng. Không có ánh sáng, nhà vật lý thiên văn hoàn toàn... đui! Rất may, tự nhiên đã cung cấp cho chúng ta một phương tiện hoàn toàn độc lập để đo tổng mật độ vật chất thông thường của vũ trụ, mật độ cấu thành từ proton và notron, đó cũng chính là vật liệu tạo nên con người, cánh hoa hồng, các bức tượng của Rodin... Các bạn hãy nhớ lại: trong thời kỳ tổng hợp hạt nhân nguyên thủy kéo dài từ khoảng giây thứ 100 đến giây thứ 1000 sau Vụ nổ lớn, đã xuất hiện các hạt nhân nguyên tử của hai nguyên tố nhẹ là đơteri và hêli, sinh ra từ sự tổng hợp các viên gạch vật chất – proton và notron –, mà từ nay chúng ta sẽ gọi bằng tên chung loại của chúng là “baryon”. Chỉ cần đo các tổng lượng đơteri và hêli (hạt nhân của chúng được cấu thành từ hai proton và hai notron) được chế tạo trong những giây đầu tiên của vũ trụ là biết được tổng lượng baryon của vũ trụ. Nếu có nhiều hêli nguyên thủy hơn thì điều đó có nghĩa là đã có nhiều baryon hơn để tạo thành các hạt nhân hêli, và như vậy là một vũ trụ có mật độ lớn hơn. Giống như để biết tổng số gạch để xây dựng một khu đô thị, bạn chỉ cần đếm số nhà và nhân số này với số gạch cần để xây một ngôi nhà. Tình hình đối với đơteri phức tạp hơn, vì các hạt nhân đơteri có thể không chỉ được tạo thành từ sự tổng hợp proton và notron, mà còn bị phá hủy bằng cách kết hợp với proton để tạo thành các hạt nhân nặng hơn. Ở một mật độ nhất định, chính sự phá hủy các hạt nhân đơteri lại chiếm ưu thế hơn sự tạo ra chúng. Vũ trụ có mật độ càng cao, thì càng có nhiều hạt để tương tác với đơteri và biến nó thành hạt nhân nặng hơn, và nó sẽ còn lại ít hơn. Ngược lại với điều mà hêli cho thấy, càng có nhiều đơteri, thì mật độ của vũ trụ càng loãng hơn. Bằng cách đo đồng thời độ

phổ biến (hàm lượng) của hêli và đơteri nguyên thủy, chúng ta có hai phương tiện độc lập để ước lượng mật độ của vật chất thông thường trong vũ trụ.

Xác định độ phổ biến của đơteri và hêli nguyên thủy là một nhiệm vụ khó khăn. Tôi biết điều đó bằng kinh nghiệm mười hai năm xác định lượng hêli nguyên thủy. Vấn đề phức tạp bởi vì các sao có thể tổng hợp hoặc phá hủy các hạt nhân hêli và đơteri trong lò luyện hạt nhân của chúng, và do đó sẽ làm thay đổi lượng hêli và đơteri nguyên thủy. Tuy các sao gần như không chế tạo đơteri, nhưng chúng lại có thể phá hủy nó; còn đối với hêli, sao có thể chế tạo được nhưng cũng có thể phá hủy nó. Chẳng hạn, mỗi giây trôi qua Mặt trời lại chế tạo ra các hạt nhân hêli mới. Để đo độ phổ biến nguyên thủy của hêli và đơteri, do đó phải tìm kiếm các thiên thể chịu rất ít tiến hóa và cấu tạo hóa học của chúng phản ánh cấu tạo hóa học của vũ trụ trong những giây đầu tiên. Nói cách khác, chúng ta phải tìm các thiên thể cực trẻ mà khí của chúng – hiđrô và hêli – sinh ra từ năm thứ 380.000 của vũ trụ không bị lò luyện hạt nhân của các sao làm cho thay đổi hoặc chỉ bị thay đổi rất ít.

Để đo lượng đơteri nguyên thủy, các nhà thiên văn sử dụng các đám mây giữa các thiên hà rất xa, nằm cách Trái đất hàng tỉ năm ánh sáng. Bởi vì nhìn xa hơn nghĩa là nhìn sớm hơn, nên chúng ta thấy các đám mây này vào thời kỳ trẻ của chúng. Sinh năm 380.000 của vũ trụ, chúng chưa chuyển hóa khí thành sao và được cấu thành chủ yếu từ hiđrô và hêli, và một ít đơteri. Nằm rải rác trong không gian giữa các thiên hà, chúng chặn ánh sáng của các thiên thể còn ở xa hơn, như các quasar, các đèn pha vũ trụ đích thực sinh ra năng lượng kinh hoàng bằng 10 đến 10.000 Ngân hà trong một thể tích chỉ lớn hơn Hệ Mặt trời tí chút. Khi băng qua các đám mây giữa các thiên hà, ánh sáng của các quasar bị các nguyên tử đơteri có trong các đám mây này hấp thụ, ở các năng lượng (hay tần số) rất chính xác phản ánh sự sắp xếp các quỹ đạo của electron bên trong các nguyên tử này. Các đám mây có càng nhiều đơteri thì ánh sáng của các quasar càng bị hấp thụ nhiều. Như vậy, chỉ cần đo mức độ hấp thụ ánh sáng của các quasar là có thể suy ra lượng đơteri nguyên thủy.

Còn đối với hêli, người ta đo lượng khối thủy của nó trong các thiên hà lùn rất trẻ, phần lớn là các thiên hà khí. Bởi vì chúng chỉ chuyển hóa một phần rất nhỏ khí của chúng (ít hơn 0,01%) thành sao, nên trong lòng chúng không có nhiều lò luyện hạt nhân, và lượng hêli trong lòng chúng không thay đổi đáng kể so với giá trị khối thủy của nó. So với các thiên hà như Ngân hà, sinh vào khoảng năm thứ một tỉ đầu tiên sau Big Bang, thì chúng chỉ là các thiên hà sơ sinh, một vài thiên hà chỉ bắt đầu hình thành các sao đầu tiên của chúng cách

đây vài trăm triệu năm, như vậy là rất trẻ so với tuổi 14 tỉ năm của vũ trụ<sup>1</sup> (H. 8 trong tập ảnh màu). Người ta gọi các thiên hà sơ sinh này là các thiên hà lùn xanh đặc nhỏ (*compact*). Sở dĩ chúng được gọi là lùn là bởi vì chúng chỉ nặng hơn khoảng một trăm lần và trải rộng hơn mười lần các thiên hà bình thường. Chúng có màu xanh lam bởi vì chúng chứa các sao nặng và nóng phát ra ánh sáng màu lam, và gọi chúng là đặc và nhỏ bởi vì chúng có các vùng có mật độ hình thành sao rất cao. Người ta nghĩ rằng chúng là các viên gạch cơ bản tạo nên các thiên hà: chính sự kết tụ của các thiên hà lùn này sẽ cho ra đời các thiên hà xoắn ốc lộng lẫy trang trí cho vũ trụ ngày hôm nay.

Kết quả đo lường heli khối thủy trong các thiên hà lùn xanh đặc nói với chúng ta rằng mật độ của vật chất baryon – vật chất được cấu thành từ proton và notron, mà chính bạn và tôi cũng được cấu thành từ đó – là khoảng 4% mật độ tới hạn, hoặc cỡ 0,2 baryon (proton hoặc notron) trong một mét khối không gian. Còn kết quả đo độc lập lượng đơteri khối thủy trong các đám mây giữa các thiên hà nói cho chúng ta biết điều gì? Nó cũng đưa ra đúng câu trả lời đó. Thở phào! Lý thuyết Big Bang đã thoát nạn. Vì nếu các câu trả lời về heli và đơteri khác đi thì chúng sẽ đặt ra vấn đề lớn cho Big Bang! Trước hết, các hướng nghiên cứu heli và đơteri độc lập bằng các kỹ thuật quan sát khác nhau đối với các thiên thể không giống nhau dẫn đến một kết quả như nhau, về tiên nghiệm mà nói, không phải là điều hiển nhiên. Được đặt trước thử thách, thuyết Big Bang đã ngẩng cao đầu vượt qua kỳ sát hạch. Sự khớp nhau về số lượng khối thủy của heli và đơteri đối với những gì liên quan đến mật độ của vật chất baryon là một trong những thắng lợi rực rỡ nhất của nó.

### *MACHO và vật chất tối thông thường*

Chúng ta hãy trở lại việc thống kê tổng lượng baryon của vũ trụ. Nếu vật chất baryon này chiếm 4% mật độ tới hạn và nếu vật chất sáng trong các sao và các thiên hà chỉ chiếm 0,5%, vậy thì 3,5% còn lại mất đi đâu? Các nhà vật lý thiên văn đã huy động rất nhiều nỗ lực để săn lùng vật chất thông thường không nằm trong các sao sáng. Cái nhìn của họ đã được hướng về không gian giữa các thiên hà. Họ đã phát hiện ra rằng không gian này không trống rỗng như người ta tưởng. Chẳng hạn, nhờ có các kính thiên văn tia X được đưa lên

1 Tháng 12 năm 2004, cộng tác với đồng nghiệp người Ucraina, Yuri Izotov và dựa trên các quan sát của kính thiên văn không gian Hubble, tôi đã nhận dạng được thiên hà trẻ nhất của vũ trụ. Nó tên là I Zwicky 18 (chính nhà thiên văn học Zwicky là người đầu tiên đã xếp loại nó) và tuổi của nó là dưới 500 triệu năm.

trên khí quyển Trái đất, họ đã phát hiện được trong không gian giữa các thiên hà quần cư lại với nhau thành cụm – các ngôi làng vũ trụ – khí nóng lên tới khoảng một triệu độ, phát ra một lượng dồi dào các tia X. Các đám thiên hà – các thành phố tỉnh lị của vũ trụ – cũng không là ngoại lệ: không gian giữa các thiên hà của chúng chứa khí còn nóng hơn nữa, với các nhiệt độ lên tới từ 10 đến 100 triệu độ, và bức xạ rất nhiều tia X. Người ta nghĩ rằng khí này đã được bứt ra khỏi các thiên hà trong các tai nạn giao thông xảy ra trong môi trường tương đối dày đặc của các cụm và các đám thiên hà, và rằng chính các sóng va chạm được khởi phát bởi các va chạm thiên hà dữ dội này đã đẩy nhiệt độ của khí lên cao đến thế.

Ngoài cụm và đám các thiên hà, còn tồn tại trong không gian giữa các thiên hà rất nhiều các đám mây hiđrô và hêli lạnh hơn rất nhiều (cỡ  $-270^{\circ}\text{C}$ ). Như chúng ta đã thấy, các đám mây này biểu hiện sự tồn tại của chúng thông qua việc hấp thụ ánh sáng của các quasar xa xôi. Cộng tất cả khí nóng có trong các cụm và các đám, và tất cả khí lạnh có trong không gian giữa các thiên hà, chúng ta thu được một tổng số khoảng vài phần trăm mật độ tối hạn, điều này dường như đã giải thích khá rõ 3,5% vật chất baryon không nằm trong các sao sáng.

Các nhà vật lý thiên văn cũng đã muốn kiểm tra xem vật chất baryon tối hiện diện trong các quầng thiên hà liệu có ẩn giấu dưới dạng các sao mờ tới mức người ta không thể nhìn thấy được hay không: các sao lùn đỏ (nhiệt độ trên bề mặt của các sao rất nhẹ này rất thấp, làm cho chúng có màu đỏ), các sao lùn trắng (các xác sao bức xạ rất yếu) hoặc các sao lùn nâu – nói tóm lại là tất cả những thiên thể gần như không phát ra bất kỳ ánh sáng nhìn thấy được nào.

Lùn nâu là các sao bị “thui chột”; chúng không đủ nặng (khối lượng của chúng chỉ bằng một phần tám khối lượng Mặt trời, tức khoảng tám mươi lần khối lượng của Mộc tinh) và mật độ ở lõi của chúng không đủ cao để đưa nhiệt độ của chúng lên đến 10 triệu độ cần thiết cho sự khởi phát các phản ứng nhiệt hạch và biến một khối khí thành sao. Các nhà vật lý thiên văn đã gọi một cách hài hước các thiên thể này là MACHO (viết tắt của cụm từ tiếng Anh *Massive Compact Halo Objects* nghĩa là “Các đối tượng nặng và đặc của quầng”). (Tiếng Anh *macho* có nghĩa là nam nhi, đại trượng phu). Nhưng làm thế nào có thể phát hiện ra, nếu như chúng gần như không bức xạ? Hiện tượng thấu kính hấp dẫn lại góp công. Bản thân MACHO là không nhìn thấy được, nhưng khi nó đi qua trước một ngôi sao của quầng, tác dụng thấu kính của nó (các nhà thiên văn học gọi đó là “hiệu ứng vi-thấu kính” do kích thước cực kỳ nhỏ gọn của MACHO) làm cho độ sáng của sao có thể tăng lên trong khoảng thời gian ngắn. Tùy thuộc vào khối lượng, khoảng cách và vận tốc của MACHO mà độ

sáng của sao tăng từ hai đến năm lần trong vòng vài tuần. Tại mỗi thời điểm, cơ hội xảy ra một sự thăng hàng như vậy chỉ là một phần triệu. Nhưng nếu người ta quan sát hàng triệu ngôi sao cùng một lúc thì một sự kiện như vậy hoàn toàn có thể phát hiện được. Vì vậy các nhà thiên văn phải tự trang bị cho mình đức kiên nhẫn và, nhờ có các kính thiên văn tự động và các máy tính có khả năng xử lý dữ liệu cực mạnh, họ đã theo dõi trong suốt bảy năm độ sáng của hàng triệu ngôi sao trong Đám Mây Lớn Magellan, một thiên hà lùn vệ tinh của Ngân hà. Nhưng thật đáng thất vọng, công việc của họ chỉ được đền đáp bằng một chiến lợi phẩm nhỏ khoảng vài chục sự kiện “vi-thấu kính”. Một số quá nhỏ để từ đó suy ra rằng các MACHO có thể là bộ phận cấu thành chính của vật chất tối trong các quầng thiên hà. Độ sáng của các sao tăng lên có nghĩa là khối lượng của một MACHO bằng khoảng một nửa khối lượng của Mặt trời. Như vậy MACHO rất có thể là các sao bình thường có khối lượng nhỏ và độ sáng yếu.

Không có nhiều MACHO trong các quầng thiên hà có lẽ là việc không đáng ngạc nhiên đến thế: chúng ta đã thấy rằng các sao sáng và khí giữa các thiên hà lạnh và nóng cũng đã có thể giải thích tổng mật độ baryon. Nếu các nhà thiên văn tìm thấy nhiều MACHO hơn thì sẽ lại có vấn đề được đặt ra, vì tổng mật độ baryon khi đó sẽ lớn hơn mật độ dự báo bởi lượng của heli và đơteri nguyên thủy.

### *Vật chất tối ngoại lai*

Chúng ta đứng trước một trò chơi ghép hình. Một mặt, chuyển động của các thiên hà bên trong các đám thiên hà và các méo mó trong ảnh của các thiên hà xa xôi do hiệu ứng thấu kính hấp dẫn tác dụng bởi vật chất ở gần nói với chúng ta rằng tổng mật độ của vật chất không nhìn thấy được trong vũ trụ là 29,5% mật độ tới hạn, tức 1,5 baryon trong mét khối (nếu toàn bộ vật chất không nhìn thấy được tồn tại dưới dạng proton và neutron). Mặt khác, lượng heli và đơteri nguyên thủy nói với chúng ta rằng vật chất baryon chỉ có thể chiếm tối đa 4% mật độ tới hạn, tức 0,2 baryon trong mét khối. Nếu mật độ baryon trung bình là 1,5 thay vì 0,2 trong một mét khối, thì lượng đơteri nguyên thủy quan sát được trong vũ trụ sẽ lớn hơn đáng kể so với con số do thuyết Big Bang tiên đoán, và điều này sẽ lại đặt ra vấn đề.

Để dung hòa hai sự kiện bề ngoài có vẻ mâu thuẫn nhau, chúng ta buộc phải sử dụng một giải pháp triệt để: chúng ta phải coi 26% mật độ tới hạn của vũ trụ không được cấu thành từ vật chất thông thường, mà từ một dạng vật

chất mới, “ngoại lai”. Vật chất ngoại lai này không tồn tại trong bạn, không tồn tại trong tôi, cũng không tồn tại trong bình hoa, không trong cuốn sách mà bạn đang cầm trên tay, cũng không trong bất cứ thứ gì của cuộc sống hàng ngày. Nó không tham gia vào việc tạo ra hêli và đơteri, và do đó không ảnh hưởng đến số lượng nguyên thủy của chúng. Các nhà vật lý thiên văn đã đi đến kết luận đáng ngạc nhiên này về sự tồn tại của một lượng lớn vật chất tối mới được coi là áp đảo về khối lượng của vũ trụ cũng bằng một con đường hoàn toàn độc lập: đó là khi họ suy nghĩ về sự tăng trưởng của các thiên hà từ các “mầm” sinh ra từ các thăng giáng lượng tử của trường năng lượng ban đầu và được khuếch đại trong thời kỳ lạm phát. Chúng ta hãy cùng xem điều đó đã diễn ra như thế nào.

### *Các hạt giống thiên hà không có đủ thời gian để lớn lên*

Một trong những nhiệm vụ chính của nhà vũ trụ học hiện đại là điền kín các trang còn để trống của lịch sử hình thành các thiên hà, câu chuyện mà họ đã biết chính xác mở đầu và kết thúc, nhưng các sự kiện chính và các biến cố thì còn cần được làm rõ. Mở đầu, đó là một vũ trụ cực kỳ đồng nhất, 380.000 năm sau vụ nổ khởi thủy các tính chất của nó chỉ biến thiên khoảng 0,001%, như quan sát các thăng giáng nhiệt độ của bức xạ hóa thạch đã cho thấy. Kết thúc, đó là một vũ trụ rất giàu cấu trúc trong đó các bức tường thiên hà trải rộng trên hàng trăm triệu năm ánh sáng bao quanh các khoảng trống cũng hết sức khổng lồ dẹt nên một tấm vải vũ trụ khổng lồ. Làm thế nào mà một hệ thống thứ bậc phong phú về cấu trúc như thế lại có thể xuất hiện từ một món súp nguyên thủy cực kỳ đồng nhất? Bằng cách nào cái đơn giản đã có thể để ra cái phức tạp?

Chính lực hấp dẫn là nguyên nhân của sự tổ chức ở thang lớn của vũ trụ. Chính nó làm cho các hạt giống thiên hà “nảy mầm” bằng cách hút vào nó vật chất xung quanh để cho ra đời các cấu trúc đồ sộ phát sáng trang hoàng cho bầu trời ngày hôm nay. Các hạt giống này sinh ra từ lượng vật chất nhiều hơn một chút, chúng biểu hiện, như chúng ta đã thấy, thông qua các thăng giáng nhiệt độ của bức xạ hóa thạch. Các photon của bức xạ hóa thạch mất nhiều hơn một chút năng lượng để thoát khỏi lực hấp dẫn lớn hơn một chút đó do mật độ vật chất lớn hơn một chút, được biểu hiện qua sự giảm nhẹ của nhiệt độ.

Các nhà vật lý thiên văn đã nhận ra rằng các hạt giống thiên hà này không thể được cấu thành từ vật chất baryon thông thường, nghĩa là từ proton và neutron, như bạn và tôi. Lý do rất rõ ràng: nếu chúng được cấu thành từ vật

chất thông thường, thì chúng sẽ chẳng có đủ thời gian cần thiết để lớn lên từ các hạt giống nhỏ tí để trở thành các thiên hà đồ sộ, trải rộng trên hàng trăm nghìn năm ánh sáng mà chúng ta chiêm ngưỡng ngày nay. Các quan sát chứng tỏ rằng các thiên hà đầu tiên, hay ít nhất là các quasar đầu tiên – tức các nhân thiên hà ở đó chứa các lỗ đen siêu nặng cỡ một tỉ lần khối lượng Mặt trời tỏa sáng hết cỡ trong khi ngấu ngiến nuốt các sao của thiên hà kề cận –, đã xuất hiện trên sân khấu vũ trụ ngay từ một tỉ năm đầu tiên sau Big Bang. Đó chính là khoảng thời gian mà lực hấp dẫn có để làm nảy mầm các hạt giống sinh ra trong những phần giây đầu tiên sau vụ nổ khởi thủy thành các thiên hà.

Thế nhưng, nếu các hạt giống được cấu thành từ vật chất bình thường, thì lực hấp dẫn sẽ không thể làm cho chúng lớn lên trước năm 380.000. Trước năm định mệnh này, chúng ta đã thấy rằng ánh sáng và vật chất hoàn toàn hòa trộn vào nhau. Photon không thể lan truyền qua cánh rừng rậm các electron, và vũ trụ hoàn toàn tối tăm. Tương tự, chuyển động của các baryon cũng bị ngăn chặn, va chạm xảy ra khắp nơi với các photon đông hơn chúng một tỉ lần. Việc vật chất thông thường này không được tự do chuyển động đã ngăn cản sự tác dụng của lực hấp dẫn và không cho nó hút vật chất về phía các hạt giống thiên hà để làm cho chúng lớn lên. Tình huống này kéo dài cho tới năm định mệnh 380.000, khi electron đã bị cầm tù trong các nguyên tử. Kể từ đó ánh sáng tự do đi lại, và vũ trụ trở nên trong suốt. Vật chất cũng đã lấy lại được quyền tự do chuyển động của nó và cuối cùng lực hấp dẫn có thể thực hiện quyền năng hút vật chất về phía các hạt giống thiên hà và làm cho chúng lớn lên.

Kịch bản này thoạt tiên xem ra có vẻ hết sức hợp lý. Nhưng rất tiếc, có một điểm không ổn: nếu lực hấp dẫn phải chờ tới năm 380.000 để có thể hành động, thì nó không bao giờ có thể xây dựng lên các thiên hà đồ sộ trong một tỉ năm đầu tiên. Thật vậy, để lớn lên thành các thiên hà xinh đẹp, các thăng giáng mật độ phải, như chúng ta đã thấy, hút bằng lực hấp dẫn của mình các hạt vật chất khác và đạt đến một khối lượng đủ lớn để khối lượng này có thể co mạnh lại dưới tác dụng của lực hấp dẫn của chính nó và tạo thành sao. Nhưng nó cũng còn phải liên tục đấu tranh chống lại sự giãn nở của vũ trụ có xu hướng phá hỏng công trình của lực hấp dẫn bằng cách làm loãng vật chất. Các thời điểm thuận lợi nhất cho sự tăng trưởng của các hạt giống thiên hà, đó là những khoảnh khắc đầu tiên của vũ trụ, trước năm 380.000 rất xa, khi mật độ của nó còn đủ lớn để cho phép lực hấp dẫn có tác dụng thực sự. Nếu các hạt giống phải chờ cho tới tận năm 380.000 mới bắt đầu tăng trưởng, thì các tính toán cho thấy rằng, trong trường hợp tốt nhất, chúng chỉ có thể tăng lên đến mật độ khoảng 50, thậm chí tối đa là 100 lần, trong khoảng thời gian một tỉ năm dành

cho nó. Điều này có nghĩa là khi đồng hồ vũ trụ điểm ở một tỉ năm đầu tiên, các thăng giáng mật độ mà COBE và WMAP đo được, cỡ khoảng một phần trăm nghìn vào năm 380.000, sẽ chỉ tăng lên rất ít: tối đa là một phần nghìn. Thế mà, để cho ra đời các thiên hà xinh đẹp, các thăng giáng phải vào khoảng một đơn vị. Nói cách khác, những gì đã trải qua sẽ là hoàn toàn vô ích và vũ trụ sẽ vẫn gần như hoàn toàn đồng nhất và các thiên hà đầu tiên đã không xuất hiện trên sân khấu vũ trụ. Rõ ràng, có một cái gì đó khập khiễng trong kịch bản của chúng ta!

### *Vật chất tối có thể nóng hoặc lạnh*

Vũ trụ đã giải quyết vấn đề tăng trưởng này như thế nào? Nó đã làm thế nào để dựng nên các thiên hà đầu tiên trong khoảng thời gian trao cho nó? Rõ ràng nó phải kéo dài thời hạn trao cho các hạt giống thiên hà để lớn lên. Nó không được khoanh tay ngồi đợi sự kiện năm 380.000, mà phải khởi phát quá trình tăng trưởng hạt giống ngay từ khi chúng xuất hiện, ngay từ cuối giai đoạn lạm phát, tức  $10^{-32}$  giây sau vụ nổ khởi thủy. Nhưng bằng cách nào? Bởi vì vật chất thông thường không thể làm gì được trước năm 380.000, chuyển động của nó bị cánh rừng rậm photon phong tỏa, nên cần phải có sự can thiệp của một loại vật chất hoàn toàn khác, thoát khỏi sự tê liệt này, một vật chất “ngoại lai” chỉ tương tác rất ít với vật chất thông thường và ánh sáng. Ít tới mức các hạt giống thiên hà, được cấu thành từ vật chất ngoại lai, có thể di chuyển như không có gì ngăn cản qua cánh rừng rậm photon, proton và neutron. Trong các điều kiện này, lực hấp dẫn có thể tham gia hoạt động tức thì để hút vật chất ngoại lai về phía hạt giống và làm cho chúng lớn lên, khi sử dụng một cách có ý thức tổng lượng vật chất của thời kỳ 380.000 năm đầu tiên chứ không chịu bị ngăn cản hành động như vật chất thông thường, bị tê liệt, phải khoanh tay chờ đợi và lãng phí thời gian hết sức quý báu này trong khi vũ trụ cứ loạng đi một cách không gì đảo ngược được, làm cho việc xây dựng các cấu trúc trở nên ngày càng khó khăn hơn. Vật chất ngoại lai này gần như không tương tác với ánh sáng, bức xạ hóa thạch không mang bất kỳ dấu vết nào về các hạt giống được cấu thành từ đó, và chúng ta thấy nó có một độ đồng nhất gần như hoàn hảo vào năm 380.000.

Một lần nữa, chúng ta lại đối mặt với vật chất tối ngoại lai, nhưng sau khi đã chuyển sang một con đường hoàn toàn khác với con đường của hêli và đơteri. Hai con đường hoàn toàn khác nhau dẫn đến một kết luận như nhau buộc chúng ta tin rằng vật chất tối ngoại lai chắc chắn tồn tại trong tự nhiên,

và rằng nó không đơn thuần là sản phẩm của trí tưởng tượng quá phong phú của các nhà vật lý thiên văn, dẫn rằng chưa ai phát hiện được một hạt vật chất tối ngoại lai nào trong phòng thí nghiệm cũng như trong vũ trụ, và cũng chưa ai biết rõ bản chất chính xác của vật chất tối này, thứ vật chất đóng một vai trò vô cùng quan trọng đối với sự hình thành của các thiên hà.

Các nhà vật lý nghĩ rằng trong thời đại Thống nhất lớn, trải từ thời gian Planck ( $10^{-43}$  giây) cho tới  $10^{-35}$  giây, đã đồng thời sinh ra vật chất thông thường, cấu thành từ quark và electron, và vô số các hạt vật chất ngoại lai mỗi hạt có một khối lượng. Chuyển động của mọi hạt đều có thể được đặc trưng bằng một nhiệt độ: vận tốc của nó càng cao, thì nhiệt độ của nó cũng càng cao; chuyển động của nó chậm thì nhiệt độ của nó càng thấp<sup>1</sup>. Trong một môi trường có một nhiệt độ nhất định, một hạt vật chất chuyển động nhanh hay chậm tùy theo khối lượng của nó: hạt nặng sẽ chuyển động chậm hơn hạt nhẹ. Như vậy, các hạt vật chất ngoại lai có thể được xếp thành hai loại chính: các hạt loại nhẹ chuyển động rất nhanh, mà các nhà vật lý gọi là “vật chất tối nóng”; còn các hạt loại nặng chuyển động uể oải hơn, tạo thành “vật chất tối lạnh”.

### *Các hạt xuyên qua Trái đất như không*

Một ví dụ về hạt nhẹ nóng là neutrino. Hạt này có một lợi thế lớn so với tất cả các hạt vật chất ngoại lai khác: người ta biết chắc chắn rằng nó tồn tại. Neutrino được chia làm ba loại: neutrino electron, gắn với một electron; neutrino muon, gắn với một muon; và neutrino tau, gắn với một tau. Phần lớn các neutrino được sinh ra ngay từ những phần giây đầu tiên của vũ trụ, và một phần nhỏ trong các phản ứng hạt nhân tử xảy ra trong tâm của các sao nặng và nóng. Số lượng của chúng rất đông: nhiều gần bằng số hạt ánh sáng. Cứ mỗi mét khối không gian của vũ trụ hiện nay có khoảng 55 triệu neutrino (trong khi đó chỉ có 5 nguyên tử hiđrô trong mỗi mét khối). Bởi vì số lượng neutrino lớn hơn số lượng nguyên tử như thế nên chỉ cần một loại neutrino có một khối lượng ít nhất bằng một phần trăm triệu khối lượng của proton là đã đủ để neutrino cấu thành nên toàn bộ vật chất tối ngoại lai cần thiết.

Các quan sát thiên văn đã chứng tỏ rằng neutrino chắc chắn có một khối lượng. Năm 1987, những người trên Trái đất đã có thể nhìn thấy một ngôi sao trong con hấp hối bùng nổ gọi là sao siêu mới, trong Đám mây Lớn Magellan – một thiên hà lùn chuyển động quanh Ngân hà cách khoảng 170.000 năm

<sup>1</sup> Vận tốc biến thiên tỉ lệ với căn bậc hai của nhiệt độ.

ánh sáng (H.7 trong tập ảnh màu). Một luồng năng lượng kinh hoàng đã được giải phóng chủ yếu dưới dạng neutrino (tổng cộng là  $10^{58}$  hạt). Một bể khổng lồ chứa 50.000 mét khối nước cất nằm trong một mỏ kẽm ở làng Kamiokande của Nhật Bản đã bắt được 11 neutrino trong số các hạt đó. Nếu có khối lượng khác không thì các neutrino này sẽ phải chuyển động chậm hơn vận tốc của ánh sáng một chút (chỉ có các hạt không có khối lượng, như photon, mới có thể chuyển động với vận tốc ánh sáng) và đến Trái đất ở các thời điểm chênh lệch nhau một chút. Vậy mà, sau một chuyến chu du dài 170.000 năm, các neutrino này đã hạ cánh cách nhau vài giây. Điều này có nghĩa là khối lượng của chúng không lớn lắm. Trên thực tế khối lượng của chúng dường như quá nhỏ, chỉ bằng một phần 100 lần (thậm chí thấp hơn) giá trị cần thiết để cung cấp đủ toàn bộ khối lượng vật chất tối ngoại lai.

Còn về các hạt vật chất tối lạnh, nặng hơn và chuyển động chậm hơn, chúng ta không có một ý tưởng nào về các hạt này, vì cho tới nay chưa phát hiện được bất kỳ hạt nào như vậy. Tuy nhiên, các giả thuyết cũng như các ứng cử viên thì không thiếu. Các ứng cử viên đầy hứa hẹn đã được giới thiệu bởi các lý thuyết có tên là “siêu đối xứng”, những lý thuyết đang tìm cách thống nhất vật chất và ánh sáng, nó gắn mỗi hạt vật chất và ánh sáng mà chúng ta đã biết chắc chắn là tồn tại với một hạt “đối tác” mà sự tồn tại cho đến giờ vẫn chỉ giả thuyết. Tên của các hạt siêu đối xứng này thật giàu chất thơ: photino, zino hay higgsino, lần lượt là các đối tác của photon và của các hạt Z và Higgs.<sup>1</sup> Ngoài điểm giống nhau là tất cả đều nặng, các hạt này còn có tính chất là tương tác rất yếu với vật chất (chúng xuyên qua Trái đất như thể Trái đất hoàn toàn trong suốt), và do đó các nhà vật lý gọi chúng một cách không kém phần hài hước, giống như cái tên MACHO, là các hạt WIMP, viết tắt của *Weakly Interacting Massive Particle* (các hạt nặng tương tác rất yếu), và theo tiếng Anh có nghĩa là “kẻ ẻo lả, yếu ớt”. Các tính toán cho thấy rằng nếu tính số lượng của chúng ở thời điểm Big Bang thì WIMP sẽ phải nặng hơn proton từ 100 đến 1.000 lần mới có thể giải thích được tổng lượng vật chất tối ngoại lai. Các giá trị này của vật chất WIMP chính là các giá trị đã được tiên đoán bởi một số lý thuyết siêu đối xứng và lý thuyết siêu dây (tức lý thuyết cho rằng các hạt bắt nguồn từ sự dao động của các dây vô cùng nhỏ) tùy thuộc vào những xem xét không có liên quan gì đến vấn đề vật chất tối. Một lần nữa, các con đường hoàn toàn độc lập lại có vẻ cùng dẫn đến cùng một hướng. Sự trùng hợp bất ngờ này gợi ý

<sup>1</sup> Để đặt tên cho các cặp này, người ta thêm hậu tố ino vào tên của hạt đã biết. Để biết thêm về nguyên lý siêu đối xứng, xem *Hỗn độn và Hòa bình*, Trịnh Xuân Thuận, Phạm Văn Thiều và Nguyễn Thanh Dương dịch, Nxb Khoa học và Kỹ thuật, 2003.

rằng WIMP có thể tồn tại thực sự chứ không phải chỉ là kết quả tư duy thuần túy của các nhà vật lý.

Dẫu vậy, việc miệt mài tìm kiếm các hạt tối ngoại lai, bắt đầu trong những năm 1980, vẫn được tiếp tục không ngừng nghỉ trong rất nhiều phòng thí nghiệm vật lý trên toàn thế giới. Cần phải nói rằng đây là một nhiệm vụ không hề dễ dàng, và sở dĩ như vậy là vì các hạt nặng tối được coi là hiện diện khắp vũ trụ này tương tác rất ít với vật chất thông thường, vật chất cấu thành các dụng cụ đo đạc của chúng ta. Trung bình, trong số một triệu hạt WIMP mỗi giây chạy qua một detector có bề mặt chỉ bằng một đồng xu euro, thì mỗi ngày tối đa cũng chỉ có một hạt tương tác với detector đó! Trong khi bạn đang đọc những dòng này thì hàng tỉ các hạt tối ngoại lai có thể xuyên qua cơ thể bạn mỗi giây mà bạn không nhận thấy!

Nhưng cuộc săn tìm vật chất tối ngoại lai sắp được nhận những tăng viện lớn. Trong một tương lai rất gần, các máy gia tốc hạt năng lượng rất cao, như Large Hadron Collider (Máy va chạm lớn của các hadron; hadron là các hạt nhạy với lực hạt nhân mạnh, như proton) đang được xây dựng tại CERN, Genève, Thụy Sĩ, sẽ đi vào hoạt động trong năm 2007. Chúng sẽ đạt đến các năng lượng tương đương với năng lượng nghỉ được tiên đoán của các photino, zino và higgsino, và như vậy có thể đóng góp vào cuộc săn lùng các hạt WIMP. Có thể các máy gia tốc và detector này sẽ làm sáng tỏ về các hạt vật chất ngoại lai trong một ngày gần đây. Dù thế nào chăng nữa, cơ hội và thách thức cũng rất đáng bỏ ra công sức. Phát hiện bản chất của vật chất tối ngoại lai của vũ trụ vẫn là một trong những thách thức lớn nhất của nhà vật lý thiên văn đương đại. Nếu vượt qua được thách thức này các nhà nghiên cứu sẽ không chỉ phát hiện được một loại vật chất mới, mà còn vén được bức màn bao phủ phần vật chất lớn nhất của vũ trụ. Và **để ban thưởng**, họ sẽ được mời đến Stockholme để nhận giải Nobel vật lý từ chính tay Vua Thụy Điển!

### *Các vũ trụ ảo*

Như vậy, cho tới lúc này, chúng ta vẫn chưa có bất kỳ ý tưởng nào về bản chất chính xác của vật chất tối ngoại lai. Tuy nhiên, nhà thiên văn không hoàn toàn chìm ngập trong bóng tối. Bất chấp tất cả, anh ta vẫn xác định được một số tính chất của thứ vật chất huyền bí này. Chẳng hạn, anh ta đã biết rằng, nếu chủ yếu nói về vật chất tối nóng hay lạnh thì bằng cách huy động kho tàng khéo léo của mình, anh ta có thể xây dựng được các vũ trụ ảo. Trong số các khoa học, thiên văn học là khoa học duy nhất không cho phép tiến hành

thí nghiệm trong phòng thí nghiệm. Chúng ta không thể chế tạo các ngôi sao trong ống nghiệm, cũng không thể tập hợp các thiên hà trong nhà xưởng của chúng ta. Thí nghiệm của vũ trụ đã được thực hiện chỉ một lần cho mãi mãi, cách đây 14 tỉ năm. Tuy nhiên, các nhà vật lý thiên văn không thể cưỡng lại mong muốn chơi trò Chúa sáng thế. Máy tính đã có những bước phát triển thần kỳ trong nửa cuối thế kỷ XX sẽ giúp họ làm việc này. Ngày nay, chỉ trong một phần nhỏ của giây, một máy tính có thể thực hiện được những tính toán, mà mười nghìn đời người mới làm xong!

Để xây dựng một vũ trụ ảo, nhà vật lý thiên văn lại một lần nữa sử dụng nguyên lý vũ trụ. Như chúng ta đã biết, nguyên lý này nói rằng các tính chất của vũ trụ ở các vùng khác nhau là giống nhau. Chúng ta cũng như một người ngoài Trái đất xa xôi nào đó, không sống trong một xó xỉnh khu biệt của vũ trụ. Như vậy, để có một ý tưởng chính xác về toàn vũ trụ, chỉ cần tái tạo trên máy tính một thể tích vũ trụ đủ lớn để nó mang tính đại diện cho toàn vũ trụ. Thể tích này ít nhất cũng phải bằng, chẳng hạn, thể tích của Siêu đám địa phương, chứa vài chục nghìn thiên hà, tức vài tỉ tỉ tỉ tỉ tỉ tỉ tỉ tỉ (10<sup>27</sup>) nguyên tử, đây là chưa kể các hạt vật chất tối ngoại lai. Rõ ràng là một máy tính dù mạnh đến mấy cũng không thể theo dõi chi tiết chuyển động của một lượng khổng lồ các nguyên tử như thế. Nhưng, rất may, nếu chúng ta bằng lòng nghiên cứu các tính chất và chuyển động của các thiên hà ở thang lớn, thì chỉ cần khoảng chục nghìn tập hợp là có thể đại diện đầy đủ cho một thiên hà, điều này hoàn toàn nằm trong khả năng của các máy tính hiện nay.

Công thức để chế tạo một vũ trụ ảo rất đơn giản. Nhà vật lý thiên văn cung cấp cho máy tính một tập hợp các điều kiện (gọi là các “điều kiện ban đầu”) mà anh ta nghĩ rằng chúng chiếm ưu thế ở những khoảnh khắc đầu tiên của vũ trụ này. Chẳng hạn, anh ta đã xác định tốc độ giãn nở của vũ trụ này, tổng mật độ vật chất của nó (nhìn thấy được và không nhìn thấy được), chẳng hạn bằng 30% mật độ tới hạn, và các thành phần khác nhau của vật chất: chẳng hạn, 4% vật chất baryon (proton và neutron) và 26% vật chất ngoại lai. Đối với vật chất ngoại lai, như chúng ta đã thấy, nhà vật lý thiên văn bối rối lựa chọn: vật chất tối nóng (như các neutrino) hay vật chất tối lạnh (như các photino). Nếu tất cả các tập hợp vật chất được phân bố một cách hoàn toàn đồng nhất, thì vũ trụ sẽ vẫn giãn nở đồng nhất và sẽ không thể xây dựng nên các cấu trúc và dệt nên tấm vải vũ trụ ngày nay làm chúng ta phải thán phục. Như vậy chúng ta phải chỉ định các thăng giáng mật độ có khả năng đóng vai trò như các hạt giống thiên hà. Do có lực hấp dẫn lớn hơn nên các vùng có mật độ lớn hơn sẽ hút nhiều tập hợp vật chất hơn, và như vậy càng trở nên lớn hơn, vận

tốc của chúng sẽ ngày càng giảm so với sự giãn nở của vũ trụ, để rồi cuối cùng không còn đi theo chuyển động giãn nở này nữa và co lại dưới tác dụng của chính lực hấp dẫn của chúng, đồng thời tạo thành các sao, thiên hà, đám và siêu đám thiên hà. Còn về các vùng có mật độ thấp hơn bao quanh chúng, sự giãn nở của vũ trụ sẽ làm mật độ của chúng thấp hơn nữa, cho tới khi chúng hoàn toàn không còn vật chất.

Sau khi đã chỉ định các điều kiện ban đầu, nhà vật lý thiên văn sẽ để cho vật chất tiến hóa theo các định luật vật lý đã biết, đặc biệt là các định luật về hấp dẫn. Sau quá trình tiến hóa một tỉ năm (mà máy tính chỉ tính toán trong vài giờ), nhà nghiên cứu ra lệnh cho máy tạo một bộ phim kể lại lịch sử của vũ trụ ảo. Anh ta xem phim trên màn hình máy tính. Chuỗi sự kiện được tăng tốc lên hàng triệu tỉ lần ( $10^{15}$ ), sao cho tiến hóa của vũ trụ ảo trên 14 tỉ năm có thể được hiển thị chỉ trong vòng vài phút. Nếu vũ trụ ảo này rất khác với vũ trụ quan sát được, thì anh ta chỉ cần nhấn phím “xóa” là nó biến mất khỏi bộ nhớ của máy tính và đưa nó vào nghĩa địa của các vũ trụ ảo tận thế. Sau đó anh ta thay đổi một chút điều kiện ban đầu, chẳng hạn bản chất của vật chất tối ngoại lai, và ra lệnh cho máy tính tính toán một vũ trụ ảo khác (H. 6 trong tập ảnh màu). Và cứ như vậy cho đến khi vũ trụ ảo giống với vũ trụ quan sát được. Khi đó nhà vật lý thiên văn có thể kết luận rằng các điều kiện ban đầu và cấu tạo của vật chất tối cung cấp cho máy tính phản ánh khá tốt những điều kiện ban đầu và cấu tạo vật chất tối đã thắng thế ở những khoảnh khắc đầu tiên của vũ trụ thật<sup>1</sup>.

### *Vật chất tối lạnh gặp thời*

Sự xây dựng kiến trúc vũ trụ trong vũ trụ ảo chứa vật chất tối ngoại lai nóng và trong vũ trụ ảo chứa vật chất tối ngoại lai lạnh diễn ra không giống nhau. Một vũ trụ ảo chứa vật chất tối nóng tỏ ra ưa thích các cấu trúc ở thang rất lớn, như các siêu đám thiên hà và các bức tường thiên hà hùng vĩ trải trên rộng hàng trăm triệu năm ánh sáng. Các bức tường thiên hà này xuất hiện đầu tiên. Ngược lại, lúc đầu, các cấu trúc nhỏ hơn, như các đám thiên hà vài chục

---

<sup>1</sup> Trên thực tế, việc so sánh các vũ trụ ảo với vũ trụ quan sát được tinh tế và phức tạp hơn nhiều. Các vũ trụ ảo cho chúng ta biết một sự phân bố không gian của vật chất tối, nhưng sự phân bố vật chất sáng thì chỉ gián tiếp (nhà nghiên cứu phải cung cấp cho máy tính một công thức để biến khí thành sao, mà công thức này thì vẫn chưa được biết rõ lắm). Tình hình bị đảo ngược đối với vũ trụ thật: chúng ta quan sát trực tiếp sự phân bố không gian của vật chất sáng, nhưng gián tiếp suy ra sự phân bố của vật chất tối.

triệu năm ánh sáng hay các thiên hà hàng trăm nghìn năm ánh sáng, lại hoàn toàn vắng bóng. Và sở dĩ như vậy là vì một lý do rất đơn giản: vật chất ngoại lai nóng, bởi vì nó chuyển động mạnh, nên có xu hướng phân tán, chống lại tác dụng của lực hấp dẫn có xu hướng tập hợp nó lại. Bởi vì vật chất nóng này có thể dễ dàng thoát khỏi các cấu trúc nhỏ, nên các cấu trúc nhỏ tan rã chỉ trong một thời gian rất ngắn. Ngược lại, nó khó thoát khỏi các cấu trúc lớn, nên các cấu trúc lớn này tồn tại lâu dài. Trong một vũ trụ chứa vật chất ngoại lai nóng, các cấu trúc nhỏ xuất hiện muộn hơn, bằng sự phân chia các cấu trúc lớn. Như vậy kiến trúc vũ trụ được xây từ lớn đến nhỏ.

Trật tự bị đảo ngược trong một vũ trụ có vật chất ngoại lai lạnh: bởi vì vật chất lạnh chuyển động uể oải hơn rất nhiều, nên nó bị giam trong các cấu trúc khiêm tốn hơn và các cấu trúc này có thể sống sót. Công cuộc xây dựng vũ trụ được tiến hành ngay một cách có thứ bậc, từ nhỏ đến lớn: đầu tiên là các cấu trúc tí hon, các thiên hà lùn bằng một tỉ khối lượng Mặt trời, sau đó chúng kết tập lại với nhau bằng tác dụng của lực hấp dẫn thành các cấu trúc ngày càng lớn hơn, từ các thiên hà có khối lượng bằng hàng trăm tỉ Mặt trời đến các đám thiên hà bằng hàng trăm nghìn tỉ khối lượng Mặt trời, đến các siêu đám thiên hà bằng hàng triệu tỉ khối lượng Mặt trời, để rồi dẫn đến tấm vải vũ trụ mênh mông.

Vậy làm thế nào để biết vật chất tối ngoại lai của vũ trụ là nóng hay lạnh? Làm thế nào để biết kiến trúc vũ trụ được xây dựng từ lớn đến nhỏ, hay ngược lại? Câu trả lời đến từ sự so sánh hai loại vũ trụ ảo với vũ trụ quan sát được. Trên thực tế, khung cảnh vũ trụ trong hai trường hợp là rất khác nhau.

Chúng ta đã thấy rằng một vũ trụ ảo chứa vật chất tối ngoại lai nóng (chẳng hạn, neutrino mà chúng ta biết chắc chắn là tồn tại và có khối lượng nhỏ) sẽ trung ra một cách tự nhiên các cấu trúc lớn như các siêu đám thiên hà; nhưng nó rất khó sản sinh ra các cấu trúc nhỏ như các thiên hà. Mà như chúng ta đã biết, các thiên hà đã xuất hiện trên sân khấu vũ trụ ngay từ một tỉ năm đầu tiên. Mặt khác, trong một vũ trụ ở đó các cấu trúc vũ trụ được xây dựng từ lớn đến nhỏ, các đám thiên hà xuất hiện rất sớm, vào khoảng một tỉ năm đầu tiên. Nhưng điều này lại mâu thuẫn với quan sát. Lần ngược thời gian bằng các kính thiên văn ("nhìn mờ", nghĩa là nhìn xa và sớm, vì ánh sáng mất nhiều thời gian hơn mới đến được chúng ta), người ta nhận thấy rằng các đám thiên hà xuất hiện muộn hơn các thiên hà rất nhiều, khoảng vài tỉ năm chứ không phải một tỉ năm sau vụ nổ khởi thủy. Ngược lại, một vũ trụ ảo chứa vật chất tối lạnh tránh được tất cả những khó khăn này: các cấu trúc nhỏ như các thiên hà xuất hiện đầu tiên và phù hợp với quan sát về sự hiện diện của các thiên

hà khi đồng hồ vũ trụ điểm ở một tỉ năm đầu tiên. Mặt khác, các cấu trúc lớn như các đám thiên hà xuất hiện sau các thiên hà, cũng phù hợp với quan sát. Sự phù hợp này với vũ trụ quan sát được làm cho vật chất tối lạnh hiện đang gặp thời. Phần lớn các nhà vật lý thiên văn đã nhằm vào nó để xây dựng vật chất tối ngoại lai của vũ trụ, và các nhà vật lý đã miệt mài thực hiện các thí nghiệm để đi tìm ra nó.

Tuy nhiên, điều này không có nghĩa là mọi thứ trong vũ trụ ảo chứa vật chất tối lạnh đều đã cực kỳ hoàn hảo. Một số khía cạnh của các thiên hà trong vũ trụ ảo này không giống với các khía cạnh của các thiên hà thật. Chẳng hạn, các thiên hà ảo cho thấy một lượng lớn vật chất tối lạnh nằm ở tâm chúng, tạo ra một đỉnh mật độ. Thế nhưng, đỉnh này chưa được quan sát thấy, mật độ ở tâm của các thiên hà thật đồng nhất hơn. Điều này khiến một số nhà vật lý thiên văn tư biện rằng vật chất tối không lạnh cũng không nóng, mà chỉ là “ấm” thôi, nó chuyển động mạnh hơn vật chất lạnh để tránh cho nó không bị tích tụ ở tâm của các thiên hà.

Một vấn đề khác: trong một vũ trụ có vật chất tối lạnh, các thiên hà ảo được bao quanh bởi một đám hàng trăm thiên hà lùn. Thế nhưng, về điểm này cũng vậy, thực tế lại hoàn toàn khác: các thiên hà thật như Ngân hà chỉ có tối đa vài chục thiên hà lùn vệ tinh. Vậy làm thế nào để giảm số lượng lớn các thiên hà lùn này trong các vũ trụ ảo có vật chất tối lạnh? Không một ai biết.

Về phần mình, tôi không nghĩ rằng vì một vài khó khăn này mà người ta phải xem xét lại thành công nhất định của các vũ trụ ảo có vật chất tối lạnh và giải thích vũ trụ quan sát được. Tôi đồng ý rằng các “đám mây đen” nhỏ này chủ yếu là do chúng ta còn chưa biết các cơ chế chính xác tạo thành các thiên hà và những khó khăn này sẽ biến mất khi chúng ta biết nhiều hơn về chúng.

### *Lý thuyết lạm phát liệu có sai lầm?*

Giờ là lúc lại phải tổng kết. Sau khi nghiên cứu kỹ chuyển động của các sao và thiên hà, chúng ta đã phải chấp nhận sự hiện diện của một lượng lớn vật chất tối ngoại lai có khối lượng gấp  $26/4 = 6,5$  lần khối lượng của vật chất baryon thông thường cấu thành cơ thể chúng ta và chúng ta vẫn hoàn toàn chưa biết bản chất chính xác của nó. Vật chất tối này không thể là thông thường, vì, nếu như vậy, thì lượng heli và đơteri khởi thủy quan sát được trong các sao và thiên hà đã không phù hợp với các tiên đoán của thuyết Big Bang, và các hạt giống nhỏ của thiên hà được quan sát bởi COBE và WMAP đã không bao giờ

có đủ thời gian để phát triển thành các thiên hà tuyệt đẹp ngay từ một tỉ năm đầu tiên của vũ trụ.

Nhưng vẫn chưa hết bất ngờ. Vũ trụ còn tạo ấn tượng mạnh hơn nữa khi tiết lộ cho chúng ta biết rằng không gian được tẩm đẫm một năng lượng tối huyền bí làm tăng chuyển động giãn nở của nó. Thay vì giảm tốc dần, như trong trường hợp chỉ có sự can thiệp của lực hấp dẫn của tổng lượng vật chất và năng lượng của nó, nhưng ngược lại nó lại tăng tốc!

Như vẫn thường xảy ra trong khoa học, nhiều con đường độc lập dẫn chúng ta đến cùng phát hiện đáng ngạc nhiên này. Con đường thứ nhất dựa trên một mâu thuẫn rõ ràng giữa tổng khối lượng – sáng và tối – quan sát được trong vũ trụ và tổng khối lượng do thuyết lạm phát dự báo. Chúng ta đã thấy rằng vật chất thông thường chiếm 4% mật độ tới hạn của vũ trụ và vật chất ngoại lai chiếm 26%, tức tổng cộng khoảng 30% mật độ tới hạn. Trong một vũ trụ không chứa gì khác ngoài vật chất và ánh sáng, thì tổng mật độ phải cao hơn mật độ tới hạn, sao cho lực hấp dẫn có thể kìm hãm sự giãn nở của nó, đảo ngược chuyển động của nó và làm cho nó tự co lại. Một vũ trụ có một mật độ nhỏ hơn một phần ba mật độ tới hạn sẽ giãn nở mãi mãi. Nói cách khác, vũ trụ này sẽ “mở”, với một độ cong âm như loa kèn trompet. Nhưng một vũ trụ như thế có vấn đề, vì nó mâu thuẫn trực tiếp với thuyết lạm phát theo đó vũ trụ bị cuốn theo sự giãn nở theo hàm mũ trong những phần giây tồn tại đầu tiên. Trong giai đoạn lạm phát này, như chúng ta đã thấy, hình học của không gian là phẳng như một phần nhỏ của mặt quả bóng trở nên ít cong hơn khi người ta bơm căng nó. Tương tự như độ cong của một mặt cầu giảm xuống khi bán kính của nó tăng lên, vũ trụ có xu hướng trở nên phẳng nếu người ta tăng kích thước của nó một cách chóng mặt. Vậy mà, như chúng ta đã thấy, mật độ của một vũ trụ phẳng phải chính xác bằng mật độ tới hạn, chứ không phải bằng 30% giá trị này!

Vì vậy nhà vật lý thiên văn vẫn bị đặt trước tình thế lưỡng nan. Hoặc anh ta quyết định rằng thuyết lạm phát là sai lầm, và khi đó các “đám mây đen” che phủ khung cảnh Big Bang và đã bị xua tan bởi thuyết lạm phát (giải thích thế nào sự nở của Big Bang? Giải thích thế nào sự đồng nhất cực cao của vũ trụ và sự vắng bóng độ cong của khung cảnh vũ trụ? các hạt giống thiên hà được sinh ra như thế nào?) sẽ lập tức quay trở lại ám ảnh đầu óc anh ta. Hoặc là anh ta chấp nhận rằng lạm phát chắc chắn đã xảy ra, rằng vũ trụ chắc chắn có một hình học phẳng và có một mật độ tới hạn – nhưng, trong trường hợp này, 70% mật độ còn lại đã biến đi đâu mất? Vào cuối thế kỷ XX, rất nhiều nhà vật lý thiên văn đã đầu hàng và tuyên bố thuyết lạm phát là sai lầm, thậm chí có nguy cơ phá hỏng thuyết Big Bang.

*Các ngọn đèn pha vũ trụ có độ sáng không đổi*

Tình hình sẽ đậm chân tại chỗ nếu lời giải của bài toán không đến bất ngờ, vào lúc mà người ta ít chờ đợi nhất, bằng một con đường tìm kiếm khác nhằm vào việc đo sự giảm tốc của vũ trụ. Về nguyên tắc, sự tiến hóa của vũ trụ phụ thuộc vào kết quả của cuộc chiến khổng lồ giữa lực nguyên thủy gây ra sự giãn nở và lực hấp dẫn do tổng lượng vật chất của nó tác dụng. Bởi vì lực hấp dẫn là lực hút, nên nó phải làm chậm lại sự giãn nở của vũ trụ. Nói cách khác, vũ trụ phải giảm tốc. Khối lượng (hay mật độ) của vũ trụ càng cao, thì lực hấp dẫn mà nó tác dụng càng lớn, và độ giảm tốc càng mạnh. Như vậy, việc đo chính xác tỉ lệ giảm tốc của vũ trụ có thể sẽ cho chúng ta một kết quả đo độ c lập tổng lượng vật chất của vũ trụ, bất kể nó là sáng hay tối.

Vậy làm thế nào đo được sự giảm tốc của vũ trụ? Nếu chúng ta muốn đo sự giảm tốc của xe ô tô khi đạp phanh, thì ta chỉ cần đo vận tốc tại hai thời điểm khác nhau. Rồi lấy hiệu hai vận tốc chia cho khoảng thời gian giữa hai thời điểm đó là sẽ thu được sự giảm tốc của xe. Tương tự, để đo sự giảm tốc của vũ trụ, nhà vật lý thiên văn phải đo vận tốc giãn nở của vũ trụ ở nhiều thời kỳ khác nhau. Chắc chắn, một trăm năm của đời người, hàng chục nghìn năm của văn minh nhân loại, thậm chí hai triệu năm kể từ khi xuất hiện con người ở châu Phi, vẫn là những khoảng thời gian quá ngắn để có thể nhận thấy và đo được sự giảm tốc của vũ trụ. Chúng ta phải quan sát sự giảm tốc độ giãn nở của vũ trụ trên một khoảng thời gian ít nhất là nhiều tỉ năm. Như vậy chúng ta phải lần ngược lại thời gian xa nhất có thể trong quá khứ của vũ trụ.

Vậy làm thế nào có thể du hành trong thời gian? Một lần nữa, chúng ta lại phải sử dụng đến các cỗ máy lần ngược thời gian, tức là các kính thiên văn và áp dụng công thức “nhìn xa hơn chính là nhìn sớm hơn”. Để thu được vận tốc giãn nở của vũ trụ ở các thời điểm khác nhau, chúng ta chỉ cần đo vận tốc trốn chạy ra xa nhau của các thiên thể ở những khoảng cách khác nhau so với Trái đất. Vận tốc trốn chạy của các thiên thể rất xa cho chúng ta biết vận tốc giãn nở của vũ trụ trong thời niên thiếu của nó, trong khi vận tốc trốn chạy của các thiên thể ở gần cho chúng ta biết vận tốc giãn nở hiện nay của vũ trụ. Nếu vũ trụ giảm tốc thì vận tốc hiện nay phải thấp hơn vận tốc thời niên thiếu của nó.

Vậy chúng ta sẽ chọn các thiên thể nào dùng làm cột mốc để đo sự tiến hóa vận tốc giãn nở của vũ trụ theo thời gian? Để thực hiện vai trò cột mốc của mình, thiên thể phải cung cấp cho chúng ta hai thông tin: vận tốc chạy trốn và khoảng cách của nó. Đại lượng thứ nhất, vận tốc chạy trốn, không gì khác chính là vận tốc giãn nở của vũ trụ; nó tương đối dễ tìm được. Chúng ta biết

rằng hiệu ứng Doppler làm cho ánh sáng của một vật rời xa chúng ta chuyển dịch về phía đỏ tỉ lệ với vận tốc chạy trốn của nó. Như vậy chỉ cần dùng phổ kế phân tách ánh sáng của vật thành các thành phần màu khác nhau và đo sự dịch chuyển về phía đỏ là có thể thu được vận tốc chạy trốn của nó. Đo đại lượng thứ hai, tức khoảng cách của vật, lại là một chuyện hoàn toàn khác. Đại lượng này rất quan trọng, vì chỉ cần chia khoảng cách này cho vận tốc của ánh sáng là chúng ta biết được khoảng thời gian mà ta có thể lần ngược trở lại quá khứ của vũ trụ, và như vậy là biết được tuổi của vũ trụ tương ứng với vận tốc giãn nở đo được của nó.

Đo khoảng cách từ các cột mốc vũ trụ là việc không hề đơn giản. Trên thực tế, tất cả các thiên thể đều được phóng chiếu lộn xộn trên bầu trời hai chiều. Bầu trời xuất hiện như một bức tranh khổng lồ mà họa sĩ đã quên mất mọi quy luật phối cảnh. Nhà thiên văn có nhiệm vụ tái lập chiều thứ ba: tức độ sâu của vũ trụ. Để xác định khoảng cách của các cột mốc, nhà thiên văn sẽ làm như thủy thủ xác định khoảng cách của con tàu tới bờ biển bằng cách so sánh độ sáng biểu kiến của ngọn hải đăng với độ sáng thực của nó (độ sáng mà anh ta thu được nếu anh ta ở ngay vị trí của ngọn hải đăng<sup>1</sup>). Tương tự, để biết khoảng cách của một thiên thể, nhà thiên văn phải biết độ sáng thực của nó; kết quả đo độ sáng biểu kiến của vật sau đó sẽ cho phép anh ta suy ra khoảng cách tới vật. Muốn vậy cần phải tìm được một loại thiên thể có độ sáng thực không biến thiên trong thời gian cũng như trong không gian<sup>2</sup>.

Tìm một loại đèn pha vũ trụ có độ sáng thực không thay đổi không hề dễ dàng, vì rất tiếc là phần lớn các thiên thể đều có xu hướng tiến hóa, và như vậy độ sáng của chúng biến thiên, dù là rất nhỏ, trong suốt cuộc đời của chúng. Tuy nhiên, với một sự kiên trì phi thường, các nhà thiên văn đã xác định được một số loại thiên thể có độ sáng biến thiên tương đối thấp. Các sao siêu lớn, sáng bằng 100.000 lần Mặt trời, các đám sao cầu, tức tập hợp hình cầu của 100.000 sao liên kết với nhau bằng lực hấp dẫn, và các thiên hà elip khổng lồ đều có thể đóng vai trò các ngọn đèn pha vũ trụ<sup>3</sup>. Tuy nhiên, ngọn đèn pha vũ trụ đang thịnh hành nhất hiện nay thuộc một lớp đặc biệt các bùng nổ sao gọi là các “sao siêu mới loại Ia”.

<sup>1</sup> Độ sáng biểu được tính bằng độ sáng thực chia cho bình phương của khoảng cách. Biết độ sáng biểu kiến và độ sáng thực ta sẽ tính được khoảng cách.

<sup>2</sup> Trong thuật ngữ thiên văn học, người ta gọi chúng là các “ngọn nến chuẩn”. Từ “nến” ở đây được dùng để chỉ mọi nguồn sáng.

<sup>3</sup> Để biết thêm chi tiết về các đèn pha vũ trụ, xem *Giai điệu bí ẩn*, sdd.

### *Các sao lùn trắng bùng nổ*

Các sao siêu mới loại Ia là các bùng nổ sao lùn trắng tự phá hủy do các sự kiện nhiệt hạch khổng lồ. Một sao lùn trắng là một xác sao có khối lượng lớn hơn khối lượng giới hạn, khoảng 1,4 lần khối lượng Mặt trời, và đã cạn kiệt nguồn nhiên liệu hiđrô và hêli của mình<sup>1</sup>. Chẳng hạn, Mặt trời sẽ dùng bức xạ và cung cấp năng lượng cho Trái đất sau 5 tỉ năm nữa. Không có áp lực của bức xạ để chống chọi với lực hấp dẫn luôn luôn tác dụng để nén ngôi sao lại, Mặt trời sẽ tự co mạnh lại thành một sao lùn có bán kính 10.000 km. Khoảng một nửa khối lượng của nó ( $10^{33}$  g) sẽ được nén lại trong một thể tích chỉ bằng thể tích của Trái đất, và sao lùn này sẽ có mật độ khoảng một nghìn tấn trong một centimet khối<sup>2</sup>. Một thìa nhỏ vật chất của sao lùn này sẽ nặng bằng cả một con voi. Người ta gọi nó là “lùn trắng” bởi vì tâm của sao chết này còn rất nóng (nó được đốt nóng đến nhiệt độ khoảng 50.000 độ, không phải bởi năng lượng của các phản ứng hạt nhân, vì các phản ứng này không xảy ra nữa do thiếu nhiên liệu, mà bởi năng lượng bị giam hãm trước lúc ngôi sao chết khi đốt cháy hết hêli) và phát ra một bức xạ có màu trắng. Điều gì ngăn cản sao không cho sao lùn trắng co lại thêm nữa? Đó chính là electron ở bên trong tổ chức kháng cự lại tác dụng nén của lực hấp dẫn. Khi tiếp xúc với nhau, các electron này không chịu bị nén chặt thêm nữa và loại trừ nhau, theo “nguyên lý loại trừ” của nhà vật lý người Đức, Wolfgang Pauli (1900-1958), một trong những cha đẻ của cơ học lượng tử.

Nếu sao lùn trắng đứng một mình thì trong hàng tỉ năm tới nó sẽ tiếp tục bức xạ và phát tán năng lượng mà nó đã giam hãm vào không gian. Cuối cùng, khi trở nên không nhìn thấy được, nó sẽ nhập vào hàng ngũ vô số các xác sao phủ đầy các miền đất thiên hà. Đó sẽ là một cái chết nhẹ nhàng. Nhưng cái chết của nó cũng có thể dữ dội nếu sao lùn trắng cặp đôi với một sao sống. Bị hút bởi lực hấp dẫn của nó (sao lùn trắng), lớp bao của ngôi sao sống sẽ đổ vào và tích tụ trên bề mặt của sao lùn trắng. Khối lượng của sao lùn trắng sẽ tăng lên, cho tới khi vượt qua giới hạn 1,4 tỉ lần khối lượng Mặt trời. Khi đó, các electron

<sup>1</sup> Khối lượng giới hạn bằng khoảng 1,4 lần khối lượng Mặt trời này thường được gọi là “khối lượng Chandrasekhar”, để vinh danh nhà vật lý thiên văn người Mỹ gốc Ấn Độ, Subrahmanyan Chandrasekhar (1910-1995), người đã đoạt giải Nobel vật lý năm 1983 một phần vì đã chứng minh sự tồn tại của khối lượng giới hạn này. Chandrasekhar đã hoàn thành công trình này năm hai mươi tuổi trên một chuyến tàu khách từ Ấn Độ sang Anh. Ông khảo sát được nghiên cứu ở trường Đại học Cambridge cùng với nhà thiên văn Hoàng gia Arthur Eddington.

<sup>2</sup> Một nửa khác, tạo thành vỏ của Mặt trời, sẽ bị đẩy vào không gian giữa các vì sao, tạo thành cái mà người ta gọi là “tinh vân hành tinh”. Do đó, các sao lùn trắng thường được nhìn thấy ở trung tâm của các tinh vân hành tinh.

không còn kháng cự lại được lực hấp dẫn nữa, và lùn trắng lại co mạnh lại. Vật chất bị nén nóng lên và nhiệt độ ở tâm của sao lùn trắng, cấu thành chủ yếu từ carbon, tăng lên tới 600 triệu độ, nhiệt độ tối thiểu để một hạt nhân carbon có thể tổng hợp với một hạt nhân heli. Carbon được bắt đầu được đốt cháy, làm tăng nhiệt độ lên cao nữa, và gia tốc thêm nhiều các phản ứng hạt nhân nữa. Các phản ứng hạt nhân này rất dữ dội và toàn bộ sao lùn trắng bị phân rã trong một vụ bùng nổ mà độ sáng của nó cao nhất có thể bằng độ sáng của mười tỉ Mặt trời, tức bằng khoảng một phần mười độ sáng của Ngân hà (H. 43). Bởi vì những cái chết bùng nổ này xảy ra mỗi khi khối lượng của sao vượt quá khối lượng tới hạn bằng khoảng 1,4 lần khối lượng Mặt trời, nên các tính chất vật lý của chúng hết sức ổn định, đặc biệt là độ sáng cực đại của chúng. Vì vậy chúng là những ngọn đèn pha vũ trụ lý tưởng.

Theo một kịch bản khác mà một số nhà thiên văn đánh giá là đáng chấp nhận hơn, đó là hai lùn trắng, trong một sao đôi, rơi vào nhau, tạo thành một thiên thể nặng hơn 1,4 lần khối lượng Mặt trời và làm cho thiên thể này co mạnh lại. Kết thúc của nó cũng giống như trong kịch bản trước: một vụ nổ khổng lồ gây bởi sự đốt cháy carbon. Vì các sao siêu mới loại Ia vô cùng sáng, nên chúng có thể nhìn thấy được từ rất xa. Do đó, chúng là các cột mốc tuyệt vời giúp chúng ta lần ngược lại thật xa trong quá khứ của vũ trụ và đo đạc được tốc độ giãn nở của nó ở các thời gian rất xa xưa.

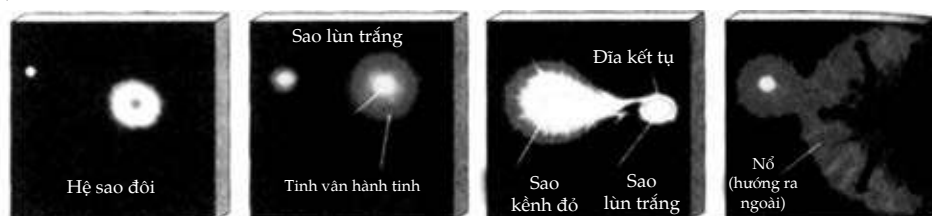
### *Một vũ trụ tăng tốc*

Trong những năm 1990, hai nhóm nghiên cứu thiên văn quốc tế đã bắt đầu săn lùng các sao siêu mới loại Ia, với mục đích dùng chúng như các đèn pha vũ trụ để đo tỉ lệ giãn nở của vũ trụ. Các nhà nghiên cứu này đều tin rằng sự giãn nở của vũ trụ sẽ phải chậm lại, lực hấp dẫn của tổng lượng vật chất của nó kìm hãm xung lực ban đầu<sup>1</sup>. Bắt được các sao lùn trắng đang bùng nổ không hề dễ dàng. Trung bình phải vài trăm năm mới xảy ra một vụ nổ như vậy trong một thiên hà điển hình. Nhiều thế hệ các nhà thiên văn cũng không đủ. Rất may, các nhà vật lý thiên văn đã tìm ra cách giải quyết vấn đề này. Nhờ có các kính thiên văn có trường nhìn rộng và các detector điện tử không ngừng mạnh lên cùng với các tiến bộ công nghệ nhanh chóng (những công nghệ này

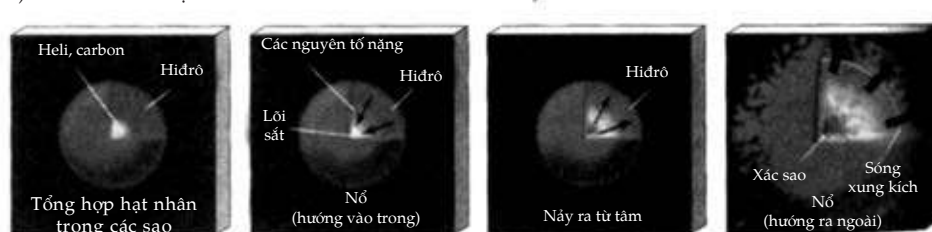
---

<sup>1</sup> Một nhóm nghiên cứu do nhà vật lý học người Mỹ Saul Perlmutter, của Lawrence Berkeley National Laboratory bang California, dẫn đầu; một nhóm khác do nhà thiên văn học người Australia, Brian Schmidt, làm việc tại trường Đại học Quốc gia Australia Canberra, làm trưởng nhóm.

## a) Sao siêu mới loại I



## b) Sao siêu mới loại II



Hình 43. Hai loại sao siêu mới. Các sao siêu mới loại I và loại II có các lịch sử khác nhau. (a) Sao siêu mới loại I có thể là kết quả hoạt động của một sao lùn trắng giàu carbon hút bằng lực hấp dẫn của mình lớp vỏ của một sao kền đỏ ở gần nó, sao đỏ này cùng với sao lùn trắng tạo thành một sao đôi. Vật chất được đổ lên bề mặt của sao lùn trắng làm nóng khí, khởi phát các phản ứng hạt nhân và gây ra một vụ nổ kinh hoàng. (b) Sao siêu mới loại II xảy ra khi tâm của một sao nặng cạn kiệt nhiên liệu bị co mạnh lại dưới tác dụng của lực hấp dẫn của chính nó, đạt đến các mật độ khoảng  $10^{15}\text{g/cm}^3$ , mật độ của vật chất neutron. Như một quả bóng nảy lại khi ném vào một bức tường gạch, khí cũng nảy lên khi bị đập vào lõi cứng và đảo chiều chuyển động. Một sóng va chạm lan truyền ra ngoài vùng trung tâm làm nổ sao.

đã trang bị cho các máy camera kỹ thuật số của bạn, nhưng theo model giản lược), họ có thể chụp đồng thời vài nghìn thiên hà rải rác trong không gian ở các khoảng cách khác nhau. Điều này cho phép họ phát hiện ra nhiều sao siêu mới chỉ trong một đêm. Bí quyết của công nghệ này chính là so sánh bằng các máy tính mạnh các khu vực giống nhau của các thiên hà chụp được ở các thời kỳ khác nhau. Một sao siêu mới sẽ được báo hiệu bằng sự xuất hiện một chấm sáng mới gắn với một thiên hà mà trước đó chưa từng hiện diện (H. 7 trong tập ảnh màu). Thật nghịch lý, cái chết của một ngôi sao lại được báo hiệu bởi một nguồn sáng mới trong bầu trời. Nguồn sáng này không kéo dài lâu, nó chỉ là một ngọn lửa rơm trong thang thời gian vũ trụ. Sau một lóe sáng ngắn kéo dài khoảng chục ngày, sao siêu mới sẽ đạt đến độ sáng cực đại rồi giảm dần. Sau nửa năm, độ sáng của nó sẽ giảm 1.000 lần: nó chỉ còn là cái bóng của chính mình.

Sau nhiều năm làm việc cật lực, mỗi nhóm nghiên cứu đã tập hợp được khoảng năm chục sao siêu mới. Năm 1998, sau khi đo khoảng cách của từng sao siêu mới và vận tốc giãn nở của vũ trụ ở khoảng cách này, hai nhóm nghiên cứu đã độc lập đi đến một kết luận khác thường khiến tất cả (hoặc gần như tất cả) mọi người phải sững sờ: vũ trụ đúng là đã giảm tốc, nhưng chỉ trong bảy tỉ năm tồn tại đầu tiên của nó. Kể từ năm thứ bảy, sự giãn nở của vũ trụ đã không còn tiếp tục chậm lại nữa. Ngược lại, nó tăng tốc. Vũ trụ giảm tốc giờ đã trở thành một vũ trụ tăng tốc. Nói cách khác, vận tốc giãn nở của vũ trụ ở 5 tỉ năm sau Big Bang cao hơn vận tốc của nó ở 6 tỉ năm, vận tốc ở 6 tỉ năm cao hơn vận tốc ở 7 tỉ năm. Nhưng vận tốc giãn nở của vũ trụ ở 7 tỉ năm thấp hơn vận tốc của nó ở 8 tỉ năm, và vận tốc của nó ở 8 tỉ năm lại thấp hơn vận tốc của nó ở 9 tỉ năm, và cứ tiếp tục như vậy. Chuyển động giãn nở của vũ trụ thành thử giống với vận tốc của xe ô tô khi bạn dừng lại trước đèn đỏ. Bạn nhấn phanh để giảm tốc và dừng xe trước đèn đỏ. Khi đèn đỏ chuyển sang xanh, bạn nhấn ga để tăng tốc. Điều tương tự cũng đúng đối với vũ trụ, sau chuyển động giảm tốc là chuyển động tăng tốc.

### *Một năng lượng tối có tác dụng đẩy*

Vậy bằng cách nào vũ trụ đã có thể thay đổi vận tốc giãn nở? Nếu vũ trụ chỉ chứa vật chất, dù nhìn thấy được hay không nhìn thấy được thì vật chất này chắc chắn phải tác dụng một lực hấp dẫn hút, và vũ trụ sẽ phải luôn luôn giảm tốc, chứ không thể tăng tốc được. Như vậy cần phải khẳng định sự tồn tại của một cái gì đó khác vật chất (hay ánh sáng). Cái gì đó khác này phải là một trường năng lượng huyền bí choán đầy vũ trụ và tác dụng một lực đẩy lớn hơn lực hút của vật chất.

Mà, như chúng ta đã thấy, năm 1917 chính Einstein đã đưa ra một lực đẩy để xây dựng mô hình vũ trụ tĩnh bằng các phương trình của thuyết tương đối rộng của ông. Các phương trình này luôn ương ngạnh nói với ông rằng vũ trụ phải động, nghĩa là nó hoặc giãn nở, hoặc co lại, chứ không bao giờ tĩnh, giống như quả bóng được tung lên phải bay lên hoặc rơi xuống, chứ không bao giờ lơ lửng trên không trung. Tuy nhiên, các quan sát thiên văn thời đó lại khẳng định rằng vũ trụ là tĩnh, và Einstein đã phải đưa vào một “hằng số vũ trụ”, đó chính là một lực đẩy, có tác dụng để cân bằng chính xác lực hấp dẫn (hút) của vật chất.

Einstein chưa bao giờ chỉ rõ nguồn gốc của lực đẩy này, trừ việc ông nói rằng nó không được sinh ra từ vật chất cũng như ánh sáng. Sự tồn tại của một

lực như vậy là có thể, vì theo các phương trình của Einstein lực hấp dẫn phụ thuộc không chỉ vào khối lượng của vật chất, hay mật độ của nó (mật độ bằng khối lượng của vũ trụ chia cho thể tích), mà còn vào cả áp suất của nó nữa. Thế nhưng, nếu trong vũ trụ tồn tại một áp suất lớn âm cao hơn mật độ của vật chất, thì có thể dẫn đến một tình huống theo đó lực hấp dẫn tổng hợp sẽ âm, nghĩa là nó có tác dụng đẩy thay vì hút. Nhưng áp suất âm mạnh này được tạo ra bằng cách nào, thì Einstein không biết. Bởi vì hằng số vũ trụ không có cơ sở vật lý rõ ràng, nên Einstein vẫn luôn có cảm giác khó chịu khi phải sử dụng nó. Chính vì thế, năm 1929, khi Edwin Hubble thông báo phát hiện ra sự giãn nở của vũ trụ, Einstein đã rất vui mừng xóa bỏ hằng số vũ trụ ra khỏi các phương trình của mình, và tuyên bố rằng việc đưa vào hằng số vũ trụ là sai lầm lớn nhất đời ông. Cũng có thể ông ân hận là đã không có đủ niềm tin vào lý thuyết tương đối rộng của mình để tiên đoán sự giãn nở của vũ trụ hơn mười năm trước phát hiện của Hubble...

Nhưng hằng số vũ trụ lại có một cuộc sống lâu dài. Khi phát hiện ra sự tăng tốc của vũ trụ và cuối thế kỷ XX, hai nhóm các nhà thiên văn đã làm sống lại hằng số vũ trụ từ thế giới các khái niệm đã chết, hơn sáu mươi năm kể từ khi nó ra đời. Lực đẩy hay “năng lượng tối” (được gọi như thế bởi vì, cũng giống như vật chất tối ngoại lai, hiện chưa có ai biết bản chất của nó) gắn với hằng số vũ trụ tái sinh rõ ràng phải cao hơn rất nhiều hằng số mà Einstein đã tính toán. Thực tế, lần này vấn đề không phải là xây dựng một vũ trụ tĩnh nữa, mà là một vũ trụ giãn nở tăng tốc. Các tính toán cho thấy rằng, để tái tạo sự tăng tốc của vũ trụ quan sát được kể từ năm thứ bảy tỉ sau Big Bang, năng lượng tối phải đóng góp khoảng... 70% mật độ tới hạn! Kết quả này rất đáng chú ý: đó chính xác là số lượng mà vũ trụ phải chứa, ngoài vật chất thông thường và ngoại lai, để có chính xác mật độ tới hạn và hình học phẳng đúng như tiên đoán của thuyết lạm phát!

Một lần nữa, hai hướng nghiên cứu hoàn toàn độc lập nhau – một bên là các phép đo sao siêu mới, và bên kia là thuyết lạm phát – đều dẫn đến chính xác cùng một kết luận. Trong khoa học, một sự phù hợp như thế thường có nghĩa rằng chân lý đã lấp ló đâu đó. Nhận thấy phần lớn vật chất của vũ trụ là tối đã là một trong những phát hiện đáng ngạc nhiên nhất. Nhưng nhận thấy rằng toàn không gian được tẩm đẫm trong một năng lượng tối mà bản chất của nó chưa ai biết tới thì còn khác thường và có lẽ còn quan trọng hơn đối với vật lý cơ bản.

Nhưng đối với một kết luận khác thường thì cần có một chứng minh chặt chẽ. Các nhà thiên văn đã xem xét kỹ lưỡng tất cả các giai đoạn của công việc

dẫn đến kết luận về một vũ trụ tăng tốc. Các mối nghi ngờ đều nhằm vào tính đáng tin cậy của các sao siêu mới loại Ia với vai trò là các chỉ thị khoảng cách. Sự xác định khoảng cách của các sao siêu mới này, và do đó cũng là khoảng thời gian mà chúng ta lần ngược lại trong quá khứ của vũ trụ, dựa trên giả thiết rằng độ sáng thực tối đa của các sao siêu mới này không biến thiên từ sao này sang sao khác. Thế nhưng chúng ta biết rõ ràng rằng các tính chất của các sao sinh ra sao siêu mới lại thay đổi theo thời gian, và thiên hà này khác với thiên hà kia. Mặt khác, trong các thiên hà còn có bụi giữa các vì sao hấp thụ ánh sáng của các sao siêu mới và làm cho chúng mờ hơn. Lượng bụi biến thiên không chỉ ở các vị trí khác nhau trong cùng một thiên hà, mà còn cả ở các thiên hà khác nhau. Hơn nữa, trong hành trình dài dẫn nó từ thiên hà-chủ đến Trái đất, ánh sáng của các sao siêu mới xa xôi có thể gặp trên đường đi các thiên hà và các đám thiên hà, mà như ta đã biết, chúng có thể tác dụng như các thấu kính hấp dẫn và khuếch đại ánh sáng này, làm cho các sao siêu mới trông sẽ sáng hơn.

Với tất cả những ảnh hưởng này, giả thiết về một độ sáng không đổi của các sao siêu mới liệu có đúng? Các sao siêu mới liệu có thể thực sự phục vụ chúng ta như các cột mốc đáng tin cậy để đánh dấu thời gian trong quá khứ của vũ trụ? Rõ ràng, chúng ta phải nghiên cứu một lượng lớn hơn nữa các sao siêu mới để hiểu rõ chúng. Các nhà thiên văn đã lên kế hoạch phóng một vệ tinh có tên là SNAP (viết tắt của *Supernova Acceleration Probe*) lên trên khí quyển Trái đất, mang theo một kính thiên văn đường kính hai mét chỉ dùng để quan sát các sao siêu mới loại Ia. SNAP sẽ chụp ảnh hơn ba trăm triệu thiên hà trong một vùng hình rẻ quạt trên bầu trời với diện tích lớn hơn diện tích của mặt trăng tròn 3.600 lần), điều này sẽ cho phép nó phát hiện hơn một nghìn sao siêu mới. Các sao siêu mới xa xôi sẽ cho phép lần ngược lại thời gian khoảng 12 tỉ năm và đo tốc độ giãn nở của vũ trụ trong một khoảng thời gian lùi xa khoảng hai tỉ năm sau Big Bang. Vệ tinh này như vậy sẽ cho phép đo chính xác mật độ của năng lượng tối bí ẩn choán đầy vũ trụ, và kiểm tra rất nhiều lý thuyết đang cố gắng giải thích sự tồn tại của nó.

### *Các thăng giáng nhiệt độ*

Do các nghi ngờ tập trung vào tính đáng tin cậy của các sao siêu mới loại Ia với vai trò là cột mốc của quá khứ vũ trụ, nên các nhà vật lý thiên văn vẫn hoài nghi về sự tồn tại của một năng lượng tối làm tăng tốc vũ trụ được thông báo năm 1998. Tuy nhiên, một vệ tinh khác tên là WMAP đã mang lại cho chúng ta một khẳng định hết sức bất ngờ. Vệ tinh này tiến hành dựng bản đồ

bức xạ hóa thạch, tức nhiệt sót lại từ thời điểm sáng thế. Bức xạ này đến với chúng ta từ thời kỳ đầu của vũ trụ, chính xác hơn là từ thời kỳ mà vũ trụ mới chỉ mới 380.000 năm tuổi, choán đầy vũ trụ, và như chúng ta đã thấy, trong đó rải rác có các điểm bất thường. Các bất thường này có tác dụng như các hạt giống thiên hà và chúng biểu hiện trên bản đồ bức xạ hóa thạch dưới dạng các vùng bị ảnh hưởng bởi các thăng giáng nhiệt độ nhỏ (cỡ vài phần trăm nghìn độ, so với nhiệt độ của bức xạ hóa thạch là 2,725 độ Kelvin). Người ta cũng nhận thấy rằng các vùng chịu các thăng giáng nhiệt độ lớn hơn cũng trải rộng hơn trong không gian. Chúng có kích thước góc khoảng một độ, nghĩa là gần hai lần kích thước của mặt trăng tròn. Vào năm 380.000, các vùng này trải trên khoảng một triệu năm ánh sáng, nhưng, bởi vì kích thước của vũ trụ đã tăng lên 100 lần từ thời kỳ này, nên ngày nay chúng trải rộng trên khoảng cách một tỉ năm ánh sáng. Thế nhưng kích thước của các thăng giáng này phụ thuộc vào hình học của vũ trụ. Nếu vũ trụ có độ cong dương (như một mặt cầu), thì các vùng thăng giáng nhiệt độ sẽ lớn hơn một chút. Trong một vũ trụ có độ cong âm (như một cái yên ngựa), chúng sẽ xuất hiện nhỏ hơn một chút. Sẽ là trung gian đối với một vũ trụ phẳng, không cong. Năm 2003, WMAP đã đo cẩn thận độ thăng giáng nhiệt độ của bức xạ hóa thạch. Phán quyết của nó là dứt khoát: hình học của vũ trụ là phẳng! Điều này muốn nói rằng vũ trụ có chính xác mật độ tới hạn. Và bởi vì vật chất thông thường và ngoại lai, sáng và tối, chỉ đóng góp 30% vào mật độ tới hạn, nên chắc chắn phải tồn tại một bộ phận cấu thành khác, một năng lượng tối huyền bí bổ khuyết cho 70% còn lại của mật độ tới hạn!

Như vậy, một mảnh mới của câu đố ghép hình đã được đặt vào đúng chỗ của nó. Ba con đường hoàn toàn độc lập - thuyết lạm phát, các phép đo sao siêu mới, quan sát bức xạ hóa thạch - đều dẫn chúng ta đến một và chỉ một mô tả nhất quán về một vũ trụ hình học phẳng, có mật độ tới hạn mà 30% được cấu thành từ vật chất và 70% từ năng lượng tối. Sự phù hợp và nhất quán này gợi ý rằng chúng ta chắc chắn đã đi đúng đường.

Tuy nhiên, một vấn đề được đặt ra: tại sao sự tăng tốc của vũ trụ lại chỉ biểu hiện khoảng bảy tỉ năm sau Big Bang? Tại sao chúng ta không nhận thấy được sự hiện diện của năng lượng tối sớm hơn? Trên thực tế lực đẩy do năng lượng tối vẫn luôn tồn tại, núp trong bóng tối, nhưng, trong bảy tỉ năm đầu tiên sau Big Bang, nó quá yếu nên không thể chống lại được lực hấp dẫn hút kinh hoàng tác dụng bởi tổng lượng vật chất (thông thường và ngoại lai) và năng lượng của vũ trụ.

Khi này chính lực hút điều khiển cuộc chơi, và nó làm giảm vận tốc giãn nở của vũ trụ. Tuy nhiên, thời gian ủng hộ lực đẩy. Sau vài tỉ năm, vũ trụ loãng dần, khoảng cách giữa các thiên hà tăng lên, lực hút - biến thiên tỷ lệ nghịch với bình phương của khoảng cách giữa các thiên hà - giảm về cường độ. Ngược lại, cường độ của lực đẩy vẫn không đổi. Do đó, theo thời gian, lực đẩy ngày càng lớn hơn so với lực hút. Sự chuyển giao quyền lực xảy ra khi đồng hồ vũ trụ điểm ở năm thứ bảy tỉ. Lực đẩy thắng thế, nó đảm nhiệm vai trò kiểm soát các công việc của vũ trụ và kể từ đó nó làm cho vũ trụ giãn nở nhanh hơn.

### *Năng lượng của chân không*

Hàng số vũ trụ, từng bị tổng cổ khỏi vũ trụ học trong bảy thập kỷ gần đây (trừ trong một khoảng thời gian tái xuất hiện ngắn trong những năm 1940 với lý thuyết “vũ trụ tĩnh” của nhà vật lý thiên văn người Anh, Fred Hoyle và các đồng nghiệp của ông; thuyết này, như chúng ta đã thấy, đã thất bại trong những năm 1960 với sự phát hiện ra bức xạ hóa thạch), đã tái sinh, như con phượng hoàng, từ đống tro tàn của nó, vào cuối thiên niên kỷ vừa qua. Như một sự phát triển trớ trêu của lịch sử tư duy vật lý, sự tồn tại của một đại lượng mà Einstein đã buộc lòng phải đưa vào và trái với linh cảm của ông để thuyết tương đối rộng phù hợp với các quan sát sai lầm thời đó, nhưng sau đó ông đã bác bỏ, rồi ngày nay lại trở nên gần như tất yếu. Sở dĩ như vậy là vì hằng số vũ trụ, trong hiện thân hiện nay của nó, là một hệ quả tất yếu không chỉ của thuyết tương đối, vật lý của những cái vô cùng lớn, mà còn cả của cơ học lượng tử, vật lý của những cái vô cùng bé.

Trong cơ học lượng tử (thuyết mà Einstein là một trong những người sáng lập, như chúng ta đã thấy, với nghiên cứu về hiệu ứng quang điện của ông, nhưng ông lại không bao giờ chịu chấp nhận cách giải thích xác suất ngẫu nhiên của thuyết này – “Chúa không chơi súc sắc” -, bất chấp việc tất cả các thí nghiệm đều tỏ ra phù hợp với cách giải thích này), chân không không phải là không có gì, như chúng ta vẫn ngây thơ nghĩ. Thực tế, đó là một chân không sống động, nhưng nhúc các cặp ảo các hạt và phản hạt, cùng với các trường năng lượng sinh ra rồi hủy đi theo các chu kỳ sinh tử dữ dội và ngắn ngủi chỉ bằng thời gian Planck  $10^{-43}$  giây. Bởi vì các cặp ảo này có thời gian sống rất ngắn, nên chúng ta không thể phát hiện chúng một cách trực tiếp được. Nhưng chúng có các hiệu ứng gián tiếp, đủ lớn có thể đo được. Chẳng hạn, chúng làm thay đổi hành trạng của nguyên tử hiđrô. Mỗi hạt (hay mỗi trường năng lượng) có một năng lượng cực nhỏ có thể dương hoặc âm. Và người ta

có thể hy vọng rằng không có sự triệt tiêu hoàn toàn giữa các năng lượng âm và dương, và không gian choán đầy một năng lượng khác không. Như vậy cơ học lượng tử làm cho sự hiện diện của một hằng số vũ trụ không phải là do tùy thích, mà là bắt buộc.

Về nguyên tắc chúng ta có thể tính toán năng lượng của chân không bằng thuyết lượng tử. Nhưng nói bao giờ cũng nhanh hơn làm! Một vấn đề lớn được đặt ra: các tính toán đơn giản nhất cũng cho một mật độ năng lượng của chân không cỡ  $10^{94}$  g/cm<sup>3</sup>, tức khoảng  $10^{120}$  (sau số 1 là 120 số 0) lần lớn hơn mật độ năng lượng của vật chất, của bức xạ của vũ trụ quan sát được và của năng lượng tối cần thiết để giải thích sự tăng tốc của vũ trụ!<sup>1</sup> Với một năng lượng của chân không kinh hoàng đến thế, vũ trụ chắc sẽ phải nổ tung tức thì! Một kết quả phi lý. Nhà vật lý thiên văn người Nga, Yakov Zeldovich là người đầu tiên nhận thấy vấn đề này vào năm 1967. Trong ba thập kỷ sau đó, các nhà vật lý đã nỗ lực tìm hiểu tại sao những tính toán của họ lại cho ra một kết quả sai hiển nhiên và một năng lượng của chân không lại cao vô lý đến như thế. Rất nhiều quan điểm đã được đưa ra, nhưng không một quan điểm nào thu hút được cảm tình của ban giám khảo. Phần lớn các nhà vật lý nghĩ rằng phải tồn tại một cơ chế chưa biết nào đó triệt tiêu một lượng rất lớn, thậm chí hoàn toàn năng lượng của chân không. Thực tế, quan điểm được ủng hộ là quan điểm về một chân không hoàn toàn... trống rỗng, với một năng lượng bằng không và hoàn toàn không có hoạt động gì, giống như khái niệm ngây thơ về chân không của tất cả chúng ta. Nhưng phát hiện ra sự tăng tốc của vũ trụ đã khiến người ta phải xem xét lại toàn bộ vấn đề: chân không không hoàn toàn trống rỗng, nó phải chứa năng lượng tối. Các nhà vật lý vẫn chưa biết năng lượng tối gây ra sự tăng tốc của vũ trụ đến từ chân không lượng tử khởi thủy hay có một nguồn gốc nào khác. Biết nguồn gốc này là một nhiệm vụ quan trọng làm cho việc tính toán chính xác năng lượng mà chân không khởi thủy che giấu trở nên cần thiết và cấp bách hơn bao giờ hết. Vậy mà ngày nay vấn đề này dường như còn khó khăn hơn vì các nhà vật lý phải giải thích không phải tại sao năng lượng của chân không chính xác bằng không, mà tại sao nó lại không như thế và tại sao giá trị của nó lại thấp đến mức các hiệu ứng của nó khiến người ta chỉ cảm nhận được từ cách đây khoảng bảy tỉ năm.

<sup>1</sup> Mật độ của năng lượng tối là  $70/30 = 2,3$  lần mật độ của vật chất và của bức xạ.

### *Các chiều ẩn giấu của không gian*

Trong khoa học, thường thì các cuộc khủng hoảng gay gắt và các vấn đề lớn chưa có lời giải buộc các nhà khoa học phải xem xét lại vấn đề, gây ra các cách mạng và khởi phát những thay đổi của cái mà nhà sử học khoa học Thomas Kuhn gọi là các “hình mẫu tư duy”. Đầu thế kỷ XXI, chúng ta, có lẽ, đã đứng trước một trong các cơ hội lịch sử có thể làm đảo lộn vật lý. Einstein đã xây dựng được thuyết tương đối rộng khi ông cố gắng giải quyết vấn đề không tương thích giữa thuyết tương đối hẹp (nói rằng không gì có thể chuyển động nhanh hơn ánh sáng) và thuyết hấp dẫn của Newton (nói rằng lực hấp dẫn giữa các vật được truyền tức thì, và do đó với vận tốc vô hạn). Tuy nhiên, các nhà vật lý học ngày nay nghĩ rằng thuyết tương đối rộng không đầy đủ, vì nó không có khả năng kết hợp một cách hài hòa với các định luật của cơ học lượng tử. Có lẽ việc phát hiện ra năng lượng tối, thủ phạm làm cho vũ trụ tăng tốc, sẽ dẫn chúng ta đến một thuyết hấp dẫn lượng tử có khả năng hoàn thành sự nghiệp đại thống nhất bấy lâu mong muốn chẳng?

Dẫu sao cũng đã có nhiều thuyết hướng đến mục đích này. Một trong những thuyết hứa hẹn nhất có vẻ là lý thuyết dây, theo đó, như chúng ta đã thấy, các hạt cơ bản không phải là các hạt điểm, mà là kết quả của sự dao động của các dây vô cùng nhỏ. Một trong những dấu hiệu khác biệt nhất của thuyết dây là khẳng định sự tồn tại các chiều không gian bổ sung trong vũ trụ: ít nhất là sáu trong phiên bản đơn giản nhất. Quan điểm bổ sung các chiều dư có nguồn gốc từ thuyết tương đối rộng. Einstein đã đưa vào thuyết tương đối rộng quan điểm cách mạng theo đó hấp dẫn không phải là một lực, như Newton đã nghĩ, mà là kết quả của hình học của không-thời gian bốn chiều của chúng ta (ba chiều không gian, một chiều thời gian). Chúng ta hãy xét chẳng hạn Mặt trăng trong chuyển chu du hàng tháng của nó quanh Trái đất. Theo Newton, Mặt trăng được gắn kết với Trái đất bằng một lực hấp dẫn làm cho nó chuyển động theo một quỹ đạo elip quanh hành tinh của chúng ta. Theo Einstein, sở dĩ Mặt trăng chuyển động theo một quỹ đạo cong quanh Trái đất, chính bởi vì khối lượng của Trái đất đã làm uốn cong không gian. Mặt trăng chỉ làm một việc là đi theo con đường ngắn nhất trong không gian bị uốn cong này. Einstein đã quét sạch khái niệm về lực hấp dẫn và thay nó bằng khái niệm về hình học của không gian. Như vậy ông đã vứt bỏ được vấn đề về sự lan truyền tức thì (một vận tốc vô hạn) của lực hấp dẫn, vốn mâu thuẫn với thuyết tương đối hẹp. Nói cách khác, chính vật chất quyết định hình học của không-thời gian, và chính hình học quyết định chuyển động của vật chất!

Nếu chúng ta giải thích lực hấp dẫn bằng hình học của không-thời gian, thì

tại sao lại không đi tìm một giải thích hình học cho ba lực cơ bản khác của tự nhiên: lực điện từ và hai lực hạt nhân mạnh và yếu? Như thế chúng ta sẽ có một giải thích thống nhất về tự nhiên, một lý thuyết của vạn vật (còn gọi là lý thuyết của Tất cả) mà ở đó hình học sẽ đóng vai chính. Einstein đã dành khoảng ba mươi năm cuối đời của mình cho công cuộc tìm kiếm này. Ông bị ảnh hưởng mạnh mẽ bởi các công trình nghiên cứu trước đó của các nhà vật lý người Đức, Theodor Kaluza (1885-1954) và Đan Mạch, Oskar Klein (1894-1977). Năm 1919, Kaluza đã đưa ra ý tưởng theo đó, nếu lực hấp dẫn là một biểu hiện của hình học bốn chiều của không-thời gian vốn rất thân thuộc với chúng ta, thì lực điện từ có thể là hệ quả của một chiều thứ năm (hoặc một chiều không gian thứ tư). Cả lực điện từ và hấp dẫn đều giảm như nhau theo khoảng cách (cả hai đều tỉ lệ nghịch với bình phương khoảng cách), nên có thể nghĩ rằng chúng được gắn kết với nhau theo một cách nào đó. Nhưng nếu một chiều không gian thứ tư tồn tại, thì nó đã biến đi đâu mất? Năm 1926, Klein trả lời rằng sở dĩ chúng ta không nhận thấy được nó là bởi vì nó đã cuộn nhỏ lại. Điều mà chúng ta nghĩ là một điểm trong không gian ba chiều trên thực tế là một vòng tròn nhỏ trong chiều không gian thứ tư. Chúng ta không nhận thấy nó bởi vì vòng tròn này vô cùng nhỏ: chu vi của nó chỉ bằng chiều dài Planck,  $10^{-33}$ cm, tức 100 tỉ tỉ lần nhỏ hơn kích thước của một hạt nhân nguyên tử<sup>1</sup>.

Các nhà vật lý đương đại đã tiếp được. Lý thuyết của vạn vật đã trở thành chiếc cốc thánh của vật lý hiện đại. Ý tưởng của Kaluza và Klein về các chiều không gian bổ sung đã được phục sinh và ngày nay đóng vai trò trọng yếu trong các nỗ lực thống nhất thuyết tương đối rộng với cơ học lượng tử. Theo lý thuyết siêu dây, các hạt là kết quả dao động các đối tượng một chiều vô cùng nhỏ, dưới dạng một dây khép kín hoặc dây hở, có kích thước bằng chiều dài Planck. Các dây này nhỏ tới mức trông chúng như các điểm. Trong phiên bản đơn giản nhất của thuyết dây, các đối tượng này sống trong một không-thời gian mười chiều: chín chiều không gian và một chiều thời gian. Ngoài chiều thời gian, lạm phát đã khuếch đại ba trong số chín chiều không gian, tạo ra vũ trụ mà chúng ta biết. Sáu chiều không gian còn lại nhỏ tới mức không thể phát hiện được. Ngoài các dây, trong không-thời gian này còn có các trường lực và các bề mặt gọi là *brane* (rút gọn từ *membrane* có nghĩa là *màng*). Chính vì thế một phiên bản khác mạnh hơn của lý thuyết dây đưa ra mười chiều không gian (thay vì chín) trên tổng số mười một chiều, được đặt tên là “lý thuyết-M”

<sup>1</sup> Để biết thêm chi tiết về các quan điểm của Kaluza và Klein, xem Trịnh Xuân Thuận, *Hỗn độn và Hài hòa*, Bản dịch của Phạm Văn Thiều và Nguyễn Thanh Dương, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2003.

(M là chữ cái đầu của từ *membrane*). Các brane có thể có các chiều khác nhau. Chẳng hạn, trong một phiên bản của lý thuyết dây, vũ trụ của chúng ta là một brane bốn chiều (ba chiều không gian và một chiều thời gian) tồn tại trong một không gian có số chiều lớn hơn, như một lớp nước mỏng hai chiều phủ một đại dương ba chiều. Brane là những nơi trú ngụ của dây; dây có thể ở đâu chúng thích, nhưng chỉ trên bề mặt của các brane.

### *Một siêu thế giới*

Lý thuyết dây dựa trên quan điểm siêu đối xứng (viết tắt là SUSY). SUSY đã được nghĩ ra để thống nhất vật chất và ánh sáng. Đó là một nguyên lý đối xứng liên kết tập hợp của hai loại hạt: các hạt vật chất có spin bán nguyên ( $1/2, 3/2, \dots$ ), như quark và electron, được gọi chung là “fermion”, và các hạt có spin nguyên ( $0, 1, \dots$ ), như các hạt ánh sáng (photon) và các hạt truyền tương tác, như các gluon, được gọi chung là “boson”. Trong một vũ trụ ở đó SUSY được biểu hiện một cách đầy đủ, mỗi một boson được gắn với một “siêu hạt bạn” fermion, và mỗi một fermion lại được gắn với một siêu bạn boson. Như có phép lạ, quần thể các hạt trong vũ trụ đều được nhân đôi theo cách như vậy. Siêu hạt bạn giống về mọi phương diện với hạt thông thường (cùng khối lượng, cùng điện tích,...) trừ spin luôn khác nhau một giá trị bằng  $1/2$ . Chẳng hạn, siêu hạt bạn của electron (có spin  $1/2$ ) sẽ có spin  $0$ , trong khi siêu hạt bạn của photon (có spin  $1$ ) sẽ có một spin  $1/2$ . Để giữ thuật ngữ quen thuộc về các hạt thông thường và để dễ nhớ xem hạt gì kết bạn với hạt gì, các siêu hạt bạn fermion được đặt tên thông thường, nhưng gắn với tiền tố “s”. Chẳng hạn, siêu hạt bạn của electron được gọi là “selectron”, và siêu hạt bạn của quark được gọi là “squark”. Còn đối với các siêu hạt bạn của boson, người ta thêm hậu tố “into” (trong tiếng Italia có nghĩa là “nhỏ hơn”, mặc dù một số hạt liên quan không nhẹ tí nào) vào các tên gọi bình thường. Chẳng hạn, siêu hạt bạn của photon là “photino”, và siêu hạt bạn của graviton là “gravitino”. Trong một siêu thế giới ở đó SUSY có tác dụng, các hạt và các siêu hạt bạn của chúng có cùng khối lượng. Selectron cũng nhẹ như electron, smuon cũng nặng như muon, v.v..., điều này có hệ quả là năng lượng của chân không có giá trị đúng bằng không.

Nhưng vũ trụ không có vẻ phù hợp với sơ đồ này. Chúng ta chưa bao giờ thấy selectron có khối lượng nhẹ như một electron, trong khi chúng ta có các máy gia tốc hạt có đủ năng lượng để phát hiện các khối lượng như vậy. Để giải cứu SUSY ra khỏi nghĩa địa của các khái niệm chết, các nhà vật lý đã phải

cho rằng đối xứng giữa các hạt và các siêu hạt bạn của chúng là không hoàn hảo đối với khối lượng. Người ta nói rằng ở đây có sự “phá vỡ đối xứng”. Các hạt và các siêu hạt bạn của chúng có thể có các khối lượng khác nhau. Các nhà vật lý thậm chí còn nghĩ rằng khối lượng của các siêu hạt bạn có thể lớn hơn khối lượng của electron hàng triệu lần. Thế nhưng, theo công thức nổi tiếng của Einstein,  $E = mc^2$ , một hạt có khối lượng lớn sẽ tương ứng với một năng lượng lớn. Năng lượng của các máy gia tốc hiện nay chưa đủ cao để có thể phát hiện được các siêu hạt bạn giả thuyết này. Bù lại, máy va chạm LHC (*Large Hadron Collider*), đi vào hoạt động năm 2007 tại CERN, Genève, Thụy Sĩ, sẽ có khả năng làm điều đó. SUSY và lý thuyết dây khi đó sẽ lần đầu tiên được kiểm chứng bằng thực nghiệm. Liệu chúng có thể ngẩng cao đầu vượt qua kỳ sát hạch này không?

### *Một vũ trụ thích ứng với sự sống*

Một hệ quả quan trọng khác của sự phá vỡ đối xứng của SUSY: chân không có một năng lượng không âm. Các nhà vật lý đã bắt tay tính toán năng lượng của chân không này trong khuôn khổ của thuyết dây với SUSY bị phá vỡ. Một câu hỏi vô cùng quý giá được đặt ra như sau: năng lượng của chân không được tính toán liệu có thể so được với năng lượng cần thiết để giải thích sự tăng tốc của vũ trụ hay không? Các kết quả đầu tiên dường như rất đáng khích lệ. Nhìn chung, các giá trị thu được đối với năng lượng của chân không nhỏ hơn rất nhiều so với năng lượng cao ngất ngưỡng đến phi lý của những tính toán trước kia. Mặc dù phần lớn các giải pháp đưa ra vẫn cho năng lượng của chân không cao hơn năng lượng cần thiết, nhưng một số giải pháp đã cho các giá trị phù hợp với giá trị quan sát được. Như vậy ở đây đã có sự tiến bộ nhất định.

Nhưng vẫn còn một vấn đề, và đó là vấn đề rất quan trọng: lý thuyết dây chấp nhận một số lượng gần như vô hạn các lời giải khác nhau trong phạm vi mà số lượng lớn các chiều không gian bổ sung cho phép vũ trụ có số lượng gần như vô hạn các hình học khác nhau. Trong trường hợp vũ trụ Kaluza-Klein, chỉ có một chiều bổ sung, chiều này chỉ có thể có dạng hình học là hình tròn. Tuy nhiên, tồn tại vô số các lời giải trong phạm vi mà bán kính (và như vậy cũng có nghĩa là chu vi) của đường tròn có thể có bất kỳ giá trị nào. Trong phiên bản đơn giản nhất của lý thuyết dây (với sáu chiều bổ sung), các hình dạng (hay “topo”) mà mỗi một chiều có thể có là vô số - mặt cầu, mặt xuyên, hai mặt xuyên nối nhau...-, điều này dẫn đến một số gần như vô hạn các hình

học khá dĩ. Các nhà vật lý đã tính toán rằng có tới  $10^{500}$  (sau số 1 là 500 số 0) hình học như vậy!

Không chỉ mỗi một cấu hình hình học của các chiều ẩn giấu gán một năng lượng cụ thể cho không gian chân không (nghĩa là không có tí vật chất và ánh sáng nào), mà nó **còn gây ra** các hiện tượng khác nhau trong thế giới vĩ mô được xác định bằng không-thời gian bốn chiều, thế giới mà chúng ta đang sống. Thực tế, chính cấu hình học quyết định bản chất của các hạt và của các lực có thể tồn tại ở đó. Chẳng hạn, lý thuyết dây đã phát lộ cho chúng ta biết tại sao các định luật cơ bản lại có dạng như chúng đang có. Nó nói với chúng ta rằng các định luật vật lý mà chúng ta thấy trong thế giới vĩ mô không gì khác chính là hệ quả của các chiều ẩn giấu bổ sung.

Điều này phải chăng muốn nói rằng cuối cùng rồi chúng ta sẽ hiểu được tại sao thế giới lại như nó vốn thế, và rằng sự cáo chung của vật lý chẳng còn xa nữa? Hoàn toàn sai lầm! Ngay cả khi một ngày nào đó lý thuyết dây được kiểm chứng bằng thực nghiệm, và chúng ta hiểu được dạng thức được mang bởi các định luật vật lý, thì điều này cũng chỉ đẩy ra xa một chút các vấn đề tối hậu mà thôi. Các vấn đề mới sẽ lại được đặt ra: tại sao vũ trụ lại có cấu hình hình học này và có năng lượng này của chân không? Tất cả những cấu hình khác sẽ trở nên thế nào? Để trả lời các câu hỏi này, nhà vật lý người Mỹ, Steven Weinberg đã đưa ra một lập luận kiểu “vị nhân” nói rằng các tính chất của vũ trụ phải phù hợp với sự tồn tại của chính chúng ta<sup>1</sup>. Cũng giống như sự sống của con người không thể xuất hiện trên các bề mặt nóng bỏng của Thủy tinh hay Kim tinh, cũng như không thể trên các hành tinh khí như Mộc tinh và Thổ tinh, nó cũng không thể xuất hiện trong một vũ trụ có một năng lượng của chân không quá dương. Lực hấp dẫn đẩy khổng lồ của nó sẽ gây ra một giãn nở dữ dội tới mức không một vật chất nào có thể kết tụ lại với nhau để tạo thành các sao, từ đó sinh ra các nguyên tố nặng cần thiết cho sự sống và ý thức. Tương tự, sự sống và ý thức cũng không thể xuất hiện trong một vũ trụ có năng lượng của chân không quá âm. Sau một thời kỳ tương đối ngắn, lực hấp dẫn hút khổng lồ của nó sẽ làm cho vũ trụ bị nén mạnh lại trong một *Vụ Co lớn* (Big Crunch), nó cũng ngăn trở sự hình thành của các sao, các nguyên tố nặng, sự sống và ý thức. Vũ trụ chỉ có thể cư mang sự sống và ý thức nếu năng lượng của chân không luôn cao hơn zero một chút. Trong số  $10^{500}$  vũ trụ khả dĩ, chỉ có vũ trụ của chúng ta là có các điều kiện cần thiết. Chính vì thế chúng ta mới có mặt ở

<sup>1</sup> Người ta gọi đó là phiên bản “yếu” của nguyên lý vị nhân. Còn có một phiên bản khác gọi là “mạnh” nói rằng vũ trụ hướng đến một dạng ý thức, đặc biệt là ý thức của con người.

đây để tự vấn về vũ trụ. Tất cả các vũ trụ khác đều vô sinh, hoàn toàn không có sự sống và ý thức.

### *Tinh chất cứu chúng ta khỏi sự hoang tàn*

Cho tới đây chúng ta đã đi theo con đường của Einstein và đã đưa ra giả thuyết rằng năng lượng tối gắn với hằng số vũ trụ và là nguyên nhân làm cho vũ trụ tăng tốc là không đổi theo thời gian. Nhưng ta không hề nói rằng năng lượng tối này phải là hằng số. Thực tế, trong các cuộc viễn du, chúng ta đã gặp một năng lượng tối tác dụng một lực đẩy biến thiên theo thời gian. Các bạn hãy nhớ lại thời kỳ lạm phát, trong những phần giây đầu tiên của vũ trụ. Vũ trụ khi đó được tắm đẫm trong một trường năng lượng gọi là “trường Higgs”. Trong quá trình vũ trụ lạnh đi, trường Higgs này tiến về năng lượng zero và bị chặn lại trong một khoảng thời gian rất ngắn ở một năng lượng dương nhẹ, như một tảng đá rơi xuống theo sườn núi bị chặn lại trong một thời gian ngắn trên một cao nguyên nhô bên trên vùng bình nguyên. Chính năng lượng dương nhẹ này là nguyên nhân gây ra sự lạm phát của vũ trụ. Lực đẩy là kinh hoàng, và sự giãn nở của vũ trụ là khổng lồ; nhưng nó kéo dài trong một khoảng thời gian vô cùng ngắn, cỡ  $10^{-32}$  giây, vì một thăng giáng lượng tử đã hút trường Higgs khỏi cao nguyên và làm cho nó lao xuống đáy thung lũng mà ở đó năng lượng của nó bằng không, chặn đứng đà hăng tiết của vũ trụ.

Một số nhà vật lý đã gợi ý rằng sự tăng tốc của vũ trụ được quan sát từ năm thứ bảy tỉ của nó có thể chỉ là để bù lại pha lạm phát này. Nhưng vụ nổ nhỏ này khác về cơ bản với Vụ nổ lớn của thời kỳ đầu ở hai điểm. Một mặt, lực đẩy yếu hơn nhiều, và sự tăng tốc ít dữ dội hơn nhiều. Mặt khác, nó cũng kéo dài hơn nhiều: hàng tỉ năm, thay vì một phần của giây. Các nhà vật lý gọi trường năng lượng tối biến thiên theo thời gian trên hàng tỉ năm này là “tinh chất”, gợi nhớ đến quan điểm của Aristote theo đó vũ trụ được cấu thành không chỉ từ đất, nước, không khí và lửa, mà còn từ một nguyên tố thứ năm cho phép nó vận hành.

Vậy, hằng số vũ trụ hay tinh chất? Chúng ta còn lâu mới có câu trả lời. Dù sao thì việc phát hiện ra sự tăng tốc của vũ trụ đã làm thay đổi sâu sắc các quan niệm của chúng ta về tương lai của vũ trụ. Số phận của chúng ta không còn chỉ được quyết định bởi hình học của không gian, như trường hợp của vũ trụ chứa chỉ vật chất và ánh sáng. Như chúng ta đã biết, nếu vũ trụ này có hình học loe ra như một cái yên ngựa (để dễ thấy sự tương tự, chúng tôi đã rút gọn ba chiều không gian của vũ trụ về hai chiều) thì nó sẽ giãn nở mãi mãi. Còn

nếu nó có hình học của một mặt cầu, thì nó sẽ đạt đến một bán kính tối đa, rồi sẽ co mạnh lại trong một Vũ Trụ lớn. Nó cũng có thể có một số phận trung gian, nếu hình học của nó là phẳng.

Nhưng, với việc đưa vào một năng lượng tối, tất cả đều trở nên khả dĩ. Một vũ trụ phẳng chứa một hằng số vũ trụ cũng sẽ có thể giãn nở mãi mãi, ngày càng tăng tốc. Nó sẽ ngày càng có nhiều khoảng chân không giữa các thiên hà. Trong vài chục tỉ năm tới, Ngân hà sẽ chỉ là một hòn đảo nhỏ mất hút trong cõi mênh mông của vũ trụ. Phần lớn các thiên hà khác sẽ ở xa tới mức không thể nhìn thấy chúng được nữa. Khung cảnh vũ trụ khi đó sẽ thật u buồn. Ngược lại, tương lai sẽ khác một cách đáng kể nếu chính tinh chất là nguyên nhân gây ra sự tăng tốc của vũ trụ. Các thiên hà sẽ rời xa nhau chừng mực hơn, và một ngày nào đó vũ trụ sẽ không còn tăng tốc nữa. Trong một vũ trụ như thế, bầu trời sẽ có nhiều thiên hà hơn, và khung cảnh của vũ trụ sẽ bớt tẻ nhạt hơn đối với con cháu của chúng ta.

Vậy, khung cảnh tương lai của vũ trụ sẽ là trống rỗng và u buồn, hay đầy các thiên hà? Vệ tinh SNAP, với hy vọng là sẽ phát hiện được hàng nghìn sao siêu mới rải rác trong thời gian và không gian, chắc sẽ mang lại lời hứa lựa chọn dứt điểm giữa hai khả năng này.

### *Bóng ma Copernic tiếp tục hoành hành*

Bằng cách thống kê các đối tượng phát sáng trong vũ trụ và nghiên cứu chuyển động của chúng, chúng ta đã đi đến một kết luận khác thường: không chỉ vật chất sáng trong các sao và thiên hà chỉ chiếm một phần rất nhỏ 0,5% tổng lượng vật chất và năng lượng của vũ trụ, không chỉ vật chất mà từ đó chúng ta được cấu thành (proton, neutron và electron) chỉ chiếm một phần nhỏ 4%, không chỉ vật chất ngoại lai nhiều hơn vật chất thông thường (26%) khoảng 6,5 lần, mà phần lớn tổng lượng của vũ trụ (70%) được hình thành từ một năng lượng tối huyền bí mà chưa ai biết nguồn gốc.

Bóng ma Copernic vẫn tiếp tục ám ảnh. Từ khi linh mục phụ tá người Ba Lan trực xuất Trái đất ra khỏi vị trí trung tâm của vũ trụ vào năm 1543, con người ngày càng trở nên nhỏ nhoi hơn trong vũ trụ, cả trong không gian lẫn trong thời gian. Mặt trời của chúng ta chỉ còn là một ngôi sao ngoại ô tầm thường trong số hàng trăm tỉ ngôi sao tạo thành Ngân hà. Rồi Ngân hà cũng mất hút trong số hàng trăm tỉ thiên hà trong vũ trụ quan sát được. Nhưng thân phận con người đâu đã được yên! Con người biết rằng mình không được cấu thành từ vật chất như phần lớn của vũ trụ và nếu proton, neutron và electron không

xuất hiện trên thế giới thì cũng chẳng làm xáo trộn là mấy tổng lượng vật chất và năng lượng của vũ trụ. Nhưng điều này không có nghĩa là vật chất thông thường không đóng vai trò quan trọng. Chính vật chất sáng đã dẫn chúng ta đến vật chất ngoại lai và năng lượng tối. Chính vật chất thông thường đã tự tổ chức thành các sao để chế tạo ra các nguyên tố hóa học nặng mà sự sống cần. Chính nó đã tự tổ chức để tạo dựng nên bộ não con người, một mạng lưới gồm hàng trăm tỉ neuron, có khả năng tự vấn về vũ trụ đã sinh ra mình.

Các bộ phận cấu thành khác nhau này của đã đặt ra vấn đề. Mặc dù chúng ta hoàn toàn có thể thỏa mãn khi mà tất cả các miếng của câu đố ghép hình đã tự ghép lại với nhau gần như quá mức mong đợi để tạo cho vũ trụ một mật độ toàn phần chính xác bằng mật độ tới hạn - điều kiện tiên quyết của kịch bản lạm phát -, nhưng vẫn còn một vấn đề cơ bản: tại sao vũ trụ lại được tạo thành từ một hỗn hợp các thành phần đa dạng như thế? Tại sao công thức của nó lại phức tạp đến thế? Tại sao các lượng vật chất thông thường, vật chất ngoại lai và năng lượng tối về đại thể lại so được với nhau (chúng chỉ sai khác nhau tối đa là 18 lần), trong khi chúng có thể sai khác một thừa số  $10^{100}$ , thậm chí còn hơn nữa? Liệu có tồn tại một trật tự nằm sau cái bất trật tự biểu kiến này không? Liệu có các nguyên lý bị che giấu chi phối mớ hỗn tạp không đầu không đuôi này và chúng ta vẫn chưa hề biết không?

### *Kỷ nguyên tiền-sao*

Chúng ta đã thấy rằng vào thời kỳ định mệnh của năm 380.000, sương mù đã tan, vũ trụ trở nên trong suốt hơn, photon của bức xạ hóa thạch từ đó có thể di chuyển một cách tự do và đến Trái đất, hầu như không tương tác với các hạt khác. Ánh sáng của vũ trụ khởi thủy, nóng không thể tưởng tượng nổi ( $10^{32}$  độ ở  $10^{-43}$  giây đầu tiên) lúc ban đầu, sẽ lạnh đi dần dần theo sự giãn nở của nó. Ánh sáng lạnh đi được thể hiện bằng sự giảm năng lượng của các photon của bức xạ hóa thạch. Bức xạ hóa thạch lần lượt trở thành ánh sáng gamma, ánh sáng X, rồi ánh sáng cực tím, tất cả đều không nhìn thấy đối với mắt người. Đối với chúng ta, vũ trụ khi đó cứ như chìm trong bóng tối. Khi đồng hồ vũ trụ điểm 380.000 năm, nhiệt độ của bức xạ hóa thạch chỉ còn 10.000 độ, tức cao hơn nhiệt độ của bề mặt Mặt trời một chút. Ánh sáng của bức xạ hóa thạch trở nên nhìn thấy được. Toàn bộ vũ trụ sáng rõ như ban ngày. Nhưng đó là một thứ ánh sáng khuếch tán tẩm đẫm toàn vũ trụ. Các nguồn sáng định xứ, như các sao và các thiên hà, vẫn chưa xuất hiện. Vào khoảng năm thứ 500.000, nhiệt độ xuống dưới 3000 độ, và ánh sáng của bức xạ hóa thạch chuyển từ nhìn thấy

được sang hồng ngoại. Nó lại trở nên không nhìn thấy được đối với mắt người; vũ trụ lại chìm trong bóng tối.

Chúng ta đã biết rằng kỷ nguyên tiền sao phải kết thúc muộn nhất sau một tỉ năm đầu tiên. Và sở dĩ như vậy là vì các quasar đầu tiên đã xuất hiện trên sân khấu vũ trụ vào thời kỳ này. Quasar là một thiên thể rất đặc biệt, nó phát ra năng lượng bằng từ 10 đến 100.000 Ngân hà trong một thể tích chỉ lớn hơn Hệ Mặt trời một chút. Năng lượng kinh hoàng này được sinh ra trong một thể tích nhỏ như vậy là do thói háu ăn của các lỗ đen siêu nặng bằng hàng tỉ lần khối lượng Mặt trời mà các quasar cư mang ở tâm của chúng, các lỗ đen này ăn tươi nuốt sống các ngôi sao của thiên hà chủ. Các sao và các thiên hà như vậy phải xuất hiện trước quasar đầu tiên, nghĩa là trước rất xa một tỉ năm đầu tiên. Người ta nghĩ rằng vũ trụ đã được xây dựng một cách có thứ bậc, từ cấu trúc bé đến cấu trúc lớn hơn. Như vậy, rất có thể là các sao đã chiếu sáng vũ trụ đầu tiên và đã xua tan bóng tối bao trùm vũ trụ. Sự hình thành các cấu trúc đầu tiên đã để lại những dấu vết trong bức xạ hóa thạch, và một số quan sát bức xạ hóa thạch do WMAP thực hiện đã gợi ý rằng các sao đầu tiên xuất hiện vào khoảng năm 500 triệu. Nhưng các quan sát này rất khó thực hiện và còn cần được khẳng định. Chưa ai biết ngày sinh của các sao đầu tiên, chỉ có một điều chắc là nó sinh trước một tỉ năm đầu tiên.

### *Các sao đầu tiên*

Thời kỳ bao trùm một tỉ năm đầu tiên của vũ trụ cho tới nay vẫn chưa tiếp cận được đối với các kính thiên văn lớn nhất hiện có. Để có một ý niệm về diễn biến của các sự kiện dẫn đến sự ra đời của các sao đầu tiên, chúng ta phải nhờ đến máy tính và ra lệnh cho chúng tạo ra các vũ trụ ảo. Chúng ta phải cung cấp cho máy tính các thành phần khác nhau của vũ trụ (vật chất thông thường, vật chất ngoại lai và năng lượng tối) và các điều kiện ban đầu (tốc độ giãn nở, mật độ...). Rất may, sự hiểu biết bản chất chính xác của vật chất tối ngoại lai và bản chất của năng lượng tối ở đây không đóng vai trò thiết yếu: chỉ cần xác định các tính chất chung của chúng (vật chất tối tương tác rất ít với vật chất thông thường, năng lượng tối tác dụng một lực đẩy) và sự đóng góp của chúng vào mật độ tối hạn (4% đối với vật chất thông thường, 26% đối với vật chất tối ngoại lai, 70% đối với năng lượng tối). Chính các tính chất này chi phối sự giãn nở của vũ trụ và do đó chi phối sự hình thành của các cấu trúc.

Ban đầu, vật chất thông thường được phân bố gần như hoàn toàn đồng nhất. Các hạt giống thiên hà, được phát hiện là các thăng giáng nhiệt độ rất nhỏ của

bức xạ hóa thạch, là những bất thường duy nhất của vũ trụ. Chính lực hấp dẫn, lực sau đó sẽ đóng vai trò chủ thi công công trình, có khả năng làm tăng các bất thường này. Nó phải chiến đấu chống lại sự giãn nở của vũ trụ làm cho các hạt vật chất rời xa nhau và có xu hướng phá hỏng công trình của nó. Như chúng ta đã thấy, trước năm 380.000, vật chất thông thường bị coi như tê liệt. Chỉ có vật chất ngoại lai mới có thể di chuyển qua cánh rừng rậm các electron tự do, vì nó gần như không tương tác với electron. Các hạt giống thiên hà, bằng lực hấp dẫn của chúng, sẽ hút ngày càng nhiều vật chất tối ngoại lai và trở nên ngày càng có mật độ cao và nặng hơn. Các mô phỏng vũ trụ cho thấy, vào khoảng năm thứ 100 triệu, khung cánh vũ trụ trông như một mạng khổng lồ chằng chịt các sợi vật chất tối ngoại lai, một dạng mạng nhện vũ trụ khổng lồ (H. 6 trong tập trong tập ảnh màu). Vật chất tối ngoại lai có mật độ cao nhất tại những giao điểm của các sợi (các nút của mạng nhện vũ trụ). Hình thành ở các khu vực này các kết tụ vật chất tối ngoại lai đạt đến khối lượng bằng 100.000 khối lượng Mặt trời. Lực hấp dẫn của nó hút các đám mây khí hiđrô và hêli sinh ra ở năm thứ 380.000. Các đám mây này có thể di chuyển tự do theo mức độ trong suốt dần của vũ trụ. Các nguyên tử khí va chạm vào nhau và rơi vào các kết tụ vật chất tối và nóng lên đến vài trăm độ Kelvin. Bị kích thích bởi các va chạm này, các phân tử hiđrô hiện diện trong các đám mây khí này bắt đầu phát ra bức xạ hồng ngoại, điều này làm cho chúng lạnh đi còn khoảng 200 độ Kelvin, tức  $-73^{\circ}\text{C}$ . Sự lạnh đi này cho phép khí nén thêm nữa, vì nhiệt độ càng thấp thì chuyển động của các nguyên tử khí càng kém dữ dội, và đám mây khí ít kháng lại sự nén của nó bởi lực hấp dẫn.

Khí bị nén ngày càng nóng lên và phá hủy các phân tử hiđrô. Lượng khí rơi vào các kết tụ vật chất tối lớn đến mức khối lượng khí gấp 70 lần khối lượng Mặt trời sau khoảng 10.000 năm. Mật độ ở tâm của khối khí này lớn hơn mật độ ở vỏ của nó hàng triệu tỉ lần. Quá trình này sẽ tiếp diễn trong vòng hai triệu năm tiếp theo. Khối lượng khí tiếp tục được tích tụ, tạo thành các khối khí tối lớn gấp vài trăm lần khối lượng Mặt trời. Mật độ và nhiệt độ ở tâm của các khối khí này tiếp tục leo thang. Mật độ đạt đến khoảng 10.000 nguyên tử hiđrô trong mỗi centimet khối. Ngưỡng 10 triệu độ nhanh chóng bị vượt qua và các phản ứng hạt nhân bắt đầu khởi phát. Các bầu khí phát sáng: các sao đầu tiên được sinh ra, và kỷ nguyên tiền sao kết thúc.

Những sao đầu tiên nặng hơn rất nhiều các sao hiện nay. Khối lượng của chúng dao động từ 100 đến khoảng 700 lần khối lượng Mặt trời, trong khi các sao thuộc các thế hệ sau có khối lượng nhỏ hơn rất nhiều, bằng khoảng một phần mười đến một trăm lần khối lượng Mặt trời. Sở dĩ như vậy là vì khí

khởi thủy chỉ chứa hiđrô và hêli, chứ không chứa các nguyên tố nặng. Mà các nguyên tố nặng, thông qua bức xạ, lại đóng vai trò rất quan trọng làm cho khí lạnh đi. Chẳng hạn, khí nằm trong Ngân hà nơi có rất nhiều nguyên tố nặng, đã đạt đến nhiệt độ rất thấp,  $-263^{\circ}\text{C}$ . Có rất nhiều phân tử hiđrô trong các đám mây khởi thủy, nhưng các đám mây này không thể làm nhiệt độ của khí xuống dưới  $-73^{\circ}\text{C}$ . Một nhiệt độ cao hơn làm cho các chuyển động mạnh hơn, và như vậy khí phân tán rộng hơn. Để lực hấp dẫn có thể thắng các chuyển động làm phân tán khí này, các đám mây khí co mạnh lại phải nặng hơn. Các sao đầu tiên này không chỉ nặng hơn các sao thế hệ sau, mà còn lớn hơn (bán kính của chúng lớn gấp 10 lần bán kính Mặt trời, tức khoảng 7 triệu kilomet), sáng hơn (sáng hơn Mặt trời từ 1 đến 30 triệu lần) và nóng hơn (nhiệt độ bề mặt của chúng cỡ khoảng 100.000 độ, tức cao hơn nhiệt độ bề mặt của Mặt trời khoảng 17 lần).

Sự ra đời thế hệ sao đầu tiên có những hậu quả quan trọng đối với sự tiến hóa sau đó của vũ trụ. Các sao đầu tiên nặng, nóng và sáng này đã phát ra những lượng khổng lồ ánh sáng cực tím giàu năng lượng. Ánh sáng này tương tác với các nguyên tử hiđrô và hêli của các đám mây khí dùng làm kén cho các sao trẻ, hoặc với các nguyên tử hiđrô và hêli của những đám mây không bị bắt bởi lực hấp dẫn của các sợi vật chất tối ngoại lai, làm giải phóng các electron bị cầm tù từ năm 380.000 trong các nguyên tử của chúng (người ta nói rằng các nguyên tử này bị ion hóa<sup>1</sup>). Lực điện từ hút giữa các hạt điện tích trái dấu đã thúc đẩy electron tái hợp với proton để tạo thành các nguyên tử hiđrô. Quá trình này đi liền với sự phát ra ánh sáng nhìn thấy được. Vũ trụ, cho tới trước đó vẫn hoàn toàn chìm trong bóng tối (bức xạ hóa thạch trở nên không nhìn thấy được vì đã bị biến thành hồng ngoại), giờ đã được chiếu sáng ở khắp nơi giống như một màn pháo hoa vũ trụ khổng lồ (H. 9 trong tập ảnh màu).

### *Các nguyên tố nặng đầu tiên*

Các sao đầu tiên sẽ đóng vai trò căn bản trong sự tiến hóa của vũ trụ. Chính ở trong tâm chúng và nhờ lò luyện hạt nhân của chúng sẽ xuất hiện lần đầu tiên trên thế giới hạt nhân của các nguyên tố nặng (nặng hơn hêli) như hạt nhân carbon, oxy, nitơ hay sắt. Các sao sẽ thành công ở chỗ mà vũ trụ cho tới lúc đó đã thất bại một cách thảm hại: chế tạo ra các nguyên tố phức tạp. Thực tế, chúng ta thấy lại ở tâm của các sao những điều kiện của vũ trụ khởi thủy:

<sup>1</sup> Các nhà thiên văn gọi thời kỳ sinh ra các sao đầu tiên này là “thời kỳ tái ion hóa”, nhấn mạnh việc electron một lần nữa được tự do, như chúng đã từng được tự do trước năm 380.000.

một mật độ rất lớn tạo điều kiện thuận lợi cho những viên gạch cơ bản của các hạt nhân nguyên tử (notron và proton) gặp nhau, và các nhiệt độ cực cao (hơn 600 triệu độ) làm cho các hạt này chuyển động mãnh liệt cho phép proton thắng được lực điện từ có xu hướng ngăn cản chúng hợp nhất với các hạt nhân nguyên tử tích điện dương. Nhưng vẫn còn một khác biệt căn bản giữa tâm của các sao so với vũ trụ khởi thủy: trong khi vũ trụ giãn nở loãng đi không thể cưỡng nổi, và do đó làm giảm cơ hội gặp gỡ của các hạt và làm chậm lại sự tổng hợp hạt nhân, thì tâm của các sao không bị loãng đi như vậy. Ngược lại, nó sẽ ngày càng bị nén chặt hơn dưới tác dụng của lực hấp dẫn. Vì thế sao có thể bình thản thực hiện công việc luyện hạt nhân của mình trong vài triệu năm đầu tiên thay vì vài phút mà vũ trụ khởi thủy có. Trong vòng vài triệu năm đã xuất hiện hơn hai chục nguyên tố hóa học với các hạt nhân ngày càng nặng hơn, từ carbon cho đến sắt<sup>1</sup>. Lò luyện hạt nhân ở tâm của các sao nặng và nóng dừng lại ở sắt, vì hạt nhân của sắt, được tạo thành từ 26 proton và 30 notron, là bền vững nhất trong tất cả các nguyên tố. Nó không thể tổng hợp thêm được nữa nếu không có thêm năng lượng, và do thiếu năng lượng, nên sao không thể thỏa mãn được điều đó.

So với lịch sử vũ trụ, lò luyện hạt nhân này chỉ kéo dài như một ngọn lửa rom. Sau khoảng 6 triệu năm, các sao nhẹ nhất, có khối lượng khoảng từ 100 đến 250 lần khối lượng Mặt trời, sẽ kết thúc cuộc đời trong các vụ nổ kinh hoàng gọi là sao siêu mới, làm cho chúng còn lại nhỏ xíu. Có rất ít hy vọng để ánh sáng của các sao siêu mới này có thể được nhìn thấy trực tiếp: chúng ở xa tới mức ánh sáng của chúng đến Trái đất yếu đến nỗi tất cả các kính thiên văn lớn nhất mà chúng ta hiện có đều không nhìn được. Nhưng vật chất mà chúng phát ra với các vận tốc gần bằng vận tốc của ánh sáng dưới dạng hai tia đối nhau có thể sinh ra một chớp sáng gamma, thậm chí còn sáng hơn cả chính sao siêu mới. Có thể chính các chớp sáng gamma này sẽ cho phép chúng ta nghiên cứu trực tiếp sự ra đời thế hệ sao đầu tiên và sự kết thúc của kỷ nguyên tiền sao.

Mặc dù các sao đầu tiên không nhiều, nhưng chúng đóng vai trò quyết định trong sự tiến hóa vũ trụ vì chúng để lại các dấu ấn rõ nét trong tất cả các cấu trúc của vũ trụ trong tương lai. Cái chết bùng nổ của chúng đóng một vai trò cơ bản, đó là vai trò gieo vào không gian các nguyên tố nặng. Lần đầu tiên trong lịch sử vũ trụ, các nguyên tử carbon, nitơ, oxy..., hòa trộn với các nguyên tử hiđrô và hêli của các đám mây khí sinh ra trong những phần giây đầu tiên

<sup>1</sup> Để biết thêm chi tiết về lò luyện hạt nhân của các sao, xem Trịnh Xuân Thuận, *Giai điệu bí ẩn - Và con người đã tạo ra vũ trụ*, Bản dịch của Phạm Văn Thiều, Nxb Khoa học và Kỹ thuật, 2001.

của vũ trụ. Khi lực hấp dẫn làm co mạnh các đám mây này để cho ra đời một thể hệ sao thứ hai, thì các nguyên tố nặng này sẽ làm cho khí lạnh đi còn hiệu quả hơn rất nhiều so với các phân tử hiđrô. Nhiệt độ của nó có thể giảm xuống tới  $-263^{\circ}\text{C}$ , thay vì chỉ  $-73^{\circ}\text{C}$ . Chính vì thế mà tạo ra các sao nhẹ hơn, mờ hơn và ít nóng hơn, giống như các sao của dải Ngân hà và các thiên hà khác, trong đó thiên hà nặng nhất cũng không vượt quá một trăm lần khối lượng Mặt trời.

Những cơn hấp hối bùng nổ này của sao hoàn thành nhiệm vụ thứ hai: ngoài các kết tụ vật chất tối ngoại lai, chúng còn phát tán vào không gian toàn bộ khí khỏi thủy chưa được dùng để chế tạo các sao đầu tiên, và như vậy ngăn cản sự hình thành của các sao nặng khác. Khối lượng khí được phóng ra là khoảng 100.000 khối lượng Mặt trời đối với mỗi sao siêu mới. Tổng cộng, chỉ có một phần nghìn số nguyên tử hiđrô có mặt trong mỗi sao thuộc thể hệ đầu tiên. Để có thể ra đời, các thể hệ sao tiếp theo sẽ phải chờ tự nhiên tạo ra các khu vực thuận lợi hơn, các hệ lớn hơn và nặng hơn, kháng cự tốt hơn hành động phá hủy của các vụ nổ sao. Lực hấp dẫn mạnh hơn của chúng sẽ giữ tốt hơn khí cần thiết cho sự chế tạo các sao tương lai. Đó sẽ là các thiên hà lần đầu tiên.

### *Các lỗ đen siêu nặng*

Còn về các sao nặng nhất của thể hệ thứ nhất, các sao bằng 250-700 lần khối lượng Mặt trời, chúng không nổ vào cuối đời, mà co mạnh lại dưới tác dụng của lực hấp dẫn khổng lồ của chúng để trở thành các lỗ đen, các đối tượng có lực hấp dẫn lớn đến mức ánh sáng cũng không thể thoát được ra khỏi nó.

Lực hấp dẫn sẽ tiếp tục sự nghiệp của nó. Nó tiếp tục kết tụ vật chất tối ngoại lai thành một mạng khổng lồ phức tạp của các sợi. Ở thang lớn, khung cảnh của vũ trụ dần dần có dáng dấp một tấm vải vũ trụ khổng lồ giống như vũ trụ quan sát được ngày nay, chỉ có một điểm khác là tấm vải này không được dệt từ vật chất sáng, mà từ vật chất tối (H. 6 trong tập ảnh màu). Các đám mây khí hiđrô và hêli, được nhận một ít nguyên tố nặng do lò luyện hạt nhân của các sao đầu tiên chế tạo ra, bị lực hấp dẫn hút về phía các vùng có mật độ cao nhất của tấm vải. Chúng tập hợp lại ở tâm của các kết tụ vật chất tối, tạo thành các phôi thiên hà nặng cỡ một triệu lần khối lượng Mặt trời. Trong các phôi thiên hà này, có các khu vực ở đó khí có mật độ cao hơn một chút; lực hấp dẫn còn nén các vùng này thêm nữa. Khí bị nén sẽ nóng lên. Ngưỡng 10 triệu độ nhanh chóng bị vượt qua và các phản ứng hạt nhân được khởi phát: các sao của thể hệ thứ hai ra đời. Các phôi thiên hà phát sáng. Trong mỗi phôi, vật chất sáng nằm ở tâm, xung quanh là một quầng vật chất tối. Các sao của

thể hệ thứ hai có mật độ thấp hơn, khối lượng của chúng bằng từ 0,1 đến 100 lần khối lượng Mặt trời. Sở dĩ như vậy là vì bức xạ của các nguyên tử của các nguyên tố nặng làm lạnh khí một cách hiệu quả hơn, cho phép lực hấp dẫn nén nó dễ hơn, làm cho nhiệt độ ở tâm của các phôi sao có thể đạt đến ngưỡng định mệnh mười triệu độ - nhiệt độ cần thiết để khởi phát các phản ứng hạt nhân - với một khối lượng khí nhỏ hơn. Các sao nặng nhất (các sao có khối lượng lớn hơn khối lượng Mặt trời 25 lần và một lõi lớn hơn khối lượng Mặt trời ba lần) sẽ bức xạ rất mạnh theo kiểu đốt nén hai đầu, và sau vài triệu năm, sẽ cạn kiệt nhiên liệu và suy sụp thành lỗ đen.

Lực hấp dẫn tiếp tục nhiệm vụ của nó. Nó xây dựng các cấu trúc của vũ trụ theo một quá trình có “thứ bậc”, gắn kết các cấu trúc nhỏ lại với nhau để tạo thành các cấu trúc lớn hơn. Nó hợp nhất hàng nghìn phôi thiên hà thành các hệ lớn hơn vài tỉ lần khối lượng Mặt trời, khối lượng của các thiên hà lớn nhất. Mỗi khi xảy ra sự hợp nhất hai phôi thiên hà, sự va chạm sinh ra từ đó sẽ nén khí chưa được chuyển hóa thành sao, gây ra các đợt hình thành sao mới. Sau đó đến lượt các thiên hà lớn gắn kết với nhau thành các thiên hà bằng vài trăm tỉ khối lượng Mặt trời, tức các thành phố sao trang trí vũ trụ hiện nay. Một lần nữa, mỗi một hợp nhất lại được chào đón bởi sự ra đời của các sao mới. Người ta nghĩ rằng hơn một nửa các sao của vũ trụ quan sát được được sinh ra từ những lần hợp nhất này. Bởi vì mỗi một phôi chứa các lỗ đen từ vài chục đến vài trăm lần khối lượng Mặt trời sinh ra từ cái chết của các sao nặng, nên sự hợp nhất liên tục của chúng cũng kéo theo sự hợp nhất các lỗ đen để cho ra đời một lỗ đen còn nặng hơn nữa. Khối lượng của lỗ đen này bằng tổng khối lượng của các lỗ đen bị hợp nhất cộng lại vì thế sẽ không ngừng tăng lên.

Đến một tỉ năm đầu tiên, một số thiên hà đã chứa trong tâm chúng một lỗ đen có khối lượng bằng một tỉ lần khối lượng Mặt trời. Lỗ đen siêu nặng này sẽ tàn phá quần thể sao của thiên hà chủ. Bằng lực hấp dẫn khổng lồ của mình, nó sẽ đớp các sao dám bén mảng đến gần bán kính không thể quay lui của nó (được gọi như vậy là vì, một khi vượt qua bán kính này, cả vật chất lẫn ánh sáng đều không thể thoát ra được nữa). Bán kính không thể quay lui của một lỗ đen bằng một tỉ lần khối lượng Mặt trời là 3 tỉ kilomet, tức khoảng hai mươi lần khoảng cách Trái đất-Mặt trời<sup>1</sup>. Các lực hấp dẫn của lỗ đen kéo các sao sơ suất đến gần nó thành sợi mì ống và xé rách chúng. Các khối khí sao bắt nguồn từ đó rơi theo hình xoắn ốc về phía lỗ đen và phân bố thành đĩa dẹt mà

<sup>1</sup> Bán kính không thể quay lui của lỗ đen tỉ lệ với khối lượng của nó. Chẳng hạn, bán kính không thể quay lui của một lỗ đen bằng khối lượng Mặt trời là 3 km; bán kính không thể quay lui của một lỗ đen có khối lượng bằng 100 lần khối lượng Mặt trời là 300 km.

mép trong của nó nằm ngay ngoài bán kính không thể quay lui của lỗ đen. Bị lực hấp dẫn khổng lồ của lỗ đen hút, khí ở gần mép trong cùng của đĩa sẽ rơi hết tốc lực vào cái miệng há hốc của nó. Khí nóng lên và bức xạ mạnh trước khi vượt qua bán kính không thể quay lui và biến mất vĩnh viễn trong tâm của lỗ đen. Độ sáng khi đó có thể gấp từ 10 đến 100.000 lần độ sáng của Ngân hà, bằng độ sáng của một nghìn tỉ đến mười triệu tỉ Mặt trời cộng lại! Một sự kiện còn đáng chú ý hơn, năng lượng kinh hoàng này bị tập trung trong một vùng chỉ rộng hơn Hệ Mặt trời của chúng ta một chút! Kích thước của nguồn sáng này nhỏ và khoảng cách của nó lớn tới mức (chúng ta nhớ lại rằng nhìn sớm nghĩa là nhìn xa: ánh sáng của quasar xa xôi nhất nhìn thấy được đã mất 13 tỉ năm, tức 93% tuổi của vũ trụ, để đến được chúng ta) từ Trái đất của chúng ta, trông nó như một nguồn sáng điểm, giống một ngôi sao. Chính vì thế người ta gọi các thiên hà đầu tiên này là các "quasar", viết gọn lại của từ *quasi-stars* của tiếng Anh, nghĩa là "chuẩn tinh" (tức giống như sao). Còn thiên hà chủ thì sáng tương đối yếu, tới mức chỉ nhìn thấy nó mờ mờ, mất hút trong ánh sáng chói lòa của quasar.

### *Thói hấu ăn của các quasar*

Năng lượng kinh hoàng của các quasar như vậy bắt nguồn từ các sao bị các lỗ đen siêu nặng nằm ở tâm của chúng ăn sống nuốt tươi. Để duy trì độ sáng của chúng, cần phải liên tục thỏa mãn thói hấu ăn của các con quỷ dữ này. Đối với các quasar sáng nhất (có độ sáng bằng 100.000 Ngân hà), cần phải cung cấp cho lỗ đen siêu nặng (có khối lượng gấp một tỉ lần khối lượng Mặt trời) ở tâm của chúng mỗi năm khoảng một nghìn ngôi sao có khối lượng bằng Mặt trời, tức mỗi tháng khoảng 80 ngôi sao loại này. Vấn đề ở đây không phải là nhu cầu thức ăn quá lớn, vì hiệu suất của sự chuyển hóa vật chất của một sao thành năng lượng là từ 10-20%, cao hơn rất nhiều hiệu suất của các phản ứng hạt nhân, chỉ là 0,7%. Tuy nhiên, dự trữ sao để cung cấp cho lỗ đen không phải là vô hạn. Nếu lỗ đen đã được nuôi dưỡng theo chế độ trên trong mười ba tỉ năm gần đây nhất của vũ trụ, thì nó sẽ tiêu thụ 13 000 tỉ Mặt trời, tức gấp 10 đến 100 lần số lượng sao có trong một thiên hà bình thường. Điều này cũng có nghĩa là một quasar không thể sáng mãi mãi bằng tất cả ngọn lửa của nó. Thực tế, nó chỉ trải qua một pha sáng mạnh tương đối ngắn, cỡ vài chục đến vài trăm triệu năm. Vì có tính hấu ăn vô độ nên lỗ đen ngẫu nhiên tất cả các sao quanh nó, tạo ra các khoảng trống và như vậy tự cắt dần khỏi mọi nguồn thức ăn. Không có nguồn thức ăn, quasar sẽ giảm độ sáng và tắt. Cuối cùng, thiên hà chủ cùng với một lỗ đen siêu nặng ở tâm của nó hoàn toàn không hoạt động.

Sinh ra trước khi kết thúc một tỉ năm đầu tiên, quần thể các quasar đã đạt đến thời kỳ hoàng kim vào khoảng cuối một tỉ năm thứ hai, để rồi sau đó suy tàn. Ngày nay, sau 13 tỉ năm, nó gần như đã chết hết do thiếu thức ăn. Điều này không có nghĩa là các quasar đã chịu chết hẳn mà đôi khi chúng bùng lên một cách đầy kiêu hãnh. thỉnh thoảng, thiên hà chủ có thể va chạm và hợp nhất với một thiên hà khác, cung cấp khí và sao để thỏa mãn thói háu ăn của lỗ đen trong tâm nó. Trong khoảng vài chục triệu năm, quasar khôi phục được độ sáng và vẻ lộng lẫy xưa kia của nó. Nhưng, sau hai tỉ năm đầu tiên, những lần bùng phát trở lại này ngày càng thưa thớt dần, ngày càng cách xa nhau trong thời gian, bởi vì sự giãn nở của vũ trụ làm cho các thiên hà ngày càng rời xa nhau và do đó chúng không còn nhiều cơ hội va chạm vào nhau, hợp nhất và thổi bùng lên các quasar đã tắt.

### *Cuộc diễu hành của các nguồn sáng trong vũ trụ*

Nếu các quasar đứng đầu danh sách các nguồn sáng nội tại của vũ trụ, thì các thiên hà “có nhân hoạt tính”, hay các thiên hà “hoạt tính”, đứng kế ngay sau nó<sup>1</sup>. Chúng cũng phát ra một năng lượng kinh hoàng dưới dạng bức xạ nhìn thấy được, bức xạ vô tuyến và bức xạ hồng ngoại, tập trung trong một vùng trung tâm rất đặc và nhỏ gọi là “nhân”. Nhân của một thiên hà hoạt tính sáng hơn toàn bộ phần còn lại của thiên hà. Độ sáng của nó gấp khoảng 10.000 lần độ sáng của vùng trung tâm của Ngân hà. Nhân của các thiên hà hoạt tính nhất phát ra lượng năng lượng bằng mười Ngân hà cộng lại. Để giải thích nguồn gốc của một năng lượng lớn như thế phát ra từ một thể tích nhỏ như thế, một lần nữa chúng ta phải cần sự giúp đỡ của các lỗ đen. Cũng giống như các quasar, chính thói háu ăn của các lỗ đen siêu nặng là nguyên nhân làm cho độ sáng của các thiên hà hoạt tính trở nên lớn như vậy. Tuy nhiên, nhu cầu thức ăn để cung cấp lửa cho các thiên hà hoạt tính thấp hơn so với các quasar: từ một đến mười lần khối lượng Mặt trời mỗi năm dưới dạng khí giữa các vì sao hay các sao bị xé rách là đủ. Các thiên hà hoạt tính sáng yếu hơn có thể vì hai lý do: hoặc là các lỗ đen trong lòng chúng nhẹ hơn (nhẹ hơn Mặt trời từ 10 đến 100 triệu lần, trong khi các lỗ đen nằm trong tâm của các quasar nặng hơn Mặt trời một tỉ lần) và chúng cũng ít háu ăn hơn, hoặc là các thiên hà hoạt tính là các thiên hà chứa quasar đang ở phía dốc bên kia của sự tiến hóa, khi lỗ

<sup>1</sup> Các thiên hà có nhân hoạt tính còn được gọi là “thiên hà Seyfert” để vinh danh nhà thiên văn người Mỹ, Carl Seyfert đã phát hiện ra chúng năm 1943.

đen đã ngốn rất nhiều sao của thiên hà chủ và dự trữ thức ăn của nó gần như đã cạn kiệt. Trong trường hợp này, các lỗ đen lang thang trong vùng tâm của các thiên hà hoạt tính cũng nặng như các lỗ đen của quasar, chỉ khác là chúng không còn có thể đánh chén thỏa thích nữa.

Trong cuộc diễu hành của các nguồn sáng, sau quasar và các thiên hà hoạt tính là các thiên hà thường, như Ngân hà của chúng ta. Các thiên hà thường sáng hơn Mặt trời hàng trăm tỉ, thậm chí hàng nghìn tỉ lần. Chúng cũng sinh ra từ sự hợp nhất các thiên hà lùn, mỗi thiên hà kèm theo các đợt hình thành rất nhiều sao. Chúng cũng chứa trong tâm của mình các lỗ đen, nhưng nhỏ hơn rất nhiều và ít háu ăn hơn rất nhiều. Chẳng hạn, trong tâm Ngân hà của chúng ta có một lỗ đen bằng ba triệu lần khối lượng Mặt trời. Thói háu ăn của lỗ đen này làm cho thiên hà phát ra một lượng rất lớn bức xạ, từ các tia gamma, ánh sáng nhìn thấy được, hồng ngoại, cho đến sóng vô tuyến với tổng năng lượng bằng hơn một triệu lần năng lượng của Mặt trời (nhưng thấp hơn năng lượng do nhân của một thiên hà hoạt tính phát ra 10.000 lần) trong một vùng chỉ bằng một phần ba kích thước của Hệ Mặt trời của chúng ta.

Các nhà vật lý thiên văn cũng đã tìm thấy các lỗ đen siêu nặng cỡ một tỉ lần khối lượng Mặt trời trong các thiên hà bình thường, như thiên hà hàng xóm Andromède của chúng ta. Sự hiện diện của các lỗ đen nặng như vậy trong các thiên hà bình thường gợi ý rằng các thiên hà này là hậu duệ của các thiên hà chứa quasar. Chúng đã mất độ sáng xưa kia của tổ tiên chúng và đã mờ đi hàng chục, thậm chí hàng trăm nghìn lần, vì chúng không có đủ sao để thỏa mãn thói háu ăn của các con quỷ dữ lỗ đen trong lòng chúng. Ngược lại, Ngân hà của chúng ta, với lỗ đen tương đối khiêm tốn, cỡ gấp ba lần khối lượng Mặt trời, chắc chắn không phải là hậu duệ của một thiên hà chứa quasar.

### *Các quần thể thiên hà*

Bởi vì mật độ của khí trong các phôi thiên hà không như nhau, nên quần thể của các thiên hà thường rất đa dạng. Thật vậy, chính mật độ của khí trong phôi thiên hà quyết định hiệu quả của sự chuyển hóa dự trữ khí thành sao. Đối với các phôi thiên hà có mật độ cao nhất, lực hấp dẫn dễ dàng nén khí. Khí này nóng lên và vượt qua ngưỡng 10 triệu độ, khởi phát các phản ứng hạt nhân và tổng hợp hiđrô thành hêli. Các khối khí phát sáng khắp nơi trong phôi và trở thành sao. Quá trình chuyển hóa diễn ra hiệu quả tới mức toàn bộ khí sẵn có được chuyển hóa thành sao trong một khoảng thời gian tương đối ngắn, khoảng vài trăm triệu cho đến một tỉ năm. Khi đó sẽ không còn khí nữa để tạo thành các thế hệ sao tương lai. Các sao được hình thành phân bố trong một thể tích hình elipxôit hơi dẹt, và vì thế người ta gọi các thiên hà này là thiên hà “elip” (H. 10 trong tập ảnh màu).

Đối với các phôi khác loãng hơn, sự chuyển hóa khí thành sao kém hiệu quả hơn; chúng chỉ chuyển hóa khoảng bốn phần năm khí của chúng thành sao. Các sao này cũng phân bố trong một quần thể có hình elipxôit. Khí còn lại phân bố thành một đĩa dẹt bên trong quần thể elipxôit này; ở đó nó tiếp tục được chuyển hóa thành sao chậm hơn trong hàng tỉ năm sau. Chính các thế hệ sao tương lai này sẽ tạo ra các cấu trúc lõng lầy hình xoắn ốc làm chúng ta ngỡ ngàng và làm cho các thiên hà này có tên là “thiên hà xoắn ốc” (H. 11 trong tập ảnh màu).

Cuối cùng, các phôi có mật độ thấp nhất và nhỏ nhất chỉ chuyển hóa một phần rất nhỏ (một nửa, thậm chí ít hơn) khí của chúng thành sao. Chính các thiên hà lùn (được gọi như thế bởi vì kích thước của chúng, từ 10.000 đến 20.000 năm ánh sáng, nhỏ hơn kích thước của một thiên hà bình thường khoảng từ năm đến mười lần), không có hình dạng cụ thể, có thể là đĩa hoặc quần thể elipxôit; người ta còn gọi chúng là các “thiên hà xù xì” (H. 8 trong tập ảnh màu). Do có độ sáng và khối lượng bằng từ vài triệu đến vài tỉ Mặt trời – do đó chúng nhỏ hơn và mờ hơn Ngân hà của chúng ta từ hàng trăm đến hàng trăm nghìn lần -, nên các thiên hà này thuộc loại nhẹ nhất và mờ nhất của vũ trụ. Tuy các thiên hà lùn này không đóng góp nhiều vào ánh sáng thiên hà của vũ trụ, nhưng chúng lại vượt trội trong quần thể các thiên hà về số lượng. Chẳng hạn, nếu Ngân hà, Andromède và Messier 33, cả ba đều là thiên hà xoắn ốc, vượt trội trong Cụm địa phương về khối lượng và độ sáng (Messier 33 nhỏ hơn hai thiên hà kia) thì ngược lại chúng chỉ là ba thiên hà bình thường trong một bầu đoàn gồm khoảng ba chục thiên hà lùn.

Như chúng ta đã thấy, các thiên hà lùn này đóng một vai trò cực kỳ quan

trọng trong quá trình tạo dựng các cấu trúc của vũ trụ, có thể nói chúng là các viên gạch cơ bản. Chính chúng kết tụ lại với nhau và cho ra đời các thiên hà trong tấm vải vũ trụ. Quá trình kết tụ diễn ra trong suốt quá khứ của vũ trụ và đến nay vẫn còn tiếp diễn. Chẳng hạn, trong quá khứ, Ngân hà đã từng “ăn thịt” nhiều thiên hà lùn. Trong hai đến ba tỉ năm nữa, các Đám mây Magellan sẽ rơi vào trong cái miệng háu ăn của nó, hợp nhất với nó và sẽ không còn trang trí cho bầu trời phía nam nữa<sup>1</sup>.

### *Ánh sáng và bóng tối*

Ban đêm, khi bạn bay bên trên Trái đất và nhìn qua cửa máy bay, bạn sẽ thấy ánh sáng của các thành phố lớn rải rác đây đó trên các lục địa. Phần còn lại chìm trong màn đêm đen như mực và bạn không nhìn thấy gì hết. Bạn sẽ không nhận ra được hình hài của các lục địa, cũng không thể nhìn thấy các cánh đồng xanh tươi, các ngọn núi phủ đầy tuyết, các sa mạc khô cằn: hình dung của bạn về Trái đất khi đó rất dễ sai lầm. Đó cũng chính là cảnh ngộ của nhà thiên văn. Vật chất phát sáng trong các sao và các thiên hà chỉ chiếm 0,5 tổng lượng vật chất và năng lượng của vũ trụ. Vật chất cấu thành nên chúng ta chỉ chiếm 4%. Toàn bộ phần còn lại chúng ta hoàn toàn chưa biết. Con người biết rằng vật chất tối ngoại lai phải tồn tại, do các hiệu ứng mà nó tác động lên chuyển động của các sao và thiên hà, và rằng toàn bộ không gian vũ trụ được tắm trong một năng lượng tối huyền bí khi mà sự giãn nở của vũ trụ nhanh lên thay vì chậm lại. Nhưng nhà thiên văn không thể nhìn trực tiếp các quầng vật chất tối bao quanh các thiên hà, cũng không thể thấy các cấu trúc dạng sợi vật chất tối trải trên hàng trăm tỉ năm ánh sáng và vẽ nên sự phân bố vật chất ở thang lớn của vũ trụ. Các thiên hà dẹt lên tấm vải vũ trụ khổng lồ chỉ cho chúng ta một cái nhìn rất không đầy đủ về thực tại.

Vật chất sáng của vũ trụ mà chúng ta thấy chỉ như phần nổi nhỏ bé của một tảng băng chìm. Nhưng giữa một tảng băng chìm và vũ trụ có một sự khác biệt vô cùng lớn: chúng ta biết rằng phần chìm của tảng băng cũng là băng, trong khi bản chất của vật chất tối ngoại lai và bản chất của năng lượng tối vẫn là một câu đố chưa có lời giải và là một thách thức lớn đối với trí tuệ con người.

---

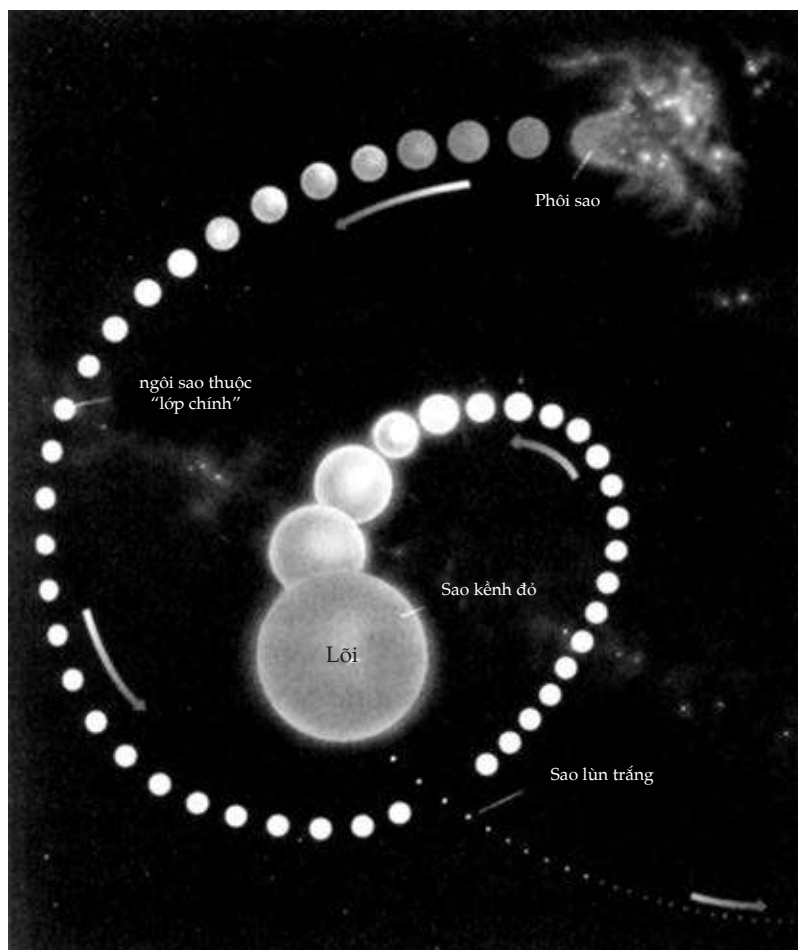
<sup>1</sup> Để biết chi tiết về thói háu ăn của thiên hà và các quần thể khác nhau các thiên hà, xem Trịnh Xuân Thuận, *Nguồn gốc - Nỗi hoài niệm về những thuở ban đầu*, Phạm Văn Thiều và Ngô Vũ dịch, NXB Trẻ, 2006.

Bóng và bóng tối là mặt trái tất yếu của tấm huy chương ánh sáng. Bóng tối cũng là bạn đồng hành không thể tách rời của ánh sáng. Bóng tối và ánh sáng như Âm và Dương, hai thái cực của vũ trụ Trung Hoa. Bóng tối là Âm, tối, lạnh và ẩm; ánh sáng là Dương, sáng, nóng và khô. Chúng ta không thể hiểu cái phát sáng mà không biết bản chất của bóng tối. Nghiên cứu bóng tối thường là chìa khóa dẫn đến những tiến bộ rực rỡ trong lịch sử khoa học. Nó đã hơn một lần rồi... một ánh sáng mới về bản chất của các sự vật! Một trong những ví dụ nổi tiếng nhất là việc đo kích thước Trái đất của nhà thiên văn và toán học người Hy Lạp, Eratosthene (276-194 tr. CN). Eratosthene đã nhận thấy rằng ở Syène (nay là Aswan), Ai Cập, vào giữa trưa, các tia nắng Mặt trời chiếu thẳng đứng và các vật không có bóng, trong khi ở Alexandrie, cách Syène 780 km về phía Bắc, chúng tạo ra bóng có góc 7,2 độ so với pháp tuyến. Điều này khiến cho Eratosthene đi tới kết luận rằng Trái Đất không thể là phẳng, mà là tròn. Bằng một phép tính lượng giác đơn giản ông đã tính được bán kính Trái đất. Giá trị mà ông thu được cách đây hơn hai mươi thế kỷ chỉ chênh 1% so với giá trị hiện đại (6.378 km) do các vệ tinh trên quỹ đạo quanh Trái đất đo được. Một kết quả thật tuyệt vời! Cũng giống như Eratosthene đo được kích thước của Trái đất bằng cách đo bóng phủ trên một vùng nhỏ của hành tinh, nhà vật lý thiên văn đã giải mã được lịch sử hình thành các thiên hà và tiên đoán tương lai của vũ trụ thông qua việc tìm hiểu bản chất bóng tối của vũ trụ.

### *Sao siêu kênh xanh, sao kênh và sao lùn đỏ*

Để không bị sự giãn nở của mình làm cho loãng và lạnh đi liên tục, vũ trụ đã sáng tạo ra các thiên hà. Hàng trăm tỉ ngôi sao cấu thành nên các thiên hà được gắn kết bởi lực hấp dẫn không tham gia vào quá trình giãn nở này. Là các ốc đảo nhiệt và năng lượng trong mênh mông băng giá của vũ trụ, các thiên hà có mật độ cao hơn không gian vũ trụ khoảng một triệu lần. Chúng tạo thành một vườn ươm lý tưởng ở đó các sao có thể được hình thành và tiến hóa. Hàng tỉ ngôi sao đã ra đời, sống và tàn lụi từ khi Ngân hà của chúng ta ra đời cách đây hơn chục tỉ năm. Chúng ta không nhận thấy rõ ràng tính không trường cửu của các ngôi sao khi ngắm nhìn bầu trời quang vào ban đêm, vì các tấn kịch của sao không diễn ra ở thang thời gian của một đời người, mà trong các khoảng thời gian hàng triệu, thậm chí hàng tỉ năm.

Không gian giữa các sao, trong đĩa của một thiên hà xoắn như Ngân hà, không trống rỗng. Nó chứa vật chất giữa các sao mà mắt thường không nhìn thấy được. Nhiệt độ trung bình của môi trường giữa các vì sao rất thấp (cỡ



Hình 44. Sự ra đời, cuộc sống và cái chết của Mặt trời. Hình này cho thấy sự tiến hóa theo thời gian của Mặt trời (hướng thời gian được chỉ bằng mũi tên). Mặt trời sinh ra như một phôi sao, cách đây 4,55 tỉ năm, từ sự co mạnh lại của một đám mây khí giữa các vì sao. Ngay khi Mặt trời bắt đầu tổng hợp hiđrô thành hêli trong lõi của nó, nó trở thành một sao thuộc "lớp chính" và hiện nay nó vẫn như vậy. Pha này sẽ tiếp diễn trong phần lớn cuộc đời của Mặt trời. Trong khoảng 4,5 tỉ năm nữa, Mặt trời sẽ cạn kiệt nhiên liệu hiđrô trong lõi của mình và bắt đầu sử dụng nguồn dự trữ hiđrô trong lớp bao quanh lõi. Lớp vỏ bọc sẽ phồng lên khoảng một trăm lần kích thước hiện nay và Mặt trời sẽ trở thành một sao kênh đỏ. Khi hiđrô bị cạn kiệt, nó sẽ bắt đầu sử dụng nguồn dự trữ nhiên liệu hêli. Giai đoạn sao kênh đỏ sẽ rất ngắn. Sau khoảng 500 triệu năm, do cạn kiệt nhiên liệu nên sao kênh đỏ sẽ suy sụp dưới tác dụng của lực hấp dẫn của chính nó để trở thành một sao lùn trắng có kích thước bằng Trái đất: đó chính là cái chết của Mặt trời. Sao lùn trắng sẽ tiếp tục bức xạ yếu ớt trong nhiều tỉ năm nữa. Bức xạ này không đến từ các phản ứng hạt nhân mà từ nhiệt bị cầm tù trong lõi nó trong khi xảy ra sự tổng hợp hạt nhân. Cuối cùng, khi nguồn dự trữ nhiệt cạn kiệt, sao lùn trắng sẽ trở thành một sao lùn đen không nhìn thấy được và sẽ gia nhập hàng ngũ vô số các xác sao nằm rải rác trong thiên hà.

-173<sup>0</sup>C), nhưng cũng chưa thấm vào đâu so với nhiệt độ của không gian giữa các thiên hà (-270<sup>0</sup>C). Mật độ trung bình của nó cũng vô vùng thấp: thấp hơn mật độ của các sao và các hành tinh hàng triệu tỉ lần. Không gian giữa các vì sao chân không hơn tất cả mọi chân không mà con người có thể tạo ra trên Trái đất. Tuy nhiên, chân không gần như hoàn toàn này đóng một vai trò sống còn trong sinh thái các thiên hà, và sở dĩ như vậy là vì nhiều lý do. Một mặt, khoảng cách mênh mông của môi trường giữa các vì sao (một thiên hà trải rộng trên một trăm nghìn năm ánh sáng) làm cho tổng khối lượng vật chất giữa các sao cũng lớn gần bằng tổng khối lượng vật chất nằm trong các sao. Mặt khác, không gian giữa các sao này là môi trường lý tưởng cho vật chất được tái sử dụng từ thế hệ sao này sang thế hệ sao khác. Chẳng hạn, các sao nặng đã trút các mảnh vỡ của chúng vào đây, làm phong phú thêm các nguyên tố hóa học nặng được chế tạo trong suốt cuộc đời và trong con hấp hối bùng nổ của chúng. Cũng chính tại đây các mảnh sao bị phân rã kết tụ lại với nhau nhờ tác dụng của lực hấp dẫn để cho ra đời một thế hệ sao mới.

Trên thực tế, vũ trụ liên tục tự làm mới mình. Các sao trẻ sinh ra mọi lúc ở đây đó trong vũ trụ. Khắp nơi trong vũ trụ sinh ra cả bầy các ngôi sao sơ sinh tiếp sức cho thế hệ cha anh để chiếu sáng bóng tối giá lạnh của không gian. Khi trưởng thành, các sao này sẽ tạo ra năng lượng và ánh sáng bằng cách tổng hợp hiđrô thành hêli. Chúng tạo thành phần lớn các nguồn sáng điểm trong vũ trụ. Các nhà thiên văn gọi chúng là các sao thuộc “lớp chính”, vì, nếu người ta biểu diễn trên biểu đồ độ sáng so với nhiệt độ của chúng, thì chúng xác định một dải rất hẹp mà người ta gọi là “lớp chính”. Các sao sáng nhất (có thể gấp tới 10.000 lần độ sáng của Mặt trời) và cũng nóng nhất (bề mặt của chúng có thể đạt tới nhiệt độ khoảng 30.000 độ Kelvin, trong khi nhiệt độ bề mặt của Mặt trời chỉ là 6000 độ). Các nhiệt độ cao này tạo cho chúng một màu xanh lấp lánh, và người ta gọi chúng là “siêu kền xanh” (còn gọi là sao khổng lồ xanh). Đó cũng là các sao nặng nhất (từ 8 đến 100 lần khối lượng Mặt trời) và lớn nhất (từ 10 đến 100 lần kích thước Mặt trời). Các sao bằng 0,8 đến 8 lần khối lượng Mặt trời, trong đó có Mặt trời của chúng ta, có các độ sáng, nhiệt độ, khối lượng và kích thước trung bình (bán kính của Mặt trời khoảng 700.000 km). Còn các sao nhẹ hơn (từ 0,1 đến 0,8 khối lượng Mặt trời) thì mờ hơn (khoảng một phần mười nghìn độ sáng của Mặt trời) và tương đối lạnh. Bởi vì nhiệt độ của chúng chỉ bằng khoảng một nửa nhiệt độ của Mặt trời, tức 3000 độ Kelvin, nên ánh sáng của chúng có màu đỏ, và bởi vì chúng có kích thước nhỏ (một phần mười hoặc thấp hơn bán kính Mặt trời), nên người ta gọi chúng là sao “lùn đỏ”.

Trong hơn 90% cuộc đời của mình, một sao, dù có khối lượng bằng Mặt trời hay nặng hơn, đều tỏa sáng nhờ sự tổng hợp hiđrô thành hêli trong lõi của nó. Khi nguồn dự trữ nhiên liệu này bị cạn kiệt và khi lõi hiđrô của nó đã bị chuyển hóa thành lõi hêli, thì làn sóng các bức xạ đi ra từ khu vực trung tâm của sao giảm xuống, và lực hấp dẫn nén thêm lớp hiđrô bao quanh lõi hêli, làm tăng nhiệt độ của nó lên tới 10 triệu độ và gây ra trong lòng nó một ngọn lửa hạt nhân kinh hoàng. Đối với một sao có khối lượng bằng Mặt trời, sự phục hồi năng lượng này thổi phồng các lớp ngoài của nó tới mức làm cho nó lớn hơn kích thước trước đó của nó tới 100 lần. Độ sáng của nó cũng tăng lên 100 lần. Nhưng bức xạ này phân bố trên một diện tích lớn hơn 10.000 lần, nên diện tích này lạnh xuống còn 3000 độ Kelvin. Màu của sao vì thế dịch chuyển sang phía đỏ và nó trở thành một sao “kênh lò đỏ” (hay sao khổng lồ đỏ) (H. 44).

### *Các vật sáng có thể lừa dối chúng ta*

Theo những gì đã trình bày về độ sáng của các loại sao khác nhau, bạn sẽ ngỡ rằng nếu hướng mắt lên bầu trời trong một đêm đen để ngắm cảnh tượng kỳ diệu trên đó, các ngôi sao của Ngân hà mà bạn nhìn thấy bằng mắt thường sẽ là những sao có độ sáng thực lớn nhất. Chẳng hạn, các sao mà chúng ta quen nhất phần lớn là siêu kênh xanh, như Deneb (Thiên Tân 4) và Rigel (Sâm Tú 7), các sao nặng của lớp chính, như Véga (Chức Nữ), Sirius (Thiên Lang) A và Altair (Ngưu Lang), hay các sao kênh đỏ, như Betelgeuse (Sâm Tú 4), Mira hay Arcturus (Đại Giác). Do độ sáng thực của chúng lớn, nên mắt thường có thể nhìn thấy được mặc dù chúng ở tương đối xa. Thật vậy, trong số hai chục ngôi sao có độ sáng biểu kiến lớn nhất trên bầu trời, và chúng ta đã biết khoảng cách của chúng, thì chỉ có sáu ngôi sao nằm gần hơn 33 năm ánh sáng. Ngược lại, các bạn sẽ thấy rất ít sao cùng loại như Mặt trời (sao Alpha thuộc chòm Nhân Mã là một), và không thấy một sao lùn đỏ nào, do độ sáng thực của chúng rất yếu.

Nói cách khác, nếu bạn chỉ có thể ngắm bầu trời bằng mắt thường, bạn sẽ nghĩ rằng quần thể sao của Ngân hà bao gồm phần lớn là các sao siêu kênh xanh, sao kênh đỏ và các sao nặng và sáng, còn các sao lùn đỏ hoàn toàn vắng bóng. Thật không gì nhầm lẫn lớn hơn thế. Một thống kê đầy đủ các quần thể sao trong Ngân hà nhờ sự trợ giúp của các kính thiên văn lại cho thấy ngược lại rằng các sao lùn đỏ là các sao thường thấy nhất trên bầu trời: chúng tạo thành hơn 80% số sao trong vũ trụ. Chỉ có điều, do độ sáng yếu, nên chúng hoàn toàn không nhìn thấy được, nếu chúng ta không có kính thiên văn. Ngược lại, các sao siêu kênh xanh, các sao nặng và sáng và các sao kênh đỏ, xuất hiện khắp

nơi trên bầu trời tối đen, trên thực tế lại rất hiếm: trong số 10.000 sao chỉ có một sao thuộc loại này. Như vậy, giống như các sao và thiên hà cho chúng ta một cái nhìn rất nhầm lẫn về sự phân bố vật chất trong vũ trụ, các sao làm chúng ta vui mắt vào ban đêm cũng mang lại cho chúng ta một cảm giác hoàn toàn sai lầm về các quần thể sao khác nhau trong Ngân hà. Chúng ta có nguy cơ sẽ bị lừa nếu chỉ tập trung vào ánh sáng của các thiên thể sáng nhất. Nếu không tính đến việc bóng tối cũng chứa rất nhiều sao nhẹ hơn và mờ hơn, thì chúng ta rất có thể sẽ đi ra ngoài hiện thực.

### *Cái chết nhẹ nhàng và dữ dội của các sao lùn trắng*

Bên cạnh các sự kiện vui mừng như sự ra đời của các sao sơ sinh, trong vũ trụ cũng liên tục xảy ra những cái chết của các sao. Một số được báo hiệu bằng các chớp sáng. Cứ mỗi giây lại có một số ngôi qua đời, vì, cũng như đối với con người, cái chết là một phần không thể tách rời của sự sống của các sao. Số phận cuối cùng của chúng phụ thuộc vào khối lượng của chúng. Cái chết sẽ nhẹ nhàng đối với một sao có khối lượng nhỏ hơn Mặt trời 1,4 lần. Khi một sao như thế tiêu thụ hết nhiên liệu hạt nhân của nó, lõi của nó sẽ co mạnh lại thành sao lùn trắng có bán kính 10.000 km, tức là nén một khối lượng bằng khoảng một nửa khối lượng Mặt trời vào một thể tích hình cầu gần tương đương với thể tích Trái đất (H. 44). Vật chất bị nén tới mức một thìa của sao lùn trắng cũng nặng bằng một con voi một tấn! Sao lùn trắng phát ra ánh sáng trắng, vì nhiệt độ của lõi sao này cao hơn rất nhiều nhiệt độ ở bề mặt Mặt trời, và có thể đạt đến khoảng 30.000 độ Kelvin. Trong nhiều tỉ năm, sao lùn trắng tiếp tục bức xạ nhiệt và năng lượng vào trong không gian, nên sẽ lạnh đi và độ sáng ngày càng yếu hơn. Cuối cùng, nó sẽ trở thành “đen” và sẽ gia nhập hàng ngũ vô số các xác sao không nhìn thấy được rải rác trong các thiên hà. Còn vỏ của sao chết sẽ bị phóng vào không gian. Bị bức xạ của sao lùn trắng làm cho nóng lên, vỏ khí này, choán một thể tích bằng cả Hệ Mặt trời và người ta gọi là “tinh vân hành tinh”, sẽ phát sáng bằng tất cả các ngọn lửa của mình (H. 12 trong tập ảnh màu). Thực ra gọi là “tinh vân hành tinh” ở đây là sai lầm: vì nó chẳng có gì liên quan với các hành tinh cả (người ta đã nghĩ sai lầm rằng tinh vân có thể là một hệ mặt trời đang hình thành). Tinh vân này sẽ giảm dần độ sáng và phân tán trong không gian giữa các vì sao, gieo vào đó các nguyên tử heli, carbon và oxy đã được chế tạo bởi lò luyện hạt nhân của sao trong quá khứ.

Nếu sao lùn trắng không cô đơn, mà sống cặp thành sao đôi, thì thay vì mờ nhạt dần đi trong bóng tối của màn đêm, nó thỉnh thoảng lại được thổi sáng

bùng lên. Thật vậy, bằng lực hấp dẫn của mình, nó hút một phần vỏ khí hiđrô và hêli của ngôi sao đồng hành - ngôi sao sống còn đang đốt cháy hiđrô. Vỏ khí này rơi theo hình xoắn ốc vào bề mặt sao lùn trắng và tích tụ ở đó. Khi rơi, khí nóng lên và ngưỡng 10 triệu độ nhanh chóng bị vượt qua, khởi phát sự đốt cháy nhiệt hạch của hiđrô. Một bùng nổ dữ dội xảy ra; độ sáng của lùn trắng khi đó có thể đạt tới khoảng 10.000 lần độ sáng bình thường của nó trong khoảng vài tuần. Các màn pháo hoa này mang trở lại cho sao lùn trắng chút vinh quang quá khứ và có thể lặp lại vài chục, thậm chí vài trăm lần trong cuộc đời của sao lùn trắng. Chúng được gọi là các sao “mới”, vì người xưa nghĩ rằng các nguồn sáng này xuất hiện đột ngột trong bầu trời báo hiệu sự ra đời của các sao mới chứ không phải là sự hồi phục thoáng qua độ sáng của các ngôi sao chết.

Các bùng nổ của sao lùn trắng này không tiêu thụ cũng không phun toàn bộ khí do sao đồng hành với nó đổ vào. Khí này tích tụ trên bề mặt của sao lùn trắng. Khối lượng của nó tăng lên dần cho tới khi vượt qua 1,4 lần khối lượng Mặt trời. Các electron bên trong sao lùn trắng ngày càng bị nén và nhanh chóng không chịu được áp lực của các lớp bên trên, và lùn nó bị co mạnh lại. Nhiệt độ ở tâm của nó tăng lên nhanh chóng, cho tới khi đạt tới 600 triệu độ. Lõi carbon bắt đầu được đốt cháy, giải phóng một năng lượng khổng lồ, và sao lùn trắng bị phân rã hoàn toàn trong một vụ nổ khổng lồ. Một chấm sáng xuất hiện trong bầu trời, đó chính là một sao siêu mới loại Ia sáng gấp hàng triệu lần một sao mới, và giải phóng trong vài tháng một lượng năng lượng bằng năng lượng mà Mặt trời giải phóng trong suốt cả cuộc đời hàng chục tỉ năm của nó (H. 43). Chính vì sao siêu mới loại Ia vô cùng sáng nên các nhà thiên văn sử dụng chúng, như chúng ta đã thấy, làm các cột mốc của vũ trụ xa xôi để đo sự tăng tốc của vũ trụ.

### *Con hấp hối bùng nổ của các sao nặng*

Số phận cuối cùng của các sao nặng dữ dội hơn nhiều. Sau khi đốt cháy một cách hoang phí và đã tiêu thụ nhanh chóng nhiên liệu hiđrô có trong tâm chúng, sau khi đã chế tạo lần lượt bằng lò luyện hạt nhân của mình carbon, nitơ, oxy và tất cả các nguyên tố nặng cho tới sắt, các vùng trung tâm của các sao này co mạnh lại dưới tác dụng của lực hấp dẫn của chính chúng. Sao càng nặng thì bức xạ càng mạnh, càng tiêu thụ nhiều, nguồn dự trữ nhiên liệu trong lõi của nó cạn kiệt càng nhanh và nó sống càng ngắn. Một sao bằng năm lần khối lượng Mặt trời chỉ thọ được 100 triệu năm, tức bằng 1% tuổi thọ của Mặt trời; một sao bằng mười lần khối lượng Mặt trời sẽ chỉ thọ 20 triệu tuổi, tức 0,2%

tuổi thọ Mặt trời – chỉ như ngọn lửa rom vũ trụ! Đồng thời với lõi bị co mạnh lại, một vụ nổ khổng lồ xảy ra, làm cho vỏ các sao nặng bị phân rã thành hàng nghìn mảnh. Trong bầu trời xuất hiện một chấm sáng. Trong vòng vài ngày chấm sáng này giải phóng ra lượng năng lượng bằng cả một thiên hà gồm 100 tỉ ngôi sao. Người ta gọi đó là một sao siêu mới loại II (H. 43). Nó báo hiệu cái chết của một sao nặng gấp hơn tám lần khối lượng Mặt trời. Không nên nhầm với sao siêu mới loại Ia gắn với cái chết của một ngôi sao có khối lượng trung bình (nhỏ hơn 1,4 lần khối lượng Mặt trời). Một trong những khác biệt chủ yếu giữa hai loại sao siêu mới này là trong sao siêu mới loại II có hiđrô và hêli chưa bị tiêu thụ trong lớp vỏ bùng nổ, trong khi sao siêu mới loại I là do các vụ nổ nhiệt hạch trên bề mặt của sao lùn trắng hoàn toàn không có hiđrô và hêli. Đâu đó trong vũ trụ, ở một trong khoảng 100 tỉ thiên hà của vũ trụ quan sát được, cứ mỗi giây lại có một sao nặng chết.

Các sao siêu mới đóng một vai trò quan trọng trong sự tiến hóa của vũ trụ. Trước hết, chúng bổ sung cho lò luyện hạt nhân của các sao. Chúng ta đã thấy rằng các sao không thể chế tạo, bằng sự tổng hợp các hạt nhân hêli, các nguyên tố nặng hơn sắt, do sắt vô cùng bền vững. Sau khi sắt xuất hiện, các nguyên tố khác cũng ra đời trong lòng các sao nhưng không phải bởi sự tổng hợp các hạt nhân hêli, mà bởi neutron bị bắt bên trong các ngôi sao già. Chẳng hạn, hạt nhân của sắt gồm 26 proton và 30 neutron có thể bắt 3 neutron để trở thành một hạt nhân coban, đến lượt mình, coban lại có thể bắt một neutron khác để trở thành một hạt nhân nickel. Các neutron bị bắt theo nhịp độ tương đối chậm: quãng thời gian giữa hai lần bắt liên tiếp là khoảng một năm. Chính vì thế các nhà thiên văn đã gọi cơ chế tổng hợp các nguyên tố bằng bắt chậm các neutron này là quá trình “s”, chữ đầu của từ tiếng Anh *slow* (có nghĩa là “chậm”). Đồng và bạc dùng để đúc tiền, chì dùng trong bình ắc quy, hay vàng dùng làm dây chuyền và nhẫn đeo tay cho các phụ nữ thanh lịch đã ra đời như thế. Nhưng sự chế tạo các nguyên tố bằng cơ chế bắt chậm các neutron này dừng lại ở bitmut, mà hạt nhân của nó chứa tới 83 proton và 126 neutron. Sở dĩ như vậy là vì các nguyên tố nặng hơn có tính phóng xạ và bị phân rã rất nhanh nên không kịp bắt một neutron mới để tiến lên bậc thang phức tạp cao hơn.

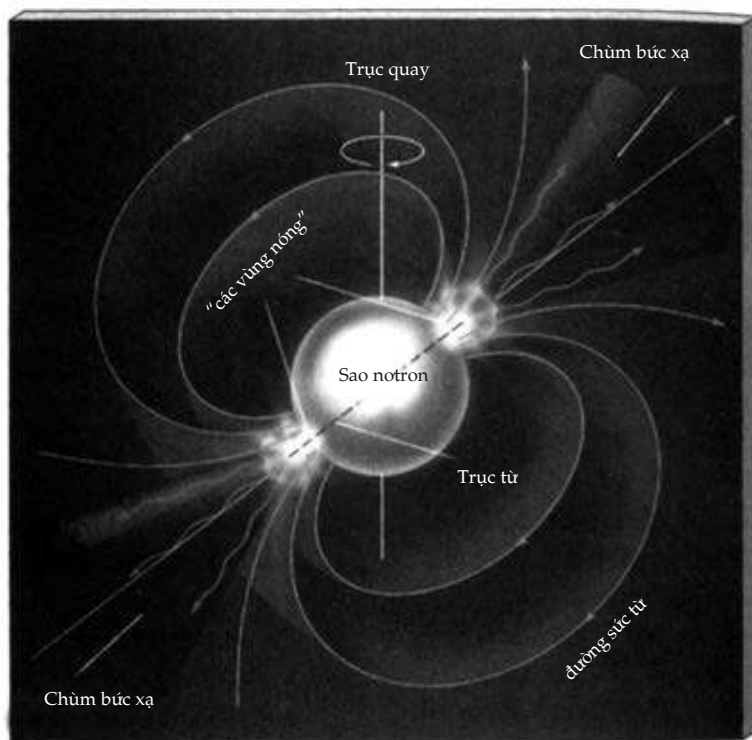
Để chế tạo các nguyên tố nặng hơn bitmut, tự nhiên phải tìm ra cách gia tốc quá trình bắt neutron. Các sao siêu mới loại II đã ra tay giúp đỡ. Trong 15 phút đầu tiên của một sao siêu mới loại II, số neutron tự do tăng lên nhanh chóng, một số hạt nhân của các nguyên tố nặng được chế tạo bởi lò luyện hạt nhân đã bị vụ nổ dữ dội phá vỡ thành các hạt cấu tạo nên chúng (tức các proton và neutron). Vì thế nhịp bắt neutron có thể nhanh hơn rất nhiều. Cơ chế bắt nhanh

notron này được đặt tên là quá trình “r” (chữ đầu của từ “rapide”, có nghĩa là “nhanh”). Các hạt nhân nặng nhất có thể bắt các notron khác và trở nên có cấu trúc phức tạp hơn trước khi chúng bị phân rã phóng xạ. Nhờ đó đã ra đời các hạt nhân nặng hơn như thori (90 proton và 142 notron), urani (92 proton và 146 notron) và plutoni (94 proton và 148 notron). Những hạt nhân này sinh ra sau khi các sao sinh ra chúng đã chết. Bởi vì thời gian có để tổng hợp các nguyên tố nặng nhất này rất ngắn, nên chúng không có nhiều. Các nguyên tố hóa học nặng hơn sắt ít hơn hiđrô và hêli một triệu lần. Nhờ đóng góp của các sao siêu mới loại II, tự nhiên cuối cùng đã có bộ sưu tập đầy đủ tám mươi một nguyên tố hóa học bền vững mà nó cần để tạo ra độ phức tạp và vẻ đẹp của thế giới. Gần như toàn bộ vật chất thông thường của vũ trụ - kể cả chúng ta, cánh hoa hồng, tuyết trên các đỉnh núi - đều được tạo thành từ các bụi sao này.

Ngoài sự tổng hợp các nguyên tố hóa học nặng nhất, sao siêu mới còn có hai đóng góp cực kỳ quan trọng khác cho sự tiến hóa của vũ trụ. Do khí bị các sao siêu mới phun ra với khối lượng lớn (mỗi vụ nổ phun một lượng khí bằng vài lần, thậm chí vài chục lần khối lượng Mặt trời), nên các nguyên tố nặng được gieo vào môi trường giữa các vì sao. Các tinh vân hành tinh cũng có đóng góp vào đó, nhưng với một mức độ ít hơn, do mỗi tinh vân có khối lượng chỉ bằng một nửa Mặt trời. Các nguyên tố nặng này sau đó sẽ đóng một vai trò tiên quyết trong quá trình tạo nên các hành tinh và trong sự đột khởi xuất hiện của sự sống. Mặt khác, nhờ năng lượng kinh hoàng của mình, các sao siêu mới tung vào không gian giữa các vì sao những làn sóng proton, electron và các hạt nhân khác sinh ra từ lò luyện hạt nhân của các sao, với vận tốc gần bằng vận tốc ánh sáng, mà người ta gọi là các “tia vũ trụ”. Một ngày nào đó, một số các hạt này sẽ đến Trái đất, được ghi nhận bởi máy đếm Geiger của các nhà vật lý và gây ra các biến đổi gen trong các loài sinh vật, làm thay đổi sâu sắc quá trình tiến hóa của sự sống.

### *Các khu vực có lực hấp dẫn cực cao: pulsar và lỗ đen*

Trong thời gian vỏ của sao bị xé tan tành, lõi của nó bị co mạnh lại. Một lần nữa, số phận cuối cùng của lõi sao phụ thuộc vào khối lượng của nó. Nếu khối lượng của nó lớn hơn 1,4 lần khối lượng Mặt trời nhưng thấp hơn khoảng ba lần khối lượng Mặt trời (tổng khối lượng của sao, gồm cả các lớp trên và vỏ, vào khoảng 25 lần khối lượng Mặt trời), thì lõi sao trở thành một sao notron. Toàn bộ vật chất bị chuyển hóa thành notron và bị nén vào một khối cầu đường kính 10 km. Mật độ đạt đến một triệu tỉ g/cm<sup>3</sup>. Đó là mật độ mà bạn sẽ thu được



Hình 45. *Pulsar*. “Sao” neutron đường kính 10 km này như một ngọn đèn pha vũ trụ khổng lồ (từ “sao” dùng ở đây dễ gây nhầm lẫn vì pulsar không sinh ra năng lượng bằng sự tổng hợp hạt nhân trong lõi của nó). Pulsar không bức xạ một cách đồng đều trên toàn bộ bề mặt của nó, mà chỉ thành hai chùm sáng (ánh sáng chủ yếu có bản chất là sóng vô tuyến) phát ra ở các cực từ của nó. Bức xạ này được sinh bởi các hạt mang tích điện (electron và proton) được từ trường của sao neutron làm cho tăng tốc. Một người quan sát trên Trái đất sẽ nhận được một tín hiệu vô tuyến khi một trong hai chùm sáng quét qua Trái đất. Anh ta sẽ nhận được một chuỗi các “xung động sáng” (từ đó mà nó có tên gọi là “pulsar”) liên tiếp nhau rất đều đặn như một máy tạo nhịp, cách nhau một khoảng thời gian đúng bằng thời gian để pulsar quay tròn một vòng quanh trục của nó. Khoảng thời gian này có thể biến thiên từ vài phần nghìn giây đến khoảng 0,3 giây đối với các pulsar khác nhau, nghĩa là một vùng có kích thước bằng Paris sẽ quay từ 3 đến 300 lần trong một tích tắc đồng hồ!

nếu nén toàn bộ dãy núi Himalaya vào một thể tích chỉ bé bằng viên bi. Sao neutron quay quanh trục của nó với một vận tốc kinh hoàng, mỗi vòng quay nó chỉ thực hiện trong có một phần của giây. Sở dĩ như vậy là vì, cũng giống như nghệ sĩ trượt băng sẽ quay nhanh hơn khi thu tay ép dọc theo cơ thể, các ngôi sao, vốn quay xung quanh trục của mình 1 vòng chỉ mất vài tuần lễ, sẽ tăng mạnh vận tốc quay khi nó co mạnh lại, tới mức mà cuối cùng một vật có diện

tích bằng thành phố Paris thực hiện hàng chục, thậm chí hàng trăm vòng quay chỉ trong tích tắc đồng hồ! Lực hấp dẫn của sao neutron là vô cùng lớn: nếu bạn đứng trên bề mặt của nó, bạn sẽ cân nặng một triệu tấn và sẽ bị ép dẹt xuống tới kích thước vô cùng nhỏ, khoảng mười lần kích thước của một nguyên tử ( $10^{-7}\text{cm}$ )! Thực ra từ “sao” dùng ở đây không đúng, vì vật này không sinh ra năng lượng nào trong tâm nó bằng phản ứng tổng hợp hạt nhân.

Các nhà thiên văn đã phát hiện được các sao neutron dị thường dưới dạng các “pulsar”, từ phái sinh từ tiếng Anh *pulse* nghĩa là “tín hiệu ngắn tuần hoàn”. Sở dĩ người ta gọi các sao này là pulsar vì chúng truyền đến chúng ta liên tiếp các tín hiệu vô tuyến rất ngắn (ngắn hơn một phần trăm giây) đến Trái đất đều đặn như một máy tạo nhịp. Khoảng thời gian giữa các tín hiệu vô tuyến này cực kỳ đồng đều, nhưng thay đổi từ vật này sang vật khác, từ khoảng vài phần nghìn giây cho đến hơn một giây. Sự ngắn ngủi và tính tuần hoàn của các tín hiệu vô tuyến này được giải thích là do sao neutron không bức xạ trên toàn bề mặt của nó. Ánh sáng, chủ yếu có bản chất là sóng vô tuyến, được phát thành hai chùm nhỏ giống như các chùm sáng phát ra từ một đèn pha và có vị trí ở gần các cực từ của sao (H. 45). Sao neutron cho ấn tượng sáng và tắt mỗi khi một trong các chùm sáng quét qua Trái đất. Pulsar đóng vai trò là ngọn đèn pha vũ trụ trong nhiều chục triệu năm, rồi dự trữ năng lượng của nó, bị cầm tù trong quá trình suy sụp, sẽ cạn kiệt. Nó sẽ quay chậm hơn; các tín hiệu ánh sáng chu kỳ của nó sẽ thưa hơn và yếu hơn. Cuối cùng, nó sẽ không bức xạ nữa và trở thành một xác sao lặng lẽ, mất hút trong mênh mông tối tăm của không gian giữa các vì sao.

Số phận cuối cùng của lõi sao lại hoàn toàn khác nếu nó lớn hơn ba lần khối lượng Mặt trời (tổng khối lượng của sao như vậy sẽ lớn hơn 25 lần khối lượng Mặt trời). Khối lượng này lớn đến mức cả electron lẫn neutron đều bó tay không thể chống lại tác dụng nén của lực hấp dẫn. Vật chất vì vậy bị nén trong một thể tích nhỏ và lực hấp dẫn lớn tới mức không gian bị cuộn lại, và ánh sáng (chứ đừng nói gì vật chất) đều bị nó cầm tù. Nhà tù ánh sáng này trong không gian, hay “điểm kỳ dị”, đó là cái mà người ta gọi là “lỗ đen”. Chúng ta đã từng gặp con quái vật này trong các chuyến chu du trước đây, nhưng trong phiên bản siêu nặng. Các nhà vật lý nghĩ rằng chính các lỗ đen siêu nặng – các lỗ đen có khối lượng có thể bằng một tỉ lần khối lượng Mặt trời – là nguyên nhân của năng lượng dị thường phát ra bởi nhân của các thiên hà hoạt tính và bởi các quasar. Các lỗ đen sao mà chúng ta nói đến ở đây nhẹ hơn rất nhiều (khối lượng của chúng chỉ bằng vài lần khối lượng Mặt trời) và cũng nhỏ hơn (bán kính không thể quay lui của một lỗ đen có khối lượng bằng mười lần Mặt trời

chỉ là 30 km). Nhưng, cũng giống như các lỗ đen siêu nặng, các lỗ đen sao này bộ lộ sự hiện diện của chúng bằng thói háu ăn. Khi một lỗ đen sống cặp đôi với một sao sống trong một cặp sao đôi (đó không phải là trường hợp hiếm xảy ra: gần hai phần ba các sao của Ngân hà nằm trong các sao đôi), lực hấp dẫn vô cùng mạnh của nó làm cho khí thuộc lớp vỏ của sao đồng hành với nó đổ về phía “điểm kỳ dị”, tức lỗ đen. Khi rơi theo hình xoắn ốc vào cái miệng há hốc của lỗ đen và phân bố thành hình đĩa dẹt quanh nó, khí nóng lên tới hàng triệu độ và phát ra một lượng khổng lồ các tia X. Bằng cách sử dụng các kính thiên văn tia X được các vệ tinh phóng lên bên trên bầu khí quyển Trái đất, các nhà thiên văn đã phát hiện ra nhiều sao đôi phát ra tia X và phát lộ trong lòng chúng các lỗ đen có khối lượng bằng chục lần khối lượng Mặt trời, thậm chí nhỏ hơn. Như vậy, cùng với sao lùn trắng và sao neutron, các lỗ đen đã làm tăng thêm đội ngũ các xác sao nằm rải rác trong các thiên hà<sup>1</sup>.

### *Ánh sáng khuếch tán của vũ trụ*

Như vậy vũ trụ chứa đầy ánh sáng. Đầu tiên là ánh sáng khuếch tán của bức xạ hóa thạch tắm đẫm toàn bộ vũ trụ và đến với chúng ta từ rất xa xưa, từ thời kỳ 380.000 năm sau vụ nổ khởi thủy. Chính nó có tổng lượng năng lượng lớn nhất trong toàn bộ ánh sáng của vũ trụ hiện nay (nhưng tổng lượng năng lượng này nhỏ hơn rất nhiều, như chúng ta đã thấy, so với tổng lượng vật chất: hiện nay chúng ta sống trong một vũ trụ bị thống trị bởi vật chất). Ngoài bức xạ hóa thạch còn có các bức xạ định xứ hơn của các sao và các thiên hà làm vui mắt chúng ta trong những đêm đen không trăng. Bản thân các sao và các thiên hà này cũng là nguồn gốc của các bức xạ khuếch tán khác choán toàn vũ trụ. Theo trật tự lượng năng lượng giảm dần, sau bức xạ hóa thạch, có bức xạ khuếch tán hồng ngoại: bức xạ này sinh ra từ sự nóng lên của các hạt bụi dưới tác dụng của các bức xạ cực tím của các sao nóng, nặng và sáng sinh ra từ các đợt hình thành sao khổng lồ trong các thiên hà lùn xoắn ốc và dị thường. Ánh sáng cực tím này bị các bụi sao hấp thụ, và tái phát dưới dạng ánh sáng hồng ngoại. Sau đó đến các bức xạ khuếch tán nhìn thấy được và tia X sinh ra bởi khí nóng của các đĩa kết tụ quanh các lỗ đen siêu nặng sống trong tâm của các quasar và các thiên hà có nhân hoạt tính. Tiếp theo là bức xạ gamma ra đời từ các con hấp hối dữ dội bùng nổ của các sao nặng. Ở cuối danh sách là bức xạ vô tuyến khuếch tán do tất cả các thiên hà, đặc biệt là Ngân hà, phát ra. Bức

<sup>1</sup> Để biết thêm chi tiết về sự sống và chết của các sao, xem *Nguồn gốc - Nỗi hoài niệm về những thuở ban đầu*, Phạm Văn Thiều và Ngô Vũ dịch, NXB Trẻ, 2006.

xạ vô tuyến này được sinh bởi các electron tự do quay xung quanh các đường sức từ trong thiên hà với vận tốc gần bằng vận tốc ánh sáng.

### *Bóng tối của màn đêm chứa trong nó sự khởi đầu của vũ trụ*

Vì vũ trụ có rất nhiều nguồn sáng tập trung và khuếch tán, nên hoàn toàn tự nhiên khi chúng ta đặt câu hỏi tại sao đêm lại đen. Tuy vậy, câu hỏi mà con trẻ thường đặt cho bố mẹ chúng và thoát nghe có vẻ ngây thơ này, lại đã từng làm trăn trở nhiều trí tuệ vĩ đại. Năm 1610, nhà thiên văn người Đức, Johannes Kepler đã tự hỏi: “Nếu vũ trụ là vô cùng và nếu nó chứa một số vô hạn các sao, và nếu tất cả các sao đều là Mặt trời, thì tại sao tổng tất cả các ánh sáng của chúng lại không lớn hơn được độ sáng của Mặt trời?”. Nói cách khác, đêm được các sao chiếu sáng cũng sẽ phải sáng như ban ngày. Vậy mà không phải thế. Vấn đề này được gọi là “nghịch lý Olbers”, theo tên của nhà thiên văn người Đức, Heinrich Olbers, người đã phổ biến nó đến quảng đại quần chúng thế kỷ XIX. Tại sao đêm lại đen? Câu trả lời nảy ra ngay trong óc ta là độ sáng của các sao giảm tỉ lệ nghịch với bình phương khoảng cách của chúng, làm cho độ sáng của các ngôi sao xa xôi rất yếu và không góp phần làm sáng được đêm. Nhưng lời giải thích này không thể chấp nhận được: đúng là độ sáng của các sao giảm theo khoảng cách của chúng, nhưng sự suy giảm này được số lượng lớn của chúng bù lại cho cân bằng. Càng xa thì sẽ thấy càng nhiều sao, và số lượng sao tăng lên theo bình phương của khoảng cách (sở dĩ như vậy là do diện tích của mặt cầu có tâm là Trái đất tăng theo bình phương của bán kính của nó). Sự đóng góp về ánh sáng của số các sao nằm ở một khoảng cách nào đó là tích của số sao ở khoảng cách này với độ sáng của chúng, nghĩa là một số tăng với bình phương của khoảng cách với một số khác giảm với bình phương của khoảng cách. Tích này như vậy là một hằng số. Nói cách khác, mỗi một lớp sao, dù chúng ở khoảng cách nào, cũng đều cung cấp rất chính xác một lượng ánh sáng như nhau để soi sáng bầu trời đêm.

Thật vậy, trong một vũ trụ chứa một số sao vô hạn, dù có ngắm theo hướng nào thì đường ngắm cũng sẽ gặp một ngôi sao - giống như đường ngắm nhất định sẽ bị một thân cây chặn lại nếu bạn đứng giữa rừng -, và do đó sẽ không thể có “đêm đen” được. Nhưng thực tế lại không phải như thế. Một trong những giả thuyết của Kepler phải sai lầm, nhưng đó là giả thuyết nào? Lời giải cho nghịch lý Olbers chỉ xuất hiện với sự lên ngôi của lý thuyết Big Bang. Lý thuyết này nói với chúng ta rằng vũ trụ không vô hạn trong thời gian, rằng nó có một điểm bắt đầu, điều này có hệ quả là số các sao nhìn thấy được trong vũ

trụ không phải là vô hạn, như Kepler nghĩ, mà là hữu hạn. Vì tuổi của vũ trụ là 14 tỉ năm, nên chúng ta chỉ nhìn thấy các sao mà ánh sáng của chúng có đủ thời gian để đến với chúng ta, nghĩa là những sao nằm trong một mặt cầu bán kính 47 tỉ năm ánh sáng (chúng ta đã thấy rằng bán kính của vũ trụ quan sát được là lớn hơn 14 tỉ năm ánh sáng do sự giãn nở của nó). Ánh sáng phát ra từ các sao ở xa hơn còn chưa đến được, nó vẫn đang trên đường đến chúng ta.

Như vậy, bóng tối của đêm lại soi rọi cho chúng ta biết những khởi đầu của vũ trụ. Và lại chúng ta cần lưu ý rằng, khá lâu trước khi lý thuyết Big Bang ra đời, nhà văn người Mỹ, Edgar Allan Poe (1809-1849), cha đẻ của tiểu thuyết trinh thám, trong tác phẩm *Eurêka: một bài thơ văn xuôi* đã đưa ra một giải thích về đêm đen giống một cách đáng kinh ngạc cách giải thích ngày nay được thừa nhận về khoa học: sở dĩ đêm đen là bởi vì vũ trụ không vĩnh hằng, và bởi vì không gian rộng lớn tới mức ánh sáng của các sao ở rất xa chưa có đủ thời gian để đến chúng ta. Đây là một hoàn cảnh ở đó trực giác thơ về hiện thực lại trùng hợp một cách đáng ngạc nhiên với chứng minh khoa học...

Hai nhân tố khác, ít quan trọng hơn, cũng đóng góp vào việc làm giảm độ sáng của đêm. Số các sao là hữu hạn không chỉ bởi vì vũ trụ có điểm khởi đầu, mà còn bởi vì các sao, như chúng ta đã thấy, có một tuổi thọ hữu hạn. Chúng không sống mãi mãi. Vài triệu, thậm chí vài tỉ năm, là chúng biến mất. Mặt khác, để đến được chúng ta, ánh sáng sao phải chiến đấu liên tục chống lại sự giãn nở của vũ trụ, điều này làm nó suy kiệt và mất năng lượng, do đó làm giảm tổng lượng ánh sáng trong vũ trụ quan sát được. Như vậy, mỗi lần ngồi hưởng sự êm dịu của màn đêm là bạn đã trở thành nhà vũ trụ học: nghĩa là bạn đang chiêm nghiệm trong màn đêm tối đen sự khởi đầu của vũ trụ, cái chết của các ngôi sao và cuộc chiến triển miên của ánh sáng chống lại sự giãn nở của vũ trụ.

### *Tầm quan trọng của sự không thay đổi*

Theo các kết quả mới nhất, chúng ta sống trong một vũ trụ có hình học phẳng và giãn nở mãi mãi. Con cháu của chúng ta sẽ ngắm một vũ trụ ngày càng loãng hơn bởi sự tăng tốc của vũ trụ, và sẽ liên tục lạnh thêm. Trong tương lai, các nguồn sáng được thống kê trước đây sẽ trở nên như thế nào? Điều gì sẽ xảy ra đối với ánh sáng lộng lẫy của các ngôi sao và thiên hà? Để thông báo được các sự kiện sẽ xảy ra, chúng ta phải đưa ra giả thuyết rằng các định luật vật lý là vĩnh cửu và không thay đổi theo thời gian. Chúng ta có thể có được một cơ sở nhất định để tin rằng giả thuyết này là hợp lý bằng cách lần ngược trở

lại quá khứ. Với các cỗ máy lần ngược trở lại theo thời gian - các kính thiên văn và các máy gia tốc hạt cơ bản tái tạo các điều kiện ban đầu của vũ trụ nguyên thủy - chúng ta có thể chắc chắn rằng các định luật vật lý không thay đổi một cách có thể nhận thấy được trong vòng mười bốn tỉ năm đã qua của quá khứ.

Tất nhiên cũng đã có một số nhà vật lý thiên văn giống chuông báo động về sự biến thiên theo thời gian của một số các hằng số vật lý của tự nhiên. Đây là các hằng số quyết định các tính chất của tất cả những gì bao quanh ta: kích thước của Trái đất, kích thước của con người, chiều cao của dãy Himalaya... Có khoảng 15 hằng số như vậy: vận tốc của ánh sáng, khối lượng của electron, hằng số hấp dẫn... Chúng ta đã đo được giá trị của chúng với độ chính xác cực cao trong phòng thí nghiệm, nhưng chúng ta chưa có một lý thuyết nào giải thích được tại sao chúng lại có giá trị như thế chứ không phải một giá trị khác. Chẳng hạn, chúng ta vẫn chưa biết tại sao ánh sáng truyền trong chân không với vận tốc 300.000km/s chứ không phải là 3 m/s. Các hằng số vật lý được trao cho chúng ta và chúng ta sống với chúng. Năm 1999, so sánh các quan sát ánh sáng của quasar với các phép đo thực hiện trong phòng thí nghiệm, một nhóm các nhà thiên văn quốc tế đã đi đến kết luận rằng các nguyên tố hóa học trong quá khứ xa xôi của vũ trụ hấp thụ ánh sáng theo cách khác với các nguyên tố hiện nay. Theo họ, sự khác nhau này chỉ có thể được giải thích bằng sự biến thiên của một hằng số cơ bản của tự nhiên, có tên là "hằng số cấu trúc tinh tế". Hằng số này quyết định các mức năng lượng của nguyên tử và do đó quyết định cách thức tương tác của nguyên tử với ánh sáng. Hằng số này là tổ hợp của ba hằng số cơ bản khác của vật lý: vận tốc ánh sáng, điện tích của electron và hằng số Planck (hằng số này quyết định năng lượng tối thiểu mà một nguyên tử có quyền trao đổi với ánh sáng). Sự biến thiên phát hiện được là vô cùng nhỏ, cỡ vài phần triệu. Cho tới nay, các kết quả đo này vẫn chưa được các nhà nghiên cứu khác khẳng định. Chính vì thế, trước khi một trật tự mới được thiết lập, chúng ta vẫn sẽ chấp nhận giả thuyết được đưa ra một cách hợp lý rằng các hằng số vật lý đúng là... không đổi. Nếu các định luật vật lý không thay đổi trong quá khứ, thì chúng ta có thể đánh cược hoàn toàn có lý trí rằng chúng cũng sẽ không thay đổi trong tương lai. Ý đồ độc tương lai của vũ trụ trong quả cầu pha lê của chúng ta còn ngẫm dựa trên một giả thuyết còn mạo hiểm hơn rằng tất cả các định luật vật lý đều đã được biết và chúng ta đã phát hiện được tất cả các định luật vật lý. Chắc chắn khoa học còn chưa đi hết con đường của mình, và câu chuyện của chúng ta sẽ còn phải được xem xét lại nhiều lần khi vật lý ngày càng tiến bộ và tinh tế hơn.

### *Mặt trời rồi sẽ tắt*

Chúng ta hãy sẵn sàng cho một chuyến du hành trong tương lai. Trước hết chúng ta hãy tập trung sự chú ý vào láng giềng gần gũi với chúng ta. Tương lai gần của Trái đất và của Mặt trời sẽ như thế nào? Câu hỏi này rất đáng để chúng ta quan tâm bởi vì sự sống còn của nhân loại phụ thuộc vào nó!

Sự kiện quan trọng đầu tiên sẽ xảy ra trong hai đến ba tỉ năm tới. Các đám mây Magellan – hai thiên hà lùn vệ tinh hiện đang quay cách Ngân hà khoảng 150.000 năm ánh sáng – sẽ rơi vào cái miệng há hốc của Ngân hà và sẽ bị Ngân hà hấp thụ. Các sao của chúng sẽ trộn lẫn với các sao trong quần Ngân hà của chúng ta. Và người quan sát bầu trời ở Nam Bán cầu sẽ không còn được chiêm ngưỡng vẻ đẹp lan tỏa của chúng nữa.

Rồi một tỉ năm rưỡi trôi qua. Trong 4,5 tỉ năm tới, Mặt trời sẽ chuyển hóa lõi hiđrô của nó thành hêli. Do thiếu nhiên liệu hiđrô nên lõi hêli sẽ co mạnh lại cho đến khi kích thước của nó chỉ còn bằng vài lần kích thước của Trái đất, và đạt đến mật độ cực cao khoảng một phần mười tấn trong một centimet khối. Khoảng một phần tư vật chất của sao được chứa trong đó. Sự co lại này làm cho lớp hiđrô bao quanh lõi hêli nóng lên. Ngưỡng 10 triệu độ bị vượt qua, và lớp hiđrô bị cuốn vào sự tổng hợp hạt nhân hiđrô thành hêli. Mặt trời khi đó sẽ nhận được một luồng năng lượng mới. Lớp vỏ của nó phồng lên, cho tới khoảng một trăm lần kích thước hiện nay của nó, và đạt đến quỹ đạo của Thủy tinh, lúc này nó trở thành một sao kền đỏ. Tương phản với mật độ cực cao ở lõi, mật độ của vỏ sao kền đỏ chỉ là  $10^{-6}$  g/cm<sup>3</sup>, tức một phần nghìn mật độ của nước.

Pha “kền đỏ” tồn tại trong một thời gian ngắn. Sau khoảng 100 triệu năm, nó kết thúc - một ngọn lửa rom ở thang vũ trụ. Hiđrô trong lớp bao quanh lõi hêli cạn kiệt và Mặt trời một lần nữa lại hết nhiên liệu. Lõi hêli của nó bây giờ co lại dưới tác dụng của lực hấp dẫn và tiếp tục nóng lên. Lần này, ngưỡng 100 triệu độ nhanh chóng bị vượt qua; lõi hêli bị đốt cháy bởi sự tổng hợp bộ ba hạt nhân hêli thành hạt nhân carbon. Các nhà vật lý thiên văn gọi sự đốt cháy hêli này là “chớp sáng hêli”. Thời kỳ đốt cháy hêli thành carbon còn kéo dài ngắn hơn: nó không vượt qua vài chục triệu năm. Khi thời kỳ này kết thúc, lại vẫn chuỗi các sự kiện tương tự xảy ra. Lõi carbon sẽ co lại, nhiệt độ tăng, và người ta được chứng kiến sự bốc cháy của các lớp hiđrô và hêli bao quanh lõi carbon. Với các lần đốt cháy liên tiếp, Mặt trời phát triển một cấu trúc kiểu “củ hành”, mỗi “lớp vỏ” của nó chứa một nguyên tố hóa học khác nhau, từ nặng nhất ở tâm (carbon) cho tới nhẹ nhất ở phía ngoài (hiđrô).

Lần đốt cháy thứ hai còn làm phồng thêm nữa vỏ của sao kền đỏ. Lớp vỏ nóng bỏng này liệu có nhấn chìm hành tinh yêu dấu của chúng ta và biến nó thành tro bụi? Câu trả lời phụ thuộc lượng vật chất mà Mặt trời của chúng ta sẽ mất trong pha kền đỏ. Trên thực tế, các lớp ngoài của sao kền đỏ do phồng lên một cách vô độ nên được gắn kết rất yếu bằng lực hấp dẫn với phần còn lại của sao (lực hấp dẫn giảm tỉ lệ nghịch với bình phương của khoảng cách giữa tâm và lớp vỏ của sao). Bị bức xạ của Mặt trời đẩy ra phía ngoài, chúng sẽ tách khỏi Mặt trời. Một lần sóng vật chất đổ vào không gian giữa các vì sao, mà người ta thường gọi là "gió sao". Bởi vì lực hấp dẫn biến thiên tỉ lệ với khối lượng của Mặt trời, nên Mặt trời, do bị mất vật chất, sẽ tác dụng lực hấp dẫn yếu hơn lên các hành tinh quay không biết mệt mỏi quanh nó. Các quỹ đạo hành tinh lớn dần, điều này dẫn đến hệ quả là hành tinh của chúng ta lùi ra xa khỏi tầm ảnh hưởng của sao kền đỏ. Các tính toán cho thấy rằng nếu Mặt trời ở pha kền đỏ mất ít nhất hai phần mười khối lượng của nó, thì Trái đất sẽ không bị hề hấn gì. Nhưng nếu nó mất ít hơn khối lượng này, thì hành tinh chúng ta sẽ nằm trong lớp vỏ cháy bỏng của nó. Trong trường hợp này, chuyển động của Trái đất sẽ bị vật chất của lớp vỏ của sao kền đỏ phanh lại và, trong một khoảng thời gian rất ngắn (sau chưa đầy 50 năm!), nó sẽ rơi theo hình xoắn ốc vào trong tâm nóng sáng của Mặt trời. Trong cùng thời gian này, nhiệt của Mặt trời, nóng hơn tất cả các hỏa ngục của Dante, sẽ làm bốc hơi Trái đất và xóa sạch mọi dấu vết của sự sống ở đó.

Quan sát sự mất khối lượng của các sao kền đỏ khác trong Ngân hà gợi ý rằng Mặt trời sẽ phải mất cỡ ba phần mười khối lượng của nó, và điều này sẽ đủ để kéo Trái đất ra khỏi Mặt trời và cứu Trái đất thoát khỏi các ảnh hưởng cháy bỏng của nó khi nó trở thành sao kền đỏ. Nhưng dù sao nhân loại cũng phải quan tâm đến việc tổ chức một cuộc di dân lên Diêm Vương tinh để hưởng một thời tiến ôn hòa hơn! Trong mọi trường hợp, đoạn kết cũng không còn xa. Nhiên liệu hiđrô và hêli bao quanh tâm carbon của Mặt trời sẽ cạn kiệt sau 100.000 năm nữa. Mỗi pha đốt cháy tiếp theo sẽ ngắn hơn đáng kể so với pha trước. Mặt trời không còn đủ nặng để nén thêm nữa lõi của nó và đạt đến một nhiệt độ đủ cao để khởi phát sự đốt cháy carbon. Do thiếu nhiên liệu hạt nhân, Mặt trời cuối cùng sẽ tắt. Kể từ đó, sẽ không còn bức xạ để chống lại lực hấp dẫn nữa. Lực hấp dẫn thắng thế và lõi Mặt trời lại co mạnh lại để trở thành, như chúng ta đã thấy, một sao lùn trắng được cấu thành từ carbon và có khối lượng bằng khoảng một nửa khối lượng Mặt trời. Mặt trời chết sau khi đã sống một cuộc sống huy hoàng kéo dài 10 tỉ năm (H. 44). Nếu muốn sống sót, con cháu chút chít của chúng ta sẽ phải đi tìm các Mặt trời khác có khả năng thỏa mãn

các nhu cầu năng lượng của chúng. Khi đó có thể sẽ diễn ra một cuộc di dân xuyên các vì sao của nhân loại mà các tác giả khoa học viễn tưởng rất ưa thích!

### *Cú va chạm được báo trước của Ngân hà với Andromède*

Trước khi Mặt trời tắt trong khoảng 5 tỉ năm tới, một sự kiện quan trọng khác sẽ xảy ra trong Cụm thiên hà địa phương của chúng ta: Ngân hà và Andromède, hai thiên hà nổi trội trong ngôi làng địa phương các thiên hà của chúng ta, sẽ va chạm vào nhau trong khoảng 3 tỉ năm tới. Andromède, hiện đang ở cách Trái đất 2,3 tỉ năm ánh sáng, và đang lao về phía chúng ta với vận tốc khoảng 90km/s. Cú va chạm này sẽ kéo dài trên một tỉ năm: Andromède và Ngân hà, khi đã xích lại gần nhau, thời gian đầu sẽ quay quanh nhau trong một vũ điệu thiên hà. Sau màn ba lê vũ trụ dài và kinh hoàng này, hai thiên hà cuối cùng sẽ hợp nhất với nhau (H. 13 trong tập ảnh màu).

Hậu quả của vụ va chạm được báo trước này là gì? Chúng không giống như các vụ va chạm khác. Các đám mây khí khổng lồ giữa các vì sao, vốn chứa rất nhiều phân tử (từ đó chúng có tên là “mây phân tử”) và bụi, một nhà trẻ sao khổng lồ, nơi sinh ra các sao, sẽ bị ảnh hưởng nhiều nhất. Do có kích thước lớn (hàng chục năm ánh sáng), nên các đám mây phân tử này của Ngân hà sẽ va chạm trực diện với các đám mây phân tử của Andromède, gây ra các sóng xung kích dữ dội. Các sóng này, sau khi nén khí và làm cho nó nóng lên đến hơn 10 triệu độ, sẽ khởi phát phản ứng tổng hợp hạt nhân hiđrô thành hêli, và cho ra đời rất nhiều sao. Vụ va chạm của hai thiên hà như vậy sẽ được chào đón bằng sự ra đời một loạt sao trẻ.

Còn về quần thể sao của hai thiên hà, các tổn thất do vụ đại va chạm này gây ra sẽ rất nhỏ: các sao nhỏ hơn các đám mây phân tử và có nhiều không gian giữa chúng tới mức người ta sẽ gần như không được chứng kiến bất kỳ một vụ va chạm trực diện nào giữa hai sao. Đồng thời với việc hàng trăm tỉ ngôi sao khác, sao lùn trắng mà Mặt trời của chúng ta sẽ trở thành, sẽ rời khỏi quỹ đạo tròn ngoan ngoãn của nó trong đĩa Ngân hà để kéo Trái đất và các hành tinh khác trong Hệ Mặt trời vào một quỹ đạo hỗn độn giống với đường bay đầy ngẫu hứng của một con ruồi bay trong một căn phòng đóng kín cửa. Các sao của hai thiên hà sẽ được trộn với nhau và phân bố trong một thể tích có hình elipxôit. Ngân hà và Andromède sẽ mất đi bản chất xoắn ốc của chúng và hợp nhất để trở thành một thiên hà elip nặng hơn gấp hai lần, không có đĩa cũng chẳng có các cánh tay xoắn tuyệt đẹp nữa. Thiên hà mới này sẽ được bao quanh bởi một đám đông các thiên hà lùn. Theo thời gian, đến lượt mình, các

thiên hà này cũng sẽ biến mất, chúng bị nuốt sống bởi thiên hà ellip hấu ăn (H. 13 trong tập ảnh màu).

### *Ngân hà, hòn đảo mất hút trong khoảng bao la của vũ trụ*

Điều gì sẽ xảy ra về lâu dài hơn? Vũ trụ tăng vận tốc giãn nở sẽ làm cho phần lớn các thiên hà tách ra xa nhau tới những khoảng cách mà con cháu chúng ta sẽ không thể nhìn thấy chúng nữa và khoảng không bao la của vũ trụ trông sẽ rất trống rỗng và hoang vắng. Con cháu chút chút của chúng ta sẽ sống trong một vũ trụ có mật độ ngày càng thấp hơn bởi sự tăng tốc giãn nở của vũ trụ. Không gian sẽ rộng ra tới mức các hạt vật chất không thể kết tụ với nhau được nữa, không một cấu trúc mới nào có thể được hình thành. Trong vài chục tỉ năm nữa, Ngân hà sẽ chỉ là một hòn đảo nhỏ mất hút trong đại dương vũ trụ bao la. Khoảng 100 tỉ thiên hà hiện nay mà kính thiên văn của chúng ta có thể tiếp cận được sẽ ở xa nhau tới mức chúng sẽ biến mất khỏi tầm nhìn của chúng ta. Chỉ còn nhìn thấy được khoảng vài trăm thiên hà gần với nhau bởi lực hấp dẫn trong siêu đám Vierge, mà Ngân hà của chúng ta là một thành viên. Các nghiên cứu thiên văn học mà con cháu chúng ta có thể tiến hành sẽ rất hạn chế, vì sẽ chỉ còn rất ít thiên thể trên bầu trời để quan sát. Chúng sẽ nhớ lại kỷ nguyên của chúng ta như thời vàng kim của thiên văn học, khi các đề tài nghiên cứu vẫn còn rất nhiều và đa dạng. Các chính trị gia, những người hoạch định ngân sách, nên dành cho các nghiên cứu thiên văn học một ngân sách nhiều nhất có thể trong giai đoạn hiện nay: trong tương lai, dù họ có muốn phát triển thiên văn học như lĩnh vực nghiên cứu ưu tiên, thì họ cũng không còn cơ hội nữa!

### *Tất cả các sao rồi cũng tắt*

Điều gì sẽ xảy ra trong một tương lai xa hơn nữa? Nếu Mặt trời tắt, thì các sao khác sẽ ra sao? Trong một thời kỳ kéo dài cho tới tận khi mà vũ trụ già hơn tuổi 13,7 tỉ năm của nó hiện nay hàng nghìn lần, thì các sao của Ngân hà, vốn được gắn với nhau bằng lực hấp dẫn và nhờ đó thoát khỏi sự loạng đi của vũ trụ, vẫn sẽ tiếp tục phát sáng lấp lánh trên bầu trời đêm và khiến cho con người sống trên Trái đất phải thán phục. Các thiên hà xoắn ốc – các hệ sinh thái khổng lồ nơi nối tiếp vô số các chu kỳ sinh tử của các sao, ở đó khí giữa các vì sao liên tục được chuyển hóa thành sao và các sao chết phóng vào trong môi trường giữa các vì sao lớp vỏ khí giàu các nguyên tố nặng của chúng, và

các vỏ này, đến lượt chúng, sẽ kết tụ với nhau dưới tác dụng của lực hấp dẫn để cho ra đời các thể hệ sao mới - sẽ tiếp tục chiếu sáng không gian chìm trong bóng tối bằng ánh sáng lộng lẫy của chúng, ngay cả khi chúng ta không còn nhìn thấy chúng nữa sau vài chục tỉ năm do sự tăng tốc giãn nở của vũ trụ. Kỷ nguyên sao vẫn sẽ tiếp tục náo nhiệt.

Sở dĩ kỷ nguyên này kéo dài như vậy là vì một phần lớn của quần thể sao trong vũ trụ được cấu thành từ các sao có khối lượng nhỏ. Khoảng 80% sao của vũ trụ có khối lượng nhỏ hơn khối lượng Mặt trời (cỡ từ 0,8 đến 0,1 lần khối lượng Mặt trời). Thoạt nhìn, người ta có thể nghĩ rằng chúng có tuổi thọ ngắn hơn các sao nặng rất nhiều vì khối lượng của chúng nhỏ nghĩa là dự trữ nhiên liệu hiđrô của chúng cũng nhỏ. Nhưng thực tế lại hoàn toàn ngược lại. Các sao nặng là những kẻ hoang toàng, chúng cháy sáng bằng tất cả ngọn lửa của chúng, sử dụng một cách hoang phí vô độ nhiên liệu hiđrô, và nguồn dự trữ này của chúng chẳng mấy chốc mà cạn kiệt. Sau vài triệu năm, hoặc vài chục triệu năm, những ngôi sao này sẽ biến mất. Ngược lại, các sao có khối lượng nhỏ lại cực kỳ tiết kiệm, chúng sống dè sẻn, bức xạ rất yếu, và điều này cho phép chúng giữ được dự trữ nhiên liệu trong một thời kỳ rất dài. Trên thực tế, các sao nhỏ nhất (bằng một phần mười khối lượng Mặt trời) sử dụng hết nguồn dự trữ nhiên liệu hiđrô của chúng sau 14 tỉ năm. Trong thời gian sau đó, chúng sẽ tiếp tục tổng hợp hiđrô thành hêli và tăng dần độ sáng. Mặc dù độ sáng bằng chưa đầy một phần trăm độ sáng của Mặt trời, nhưng chúng bù lại sự bức xạ yếu ớt của mình bằng số lượng đông đúc, và độ sáng trung bình của các thiên hà nhờ đó sẽ vẫn được duy trì trong một thời gian dài nữa ở một mức độ cao, bằng độ sáng của mười tỉ Mặt trời, tức khoảng một phần mười độ sáng hiện nay của Ngân hà. Các sao có khối lượng nhỏ sẽ cạn kiệt nguồn dự trữ hiđrô sau 100.000 triệu năm ( $10^{14}$ ), tức 10.000 lần tuổi của vũ trụ hiện nay.

Sau khi các sao có khối lượng nhỏ tắt, liệu vũ trụ có còn khả năng tiếp tục hình thành các sao mới từ khí giữa các sao trong các thiên hà xoắn ốc và dị thường không? Các thiên hà này liệu có tiếp tục phát sáng? Câu trả lời là không, vì trữ lượng khí giữa các sao trong các thiên hà cũng cạn kiệt vào thời kỳ các sao cuối cùng tắt, báo hiệu sự cáo chung của quá trình hình thành các sao mới. Thật trùng hợp, trữ lượng khí của môi trường giữa các sao trong các thiên hà và trữ lượng nhiên liệu trong các sao cũng cạn kiệt theo thời gian: vào khoảng năm 100.0000 tỉ. Tới đây kỷ nguyên sao kết thúc. Kể từ đó, đêm đen sẽ không còn được chiếu sáng bằng ánh sáng lấp lánh và lộng lẫy của các sao và các thiên hà nữa.

### *Các sao bị thui chột*

Các thiên hà khi đó sẽ được rắc vô số xác sao: sao lùn trắng, sao neutron và các lỗ đen. Ngoài tập hợp các sao chết không phát sáng do không còn sự tổng hợp hạt nhân còn có các lùn nâu, các sao bị thui chột có khối lượng nhỏ hơn 8 phần trăm khối lượng Mặt trời. Các phôi này không đủ nặng và vật chất trong tâm chúng bị nén và nóng chưa đủ để khởi phát các phản ứng hạt nhân tổng hợp hiđrô thành hêli và biến các phôi này thành sao thực sự (các bạn hãy nhớ rằng nhiệt độ tối thiểu cần thiết là 10 triệu độ). Các lùn nâu có các tính chất trung gian giữa sao và các hành tinh lớn.

Khối lượng của Mộc tinh, hành tinh lớn nhất trong số các hành tinh của Hệ Mặt trời, lớn hơn Trái đất khoảng 318 lần, và có khối lượng gấp đôi tổng khối lượng của tám hành tinh còn lại. Tuy nhiên, khối lượng của nó nhỏ hơn Mặt trời 1.000 lần, và nhỏ hơn khối lượng tối thiểu của một sao là 80 lần. Mộc tinh phát ra năng lượng nhiều hơn năng lượng nó nhận được từ Mặt trời khoảng hai lần, điều này khiến người ta giả thiết rằng nó chứa một nguồn năng lượng bên trong. Năng lượng này không có nguồn gốc hạt nhân, mà có bản chất hấp dẫn. Nó đã được tích trữ trong quá trình hình thành hành tinh khổng lồ này.

Mặc dù nhiệt độ ở tâm của các sao lùn nâu không đủ cao để tổng hợp hiđrô thành hêli, nhưng dường như lại đủ để tổng hợp nhanh chóng đơteri, một nguyên tố hóa học nguyên thủy khác được sinh ra trong những phút đầu tiên của vũ trụ. Nhờ có sự đốt cháy đơteri mà các sao lùn nâu không hoàn toàn tối. Chúng bức xạ rất yếu trong một khoảng thời gian ngắn.

Khối lượng của sao lùn nâu phải lớn hơn 12 lần khối lượng của Mộc tinh để sự hợp nhất đơteri diễn ra, và nhỏ hơn 80 lần khối lượng của Mộc tinh, vì nếu không sự tổng hợp hiđrô sẽ được khởi phát và sao lùn nâu sẽ trở thành ngôi sao bình thường. Bởi vì nhiệt độ ở bề mặt của nó là tương đối thấp (2.000 độ Kelvin, thậm chí thấp hơn) so với nhiệt độ bề mặt của một sao như Mặt trời (6.000 độ Kelvin), nên một sao lùn nâu chủ yếu phát ra bức xạ hồng ngoại. Người ta đánh giá rằng một quần thể bao gồm gần 1.000 tỉ sao lùn nâu có thể ẩn giấu trong bóng tối của không gian giữa các vì sao của Ngân hà – như vậy chúng cũng đông đúc chẳng kém gì quần thể các sao “thật”.

Cuối kỷ nguyên sao, sau khoảng 100.000 tỉ năm chói sáng, các quần thể sao chết và sao lùn nâu được phân bố như thế nào? Trong một thiên hà như dải Ngân hà của chúng ta, các sao lùn trắng chiếm 55% tổng quần thể, trong khi các sao lùn nâu chiếm 45% còn lại. Các sao neutron và các lỗ đen chỉ chiếm một phần nhỏ khoảng 0,26% tổng quần thể các sao chết, vì đó là xác các sao nặng,

ít hơn rất nhiều các sao có khối lượng vừa phải (khoảng bằng khối lượng Mặt trời), sinh ra các sao lùn trắng. Chắc chắn, do có khối lượng tương đối lớn (bằng khoảng một nửa khối lượng Mặt trời), nên chính các sao lùn trắng chiếm ưu thế về khối lượng trong các thiên hà. Vào cuối kỷ nguyên sao, chúng đóng góp 88% khối lượng của Ngân hà, trong khi các sao lùn nâu chỉ chiếm khoảng 10%, các sao neutron và lỗ đen khoảng 2%.

### *Sự va chạm của các sao lùn trắng và sự hủy của các WIMP*

Sau khi tất cả các sao đều chết, sau khi khí giữa các vì sao cần thiết để tạo ra các sao mới cũng đã cạn kiệt, vũ trụ liệu có bị chìm trong bóng tối vĩnh viễn và sẽ không bao giờ còn có thể chứa các nguồn sáng và năng lượng nữa? Nếu nghĩ vậy thì quả thật là chúng ta còn quá mù mờ về khả năng tự do và sáng tạo của tự nhiên. Tự nhiên đã nghĩ ra một cách khác để tạo ra các sao mới: đó là cho các sao lùn nâu gắn kết lại với nhau thông qua các vụ va chạm.

Chúng ta đã thấy rằng các sao lùn nâu có các khối lượng nhỏ hơn và nhiệt độ ở trung tâm quá thấp nên không thể tổng hợp hiđrô thành hêli, nên nguồn dự trữ nhiên liệu hiđrô của chúng vẫn còn nguyên. Sự gắn kết nhiều sao lùn nâu lại với nhau có thể dẫn đến một thiên thể có khối lượng bằng một phần mười Mặt trời, và do đó có khả năng tổng hợp hiđrô. Bởi vì nó sử dụng nhiên liệu cực kỳ dè sẻn, nên một sao như thế sẽ có thể sống tới 25.000 tỉ năm (so với 10 tỉ năm của Mặt trời). Tất nhiên, tỉ lệ sinh các sao mới bằng cách gắn kết các sao lùn nâu sẽ thấp hơn tỉ lệ sinh trong các vườn trẻ sao của các thiên hà xoắn ốc ở thời kỳ huy hoàng của chúng: một thiên hà như Ngân hà sẽ chứa nhiều nhất khoảng một trăm, thay vì 100 tỉ mà nó có ngày nay. Nhờ có sự va chạm và kết tụ của các lùn nâu, nên các thiên hà sẽ vẫn còn có thể phát sáng yếu ớt khi đồng hồ vũ trụ điểm ở 10 triệu tỉ ( $10^{16}$ ) năm; độ sáng của chúng sẽ yếu hơn độ sáng ngày nay hàng tỉ lần.

Các sao lùn trắng, một trong những quần thể có “vai vế” trong thiên hà, cũng không nằm ngoài cuộc chơi. Chúng cũng có thể va chạm với nhau và kết tụ để tạo thành các sao nặng hơn. Không có trữ lượng hiđrô, chúng phát sáng nhờ đốt cháy hêli hay carbon tùy theo khối lượng của sao mới này. Nhưng các sao tạo thành từ sự hợp nhất của các sao lùn trắng sống ngắn hơn, và ánh sáng mà chúng phát ra cũng ít hơn rất nhiều so với ánh sáng được phát ra từ sự hợp nhất của các sao lùn nâu.

Các thiên hà vẫn cố gắng tiếp tục phát sáng. Không hài lòng với việc hợp nhất các sao lùn nâu để tạo thành các nguồn bức xạ mới, chúng còn tìm thấy

phương tiện để chuyển hóa thành bức xạ các quãng vật chất tối ngoại lai của chúng. Chúng ta đã thấy rằng các quãng này rất có thể được cấu thành từ các WIMP, tức các hạt nặng sinh ra ngay từ những phần giây đầu tiên của vũ trụ. Mặc dù các WIMP tương tác rất ít với vật chất thông thường, nhưng chúng có thể bị bắt bởi vật chất ở mật độ cực cao của các sao lùn trắng (một tấn trên một centimet khối), một thành phần chủ yếu của vật chất của các thiên hà trong tương lai rất xa này. Các WIMP bị bắt bên trong các sao lùn trắng sẽ gặp nhau và hủy nhau. Sự hủy này làm cho sao lùn trắng nóng lên và bức xạ. Như vậy, vật chất tối ngoại lai ở các quãng thiên hà được chuyển hóa dần dần thành ánh sáng. Nhưng lượng ánh sáng được sinh ra là vô cùng nhỏ, kém lượng ánh sáng phát ra từ sự hợp nhất của các sao lùn nâu khoảng 100 lần. Sự hủy các WIMP trong quãng của một thiên hà sẽ đóng góp một độ sáng tối đa cũng chỉ bằng độ sáng của một mình Mặt trời. Vì nhiệt độ ở bề mặt các sao lùn trắng rất thấp (khoảng  $-200^{\circ}\text{C}$ ), nên bức xạ này sẽ có bản chất hồng ngoại.

#### *Sự bốc hơi của các thiên hà và đám thiên hà*

Sự kết tụ các sao lùn nâu thông qua các va chạm và sự hủy vật chất tối ngoại lai ở quãng thiên hà vẫn sẽ tiếp diễn chừng nào các thiên hà còn nguyên vẹn. Nhưng các thiên hà không phải là vĩnh cửu: chúng sẽ tan rã sau một khoảng thời gian nhất định. Và sở dĩ như vậy là nhờ có sự phục vụ tận tụy của lực hấp dẫn. Nhờ có lực này mà tồn tại một trao đổi năng lượng liên tục giữa các sao chết và các lùn nâu, một thành phần quan trọng của thiên hà. Nếu một số thiên thể này có thêm, thì một số khác lại mất đi năng lượng, bởi vì tổng năng lượng là không thay đổi. Những kẻ thắng là kẻ biết chuyển hóa năng lượng có thêm thành vận tốc, mở rộng quỹ đạo và tiến đến rìa thiên hà. Theo quán tính, chúng sẽ thoát ra khỏi tầm ảnh hưởng hấp dẫn của thiên hà mẹ để mất hút trong không gian giữa các thiên hà. Sau 10 tỉ tỉ ( $10^{19}$ ) năm, thiên hà sẽ mất đi 99% dân số của nó. Nó sẽ bị bốc hơi hoàn toàn.

Bù lại, 1% các sao (khoảng một tỉ) nặng nhất trong số chúng sẽ bị thua trong cuộc chơi trao đổi năng lượng. Mất vận tốc, chúng sẽ rơi vào tâm thiên hà, tạo thành một nhân có khối lượng bằng một tỉ lần Mặt trời. Nhân này, ngày càng nặng và có mật độ cao hơn, sẽ co mạnh lại thêm nữa, cho tới khi đạt đến một trọng lực mà ánh sáng bị cầm tù trong đó. Một lỗ đen siêu nặng sẽ ra đời, nó có một đường kính không thể quay lui là ba tỉ kilômét, tức là chỉ ngắn hơn một chút so với khoảng cách giữa Mặt trời và Diêm Vương tinh. Trong khi lõi của nó co lại, xảy ra rất nhiều va chạm trực diện giữa các sao chết hoặc sao bị

thui chột, sinh ra các màn pháo hoa khổng lồ chiếu sáng màn đêm đen. Buổi lễ vẫn sẽ còn tiếp tục sau khi tạo thành lỗ đen siêu nặng. Lỗ đen này sẽ đớp bằng lực hấp dẫn của nó và sẽ xé rách không hề thương tiếc xác của những kẻ xấu số đi gần nó để thỏa mãn thói tham ăn của nó, và vật chất tử nạn sẽ bức xạ bằng tất cả lửa của nó. Thiên hà sẽ tìm lại được vẻ huy hoàng trước kia của nó, vào thời kỳ mà nó nuôi dưỡng một quasar trong lòng, kéo dài vài tỉ năm đầu tiên sau Big Bang. Nhưng, do thiếu thức ăn, pha phát sáng này sẽ chỉ kéo dài nhiều nhất là một tỉ năm, và một màn đêm thiên hà sẽ lại bao trùm vũ trụ.

Nếu các thiên hà bốc hơi chỉ để lại các lỗ đen thiên hà có khối lượng bằng một tỉ lần khối lượng Mặt trời, thì các đám thiên hà cũng không chịu ngồi yên. Mỗi một trong hàng nghìn thiên hà nằm trong đám cũng sẽ chơi trò trao đổi năng lượng. Những kẻ chiến thắng (99%) sẽ rời đám thiên hà ban đầu để mất hút vào không gian giữa các thiên hà và trở thành các lỗ đen thiên hà. Những kẻ thất bại (1%) sẽ tập hợp lại với nhau tại tâm của đám thiên hà để tạo thành một lỗ đen siêu thiên hà có khối lượng lớn cỡ 1.000 tỉ khối lượng Mặt trời, với đầu tiên là các màn pháo hoa kéo vũ trụ ra khỏi trạng thái dờ dẫm của nó trong một thời gian rất ngắn. Khi đồng hồ vũ trụ điểm ở một tỉ tỉ (10<sup>27</sup>) năm, bức tranh vũ trụ tuyệt đẹp tạo bởi các thiên hà và các đám thiên hà trước kia giờ đây đã biến mất hoàn toàn trong không gian. Khi đó trong vũ trụ sẽ nhung nhúc các lỗ đen thiên hà và siêu thiên hà đi kèm với vô số các tiểu hành tinh, các sao chổi, hành tinh, sao lùn đen, sao lùn nâu, sao neutron và các lỗ đen nhỏ bằng vài lần khối lượng Mặt trời, những kẻ chiến thắng trong cuộc chơi trao đổi năng lượng, bị đẩy vào trong môi trường giữa các thiên hà, tất cả bị bao bọc trong tấm choàng đen của màn đêm và bị sự giãn nở của vũ trụ mang đi.

### *Proton chết sẽ trả lại sự sống cho các sao lùn trắng*

Sau khi thiên hà và các đám thiên hà tan rã và sau khi các nguồn năng lượng và ánh sáng sinh ra từ những va chạm của các sao lùn nâu và sự hủy của các WIMP ở các quãng thiên hà đã cạn kiệt, liệu vũ trụ có còn đủ độ khôn khéo để tạo ra các nguồn sáng khác, dù là rất yếu hay không? Câu trả lời dường như là có. Và sở dĩ như vậy là nhờ cái chết có thể xảy ra của proton.

Thực tế, theo các lý thuyết thống nhất các lực (các lý thuyết khẳng định rằng bốn lực cơ bản của tự nhiên - lực hấp dẫn, hai lực hạt nhân mạnh và yếu, và lực điện từ - đều bắt nguồn từ một và chỉ một siêu lực chiếm ưu thế trong những khoảnh khắc đầu tiên của vũ trụ) thì proton không vĩnh cửu, nó sẽ phân rã sau một thời gian rất dài, cỡ hơn 10<sup>32</sup> năm. Chẳng hạn, proton có thể phân sẽ

rã thành một positron (hay phản electron) và một hạt khác gọi là pion.

Các nhà vật lý đã rất nỗ lực để bắt quả tang một proton đang chết, nhưng cho tới nay họ vẫn chưa thành công. Tất nhiên, tuổi thọ của các nhà vật lý ngắn ngủi hơn tuổi thọ của các proton hàng nghìn tỉ tỉ lần, và không thể chờ đến  $10^{32}$  năm để thấy một proton quyết định già từ thế giới này. Cơ học lượng tử nói với chúng ta rằng nếu proton có thể chết thì nó có thể chết vào bất kỳ lúc nào. Chẳng hạn, nếu tuổi thọ của proton chẳng hạn là  $10^{32}$  tuổi, thì chỉ cần tập hợp  $10^{33}$  proton tại một chỗ là có thể quan sát được hàng chục proton phân rã mỗi năm. Để rình bắt cái chết của proton, các nhà vật lý nôn nóng đã đổ đầy các bể chứa khổng lồ hàng nghìn tấn nước cất, vì nước là một nguồn proton hảo hạng. Các bể chứa này được đặt ngầm dưới các hầm mỏ đã khai thác hết để lớp đất bên trên bắt các tia vũ trụ có khả năng khởi phát trong khối lượng nước các phản ứng tựa như cái chết của một proton. Nhưng, bất chấp các nỗ lực phi thường như vậy, cho tới nay vẫn chưa có một proton nào bị bắt quả tang đang phạm tội phân rã.

Vậy phải chăng proton còn trường thọ hơn cả người ta nghĩ? Liệu có cần thay đổi các quan điểm của chúng ta về sự thống nhất các lực? Trong mọi trường hợp, các nhà vật lý nghĩ rằng, do trong những phần giây đầu tiên của vũ trụ đã cho thấy một phần tỉ thiên vị đối với vật chất hơn phản vật chất, điều này có hậu quả là làm cho chúng ta được sống trong một thế giới vật chất, nên proton sẽ không thể bất tử. Đối với phần tiếp theo của câu chuyện, chúng ta giả định rằng proton có một tuổi thọ rất dài, nhưng hữu hạn, cỡ  $10^{37}$  năm. Việc proton có thể phân rã có các hậu quả trực tiếp đối với số phận lâu dài của các sao lùn trắng. Thật vậy, sự phân rã của một proton trong lòng một sao lùn trắng sẽ sinh ra một phản electron và một pion. Phản electron sẽ hủy với một electron để sinh ra hai photon gamma, trong khi pion sẽ phân rã thành hai photon khác. Như vậy, mỗi một proton chết sẽ sinh ra bốn photon. Xuất phát từ thời kỳ  $10^{37}$  năm, một sao lùn trắng được cung cấp năng lượng bởi proton phân rã trong lòng nó sẽ bắt đầu phát sáng rất yếu. Độ sáng của nó chỉ bằng chưa đầy một phần triệu tỉ độ sáng của Mặt trời, tức khoảng 400W - chỉ đủ công suất để cung cấp cho vài bóng điện! Ngay cả khi bạn tập hợp trong một thiên hà 100 tỉ các sao lùn trắng được proton chết cung cấp năng lượng, thì thiên hà này cũng sẽ phát sáng yếu hơn Mặt trời cả 100 lần. (Nhưng đến lúc đó thì chắc chắn tất cả các thiên hà đều đã bốc hơi từ lâu rồi).

### *Tương lai xa xôi của Mặt trời*

Chúng ta có thể tóm tắt sự tiến hóa trong tương lai của Mặt trời như sau. Trong năm tỉ năm tới, nó sẽ trở thành một sao lùn trắng nặng bằng một nửa Mặt trời. Sao lùn trắng này sẽ tiếp tục bức xạ trong vài tỉ năm lượng nhiệt mà nó đã tích trữ trong quá trình suy sập do hấp dẫn của sao chết, cho tới khoảng năm  $10^{11}$ . Sau đó sao lùn trắng này sẽ bức xạ còn yếu hơn nữa, do được nuôi dưỡng bởi sự hủy của các WIMP bị bắt từ quầng thiên hà, cho tới năm  $10^{19}$  xa lắc, khi Ngân hà bị bốc hơi hoàn toàn, để lại sau nó một lỗ đen thiên hà cỡ một tỉ khối lượng Mặt trời. Chiến thắng trong cuộc chơi trao đổi năng lượng, sao lùn trắng sẽ bị đẩy vào không gian giữa các thiên hà và, do không có nguồn cung cấp năng lượng nào, nên nó sẽ lạnh đi đáng kể. Điều này kéo dài cho đến năm  $10^{37}$ , khi các proton trong lòng sao lùn trắng phân rã mang lại cho nó một chút sáng yếu ớt, cỡ vài bóng đèn điện... Như vậy, sao lùn trắng sẽ chuyển hóa dần dần khối lượng của nó thành bức xạ. Khi đồng hồ vũ trụ điểm ở năm  $10^{38}$ , khối lượng của xác sao này sẽ trở nên thấp hơn một phần nghìn khối lượng Mặt trời, nhiệt độ của nó sẽ chỉ khoảng hơn ba phần nghìn độ Kelvin, và độ sáng của nó do cái chết của proton cung cấp sẽ giảm xuống còn một phần tỉ tỉ ( $10^{-27}$ ) độ sáng hiện nay của Mặt trời.

Ở giai đoạn này, xác của Mặt trời sẽ không thể được mô tả như một sao “lùn trắng” nữa. Do mất đi phần lớn khối lượng, và vật chất của nó cũng không còn được nén như thế nữa, nên chống chọi với tác dụng nén của lực hấp dẫn không còn là áp lực của các electron như trong sao lùn trắng nữa, mà là lực điện từ. Xác Mặt trời khi đó sẽ trở thành một khối cầu lớn hiđrô có khối lượng bằng vài tỉ tỉ tấn. Nó sẽ tiếp tục bức xạ rất yếu nhờ proton phân rã. Đến năm  $10^{39}$ , khi toàn bộ vật chất xưa kia của Mặt trời bị chuyển hóa thành ánh sáng, thì lúc đó sẽ là chấm hết.

Nếu các sao lùn trắng bốc hơi thành ánh sáng nhờ cái chết của proton, thì các thiên thể khác thắng trong cuộc chơi trao đổi năng lượng bị đẩy khỏi ra các thiên hà vào không gian giữa các thiên hà cũng không nằm ngoài cuộc. Sự phân rã của các proton trong lòng chúng sẽ làm cho các sao neutron, sao lùn nâu, các hành tinh và các tiểu hành tinh và sao chổi cũng bốc hơi thành ánh sáng. Chỉ trừ sự đóng góp của chúng vào độ sáng của vũ trụ nhỏ hơn sự đóng góp của các lùn trắng, bởi vì các lùn trắng chiếm khoảng 90% khối lượng của các thiên hà trong khi phần còn lại của thế giới tươi đẹp này chỉ chiếm 10%.

### *Kỷ nguyên lỗ đen bốc hơi thành ánh sáng*

Chỉ còn lại một quần thể cuối cùng mà chúng ta muốn biết số phận trong tương lai cực kỳ xa xôi: đó là các lỗ đen. Như chúng ta đã thấy, vào năm 1974, nhà vật lý người Anh, Stephen Hawking dựa trên nguyên lý bất định của nhà vật lý người Đức, Werner Heisenberg đã chứng tỏ rằng các lỗ đen không hoàn toàn đen mà chúng có thể bức xạ và “bốc hơi” hoàn toàn thành ánh sáng.

Tốc độ bốc hơi không là như nhau đối với tất cả các lỗ đen mà phụ thuộc vào nhiệt độ của chúng. Đến lượt mình, nhiệt độ này lại tỉ lệ nghịch với khối lượng của lỗ đen. Một lỗ đen càng nặng, thì nhiệt độ của nó càng thấp, và nó bốc hơi càng chậm. Tuổi thọ của một lỗ đen biến thiên theo lập phương khối lượng của nó. Chẳng hạn, một lỗ đen nặng hơn 10 lần sẽ sống lâu hơn 1.000 lần. Trong quá trình bốc hơi, lỗ đen càng gầy đi thì nó càng nóng lên và càng bức xạ mạnh. Quá trình này tăng tốc cho tới khi lỗ đen kết thúc cuộc đời của nó trong vịnh quang chói sáng. Một vật thể nóng chỉ có thể bức xạ và lạnh đi nếu nhiệt độ của môi trường xung quanh thấp hơn nhiệt độ của nó, vì nhiệt chỉ có thể truyền từ vật nóng sang vật lạnh. Chẳng hạn, sự bốc hơi của các lỗ đen thiên hà và siêu thiên hà sẽ chỉ có thể bắt đầu kể từ thời điểm ở đó bức xạ hóa thạch bao quanh chúng, do vũ trụ giãn nở, lạnh xuống tới nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ của các lỗ đen này. Bởi vì nhiệt độ của một lỗ đen thiên hà có khối lượng bằng một tỉ lần Mặt trời là khoảng một phần mười triệu tỉ ( $10^{-16}$ ) độ Kelvin, nên nó phải chờ tới tận năm  $10^{34}$ , khi sự giãn nở của vũ trụ cuối cùng làm giảm nhiệt độ của bức xạ hóa thạch xuống tới giá trị đó, nó mới có thể bắt đầu bốc hơi. Lỗ đen này sẽ phải mất khoảng  $10^{92}$  năm để chuyển hóa hoàn toàn thành ánh sáng. Trái lại, nhiệt độ của một lỗ đen siêu thiên hà có khối lượng cỡ 1000 tỉ Mặt trời sẽ thấp hơn 1000 lần, nghĩa là  $10^{-19}$  độ Kelvin. Nó sẽ phải kiên nhẫn cho tới năm  $10^{39}$  mới bắt đầu bốc hơi. Nó sẽ bức xạ cho đến năm  $10^{100}$  rồi biến mất. Nhiệt độ của bức xạ hóa thạch khi đó sẽ rất thấp,  $10^{-60}$  độ Kelvin (số 1 đứng sau sáu mươi số 0).

### *Kỷ nguyên bóng tối*

Trong tương lai cực kỳ xa, vào khoảng năm  $10^{37}$  đến năm  $10^{100}$ , các sao lùn trắng, sao lùn nâu và sao neutron đã biến mất từ lâu lắm rồi do sự phân rã của các proton. Sự bốc hơi của các lỗ đen thiên hà và siêu thiên hà là nguồn liên tục của ánh sáng duy nhất trong bóng tối sâu thẳm của vũ trụ, thêm vào đó là một sự phát sáng rất ngắn trong cái chết bùng nổ của chúng. Sau năm  $10^{100}$ , vũ trụ bước vào kỷ nguyên bóng tối. Nó rất khó tìm được các nguồn năng lượng mới.

Và nó sẽ chỉ còn chứa các photon, electron, positron, neutrino và WIMP (những hạt không nằm trong các quầng thiên hà và như vậy thoát khỏi sự hủy trong các lùn trắng). Các electron và phản hạt của chúng, tức positron, liệu có thể thỉnh thoảng gặp nhau và hủy nhau trong một chớp sáng? Đó là những nguồn duy nhất cung cấp ánh sáng rất ngắn ngủi cho vài xó xỉnh của vũ trụ. Nhưng sự tăng tốc làm vũ trụ loãng tới mức các hạt này chỉ có rất ít cơ hội gặp nhau. Trên  $10^{42}$  cặp electron/positron, lực điện từ sẽ chỉ có thể gắn kết lại với nhau hai hoặc ba cặp để tạo thành các nguyên tử khổng lồ positroni đường kính hàng tỉ tỉ năm ánh sáng. Trong các phòng khiêu vũ khổng lồ này, có lẽ chỉ có một khả năng là sau một khoảng thời gian gần như vô hạn, khoảng  $10^{120}$  năm, electron, nhảy múa và lượn lờ, sẽ gặp một positron và hủy nhau trong một chớp sáng. Nhưng các sự kiện hiếm này cũng không thể cứu vãn nỗi vũ trụ thoát khỏi sự lạnh đi vĩnh viễn và không gì cưỡng lại được sự tiến đến không độ tuyệt đối.

Cho tới nay chúng ta mới chỉ quan tâm đến số phận của các nguồn sáng trong vũ trụ. Thế còn ánh sáng khuếch tán, thứ ánh sáng choán toàn không gian, thì sao? Đặc biệt, ánh sáng hóa thạch của Big Bang rồi sẽ như thế nào? Bằng năng lượng của mình, nó chiếm một tỷ lệ lớn trong tổng lượng bức xạ của vũ trụ ngày nay. Tuy nhiên, photon hóa thạch để đến được chúng ta ngày nay đã phải kiên cường chiến đấu chống lại sự giãn nở liên tục của vũ trụ, và điều này làm cho chúng ngày càng kiệt sức. Năng lượng của chúng sẽ ngày càng ít đi, và bước sóng của chúng sẽ ngày càng dài thêm. Các bức xạ khuếch tán sinh ra bởi các nguồn sáng khác nhau mà trước đây chúng ta đã đề cập sẽ lần lượt tiếp sức. Mỗi một loại ánh sáng khuếch tán, bằng năng lượng của mình, sẽ chiếm ưu thế trong tổng lượng ánh sáng của vũ trụ trong một thời kỳ nhất định. Nhưng, cũng giống như đối với bức xạ hóa thạch của Big Bang, ánh sáng khuếch tán này rồi cũng sẽ cạn kiệt cùng với sự giãn nở của vũ trụ và sau đó sẽ phải nhường chỗ cho ánh sáng khác. Chẳng hạn, sau khi tiếp nối bức xạ hóa thạch, bức xạ của các sao sẽ chiếm ưu thế cho tới năm  $10^{16}$ . Sau đó sẽ đến bức xạ sinh ra từ sự hủy của các WIMP trong các quầng thiên hà. Vào khoảng năm  $10^{30}$ , sẽ đến lượt bức xạ sinh ra từ cái chết của các proton. Và cuối cùng, kể từ năm  $10^{60}$ , sẽ đến lượt bức xạ bắt nguồn từ sự bốc hơi của lỗ đen chiếm ưu thế.

### *Cái chết được báo trước của vũ trụ*

Trong vũ trụ hiện nay, chính vật chất điều khiển cuộc chơi bắt đầu từ năm 380.000 sau Big Bang. Liệu một ngày đẹp trời nào đó, bức xạ có thể vượt qua vật chất về năng lượng để lên nắm quyền kiểm soát sự tiến hoá của vũ trụ?

Câu trả lời là không. Phần lớn năng lượng của vũ trụ ngày nay được cấu thành từ vật chất tối ngoại lai nằm ngoài các quầng thiên hà. Chỉ trừ các WIMP phân rã ra (do không biết bản chất chính xác của chúng, chúng ta không thể phán xử rằng chúng sẽ làm như thế hay không), chúng sẽ sống cho tới cùng. Rất có thể là vũ trụ sẽ vẫn bị vật chất (WIMP, electron, positron và neutrino) thống trị trong một tương lai rất xa. Trong vũ trụ liên tục bị loãng và lạnh đi làm cho nhiệt và năng lượng liên tục bị giảm xuống thêm, liệu sự sống và trí tuệ có tìm ra một phương tiện để trường tồn hay không? Liệu vũ trụ có chìm trong một trạng thái cân bằng nhiệt động lực học, trong đó mọi chênh lệch nhiệt độ sẽ bị loại bỏ, mọi sáng tạo bị loại trừ, và sự suy sụp sẽ ngự trị? Liệu vũ trụ có chết như nhà vật lý người Đức, Hermann von Helmholtz (1821-1894) đã thông báo hay không?

Không ai biết. Chúng ta đã mạnh dạn ngoại suy các định luật vật lý hiện đã biết, không chỉ cho quá khứ rất xưa  $10^{-43}$  giây, tức thời gian Planck, mà còn cả cho tương lai rất xa,  $10^{100}$  năm. Bằng cách lần ngược trở lại thời gian và khám phá vùng có mật độ rất cao của vũ trụ nguyên thủy, các nhà vật lý đã phát hiện ra rất nhiều hiện tượng hết sức lạ lùng và kỳ diệu. Lý thuyết dây là một ví dụ điển hình. Không có gì nói với chúng ta rằng điều tương tự sẽ không xảy ra đối với các nhiệt độ rất thấp, rằng các định luật vật lý mới không thể xảy ra khi nhiệt độ xích gần đến không độ tuyệt đối. Theo lý thuyết cổ điển, photon sẽ tiếp tục ngày càng mất thêm năng lượng, và bước sóng của chúng sẽ trở nên ngày càng dài. Vào năm  $10^{40}$ , sau thời kỳ proton chết, bước sóng của ánh sáng hóa thạch của Big Bang sẽ dài hơn cả bán kính của vũ trụ quan sát được hiện nay, tức khoảng 47 tỉ năm ánh sáng. Chúng ta không hề có một mảy may ý niệm nào về điều gì sẽ xảy ra trong các điều kiện cực hạn như thế. Tương lai tối tăm đã được tiên tri và cái chết được báo trước của vũ trụ có thể là do chúng ta thiếu tưởng tượng chứ không phải là do vũ trụ thiếu sáng tạo<sup>1</sup>.

### *Liệu có thể tin vào Big Bang?*

Chúng ta đã lập bản kiểm kê tất cả các nguồn sáng và năng lượng của vũ trụ và đã thuật lại lịch sử và sự tiến hóa của chúng từ quá khứ rất xưa cho tới tương lai xa nhất. Chúng ta đã làm điều đó trong khuôn khổ của thuyết Big

---

<sup>1</sup> Để biết các tính toán chi tiết hơn về tiến hóa của vũ trụ trong tương lai rất xa, xem Trịnh Xuân Thuận, *Giai điệu bí ẩn*, sđd.

Bang. Tính chính xác của câu chuyện phụ thuộc vào tính chính xác của lý thuyết này. Với thực trạng hiểu biết về vũ trụ hiện nay, liệu chúng ta có thể tin vào Big Bang?

Tôi nghĩ là có. Kể từ khi bức xạ hóa thạch được phát hiện vào năm 1965, Big Bang đã được phần lớn các nhà vật lý thiên văn thừa nhận, nhưng thực tế, trong suốt bốn thập kỷ gần đây, nó đã phải trải qua một cuộc sống đầy bất trắc. Bất cứ lúc nào các quan sát cũng có thể mâu thuẫn với nó, làm cho nó chao đảo trên bờ vực thẳm và có nguy cơ bị tống vào nghĩa địa của các lý thuyết chết. Nhưng điều đó đã không xảy ra.

Tính đúng đắn của một lý thuyết dựa trên khả năng vượt qua được tất cả các kiểm chứng thông qua những quan sát, bất kể là loại quan sát nào. Thực tế, chẳng còn thiếu những quan sát nào mà các nhà thiên văn chưa làm, vì họ đã miệt mài kiểm tra thuyết Big Bang trong các khía cạnh và các góc khuất nhỏ nhất của nó. Họ đã nghiên cứu chi tiết bức xạ hóa thạch. Họ rất có thể đã phát hiện được sự phân bố theo năng lượng của các photon trong bức xạ hóa thạch này không giống với sự phân bố của một vũ trụ có một quá khứ nóng và mật độ cao. Họ cũng rất có thể đã phát hiện thấy bức xạ hóa thạch đồng nhất tới mức nó không tương thích với các thăng giáng mật độ cần thiết để cho ra đời các thiên hà. Họ rất có thể đã phát hiện ra một ngôi sao có lượng heli thấp hơn 25% (25% là tiên đoán bởi thuyết Big Bang), và điều này sẽ giáng một đòn chí mạng vào lý thuyết này, vì các sao chỉ có thể làm tăng lượng heli nguyên thủy (bằng sự tổng hợp hiđrô thành heli), chứ không thể làm giảm nó. Họ cũng rất có thể đã phát hiện ra một sự dồi dào deuteri tới mức điều đó kéo theo một lượng nhỏ vật chất baryon, không tương thích với 4% mật độ tối hạn mà người ta đã quan sát được. Họ rất có thể đã đo được khối lượng của neutrino cao tới mức khối lượng tổng cộng của các neutrino (với số lượng gần bằng số photon trong vũ trụ nguyên thủy) sẽ vượt qua rất xa khối lượng đo được của toàn vũ trụ (trên thực tế, khối lượng của các neutrino thấp tới mức chúng thậm chí không thể giải thích được vật chất tối ngoại lai của vũ trụ). Họ cũng rất có thể, bằng các kỹ thuật sao siêu mới, đã chứng tỏ được rằng năng lượng tối lớn tới mức mật độ toàn phần của vũ trụ vượt xa mật độ tối hạn, và điều này mâu thuẫn với quan điểm về một thời kỳ lạm phát của vũ trụ.

Chúng ta sẽ có thể nhân lên tùy thích các ví dụ về những đòn chí mạng có thể giáng vào thuyết Big Bang. Vậy mà không một ví dụ nào nêu ở trên đã xảy ra trong thực tế. Các quan sát mới nhất đều khẳng định thuyết Big Bang hơn là bác bỏ nó. Chính khả năng phù hợp tuyệt vời này của Big Bang với những uốn khúc lắt léo của tự nhiên khiến chúng ta phải đặt niềm tin vào nó.

Nếu một ngày nào đó một thuyết tinh xảo hơn xuất hiện thay thế cho nó, thì lý thuyết mới này nhất định sẽ phải lấy lại tất cả các thành tựu của lý thuyết Big Bang, cũng giống như vật lý Einstein đã phải sử dụng tất cả những thành tựu của vật lý Newton.

Sau khi đã xem xét tất cả các nguồn sáng của vũ trụ, giờ đây chúng ta sẽ tập trung vào nguồn sáng quan trọng nhất đối với chúng ta: Mặt trời. Ngôi sao này không chỉ là nguồn gốc của những cảnh tượng sáng tuyệt vời trên Trái đất, mà còn là ngôi sao mang lại sự sống của chúng ta.

## HẾT TẬP I

# MỤC LỤC

## LỜI TỰA

### CHƯƠNG 1

## CON MẮT CỔ ĐẠI VÀ NGỌN LỬA BÊN TRONG 15

### CHƯƠNG 2

## “CÓ NEWTON, TẤT CẢ SẼ BỪNG SÁNG” CUỘC ĐẠI CÁCH MẠNG KHOA HỌC 43

### CHƯƠNG 3

## SỰ KỲ LẠ CỦA ÁNH SÁNG: LŨNG TÍNH SÓNG/HẠT 79

### CHƯƠNG 4

## ÁNH SÁNG VÀ BÓNG TỐI: BIG BANG, VẬT CHẤT TỐI VÀ NĂNG LƯỢNG TỐI 181

# NHỮNG CON ĐƯỜNG CỦA ÁNH SÁNG

VẬT LÝ SIÊU HÌNH HỌC CỦA ÁNH SÁNG VÀ BÓNG TỐI

TRỊNH XUÂN THUẬN

Phạm Văn Thiều - Ngô Vũ dịch

---

*Chịu trách nhiệm xuất bản:*

Giám đốc - Tổng biên tập NGUYỄN MINH NHỰT

*Chịu trách nhiệm nội dung:*

Phó Giám đốc - Phó Tổng biên tập NGUYỄN THẾ TRUẬT

*Biên tập:* NGUYỄN THỊ HẢI VÂN

*Xử lý bìa:* ĐẶNG TRÍ ĐỨC

*Biên tập tái bản và sửa bản in:*

PHẠM TRỌNG LIÊM CHÂU - NGUYỄN PHAN NAM AN

*Trình bày:* VŨ THỊ PHUƠNG

---

NHÀ XUẤT BẢN TRẺ

Địa chỉ: 161B Lý Chính Thắng, Phường 7,

Quận 3, Thành phố Hồ Chí Minh

Điện thoại: (08) 39316289 - 39316211 - 39317849 - 38465596

Fax: (08) 38437450

E-mail: hopthubandoc@nxbtre.com.vn

Website: www.nxbtre.com.vn

CHI NHÁNH NHÀ XUẤT BẢN TRẺ TẠI HÀ NỘI

Địa chỉ: Số 21, dãy A11, khu Đầm Trấu, Phường Bạch Đằng,

Quận Hai Bà Trưng, Thành phố Hà Nội

Điện thoại: (04) 37734544

Fax: (04) 35123395

E-mail: chinhanh@nxbtre.com.vn

CÔNG TY TNHH SÁCH ĐIỆN TỬ TRẺ (YBOOK)

161B Lý Chính Thắng, P.7, Q.3, Tp. HCM

ĐT: 08 35261001 – Fax: 08 38437450

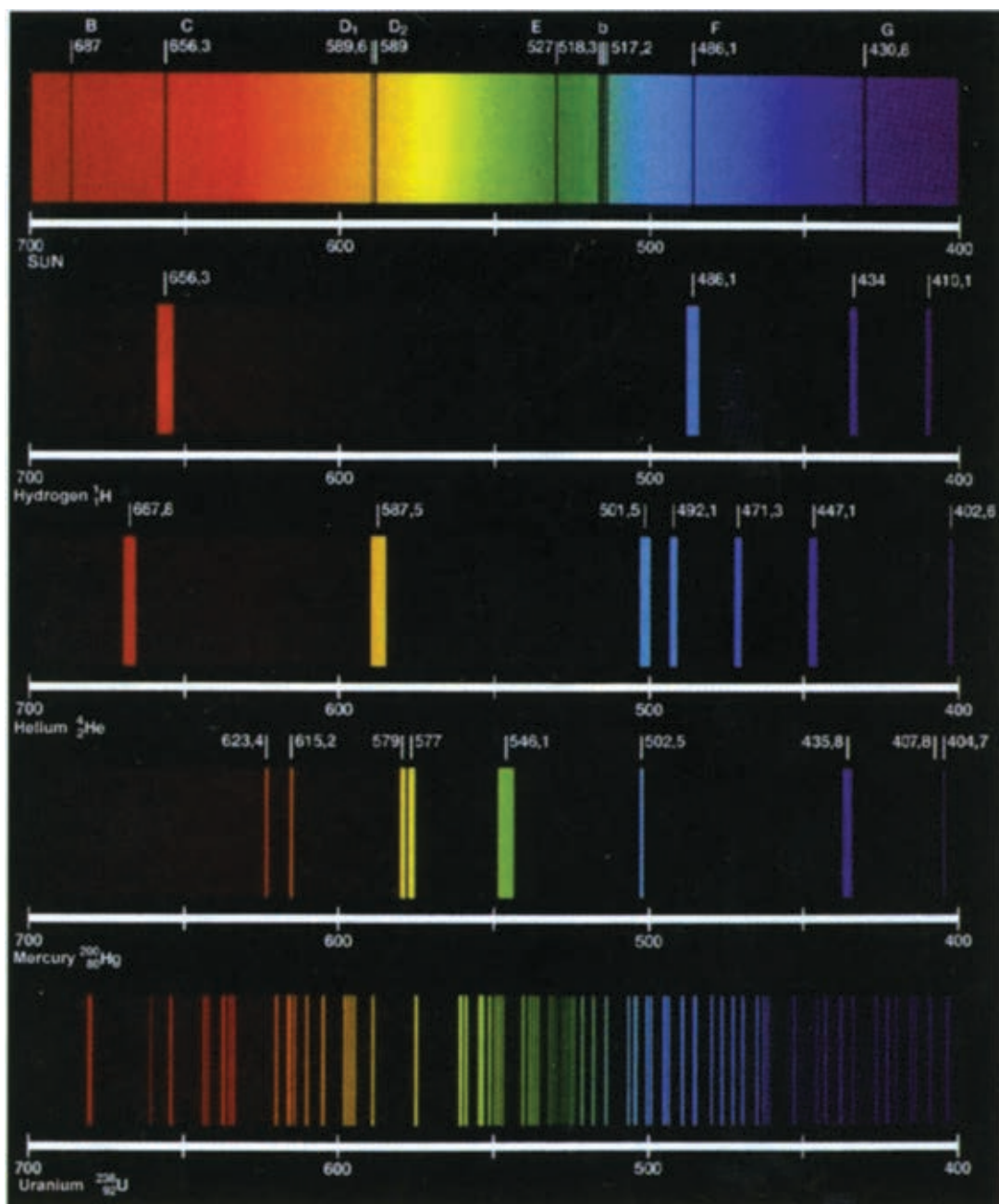
Email: info@ybook.vn

Website: www.ybook.vn





Sự phân tách ánh sáng trắng thành các màu cầu vồng nhờ một lăng kính thủy tinh.



Hình 2

Quang phổ vạch phát xạ của Mặt trời (hàng đầu tiên) và của các nguyên tố hóa học quen thuộc như hiđrô (hàng thứ hai), hêli (hàng thứ ba), thủy ngân (hàng thứ tư) và urani (hàng thứ năm).

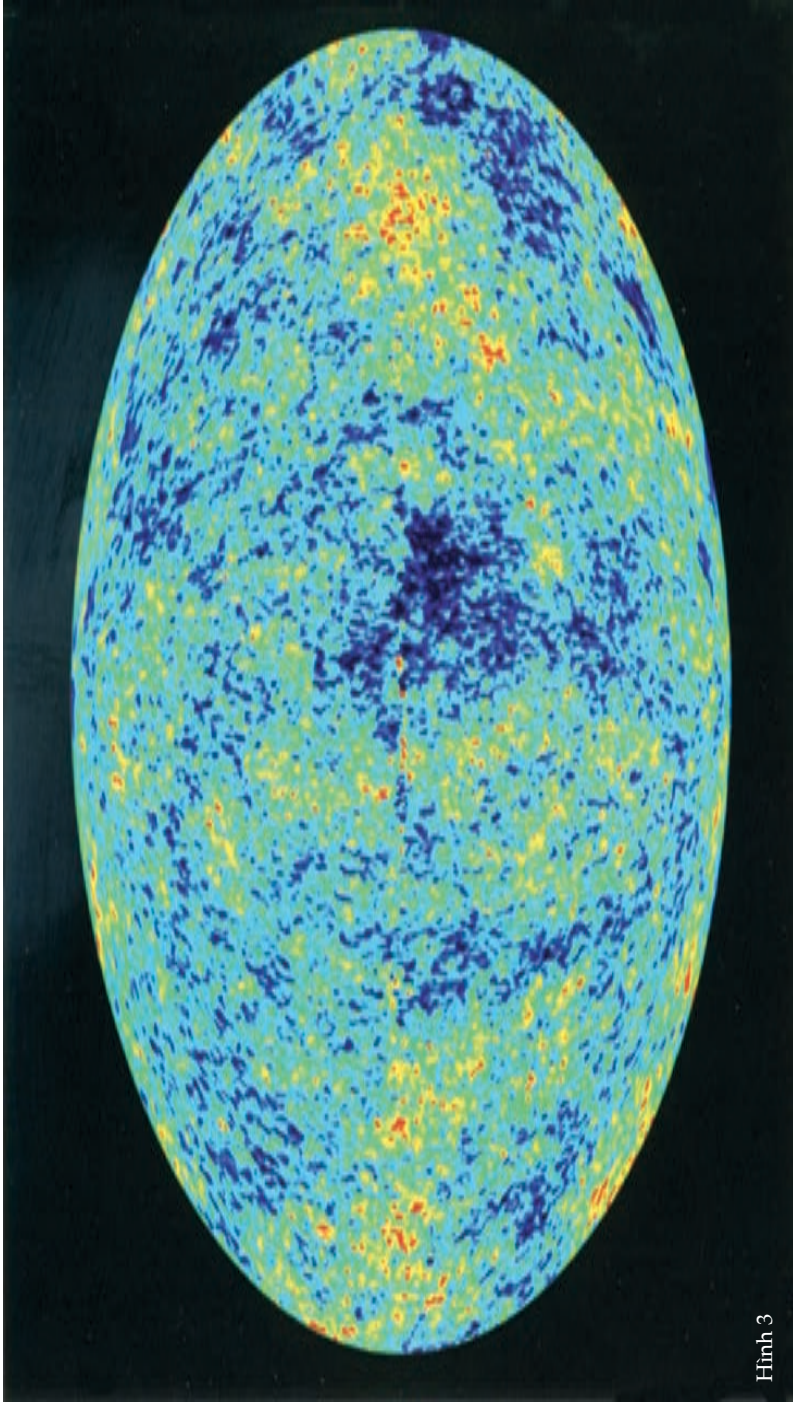
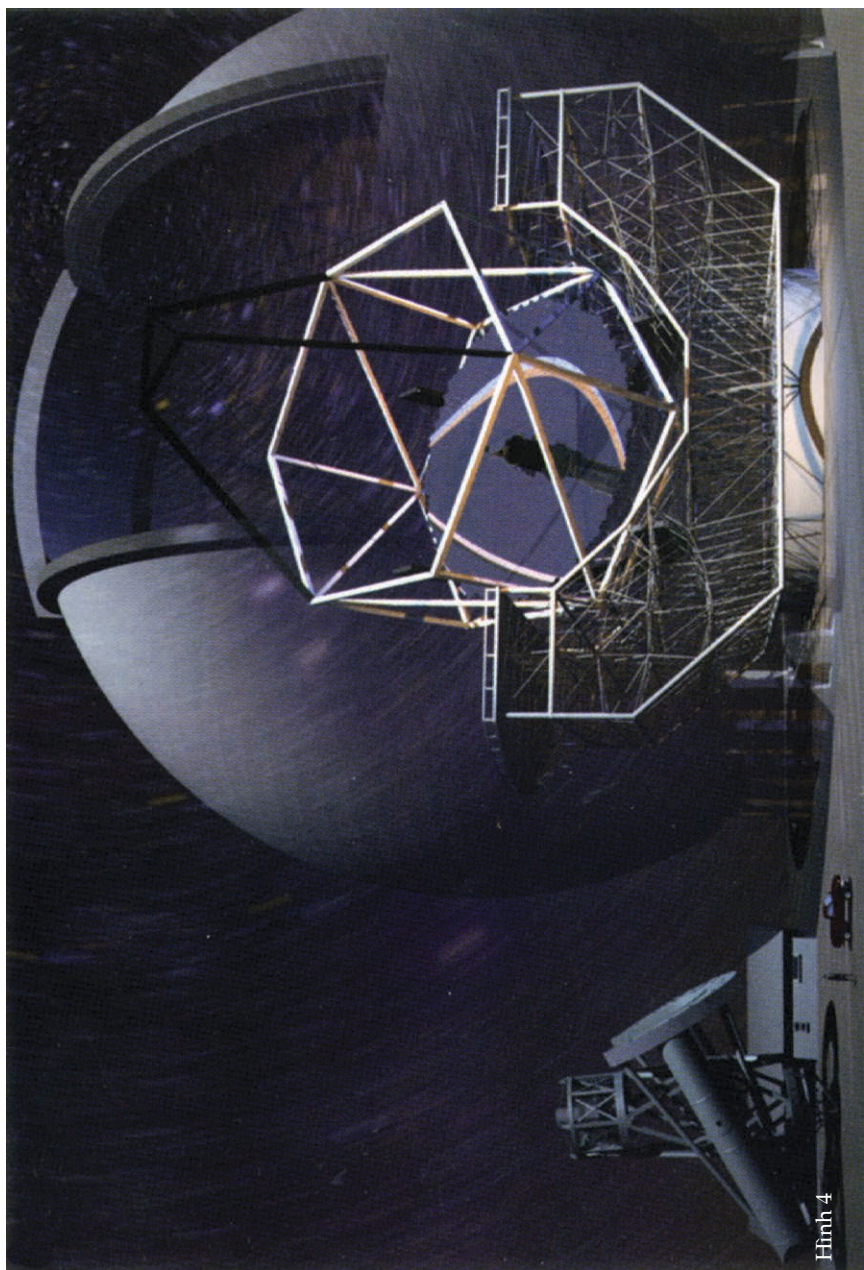


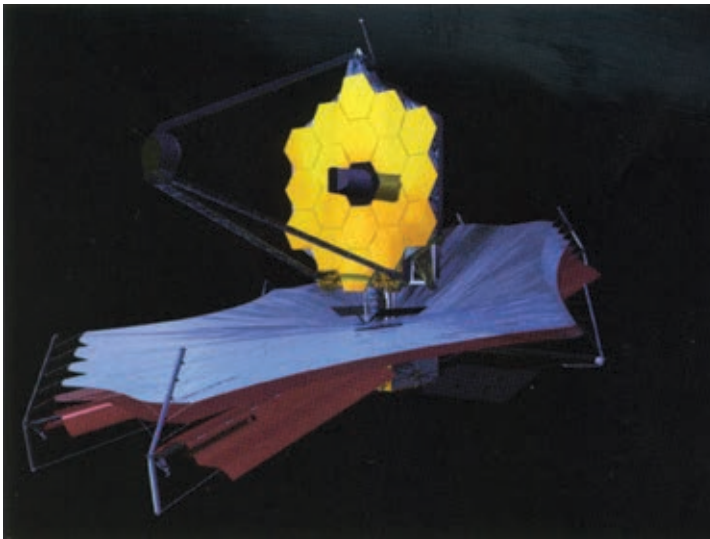
Photo: NASA

Tấm bản đồ bầu trời do vệ tinh WMAP chụp này là hình ảnh xa xưa nhất mà ta có thể nhận được của vũ trụ. Nó cho ta biết về phân bố không gian của bức xạ vi ba hóa thạch của vũ trụ tới chúng ta từ thời vũ trụ mới được 380.000 năm tuổi. Những điểm màu biểu diễn các thăng giáng nhỏ về nhiệt độ, cỡ vài phần trăm ngàn độ Kelvin, tương ứng với những thăng giáng nhỏ về mật độ vật chất. Những thăng giáng này của vật chất là những hạt giống của các thiên hà, chúng sẽ nảy mầm và cho ra đời những thiên hà lỏng lẻo của vũ trụ ngày hôm nay.



Hình 4

Các kính thiên văn khổng lồ của tương lai. Để lần ngược trở lại thời gian khoảng 13 tỷ năm và chiêm ngưỡng sự ra đời của những ngôi sao và thiên hà đầu tiên, các nhà thiên văn đã hăm hở bắt tay lập kế hoạch xây dựng những kính thiên văn khổng lồ trong tương lai. Một trong những dự án xây dựng một kính thiên văn khổng lồ, dự kiến vào năm 2015, là kính TMT (chữ viết tắt gồm các chữ cái đầu tiên của cụm từ *Thirty Meter Telescope*). Kính này có đường kính 30m (hãy so với kích thước con người và xem hình ảnh) và có năng suất phân giải lớn gấp 36 lần kính thiên văn 5m ở Palomar (bên trái).



© NASA/James  
Web Space  
Telescope

Hình 5

Kính thiên văn không gian James Webb (JWST - các chữ đầu của cụm từ tiếng Anh “James Webb Space Telescope”), dự kiến vào năm 2013 để kế tục kính Hubble. Kính này sẽ hoạt động trong vùng hồng ngoại gần và là một phương tiện dùng để thu ánh sáng tới từ các ngôi sao và thiên hà đầu tiên. Kính gồm 18 mảnh hình lục giác tạo thành một gương có đường kính 6,5m lớn hơn đáng kể so với kính Hubble 2,5m. JWST sẽ hoạt động mà không có ống viễn vọng, nhưng nó sẽ được bảo vệ đối với ánh sáng chói bóng của Mặt Trời bằng một tấm chắn nắng lớn gồm nhiều lớp.

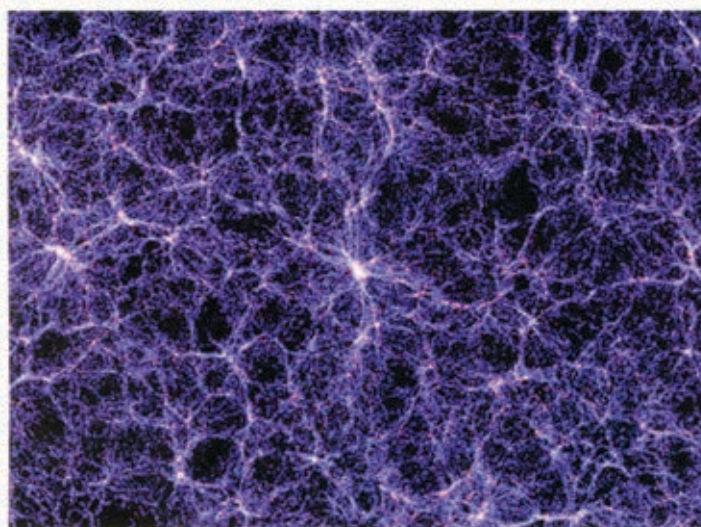
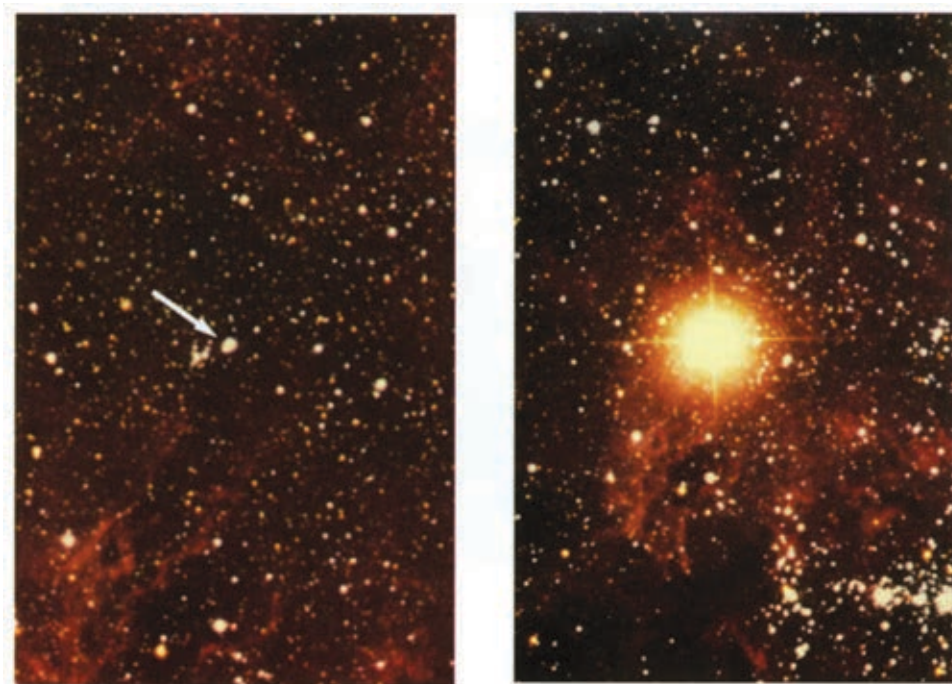


Photo:  
Millenium  
similation,  
Virgo  
consortium  
- © NMM  
London

Hình 6

Một mô phỏng vũ trụ. Máy tính quỹ đạo của hơn 10 tỷ hạt trong một vùng không gian của vũ trụ hình khối lập phương có mỗi cạnh dài hơn 2 tỷ năm ánh sáng. Sau quá trình tiến hóa khoảng 13,7 tỷ năm, các hạt vẽ nên một mạng khổng lồ các sợi đan bện với các bức tường tạo từ các thiên hà trải dài trên hàng trăm triệu năm ánh sáng giới hạn các vùng chân không cũng rộng lớn không kém. Phần lớn nhất của vật chất (99,5%) không biến thành các ngôi sao và không phát sáng. Chúng là vật chất tối của vũ trụ. Chỉ có 0,5% vật chất trong vũ trụ là phát sáng ở những nơi có mật độ cao nhất (các chấm sáng) tạo nên các đám thiên hà.



Hình 7. Sao siêu mới 1987A trong Đám mây Magellan lớn. Một nguồn sáng vũ trụ tăng một cách bất ngờ và đáng kể về độ sáng báo hiệu cái chết bùng nổ của một ngôi sao nặng, gọi là sao siêu mới. (Hãy so sánh độ sáng của ngôi sao được chỉ bằng mũi tên trong bức ảnh bên trái với độ sáng của ngôi sao ở bức ảnh bên phải). Ngôi sao bùng nổ trong Đám mây Magellan lớn, một thiên hà lùn, vệ tinh của Ngân Hà, ở cách Trái Đất khoảng 160.000 năm ánh sáng, có khối lượng lớn gấp Mặt Trời 20 lần.

Photo: Anglo - Australian Observatory

Thiên hà xanh compact (đặc và nhỏ) I Zwicky 18 do kính Hubble chụp, là một thiên hà lùn bất thường. Cùng với Yuri Izotov, một đồng nghiệp của tôi, tôi đã xác định được rằng tuổi của ngôi sao già nhất trong thiên hà I Zwicky 18 chỉ khoảng hơn 1 tỷ năm, chỉ là một ngọn lửa rom so với tuổi 13,7 tỷ năm của vũ trụ. Do vậy, I Zwicky 18 chỉ là một thiên hà sơ sinh trong vũ trụ đã trưởng thành và cũng là thiên hà trẻ nhất trong vũ trụ.

Photo: NASA/STSCI/ Trịnh Xuân Thuận

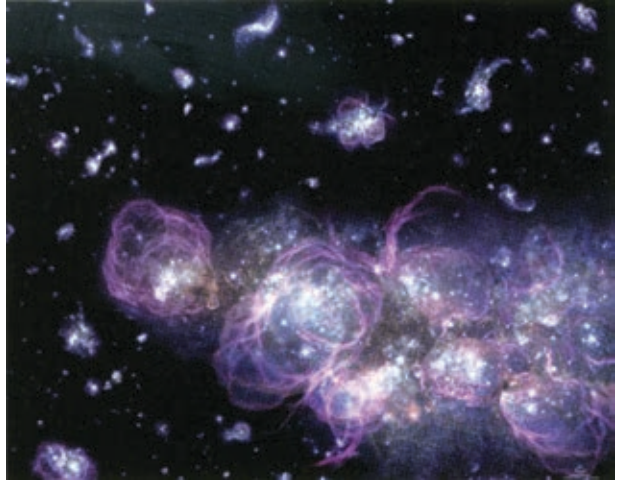


Hình 8

Hình 9

Những ngôi sao đầu tiên. Ánh sáng có năng lượng lớn do các ngôi sao đầu tiên phát ra chiếu sáng các đám mây hiđrô và hêli vốn là những tổ kén của chúng. Vũ trụ cho tới lúc đó không có ánh sáng khả kiến, nó được chiếu sáng bởi vô số những quả cầu khí phát sáng ở khắp nơi như một màn pháo hoa khổng lồ.

Photo: NASA/STCcl



Hình 10

Thiên hà elip Messier 89 hay NGC 4552. Nó là một trong số rất nhiều thiên hà thuộc đám Vierge và ở cách Trái đất 60 triệu năm ánh sáng.

Photo: Anglo - Australian Observatory



Hình 11

Thiên hà xoắn ốc NGC 1309 do kính thiên văn Hubble chụp. Thuộc cụm thiên hà Eridanus, nó cách Trái đất 100 triệu năm ánh sáng.

Photo: NASA/STCcl

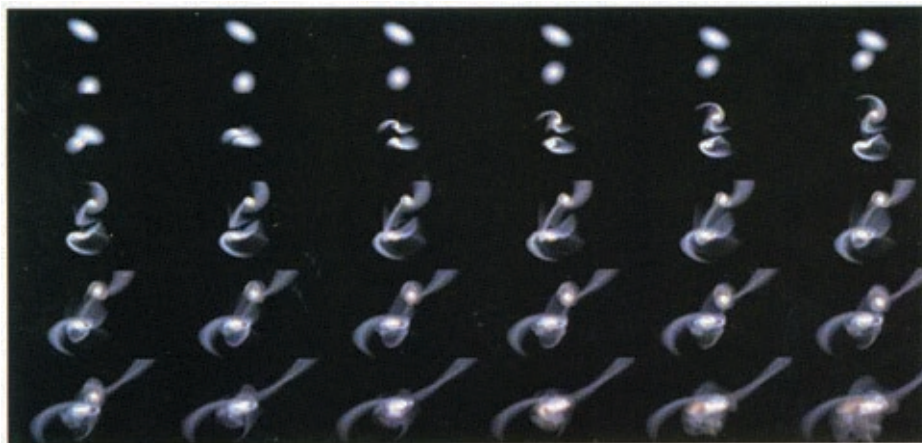




Hình 12

Tinh vân hành tinh Helice do Hubble chụp. Nằm cách Trái đất 650 năm ánh sáng, đây là một trong số những tinh vân hành tinh gần nhất ở trong Ngân hà. Điểm sáng nhỏ ở tâm của tinh vân này là một sao lùn trắng, xác của một ngôi sao chết.

Photo: NASA/STCcl



Hình 13

Sự va chạm đã được thông báo của Ngân hà với thiên hà Andromede được mô hình hóa bởi nhà Vật lý Thiên văn John Dubinski trên một siêu máy tính. Hình, được đọc từ trái sang phải, từ trên xuống dưới, cho thấy các bước khác nhau của quá trình va chạm đó. Sau một vũ điệu hấp dẫn phức tạp trong khoảng một tỷ năm, hai thiên hà này sẽ hòa nhập tạo nên một thiên hà elip.

Dữ liệu: John Dubinski, Đại học Toronto





TRINH XUÂN THUẬN

Viện Hàn lâm Pháp đã quyết định trao Giải thưởng lớn Moron của năm 2007 cho nhà vật lý thiên văn người Mỹ gốc Việt Trinh Xuân Thuận vì cuốn sách phổ biến khoa học mới nhất của ông **Những con đường của ánh sáng: vật lý và siêu hình học của ánh sáng và bóng tối** được NXB Fayard (Pháp) cho ra mắt vào tháng 3 năm 2007.

Giải thưởng lớn Moron được coi là tương đương với giải thưởng Pulitzer hay Giải thưởng sách quốc gia của Mỹ. Trong nhiều năm, giải thưởng này đã được trao cho các tác giả xuất sắc của nước Pháp, kể cả các chính khách và các học giả.

Trong cuốn sách dày 750 trang này, Trinh Xuân Thuận đã thảo luận về ánh sáng, và liên quan tới nó là bóng tối, trên nhiều phương diện, bao gồm tầm quan trọng của nó đối với sự sống, đối với khoa học, sự diễn giải ánh sáng của bộ não, nghệ thuật của các họa sĩ thuộc trường phái ấn tượng, việc sử dụng ánh sáng trong kiến trúc và các khía cạnh tâm linh của ánh sáng... Cuốn sách này cũng là bản sử thi về cuộc hành trình của con người đi vào vương quốc ánh sáng và giải mã những bí mật của nó.

Giải thưởng lớn Moron thường được trao cho các tác phẩm triết học hơn là khoa học. Tuy nhiên, Trinh Xuân Thuận luôn viết về khoa học trên quan điểm triết học, như ông đã làm trong **Những con đường của ánh sáng**.

Sinh ra và lớn lên ở Việt Nam, từ nhỏ đã được học trong các trường Pháp, nên Trinh Xuân Thuận luôn viết sách bằng tiếng Pháp. Ông đã cho xuất bản 8 cuốn sách, trong đó có nhiều cuốn là best-seller và được dịch ra nhiều thứ tiếng trên thế giới. Đặc biệt, cuốn **Cái vô hạn trong lòng bàn tay - Một cuộc đối thoại giữa Vật lý và Phật giáo**,- đã được đón tiếp rất nồng nhiệt ở Pháp, Mỹ và Việt Nam.

Lĩnh vực nghiên cứu hiện nay của Trinh Xuân Thuận là tìm hiểu sự hình thành của các thiên hà.

Lễ trao giải thưởng lớn Moron cho Trinh Xuân Thuận đã được tổ chức trọng thể vào tháng 11 năm 2007 với giải thưởng trị giá 5000 euro.

PRESS BUREAU - ĐH VIRGINIA