

GIẢI THƯỞNG LỚN MORON 2007

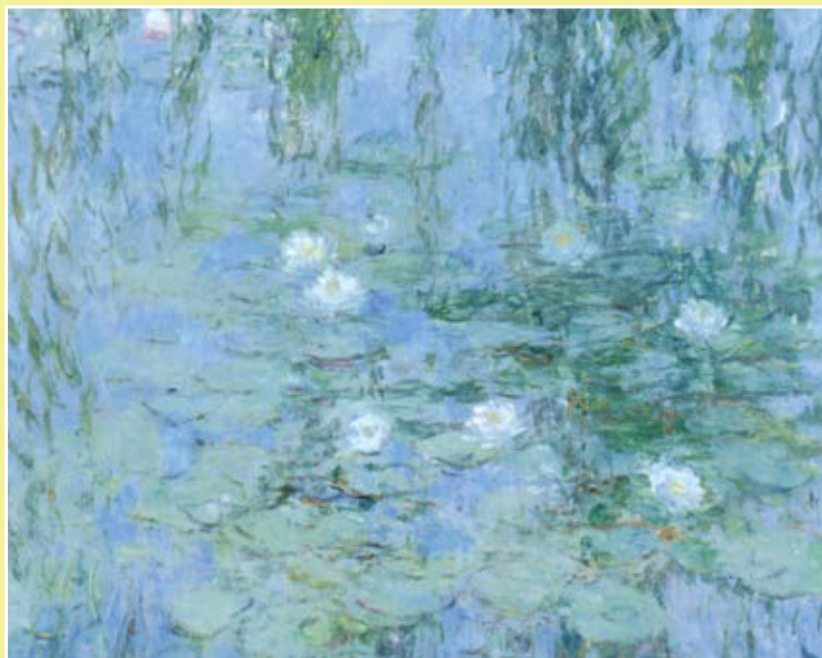
TRỊNH XUÂN THUẬN

PHẠM VĂN THIỀU - NGÔ VŨ dịch

# *Những con đường của ánh sáng*

*Vật lý và siêu hình học của ánh sáng và bóng tối*

Tập II



NHÀ XUẤT BẢN TRẺ



# NHỮNG CON ĐƯỜNG CỦA ÁNH SÁNG

Vật lý và siêu hình học của ánh sáng và bóng tối

LES VOIES DE LA LUMIÈRE của Trịnh Xuân Thuận  
Copyright © LIBRAIRIE ARTHÈME FAYARD 2007

---

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

Những con đường của ánh sáng. T.2 / Trịnh Xuân Thuận ; Phạm Văn Thiều, Ngô Vũ d. -  
T.P. Hồ Chí Minh : Trẻ, 2008.  
303tr. ; 24cm.  
Nguyên bản : Les voies de la lumière.  
1. Ánh sáng -- Sự truyền ánh sáng. 2. Vật lý thiên văn. I. Phạm Văn Thiều d. II. Ngô Vũ  
d. III. Ts: Les voies de la lumière.

523.015 -- dc 22  
T833-T53

TRỊNH XUÂN THUẬN

PHẠM VĂN THIỀU - NGÔ VŨ dịch

*Những con đường  
của ánh sáng*

*Vật lý và siêu hình học của ánh sáng và bóng tối*

Tập II



*Đó là một hẻm xanh, nơi con sông ca hát  
Những mảnh bạc vung vãi bay đâu đó  
Đỉnh núi cao rọi rõ mặt trời  
Đó là một thung nhỏ ánh nắng reo vui.*

*Arthur 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 con 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 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 ba chục kilômét mỗi giây trong chuyến 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 chuyến chu du của nó quanh trung tâm của Ngân hà, với vận tốc hai trăm ba mươi kilômét mỗi giây. Thế vẫn chưa hết: Ngân hà lại roi với vận tốc chín mươi 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 sáu trăm 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 dịch chuyển về phía năng lượng nhỏ hơn) nếu vật tiến ra xa, và về phía xanh lam (các vạch hấp thụ 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 ngợi 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 đằng đặc 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 đôi trọng của ánh sáng, đó là bóng tối. Sau rốt, 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 đột 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. Tác giả 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 thắp 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 “khuyết đại” ánh sáng nhìn thấy được, và với vô số các ứng dụng đa dạng bắt nguồn từ đó.

Sau đó tác giả 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 vài trăm sắc thái và màu 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 đốn đau 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 thâm 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 có 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, ấn 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 5

# ÁNH SÁNG CỦA SỰ SỐNG: MẶT TRỜI, NĂNG LƯỢNG, BẦU TRỜI XANH VÀ CẦU VỒNG

### *Mặt trời và bầu đoàn hành tinh của nó*

Cách đây 4,55 tỉ năm, tại ngoại ô của Ngân Hà, nằm cách tâm Ngân Hà 26.000 năm ánh sáng, một đám mây giữa các vì sao đường kính khoảng một năm ánh sáng (10.000 tỉ km), được cấu thành tới 98% từ hỗn hợp khí hydro và heli và một ít nguyên tố nặng (2%), tất cả được trộn với rất nhiều hạt bụi, đã co mạnh lại do hiệu ứng hấp dẫn của chính nó. Chuyển động co lại này được khởi phát bởi một sao siêu mới (cái chết bùng nổ của một sao ở gần) đã làm cho đám mây co lại và phân lõi của nó có mật độ ngày càng cao hơn và nóng hơn. Rất nhanh sau đó, mật độ của vùng trung tâm này cao gấp 150 lần mật độ của nước, và nhiệt độ của nó lên tới 15 triệu độ Kelvin. Các phản ứng hạt nhân được khởi phát, các hạt nhân hydro (hay proton) cứ bốn hạt tổng hợp với nhau thành các nhân heli, giải phóng rất nhiều ánh sáng và năng lượng. Khối khí bốc cháy: Mặt trời ra đời và thuộc thế hệ sao thứ ba. Kể từ đó sự chuyển hóa hydro thành năng lượng diễn ra không ngừng nghỉ và Mặt trời ngày nay vẫn tiếp tục chuyển hóa mỗi giây 4,3 triệu tấn hydro thành ánh sáng và năng lượng.

Trong khi co lại, đám mây giữa các vì sao, hay “tinh vân Mặt trời”, quay quanh chính nó ngày càng nhanh hơn, giống như nghệ sĩ trượt băng nghệ thuật sẽ quay nhanh hơn khi thu tay dọc theo cơ thể. Trong khi tâm của tinh

vân Mặt trời co lại để tạo nên Mặt trời, các lực li tâm được sinh ra bởi chuyển động quay làm cho phần bên ngoài của nó phân bố thành một đĩa dẹt đường kính khoảng 5 giờ ánh sáng, tức bằng một trăm lần khoảng cách 150 triệu kilômet giữa Trái đất và Mặt trời. Trong đĩa khí này rải rác vô số các hạt bụi có kích thước vô cùng nhỏ, khoảng một phần mười nghìn milimet, được sinh ra trong khí quyển của các sao kền đỏ thuở xa xưa. Được lực hấp dẫn kích thích và lực điện từ làm chất kết dính, các hạt này kết tụ lại với nhau để tạo thành các viên gạch xây nên các hành tinh, hay còn được gọi là “vật chất cấu thành hành tinh”. Quá trình kết tụ tiếp tục và vật chất cấu thành hành tinh dần dần đạt đến kích thước của một viên sỏi nhỏ, một cái kẹo, một quả trứng, một quả bóng tennis, một quả bóng đá, một sân vận động, một khu phố, một thành phố, một tỉnh, rồi có kích thước bằng cả nước Pháp, bằng Mặt trăng... Quá trình này chậm lại đáng kể vào giai đoạn cuối: trong khi chỉ cần vài trăm năm là có thể chuyển từ hạt bụi đến quả bóng đá, thì phải mất hàng trăm triệu năm mới có thể chuyển từ bóng đá thành một hành tinh. Vào cuối thời kỳ hình thành hệ Mặt trời, cách đây khoảng bốn tỉ năm, phần lớn các vật chất cấu thành hành tinh đã được tập hợp lại với nhau dưới tác động của lực hấp dẫn thành tám hành tinh (H. 46). Diêm Vương tinh, “hành tinh” xa Mặt trời nhất, là một trường hợp đặc biệt<sup>1</sup>: các nhà thiên văn học nghĩ rằng nó không được hình thành đồng thời với các hành tinh anh em của nó, mà trên thực tế nó là một tiểu hành tinh lớn bị phóng ra từ khu dự trữ sao chổi Kuiper, nằm ở ngay rìa của Hệ Mặt trời<sup>2</sup>, rồi bị lực hấp dẫn của Mặt trời giữ lại. Từ bốn tỉ năm nay, các hành tinh quay không biết mệt mỏi xung quanh Mặt trời<sup>3</sup>.

### *Mặt trời: thiên thể của ánh sáng và sự sống*

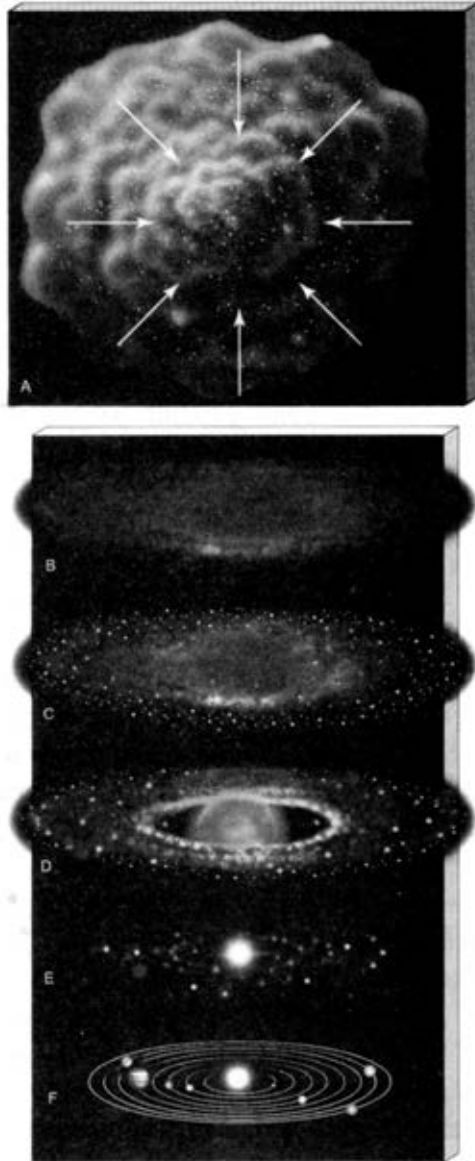
Trên một trong các hành tinh này, hành tinh thứ ba kể từ Mặt trời, sự sống đã được đánh thức. Đã xuất hiện ở đó con người biết tự vấn về vũ trụ đã sinh ra mình. Ngôi sao của chúng ta là một nguồn ánh sáng và nhiệt lượng duy



<sup>1</sup> Năm 2006, gần 2.500 nhà khoa học họp tại Praha, cộng hòa Czech đã nhất trí bỏ phiếu loại Diêm Vương tinh ra khỏi danh sách các hành tinh trong hệ Mặt trời. (ND)

<sup>2</sup> Khu dự trữ sao chổi mang tên nhà thiên văn học người Hà Lan Gerard Kuiper, người đã phát hiện ra nó.

<sup>3</sup> Để biết thêm chi tiết về sự hình thành các hành tinh, xem Trịnh Xuân Thuận, *Hỗn độn và Hài hòa*, Phạm Văn Thiều và Nguyễn Thanh Dương dịch, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2003, và *Nguồn gốc - Nỗi hoài niệm về những thuở ban đầu*, Phạm Văn Thiều và Ngô Vũ dịch, NXB Trẻ, 2006.



**Hình 46.** Sự hình thành Hệ Mặt trời. (a) Khối khí trung tâm co lại dưới tác dụng của lực hấp dẫn cho ra đời Mặt trời (hình trên). (b) Các phần bên ngoài dẹt xuống như một cái đĩa. (c) và (d): các hạt bụi kết tụ lại với nhau để tạo thành “vật chất cấu thành hành tinh”. Các trận gió dữ dội gây bởi Mặt trời non trẻ đẩy khí ra phía ngoài đĩa. (e) và (f): các vật chất cấu thành hành tinh tiếp tục kết tụ với nhau và tăng lên về kích thước. Sau khoảng 100 triệu năm, các hành tinh xuất hiện và chuyển động theo các quỹ đạo gần tròn xung quanh Mặt trời non trẻ.

nhất có thể duy trì sự sống này. Ánh sáng Mặt trời có liên quan rất nhiều đến hiện tượng sinh học của sự sống trên Trái đất. Chính ánh sáng cho phép chúng ta hoạt động trong môi trường của chúng ta: ánh sáng giúp ta nhìn thấy các vật bằng cách chiếu sáng chúng; ánh sáng do bề mặt của các vật phản chiếu đi vào mắt và báo cho chúng ta biết sự hiện diện, hình dáng và màu sắc của chúng. Hơn thế nữa, chúng ta hít thở ôxy được sinh ra bởi cây xanh; mà cây xanh tạo ra ôxy nhờ một quá trình hóa học gọi là “quang hợp”, sử dụng năng lượng của ánh sáng Mặt trời. Năng lượng hóa học do thức ăn tạo ra, xét cho cùng, cũng bắt nguồn từ quang hợp. Nhiên liệu mà chúng ta sử dụng để chạy xe, để điều hòa không khí trong phòng, để vận hành nhà máy chế tạo ra vô số các sản phẩm hàng ngày làm cho cuộc sống của chúng ta đầy đủ và dễ chịu hơn, phân tích cho đến cùng, cũng bắt nguồn từ ánh sáng Mặt trời. Chính ánh sáng Mặt trời điều chỉnh đồng hồ sinh học của bạn và làm cho bạn còn đủ tinh táo để đọc cuốn sách này. Hơn nữa, các mối quan hệ giữa sự sống và ánh sáng - thị giác, quang hợp, sự điều chỉnh đồng hồ sinh học, v.v... - không chỉ liên quan đến con người, mà còn đúng đối với đại đa số các loài sinh vật nữa.

Ngôi sao Mặt trời là một khối khí khổng lồ có bán kính bằng 109 lần bán kính của Trái đất, tức 696.000 km, và khối lượng lớn gấp cỡ 332.000 lần Trái đất, tức 2000 tỉ tỉ tỉ ( $2.10^{30}$ ) kg. Bề mặt chuyển động của Mặt trời, bao quanh là lửa, được đốt nóng bởi ngọn lửa hạt nhân ở trung tâm có nhiệt độ lên tới 5.780 độ Kelvin<sup>4</sup>, nhiệt độ làm chảy tất cả các vật liệu mà chúng ta biết hiện nay. Tâm của Mặt trời là một lò phản ứng hạt nhân khổng lồ phát ra một năng lượng khủng khiếp nhờ sự tổng hợp các hạt nhân hydro. Áp suất của các lớp trên và các phản ứng hạt nhân làm cho lõi của nó (có bán kính cỡ 175.000 km, tức một phần tư bán kính Mặt trời) bị nóng lên đến các nhiệt độ giảm dần từ 20 triệu độ ở tâm xuống đến 10 triệu độ ở biên của nó. Ở các bán kính lớn hơn 175.000 km, ngay khi nhiệt độ giảm xuống dưới 10 triệu độ, các phản ứng hạt nhân dừng lại, vì cần phải đạt đến nhiệt độ tối thiểu này thì các hạt nhân hydro mới có thể tổng hợp với nhau. Ở bên trên lõi này trải ra một vùng “bức xạ” rộng lớn dày tới 325.000 km, trong đó năng lượng sinh ra ở tâm của Mặt trời được vận tải tới các lớp ngoài bởi các photon sinh ra ở vùng trung tâm. Nhiệt độ tại các vùng bức xạ còn đủ cao để các nguyên tử hydro va chạm liên tục và dữ dội giải phóng ra các proton và electron: khí bị ion hóa. Photon từ vùng trung tâm phải mở một con đường qua cánh rừng



<sup>4</sup> Từ nay về sau, đơn vị sử dụng là nhiệt độ Kelvin, nếu không sẽ chỉ rõ đơn vị sử dụng là nhiệt độ nào.

rậm rạp các proton và electron tự do. Ở đó chúng va chạm vào nhau bất cứ lúc nào, và thay vì bay theo đường thẳng, chúng phải đi theo các con đường vô cùng zig-zag để ra được bên ngoài, giống như một người say rượu không sao đi thẳng được. Do đó, thay vì mất hơn một giây để vượt qua vùng bức xạ, chúng đã phải mất khoảng... 170.000 năm!

Ở trên vùng bức xạ, nhiệt độ tiếp tục giảm, va chạm giữa các nguyên tử hydro xảy ra thưa thớt hơn và cũng ít dữ dội hơn, và electron vẫn gắn kết với proton trong các nguyên tử-nhà tù của chúng: khí chuyển từ trạng thái ion hóa mạnh sang trạng thái trung hòa. Các nguyên tử trung hòa hấp thụ photon, điều này ngăn cản năng lượng Mặt trời tán xạ ra phía ngoài thông qua bức xạ, như từng xảy ra trong vùng bức xạ. Để có thể tỏa sáng bằng toàn bộ ngọn lửa của mình, Mặt trời phải dùng đến một cơ chế khác, gọi là “đổi lưu”. Tất cả chúng ta đều biết hiện tượng này khi đun nước: nước nóng nổi lên bề mặt, bị nguội đi rồi lại hạ xuống, tạo thành các chuyển động tròn. Tương tự, trong vùng đổi lưu dày 200.000 km, từ mép trên của vùng bức xạ cho tới bề mặt của Mặt trời (hay “quang cầu” - tức mặt cầu phát ra ánh sáng), khí nóng bay lên, và do nhiệt độ của quang cầu thấp hơn nhiệt độ của các lớp dưới, nên sẽ bị lạnh đi rồi rơi xuống, tạo ra các khoang đổi lưu khổng lồ có dạng là các vòng kín. Tình hình trong vùng đổi lưu là hoàn toàn khác với trong vùng bức xạ: năng lượng ở đây được chuyển tải tới bề mặt Mặt trời không phải bởi ánh sáng, mà bởi chuyển động của vật chất khí. Chính vì các chuyển động đổi lưu này mà bề mặt liên tục thay đổi của Mặt trời xuất hiện như một miếng vá khổng lồ khoảng 4 triệu ô khí lớn, mỗi ô có kích thước khoảng một nghìn kilômét, cỡ kích thước của một lục địa trên Trái đất, chúng xuất hiện và biến mất theo các chu kỳ sinh tử liên tục cứ mỗi mười giây một lần (H. 47).

### *Tính gián đoạn của ánh sáng Mặt trời*

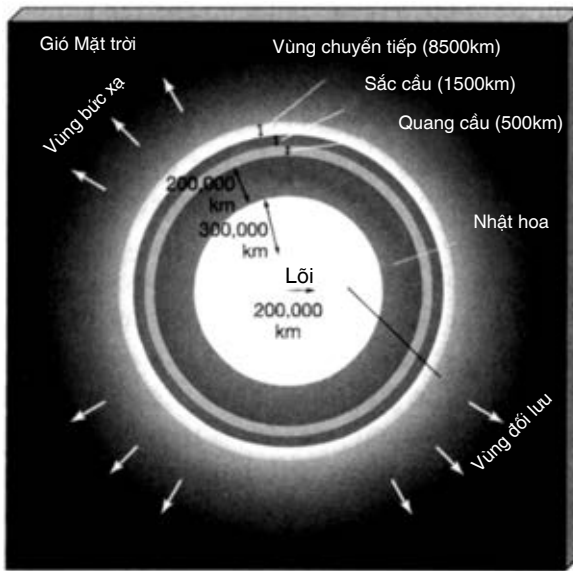
Sự phát sáng không dừng lại ở bề mặt của Mặt trời, như thoạt tiên ta tưởng. Ở trên quang cầu còn có một vùng rộng lớn khí cực kỳ nóng phát ra ánh sáng không nhìn thấy được bằng mắt thường<sup>5</sup>. Vỏ bọc khí nóng mà



<sup>5</sup> Nếu nhìn thẳng vào Mặt trời, võng mạc có nguy cơ bị hỏng và mắt sẽ bị mù, nên chúng ta không bao giờ được nhìn Mặt trời bằng mắt trần, mà không đeo kính bảo vệ phù hợp. Tuy nhiên, thật may là chúng ta có thể chiêm ngưỡng trực tiếp cảnh bình minh và hoàng hôn tuyệt đẹp, vì bức xạ Mặt trời ở những lúc này bị hấp thụ một phần bởi các lớp khí quyển, và cường độ của nó đã giảm đi đáng kể.

người ta gọi là “vành nhật hoa” trải cho đến khoảng 10 triệu kilomet bên trên bề mặt của Mặt trời (H. 47). Thông thường, người ta chỉ có thể quan sát rõ được nó khi có nhật thực, khi đĩa Mặt trăng chắn hết ánh sáng làm chói mắt của Mặt trời<sup>6</sup>.

Các nguyên tử khí của Mặt trời (hay mọi sao khác cũng thế) đều phát ra ánh sáng có các năng lượng rất xác định sinh ra các vạch sáng trong quang phổ. Có thể biết phổ của một sao bằng cách phân tách ánh sáng của nó thành các thành phần năng lượng hay màu sắc khác nhau bằng lăng kính. Khi ánh sáng Mặt trời được phân tách như vậy, thoạt trông nó có vẻ như một quang phổ liên tục. Nhưng sự nghiên cứu chi tiết hơn bằng một máy quang phổ lại cho thấy phổ của ánh sáng Mặt trời không hề liên tục, mà bị bẻ thành hàng trăm vạch thẳng đứng. Nhà vật lý người Đức Joseph Fraunhofer (1787-1826), người phát minh ra máy quang phổ, đã phân loại được hơn sáu trăm vạch! Năm 1913, nhà vật lý người Đan Mạch Niels Bohr giải thích rằng tính



**Hình 47.** Các vùng chính bên trong Mặt trời. Để thể hiện được các vùng nhỏ nhất, các tỷ lệ ở đây không đúng theo thực tế.

❖

<sup>6</sup> Năm 1930, nhà thiên văn học người Pháp Bernard Lyot đã sáng chế một dụng cụ rất khéo, gọi là “nhật hoa ký” có thể che khuất hình ảnh của đĩa Mặt trời trong kính thiên văn và cho phép các nhà thiên văn quan sát vành nhật hoa Mặt trời mà không cần phải chờ nhật thực.

gián đoạn của ánh sáng gắn liền với tính gián đoạn của vật chất. Thực tế, trong mô hình nguyên tử của Bohr, các electron trong một nguyên tử không thể muốn đi thế nào thì đi, mà buộc phải đi theo các quỹ đạo rất xác định, ở cách hạt nhân một khoảng xác định. Mỗi lần một electron thực hiện một cú nhảy lượng tử từ một quỹ đạo ở xa sang một quỹ đạo gần hơn thì một hạt ánh sáng lại được phát ra. Năng lượng của hạt ánh sáng đúng bằng hiệu năng lượng của quỹ đạo xuất phát và năng lượng của quỹ đạo đến. Do đó, sự phân bố các vạch phổ phản ánh trung thành sự sắp xếp quỹ đạo của các electron bên trong nguyên tử. Sự sắp xếp này là duy nhất đối với mỗi nguyên tử. Nó tạo thành một dạng dấu vân tay, một dạng thẻ căn cước của nguyên tố hóa học. Cũng giống như cảnh sát nhận dạng tội phạm bằng các dấu vân tay mà hãn vô ý để lại hiện trường vụ án, nhà thiên văn nhận dạng các nguyên tố hóa học có trong khí của một ngôi sao nhờ sự phân bố các vạch phổ của nó. Chính các vạch phổ này cho chúng ta biết cấu tạo hóa học của các sao, các thiên hà và của toàn vũ trụ.

Phần lớn các vạch phổ của Mặt trời đều có thể được gán cho các nguyên tố hóa học đã biết trên Trái đất, như sắt chẳng hạn, điều này khẳng định thêm ý tưởng về sự thống nhất sâu sắc giữa trời và đất, mà Newton đã nêu ra khi ông phát hiện ra định luật vạn vật hấp dẫn vào năm 1666. Nhưng cũng các vạch mới cũng xuất hiện. Năm 1868, các nhà thiên văn đã hiểu rằng các vạch chưa hề biết này có lẽ gây bởi một nguyên tố hóa học chưa biết trên Trái đất, và họ gọi nó là "hêli" (theo tiếng Hy Lạp *helios*, nghĩa là "Mặt trời"). Mãi đến năm 1895, gần ba thập kỷ sau khi phát hiện ra nó trong ánh sáng Mặt trời bị phân tách, thì hêli mới được phát hiện trên Trái đất. Khí này được dùng để bơm cho những quả bóng bay đa sắc của trẻ nhỏ, làm cho chúng bay lên trời cao, và làm cho chúng ta có giọng ngọt mũi khi hít phải...

### *Nhiệt độ cực cao của vành nhật hoa*

Trong những năm 1920, sự quan sát màu sắc của vành nhật hoa trong các kỳ nhật thực tiết lộ rằng khí cực kỳ loãng của vành nhật hoa này cũng phát ra các vạch mới. Do thiếu thông tin, các nhà thiên văn gán các vạch chưa rõ này cho một nguyên tố hóa học khác không thấy có trên Trái đất mà họ gọi là "coroni" (từ chữ *corona* có nghĩa là vành nhật hoa ND). Ngày nay chúng ta biết rằng *coroni* không hề tồn tại, rằng các vạch này không phải là do một dạng nguyên tử mới phát ra, mà thực tế là do các nguyên tử đã biết nhưng bị mất nhiều electron hơn các nguyên tử có trong quang cầu. Người ta nói rằng chúng bị ion hóa nhiều hơn, bởi vì một ion không gì khác hơn là một nguyên tử bị

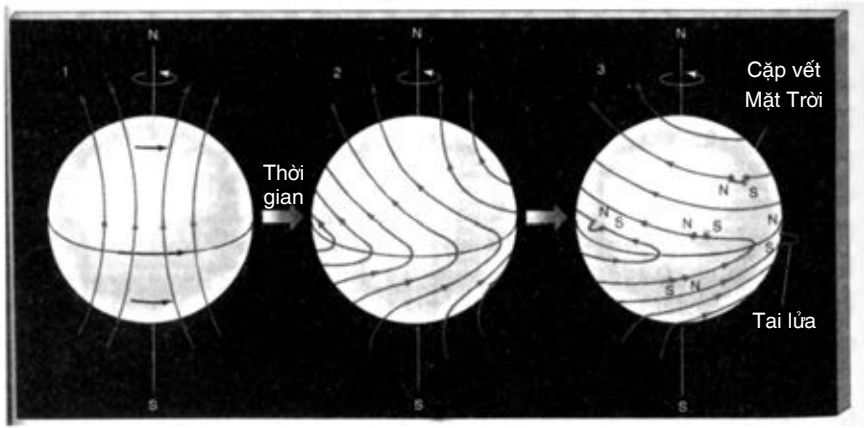
mất electron<sup>7</sup>. Điều đó giải thích tại sao các cấu trúc electron bên trong và do đó là các vạch phổ của các nguyên tử trong vành nhật hoa khác với các vạch phổ của các nguyên tử và ion trong quang cầu. Chẳng hạn, các nhà vật lý thiên văn đã nhận diện được các vạch nhật hoa là của các nguyên tử sắt đã bị mất 13 trong số 26 electron của chúng, trong khi ở quang cầu phần lớn các nguyên tử sắt chỉ mất tối đa là một hoặc hai electron. Sở dĩ các nguyên tử bị mất nhiều electron là vì nhiệt độ của vành nhật hoa rất cao. Các nhà vật lý thiên văn đã rất sững sốt khi phát hiện ở vài nghìn kilomet bên dưới bề mặt của Mặt trời, nhiệt độ, đáng lẽ ra phải giảm và thấp hơn nhiệt độ của quang cầu, thì ngược lại, nó lại cao hơn vài trăm lần! Thực vậy, các quan sát chứng tỏ rằng nếu nhiệt độ giảm từ 5.800 độ Kelvin của quang cầu xuống một nhiệt độ tối thiểu là 4.500 độ Kelvin ở khoảng 500 km ở trên quang cầu, thì sau đó nó lại tăng rất nhanh, đạt tới một triệu độ ở độ cao 10 km! Rồi nó lại tăng dần để đạt đến một giá trị trung bình ổn định là 3 triệu độ ở độ cao khoảng 10.000 km, với rải rác là các vùng nóng hơn có thể gấp vài lần nhiệt độ trung bình. Các nhiệt độ rất cao này làm cho phần bên ngoài bề mặt nhìn thấy được của Mặt trời phát ra ánh sáng cực kỳ giàu năng lượng dưới dạng các tia cực tím và tia X.

Vậy tại sao nhiệt độ lại tăng trong khi rời xa lò lửa nhiệt hạch ở trung tâm? Hiện nay chưa có ai giải thích được điều này một cách đầy đủ. Càng khó giải thích hơn khi mà hiện tượng nóng lên lại xảy ra đột ngột, chỉ trên vài trăm kilomet. Các nhà thiên văn nghĩ rằng đó là do các nhiễu loạn từ ở bề mặt của Mặt trời. Thực tế, Mặt trời là một loại nam châm khổng lồ với các đường sức đi xuyên qua nó và ló ra ở gần các cực từ Bắc và Nam. Nhưng Mặt trời khác nam châm ở chỗ nó không rắn và phải mất nhiều thời gian hơn mới quay trọn một vòng quanh mình nó ở các cực (35 ngày) so với ở xích đạo (25 ngày). Do chuyển động quay vi sai này nên các đường sức từ bên trong Mặt trời bị kéo dãn, xoắn và trộn vào nhau (H. 48). Một số đường ló ra ở bề mặt, tạo ra các vùng tối có kích thước cỡ Trái đất. Đó chính là các "vết Mặt trời" do Galileo phát hiện ở thế kỷ XVII (H. 14 của tập ảnh màu). Các vùng này tối không phải bởi vì chúng không phát ra ánh sáng, mà bởi vì nhiệt độ của chúng chỉ cỡ 1300 độ, thấp hơn nhiệt độ của bề mặt Mặt trời. Thỉnh thoảng, các đường sức từ có các cực đối nhau có thể gặp nhau và triệt tiêu nhau. Quá trình này giải phóng một lượng lớn năng lượng, làm tăng tốc các hạt và tạo ra các sóng lan truyền trong lớp khí loãng của vành nhật hoa và làm cho nó nóng lên.

❖

<sup>7</sup> Do vậy nếu các nguyên tử trung hòa, thì các điện tích dương của proton trong hạt nhân nguyên tử của chúng được bù lại chính xác bởi các điện tích âm của electron, còn các ion thì có điện tích dương.





**Hình 48.** Từ trường bên trong Mặt trời. Chuyển động quay vi sai của Mặt trời làm cho các đường sức từ bị kéo dãn và xoắn. Một số ló ra ở bề mặt, hình thành một vòng kín và tạo ra các cặp vết Mặt trời. Nếu như vòng này được nhìn thấy ở mép của đĩa Mặt trời, thì nó tạo ra một vòng cung lửa, gọi là tai lửa, làm cho vật chất bị ion hóa được phóng từ bề mặt Mặt trời và được dẫn bởi các đường sức từ.

### *Mặt trời, nguồn năng lượng khủng khiếp*

Sự sống trên Trái đất cần năng lượng để duy trì và phát triển. Năng lượng này, Mặt trời có vô khối dưới dạng ánh sáng. Hào phóng ban phát cho chúng ta ánh sáng, Mặt trời là nguồn của mọi sự sống trên hành tinh xanh này. Công suất toàn phần (hay năng lượng trên một đơn vị thời gian) mà Mặt trời phát ra là 400 triệu tỉ (4.10<sup>26</sup>) oát, tức bằng năng lượng của 1000 triệu tỉ nhà máy điện, mỗi nhà máy có công suất 1000 MW. Chỉ cần ba phút của năng lượng khủng khiếp này là có thể làm tan chảy vỏ Trái đất, hoặc sáu giây để bốc hơi toàn bộ các đại dương trên hành tinh xanh. Sở dĩ các thảm kịch này không xảy ra là bởi vì phần lớn năng lượng kinh hoàng này bị bức xạ và mất hút trong không gian. Trái đất, chốn nương thân nhỏ xíu của con người mất hút trong mệnh mông bao la vũ trụ, chỉ nhận được một phần nhỏ năng lượng Mặt trời: khoảng một phần mười tỉ.

Lượng ánh sáng Mặt trời mà hành tinh chúng ta nhận phụ thuộc vào nhiều nhân tố: khoảng cách Mặt trời-Trái đất (Trái đất càng xa Mặt trời thì lượng năng lượng mà nó nhận càng nhỏ, vì năng lượng này giảm tỉ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa chúng), các thay đổi theo mùa và lượng năng lượng bị khí quyển Trái đất hấp thụ và phát trở lại vào không gian.

Trái đất hoàn thành chuyến chu du hàng năm của nó quanh Mặt trời theo một quỹ đạo gần tròn với bán kính trung bình 150 triệu km. Điều này có nghĩa là ánh sáng Mặt trời, với vận tốc lan truyền là 300.000 km/s, phải mất hơn 8 phút mới đến được chúng ta sau khi rời khỏi bề mặt Mặt trời: nếu một bàn tay khổng lồ lấy đi Mặt trời, thì phải 8 phút sau chúng ta mới nhận ra điều đó! Khoảng cách trung bình giữa Trái đất - Mặt trời không biến thiên quá 2%. Trên quỹ đạo của Trái đất quanh Mặt trời, điểm cận nhật cách Mặt trời 147 triệu km, và điểm viễn nhật cách Mặt trời 152 triệu km. Từ đó sinh ra các biến thiên nhiệt độ không quá vài phần mười độ trên phạm vi toàn cầu: một biến thiên nhiệt độ gần như vô nghĩa. Như vậy, chắc chắn không phải khoảng cách giữa Trái đất và Mặt trời là nguyên nhân gây ra cái nóng như nung vào mùa hè hay cái lạnh như cắt vào mùa đông. Mà trên thực tế chính trục quay của Trái đất bị nghiêng là nguyên nhân tạo ra sự luân chuyển của các mùa. Thực tế, địa cầu của chúng ta không đứng thẳng, mà nghiêng một góc 23,5 độ so với mặt phẳng elip - mặt phẳng trong đó tất cả các hành tinh (trừ Diêm Vương tinh) bên bị vạch ra quỹ đạo của chúng. Người ta nghĩ rằng trong quá trình hình thành cách đây 4,5 tỉ năm, một tiểu hành tinh khổng lồ đã va vào nó, và làm cho nó bị nghiêng sang một bên<sup>8</sup>.

### *Nhịp các mùa*

Bởi vì bị nghiêng nên năng lượng và nhiệt mà Trái đất nhận được ở tất cả các điểm của nó và tại các thời điểm khác nhau trong chuyến chu du hàng năm của nó quanh Mặt trời là không như nhau. Vào tháng 6, độ nghiêng của Trái đất làm cho bán cầu Bắc nghiêng nhiều nhất về phía Mặt trời và do đó nhận được nhiều nhiệt lượng nhất, trong khi bán cầu Nam ở xa Mặt trời nhất nên nhận được ít năng lượng nhất. Trong khi người Tây Ban Nha và Hy Lạp tận hưởng mùa hè để tắm nắng trên bãi biển, thì người Chilê và Australian lại phải khăn áo kín mít để chống lại cái giá rét của mùa đông. Chênh lệch nhiệt độ giữa các vùng nằm ở trên và dưới xích đạo càng trở nên rõ rệt hơn khi mà vào mùa hè các tia nắng Mặt trời chiếu gần như thẳng đứng ở bán cầu Bắc, làm cho nhiệt độ ở đó cao, trong khi vào mùa đông, ở bán cầu Nam, các tia nắng chiếu xiên là mặt đất, làm cho nhiệt độ ở đó thấp. Tình hình sẽ bị đảo ngược sáu tháng sau đó, tức vào tháng giêng. Bởi vì hướng của trục quay của Trái đất là tương đối ổn định, nên lúc này bán cầu Bắc xa Mặt



<sup>8</sup> Xem Trịnh Xuân Thuận, *Hỗn độn và Hòa hòa*, sdd.

trời nhất và nhận ít nhiệt lượng và ánh sáng Mặt trời hơn bán cầu Nam. Giò đến lượt người Pháp tận hưởng niềm vui với các môn thể thao mùa đông, và người Brazil vui đùa trên bãi biển. Vòng quay các mùa cứ tiếp tục diễn ra như thế. Lần tới, khi chiêm ngưỡng ngày hội sắc vàng của mùa thu, hay khi bạn bị chinh phục bởi cảnh tượng mới mẻ của mùa xuân, bạn hãy thầm nhủ rằng đó là bởi vì Trái đất nghiêng.

Trung bình, một vùng như đất nước Maroc nhận ánh sáng vào mùa hè nhiều gấp đôi mùa đông. Chênh lệch càng lớn hơn ở các khu vực cao hơn: ở Bắc cực, kể cả lúc nửa đêm người Inuit cũng vẫn được hưởng ánh nắng Mặt trời trong suốt mùa hè, trong khi người ở Nam cực chìm trong bóng tối hoàn toàn nhiều tháng rỗng. Sự biến thiên nhỏ trong khoảng cách giữa Trái đất và Mặt trời trong chuyển chu du hằng năm của nó xung quanh Mặt trời sinh ra một hiệu ứng nhỏ làm gia tăng hoặc suy yếu hiệu ứng của độ nghiêng của Trái đất. Khi mùa hè đến bán cầu Bắc và mùa đông tràn đến bán cầu Nam, Trái đất nằm xa Mặt trời hơn một chút, làm cho cái nóng thiêu đốt của mùa hè bớt đi một chút ở bán cầu Bắc và mùa đông ở bán cầu Nam đỡ khắc nghiệt hơn. Sáu tháng sau, Trái đất nằm gần Mặt trời hơn một chút, đến lượt mùa đông trong bán cầu Bắc sẽ ấm hơn một chút và mùa hè ở bán cầu Nam sẽ đỡ nóng hơn. Như vậy, về trung bình, cư dân ở bán cầu Bắc được hưởng nhiệt độ ôn hòa hơn chút ít so với những người sống ở dưới xích đạo.

Nhưng liệu có phải lúc nào cũng như thế không? Điều đó sẽ xảy ra nếu trục quay của Trái đất luôn cố định trong không gian và luôn hướng về phía sao Bắc cực, trong chòm sao Tiểu Hùng (Gấu nhỏ). Do sự đứng yên gần như tuyệt đối của ngôi sao này trong bầu trời, nên từ giờ này sang giờ khác, từ đêm này qua đêm khác, sao Bắc cực, chỉ phương Bắc, mãi mãi là một nguồn an ủi và giúp đỡ vô giá đối với các lữ khách qua bao thế kỷ. Nhưng hướng của trục quay Trái đất lại không cố định. Nó vẽ nên trong không gian một hình nón có nửa góc ở đỉnh là 23,5 độ, giống như trục quay của một con quay. Các nhà vật lý gọi đó là chuyển động “tiến động”. Chuyển động này do tương tác hấp dẫn giữa Trái đất, Mặt trăng và Mặt trời gây ra. Nhưng chu kỳ của chuyển động tiến động của Trái đất không phải là vài giây như của con quay, mà nó kéo dài tới 26.000 năm! Như vậy, trong khoảng 14.000 năm tới, con cháu chút chút của chúng ta sẽ thấy trục quay của Trái đất vẫn bị nghiêng trung bình một góc là 23,5 độ, nhưng hướng về phía một sao khác có tên là sao Chức Nữ (*Véga*), trong chòm sao Thiên Cầm (*Lyre*). Đến thời kỳ xa xôi này, Trái đất sẽ gần Mặt trời hơn trong quỹ đạo của nó vào mùa hè và xa Mặt trời hơn vào mùa đông

ở bán cầu bắc. Bấy giờ đến lượt những người sống bên trên xích đạo sẽ phải chịu nắng nóng hơn những người sống ở bên dưới xích đạo.

### *Băng tuyết xâm chiếm Trái đất*

Chênh lệch nhiệt độ càng lớn hơn theo vĩ độ khi độ nghiêng của Trái đất càng lớn. Liệu có khả năng trục quay của Trái đất sẽ có hành trạng “vô kỷ luật” với hướng của nó thay đổi từng ngày hay không? Câu trả lời là không. Trục quay của Trái đất có hành trạng rất ngoan ngoãn. Trong cả triệu năm mà nó không biến thiên quá 1,3 độ so với độ nghiêng trung bình 23,5 độ của nó. Thật là phúc lớn cho chúng ta, bởi vì nếu biến thiên này lớn hơn, thì sự sống trên Trái đất không thể sinh sôi và phát triển được. Nhưng điều này không có nghĩa là biến thiên nhỏ này không gây ra hậu quả gì. Ngay cả một biến thiên nhỏ cũng có thể có các hiệu ứng lớn đối với khí hậu Trái đất. Nếu Trái đất bị nghiêng đột ngột thêm một góc 1,3 độ về phía Mặt trời, thì người Phần Lan ở trên vĩ độ 65 độ trên xích đạo sẽ nhận thêm 20% nhiệt lượng từ Mặt trời vào mùa hè, và ít hơn 20% vào mùa đông.

Nếu các điều kiện khác được hội đủ, thì sự suy giảm ánh sáng Mặt trời mà Trái đất nhận được có thể đủ để khởi phát các thay đổi khí hậu sâu sắc. Trong trường hợp nghiêm trọng nhất, băng có thể tràn ngập Trái đất. Theo nhà thiên văn người Nam Tư Miloutine Milanković (1879-1958), các thời kỳ băng giá kéo có thể xảy ra sau sự ngẫu hợp các điều kiện rất đặc biệt: khi Trái đất gần Mặt trời nhất trong quỹ đạo của nó và khi ở bán cầu Bắc là mùa đông. Mùa đông khi đó sẽ rất ôn hòa (Mặt trời ở gần Trái đất nhất sẽ cung cấp nhiều nhiệt nhất) và rất ngắn (lực hấp dẫn mạnh nhất của Mặt trời kéo Trái đất quay nhanh hơn trên quỹ đạo của nó, và do đó rút ngắn mùa đông). Ngược lại, mùa hè sẽ mát và kéo dài. Do nhiệt độ giảm nên tuyết rơi từ mùa đông sẽ không tan hết. Tích tụ theo thời gian, tuyết không tan sẽ biến thành băng và có tác dụng như một tấm gương phản chiếu ánh sáng Mặt trời lên không gian, làm nhiệt độ càng giảm thêm. Nếu, hơn nữa, Trái đất ít nghiêng hơn vào thời kỳ này, chẳng hạn chỉ 22 độ thôi, thì mùa hè vốn đã mát sẽ càng mát hơn, và Trái đất khi đó sẽ đi vào một thời kỳ băng giá. Kết quả phân tích trầm tích dưới đáy biển, những ký ức của khí hậu cổ xưa, khẳng định với chúng ta kịch bản của Milanković. Nó nói với chúng ta rằng nhiệt độ trung bình của các đại dương vào mùa hè trước các thời kỳ băng giá trên thực tế thấp hơn nhiều.

### *Mặt trăng bình ổn hành trạng hỗn độn của trục Trái đất*

Như chúng ta đã biết, trục quay của Trái đất không biến thiên quá 1,3 độ trong một triệu năm vừa qua. Tuy vậy, sự ổn định này, về mặt tiên nghiệm mà nói, không phải là điều hiển nhiên. Chỉ cần xét trường hợp Hoả tinh, hành tinh hàng xóm của chúng ta, ngày nay nghiêng 25,2 độ, chỉ hơn Trái đất hơn một độ là đủ biết. Thực ra trong quá khứ không phải lúc nào cũng như thế. Người ta cho rằng trục quay của nó đã có một hành trạng hỗn độn và biến thiên khoảng 10 độ trong quá khứ, tạo ra các mùa cực kỳ khác biệt. Có lẽ chính nhiệt độ mùa hè nóng bỏng đã làm bốc hơi nước mà trước đó còn chảy thành dòng trên bề mặt hành tinh đỏ này cách đây vài tỉ năm, khiến cho các lòng sông và suối khô nẻ để nhắc nhớ quá khứ huy hoàng của nó.

Tại sao trục quay của Hỏa tinh lại tỏ ra dị thường trong khi hành trạng của trục Trái đất lại hiền lành đáng ngạc nhiên đến thế? Rất có thể là do sự chênh lệch về kích thước giữa các vệ tinh của hai hành tinh. Trong số tất cả các hành tinh cùng loại với Trái đất của hệ Mặt trời (tức các hành tinh có lớp đất rắn), chỉ có Trái đất là có một vệ tinh lớn. Thủy tinh và Kim tinh không có vệ tinh. Hỏa tinh có hai mặt trăng kích thước rất nhỏ vốn là hai tiểu hành tinh lớn, có đường kính khoảng ba mươi và hai mươi km, tên là Phobos và Deimos. Khối lượng của những vệ tinh này nhỏ tới mức lực hấp dẫn của chúng không thể nhào nặn chúng thành hình cầu, và vì thế chúng có bề mặt rất gồ ghề. Ngược lại, Mặt trăng yêu quý của chúng ta, nàng thơ của những đôi uyên ương và các thi nhân, lại lớn hơn rất nhiều. Với bán kính 1.738 km, khối lượng bằng 1,2% khối lượng của Trái đất và lực hấp dẫn bằng một phần sáu lực hấp dẫn của Trái đất (nếu trên Trái đất bạn cân nặng 72 kg thì trên Mặt trăng bạn chỉ còn 12 kg), Mặt trăng đã bị lực hấp dẫn nhào nặn thành hình cầu phản chiếu ánh sáng Mặt trời và chiếu sáng những vùng thôn dã ban đêm bằng một ánh sáng dịu dàng. Mặt trăng không chỉ gây ra thủy triều, mà nó còn có tác dụng bình ổn trục quay của Trái đất.

Các nhà vật lý thiên văn có thể nhận biết điều đó như thế nào? Chắc chắn, họ không thể chơi trò Chúa sáng thế và quyết định lấy Mặt trăng đi để xem điều gì sẽ xảy ra nếu không còn Mặt trăng nữa. Nhưng họ đã có máy tính. Máy tính nói với họ rằng, nếu không có Mặt trăng, thì trục quay của Trái đất sẽ có hành trạng hoàn toàn hỗn độn<sup>9</sup>. Hành trạng của Trái đất sẽ không thể dự báo



<sup>9</sup> Xem thêm *Hỗn độn và Hài hòa*, sđd.

được và độ nghiêng của nó có thể thay đổi đột ngột từ 0 độ (Trái đất khi đó sẽ đứng thẳng) đến 85 độ (tức là Trái đất sẽ nằm nghiêng trong mặt phẳng hoàng đạo). Những thay đổi độ nghiêng này sẽ kéo theo những thay đổi sâu sắc về khí hậu, làm tổn hại sự sống trên Trái đất. Nếu Trái đất đứng thẳng, thì lượng ánh sáng và nhiệt lượng của Mặt trời mà nó nhận được ở tất cả các điểm sẽ như nhau trong suốt cả năm (bỏ qua những biến thiên nhỏ do quỹ đạo của Trái đất quanh Mặt trời không phải là một vòng tròn hoàn hảo, mà là hình elip). Ngược lại, nếu nó nằm trong mặt phẳng hoàng đạo (như hành tinh Thiên Vương), thì một nửa Trái đất sẽ chìm trong bóng tối và băng giá trong một mùa đông dài sáu tháng, trong khi một nửa khác sẽ phải chịu cái nắng thiêu đốt của Mặt trời mùa hè, và tình hình bị đảo ngược lại sáu tháng sau. Với những khí hậu cực đoan như vậy giáng xuống một cách hoàn toàn bất ngờ (do hành trạng hỗn độn của nó, nên chúng ta không thể dự báo những gì mà trục quay của Trái đất có thể gây ra), sự sống sẽ không có bất kỳ cơ hội nào để nảy nở và sinh sôi. Có tác dụng bình ổn đặc tính thất thường của trục quay Trái đất, Mặt trăng, đứa con của Trái đất (người ta nghĩ rằng nó đã được tách từ vỏ Trái đất trong một va chạm dữ dội của một tiểu hành tinh với Trái đất cách đây 4,5 tỉ năm), xét cho cùng, chính là nguyên nhân của sự hiện diện ở đây của chúng ta.

### *Mặt trời sưởi ấm Trái đất*

Trung bình mỗi giây Trái đất nhận được từ Mặt trời một lượng năng lượng (hay công suất) 342W trên một mét vuông ( $W/m^2$ ), tương đương với lượng nhiệt nhận được từ một bóng đèn 50W đặt cách mười xentimét. Một phần lớn của bức xạ này (khoảng 42%) thuộc loại “khả kiến”, nghĩa là mắt người có thể nhìn thấy được. Trên thực tế, quá trình tiến hóa đã ban tặng cho con người (cũng như nhiều loài vật khác) con mắt, bộ phận thu nhận ánh sáng tuyệt vời cho phép chúng ta hoạt động và tiến hóa trong một thế giới được Mặt trời chiếu sáng. Nhưng Mặt trời còn phát ra các loại ánh sáng khác mà mắt người không nhìn thấy được. Ánh sáng không nhìn thấy được này cùng với ánh sáng khả kiến tạo thành phổ điện từ. Mặt trời phát ra tia cực tím (9%) làm chúng ta bị cảm nếu đứng quá lâu dưới trời nắng, và hồng ngoại (49%), và một tỉ lệ nhỏ các tia gamma, tia X và sóng vô tuyến. Bởi vì khí quyển là một lớp bảo vệ sự sống khỏi các tia cực tím giàu năng lượng và có hại của Mặt trời, và vì nó ngăn cản phần lớn lượng tia hồng ngoại, nên bức xạ Mặt trời xuống mặt đất chủ yếu thuộc dạng khả kiến. Trong bức xạ Mặt trời nhìn thấy được, khoảng một phần ba bị các đám mây trong lớp khí quyển ở tầng cao và bề mặt Trái đất phản

chiếu vào không gian, trong khi hai phần ba còn lại được hấp thụ và chuyển hóa thành nhiệt hoặc trong khí quyển, hoặc trên bề mặt của Trái đất. Các tia nắng Mặt trời nhìn thấy được vượt ve da ta và sưởi ấm các đồ vật trên Trái đất vào ban ngày. Nhưng bề mặt Trái đất (hay mọi vật khác) không thể hấp thụ vô hạn ánh sáng và nhiệt lượng Mặt trời để ngày càng nóng thêm: nếu không, hành tinh của chúng ta sẽ biến thành nơi không thể sinh sống được. Khi mặt đất nóng lên, thì bản thân nó cũng bức xạ mạnh hơn. Rốt cuộc, Trái đất sẽ bức xạ vào không gian hết lượng năng lượng mà nó đã nhận được từ Mặt trời, và một sự cân bằng được thiết lập.

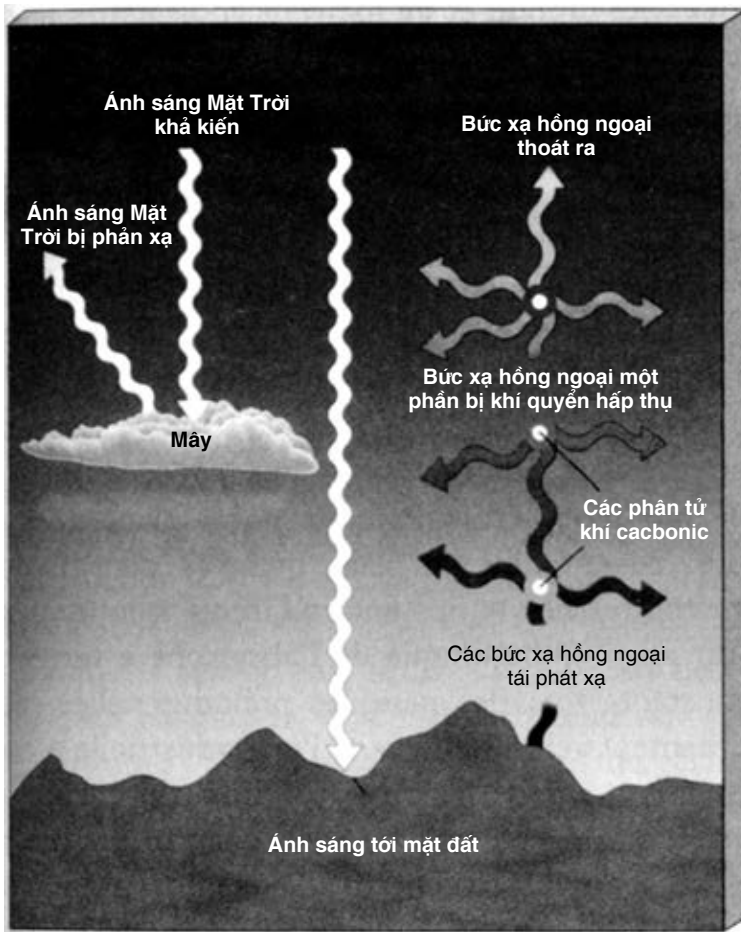
Nếu Trái đất không có khí quyển, thì nhiệt độ cân bằng sẽ rất thấp, cỡ  $-23^{\circ}\text{C}$ , và hành tinh của chúng ta sẽ chỉ là một khối cầu băng giá không sinh sống được! Thật may cho chúng ta, Trái đất có một khí quyển có khả năng tạo ra một hiệu ứng nhà kính mang lại cho Trái đất một nhiệt độ dễ chịu và thuận lợi cho sự sống. Lớp kính cho ánh sáng khả kiến của Mặt trời đi vào sưởi ấm cây trồng. Nhưng mọi vật được sưởi ấm ở một nhiệt độ cao hơn không độ tuyệt đối (0 độ Kelvin, hay  $-273^{\circ}\text{C}$ ), dù đó là cơ thể, cuốn sách mà bạn đang cầm trên tay, hay các vật xung quanh bạn, đều bức xạ năng lượng. Nếu nhiệt độ của vật bức xạ càng cao thì bức xạ và năng lượng mà nó phát ra càng cao. Một vật có nhiệt độ khoảng chục độ C thì bức xạ chủ yếu của nó là tia hồng ngoại; vật có nhiệt độ vài nghìn độ C (như bề mặt của một ngôi sao nặng) bức xạ chủ yếu là tia cực tím. Cây cối được Mặt trời sưởi ấm ở nhiệt độ vài chục độ C phát ra các sóng hồng ngoại. Nhưng, nếu lớp kính cho ánh sáng nhìn thấy được đi qua, thì chúng lại chắn ánh sáng hồng ngoại. Vì thế nhiệt lượng Mặt trời bị cầm tù, làm cho bên trong lớp kính nóng hơn bên ngoài, mang lại cho cây trồng nhiệt độ ấm áp hơn, ngay cả trong những ngày lạnh nhất của mùa đông<sup>10</sup>.

Tương tự, khí quyển của Trái đất có chứa khí gọi là “khí gây hiệu ứng nhà kính”. Các cấu trúc phân tử của chúng làm cho các khí này, giống như kính của lồng kính, cho ánh sáng nhìn thấy được đi qua, nhưng hấp thụ một lượng lớn ánh sáng hồng ngoại. Các khí gây hiệu ứng nhà kính mạnh nhất là khí cacbonic (hay dioxit carbon), hơi nước và metan (do vi khuẩn trong dạ dày bò và các động vật nhai lại khác tạo ra) (H. 49). Khí quyển Trái đất tác dụng một hiệu ứng nhà kính hết sức có lợi sưởi ấm hành tinh chúng ta thêm khoảng 40 độ, cho phép sự sống phát triển. Thay vì một nhiệt độ băng giá  $-23$  độ, nhiệt

❖

<sup>10</sup> Sở dĩ nhiệt độ bên trong lồng kính cao hơn bên ngoài, ngoài việc kính có khả năng chắn ánh sáng hồng ngoại, còn là do chúng loại trừ các chuyển động đối lưu của không khí bên trong lồng gây mất nhiệt.

độ trung bình trên Trái đất rất dễ chịu và ấm áp, khoảng  $17^{\circ}\text{C}$ . Thay vì là một khối cầu băng giá không có sự sống, Trái đất được bao phủ bởi ba phần tư là đại dương nước lỏng, làm cho nó xứng với cái tên xinh đẹp “hành tinh xanh”. Thay vì một khung cảnh hoang tàn và băng giá trải rộng hút tầm mắt, trước mắt chúng ta là những cánh đồng cỏ, những khu rừng và những cánh đồng đầy hoa thơm cỏ lạ vỗ về tâm hồn ta.



**Hình 49.** *Hiệu ứng nhà kính.* Ánh sáng Mặt trời không bị mây phản chiếu đi xuống mặt đất và sưởi ấm Trái đất. Ánh sáng hồng ngoại sinh ra từ mặt đất được sưởi nóng bị khí cacbonic trong khí quyển hấp thụ một phần, làm cho Trái đất nóng lên.



### *Một hiệu ứng nhà kính tai hại*

Cũng giống như có một cholesterol có lợi và một cholesterol có hại, cũng có một hiệu ứng nhà kính tốt và một hiệu ứng nhà kính xấu.

Hiệu ứng nhà kính do khí quyển Trái đất gây ra rất hữu ích đối với hành tinh của chúng ta. Nhưng điều có lợi ở một liều nhỏ lại có thể trở nên chết người ở liều mạnh. Con người phải cảnh giác để không phá vỡ sự cân bằng mà hệ sinh quyển của chúng ta đã kiên nhẫn xây dựng trong suốt hàng tỉ năm, không được làm tăng đột ngột hiệu ứng nhà kính này. Khí cacbonic, nguyên nhân hàng đầu gây hiệu ứng nhà kính trong khí quyển, hiện nay có rất ít: cỡ 0,03%. Nhưng nếu hàm lượng này tăng thêm có thể sẽ gây ra những hậu quả đầy tai hoạ đối với sự cân bằng sinh thái của hành tinh chúng ta và biến nó thành nơi không thể sinh sống được nữa. Các mẫu đá lấy ở Nam cực, những kí ức đích thực về những thời xa xưa, kể lại với chúng ta rằng, trong khi hàm lượng khí cacbonic của khí quyển Trái đất gần như không thay đổi trong những thời kỳ tiền công nghiệp, thì nó đã tăng lên đột ngột vào khoảng năm 1850, khi kỉ nguyên công nghiệp bắt đầu. Kể từ đó, nó đã tăng 30% và tiếp tục tăng khoảng 0,5% mỗi năm. Hàm lượng khí cacbonic chưa bao giờ cao đến thế kể từ 420.000 năm nay. Sự gia tăng này chắc chắn là do hoạt động thiếu ý thức của con người. Con người sử dụng ngày càng nhiều dầu và than hơn cho số nhà máy và xe hơi liên tục gia tăng của mình.

Đồng thời, những ghi chép khí hậu nói với chúng ta rằng nhiệt độ trung bình trên Trái đất đã không ngừng tăng lên kể từ kỉ nguyên công nghiệp, chậm trong những năm đầu tiên, sau đó tăng lên một nhịp cao hơn. Sự gia tăng gần như đồng thời hàm lượng khí cacbonic và nhiệt độ toàn cầu chắc chắn không hề ngẫu nhiên. Trên thực tế, chính sự gia tăng lượng khí cacbonic trong khí quyển đã gây ra sự nóng lên toàn cầu: các kết quả đo đã chứng tỏ rằng những biến thiên nhiệt độ song hành với các biến thiên của lượng khí cacbonic như hình với bóng. Trong thế kỷ trước, Trái đất đã nóng lên khoảng 0,6 độ; nếu con người tiếp tục thực hiện chính sách đả điều, không thay đổi gì cách sống của mình và tiếp tục thải hàng tấn khí cacbonic vào khí quyển Trái đất, thì theo dự báo, hai trăm năm tới nhiệt độ trung bình của Trái đất sẽ tăng từ 2 đến 5 độ. Một vài độ tăng thêm này thôi cũng đủ để kéo mực nước biển tăng lên, do sự giãn nở nhiệt của thể tích nước và sự tan chảy các tảng băng ở Bắc và Nam cực, sẽ gây ra những trận ngập lụt kinh hoàng cho các vùng ven biển và nhấn chìm hoàn toàn nhiều hòn đảo. Paris và Los Angeles sẽ bị ngập lụt và Maldives sẽ biến mất dưới nước. Khí hậu nóng sẽ trở nên

cực kỳ khủng khiếp: các đợt nóng (nóng hơn cả đợt hè nóng bỏng làm chết hàng nghìn người cao tuổi tại Pháp năm 2003), các nạn cháy rừng, hạn hán, lũ lụt, bão (như cơn bão Katrina tàn phá New Orleans năm 2005) sẽ xảy ra thường xuyên và ngày càng dữ dội hơn.

Nhiệt độ trong lục địa sẽ cao hơn ở các vùng gần hoặc trên đại dương, và sự nóng lên sẽ rõ rệt hơn ở những vùng cao. Trong khi các thời kỳ hạn hán chưa từng thấy hoành hành trên các vùng như Lưu vực Địa Trung Hải hay Nam Phi, thì các vùng khác như Ấn Độ hay Indonesia, sẽ chịu những cơn mưa không ngớt và lũ lụt tàn phá. Độ ẩm cực cao trong các vùng này sẽ tạo điều kiện thuận lợi cho sự phát triển của vô số đàn muỗi, tác nhân truyền bệnh. Sốt rét, sốt đặng-gơ và các loại sốt xuất huyết sẽ đe dọa một phần lớn dân cư<sup>11</sup>. Hiệu ứng nhà kính có thể sẽ còn mạnh hơn và biến Trái đất thành một lò lửa thực sự. Chúng ta đã có một ví dụ nhãn tiền về quá trình này. Đó là điều đã xảy ra trên hành tinh láng giềng của chúng ta - Kim tinh: hàm lượng khí cacbonic trong khí quyển của hành tinh này đã lên tới 96,5%, gây ra một hiệu ứng nhà kính khủng khiếp trên hành tinh này. Nhiệt độ trung bình trên bề mặt Kim tinh là 457°C, tức gấp hơn bốn lần rưỡi nhiệt độ của nước sôi! Chì trên đó cũng nhanh chóng tan chảy. Con người liệu có đủ thông thái để tránh một số phận như thế cho hành tinh của mình không?

### *Trái đất bức xạ nhiệt mà nó đã giữ trong lòng*

Trái đất không chỉ được sưởi nóng bởi Mặt trời, mà nó còn tự sưởi nóng một phần bằng năng lượng tỏa ra từ chính trong lòng của nó. Năng lượng này không có nguồn gốc nhiệt hạch, như ở các sao. Các hành tinh không có một lõi đủ nóng để tổng hợp hydro và phát sáng như những ngôi sao. Chúng bằng lòng với việc phản chiếu ánh sáng của mặt trời của chúng. Nhiệt lượng mà Trái đất tỏa ra bắt nguồn từ các nguyên tố phóng xạ như urani, thori và plutoni nằm trong lòng nó. Các nguyên tố này phát ra nhiệt và năng lượng dưới dạng các bức xạ và các hạt cơ bản khi hạt nhân nặng, phức tạp và không bền vững của chúng tự phát phân rã sau một khoảng thời gian nhất định để biến thành các nhân nhẹ hơn, đơn giản hơn và bền vững hơn. Quá trình phân rã tự phát này phát ra các hạt và các bức xạ được gọi là “phóng xạ”. Thời



<sup>11</sup> Để biết chi tiết về các thảm họa được báo trước này đối với Trái đất, xem *Nguồn gốc - Nội hàm niềm về những thuở ban đầu*, sđd.

gian mà một nguyên tố phải mất để phân rã phụ thuộc vào bản chất của nó. Chẳng hạn, trung bình, một nửa trong tổng số các nguyên tử urani 238 phân rã sau 4,5 tỉ năm<sup>12</sup>. Đối với urani 235, thời gian này là 713 triệu năm; đối với thori là 13,9 tỉ năm, và plutoni là 2,4 triệu năm. Đúng là năng lượng được sinh ra từ sự phân rã chỉ của một nguyên tử phóng xạ là rất nhỏ và thời gian phân rã là vô cùng dài, nhưng Trái đất chứa nhiều nguyên tử phóng xạ và có hàng triệu, thậm chí hàng tỉ năm cần thiết cho sự phân rã các nguyên tố phóng xạ đó. Chính một phần nhờ năng lượng và nhiệt lượng có nguồn gốc phóng xạ này (gọi là “năng lượng địa nhiệt”) mà hành tinh của chúng ta giữ được một tâm nóng và vẫn có hoạt tính về mặt địa chất: chúng là nguồn gốc của các con “giận dữ” của núi lửa và chuyển động của các mảng kiến tạo đang diễn ra trên bề mặt Trái đất.

Tổng cộng, bên trong Trái đất phát ra một luồng nhiệt  $0,87 \text{ W/m}^2$ , tức thấp hơn gần 400 lần so với  $342 \text{ W/m}^2$  mà nó nhận từ được Mặt trời! Nếu như chỉ có năng lượng địa nhiệt để sưởi ấm Trái đất, thì nó chỉ có nhiệt độ trung bình là  $-243^\circ\text{C}$ , tức chỉ cao hơn nhiệt độ băng giá của không gian giữa các thiên hà ( $-270^\circ$ ) khoảng ba mươi độ. Phải nhờ đến nhiệt lượng của Mặt trời thì nhiệt độ của Trái đất mới có một bước nhảy vọt 220 độ để đạt tới  $-23^\circ$ . Và cuối cùng, nhờ hiệu ứng nhà kính của khí quyển Trái đất, như chúng ta đã thấy, cung cấp thêm 40 độ nữa thì Trái đất mới có một nhiệt độ trung bình rất dễ chịu, khoảng  $17^\circ$ .

Vậy phóng xạ tự nhiên phát ra từ Trái đất liệu có gây nguy hiểm đối với sức khỏe của con người hay không? Liệu nó có nguy cơ làm tăng hậu quả gây ung thư hay không? Dường như điều đó không xảy ra: chưa có một nghiên cứu nào chỉ ra được một nguy cơ nào đó gắn với phóng xạ tự nhiên.

### *Bản tổng kết các bức xạ của Trái đất*

Với các nguồn bức xạ khác nhau này, Trái đất liệu có nguy cơ bị nóng quá và nhiệt độ tăng lên vô hạn không? Câu trả lời chắc chắn là không, vì hành tinh của chúng ta đã biết tìm ra các cách khéo léo và hiệu quả để bức xạ tất cả



<sup>12</sup> Vì vậy người ta nói rằng “nửa thời gian sống” của urani 238 là 4,5 tỉ năm. Do bản chất bất định của cơ học lượng tử - lý thuyết vật lý mô tả hành trạng của các nguyên tử và các hạt dưới nguyên tử -, chúng ta không thể biết một nguyên tử sẽ phân rã vào lúc nào. Chúng ta chỉ có thể tiên đoán, sau một khoảng thời gian nhất định, một tập hợp các nguyên tử sẽ bị phân rã.

năng lượng mà nó nhận được từ Mặt trời, thiết lập một sự cân bằng nhiệt phù hợp và duy trì ở bề mặt một nhiệt độ ổn định.

Để hiểu thật rõ vấn đề này, chúng ta hãy lập bản tổng kết các bức xạ của Trái đất. Trong số  $342 \text{ W/m}^2$  nhận từ Mặt trời, chủ yếu dưới dạng ánh sáng khả kiến (chúng ta đã thấy rằng phần lớn các tia cực tím và hồng ngoại đều bị khí quyển chặn lại), thì khoảng 30% ( $107 \text{ W/m}^2$ ) bị khí quyển và mặt đất phản xạ trở; phần còn lại ( $235 \text{ W/m}^2$ ) bị hấp thụ bởi các đám mây ( $67 \text{ W/m}^2$ ) và bề mặt Trái đất ( $168 \text{ W/m}^2$ ), và chuyển hóa thành nhiệt. Nhiệt bị mặt đất hấp thụ làm nóng không khí tiếp xúc với nó, và không khí bị nóng lên lại phát trở lại  $24 \text{ W/m}^2$  lên không gian. Nhiệt của mặt đất cũng có tác dụng làm bốc hơi nước, làm mất thêm  $78 \text{ W/m}^2$ . Còn nhiệt tỏa ra từ bề mặt Trái đất bị nóng lên bởi các bức xạ Mặt trời và địa nhiệt ( $350 \text{ W/m}^2$ ) thì được phát dưới dạng bức xạ hồng ngoại. Phần lớn bức xạ hồng ngoại này ( $324 \text{ W/m}^2$ ) bị khí gây hiệu ứng nhà kính trong khí quyển hấp thụ và phát trở lại bề mặt Trái đất. Chỉ một phần nhỏ ( $26 \text{ W/m}^2$ ) bị mất vào không gian. Như vậy, tổng cộng Trái đất đã phát ngược trở lại  $107 + 24 + 78 + 26 = 235 \text{ W/m}^2$ . Đó cũng chính là tổng năng lượng mà nó nhận được từ Mặt trời. Thật là may, nhiệt độ của chón nướng thân của chúng ta trong vũ trụ không tiếp tục tăng lên vô hạn! Chỉ ít nếu con người không làm nhiều động sự cân bằng tinh tế này bằng các hành động thiếu ý thức của mình<sup>13</sup> ...

### *Vết Mặt trời và giá lúa mì*

Nếu vẻ đẹp lộng lẫy của mùa xuân và màu vàng rực rỡ của mùa thu, nếu những cơn gió lạnh của mùa đông và những đêm hè dịu dàng, và như vậy nếu sự luân chuyển của các mùa là do Trái đất bị nghiêng và không nhận cùng một lượng ánh sáng và nhiệt trong chuyến chu du hằng năm của nó quanh Mặt trời, nếu sự sưởi nóng Trái đất không ổn định suốt trong suốt năm, thì lượng ánh sáng do Mặt trời phát ra sẽ dẫn đến những hậu quả gì? Liệu có khả năng là ánh sáng này biến thiên và khi đó sẽ khởi phát các thảm họa thời tiết trên hành tinh của chúng ta hay không?

Độ sáng của Mặt trời chắc chắn đã biến thiên trong quá khứ của nó. Cách đây 4,5 tỉ năm, nó vừa sinh ra và chuyển động co lại của nó từ đám mây giữa các vì sao ban đầu vẫn chưa kết thúc. Nhiệt và mật độ ở tâm của Mặt trời lúc



<sup>13</sup> Những con số được sử dụng ở đây để lập bản tổng kết các bức xạ của Trái đất được trích từ bài báo "Mặt trời và Trái đất", của Christian Ngô, đăng trong *Mặt trời*, Fayard/Cité des sciences et de l'industrie, Paris, 2004, tr. 100.

đó nhỏ hơn, và nó đốt cháy ít nhiên liệu hydro hơn. Nhiệt độ trong tâm của Mặt trời là 10 triệu độ Kelvin, chỉ vừa đủ để khởi phát sự tổng hợp hạt nhân; nhiệt độ trên bề mặt của nó là 4.500 độ, tức thấp hơn nhiệt độ của nó hiện nay 1.500 độ; bán kính của nó là một triệu kilomet, và độ sáng của nó chỉ bằng hai phần ba hiện nay. Sau khoảng 50 triệu năm, Mặt trời non trẻ cuối cùng đã ổn định với một bán kính 696.000 km để trở thành ngôi sao của chúng ta hiện nay, với các nhiệt độ cao hơn rất nhiều: 20 triệu độ ở tâm, 6000 độ ở bề mặt, và sáng hơn khoảng 30%. Kể từ đó, Mặt trời có vẻ cân bằng ổn định, lực đẩy của bức xạ bên trong có xu hướng làm nó nở tung đã được cân bằng chính xác bởi lực hấp dẫn có xu hướng nén nó lại.

Thế còn độ sáng của Mặt trời hiện nay thì sao? Nó không hoàn toàn ổn định, nhưng biến thiên rất ít: không phải 30% như khi còn trẻ, mà dưới 1%. Chính nhà thiên văn người Anh gốc Đức William Herschel (1738-1822), người phát hiện ra hành tinh Thiên Vương, là người đầu tiên nêu ra sự thay đổi của độ sáng của Mặt trời bằng một lập luận khá thông minh. Ông đã quan sát thấy các vết Mặt trời do Galileo phát hiện không tồn tại mãi mãi, mà xuất hiện và biến mất theo thời gian. Herschel đã nghĩ rất chính xác rằng số các vết Mặt trời này gắn liền với hoạt động của Mặt trời, rằng Mặt trời càng hoạt động mạnh thì nó càng có nhiều vết. Ông đã nảy ra ý tưởng kiểm tra giả thiết của mình bằng cách gắn kết số vết Mặt trời quan sát được trên bề mặt của thiên thể của chúng ta với...giá lúa mì! Lập luận của ông như sau: bức xạ Mặt trời càng mạnh, thì càng được mùa lúa mì, và giá lúa mì càng giảm. Số các vết Mặt trời như vậy phải có tương quan nghịch với giá lúa mì! Nhưng khi ông giới thiệu lý thuyết này trước các đồng nghiệp **tôn kính** của mình ở Hội Hoàng gia Luân Đôn năm 1801, thì không một ai tin: độ sáng của Mặt trời không thể biến thiên. Thế mới thấy niềm tin theo Aristote vào tính bất biến của trời có sức sống thật lâu dài!

### *Mặt trời không phải là bất biến*

Tuy nhiên, Herschel đã có lý. Độ sáng của Mặt trời không phải là không đổi. Mãi hơn một thế kỷ rưỡi sau trực giác thiên tài của ông mới được kiểm chứng. Các kết quả đo chính xác do các vệ tinh thực hiện cuối những năm 1970 đã làm sáng tỏ sự biến thiên nhẹ của độ sáng Mặt trời, cỡ 0,1%. Mặt trời sáng hơn một chút khi số các vết của nó nhiều nhất, và mờ hơn một chút khi số này ít nhất. Khoảng thời gian giữa hai cực đại hoặc hai cực tiểu trung bình là mười một năm, bằng chu kỳ của các vết Mặt trời. Người ta cho rằng các vết này đánh dấu vị trí ở đó các đường sức từ ở bên trong Mặt trời ló ra

ở bề mặt: từ trường của các vết Mặt trời trên thực tế cao hơn từ trường trung bình của Mặt trời một nghìn lần. Các vết Mặt trời xuất hiện theo cặp, với các cực ngược nhau: một vết có cực dương, vết kia có cực âm. Chu kỳ của các vết Mặt trời dường như gắn với sự tái sắp xếp một cách tuần hoàn của từ trường Mặt trời - khoảng 11 năm. Khi đó, các cực từ của Mặt trời bị đảo ngược lại, cực Bắc trở thành cực Nam, và cực Nam trở thành cực Bắc. Các vết Mặt trời cũng là những nơi Mặt trời biểu lộ con giận dữ của nó: những lưỡi lửa, những cung sáng được gọi là "tai lửa" (H. 14 của tập ảnh màu), và đặc biệt là các phun trào phóng hàng tỉ tấn vật chất (proton và electron) vào không gian. Các con giận dữ của Mặt trời vì thế cũng có tương quan với chu kỳ 11 năm của các vết Mặt trời. Như vậy, Mặt trời của chúng ta hoạt động mạnh nhất và sáng nhất khi có nhiều vết trên bề mặt nhất, và hoạt động yếu nhất và mờ nhất khi có ít vết Mặt trời nhất.

Nhưng nếu độ sáng của Mặt trời đi liền với số các vết Mặt trời, các vết này là các vùng nhiệt độ thấp hơn (1.500 độ Kelvin) và tối hơn các vùng khác của Mặt trời, thì chúng ta có thể tự hỏi tại sao Mặt trời lại sáng nhất khi số các vết Mặt trời lớn nhất chứ không phải là nhỏ nhất. Điều này được giải thích bằng thực tế là các vết Mặt trời luôn bị bao quanh bởi các vùng sáng nóng hơn rất nhiều, lên tới khoảng 2.000 độ Kelvin, như vậy nghĩa là cao hơn nhiệt độ trung bình của Mặt trời. Khi hoạt động của Mặt trời lên mức tối đa, trên Trái đất chúng ta sẽ nhận được ánh sáng nhiều hơn khoảng 0,1%, tức nhiều hơn mức trung bình 342 W/m<sup>2</sup> là 0,3 W/m<sup>2</sup>, và khi hoạt động yếu nhất, thì ít hơn 0,3 W/m<sup>2</sup>. Các biến thiên này là rất nhỏ: so với các sao cùng khối lượng khác, thì Mặt trời có hành trạng bình lặng và ổn định hơn về độ sáng. Về dài hạn mà nói, cùng với việc Mặt trời già đi, nhiệt độ trong tâm của nó sẽ tăng lên, nó sẽ đốt cháy nhiều nhiên liệu hydro hơn, do đó kích thước và độ sáng sẽ tăng lên. Nhưng các thay đổi này không xảy ra trong một sớm một chiều: các tính toán dự báo rằng độ sáng của Mặt trời sẽ tăng khoảng 50%, nhưng trong một thời gian rất dài, khoảng bốn tỉ năm. Trong hàng nghìn năm tới, loài người sẽ không phải lo lắng về một Mặt trời sáng hơn và nóng hơn.

### *Mặt trời và khí hậu Trái đất*

Một biến thiên nhỏ về độ sáng như thế liệu có thể ảnh hưởng đến khí hậu trên Trái đất? Một công suất 0,3 W/m<sup>2</sup> ứng với công suất của một bóng

điện 50W đặt cách xa bốn mét. Thật như một hạt cát trên sa mạc, bạn sẽ nói vậy. Tuy nhiên, một số nhà nghiên cứu đã gợi ý rằng ngay cả các chên lệch rất nhỏ của ánh sáng Mặt trời nhận được này cũng có thể là nguồn gốc của những đảo lộn sâu sắc đối với khí hậu trên Trái đất. Họ nghĩ rằng sự sụt giảm số các vết Mặt trời, và do đó là sự giảm hoạt động của Mặt trời, có thể sẽ khởi phát các “thời kỳ băng giá nhỏ”, làm nhiệt độ trên toàn cầu giảm 0,5 đến 1 độ. Thực tế, trong quá khứ đã có một thời kỳ dài (1645-1715) Mặt trời ít hoạt động, gọi là “cực tiểu Maunder”, theo tên của nhà thiên văn người Anh đã nghiên cứu nó. Thời kỳ có rất ít vết trên bề mặt Mặt trời này có vẻ khá phù hợp với “thời kỳ băng giá nhỏ” bao trùm Bắc Âu trong một mùa đông băng giá kéo dài ở cuối thế kỷ XVII (H. 50). Dường như cũng có một sự tương quan giữa chu kỳ Mặt trời 22 năm (sau một chu kỳ 11 năm, các vết Mặt trời đảo cực; như vậy phải hai chu kỳ 11 năm, tức 22 năm, thì các vết mới trở lại các cực ban đầu của chúng) với các giai đoạn hạn hán trên Trái đất. Chẳng hạn, ở Bắc Mỹ, các thời kỳ hạn hán kéo dài từ 3 đến 6 năm đã trùng hợp với sự bắt đầu của 8 chu kỳ Mặt trời đã qua. Thời kỳ gần đây nhất là cuối những năm 1950. Tuy nhiên, thời kỳ hạn hán được coi là sẽ xảy ra đầu những năm 1980 đã không thể hiện rõ ràng lắm.

Một số nhà nghiên cứu khác cho rằng sự ấm lên toàn cầu quan sát được trong suốt thế kỷ qua là do sự gia tăng hoạt động của Mặt trời. Mặc dù rất khó có thể mô hình hóa chi tiết các tương tác phức tạp giữa khí quyển, các lục



**Hình 50.** Thời kỳ băng giá nhỏ ở cuối thế kỷ XVII ở Châu Âu. Bức tranh này vẽ cảnh mùa hè trông như mùa đông tại Hà Lan thế kỷ XVII. Thời kỳ băng giá nhỏ này liên quan với sự vắng bóng các vết trên bề mặt Mặt trời.

địa và các đại dương, nhưng các tính toán vẫn chứng tỏ rằng một sự gia tăng 0,1% bức xạ Mặt trời trong thế kỷ qua đã có thể làm tăng tối đa 0,2 độ trên một thế kỷ, thấp hơn nhiều so với 0,6 độ quan sát được. Và lại, nếu Trái đất nóng lên là do lỗi của Mặt trời, chứ không phải do khí gây hiệu ứng nhà kính mà con người thải rất nhiều vào sinh quyển của mình, thì sẽ giải thích như thế nào về các biến thiên nhiệt độ của Trái đất theo hàm lượng khí cacbonic trong khí quyển Trái đất? Như Shakespeare đã nói rất chí lí trong vở *Jules César*: “Lỗi không ở các vì tinh tú, mà ở chính chúng ta!”.

### *Ánh sáng, nước và gió*

Trái đất, “hành tinh xanh”, là hành tinh duy nhất trong hệ Mặt trời có gần ba phần tư bề mặt được nước bao phủ. Trái đất là hành tinh duy nhất nằm cách Mặt trời một khoảng thích hợp để không bị quá nóng (như trên Thủy tinh và Kim tinh) làm cho nước bị bốc hơi hết, cũng không quá lạnh làm cho nước bị đóng băng hoàn toàn như trên các mặt trăng lớn nhất của Mộc tinh là Callisto và Ganymède. Trái đất nằm chính xác trong vùng “sống được”, vùng cho phép nước ở thể lỏng và làm nảy nở sự sống. Các đại dương, các dòng sông và suối choán gần 72% bề mặt địa cầu, tức 360 triệu kilômét vuông. Các đại dương chiếm phần lớn thể tích nước trên Trái đất: 1,4 tỉ kilômét khối nước (hay 1,4 tỉ triệu tấn nước), tức 97,4% tổng thể tích. Nước ngọt chỉ chiếm 2,6%, trong đó 2% bị cầm tù dưới dạng băng trên các đỉnh núi tuyết và trong các tầng băng ở hai cực. Còn hơi nước nằm trong khí quyển Trái đất và ngưng tụ để thi thoảng lại mang mưa đến chúng ta chỉ chiếm một phần rất nhỏ, chỉ 0,001% tổng thể tích nước. Như vậy nước là hợp chất hóa học dồi dào nhất trên Trái đất.

Đó cũng là nguồn nuôi dưỡng sự sống quan trọng nhất. Chính nước đã cho phép sự sống nảy nở. Trên thực tế, sự sống đã bắt đầu trong biển. Đại dương là môi trường thuận lợi nhất cho sự sống phát triển: do có mật độ phù hợp, nước không chỉ tạo điều kiện thuận lợi cho các tế bào gặp nhau, mà còn là lá chắn bảo vệ sự sống khỏi các tia cực tím độc hại của Mặt trời thời non trẻ. Lá chắn nước này rất quan trọng, vì cách đây khoảng hai tỉ năm, khi sự sống trên Trái đất mới chập chững những bước đầu tiên, lúc đó vẫn chưa có ôxy và khí quyển Trái đất chưa thể phát triển tầng ozon như ngày nay để bảo vệ chúng ta khỏi các tia cực tím của Mặt trời. Nước không chỉ là mặt phân cách giữa trời và đất, giữa khí quyển và mặt đất, mà còn là thành phần chính của các cơ thể sống: chúng ta được cấu thành 70% từ nước. Không có nước thì thực vật và



động vật không thể xuất hiện và tồn tại.

Ánh sáng và nhiệt lượng của Mặt trời liên tục lao vào cuộc chơi bốc hơi và ngưng tụ với các nguồn lớn nước là các đại dương, để định hình khí hậu và nhào nặn nên hình dạng của các lục địa. Bức xạ Mặt trời làm nóng nước biển và biến nó thành hơi. Để làm cho nước bốc hơi, cần phải cung cấp cho nó rất nhiều năng lượng. Làm cho nước nóng lên đến 100 độ chưa đủ; còn cần phải cho nó thêm nhiệt (gọi là nhiệt hoá hơi) cần thiết để bẻ vỡ các liên kết phân tử của nước lỏng. Ngược lại, khi hơi nước ngưng tụ, lượng lớn nhiệt này sẽ được toả ra. Đó là nguyên lý của cách hấp trong nghệ thuật nấu ăn: nó dựa trên “ân nhiệt” của sự ngưng tụ hơi nước. Tương tự, các lượng lớn năng lượng nhập cuộc trong quá trình bốc hơi và ngưng tụ của nước trên Trái đất. Mỗi ngày, hơn 1000 tỉ tấn nước bốc hơi và bay vào khí quyển. Nước tổ chức thành các đám mây, tập hợp các giọt nhỏ nước mưa cân bằng với hơi nước, phiêu du theo gió. Các đám mây này ngưng tụ thành mưa trên biển, và bằng cách đó tái phân bố nhiệt lượng thu được từ Mặt trời dưới dạng mưa. Nước rơi xuống các đại dương, một lần nữa lại bị bốc hơi, và một chu kỳ mới lại bắt đầu. Một số đám mây lang thang về phía các lục địa và lần này đến lượt đất nhận được mưa. Nước mưa chảy trên các sườn dốc, tạo ra các rạch, suối và sông, rồi tất cả lại đổ ra biển, khép kín một chu trình. Nước mưa cũng có thể ngấm vào lòng đất, cung cấp nước cho lớp nước ngầm. Nó hòa tan một số nguyên tố hóa học của đá, qua đó có tác dụng bào mòn cơ học, xóa đi các gồ ghề của khung cảnh Trái đất.

Nhả nhiệt trong mùa đông và tích nhiệt trong mùa hè, biển đóng vai trò quan trọng trong sự điều hòa khí hậu Trái đất. Chẳng hạn, chỉ cần mười xentimét đầu tiên của mặt biển là đủ để hấp thụ và chuyển hóa thành nhiệt của toàn bộ bức xạ Mặt trời. Điều này làm cho nhiệt độ trung bình của nước biển luôn cao hơn nhiệt độ của không khí xung quanh: 17,5 độ so với 15 độ của không khí. Bởi vì các lượng năng lượng khổng lồ của Mặt trời tham gia vào cuộc chơi sưởi nóng hoặc làm lạnh nước biển, nên biển đóng vai trò điều hòa nhiệt trên hành tinh của chúng ta. Các biến thiên nhiệt ở biển không bao giờ quá lớn. Nếu nhiệt độ của các lục địa có thể chênh nhau tới bốn mươi độ vào mùa đông và mùa hè, thì nhiệt độ mặt nước biển không bao giờ biến thiên quá năm độ. Nhiệt được tích tụ trong mùa hè và bốc lên khí quyển trong mùa đông giải thích tại sao mùa đông ở các vùng ven biển luôn ấm hơn các vùng trong đất liền. Đó cũng là lý do tại sao nước Pháp, phần lớn được biển bao bọc, lại có khí hậu ôn hòa.

Gió và hải lưu cũng tồn tại là nhờ ánh sáng Mặt trời. Gió thổi khi giữa các vùng có chênh lệch áp suất khí quyển - trọng lượng của cột khí trên đầu chúng ta. Không khí càng nóng, thì càng loãng, nên mật độ càng thấp và càng nhẹ hơn, nó càng bay lên cao và áp suất của nó cũng càng thấp. Không khí càng lạnh, thì mật độ càng cao và càng nặng, nó càng đi xuống và áp suất của nó càng lớn. Như vậy, chênh lệch áp suất bắt nguồn từ chênh lệch nhiệt độ của không khí. Không khí tìm cách tự cân bằng áp suất. Vì vậy nó di chuyển song song với mặt đất từ vùng có áp suất cao đến các vùng áp suất thấp. Chính chuyển động này của không khí sinh ra gió làm mát chúng ta trong những ngày hè oi bức và làm cho mùa đông thêm lạnh lẽo. Chuyển động của không khí cũng là nguyên nhân gây ra hải lưu: không khí nóng ở các vùng nhiệt đới bay lên và hướng về phía các cực, ở đó nó bị lạnh đi và bay về phía xích đạo, tạo ra gió trên mặt đại dương, gió này gây ra các hải lưu đẩy nước nóng của các miền vĩ độ thấp sang các miền có vĩ độ cao, và nước lạnh đi theo chiều ngược lại.

### *Ánh sáng và sự sống*

Hiện nay, chúng ta vẫn còn chưa biết bằng cách nào sự sống đã xuất hiện trên Trái đất cách đây khoảng 3,8 tỉ năm, bằng cách nào mà các hạt bụi sao vô sinh lại có thể lắp ráp để cho ra đời các vật hữu sinh. Sự sống có phải đã xuất hiện trên bề mặt Trái đất như cha đẻ của thuyết tiến hóa Charles Darwin (1809-1882) từng nghĩ? Darwin đã miêu tả sự xuất hiện của sự sống như thế này: “Chúng ta có thể hình dung rằng trong một vũng nước ấm nào đó có tất cả các loại amoniac và muối phospho, ánh sáng, nhiệt, điện, v.v..., một hợp chất protein đã được hình thành về mặt hóa học, sẵn sàng chịu các thay đổi còn phức tạp hơn”<sup>14</sup>. Trong kịch bản này, ánh sáng đóng vai trò thiết yếu. Chính ánh sáng mang lại nhiệt và năng lượng cần thiết cho sự đột sinh của các tế bào đầu tiên; chính ánh sáng, với sự trợ giúp của các tiểu hành tinh liên tục bắn phá Trái đất thuở ban đầu, đã sưởi ấm cái “vũng nước ấm” đó.

Nhưng người ta đã phát hiện thấy các sinh vật sống và sinh sôi trong những điều kiện cực hạn như các môi trường cực nóng (sinh vật ưa nhiệt), axit (sinh vật ưa axit) hay mặn (sinh vật ưa mặn) thách thức mọi sự tưởng tượng của con người. Phát hiện này đã gieo một nghi ngờ đối với kịch bản “vũng nước ấm” yêu quý của Darwin. Cuối những năm 1970, một nhóm các nhà hải dương



<sup>14</sup> Thư viết cho nhà thực vật học Joseph Dalton Hocker, được đưa vào trong *The Life and Letters of Darwin*, NXB F. Darwin, tập 2, D. Appleton, New York, 1887.

học đã phát hiện ra dưới đáy Thái Bình Dương, trong kẽ nứt Galapagos, sâu khoảng 2,5 km dưới biển, một hệ động vật phong phú gồm cua, những non sâu khổng lồ và các vi khuẩn sống nhúc xung quanh các ống thông núi lửa khổng lồ trong một môi trường hoàn toàn không có ánh sáng. Các ống thông núi lửa nhả vào đại dương các dòng nham thạch phun ra từ lòng Trái đất, và nước biển bị nóng lên đến khoảng 110°C, tức cao hơn nhiệt độ của nước sôi<sup>15</sup>. Các sinh vật ưa nhiệt, có thể sinh sôi phát triển ở nhiệt độ lên tới 170°C, chắc chắn không giống các dạng sự sống quen thuộc với chúng ta. Đúng là một số động vật sống trên sa mạc có thể chịu được các nhiệt độ nóng bỏng khoảng 50 độ, nhưng vượt qua ngưỡng này thì con người, động vật và thực vật bắt đầu bị nướng chín. Nhiệt độ quá cao làm cho protein bị biến dạng và các enzyme trở nên mất tác dụng. Bạn có thể thấy rõ điều này với quả trứng luộc: nó trở nên trắng và cứng.

Ngoài các nhiệt độ nóng bỏng quanh các ống thông núi lửa, đáy biển chìm đắm hoàn toàn trong bóng tối; ánh sáng Mặt trời không thể xuyên xuống các độ sâu hơn hai kilomet. Trước khi phát hiện ra các sinh vật ưa nhiệt, các nhà sinh học cho rằng ánh sáng Mặt trời là không thể thiếu đối với mọi dạng sự sống. Cây cối úa tàn nếu không có ánh sáng, và động vật đến lượt mình lại phụ thuộc vào cây cối và các động vật khác làm nguồn thức ăn để duy trì sự sống. Cần phải kết luận ngay rằng loại lập luận này không thể áp dụng cho sinh vật ưa nhiệt. Người ta cho rằng chúng lấy năng lượng sống không phải từ ánh sáng Mặt trời, mà trực tiếp từ chất lỏng nóng mà núi lửa phun ra từ các ống thông dưới đáy biển.

Nhiều năm sau, sự khoan thăm dò dầu hỏa đã cho thấy sinh vật ưa nhiệt không chỉ tồn tại trong các khu vực quanh ống thông núi lửa, mà còn cả dưới đáy biển và ở những chỗ rất sâu (từ 0,5 đến 3 km) trong lòng đất liền, vốn là những chỗ mà ánh sáng cũng hoàn toàn không thể xuống tới được. Mặt khác, nhiều nghiên cứu cũng đã chứng tỏ rằng gen của các sinh vật ưa nhiệt giống như hai giọt nước với gen của các sinh vật cổ xưa nhất trong cây phả hệ của sự sống, tức các vi khuẩn cổ sinh. Từ đó có quan điểm cho rằng sự sống đã có thể bắt đầu ở những khu vực rất sâu dưới đáy biển, trong một môi trường cực kỳ nóng, hoàn toàn không có ánh sáng, để rồi sau đó ngoi lên mặt nước.



<sup>15</sup> Nhưng nước biển không không vì thế mà bị sôi, vì ở các áp suất lớn dưới đáy biển, nhiệt độ sôi lớn hơn 100°C.

*Sự sống liệu có thể sinh ra dưới đáy biển sâu mà không cần ánh sáng?*

Khí quyển của Trái đất nguyên thủy trước khi sự sống xuất hiện, cách đây khoảng bốn tỉ năm, là không thở được, thậm chí rất độc hại: không có ôxy, nhưng lại rất giàu metan, amoniac, nước, hydro, dioxit carbon, nito và các khí thối khác. Môi trường lúc đó rất khắc nghiệt: nhiệt độ trên bề mặt Trái đất lên tới khoảng 100°C do bị các tiểu hành tinh bắn phá dữ dội. Nhiệt độ này đúng là nóng bỏng nhưng còn thấp hơn rất nhiều nhiệt độ 1500 độ của 500 triệu năm trước đó khi số các bắn phá của các tiểu hành tinh lên đến cực đại. Do ngưng tụ, hơi nước rơi thành mưa như trút, tạo ra các đại dương đầu tiên. Các cơn giông liên tục nổ ra, kèm theo đó là chớp giạt sáng rực bầu trời. Về phần mình, núi lửa phun các dòng nham thạch sôi sục lên mặt đất nóng bỏng. Ngoài ra, hành tinh của chúng ta còn nhận được những lượng rất lớn ánh sáng cực tím của Mặt trời non trẻ, vì tầng ozon bảo vệ vẫn chưa tồn tại, ôxy vẫn chưa xuất hiện. Trong một môi trường như thế, liệu sự sống có cơ hội, dù là rất nhỏ, để đột sinh hay không?

Năm 1953, để tìm hiểu vấn đề này, chàng nghiên cứu sinh trẻ tuổi người Mỹ là Stanley Miller làm luận án tiến sĩ tại phòng thí nghiệm của nhà hóa học Harold Urey, đã quyết định tái tạo trong phòng thí nghiệm các điều kiện của Trái đất nguyên thủy. Stanley bơm vào quả bóng kín một hỗn hợp metan, amoniac, hydro và nước, coi đó là khí quyển khởi thủy, và phóng điện vào quả bóng này nhằm mô phỏng các tia chớp trong các cơn giông nguyên thủy. Nước liên tục được tuần hoàn thông qua bốc hơi và ngưng tụ để mô phỏng đại dương nguyên thủy. Kết quả đã vượt quá mức mong đợi: sau hai ngày, hỗn hợp có một màu đỏ-nâu; phân tích "hỗn hợp khởi thủy" này đã cho thấy sự hiện diện của các phân tử hữu cơ (như focmandehit) và hơn một chục axit amin, trong đó có sáu phân tử là các viên gạch cơ bản tạo nên các protein có trong tất cả các dạng sự sống ngày nay! Thật là ngây ngất: dường như người ta đang đi đúng đường để tái tạo những bước chập chững đầu tiên của sự sống trong phòng thí nghiệm!

Nhưng ngày nay, hơn 50 năm sau, niềm phấn khích đó đã chùng xuống. Và sở dĩ như vậy là vì một lý do cơ bản: từ giữa những năm 1980 người ta cho rằng khí quyển nguyên thủy của Trái đất không được cấu thành từ hydro và các hợp chất có chứa hydro như metan và amoniac, mà là từ khí cacbonic và nito phân tử, giống như khí quyển của Mộc tinh và Kim tinh. Thế nhưng, nếu thay thế metan bằng khí cacbonic và lặp lại thí nghiệm của Miller, thì thật thất vọng, các axit amin hoàn toàn không xuất hiện! Giả thiết về sự sống đột sinh

trong một “vùng nước ấm” trên bề mặt Trái đất, như Darwin từng nghĩ, không còn được ủng hộ nữa.

Với sự phát hiện ra các sinh vật ưa các điều kiện cực hạn, người ta đã quay lại giả thiết về một sự sống đột sinh trong bóng tối ở sâu thẳm đại dương, nơi mà ánh sáng không thể xuyên tới. Trong kịch bản này, sự sống được sinh ra trong biển sâu sau đó mới đi lên mặt nước. Bằng chứng là các khí độc hại và nóng trên ba trăm độ thoát ra từ các ống thông núi lửa ngầm dưới đáy biển, ở đó các sinh vật ưa các điều kiện cực hạn sinh sôi và phát triển, gợi cho người ta nhớ đến các khí được cho rằng phải xuất hiện ở những thời khắc đầu tiên của Trái đất – đó là khí cacbonic, hydro, nitơ, metan và các chất chứa hydro khác. Thế nhưng, lặp lại thí nghiệm của Miller với hỗn hợp khí phát ra từ các ống thông núi lửa dưới đáy biển, và trong các điều kiện tương tự về nhiệt độ và áp suất, các axit amin đã xuất hiện như để trêu người họ!

Vậy liệu sự sống liệu có thực sự bắt đầu trong bóng tối dưới đáy biển sâu, không có sự hiện diện của ánh sáng Mặt trời? Ngay cả khi điều này là đúng đi nữa, thì con đường vẫn còn rất dài để đi từ các axit amin trở đến cơ thể sống đầu tiên, có khả năng sinh sản và tiến hóa! Cho tới nay, vấn đề vô sinh chuyển sang hữu sinh bằng cách nào vẫn là một trong những vấn đề huyền bí nhất và cơ bản nhất của sinh học hiện đại.

### *Cây cối sống bằng không khí*

Dù sự sống đã đột sinh từ nơi sâu thẳm hay trên bề mặt Trái đất, hay, một giả thiết thứ ba, sự sống đã được mang đến Trái đất từ các sao chổi hay các tiểu hành tinh (giả thiết được gọi là “tha sinh”<sup>16</sup>), dù ánh sáng có vai trò hay không trong sự ra đời của sự sống, thì vẫn có một điều chắc chắn, đó là chỉ một nguồn năng lượng duy nhất dồi dào và tương đối ổn định như nguồn năng lượng được cung cấp bởi ánh sáng Mặt trời của chúng ta, kết hợp với một khí quyển có khả năng giữ được phần lớn năng lượng này, mới có thể mang lại cho hành tinh xanh của chúng ta một khí hậu đủ ổn định, cho phép sự sống nảy nở và phát triển khoảng 3,8 tỉ năm sau khi Trái đất bước lên sân khấu. Trong số tất cả các sự kiện xảy ra trong thời kỳ dài đầy sóng gió này, sự sáng tạo ra quang hợp có lẽ là đáng chú ý nhất và quan trọng nhất. Nó không chỉ



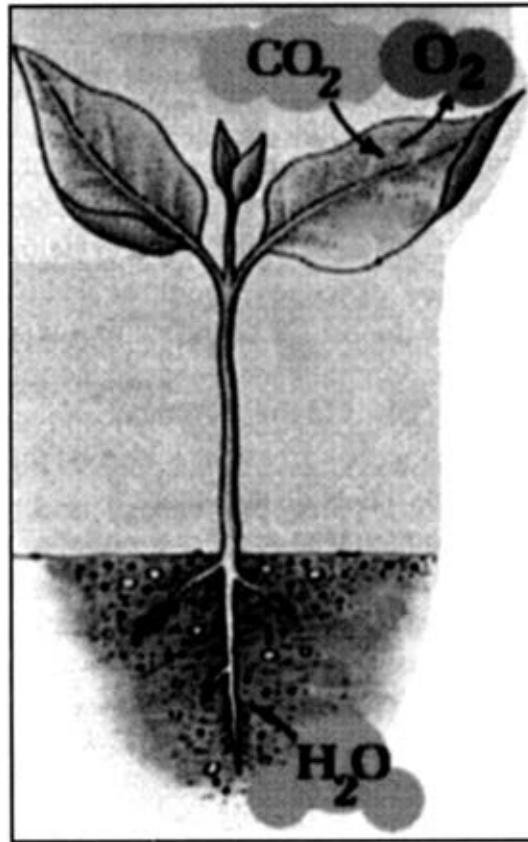
<sup>16</sup> Xem Trịnh Xuân Thuận, *Nguồn gốc - Nỗi hoài niệm về những thuở ban đầu*, Phạm Văn Thiều và Ngô Vũ dịch, NXB Trẻ 2006, chương V.

cho phép chuyển hóa năng lượng Mặt trời thành năng lượng hóa học (là cơ sở của sự trao đổi chất của tất cả các sinh vật), mà còn làm thay đổi hoàn toàn vẻ bề ngoài của hành tinh của chúng ta bằng cách cho phép đội quân xanh xâm chiếm các lục địa và sinh sôi phát triển ở đó. Nó đã khởi phát một sự thay đổi sâu sắc tới mức tất cả các dạng sự sống trên mặt đất ngày nay đều phụ thuộc vào ánh sáng Mặt trời - hoặc là trực tiếp, hoặc là gián tiếp, thông qua ôxy, một sản phẩm của quang hợp - để tồn tại. Không có ánh sáng, sự sống trên mặt đất là không thể.

Không chỉ cây xanh làm cho tâm hồn ta tươi mát, mà chúng còn giúp chúng ta duy trì sự sống thông qua việc đón nhận ánh sáng Mặt trời để tạo nguồn thức ăn cho con người. Bằng cách làm khí quyển giàu thêm ôxy, cây xanh cho phép chúng ta hô hấp. Vậy bằng cách nào cây cối đã có thể sáng tạo và hoàn thiện trò ảo thuật khéo léo này? Đó là bằng quá trình gọi là quang hợp - phản ứng hóa học quan trọng nhất và cần thiết nhất cho sự sống còn của chúng ta trên Trái đất. Các nhà khoa học đã vấp phải nhiều khó khăn trong quá trình giải mã các bí mật của quang hợp và phải mất khoảng bốn thế kỉ họ mới tìm ra câu trả lời chính thức. Sở dĩ như vậy là vì một trong các khí liên quan đến quang hợp, khí cacbonic, là loại khí không nhìn thấy được và tương đối hiếm trong khí quyển Trái đất.

Cách đây hơn 350 năm, bác sĩ và nhà hóa học người xứ Flamand Jan Baptist van Helmont (1579-1644) là người đầu tiên tự vấn về phương thức dinh dưỡng của cây cối. Ông đã trồng một cây liễu non trong một cái chậu và quan sát sự sinh trưởng của cây bằng cách ghi chép cẩn thận trọng lượng của cây, của đất trong chậu, của nước mà ông dùng để tưới cây, v.v... Sau 50 năm, trọng lượng của cây đã tăng lên khoảng 70 kg, nhưng trọng lượng của đất gần như vẫn nguyên vẹn. Từ đó Helmont đã suy ra rằng sự tăng trọng lượng của cây chủ yếu là nhờ nước. Như một trò đùa của số phận: mặc dù nhà hóa học người Flamand này là người đã đặt ra cái tên "chất khí", nhưng ông vẫn nghĩ rằng các khí là các thể tro và không bao giờ có thể ảnh hưởng lên sự trao đổi chất trong cây liễu của ông. Quan điểm về cây có thể sống bằng không khí vẫn nằm cách xa đầu ông ngàn trùng!

Cần phải đợi đến thế kỷ XVIII thì các nhà hóa học người Pháp Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794) và người Anh Joseph Priestley (1733-1804) mới tiến hành xác định về mặt hóa học các khí trong không khí. Nhờ hiểu biết này, Priesley đã chứng tỏ được rằng cây cối sử dụng các khí trong khí quyển cho quá trình trao đổi chất của chúng, nhưng theo cách ngược với động vật



**Hình 51.** Sự quang hợp của cây cối. Bằng cách hấp thụ nước có trong đất và khí cacbonic trong không khí, cây cối tạo ra oxy và đường.

hay ngược với quá trình đốt cháy. Thay vì tiêu thụ oxy, như trong trường hợp động vật hít thở hay trong sự đốt cháy, cây cối sử dụng khí cacbonic và nhả ra oxy (H. 51). Như Priestley đã tóm tắt ngắn gọn: “Không khí mà một cây nến cháy sử dụng được tái tạo bởi một cây đang lớn lên”.

### *Cây cối thu nhận ánh sáng Mặt trời*

Cuối thế kỷ XVIII, người ta ngỡ ngàng rằng oxy chẳng qua bắt nguồn từ sự phân li của khí cacbonic ( $\text{CO}_2$ ): cây giữ carbon đồng thời nhả ra oxy ( $\text{O}_2$ ). Người ta nghĩ ra một phản ứng hóa học kiểu:  $6\text{CO}_2 + 6\text{O}_2 + \text{năng lượng Mặt trời} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$ . Sáu nguyên tử carbon trong cây kết hợp với sáu phân tử nước ( $\text{H}_2\text{O}$ ) - do rễ cây hấp thụ từ đất - để tạo ra một phân tử đường (hay carbon hydrate) và sáu nguyên tử oxy. Nếu sự cân bằng về số các nguyên tử

liên quan trong các phản ứng hóa học trên là đúng, thì cơ chế được tưởng tượng ra ở đây là sai. Mãi một thế kỷ rưỡi sau - nhờ công lớn của nhà hóa học người Mỹ Melvin Calvin (1911-1997), người được giải Nobel hóa học năm 1961 - người ta mới nhận thấy rằng ôxy trên thực tế không bắt nguồn từ sự phân li của khí cacbonic, mà từ sự phân li của nước. Ngày nay người ta biết rằng có hai phản ứng khác nhau: một phản ứng "sáng" chuyển hóa năng lượng của ánh sáng Mặt trời thành năng lượng hóa học và lưu giữ nó trên các phân tử nhỏ (được đặt tên là ATP và NADPH), và một phản ứng "tối" không cần ánh sáng nhưng sử dụng năng lượng hóa học sinh ra từ phản ứng sáng để chuyển hóa khí cacbonic thành các phân tử hữu cơ (các phân tử chứa carbon). Chính sự điều hòa hoạt động này đã làm cho cây cối sinh trưởng, mang lại phúc lợi cho con người.

Ở phần lớn cây xanh, hai phản ứng cách nhau về không gian, nhưng diễn ra đồng thời. Tuy nhiên, một số cây, như xương rồng sa mạc, lại đóng các lỗ lá ban ngày để giảm thiểu sự bay hơi, và chỉ mở chúng vào ban đêm để hấp thụ khí cacbonic. Như vậy, phản ứng sáng xảy ra ban ngày và phản ứng tối vào ban đêm. Bộ phận quang hợp của cây cối là một trong các cỗ máy phức tạp nhất, đòi hỏi hơn một chục phân tử phải được sắp xếp theo một trật tự đặc biệt để cho phép electron nhảy từ một phân tử này sang một phân tử khác. Quang hợp được thực hiện bên trong các cấu trúc rất nhỏ hình thấu kính gọi là "diệp lục thể", bản thân chúng lại được chứa trong các cấu trúc lớn hơn, đó là các tế bào thực vật. Diệp lục thể chứa các sắc tố, chủ yếu là các sắc tố diệp lục, gắn liền với các protein. Cấu trúc nguyên tử của diệp lục làm cho nó hấp thụ các phần đỏ và lam của ánh sáng Mặt trời, nhưng để cho các thành phần màu khác đi qua. Chính vì thế cây có màu xanh lục, nằm giữa lam và đỏ trong ánh sáng bị phân tách của Mặt trời, nó có một bước sóng trung bình là 500 nanomet, làm mát mắt chúng ta.

Các sắc tố của diệp lục bắt ánh sáng Mặt trời dưới dạng các photon để chuyển hóa thành năng lượng hóa học. Các giai đoạn chính của phản ứng sáng như sau: các photon Mặt trời đẩy electron của các sắc tố chạy dọc theo một chuỗi các chất vận tải phân tử, điều này đòi hỏi một sự cung cấp các electron mới. Sự đổi mới electron này được thực hiện nhờ sự phân li các phân tử nước, mỗi phân tử này, như đã biết, được cấu thành từ hai nguyên tử hydro và một nguyên tử ôxy. Nước bị phân tách giải phóng electron, proton (hãy nhớ rằng một nguyên tử hydro được cấu thành từ một proton và một electron) và ôxy. Ôxy được chuyển đi, trong khi proton khởi phát hoạt động của các phân tử



nhỏ ATP (viết tắt của “*adenosine triphosphate*”), mà năng lượng của nó sẽ được sử dụng trong phản ứng tối cho sự tổng hợp đường (các phân tử hữu cơ chứa carbon) từ khí cacbonic. Rốt cuộc, nhờ năng lượng Mặt trời, carbon chuyển từ CO<sub>2</sub> của không khí vào đường của cây, trong khi ôxy của nước được giải phóng.

Cây cối chỉ sử dụng 0,06% năng lượng mà Mặt trời tỏa xuống Trái đất, tức 9,6.10<sup>14</sup> kW/h, nhưng như thế cũng đã lớn hơn gấp bốn lần năng lượng mà chúng ta tiêu thụ cho các nhu cầu của bản thân chúng ta. Bằng cách tiêu thụ năng lượng này, đội quân xanh nuôi toàn bộ hệ sinh quyển, kể cả hơn sáu tỉ người, những người đã tạo ra một sinh khối lớn hơn sinh khối của tất cả các loài vật đã từng sống trên Trái đất một trăm lần.

### *Cuộc cách mạng ôxy*

Tế bào thực vật đã phát triển như thế nào một cơ chế tinh vi đến thế để sử dụng ánh sáng Mặt trời chuyển hóa khí cacbonic và nước thành đường và ôxy? Trên thực tế, chúng đã thừa hưởng cơ chế quang hợp của các vi khuẩn cổ xưa. Cách đây khoảng 3,8 tỉ năm (thời gian xuất hiện các tế bào đầu tiên hiện còn chưa rõ) đã xuất hiện trên Trái đất một vi khuẩn nguyên thủy, tổ tiên chung của toàn bộ thế giới sinh vật. Thực tế, ông tổ của muôn loài này là một vi khuẩn đơn bào. Tế bào, đơn vị cơ bản của sự sống, được một màng rất mỏng, dày khoảng vài chục phần triệu millimet bao bọc. Màng này không bịt kín, mà cho phép tế bào liên tục trao đổi vật chất, năng lượng và thông tin với bên ngoài. Cũng giống như mọi cơ thể sống khác, để tồn tại vi khuẩn cần năng lượng và thức ăn. Bởi vì khí quyển nguyên thủy không có ôxy, nên việc hô hấp - hít thở ôxy - là không thể. Giống như các sinh vật ưa nhiệt ngày nay nhảy múa quanh các ống thông nóng dưới đáy biển, những vi khuẩn đầu tiên có lẽ đã phải thỏa mãn nhu cầu năng lượng của mình bằng cách sử dụng năng lượng hóa học của các dòng chảy núi lửa. Phản ứng hóa học của sulfua sắt với hydro sulfua trên thực tế là nguồn năng lượng dưới dạng hydro. Năng lượng này cho phép các sinh vật ưa nhiệt chuyển hóa các khoáng chất thành chất hữu cơ.

Nhưng quá trình hóa học này không hiệu quả lắm. Theo thời gian, thông qua tiến hóa và chọn lọc tự nhiên, cỗ máy tế bào được hoàn thiện để tạo ra năng lượng một cách hiệu quả hơn. Một số thế hệ sau của tế bào tổ tiên chung này đã phát triển hô hấp và quang hợp “kị khí” (không ôxy). Rồi các vi khuẩn lam (*cyanobacterie* - tiếng Hy Lạp *kyanos* nghĩa là xanh lam) đã sáng tạo ra quang hợp ưa khí (có ôxy) mà ngày nay chúng ta biết. Các khuẩn lam này thích kết

với nhau thành chuỗi đa bào giống một số loại cây dưới đáy biển nguyên thủy, chẳng hạn như tảo lam. Chúng đã xuất hiện cách đây khoảng 3,5 tỉ năm, mà bằng chứng là thời kỳ đá phân tầng sinh ra từ sự chồng chập các khối vi khuẩn ở châu Phi và châu Úc.

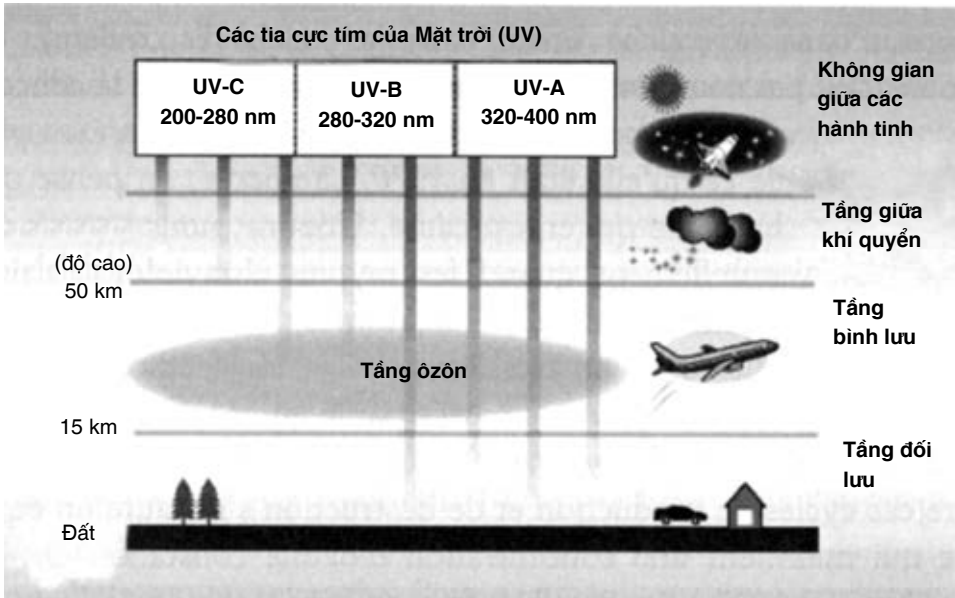
Các khuẩn lam phân tách nước biển để lấy hydro. Nhưng chúng phải giải quyết một vấn đề quan trọng: đó là khử ôxy được giải phóng bởi quá trình này, vì đối với các sinh vật kỵ khí, ôxy là một chất độc nguy hiểm có khả năng phá hủy một số thành phần tế bào thiết yếu như ADN. Các khuẩn lam đầu tiên không có bất kỳ khả năng tự vệ nào chống lại các tác dụng độc hại của ôxy. Do đó, một cuộc chết dần hết mòn đã diễn ra một cách từ từ kéo dài tới cả một tỉ năm, và trong khoảng thời gian đó, sự sống đã có đủ thời gian để phát triển các chiến lược để sinh tồn và thích nghi.

Cách đây khoảng 2,5 tỉ năm, thông qua chọn lọc tự nhiên và biến đổi gen, cuối cùng enzym đã được tạo ra, cho phép các khuẩn lam còn sót lại tổng được ôxy ra ngoài. Vì đã giải quyết được vấn đề này, cộng với sự giúp đỡ của ánh sáng Mặt trời, vi khuẩn bắt đầu chuyển hóa nước và khí cacbonic thành chất dinh dưỡng và ôxy. Ôxy được giải phóng đã ôxy hóa sắt có trong nước biển. Chính nhờ có các mỏ trầm tích giàu sắt ôxy hóa (hay gỉ sắt) mà người ta đã xác định được niên đại của thời kỳ cực kỳ quan trọng, trong đó các khuẩn lam đã sáng tạo ra quá trình quang hợp. Các mỏ lâu đời nhất trong số các mỏ trầm tích này xuất hiện cách đây khoảng 2,5 tỉ năm.

Cách đây khoảng 1,9 tỉ năm, hoạt động núi lửa đã giảm đi đáng kể, lượng sắt bị núi lửa phóng ra và hòa tan trong nước biển đã giảm xuống như miếng da lừa của Balzac. Ôxy, vì không thể kết hợp với sắt được nữa, nên tích tụ trong biển và cuối cùng thoát vào khí quyển. Trong hàng tỉ năm tiếp theo, khí quyển dần dần giàu thêm ôxy để ổn định ở mức mà chúng ta biết hiện nay: khoảng 21%. Còn về các thành phần khác của khí quyển, như chúng ta đã biết, đó là nito (78%), argon (0,9%), khí cacbonic (0,03%) và một chút hơi nước biển thiên từ không quá 0,1% trong các vùng sa mạc cho tới 3% trong các vùng ẩm ướt.

### *Một lỗ thủng trong tầng ôzôn*

Trái đất không chỉ nhận từ Mặt trời ánh sáng hữu ích. Chúng ta đã thấy rằng Mặt trời còn mang đến cho chúng ta các tia rất giàu năng lượng, đặc biệt là các tia cực tím (H. 52), và cả một lượng nhỏ các tia gamma và tia X. Mặc dù chỉ chiếm 9% ánh sáng Mặt trời, nhưng các tia cực tím có khả năng phá hủy các



**Hình 52.** Các tia cực tím Mặt trời. Đúng là tầng ôzôn bảo vệ chúng ta tránh được ánh sáng cực tím, giàu năng lượng và độc hại nhất (ánh sáng cực tím loại C và một phần lớn ánh sáng cực tím loại B) tới từ Mặt trời, nhưng nó vẫn cho qua một phần ánh sáng loại B và ánh sáng loại A mà chúng ta cần phải tránh.

tế bào sống. Chúng ta ai cũng đều biết tới nguy cơ ung thư da khi phơi nắng quá nhiều để có một làn da rám nắng. Nhưng, nếu các tia cực tím có hại, thì chúng lại chuộc lỗi bằng cách tạo ra chiếc “dù” bảo vệ chúng ta tránh được các tác hại do chúng gây ra. Thực tế, các tia cực tím của Mặt trời đủ năng lượng để phá vỡ một lượng nhất định các phân tử ôxy trong khí quyển, giải phóng các nguyên tử ôxy và sau đó các nguyên tử ôxy này kết hợp với các phân tử ôxy khác để tạo thành các phân tử ôzôn.

Ôzôn là phân tử ôxy chứa ba nguyên tử ( $O_3$ ) thay vì hai ( $O_2$ ) mà chúng ta vẫn hít thở hàng ngày. Tầng ôzôn nằm ở độ cao từ 15-50 km trên mặt đất, trong tầng bình lưu thấp của khí quyển. Không khí ở đó hiếm tới mức nếu nén toàn bộ tầng ôzôn để nó có cùng áp suất với không khí trên mặt đất, thì nó sẽ chỉ dày có 3 milimét! Tầng ôzôn đã được hình thành cách đây khoảng 400 triệu năm, khi đội quân xanh rời biển để tràn vào đất liền và làm cho khí quyển Trái đất giàu thêm ôxy thông qua quá trình quang hợp. Nó đóng một vai trò vô cùng quan trọng đối với sự sống trên Trái đất, vì nó bảo vệ chúng ta tránh được các tia cực tím giàu năng lượng nhất của Mặt trời (những tia loại C) bằng cách hấp thụ chúng. Không có tầng ôzôn, thì tất cả chúng ta sẽ đều bị ung thư da. Tóm

lại, Mặt trời truyền đến một tia có khả năng tạo ra một vòng bảo vệ chúng ta tránh được tác dụng độc hại của chính...tia này!

Năm 1986, nhờ các hình ảnh chụp từ vệ tinh, thế giới đã sững sốt biết rằng khí quyển Trái đất đã bị "rách" ở bên trên Nam cực, tạo ra cái mà ngày nay được biết tới dưới cái tên "lỗ thủng tầng ôzôn" (H. 15 trong tập ảnh màu). Lỗ "thủng" này không hoàn toàn trống rỗng; mà là vùng có hàm lượng ôzôn liên tục giảm: năm 1995, nó chỉ còn bằng một nửa của năm 1970. Một lần nữa người ta lại nghĩ rằng nguyên nhân của chuyện này chính là hoạt động của con người. Như chúng ta đã biết, ôzôn được sinh ra một cách tự nhiên khi các tia cực tím Mặt trời phá vỡ ôxy phân tử thành hai nguyên tử ôxy, hai nguyên tử này sau đó kết hợp với một nguyên tử thứ ba. Sau khi được hình thành, phân tử ôzôn ( $O_3$ ) một lần nữa lại bị tia cực tím phá vỡ thành một phân tử ôxy ( $O_2$ ) và một nguyên tử ôxy (O). Giữa các chu kỳ sinh và hủy này đã thiết lập một sự cân bằng duy trì hàm lượng ôzôn ổn định. Thế nhưng, người ta đã nhận thấy rằng con người đã đại đột gây ô nhiễm khí quyển bằng các chất như clo và brome. Clo bắt nguồn từ các phân tử phức tạp gọi là "*cloflorocarbon*" hay CFC, được tạo ra trong những năm 1930 và được dùng cho công nghệ làm lạnh (CFC được dùng làm tác nhân gây lạnh dưới tên gọi là "*fréon*") và các bình xịt. Brome được phái sinh từ các sản phẩm dùng trong các bình cứu hỏa hay một số loại thuốc trừ sâu trong nông nghiệp. Các chất lạ này phá vỡ sự cân bằng của các chu kỳ sinh và hủy bên trong tầng ôzôn, tạo điều kiện thuận lợi cho hủy hơn là sinh (chỉ một nguyên tử clo cũng có thể phá hủy khoảng 100.000 phân tử ôzôn) và như vậy tạo ra một "lỗ thủng" trong lá chắn tự nhiên của Trái đất. Sự xuất hiện của CFC đã làm giảm hàm lượng ôzôn trên toàn cầu khoảng 5% từ năm 1970.

Rất may cho sức khỏe của chúng ta, và khác với vấn đề ấm lên toàn cầu, nhân loại đã nhanh chóng ý thức được sự cấp bách của vấn đề lỗ thủng tầng ôzôn. Chẳng hạn, năm 1987 Nghị định thư Montréal đã được ký kết, theo đó các nước công nghiệp lớn nhất cam kết giảm sử dụng CFC và các sản phẩm khác có khả năng phá hủy tầng ôzôn. Kể từ năm 1995, người ta đã thấy các chất độc hại này đã giảm rõ rệt trong khí quyển Trái đất. Nhưng bởi vì CFC là các chất rất bền vững (tuổi thọ lên đến 100-200 năm), nên người ta không thể mong lỗ thủng tầng ôzôn được vá lành ngày một ngày hai. Chí ít thì nó cũng không tiếp tục mở rộng thêm. Các hình ảnh nói với chúng ta rằng mức ôzôn toàn cầu sẽ không thể phục hồi trở lại mức của những năm 1970 trước năm 2050 được.

Nếu ôzôn đóng một vai trò có lợi như thế bằng cách hấp thụ các tia cực tím Mặt trời, và nếu chúng ta hoàn toàn có lý khi lo nó bị phá hủy, thì có thể

bạn sẽ tự hỏi tại sao vào những ngày hè nóng bức chúng ta lại phải lo lắng khi ôzôn được sinh ra quá nhiều và các nhà khí tượng phải đưa ra các “báo động ôzôn”. Vậy ôzôn xấu hay tốt cho sức khỏe của chúng ta? Vì ôzôn cũng có năm bảy loại, chúng ta không nên nhầm lẫn! Ôzôn trong khí quyển bảo vệ chúng ta khỏi các tia cực tím độc hại; nó đóng vai trò có lợi không phải bàn cãi. Ngược lại, ôzôn trên mặt đất, mà chúng ta hít thở, chắc chắn lại là độc hại. Ôzôn này là sản phẩm của các phản ứng hóa học khởi phát bởi bức xạ mạnh của Mặt trời mùa hè từ các khí thoát ra từ ống xả xe ô tô trong thành phố (chính vì thế chúng ta phải tránh đi xe riêng mà nên sử dụng các phương tiện công cộng vào những ngày trời nóng) và còn cả từ phân bón trong nông nghiệp nữa. Nó làm rát mắt, ngứa mũi và hại phổi. Cần phải tránh nó.

### *Quá nhiều năng cũng có hại cho sức khỏe*

Nếu tầng ôzôn bảo vệ chúng ta khỏi ánh sáng cực tím của Mặt trời giàu năng lượng nhất và độc hại nhất (ánh sáng có bước sóng từ 200 đến 280 nm, và được gọi là cực tím loại C), thì nó lại cho qua các tia cực tím ít năng lượng hơn (những tia cực tím loại B có bước sóng từ 280 đến 320 nanomet và những tia loại A có bước sóng từ 320 đến 400 nanomet) (H. 52), nhưng chúng vẫn có những ảnh hưởng nhất định đến sức khỏe của chúng ta. Cơ thể của chúng ta có cách để tự bảo vệ khi bị phơi dưới ánh nắng Mặt trời: các tế bào biểu bì chứa các sắc tố gọi là “*mélanine*”. Mélanine hấp thụ các tia cực tím và bảo vệ một phần các tế bào da tránh được những tác hại của chúng. Do có màu sẫm, nên nó là nguyên nhân tạo màu rám nắng cho da mà phụ nữ phương Tây rất thích, nhưng lại bị phụ nữ phương Đông e sợ (ở châu Á, người có làn da rám nắng thường là người lao động chân tay dưới ánh nắng Mặt trời ở nông thôn). Có hai loại mélanine: một đỏ và một đen, làm cho chúng ta phản ứng khác nhau với ánh nắng. Một số người rất dễ rám nắng trong khi một số người khác da lại ứng đỏ như cà chua! Hiệu quả hấp thụ tia cực tím của mélanine đỏ kém mélanine đen một nghìn lần. Mélanine đỏ có nhiều ở những người tóc hung, những người có một làn da đặc biệt nhạy cảm với ánh nắng. Trái lại, những người da đen chịu tốt hơn các tia cực tím của Mặt trời. Giữa hai thái cực này, tất cả các cấp độ màu da và chịu nắng đều khả dĩ.

Nhưng mélanine chỉ giữ lại được hai phần ba các tia cực tím, nó cho qua một phần ba còn lại. Các tia không bị bắt giữ có khả năng phá hủy các tế bào da nếu da phải nhận chúng quá nhiều. Những người bị say nắng sau một ngày

phoi mình trên bãi biển có thể cảm thấy rõ điều đó. Khi họ phoi nắng quá lâu, các tế bào da bị tấn công sẽ kích hoạt một hệ thống bảo vệ: các mạch máu giãn ra để các chất có khả năng chữa trị các vùng bị tổn thương lan đến biểu bì nhanh hơn. Sự giãn ra này nén các đầu mút dây thần kinh của da, làm cho nó đỏ và đau. Thậm chí có thể gây ra sốt, vì các tế bào bị tổn thương giải phóng chất độc vào máu. Hàng triệu tế bào bị chết, da bắt đầu bị bong. Sau một thời gian, các tế bào mới được sinh ra để thay thế chúng, da trở lại về bình thường, và tất cả lại đầu vào đây, ngoại trừ kí ức nóng bỏng về những ngày mà da bị ánh nắng thiêu đốt.

Phoi nắng quá lâu cũng có thể làm tăng nhiệt độ của cơ thể, giảm huyết áp và đau đầu. Say nắng đặc biệt nguy hiểm đối với người già và trẻ nhỏ. Vì vậy, trong các đợt nắng nóng, nên thường xuyên tắm rửa và tránh tối đa có thể các hoạt động thân thể.

### *Khi tia cực tím tấn công ADN*

Nếu như phoi nắng hạn chế thì nói chung không gây hậu quả gì, da có thể tự phục hồi nhanh chóng, nếu như phoi nắng thậm chí còn có lợi cho sức khỏe, như chúng ta sẽ thấy, thì phoi nắng quá lâu và quá thường xuyên có thể gây ra các hiệu ứng chết người. Ung thư da có thể sẽ xuất hiện. Các tia cực tím không bị melanine bắt giữ có thể tấn công ADN của các tế bào và làm cho nó bị rối loạn. Nằm ở nhân tế bào, ADN, theo cấu trúc chuỗi xoắn kép của nó, mang trong mình mã di truyền, tức các lệnh đã được lập trình cho phép tổng hợp ra các protein. Nhờ khả năng xúc tác tuyệt vời, protein là cơ sở cho hóa học của sự sống. ADN là đối tượng liên tục bị tấn công, kết quả là nó chịu rất nhiều tổn thương. Chẳng hạn, sau một ngày phoi nắng trên bãi biển, ADN của chỉ một tế bào da có thể chịu từ 100.000 đến một triệu thương tổn! Nói chung, các thương tổn này sẽ không để lại hậu quả gì, vì cơ thể của chúng ta có một hệ thống bảo vệ hết sức hiệu quả chống lại các tấn công này: các enzym sẽ đến sửa chữa các tổn thương và các tế bào bị tổn thương sẽ trở nên như mới. Nhưng nếu phoi nắng quá lâu hoặc quá thường xuyên, thì các tổn thương có thể rất nghiêm trọng, và enzym không thể sửa chữa được hoàn toàn. Khi đó sẽ xảy ra các đột biến, làm thay đổi các lệnh đã được lập trình và các lệnh đúng không còn được đưa ra nữa. Nếu điều này xảy ra đối với lệnh của các gen kiểm soát quá trình nhân bào, thì các tế bào này, thay vì được nhân lên theo một nhịp độ được kiểm soát, sẽ bị nhân lên vô độ và phát triển thành ung thư. Thực tế, các

tổn thương gây cho gen p53, một trong 30.000 gen trong ADN của người, bởi các tia cực tím B là giai đoạn đầu quan trọng trong quá trình hình thành ung thư da. Sự hấp thụ các tia cực tím bởi các phân tử khác của da cũng có thể làm suy yếu tổng thể hệ miễn dịch, cái được gọi là sự “suy giảm miễn dịch”, tạo thêm điều kiện thuận lợi cho các tế bào ung thư nhân lên vô độ.

Có hai loại ung thư da chính là ung thư biểu mô và ung thư hắc tố. Ung thư biểu mô phổ biến hơn (khoảng 90% số trường hợp, tức 2 triệu người trên thế giới mỗi năm) và rất may đây là loại nhẹ hơn. Nhìn chung, khối u nằm trong da và biểu hiện ra bên ngoài là các vết hồng giống như bệnh eczéma. Chỉ cần tiểu phẫu là có thể lấy chúng đi. Nhưng nếu can thiệp không kịp thời, thì u có thể ăn sâu hơn vào da, đi vào các mạch máu và bạch cầu: ung thư biểu mô khi đó chuyển sang dạng nguy hiểm hơn và gây chết người, đó là ung thư hắc tố. Trên toàn thế giới mỗi năm có khoảng 200.000 trường hợp bị ung thư loại này. Biểu hiện ban đầu của ung thư hắc tố là các nốt ruồi có hình dạng và màu sắc thay đổi. Nếu được phát hiện kịp thời, thì có thể điều trị bằng phẫu thuật kết hợp hóa trị và xạ trị để ngăn chặn các tế bào ung thư nhân lên.

### *Che phòng ánh nắng Mặt trời*

Phơi nắng quá nhiều còn có thể gây ra những tác hại khác, rất may là ít nghiêm trọng hơn ung thư da. Đó là các bệnh về mắt. Chẳng hạn, ở vùng núi, ánh sáng cực tím loại B mạnh hơn, vì nó chỉ phải xuyên qua một lớp khí quyển mỏng hơn và ít bị hấp thụ; hiệu ứng này còn được tăng cường bởi sự phản xạ ánh sáng của băng tuyết. Điều này làm cho một số người trượt tuyết bất cẩn không bảo vệ mắt bị bỏng giác mạc, gọi là bệnh “viêm mắt ở vùng núi cao”. Loại “cháy nắng” này đối với mắt có biểu hiện là chảy nước mắt, đau, rối loạn thị giác có thể dẫn tới lòa tạm thời. Rất may, các triệu chứng này sẽ tự biến mất sau vài ngày nằm trong bóng tối. Ngược lại, việc hấp thụ lặp đi lặp lại các tia cực tím có thể dẫn đến làm đục thủy tinh thể của mắt, có nguy cơ dẫn đến mù lòa. Khoảng 20% số trường hợp đục thủy tinh thể là do phơi trước các tia cực tím; đó là nguyên nhân đầu tiên dẫn đến mù lòa trên thế giới. Người ta chữa bệnh này bằng phẫu thuật thay thủy tinh thể.

Nhiều người hiện nay đã thừa nhận rằng phơi nắng quá nhiều có hại cho sức khỏe. Những người phơi nắng quá lâu phải được bảo vệ bằng kem chống nắng. Nhưng nếu một số loại kem chống nắng bảo vệ chúng ta không bị cháy nắng thì chúng cũng không giữ được tất cả các tia cực tím. Chính tia cực tím là

nguyên nhân dẫn đến ung thư da và suy giảm hệ miễn dịch. Như vậy tốt hơn hết là không phơi trực tiếp dưới ánh nắng Mặt trời quá lâu. Không thể phơi nắng mà không bị tổn thương một số tế bào da. Những phụ nữ xinh đẹp rất tự hào về làn da rám nắng của mình sẽ phải trả một giá đắt: một làn da bị già sớm và nhăn nheo, với các nguy cơ bị ung thư hắc tố và các dạng ung thư da khác. Nếu rất nhiều người tin vào sự huyền bí của da rám nắng như dấu hiệu của sức sống và sức khỏe, thì trong mắt của các bác sĩ chuyên khoa da, da khỏe mạnh ngược lại phải là da không bị phơi nắng quá nhiều.

### *Ánh sáng Mặt trời giúp xương không bị biến dạng*

Đúng là chúng ta đã nói về các nhược điểm của việc phơi nắng quá lâu, nhưng rõ ràng là sức khỏe và sự thoải mái của chúng ta lại phụ thuộc không kém phần căn bản vào ánh sáng Mặt trời. Không có ánh nắng Mặt trời, chúng ta sẽ bị còi xương! Thật vậy, các tia nắng kích thích cơ thể tổng hợp vitamine D, đóng vai trò quan trọng trong sự điều chỉnh tỉ lệ canxi trong cơ thể và trong sự định hình bộ xương của chúng ta. Chính nó thúc đẩy sự tăng trưởng của xương trẻ nhỏ, duy trì điều kiện tốt cho xương và răng của người lớn, và ngăn ngừa chứng loãng xương và gãy xương ở người già. Cơ thể bị thiếu vitamine D có biểu hiện là các mô xương và sụn bị khoáng hóa không hoàn toàn, gây chậm lớn và chậm phát triển, dẫn đến đau đớn và dị tật. Mặc dù vitamine D có trong rất nhiều thực phẩm - sữa, ngũ cốc, bơ và các đồ uống có gaz -, nhưng các thực phẩm này chỉ cung cấp khoảng một phần ba lượng mà chúng ta cần. Phải nhờ đến ánh nắng Mặt trời để tạo ra phần còn lại trong da với sự trợ giúp của cholesterol trong da. Một người có da trắng cần phơi nắng trung bình khoảng 15 phút mỗi ngày suốt năm; một người da đen, khoảng 45 phút. Nhưng đó chỉ là trung bình thôi, vì vitamin D có thể được dự trữ. Chẳng hạn, phơi nắng trong những ngày hè dài là đủ để tạo ra lượng dự trữ và bù lại cho những ngày phơi nắng ngắn mùa đông. Trong những vùng rất cao hoặc rất thấp, những nơi có mùa đông dài, ánh sáng đèn quartz có thể thay thế tạm thời ánh nắng Mặt trời.

Ngoài việc giữ cho xương chúng ta chắc khỏe, vitamin D còn có khả năng chống ung thư. Nhiều nghiên cứu thống kê đã chứng tỏ rằng, trong những vùng nắng nhiều, các loại bệnh ung thư - như ung thư vú, ruột kết, tiền liệt, dạ dày, tử cung,...- xảy ra ít hơn. Người ta thậm chí còn nói rằng số người mắc bệnh xơ cứng từng mảng của hệ thống thần kinh trung ương và bệnh tiểu đường cũng thấp hơn. Bất luận dù thế nào thì có một điều chắc chắn là Mặt



trời là thiết yếu cho sức khỏe của chúng ta! Chỉ có điều, cũng giống như mọi điều có ích khác, không nên lạm dụng nó mà thôi.

### *Mặt trời ảnh hưởng đến tâm lý của chúng ta*

Nếu Mặt trời đóng một vai trò căn bản trong sức khỏe thể xác của chúng ta, thì nó cũng không kém phần quan trọng đối với sự cân bằng tâm lý của chúng ta. Nó có một tác dụng nhất định lên tinh thần của chúng ta. Những ngày trời quang, bầu trời xanh thẳm và nắng vàng rực rỡ khiến tâm hồn ta thoải mái và vui vẻ. Trái lại, những ngày u ám, Mặt trời bị những đám mây dày che khuất và chỉ cho lọt qua một thứ ánh sáng nhợt nhạt và xám ngắt, thì lòng ta cũng dễ sinh buồn chán. Trạng thái tinh thần của chúng ta thay đổi theo mùa cũng là một thực tế. Cuối mùa thu, ngày ngắn lại và báo hiệu bắt đầu mùa đông khiến chúng ta có cảm giác man mác về sự mất mát và luyến tiếc mùa hè, trong khi những thấp thoáng đầu tiên của mùa xuân, ngày bắt đầu dài hơn đêm, làm chúng ta cảm thấy phấn chấn. Như nữ thi sĩ người Mỹ Emily Dickinson (1830-1886) từng viết: “một ánh sáng chiều đông đè nặng”. Cái cảm giác nặng nề mơ hồ này cũng được Victor Hugo (1802-1885) thể hiện trong cuốn *Những người khốn khổ*: “Mùa đông làm cho bầu trời và lòng người nặng như đất đá”. Các bác sĩ hiểu quá rõ hiện tượng này: khi mùa đông bắt đầu, số ca trầm cảm tăng lên. Và số ca mắc bệnh này cũng cao hơn ở những vùng cao, nơi mùa đông dài hơn đáng kể so với những vùng thấp. Phụ nữ đặc biệt nhạy cảm với mùa đông: số phụ nữ bị “trầm cảm mùa đông” cao hơn bốn lần nam giới, trong khi các ca trầm cảm không gắn với sự thay đổi mùa ở nữ chỉ cao hơn ở nam hai lần.

Cũng giống như trạng thái tinh thần hàng ngày của chúng ta, bệnh trầm cảm mùa đông, mà các bác sĩ gọi là “rối loạn tình cảm theo mùa”, có vẻ như là do thiếu nắng, tức là thiếu ánh sáng. Để hiểu rõ hơn vấn đề này, năm 1985, một nhóm nghiên cứu người Mỹ đã điều trị cho các bệnh nhân trầm cảm theo mùa bằng hai bóng đèn lớn: một đèn phát ra 2500 lux (lux là đơn vị đo thông lượng ánh sáng) ánh sáng trắng, gần bằng lượng ánh sáng của một chiều xuân, và một bóng khác tối hơn rất nhiều, phát ra 500 lux ánh sáng vàng yếu. Kết quả rất rõ ràng: ánh sáng trắng mạnh giúp bệnh nhân giảm trầm cảm, trong khi liều ánh sáng vàng yếu thì không có tác dụng. Ngày nay, liệu pháp ánh sáng được sử dụng để điều trị bệnh trầm cảm theo mùa. Mỗi sáng phơi mình một giờ trước hai bóng đèn lớn (từ 2500 đến 10.000 lux) phát ra lượng ánh sáng tương đương với ánh sáng của một ngày trời nắng mùa xuân là đủ để giúp sáu trên mười ca giảm bệnh. Trong các đợt điều trị bằng ánh sáng, cần phải chú ý lọc các tia

cực tím và hồng ngoại và phải đeo kính để không bị tổn thương võng mạc.

### *Đồng hồ sinh học bên trong được điều chỉnh theo ánh sáng*

Cũng như ở tất cả các loài động vật, ai trong chúng ta cũng có một đồng hồ sinh học. Các thí nghiệm chứng tỏ rằng, ngay cả khi bị cách li khỏi môi trường thông thường của chúng ta (như bị nhốt xuống một hang sâu), thì sự trao đổi chất của cơ thể của chúng ta (thức, buồn ngủ, bài tiết, đói, v.v...) vẫn tiếp tục hoạt động theo một nhịp không khác xa lắm với nhịp của một ngày, tức một chu kỳ khá gần với 24 giờ. Nhịp sinh học bên trong này được gọi là “nhịp theo ngày”. Chúng ta cảm thấy rất rõ các hiệu ứng của đồng hồ sinh học bên trong này khi chúng ta đi qua các múi giờ từ lục địa này sang lục địa khác bằng máy bay. Đồng hồ sinh học của chúng ta được điều chỉnh theo nhịp của ngày và đêm ở nơi chúng ta xuất phát; phải mất vài ngày mới không còn cảm thấy các hiệu ứng của sự chênh lệch múi giờ, cái được gọi là *jet lag*, tức là sự mệt mỏi sau một chuyến bay dài, và sự trao đổi chất của chúng ta được điều chỉnh theo nhịp ngày và đêm mới của nơi đến. Nhìn chung, để đồng hồ sinh học của chúng ta tự điều chỉnh, cứ mỗi múi giờ chúng ta lại phải mất một ngày. Chẳng hạn, vì New York và Paris lệch nhau 6 giờ, nên sẽ cần tối đa sáu ngày để sự trao đổi chất của một người đi từ New York đến Paris hoặc ngược lại thích nghi hoàn toàn với môi trường mới.

Vậy cơ chế điều khiển nhịp sinh học ngày đêm của chúng ta là gì? Bởi vì nhịp này có chu kỳ 24 giờ, nên chắc chắn nó gắn với sự tiếp nối ngày và đêm, và như vậy tức là gắn với có hay không có ánh sáng. Các nhà nghiên cứu đã tìm thấy rằng sự hấp thụ ánh sáng bởi một số tế bào thần kinh võng mạc khởi phát các xung hóa học và điện, các xung này được truyền đến các búi tế bào thần kinh nằm ở đáy não, bên trên phần bắt chéo hình chữ X của các dây thần kinh thị giác. Các búi này tạo thành một cấu trúc gọi là “nhân siêu bắt chéo” (*suprachiasmatic*). Ở người cũng như các động vật có vú khác, chính nhân này của các tế bào thần kinh đóng vai trò đồng hồ sinh học được điều chỉnh theo ánh sáng. Đồng hồ sinh học này tác động đến một cấu trúc khác, gọi là tuyến tùng, có kích thước chỉ bằng một hạt đậu nhỏ, nằm chính giữa não của chúng ta, giữa vỏ não, thân não và tiểu não. Trong sơ đồ nhị nguyên luận nổi tiếng về một tinh thần tách biệt với thể xác, tinh thần từ bên trong thể xác chiêm nghiệm cảnh tượng của hiện thực bên ngoài, René Descartes (1596-1650) đã nghĩ một cách sai lầm rằng tuyến tùng này là điểm tiếp xúc giữa tinh thần và thể xác. Nhưng, nếu tuyến tùng không phải là nơi tinh thần tiếp xúc với thể

xác, thì nó lại đóng một vai trò cực kỳ quan trọng trong nhịp ngày đêm của chúng ta. Năm 1958, sau khi nghiên cứu tuyến tủy của khoảng 250.000 con bò, một nhóm các nhà nghiên cứu người Mỹ đã chứng tỏ rằng tuyến tủy tổng hợp một loại hoocmon mới mà người ta gọi là “melatonin”, có tính chất kỳ lạ là làm mất màu các tế bào da của ếch.

### *Một hoocmon mang tên melatonin*

Nhưng melatonin còn đóng vai trò quan trọng cho sức khỏe của chúng ta hơn là để làm mất màu da của ếch! Trong những năm 1960 và 1970, các nghiên cứu sinh học đã chứng tỏ rằng tỉ lệ melatonin ở động vật, dù là động vật ăn ngày hay ăn đêm, đều tăng lên vào ban đêm và giảm xuống vào ban ngày, như vậy tức là thay đổi theo lượng ánh sáng mà chúng nhận được. Chẳng hạn, chỉ cần phơi dưới một nguồn ánh sáng nhân tạo yếu cỡ 50 lux, tương đương ánh sáng lúc hoàng hôn, là đủ để chấm dứt sự sản sinh melatonin ở rất nhiều động vật có vú. Từ những năm 1980, các nghiên cứu này đã được mở rộng sang người và đã chứng tỏ rằng con người chỉ cần nằm trong một nguồn ánh sáng nhân tạo khoảng 100 lux là sự tổng hợp melatonin trong cơ thể của anh ta dừng lại. Như vậy, ở người, melatonin cũng được tiết ra theo một chu kỳ 24 giờ: nó được giải phóng rất nhiều vào ban đêm, đưa chúng ta chìm sâu vào giấc ngủ, trong khi tỉ lệ của nó rất thấp vào ban ngày, giúp cho phép chúng ta tỉnh táo và chuyên chú vào các hoạt động khác nhau. Bằng cách làm thay đổi nhịp sinh học ngày đêm, melatonin cũng có thể giúp những lữ khách xuyên lục địa thắng được nỗi *jet lag* của họ. Chẳng hạn, uống một viên melatonin có hai hiệu quả: không chỉ nó có tác dụng như một viên thuốc ngủ, giúp chúng ta chìm trong vòng tay của nữ thần Ngủ, mà còn kích thích tuyến tủy, thúc nó tiết ra thêm melatonin và như vậy khôi phục lại đồng hồ sinh học bên trong cơ thể chúng ta. Một viên melatonin 5mg mỗi tối trước khi đi ngủ trong bốn ngày sau chuyến bay dài là đủ.

Tỉ lệ melatonin trong cơ thể của chúng ta còn có thể giải thích một phần căn bệnh trầm cảm theo mùa: vào mùa đông, đêm dài hơn, Mặt trời thức dậy muộn hơn, tỉ lệ melatonin cao kéo dài hơn. Điều này làm cho chúng ta có cảm giác buồn ngủ, ể oải, mệt mỏi, và thiếu động lực. Trong một số trường hợp cực đoan, sự thiếu hào hứng này có thể dẫn đến trầm cảm. Nhìn chung, những vấn đề này sẽ tự mất khi mùa xuân trở lại, khi ngày lại dài hơn đêm. Thậm chí ngay khi một lượng lớn ánh sáng đập vào mắt, một luồng thần kinh được truyền lên não, não tiết ra chất serotonin, một chất hóa học có tên là “chất

truyền tín hiệu thần kinh”, nó truyền các tín hiệu điện giữa các noron của não và có tác dụng chống trầm cảm. Tương tự, liệu pháp ánh sáng chữa trầm cảm theo mùa bằng cách loại bỏ việc tạo ra melatonin.

Nếu melatonin có tác dụng bù lại *jet lag* và lên dây cót tinh thần thì các khả năng khác của nó, được các phương tiện truyền thông và nhà buôn ca ngợi là các “chất thay thế thức ăn”, lại rất đáng nghi ngờ. Người ta gán cho melatonin hàng nghìn công năng, mà công năng nào cũng phi thường. Người ta đã khẳng định chắc chắn rằng nó có thể làm chậm quá trình lão hóa và thậm chí làm chúng ta trẻ lại, nâng cao đời sống tình dục, giảm cân, ngăn cản sự phát triển của ung thư, chữa lành bệnh tim, bệnh Alzheimer, v.v... Tuy nhiên, không một khả năng kỳ diệu nào trong số các khả năng từng xuất hiện trên trang nhất của nhiều tờ báo trong những năm 1990 này được chứng minh bằng khoa học.

### *Vi khuẩn cũng có đồng hồ sinh học*

Một câu hỏi đặt ra: nếu đồng hồ sinh học của con người được điều chỉnh bằng việc có hay không có ánh sáng được mắt truyền lên não, thì điều này phải chăng có nghĩa là chỉ những động vật có hệ thống thị giác và não phát triển mới có thể có đồng hồ sinh học? Các vi khuẩn nguyên thủy có tuổi đời chưa đến 24 giờ liệu có đồng hồ sinh học không? Các nhà sinh vật học vốn vẫn tin là không và mãi cuối những năm 1980 thì họ mới kinh ngạc phát hiện ra rằng các khuẩn lam, những vi khuẩn đã sáng tạo ra quang hợp, cũng có một đồng hồ sinh học với chu kỳ hoạt động khoảng...24 giờ! Như vậy, phản ứng của các sinh vật nguyên thủy với việc có hay không có ánh sáng có vẻ như không hề phụ thuộc vào sự phát triển của một hệ thống thị giác. Các nhà nghiên cứu nghĩ rằng một số gen chuyên biệt của các vi khuẩn này đóng vai trò là đồng hồ sinh học của chúng.

Nghiên cứu các nhịp sinh học cũng đã được thực hiện trên các côn trùng, đặc biệt là ruồi giấm. Lần này cũng vậy, các nhà sinh học đã phát hiện thấy một đồng hồ sinh học được điều chỉnh nhịp theo các biến thiên tuần hoàn của nồng độ một số protein và gen truyền tin gọi là ARN.

Vậy trên quan điểm tiến hóa sinh học, ưu điểm của đồng hồ sinh học là gì? Tại sao phần lớn các sinh vật phát triển, ở các nhánh cao của cây phả hệ của sự sống, lại có một đồng hồ sinh học? Một lý do được đưa ra là chim và côn trùng sử dụng vị trí của Mặt trời trên bầu trời để định hướng. Bởi vì Mặt trời thay đổi vị trí trên bầu trời từng giờ, nên nó chỉ có tác dụng làm điểm mốc để

định vị không gian nếu người ta biết cả thời điểm của ngày. Từ đó nảy sinh nhu cầu về một đồng hồ sinh học. Ngày nay, con người không còn dùng Mặt trời để định hướng nữa, nhưng con người đã thừa hưởng đồng hồ sinh học này từ tổ tiên xa xưa của mình.

Nếu người ta có thể tìm ra các lý do thích đáng để chứng minh sự tồn tại của một đồng hồ sinh học điều chỉnh theo ánh sáng ở các sinh vật phát triển, thì tuy vậy cho đến nay vẫn rất khó hiểu tại sao các sinh vật nguyên thủy như vi khuẩn cũng có nhu cầu điều chỉnh nhịp sinh học theo ánh sáng.

### *Đội quân xanh chinh phục các lục địa*

Chúng ta đã thấy rằng con người (cũng như tất cả các động vật khác) tồn tại được là nhờ các vi khuẩn nguyên thủy đã sáng tạo ra sự quang hợp. Quang hợp không chỉ tạo ra đường, mắt xích đầu tiên trong chuỗi thức ăn, mà còn cả ôxy nữa. Ôxy cho phép chúng ta hô hấp, và cũng là nguồn gốc của tầng ôzôn bảo vệ Trái đất và các cư dân sống trên Trái đất khỏi các tác dụng độc hại của tia cực tím của Mặt trời. Sự xuất hiện của tầng ôzôn này đã làm thay đổi sâu sắc diện mạo hành tinh của chúng ta đồng thời cho phép đội quân xanh chinh phục Trái đất. Thật vậy, cách đây khoảng 400 triệu năm, tầng ôzôn mới được hình thành đã làm cho sự sống trở nên khả dĩ trên các lục địa đá vôi rộng lớn, các sinh vật biển đã lao vào cuộc chinh phục đất liền. Tảo xanh đã rời nơi sinh sống dưới nước để đương đầu với những khắc nghiệt của đất liền. Rất có thể do một số vũng nước, bị cắt đứt khỏi biển, đã trở nên khô cạn. Cây cối khi đó đã sáng tạo ra sự phân bố mạch, phát triển trong thân của chúng các ống dẫn cho phép nước và khoáng chất của đất đi từ rễ lên các bộ phận khác và, ngược lại, các sản phẩm của quang hợp đi xuống rễ.

Khi đã lên đất liền, một số cây tăng lên về kích thước, có thân to lớn và biến thành cây cao đến chục mét và đường kính gần một mét. Sau đó xảy ra các thay đổi khí hậu sâu sắc do nước trong đất bị đội quân xanh hút lên. Khí quyển trở nên ẩm hơn, mưa nhiều hơn, đất có khả năng giữ nước nhiều hơn. Một phần lớn đất biến thành đầm lầy và trở thành nơi sinh sống của một hệ thực vật phong phú. Những hóa thạch sót lại của cây cối thời kỳ này rất giàu carbon. Chính vì thế người ta gọi thời kỳ vô cùng phong phú thực vật kéo dài từ 360 đến 286 triệu năm trước CN này là kỉ carbon. Than và dầu mỏ ngày nay thỏa mãn một phần lớn nhu cầu năng lượng của chúng ta chủ yếu bắt nguồn từ thời kỳ này. Sau kỉ carbon là kỷ *permi*, kéo dài từ 286 đến 250 triệu năm trước CN, thời kỳ này đã phải chứng kiến cái lạnh băng giá và cực kỳ khô hạn ập xuống

hành tinh chúng ta. Một phần lớn cây cối bị tiêu diệt. Chỉ còn sống sót những loại cây biết phát triển cách sinh sản phát tán không phải bằng bào tử, tương đối yếu ớt, mà bằng hạt, chắc chắn hơn. Trong số những kẻ sống sót khỏi cuộc đại diệt này có bộ thông, tổ tiên của thông, bách, tùng ngày nay. Thông qua các đột biến gen ngẫu nhiên và chọn lọc tự nhiên, tự nhiên đã tiếp tục thí nghiệm với các dạng và màu cây mới. Tự nhiên đã sáng tạo ra hoa cách đây khoảng 100 triệu năm, và vô số các chấm màu điểm xuyết cho màu xanh bát ngát của các đồng cỏ bất tận và những cánh rừng nguyên thủy.

### *Lá phổi của Trái đất đang lâm nguy*

Các loài sinh vật xanh mà tự nhiên đã kiên nhẫn phát triển và duy trì trong hàng trăm triệu năm ngày nay đang lâm nguy, và sớ dĩ như vậy là do sự vô ý thức và lòng tham của con người. Để đương đầu với sự tăng dân số phi mã và nuôi sống ngày càng nhiều miệng ăn hơn, con người đã liên tục chặt cây và phá rừng để khai khẩn thêm đất canh tác. Vì lợi nhuận, con người đã không ngừng biến cây thành giấy và các đồ dùng gia dụng. Từ năm 1950, hơn 30% rừng thông và 45% rừng nhiệt đới đã biến mất. 14% diện tích của Amazon, rừng nhiệt đới lớn nhất trên Trái đất, đã bị xóa sổ. Các khu rừng nhiệt đới bên bờ Đại Tây dương của Brazil, Madagascar và Philipin giờ chỉ còn một phần mười diện tích ban đầu của chúng! Cứ hai giây trôi qua lại có một diện tích rừng nhiệt đới bằng một sân bóng đá biến khỏi mặt đất.

Sự tàn phá rừng quá đáng này có hậu quả nghiêm trọng là làm hành tinh của chúng ta bị suy giảm khả năng tự bảo vệ chống lại sự tích tụ khí cacbonic. Khí cacbonic tích tụ trong khí quyển Trái đất gây hiệu ứng nhà kính đang đe dọa làm Trái đất nóng lên và ó nguy cơ trở thành nơi không thể sinh sống được nữa. Như chúng ta đã thấy, cây và các loại thực vật khác hấp thụ khí cacbonic của khí quyển và sử dụng ánh sáng Mặt trời để chuyển hóa nó thành ôxy thông qua quang hợp. Như vậy, rừng đóng vai trò là "lá phổi" của Trái đất – hay chính xác hơn là lá phổi theo chiều ngược lại vì, ngược với quang hợp, hô hấp làm cho chúng ta hít ôxy vào và nhả khí cacbonic ra. Rừng và cây xanh bù trừ lượng ôxy tiêu thụ và lượng khí cacbonic mà các sinh vật sống khác tạo ra. Tàn phá rừng nghĩa là chúng ta đã phá vỡ sự cân bằng mong manh này. Nếu như ba phần tư lượng khí cacbonic gia tăng trong khí quyển Trái đất là do con người đốt cháy các nhiên liệu hóa thạch, thì một phần tư còn lại là do rừng nhiệt đới bị tàn phá.

### *Đa dạng sinh học lâm nguy*

Sự tàn phá một cách vô ý thức các lá phổi của Trái đất không chỉ làm tăng sự tích tụ khí cacbonic trong khí quyển và làm trầm trọng thêm sự nóng lên của hành tinh, mà nó còn làm mất đi tính đa dạng sinh học một cách không gì cứu vãn nổi. Các khu rừng nhiệt đới chắc chắn là những nơi đa dạng sinh học nhất: chúng chứa những hệ động vật và thực vật phong phú nhất của địa cầu. Mặc dù chỉ chiếm khoảng 6% diện tích đất liền, nhưng rừng nhiệt đới là nơi trú ngụ của hơn một nửa số sinh vật mà chúng ta biết trên Trái đất. Trên 10 cây số vuông của rừng Amazon, người ta thấy nhiều động vật và thực vật hơn trên toàn châu Âu! Các cuộc tấn công nhằm vào các khu rừng nhiệt đới và tàn phá nơi cư trú tự nhiên, thêm vào đó là ô nhiễm môi trường và săn bắn, đã gây ra một cuộc thảm sát thực sự các loài động vật và thực vật. Mỗi ngày qua đi lại có khoảng 75 số động vật và thực vật biến mất khỏi mặt đất, tức khoảng 3 loài mỗi giờ và 27.000 loài mỗi năm! Nếu con người không làm gì để chặn lại tốc độ tàn sát hiện nay, thì ít nhất một phần năm số loài sinh vật này sẽ biến mất khỏi địa cầu của chúng ta vào năm 2030, và một nửa vào cuối thế kỷ XXI.

Sự suy giảm đa dạng sinh học này là một hiểm họa lớn. Tiêu diệt các loài khác cũng có nghĩa là con người có nguy cơ tiêu diệt chính mình, vì sự sống có tính phụ thuộc lẫn nhau. Nó tồn tại là nhờ một chuỗi các quá trình phức tạp gắn liền với nhau. Chẳng hạn, chúng ta phụ thuộc vào một số vi khuẩn phân hủy chất hữu cơ của chất thải động vật và thực vật thành mùn, điều này cho phép chất hữu cơ được tái chế và nuôi dưỡng Trái đất. Vì chúng ta còn chưa biết thật chính xác các loài đóng vai trò thiết yếu đối với sự sống còn của chúng ta, nên chúng ta không thể tự cho phép mình tiêu diệt chúng. Chúng ta dễ bị tổn thương hơn vì chúng ta nằm ở mắt xích cao trong chuỗi thức ăn và chúng ta phụ thuộc vào các loài khác, trong khi những loài này có thể không cần đến sự hiện diện của chúng ta.

Mặt khác, đa dạng sinh học đóng vai trò hàng đầu đối với sức khỏe và sự sung túc của chúng ta. Tự nhiên chứa rất nhiều các chất chữa bệnh quý giá: phần lớn các loại thuốc mà chúng ta dùng để chữa bệnh là được chiết xuất từ các cây dại. Để chữa một số bệnh, chúng ta bắt tự nhiên cho chúng ta thừa hưởng sự thông thái mà nó đã tích lũy trong hàng tỉ năm tiến hóa, sau vô số các mò mẫm.

Trong lịch sử sự sống, hàng triệu loài, thông qua đột biến gen ngẫu nhiên và chọn lọc tự nhiên, đã biết cách tạo ra các sản phẩm hóa học cần thiết để tiêu diệt động vật ký sinh trong cơ thể chúng và ngăn chặn bệnh tật. Chúng ta đã

biết cách khai thác cơ sở dữ liệu khổng lồ mà các loài sinh vật sống tạo thành để bào chế thuốc kháng sinh, vaccin và các loại thuốc chống trầm cảm. Giữ đa dạng sinh học là hết sức quan trọng cho sự khai thác này. Biết đâu một trong số các sinh vật biến mất mãi này lại chứa trong nó chất kỳ diệu có thể chữa được bệnh AIDS hay bệnh ung thư?

Nhưng, ngoài lợi ích xét cho cùng mang tính ích kỷ này nhằm bảo vệ nguồn dược liệu tự nhiên để chữa bệnh cho chúng ta, mất đa dạng sinh học cũng còn có nghĩa là phá hủy không gì vĩnh viễn được nhiều chương của Cuốn sách Lớn về sự sống trước khi chúng ta đọc được. Nghĩa là tước đi mãi mãi của con người các thông tin không gì thay thế được về lịch sử sinh học về nguồn gốc của chính con người<sup>17</sup>.

### *Mặt trời, máy phát năng lượng khổng lồ*

Sự sống cần năng lượng để tồn tại và duy trì nòi giống. Mặt trời rất xứng với tên gọi “ngôi sao của sự sống” ở chỗ nó là nguồn gốc của gần như toàn bộ các nguồn năng lượng nuôi dưỡng chúng ta và duy trì sự sống trên Trái đất. Trên thực tế, năng lượng Mặt trời mà cây xanh chuyển hóa thành vật chất sống thông qua phép màu của quá trình quang hợp có thể được thu hồi để đáp ứng nhu cầu năng lượng của chúng ta. Chẳng hạn, từ thuở chập chững của nhân loại, con người đã biết rằng chỉ cần đốt củi - vật chất nén và có dạng sợi của các mạch dẫn nhựa tạo thành thân cây, các cành và rễ cây - là có thể sưởi ấm và nấu chín thức ăn. Nhưng gỗ cháy giải phóng ít năng lượng hơn các nguồn hiện đang thịnh hành: than, dầu mỏ và khí tự nhiên. Người ta gọi chúng là các nhiên liệu “hóa thạch” bởi vì chúng là tàn tích của cây cối bị phân hủy. Với cuộc cách mạng công nghiệp và sự phát minh ra máy chạy bằng hơi nước vào cuối thế kỷ XVIII, con người đã bắt đầu sử dụng than để chạy tàu biển, tàu hỏa dùng động cơ hơi nước và phổ biến đến khắp mọi nơi trên địa cầu. Năm 1890 là năm chứng kiến sự bước lên sân khấu của động cơ nổ chạy không phải bằng than nữa, mà bằng dầu hỏa, một sản phẩm khác của thực vật bị phân hủy. Nhờ phát minh này, con người đã bắt đầu dọc ngang khắp nơi trên những cái thùng nhỏ bằng kim loại mà người ta gọi là xe hơi. Kể từ đó, sở thích vô độ của con người đối với những tên nô lệ cơ khí này đã tăng lên gấp bội, và các nhu cầu về dầu để chạy xe cộ và máy móc của chúng ta ngày càng lớn và cấp bách.



<sup>17</sup> Xem thêm Trịnh Xuân Thuận, *Nguồn gốc - Nỗi hoài niệm về những thuở ban đầu*, Phạm Văn Thiều và Ngô Vũ dịch, NXB Trẻ, 2006.



Gỗ, than, dầu hay khí tự nhiên: bấy nhiêu sản phẩm bảo đảm sự sống còn của chúng ta, sự sung túc của chúng ta, bấy nhiêu món quà mà Mặt trời đã ban tặng cho nhân loại thông qua sự tận tụy của quá trình quang hợp.

Mặt trời là một máy phát năng lượng khổng lồ. Nhờ có lò luyện hạt nhân nằm trong lõi, nó sản sinh ra khoảng 300 tỉ tỉ ( $300 \cdot 10^{18}$ ) kW.h mỗi giây<sup>18</sup>, tức là bằng 100 tỉ quả bom nguyên tử, mỗi quả có sức công phá một megaton. Như chúng ta đã thấy, nếu toàn bộ năng lượng này rơi xuống Trái đất, thì chỉ cần sáu giây là toàn bộ các đại dương bốc hơi hết, hay ba phút để vỏ Trái đất tan chảy. Sở dĩ những thảm họa này không rơi xuống đầu chúng ta, chính là bởi vì Trái đất chỉ choán một thể tích không gian nhỏ, nên rất may cho sức khỏe của chúng ta, nó chỉ nhận một phần rất rất nhỏ năng lượng sáng khổng lồ này: khoảng một phần mười tỉ năng lượng của Mặt trời, tức 30 tỉ kW.h mỗi giây. Phần lớn năng lượng Mặt trời này bị mất vào không gian. Nhưng phần nhỏ đến Trái đất cũng thừa đủ để thỏa mãn nhu cầu của chúng ta: tổng năng lượng mà toàn nhân loại sử dụng chưa bằng 0,01% năng lượng nhận được từ Mặt trời. Chúng ta hãy nhớ lại rằng, trong năng lượng Mặt trời tỏa xuống Trái đất, khoảng 30% bị phản chiếu trở lại không gian và 45% bị chuyển hóa thành nhiệt. Trong số 25% còn lại, phần lớn (24%) cung cấp cho các chu kỳ thủy văn bốc hơi và ngưng tụ của nước.

### *Năng lượng của thực vật*

Bằng cách nào tự nhiên đã có thể tập trung và tích trữ năng lượng Mặt trời trong các nhiên liệu hóa thạch? Nó đã phải cầu viện đến thế giới thực vật, vốn chiếm khoảng 90% vật chất sống của hành tinh chúng ta và việc dùng thời gian ưa thích của chúng, như chúng ta đã thấy, là dành cho quang hợp. Để tạo ra carbon mà chúng ta đốt tùm lum để thỏa mãn nhu cầu năng lượng, cây cối phải tiêu thụ không khí, nước và năng lượng Mặt trời.

Lượng không khí, nước và năng lượng Mặt trời mà cây cối sử dụng cho quang hợp là rất lớn: chẳng hạn, để tạo ra một kilogram gỗ khô cây phải hút khí cacbonic trong 4000 mét khối không khí, tức bằng thể tích của một ngôi nhà lớn! Còn về nước, nước từ đất được dẫn lên tận lá, nơi diễn ra quang hợp. Mặt trời một lần nữa lại ra tay giúp đỡ: bằng cách làm bốc hơi nước, nó tạo ra một hiệu ứng hút dẫn nhựa từ rễ lên lá. Khi trời không đủ nắng, một cơ chế khác

❖

<sup>18</sup> Chúng ta ai cũng đều đã biết đơn vị kilô oát-giờ, bởi vì đó là đơn vị tính năng lượng mà ngành điện lực sử dụng để tính tiền điện. 1kW.h tương đương với năng lượng phải tiêu hao để đưa một tấn nước lên cao 360 mét.

tham gia: rễ tập trung vào trong chúng các chất khoáng của đất, điều này tạo ra một sự hút nước và như vậy nhựa được đẩy lên cao. Và lượng nước được sử dụng cũng rất lớn: chỉ trong một ngày, một cây tùng đưa lên cao 100 mét khoảng 2 tấn nước, tức lớn hơn cả trọng lượng của chính nó! Và thế vẫn chưa hết: để thỏa mãn các nhu cầu về nước, cây phải tích lũy đủ lượng dự trữ và phát triển một mạng lưới rễ khai thác một thể tích đất rộng tới vài trăm mét khối. Cuối cùng, thực vật cần năng lượng để lớn và sinh trưởng. Vậy mà, mặc dù năng lượng Mặt trời mà cây sử dụng cho quang hợp là khổng lồ - khoảng 18 triệu kW.h mỗi giây -, nhưng chúng cũng chỉ chiếm khoảng 0,06% năng lượng mà Trái đất nhận được từ Mặt trời mà thôi.

*“Vàng đen” là kết quả của sự ngẫu hợp các hoàn cảnh*

Vàng đen một phần lớn có nguồn gốc là xác của các sinh vật biển (động vật phù du) và, một phần nhỏ từ các sinh vật sống trên Trái đất trong sông suối hay thực vật mọc ở đáy biển. Khi chết, phần lớn (99,9%) các sinh vật này bị phân hủy, và vật chất của chúng được tái chế. Chẳng hạn, hàng nghìn tỉ thế hệ tảo xanh và các vi sinh vật khác sống trong hồ và chết đi, chúng rơi xuống đáy, và bị trộn lẫn với phân hoa, bào tử và cây chết. Nhìn chung, các vi khuẩn ưa khí, thích nghi với môi trường giàu ôxy, nhanh chóng tấn công các sinh vật chết này và lấy đó làm thức ăn. Sau khi chúng tiêu hoá xong, chỉ còn lại khí cacbonic và nước. Một phần lớn trong số khí cacbonic và nước này được các thế hệ sinh vật mới tiêu thụ, và phần còn lại phân tán vào khí quyển và đại dương.

Tuy nhiên, một phần nhỏ (0,1%) bị rơi vào trong một môi trường không có ôxy và thoát khỏi ra chu kỳ tái chế này. Điều này xảy ra khi, rất ngẫu nhiên, một khu vực giàu các mảnh vật chất sống tạo thành vĩa dưới đáy hồ, đồng bằng hay biển đột ngột bị vùi lấp dưới một lớp trầm tích dày. Chẳng hạn, sau một trận mưa to, suối và sông có thể cuốn theo lượng lớn cát và bùn, sau đó chúng sẽ lắng rất nhanh xuống đáy. Các lớp cát và bùn này ngăn không cho ôxy xâm nhập, bảo vệ cho xác vật chất chết khỏi bị ôxy hóa. Tuy nhiên, như chúng ta đã thấy, có các vi khuẩn kỵ khí không cần ôxy để phát triển. Chính chúng sẽ lại tấn công vào phần bị chôn vùi này để lấy ôxy và nitơ cần thiết cho sự sống còn của chúng. Bằng cách đó chúng đã loại bỏ từ xác vật chất chết gần như toàn bộ glucid (hợp chất cấu thành từ carbon, hydro và ôxy), lipid (các axit béo) và protein. Chỉ những phân tử rất lớn kerogen (tiếng Hy Lạp *kêros*, nghĩa là “sáp”) mà chúng không thể đồng hóa được, tạo thành một loại bùn không hòa tan màu nâu-đen.

Theo thời gian, và nếu các điều kiện về áp suất và nhiệt độ thuận lợi, kérogen sẽ biến thành thứ mà chúng ta gọi là “vàng đen”, được dùng để vận hành nhà máy, xe hơi và máy bay. Trầm tích tiếp tục được tích tụ bởi các vi khuẩn kỵ khí nằm dưới áp suất rất cao do trọng lượng hàng kilomet trầm tích đè lên trên. Nó cũng bị nung nóng lên đến các nhiệt độ rất cao. Ai đã từng xuống mỏ dầu biết, nhiệt độ trong lòng đất cao hơn trên mặt đất. Nhiệt này chủ yếu do bức xạ phóng xạ của một số nguyên tố trong vỏ Trái đất. Trung bình cứ xuống sâu 100 m nhiệt độ lại tăng thêm ba độ, điều này làm cho nhiệt độ lên tới 60 độ ở độ sâu 2 km, và 120 độ ở 4 km trong lòng đất. Sau khi được đặt trong các điều kiện áp suất và nhiệt độ rất cao trong vòng hàng chục nghìn năm, thậm chí hàng trăm nghìn năm này, kerogen biến đổi, giải phóng khí cacbonic và nước. Kết quả là một chất lỏng dính và đen cấu thành từ hydrocarbua, tức là các phân tử cấu thành chỉ từ hydro và carbon. Chất lỏng này được gọi là “dầu mỏ” và ngày nay đang rất được thèm muốn.

Nhưng, vượt qua một độ sâu nhất định và một áp lực nhất định, dầu hoá không thể tồn tại. Các phân tử của nó bị phân tách thành hydrocarbua nhẹ hơn, và dầu nhường chỗ cho khí “tự nhiên”. Chính vì thế mà mỏ dầu thường nằm sâu khoảng 2-3 km, trong khi mỏ khí nằm sâu hơn 3,5 km. Khi áp lực của khí trở nên quá cao, lớp đá bị rạn nứt. Dầu và khí sẽ lách qua các khe để ngoi lên bề mặt. Nếu dầu không gặp bất kỳ cản trở nào trên đường đi của nó, thì nó sẽ trào lên và các đám vi khuẩn sẽ vội vã lao vào để phân hủy nó thành nhựa đường, sản phẩm mà chúng ta sử dụng để trải đường. Sự trào lên trực tiếp bề mặt như vậy làm giảm lượng dầu. Để dầu không bị trào lên, thì trên đường trào lên trên lớp đá không thấm, phải có, chẳng hạn, các lớp đất sét vô và sét giam chúng và làm chúng tích tụ dưới đất. Những người tìm “vàng đen” sẽ tìm kiếm dầu tại những nơi đó.

Sở dĩ chất lỏng này quý hiếm như vậy là vì để có nó phải có sự kết hợp của ba điều kiện địa chất. Thứ nhất, một lớp rất giàu chất hữu cơ mà tự nhiên đã nhanh chóng bao phủ bằng trầm tích để bảo vệ nó khỏi bị ôxy hóa phân hủy. Thứ hai, các điều kiện về áp suất và nhiệt độ (khoảng 120 độ) phải rất chính xác để tạo ra hỗn hợp lỏng trong khoảng thời gian thích hợp (hàng chục nghìn, thậm chí hàng trăm nghìn năm). Cách thức rất tinh tế, các điều kiện áp suất và nhiệt độ lại phải được điều chỉnh chính xác tới mức người ta không bao giờ có thể tái tạo được chúng trong phòng thí nghiệm. Cuối cùng, dầu phải được giam một cách phù hợp để không trào thẳng lên mặt đất. Cả ba điều kiện này hiếm khi đồng thời xảy ra khiến cho tổng lượng các xác hữu cơ trên Trái đất

được chuyển hóa thành dầu mỏ và bị chôn vùi trong các mỏ ngầm chỉ khoảng 2%. Chính vì lẽ đó mà vàng đen rất hiếm, và chúng ta rất khó tìm thấy dầu nhiều hơn nữa để thỏa mãn các nhu cầu ngày càng tăng về năng lượng của mình. Và cũng chính vì lẽ đó mà đã xảy ra các cuộc xung đột địa chiến lược giữa các nước có dầu và những nước không có dầu.

### *Than, một dạng năng lượng Mặt trời hóa thạch*

Cách đây khoảng 300 triệu năm, các lục địa trên Trái đất vẫn chưa tách khỏi nhau, mà vẫn hợp nhất thành một siêu lục địa gọi là Pangée. Khí hậu nóng và ẩm ướt tới mức siêu lục địa này bị bao phủ bởi một hệ thực vật phong phú bao la hút tầm mắt. Những cánh rừng dương xỉ khổng lồ (cao tới ba mươi mét) phủ những vùng đầm lầy rộng lớn, ở đó nhưng nhúc các loài lưỡng cư đầu tiên sinh sôi nảy nở, rồi sau đó chúng rời bỏ môi trường nước để lao vào cuộc chinh phục các vùng đất rắn. Hơi nước và mùi hôi thối bay toả khắp nơi, đó là kết quả thối rữa và phân hủy của vô số lớp lá cây, rong rêu và các loại thực vật khác tích tụ theo thời gian ở đáy các đầm lầy và đầm phá. Rồi những ngày nóng nực kết thúc (nhiệt độ trung bình trên Trái đất lúc đó mát hơn ngày nay, vì chúng ta đang sống ở cuối một kỷ băng hà), các lục địa tách khỏi nhau và bắt đầu trôi giạt. Cùng với thời gian, những lớp phân tử chường khí của các xác thực vật được sinh ra từ thời Pangée đã bị vùi sâu tới vài mét dưới lớp bùn và cát. Cũng giống như dầu mỏ, dưới tác dụng kết hợp của áp suất và nhiệt độ cao, trong môi trường không có ôxy của không khí, những lớp phân tử này bắt đầu chuyển hoá để trở thành khoáng: một dạng đá đen mà ta gọi là “than”.

Cũng giống như dầu mỏ, than là một dạng năng lượng Mặt trời cô đặc, bởi vì nó bắt nguồn từ sự phân hủy xác sinh vật, những sinh vật này khi còn sống đã sử dụng ánh sáng Mặt trời để tồn tại. Chẳng hạn, sử dụng than để đốt lò nghĩa là bạn đã sử dụng năng lượng Mặt trời cô đặc mà Trái đất đã kiên trì tích trữ trong hàng trăm triệu năm. Một phần bởi vì than rắn - một dạng đá tạo thành từ sự sống -, nên nó giữ được lâu hơn dầu rất nhiều. Người ta cho rằng, trong số than được hình thành trên hành tinh chúng ta, phần lớn vẫn còn tồn tại, ngoại trừ phần mà con người đã khai thác và sử dụng.

Do kỳ địa chất kéo dài từ 360 đến 286 triệu năm trước CN tạo ra phần lớn lượng dầu mỏ và than đá, nên người ta gọi thời kỳ này là *kỷ carbon*. Và bởi vì các nhiên liệu này bắt nguồn từ sự hóa thạch của các sinh vật cổ xưa, và trong một chừng mực nào đó chúng là các dạng năng lượng Mặt trời hóa thạch, nên chúng được đặt tên là “nhiên liệu hóa thạch”. Và lại người ta vẫn thỉnh

thoảng nhìn thấy các hóa thạch của dương xỉ hay của lá cây được khám trong các cục than.

Xác thực vật bị bùn và cát bao phủ biến thành các loại than có chất lượng cao hay thấp, chứa nhiều hay ít carbon tùy thuộc vào tuổi của mỏ, và như vậy cũng tức là phụ thuộc vào độ sâu, áp suất và nhiệt độ. Giai đoạn đầu tiên của sự cấu tạo trầm tích dẫn đến than bùn, vốn không gì khác hơn là mùn bị nén chặt. Than mùn chất lượng rất thấp, cháy kém hơn gỗ và năng suất tỏa nhiệt thấp. Các lớp than mùn nằm ngay dưới đáy các đầm lầy và nghèo carbon nhất: hàm lượng của nó chỉ khoảng 50%. Ở những nơi sâu hơn, nhiệt độ và áp suất cao hơn, than mùn chứa nhiều lingit hơn. Lingit được cấu thành 70% từ carbon và nằm sâu khoảng 1 km trong lòng đất. Năng suất tỏa nhiệt của lingit cao hơn của than mùn, nhưng trung bình vẫn thấp hơn ba lần so với than đá, thuộc lớp than chất lượng cao hơn. Than đá là kết quả của sự nén lingit và chứa tới 85% carbon. Nó nằm sâu khoảng 3 km dưới lòng đất và là dạng than dồi dào nhất và được sử dụng nhiều nhất. Khi cháy, nó tỏa ra rất nhiều nhiệt, và cả một lượng lớn khói. Cuối cùng, ở các áp suất và nhiệt độ lớn hơn, có antraxit, cấu thành từ hơn 90% carbon, là loại than tốt nhất. Đây là loại than chứa rất ít chất dễ bay hơi (khoảng từ 6-8%), và vì vậy cháy mà không bốc khói và tỏa ra rất nhiều nhiệt.

Sự hình thành các loại than còn sinh ra khí, đặc biệt là ở cấp độ than đá. Metan (hay còn gọi là “khí mỏ”) có thể xâm chiếm các mỏ than và nếu lẫn vào không khí thì có thể phát nổ khi tiếp xúc với lửa. Đó chính là những vụ nổ mỏ mà các thợ mỏ rất sợ. Trong thế kỷ XX, các vụ nổ mỏ đã giết chết hàng chục nghìn thợ mỏ.

### *Năng lượng không tái sinh gây ô nhiễm môi trường*

Trữ lượng dầu, khí và than không phải là vô hạn. Chúng đang cạn kiệt nhanh chóng và nghiêm trọng hơn, chúng lại thuộc dạng không tái sinh được. Con người đã phát hiện ra dầu từ thời Cổ đại. Những người cổ xưa đã sử dụng dầu cho rất nhiều ứng dụng: người Ai Cập dùng dầu để bảo quản xác ướp, người Trung Quốc dùng dầu để đóng gạch và sưởi ấm nhà, còn nhiều người dân của các nước khác nữa đã sử dụng dầu để xảm vỏ tàu thủy. Nhưng việc sử dụng nhiên liệu hóa thạch chỉ thực sự cất cánh cùng với cuộc cách mạng công nghiệp, vào cuối thế kỷ XVIII. Nhờ phát minh ra máy hơi nước, con người đã biết cách chuyển hóa năng lượng của than bị đốt cháy thành công. Với phát minh ra động cơ nổ và ô tô, dầu đã thay thế than để trở thành nhiên liệu hóa thạch được sử dụng nhiều nhất. Giếng dầu hiện đại đầu tiên được khoan năm

1859 tại Pennsylvania, Mỹ. Dầu hiện nay cung cấp 40% nhu cầu năng lượng của chúng ta, trong khi khí và than thỏa mẫn chỉ khoảng 25%. Than ngày nay chủ yếu được sử dụng trong các nhà máy nhiệt điện để sản xuất điện: nước bị đun nóng bốc hơi, hơi nước dẫn động các tuabin được kết nối với máy phát điện.

Chỉ trong hơn một thế kỷ, chúng ta đã tiêu thụ một lượng lớn trữ lượng nhiên liệu hóa thạch mà tự nhiên đã kiên trì hàng trăm triệu năm để sản xuất ra. Sẽ cần phải hàng trăm triệu năm nữa mới có thể tái tạo được trữ lượng này. Đó là một thời gian mà con người không thể có. Do thiếu ý thức và tham lam, con người đã sử dụng rất nhiều năng lượng để sản xuất và tiêu thụ ngày càng nhiều hơn. Con người là sinh vật duy nhất trên Trái đất tiêu thụ năng lượng nhiều hơn lượng cần thiết để sống và tái tạo giống nòi. Ngày nay, người dân của các nước phát triển tiêu thụ một lượng năng lượng cho đi lại và sinh hoạt hàng ngày cao hơn gần một trăm lần lượng năng lượng cần thiết cho sự trao đổi chất của họ! Cứ theo nhịp độ tiêu thụ năng lượng kinh hoàng hiện nay, người ta đánh giá rằng trữ lượng dầu (chủ yếu tập trung ở Trung Đông) và khí (chủ yếu ở Trung Đông và các nước thuộc Liên bang Xô Viết cũ) sẽ cạn kiệt vào khoảng năm 2100. Còn về than, vốn là lượng nhiên liệu dồi dào nhất và phân bố đều nhất về địa lý trên Trái đất (các trữ lượng than lớn nhất nằm ở Mỹ và các nước thuộc Liên bang Xô Viết cũ), sẽ là nguồn nhiên liệu tiếp sức, nhưng cũng sẽ cạn kiệt vào khoảng năm 2300.

Nhưng, ngay cả khi các trữ lượng nhiên liệu hóa thạch là vô hạn, thì cũng đã đến lúc cấp bách phải tìm ra và phát triển các nguồn năng lượng thân thiện với môi trường hơn. Trên thực tế, mức tiêu thụ kinh hoàng nhiên liệu hóa thạch đã làm đảo lộn nghiêm trọng sự cân bằng sinh quyển. Dầu và than bị đốt cháy đã đổ hàng tấn khí cacbonic vào khí quyển Trái đất, làm trầm trọng thêm hiệu ứng nhà kính và gây ra sự ấm lên toàn cầu, với các hậu quả khủng khiếp tiềm ẩn đối với sự sống còn của chúng ta và của các loài khác<sup>19</sup>. Khí cacbonic mà dương xỉ của kỷ carbon đã tận tụy loại bỏ khỏi không khí cách đây khoảng 300 triệu năm đã phục hồi gần như hoàn toàn. Các khí thải từ các hoạt động của con người chiếm một nửa lượng khí thải vào trong khí quyển Trái đất, tức khoảng 7 tỉ tấn mỗi năm. Trên toàn cầu, than được đốt cháy để sản xuất điện là một nguồn thải lớn khí cacbonic. Về mặt này, nước Pháp là một ngoại lệ, vì 90% lượng điện của Pháp là điện hạt nhân và thủy điện. Do vậy, người Pháp thải khí cacbonic ít hơn người Mỹ ba lần. Dầu được sử dụng cho xe hơi và và



<sup>19</sup> Trịnh Xuân Thuận, *Nguồn gốc - Nỗi hoài niệm về những thuở ban đầu*, sdd.

các nhiên liệu hóa thạch khác để sưởi ấm nhà, văn phòng, nhà máy cũng góp phần làm tăng hiệu ứng nhà kính. Khí cacbonic sinh ra từ hoạt động của con người đóng góp khoảng 60% vào sự gia tăng hiệu ứng nhà kính quan sát được.

Một khí khác gây hiệu ứng nhà kính cũng gắn với hoạt động của con người và có ảnh hưởng lớn lên môi trường chính là metan. Metan đóng góp 20% vào sự gia tăng hiệu ứng nhà kính. Metan chủ yếu bắt nguồn từ chăn nuôi, đặc biệt là từ dạ dày bò (trung bình mỗi năm một con bò sữa tạo ra 90 kg metan), và cả từ rác thải và ruộng lúa. Phần còn lại làm tăng hiệu ứng nhà kính là do các khí có hàm lượng ít hơn trong khí quyển như clorofluorocabon (CFC) trước kia được sử dụng trong công nghiệp làm lạnh và điều hòa không khí, và bị cấm từ năm 1987 do chúng phá hủy tầng ôzôn.

Do các giếng dầu bắt đầu cạn kiệt và giá nhiên liệu leo thang, nên trước mắt người ta rất muốn trao lại vị trí hàng đầu cho than, với tất cả các hậu quả xấu của nó đối với sinh thái: bụi than đá phát tán trong không khí và khi con người hít phải sẽ lắng lại trong phổi; khói làm tối bầu trời và đen các ngôi nhà; các ôxit lưu huỳnh và ôxit nitơ độc hại làm axit hóa nước mưa và tuyết, đe dọa sức khỏe con người, đồng thời ảnh hưởng đến ao hồ, sông suối, rừng, và bào mòn các công trình kiến trúc bằng đá tuyết vôi trong các thành phố<sup>20</sup>. Cái giá phải trả về con người và môi trường này là không thể chấp nhận và phải tránh bằng mọi cách.

### *Tích trữ nhiệt Mặt trời*

Vì thế con người đã đi tìm các nguồn nhiên liệu khác "sạch" hơn, nghĩa là tôn trọng môi trường hơn. Trực tiếp hay gián tiếp, hầu như tất cả các nguồn này đều bắt nguồn từ năng lượng Mặt trời. Ngược lại với dầu, than và khí tự nhiên, những nguồn mới này chúng phải tái sinh được: ở thang đời người, việc sử dụng chúng không được dẫn đến sự suy giảm rõ rệt hay biến mất các nguồn tài nguyên thiên nhiên, do nó dựa trên một nguồn gần như không bao giờ cạn kiệt, đó là năng lượng Mặt trời<sup>21</sup>. Chúng ta đã thấy rằng Mặt trời cung cấp cho



<sup>20</sup> Khả năng phá hủy này là do than đá chứa lưu huỳnh. Khi lưu huỳnh được giải phóng vào khí quyển, nó kết hợp với hơi nước để tạo thành axit sulfuric. Khử lưu huỳnh trong khói là việc rất khó khăn và tốn kém. Cái giá phải trả sẽ quá đắt nên than đá chưa thể thay thế antraxit vốn chứa rất ít lưu huỳnh.

<sup>21</sup> Chắc chắn, Mặt trời rồi cũng sẽ cạn kiệt lượng hydro của nó trong khoảng 4,5 tỉ năm nữa và sẽ tắt sau khoảng 5 tỉ năm nữa. Con cháu chứt chứt của chúng ta sẽ phải đi tìm một nguồn năng lượng mới, nghĩa là một Mặt trời mới.

chúng ta lượng năng lượng lớn hơn lượng mà chúng ta sử dụng khoảng 10.000 lần. Như vậy con người chỉ cần giữ lại 0,01% trong số đó là có thể thỏa mãn được tất cả các nhu cầu về năng lượng. Tuy nhiên, năng lượng Mặt trời vẫn là người cha nghèo của các nguồn năng lượng khác hiện đang được khai thác. Tại Pháp, năm 2002, năng lượng Mặt trời chỉ chiếm 0,01% trong tổng năng lượng tiêu thụ, thấp hơn rất nhiều so với các nguồn năng lượng sạch và tái sinh được khác như nhiên liệu sinh học (biogaz), củi, hay thủy điện.

Năng lượng Mặt trời có thể được khai thác theo hai cách: hoặc dưới dạng nhiệt, nhờ các tấm thu ánh nắng Mặt trời, hoặc được chuyển hóa thành điện bằng pin quang điện. Cho tới nay, cách đầu tiên hiệu quả hơn và dễ thực hiện hơn. Tại các vùng có nhiều nắng, trời thường không có mây, một số nhà đã được trang bị bình nước nóng dùng năng lượng Mặt trời. Chúng phát ra các tia hồng ngoại, các tia này bị nhốt trong lồng kính giống như hiệu ứng nhà kính. Nhiệt bị cầm tù như vậy được truyền cho nước trong bình, và nước có thể nóng lên tới 60 độ, sau đó nước này được dùng cho các nhu cầu sinh hoạt của gia đình như tắm, giặt, sưởi hay thậm chí chạy máy điều hòa nhiệt độ. Nhưng có một nhược điểm khi sử dụng năng lượng Mặt trời, đó là không phải ngày nào trời cũng nắng. Việc một vùng có nắng nhiều hay không phụ thuộc rất nhiều vào vĩ độ của nó: các vùng ở phía Bắc nhận được ít nhiệt hơn các vùng nhiệt đới. Ngay trên nước Pháp, số ngày trời nắng trong một năm ở Côte d'Azur gần gấp đôi số ngày nắng ở Paris! Khi trời không có nắng, cần phải sử dụng một nguồn năng lượng khác như điện, khí hay các nhiên liệu hóa thạch khác. Nhưng, nếu tính chi phí cho các năng lượng bổ sung này, thì tại các vùng nhiều nắng, số tiền phải trả cho năng lượng có thể giảm xuống một nửa, thậm chí nhiều hơn. Để khắc phục những ngày không có nắng, cần phải có cách tích trữ năng lượng Mặt trời. Nước là một phương tiện tốt để làm điều đó. Người ta còn sử dụng một số loại muối có khả năng giữ nhiệt tốt hơn nước hàng trăm lần.

Để tận dụng năng lượng Mặt trời trong những vùng nhiều nắng, kiến trúc sinh khí hậu có từ thời Cesar đã được yêu chuộng trở lại. Người ta chú ý nhiều hơn đến hướng của các phòng khác nhau trong nhà tùy theo vị trí của Mặt trời ở các thời điểm khác nhau trong ngày, cũng như tới khả năng cách nhiệt. Người ta lắp các cửa kính kép, cánh trập... để hạn chế sự mất nhiệt. Kiến trúc sinh khí hậu sinh cũng chống nóng bằng việc lắp đặt các hệ thống che nắng ban ngày và thông hơi vào ban đêm. Loại bảo vệ này đặc biệt hữu dụng ở những xứ nóng, vì nó làm giảm đáng kể các nhu cầu và do đó giảm chi phí cho điều



hòa không khí. Trên thực tế, làm giảm một độ trong nhà phải mất gấp ba lần năng lượng để sưởi ấm thêm một độ cho ngôi nhà đó!

Ở thang lớn hơn, người ta đã xây dựng các nhà máy điện Mặt trời khổng lồ được lắp các gương lớn có thể phủ một diện tích hàng chục nghìn kilômét vuông. Nguyên lý rất đơn giản: các gương làm hội tụ ánh sáng Mặt trời vào vùng tiêu điểm, làm nóng một chất lỏng lên tới từ 100 đến 300 độ. Ở Pháp, nhà máy điện Mặt trời Thémis đặt tại Targasonne, phía Đông dãy Pyrénées, là một ví dụ điển hình. Ánh nắng Mặt trời được tập trung làm nóng một chất lỏng chứa muối hòa tan có thể giữ nhiệt trong vòng năm giờ hoặc truyền nhiệt sang một máy phát dùng hơi nước để làm dẫn động các tuabin và nhờ đó sinh ra điện. Nhưng nhà máy này không sinh lợi: điện của nhà máy Thémis đắt gấp 50 lần điện sinh bởi các nguồn năng lượng thông thường như hạt nhân hay khí đốt. Vì thế Thémis đã phải rung chuông báo tử năm 1986. Trong một thời gian, nhà máy điện này đã được chuyển đổi thành đài thiên văn và các gương khổng lồ của nó đã được các nhà vật lý thiên văn hướng đến các thiên thể khác ngoài Mặt trời. Các nhà máy điện Mặt trời khác hoạt động rải rác trên thế giới, chẳng hạn ở Tây Ban Nha, Italia hay Mỹ (California). Điện của nhà máy điện California rẻ hơn điện của Thémis mười lần, chủ yếu bởi vì nó không sử dụng thiết bị tích trữ năng lượng Mặt trời: khi trời không có nắng, nhà máy này chạy bằng khí đốt.

### *Biến năng lượng Mặt trời thành điện*

Một cách khác để lợi dụng năng lượng Mặt trời là chuyển hóa nó thành điện nhờ pin quang điện. Người ta gọi đó là năng lượng quang điện. Nguyên lý của pin quang điện đã được nhà vật lý người Pháp Antoine Becquerel (1788-1878) phát hiện ra năm 1839. Berquerel đã nhận thấy rằng nếu chiếu sáng một cốc nước chứa một dung dịch axit và đưa vào đó một cặp điện cực, thì một dòng điện sẽ được tạo ra. Năm 1877, người ta đã chứng tỏ rằng hiện tượng tương tự cũng xảy ra trong một chất rắn: pin selen được chiếu sáng cũng sinh ra một dòng điện. Nhưng hiệu quả của sự chuyển hóa quang năng thành điện năng của pin quang điện selen rất thấp. Mãi đến những năm 1950, với sự lên ngôi của pin quang điện silic, thì tỉ lệ chuyển hóa mới trở nên chấp nhận được: khoảng 6%. Pin quang điện silic đã tiếp tục được hoàn thiện nhờ các đầu tư vào nghiên cứu và phát triển hai công nghiệp khác nhau: thứ nhất là công nghiệp vi điện tử, siclic là cơ sở của các tranzito được sử dụng trong tất cả các sản phẩm điện tử trong cuộc sống hiện đại (dàn stéréo, đầu đọc đĩa compact hay TV...);

thứ hai là công nghiệp vệ tinh, pin quang điện cung cấp năng lượng cho rất nhiều vệ tinh đang ở trên quỹ đạo xung quanh Trái đất, vì trong không gian có rất nhiều ánh sáng. Pin quang điện trên thị trường hiện có hiệu suất khoảng từ 12%-17%; một số mô hình trong phòng thí nghiệm thậm chí còn đạt 25%.

Giá silic đã liên tục giảm: cứ bảy năm lại giảm xuống mười lần. Nhưng nó vẫn còn cao, điều này có nghĩa là điện của các pin quang điện vẫn còn quá đắt: cao hơn mười lần điện của các năng lượng hóa thạch hay hạt nhân. Ngay cả khi chi phí cho việc lắp đặt các tấm pin Mặt trời có nguồn gốc silic rẻ hơn so với chi phí cho hệ thống dây điện, thì chi phí vẫn còn quá lớn đối với các nước đang phát triển nơi có nhu cầu thuộc loại cấp bách nhất. Vì vậy, đặt ra vấn đề tích trữ: cần phải có rất nhiều trạm để không làm ngắt quãng nguồn cung cấp năng lượng cho nhu cầu ban đêm, khi không còn nắng. Điều này làm cho giá năng lượng Mặt trời thêm cao. Vì vậy đặt ra một vấn đề khác: cần phải có một diện tích lớn, thậm chí rất lớn các tấm pin Mặt trời để thu năng lượng cần thiết. Chẳng hạn, để đáp ứng nhu cầu chi của riêng nước Mỹ thôi (chưa tính đến dự trữ), thì cũng cần các tấm pin Mặt trời bao phủ một diện tích cỡ 37450 km<sup>2</sup>, tức khoảng 0,4% diện tích của nước này, hay một phần mười lăm diện tích của nước Pháp. Để thỏa mãn các nhu cầu của nước Pháp, phải cần khoảng từ 4000 đến 5000 km<sup>2</sup> tấm pin Mặt trời, tức gần một nửa diện tích xây dựng của đất nước hình lục lăng này! Nếu tính cả các nhu cầu dự trữ, thì phải cần 3% diện tích của nước Pháp mới đủ chỗ cho các tấm pin Mặt trời! Một việc không dễ thực hiện...

Để thu nhận ánh sáng Mặt trời hiệu quả nhất và như vậy giảm được diện tích cần thiết cho các tấm pin Mặt trời, vào cuối những năm 1960, NASA đã nghĩ ra cách đưa các nhà máy điện Mặt trời lên quỹ đạo quanh Trái đất. Trong không gian, các nhà máy điện này có thể bắt bức xạ Mặt trời không bị khí quyển Trái đất hấp thụ. Chính hướng chính xác của các tấm pin Mặt trời là người ta có thể thu nhận được trung bình gấp tám lần năng lượng Mặt trời trên mét vuông so với trên mặt đất. Năng lượng này sau đó sẽ được truyền về Trái đất với hiệu suất khoảng 50% thông qua một chùm vi sóng (loại sóng mà lò vi sóng của chúng ta phát ra). Để làm được điều này, các nhà máy điện Mặt trời không gian phải được đặt lên quỹ đạo địa tĩnh cách mặt đất 36000 km. Khi đi chuyển động một vòng xung quanh Trái đất hết đúng một ngày, chúng sẽ luôn luôn nằm bên trên trạm tiếp nhận ở mặt đất, bất chấp chuyển động quay của hành tinh chúng ta. Chắc chắn, năng lượng của chùm sẽ không được hướng chính xác vào tiêu điểm, mà sẽ phân bố trên một diện tích vài cây số vuông của các

nhà máy tiếp nhận, nhờ đó làm giảm cường độ của chùm xuống giá trị tương đối yếu khoảng  $100 \text{ W/m}^2$ . Điều này sẽ cho phép tránh cho chùm biến thành các tia điện chết người đối với những người sống trên Trái đất trong trường hợp mất kiểm soát chùm!... Nhưng ý muốn chính trị đã không song hành: gần 40 năm sau, các nhà máy điện Mặt trời trên quỹ đạo vẫn chỉ là dự án.

### *Gió thổi*

Ngoài việc mang đến nguồn ánh sáng dồi dào để những người sống trên Trái đất thiếu năng lượng có thể trực tiếp chuyển hóa nó thành nhiệt hay điện, Mặt trời còn gián tiếp tạo ra các nguồn năng lượng tái sinh khác, những năng lượng không cạn kiệt ở thang thời gian của nhân loại. Một trong số những năng lượng này đã thu hút rất nhiều chú ý trong những năm gần đây là năng lượng gió. Xét cho cùng, chính Mặt trời là nguyên nhân gây ra gió vì nó làm nóng không đồng đều các vùng thấp và vùng cao, tạo ra những chênh lệch về áp suất giữa các vùng khác nhau của địa cầu. Vì tự nhiên không thích những chênh lệch áp suất khí quyển như thế, nên nó làm giảm bớt những chênh lệch này bằng cách dịch chuyển các khối khí của các vùng áp suất cao sang các vùng có áp suất thấp, tạo ra gió nhẹ làm mát chúng ta trong những ngày hè nóng nực, hoặc các trận bão lốc khủng khiếp vốn là nỗi ám ảnh của các thủy thủ. Con người đã biết khai thác gió tự nhiên này từ rất lâu rồi. Bằng cách giữ gió bằng vải căng trên cột buồm, con người đã có thể đi trên nước nhanh hơn và xa hơn so với đi bằng sức chèo của tay, và có thể vượt cả đại dương để khám phá những lục địa chưa biết. Trên đất liền, bằng cách khai thác động năng của gió do chuyển động quay của cánh quạt và bằng cách chuyển hóa nó thành cơ năng thông qua các bánh răng nối với cánh quạt, người xưa đã biết dùng năng lượng gió để xay bột hoặc kéo nước từ giếng lên. Các công cụ này chính là tổ tiên xa xưa của cối xay gió. Ngày nay, cối xay gió được thay bằng các động cơ gió, hay còn gọi là các “máy phát gió”, có mục đích biến động năng của gió thành điện bằng cách nối cánh của chúng với rotor, bản thân rotor này cũng được nối thông qua một hệ bánh răng với một máy phát điện gọi là “máy phát điện xoay chiều”.

Công suất điện – năng lượng cung cấp trên một đơn vị thời gian - của một động cơ gió phụ thuộc vào vận tốc gió. Gió thổi càng mạnh, các cánh quạt quay càng nhanh và công suất cung cấp càng lớn. Công suất này thay đổi theo lập phương của vận tốc gió. Nếu gió thổi mạnh hơn gấp hai lần, thì công suất

tăng lên tám lần. Đến lượt mình, vận tốc gió phụ thuộc vào độ cao. Ở độ cao 50 mét, gió thổi nhanh hơn trên mặt đất từ 25%-35%, tạo ra công suất cao gấp đôi. Đó là một trong những lý do khiến các động cơ gió hiện đại được đặt trên cao: cánh của chúng có thể nằm trên cao khoảng 100 m so với mặt đất để cho phép chúng bắt được gió mạnh hơn. Nhưng cao cũng đồng nghĩa với nặng: một động cơ gió cao 85 m nặng tới 300 tấn! Các động cơ gió vì thế phải được đặt trên nền chắc. Để một động cơ gió có thể hoạt động, vận tốc gió phải ít nhất là 7 m/s, tức 25 km/h. Động cơ gió đạt đến công suất tối đa khi gió thổi từ 14-20 m/s, tức 50-70km/h. Công suất của chỉ một động cơ gió 1,5 MW, là đủ để thỏa mãn nhu cầu năng lượng của khoảng 600 hộ gia đình.

Năng lượng gió chỉ đắt hơn năng lượng hóa thạch hay hạt nhân khoảng hai đến ba lần, và rẻ hơn năng lượng pin Mặt trời từ ba đến bốn lần. Ngoại trừ những ý kiến phản đối do vấn đề thẩm mỹ (một số người cho rằng các cánh đồng đặt động cơ gió sẽ phá vỡ cảnh quan) và tiếng ồn mà chúng gây ra, năng lượng gió không có những tác động nghiêm trọng lên môi trường. Vậy phải chăng đây là giải pháp thần diệu để giải quyết các vấn đề năng lượng của chúng ta? Hiện nay, câu trả lời là không, vì có một chốt chặn lớn: đó là gió không ổn định, nó thổi theo từng đợt. Ở một thời điểm nào đó, có thể không có gió, nhưng ở một thời điểm khác gió lại thổi rất mạnh. Bạn nói rằng trong cái rủi cũng có cái may, rằng chỉ ít thì gió mạnh cũng đủ để sản sinh ra nhiều điện hơn. Bạn nhầm! Khi gió thổi mạnh, các cánh quạt quay quá nhanh và dễ bị gãy. Vì vậy cần phải hãm bớt để giảm tốc độ quay của chúng, điều này làm giảm đáng kể năng lượng điện cung cấp. Vì vận tốc gió giữa ngày và đêm<sup>22</sup>, giữa ngày này và ngày khác là khác nhau tùy theo những thay đổi của thời tiết, nên cũng giống như đối với năng lượng Mặt trời, cần phải xây dựng các thiết bị tích trữ, hoặc các nguồn điện khác trong trường hợp không có gió. Công suất hiện nay của các động cơ gió còn rất thấp nên lượng năng lượng tích trữ phải rất lớn. Các phương tiện tích trữ truyền thống như ắc quy không đủ, vì chúng quá cồng kềnh và tốn kém. Vì vậy, cho tới nay, năng lượng gió vẫn chỉ là một nguồn năng lượng bổ sung mà thôi. Nó chỉ có thể chiếm một vị trí trung tâm nếu các động cơ gió trở nên hiệu quả hơn đồng thời giải quyết được vấn đề tích trữ. Đan Mạch, nước tiêu thụ năng lượng gió hàng đầu thế giới, mới chỉ sản xuất chưa đến 20% năng lượng của mình nhờ gió.

❖

<sup>22</sup> Trong cùng một ngày, vận tốc gió khá ổn định ở độ cao từ 30-70 mét; nhưng ở độ cao trên 70 mét, vận tốc gió vào ban đêm cao hơn vào ban ngày, và ở dưới 30 mét, vận tốc gió vào ban ngày cao hơn vào ban đêm.

## *Sức nước*

Mặt trời gián tiếp là nguồn gốc của một nguồn năng lượng tái sinh khác, đó là năng lượng do sức nước. Thực tế, Mặt trời của chúng ta làm cho nước của các đại dương bốc hơi, hơi nước bị gió đẩy lên cao, rồi sau đó rơi xuống dưới dạng mưa vào sông suối. Đến lượt mình sông suối cung cấp nước cho các hồ, cho phép con người xây đập và sử dụng chuyển động của nước để dẫn động các tuabin và máy phát điện xoay chiều tạo ra điện. Cũng giống như đối với gió, ý tưởng khai thác các dòng nước để tạo ra điện có từ rất sớm. Những cối xay gió đầu tiên đã xuất hiện ở Trung Quốc và ở phương Tây từ thế kỷ IV-III trước CN. Ban đầu được trang bị các bánh xe lớn đặt thẳng đứng có gắn các gàu múc để đưa nước lên cao, sau đó chúng được hoàn thiện dần theo thời gian. Phát minh ra bánh răng ở thời La Mã và trực cam vào thời Trung Cổ để nối bánh xe được dòng nước làm cho chuyển động với các thớt của cối xay gió đã cho phép không chỉ xay hạt, mà còn cả bơm, khoan và trực hàng. Cối xay chạy bằng sức nước đã nhanh chóng phát triển. Nhưng nó đã bị phát minh ra máy hơi nước vào thế kỷ XIX giáng cho một đòn chí mạng.

Tuy nhiên, nước vẫn chưa cáo chung, và con người sẽ tìm ra một cách khác để khai thác sức mạnh của nó. Vào cuối những năm 1820, con người đã biến bánh xe thành tuabin và, 50 năm sau, con người đã gắn nó với một máy phát điện ở hạ lưu của một đập giữ nước hồ. Ngay khi các van được mở, nước chảy mạnh và làm cho các tuabin quay, cơ năng của nó được biến thành điện năng. Nhà máy thủy điện đã ra đời. Ngày nay, có khoảng 45000 đập rải rác trên địa cầu cung cấp khoảng một phần năm lượng điện tiêu thụ trên toàn thế giới, tức khoảng 2,4 triệu mêga oát. Tại Pháp, khoảng 15% điện là thủy điện. Trước khi năng lượng hạt nhân lên ngôi tại đất nước hình lục giác này, thủy điện chiếm tới 60%. Tại châu Âu, Mỹ, Canada, tiềm năng thủy điện đã được khai thác đến 70%. Nhưng trong hai nước đông dân nhất thế giới (một phần năm dân số thế giới là người Trung Quốc, và một phần sáu là người Ấn Độ), hai nước có tốc độ phát triển kinh tế rất cao đòi hỏi ngày càng nhiều năng lượng, khoảng hai phần ba tiềm năng thủy điện vẫn chưa được khai thác, và sản lượng thủy điện tại hai nước này phải tăng vọt trong những năm tới. Từ nay đến năm 2050, nhu cầu điện của Trung Quốc sẽ tăng lên khoảng 2,6 tỉ oát, điều này sẽ đòi hỏi phải xây dựng tương đương bốn nhà máy điện 300 mêga oát mỗi tuần trong 45 năm tới! Còn Ấn Độ, nhu cầu năng lượng của nước này còn tăng nhanh hơn Trung Quốc: hơn 100% từ năm 1980 đến năm 2001. Mặc dù vậy, gần một nửa người dân Ấn Độ vẫn chưa được sử dụng điện thường xuyên.

Sức nước còn có thể được sử dụng theo một cách khác. Thủy triều, chuyển động của nước triều lên và xuống của các đại dương, cũng có thể sinh ra điện. Khi thủy triều lên, các tuabin kết nối với máy phát điện được dẫn động bởi nước từ biển dâng lên mặt đất, và khi thủy triều xuống, điều ngược lại xảy ra với tuabin quay theo chiều ngược lại. Đó chính là năng lượng từ sức thủy triều. Nhà máy điện sử dụng sức thủy triều đầu tiên trên thế giới được xây dựng tại Pháp năm 1966 trên cửa sông Rance. Thực tế, năng lượng sinh từ thủy triều bắt nguồn từ Mặt trăng hơn là từ Mặt trời. Năng lượng gây ra hiện tượng triều lên và xuống không phải là một năng lượng có bản chất ánh sáng, mà là một năng lượng có bản chất hấp dẫn. Thật vậy, chính Mặt trăng tác dụng lực hấp dẫn lên nước biển và gây ra chuyển động thủy triều. Trong hiện tượng này, Mặt trời đóng vai trò mờ nhạt hơn: khả năng làm chuyển động nước biển của nó chỉ bằng khoảng một nửa của Mặt trăng<sup>23</sup>.

### *Năng lượng xanh*

Thông qua quang hợp, cây chuyển hóa năng lượng sáng của Mặt trời thành năng lượng hóa học. Và, mặc dù hiệu suất quang hợp của cây thấp (lượng năng lượng hóa học sinh ra thấp hơn lượng năng lượng Mặt trời bị hấp thụ), nhưng vì thực vật chiếm 90% sinh vật sống nên nó tích trữ một lượng đáng kể năng lượng hóa học. Như chúng ta đã thấy, để thỏa mãn các nhu cầu năng lượng của mình, con người đã khai thác dầu, khí đốt và các nhiên liệu hóa thạch dễ cháy khác không tái sinh được mà tự nhiên đã phải mất hàng trăm triệu năm để tạo ra từ sự chôn vùi và phân hủy xác thực vật. Nhưng, để giảm bớt các nhu cầu năng lượng hóa thạch, chúng ta cũng có khả năng sử dụng thực vật không hóa thạch tái sinh liên tục (với điều kiện là không được lạm dụng!). Năng lượng tái sinh thân thiện môi trường này được coi là “xanh”, cùng với củi, rơm hay các chất thải hữu cơ khác cung cấp năng lượng khi bị đốt cháy gọi là “chất đốt sinh học”.

Con người đã sử dụng củi từ thời rất xa xưa để sưởi ấm, nấu ăn và thắp sáng. Tuy nhiên, mật độ năng lượng của gỗ thấp hơn của dầu ba lần. Mặt khác, càng khô thì gỗ sẽ cháy càng bén hơn và tỏa ra ít khói hơn. Vậy mà độ ẩm của gỗ dừng lại ở 15-20% sau 2 năm phơi khô tự nhiên. Từ đó sinh ra công nghiệp sản xuất than gỗ. Gỗ được sấy ở nhiệt độ hơn 200 độ, làm cho nước chứa trong



<sup>23</sup> Xem thêm Trịnh Xuân Thuận, *Hỗn độn và Hài hòa*, sdd.

đó bay hơi hết, và bị biến thành than gỗ có trọng lượng thấp hơn 30% trọng lượng ban đầu. Than gỗ có mật độ năng lượng lớn gấp đôi của gỗ và khi cháy thoát ra ít khói hơn rất nhiều. So với các nhiên liệu hóa thạch, gỗ và các chất đốt sinh học nhìn chung có ưu điểm là thải ra ít khí cacbonic, và như vậy đóng góp ít vào hiệu ứng nhà kính và sự ấm lên toàn cầu. Việc sử dụng chúng còn mang lại các ưu điểm khác: việc chặt tia rừng đều đặn để cung cấp gỗ cũng góp phần duy trì chúng. Gỗ ngày nay vẫn là một nguồn năng lượng không nhỏ trong nhiều nước trên thế giới. Nhưng nó không bao giờ đủ cho các nhu cầu của các nước công nghiệp.

Năng lượng thực vật cũng có thể được sử dụng dưới dạng chất đốt sinh học cho xe ô tô và các loại máy có động cơ nổ khác. Chất đốt sinh học là cồn sinh ra từ sự lên men thực vật giàu đường, như mía, củ cải đường, lúa mì hay ngô. Tuy nhiên, etanol bắt nguồn từ quá trình này chỉ có thể được sử dụng trong các động cơ phù hợp với chúng, vì sự đốt cháy nó đòi hỏi lượng không khí lớn hơn gấp hai lần so với động cơ xăng. Trong động cơ bình thường, nó phải được sử dụng dưới dạng pha sinh hòa lẫn với xăng. Cây có dầu, như đậu tương, lạc, hướng dương hay cải dầu cũng có thể là nguồn cung cấp nhiên liệu sinh học. Người ta xay hạt của chúng rồi ép và lọc lấy dầu thực vật nguyên chất. Sau đó dầu này được xử lý bằng rượu (metanol) cho ra este (các phân tử sinh ra từ tác dụng của một rượu lên một axit hữu cơ) khi được trộn theo tỉ lệ từ 5-20% với gazole. Este có thể dùng làm nhiên liệu cho xe ô tô. Nhưng, bất chấp các ưu điểm sinh học không phải bản cãi của chúng (ít thải khí cacbonic), nhiên liệu sinh học còn lâu mới có thể thay thế cho xăng: hiện chúng vẫn đắt hơn nhiên liệu pha sinh từ vàng đen hai lần.

### *Năng lượng hạt nhân*

Không còn nghi ngờ gì nữa, các năng lượng tái sinh thân thiện môi trường hơn các năng lượng hóa thạch không tái sinh. Ngay cả khi các năng lượng được coi là sạch cũng không phải là không có ảnh hưởng lên môi trường. Thật vậy, nếu hoạt động của một nhà máy điện Mặt trời hay một nhà máy điện chạy bằng sức gió không phải là nguồn gây ô nhiễm, thì ngược lại việc xây dựng chúng lại là một nguồn đổ ra chất thải. Bằng cách biến ánh sáng Mặt trời thành điện, nhà máy điện Mặt trời không thải vào khí quyển bất kỳ khí gây hiệu ứng nhà kính nào. Nhưng để xây dựng nó, cần phải vận chuyển bê tông, xi măng và các vật liệu xây dựng khác. Việc chế tạo những bộ phận điện tử và cơ học của

các tấm pin năng lượng Mặt trời cũng đòi hỏi phải sử dụng một lượng năng lượng và nguyên liệu nhất định, và việc này chắc chắn đi kèm với chất thải. Theo quan điểm này, năng lượng hạt nhân sạch hơn năng lượng Mặt trời: khí cacbonic thải ra từ việc xây dựng một nhà máy điện hạt nhân thấp hơn (từ 5-15 lần) khí thải do công trường xây dựng một nhà máy điện Mặt trời, vì không giống như nhà máy điện Mặt trời, nhà máy điện hạt nhân không đòi hỏi phải lắp đặt hàng cây số vuông các tấm pin Mặt trời.

Nhưng năng lượng hạt nhân không phải là không đặt ra những vấn đề về môi trường. Con người vẫn chưa biết bắt chước Mặt trời để thực hiện trên Trái đất các phản ứng hạt nhân xảy ra trong tâm Mặt trời. Như chúng ta đã biết, Mặt trời sinh ra năng lượng bằng cách tổng hợp cứ bốn hạt nhân hydro (hay proton) thành một hạt nhân heli. Nếu chúng ta có thể tạo ra năng lượng tổng hợp này trên Trái đất, thì nó sẽ là một nguồn năng lượng lý tưởng, vì việc sản xuất nó không gây ô nhiễm và lượng hydro trong nước biển gần như là vô hạn. Nhưng tổng hợp các proton đòi hỏi phải có nhiệt độ trên 10 triệu độ. Vật chất bị nóng lên đến nhiệt độ ấy, nếu nó không bị cầm tù như trong các ngôi sao, thì sẽ vỡ tung và tan rã, và sự tổng hợp các hạt nhân sẽ không thể xảy ra. Mặt trời không vấp phải vấn đề này, vì khối lượng khổng lồ của nó sinh ra một lực hấp dẫn khổng lồ giam hãm một cách tự nhiên hydro bị nóng lên ở tâm của nó. Các nhà khoa học đã miệt mài nghiên cứu cách giữ vật chất nóng trên 10 triệu độ để khai thác năng lượng từ sự tổng hợp các hạt nhân hydro. Để có thể tái tạo nhiệt độ của Mặt trời trên Trái đất, các nhà khoa học Châu Âu, Nhật Bản, Canada và Nga đã hợp tác với nhau để xây dựng tại miền Nam nước Pháp một lò phản ứng tổng hợp nhiệt hạch khổng lồ có tên là ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*).

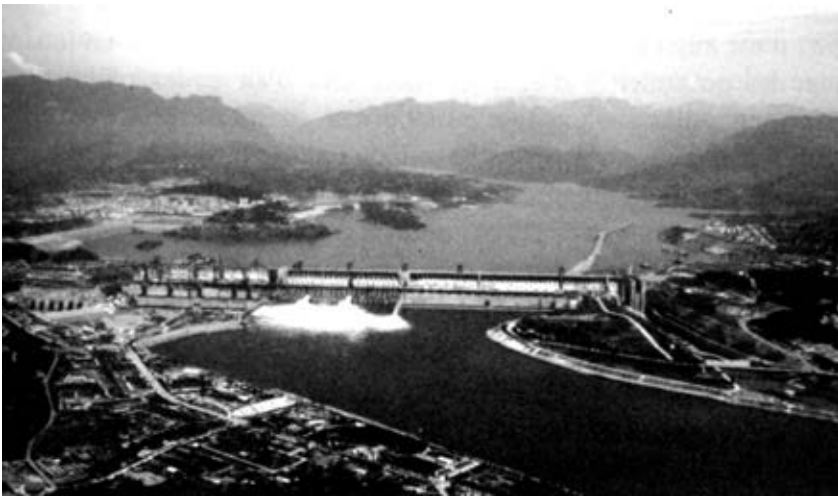
Con người đã sử dụng năng lượng hạt nhân. Nhưng năng lượng này không sinh ra từ sự tổng hợp các hạt nhân hydro, mà từ sự phân chia của các hạt nhân (gọi tắt là sự phân hạch) urani. Thế nhưng sản xuất năng lượng từ phân hạch có một nhược điểm lớn: trong khi sự tổng hợp các hạt nhân là sạch, thì sự phân hạch lại để lại những chất thải phóng xạ có thể gây ung thư và dị tật gen. Việc lưu giữ các chất thải phóng xạ này cũng đặt ra vấn đề, vì tuổi thọ của chúng lên tới hàng triệu, thậm chí hàng tỉ năm. Không chỉ chúng ta bị ảnh hưởng bởi các tia độc hại của chúng, mà cả con cháu chút chút rất xa trong tương lai của chúng ta cũng sẽ bị ảnh hưởng. Mặt khác, việc làm chủ công nghệ điện hạt nhân cũng thật chưa đảm bảo chắc chắn như một số kỹ sư và nhà khoa học đánh lừa chúng ta: các vụ tai nạn xảy ra tại nhà máy điện hạt nhân Three



Mile Island, Mỹ, năm 1979, và Tchernoby, Ucraina, năm 1986, vẫn luôn nhắc nhớ chúng ta.

### *Thay đổi cách sống*

Một ví dụ khác về năng lượng sạch ảnh hưởng xấu đến môi trường do việc xây dựng chúng, đó là thủy năng. Nếu thủy năng không thải vào khí quyển bất kỳ chất độc hại hay khí gây hiệu ứng nhà kính nào, thì không phải vì thế mà nó không gây những hậu quả nghiêm trọng lên môi trường. Việc xây đập tạo hồ nước nhân tạo đã làm ngập và phá hủy rừng, đồng cỏ và những nơi cư trú tự nhiên khác, làm dân cư và tất cả những loài sinh vật khác phải ra khỏi vùng này. Đập ngăn cản sự di trú của các loài cá, như cá hồi hay cá chình. Do bị thay đổi lưu lượng, dòng nước không còn cuốn theo phù sa, tạo điều kiện thuận lợi cho tảo sinh sôi nảy nở. Bằng chứng là đập Tam Hiệp, đập lớn nhất thế giới ngăn sông Dương Tử của Trung Quốc, bắt đầu xây dựng vào năm 1994. Cao 185 m, dài hơn 2 km, nhà máy thủy điện này sẽ có công suất 18.700 MW (H. 53). Khi hoàn thành (năm 2009), nó sẽ thỏa mãn nhu cầu điện cho toàn bộ miền Đông (kể cả thủ đô Bắc Kinh) và miền trung Trung Quốc. Hồ nhân tạo



**Hình 53.** Đập thủy điện Tam Hiệp trên sông Dương Tử, Trung Quốc. Nhà máy thủy điện này sẽ cung cấp năng lượng cho miền Đông và Trung của Trung Quốc, nhưng để xây dựng nó hơn hai triệu người Trung Quốc đã phải chuyển đi nơi khác và những vùng cư trú tự nhiên rộng lớn đã bị phá hủy.

© Li Ming/ Phototex/Camera Press/Gamma

nổi với đập, có diện tích khoảng 1000 km<sup>2</sup>, đã nuốt chửng khoảng 13 thành phố, 4.500 làng mạc, và khoảng 2 triệu dân đã phải dời đi nơi khác.

Nói như vậy có nghĩa là ngay cả năng lượng sạch cũng vẫn đi liền với chất thải ngoài ý muốn và các hiệu ứng không phải lúc nào cũng thuận lợi cho môi trường, nhưng chắc chắn là sự đóng góp của chúng vào sự ô nhiễm Trái đất là rất nhỏ nếu so với ô nhiễm của các nhiên liệu hóa thạch, từ khâu khai thác cho đến vận chuyển và sử dụng, vốn là các nhà vô địch về gây ô nhiễm. Nhưng các chất gây ô nhiễm lớn này sẽ không còn chiếm tiền cảnh của sân khấu lâu dài. Trữ lượng của chúng đang cạn kiệt nhanh chóng. Trong chưa đầy vài trăm năm nữa, con người sẽ vắt kiệt hoàn toàn các trữ lượng nhiên liệu mà tự nhiên đã phải mất hàng trăm triệu năm để tạo ra. Để cứu sinh quyển và đảm bảo sự sống còn của mình, chúng ta sẽ phải không chỉ cậy nhờ các nguồn năng lượng khác, tái sinh và thân thiện môi trường hơn, mà còn phải tìm hãm nhu cầu vô độ của mình về năng lượng để sản xuất và tiêu thụ ngày một nhiều thêm. Chúng ta sẽ phải thay đổi sâu sắc cách sống của chúng ta.

### *Vòng cung đa sắc của cầu vồng*

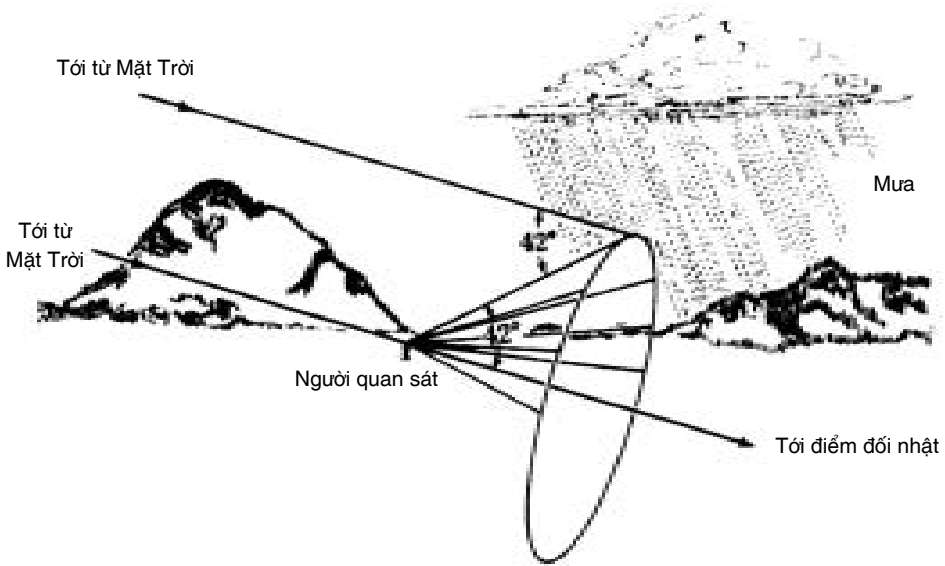
Mặt trời không chỉ là nguồn của sự sống, ánh sáng và năng lượng, mà còn là tác giả của những cảnh đẹp lộng lẫy và kỳ diệu. Ánh sáng là tác giả của nhiều cảnh tượng tự nhiên vô cùng đẹp để làm dịu lòng ta và an ủi tâm hồn ta thông qua trò chơi của nó với những giọt nước nhỏ, với các phân tử không khí và tinh thể băng, khi nảy trên bề mặt của các hạt bụi, cây cối và núi non, khi phản xạ trên mặt nước biển và ao hồ hay len lỏi trong các đám mây và sương mù. Một vẻ đẹp thường an ủi và đôi khi cứu rỗi chúng ta. Chúng ta sống trong xứ sở kỳ diệu của ánh sáng và bầu trời là một tấm toan khổng lồ nơi hòa trộn các sắc màu và ánh sáng một cách đáng ngạc nhiên nhất và bất ngờ nhất.

Một trong những cảnh tượng tuyệt diệu nhất của tự nhiên, và cũng là ngắn ngủi nhất, đó chính là cầu vồng, cái vòng cung đa sắc xuất hiện giữa các giọt nước mưa ở cuối cơn giông. Một vòng cung có kích thước khổng lồ, màu sắc hài hòa và hình dạng hoàn hảo khiến ai cũng phải kinh ngạc, thậm chí sùng bái. Một cảnh tượng trở thành cầu nối giữa thơ ca và khoa học. Thực tế, từ xa xưa cầu vồng đã khơi nguồn cảm hứng cho các thi sĩ và nghệ sĩ, và những bộ óc khoa học vĩ đại nhất cũng đều đã lao vào giải mã các bí mật của nó. Nếu như nhà thơ người Anh William Wordsworth (1770-1850) đã thốt lên niềm hạnh phúc của mình: “Lòng tôi rộn lên khi nhìn thấy cầu vồng/ Ngay khi mới bước

vào đời thơ đại/ Nay lớn khôn vẫn không hề thay đổi/ Và mãi mãi về sau cho tới lúc tuổi già”, thì nhà vật lý và triết gia người Pháp René Descartes (1596-1650) đã ca ngợi vẻ đẹp của cầu vồng bằng một cái nhìn khoa học: “Cầu vồng là một kỳ quan thiên nhiên đặc biệt tới mức đó là một trường hợp lý tưởng để áp dụng phương pháp của tôi.” Mãi đến đầu thế kỷ XIX người ta mới hiểu được một số khía cạnh chính của cầu vồng. Tuy nhiên, cho đến nay vẫn còn một số bí mật vẫn chưa giải mã được liên quan đến cái vòng cung rực rỡ kỳ diệu này. Để hiểu nó cần phải có các công cụ toán học tinh vi nhất và toàn bộ những hiểu biết hiện đại về bản chất của ánh sáng. Phải tính đến không chỉ bản chất sóng của ánh sáng, khả năng nhiễu xạ và tạo ra các vân giao thoa của ánh sáng, mà cả bản chất hạt của nó nữa.

Các đặc tính làm nên vinh quang của cầu vồng không chỉ là nó có kích thước đầy ấn tượng và vẻ đẹp lộng lẫy, mà còn là vì nó rất hiếm khi xuất hiện, hơn thế nữa lại sinh ra và biến mất hết sức đột ngột. Sau một trận mưa rào, khi Mặt trời xuất hiện trở lại, bạn hãy quay đầu thật nhanh về phía đối diện với Mặt trời (tức bạn quay lưng về phía Mặt trời), vì cầu vồng luôn xuất hiện luôn theo hướng đó. Mặt trời và nước mưa phải tồn tại song song trong bầu trời thì cầu vồng mới có thể xuất hiện. Trong một cơn giông mùa hè, cầu vồng dễ xuất hiện hơn, vì bầu trời xanh được Mặt trời chiếu sáng có thể lộ ra qua các đám mây, trong khi vào mùa đông trời thường tối và bị mây mù bao phủ. Nhưng nếu sự xuất hiện của diễn viên chính đó là một điều kiện *tiên quyết*, thì không phải lúc nào cũng là điều kiện đủ: ngay cả khi có hội đủ Mặt trời và mưa thì cũng chưa chắc cầu vồng đã xuất hiện, vì các nhân tố khác có thể xen vào.

Độ dày của của cầu vồng lớn hơn kích thước góc của Mặt trăng tròn khoảng bốn lần, tức khoảng 2 độ. Các đầu mút của nó tạo thành với vị trí bạn đang đứng quan sát một góc gần 90 độ. Vòng cung luôn luôn tròn một cách hoàn hảo, nhưng ngay cả khi ngắm nó từ trên trời, qua cửa sổ máy bay chẳng hạn, thì cũng không bao giờ thấy nó là một vòng tròn trọn vẹn, một phần của nó luôn bị che khuất dưới chân trời. Bán kính góc của cung luôn là 42 độ không bao giờ thay đổi. Hãy tưởng tượng nối tâm của vòng cung cầu vồng (được gọi là điểm đối nhật) với mắt bạn và Mặt trời bằng một đường thẳng, thì đường thẳng này sẽ xuyên qua mặt đất, vì tâm của cung cầu vồng thường nằm dưới đường chân trời (H. 54). Điều này có nghĩa là vào cuối ngày, do sự thẳng hàng của Mặt trời-mắt-tâm, nên Mặt trời càng xuống phía chân trời thì cung và tâm của nó càng đi lên gần đường chân trời, cầu vồng vì thế sẽ có hình bán nguyệt đúng vào lúc Mặt trời lặn xuống dưới đường chân trời. Trái lại, điều này cũng



**Hình 54.** Hình học về cầu vồng. Bán kính góc của cầu vồng là 42 độ. Nói cách khác, đường thẳng nối Mặt trời, mắt của người quan sát và điểm đối nhật (tâm của cầu vồng), là trục của hình nón tạo bởi các tia ngắm có nửa góc ở đỉnh bằng 42 độ.

có nghĩa là nếu Mặt trời đi lên hơn 42 độ trên đường chân trời, thì cầu vồng sẽ biến mất hoàn toàn dưới đường chân trời và ta sẽ không nhìn thấy nữa. Như vậy khả năng quan sát được cầu vồng phụ thuộc vào độ cao của Mặt trời trong bầu trời, và do đó phụ thuộc vào thời điểm trong ngày. Bạn sẽ có nhiều cơ hội ngắm cầu vồng hơn là vào đầu buổi sáng hoặc cuối buổi chiều: Mặt trời ở những thời điểm đó nằm thấp nhất trong bầu trời, điểm đối nhật nằm ngay sát chân trời và một nửa vòng cung hoàn toàn nằm bên trên chân trời. Vị trí của Mặt trời trong bầu trời còn phụ thuộc vào vĩ độ nơi bạn quan sát, và vào mùa. Ở một giờ nhất định trong ngày, Mặt trời vào mùa đông thấp hơn vào mùa hè. Ở các vĩ độ cao, vào mùa hè Mặt trời lên cao hơn trong bầu trời so với tại các vùng vĩ độ thấp; điều ngược lại xảy ra vào mùa đông. Chính vì thế, ở vĩ độ của chúng ta (tức là ở nước Pháp - ND), không một ai nhìn được cầu vồng vào giữa ngày mùa hè, khi Mặt trời lên cao nhất trong bầu trời, tức là có độ cao góc lớn hơn 42 độ.

*Cầu vồng của tôi không giống cầu vồng của bạn*

Một đặc tính quan trọng của cầu vồng, đó là lễ hội các màu sắc mà nó mang lại cho chúng ta. Trật tự các màu này không bao giờ thay đổi. Đỏ luôn nằm

ở mép trên, đỉnh của vòng cung; rồi sau đó lần lượt từ cao xuống thấp có da cam, vàng, lục, lam, chàm và tím ở mép dưới (H.16 trong tập ảnh màu). Trên thực tế, các màu không thay đổi đột ngột, mà dần dần, xen vào nhau hết sức tinh tế. Như chúng ta sẽ thấy, chính cấu tạo của mắt làm cho chúng ta phân chia các màu của cầu vồng thành các nhóm màu khác nhau.

Cầu vồng có độ đa dạng đáng ngạc nhiên. Không cầu vồng nào giống cầu vồng nào. Độ dày tương đối của các dải màu và độ sáng của chúng thay đổi hết sức đa dạng. Cùng một cầu vồng nhưng vẫn có thể thay đổi hình dạng theo thời gian. Thịnh thoảng cũng xuất hiện một vòng cung thứ cấp đi kèm với vòng cung chính; nó mờ hơn và ở cao hơn trong bầu trời, nhưng các màu thì lại được sắp xếp theo trật tự ngược lại: ở đây màu tím lại ở mép trên và màu đỏ ở mép dưới. Bán kính góc của vòng cung thứ cấp này tất nhiên là lớn hơn bán kính góc của vòng cung chính, cỡ 51 độ. Vòng cung thứ cấp dày hơn vòng cung chính khoảng 2 lần, tức là cỡ 4 độ. Nếu chú ý, bạn sẽ nhận thấy rằng không gian giữa vòng cung chính và vòng cung thứ cấp tối hơn bầu trời xung quanh. Ngay cả khi vòng cung thứ cấp không nhìn thấy được, thì bạn cũng sẽ thấy bầu trời bên trên vòng cung chính tối hơn bầu trời ở bên dưới. Vùng tối giữa hai vòng cung này được gọi là “dải tối Alexandre”, theo tên của triết gia người Hy Lạp Alexandre d’ Aphrodise, người đầu tiên miêu tả nó vào năm 200 tr. CN. Đôi khi, nhưng hiếm hơn, bạn còn thấy một vòng cung hẹp và mờ hơn nằm gọn bên trong vòng cung chính, gần phần cao nhất của nó. Trong những trường hợp còn hiếm hơn nữa, ở cùng một chỗ bạn có thể quan sát không phải là một, mà là một loạt các vòng cung như thế. Chúng được gọi là các “cung phụ”.

Hiện nay người thành thị gần như hoàn toàn không được thưởng thức tất cả những cảnh tượng tinh tế này vì bầu trời ở thành thị hiện bị ô nhiễm không còn gì giống với sự trong trẻo của bầu trời mà người Hy Lạp đã từng ngắm xưa kia. Mắt của chúng ta choáng ngợp trong một mớ các hình ảnh dồn dập đến từ khắp nơi, những cảnh thay đổi mà tivi hồi hải mang lại đến phát ngấy, tiến hóa trong một môi trường mà ở đó đập vào mắt chúng ta là các bức tường bê tông và các đám mây đen xì vì khí ô nhiễm thoát ra từ xe hơi nhiều hơn là bầu trời trong xanh, ban đêm lại bị lóa bởi ánh sáng nhân tạo của các đèn neon, mắt của chúng ta đã mất đi rất nhiều thị lực. Thực tế, chúng ta không còn biết nhìn nữa. Đối với cầu vồng, ai có thể nói ngay mà không cần suy nghĩ màu đỏ nằm ở mép dưới hay mép trên? Tôi luôn thất vọng khi một số sinh viên tham gia môn học của tôi về “Vật lý thiên văn dành cho các nhà thơ”, ở

Đại học Virginia, không thể trả lời chính xác về tuần trăng lúc đó. Vậy mà họ chỉ cần ngược mắt lên bầu trời và ngắm thì sẽ biết liền...

Các quan sát đơn giản nhất thường lại là những quan sát tiết lộ nhiều hiện thực nhất. Liên quan đến cầu vồng, một quan sát quan trọng là cầu vồng luôn có hình tròn, bất kể vị trí người quan sát ở đâu. Từ đó suy ra một kết luận căn bản: cầu vồng không thể là một vật thể, nó phải là một đối tượng thuần túy ánh sáng. Thực vậy, nếu nó là một vật thực sờ mó được, như một cái cung kim loại đa sắc cắm xuống đất, thì vẻ ngoài của nó phải thay đổi tùy theo vị trí của người ngắm nó: nhìn đối diện, nó có chính xác hình một cung tròn quen thuộc, nhưng nhìn nghiêng, nó có hình ôvan, và nhìn từ bên cạnh nó trông như một đường mảnh. Nhưng thực tế không phải như vậy: vòng cung vẫn ương bướng có dạng cung tròn, dù vị trí của chúng ta có ở đâu chẳng nữa, như thể chúng ta luôn nhìn thẳng vào nó vậy. Từ đây phải rút ra một kết luận rất đáng ngạc nhiên, nhưng không thể tránh khỏi: đó là không tồn tại một, mà vô số các cầu vồng, mỗi cầu vồng cho một vị trí của chúng ta và được định hướng sao cho chúng ta luôn thấy như mình đứng đối diện với nó. Bạn của tôi, người đứng bên cạnh tôi ngắm cảnh cầu vồng, sẽ nhìn thấy một cầu vồng khác với cầu vồng của tôi. Đây lập luận trên đến mức cực đoan, người ta thậm chí có thể nói rằng mỗi một con mắt trong đôi mắt tôi nhìn thấy một cầu vồng khác nhau!

Như vậy cầu vồng không phải là một vật thể, mà là kết quả của một trò chơi ánh sáng thay đổi theo vị trí của người quan sát. Do tính phi vật thể của nó, nên cung tròn hoàn hảo và sự đối xứng của cầu vồng không bao giờ bị ảnh hưởng. Bạn sẽ bác lại rằng cầu vồng chắc chắn là có thực, bởi vì bạn có thể dễ dàng thu giữ hình ảnh của nó bằng máy ảnh. Nhưng một máy ảnh hoạt động cũng chính xác như mắt bạn: chỉ có khác là hình ảnh của cầu vồng được phóng chiếu lên phim hoặc một máy dò điện tử thay vì được phóng chiếu lên võng mạc của mắt mà thôi. Bất được hình ảnh của một cái gì đó không phải là bằng chứng không thể chối cãi về sự tồn tại thực của nó. Ngược lại, bởi vì cầu vồng không phải là vật thể, nên bạn sẽ không bao giờ nhìn thấy nó soi bóng xuống nước hồ, cũng chẳng bao giờ thấy trong gương. Cầu vồng như một bóng ma thoát ần thoát hiện trong không trung.

*Một hiện thực không bên và không sờ mó được*

Bởi vì cầu vồng không phải là một vật thể, bởi vì bản chất của nó là vô thường, bởi vì nó chỉ là sản phẩm của ánh sáng đến từ đằng sau chúng ta, bởi vì nó sẽ đổi khác khi chúng ta di chuyển, nên chúng ta không bao giờ có thể bắt

hay sờ mó được nó. Các đầu mút của nó, tưởng như cắm vào mặt đất, nhưng không bao giờ nắm bắt được. Từ thời xa xưa, một mê tín của người Anh nói rằng ở chân của mỗi cầu vồng là nơi chôn một kho báu lớn. Cho tới tận ngày nay một số người vẫn nghĩ rằng họ có thể đi đến vị trí chính xác của hai chân cầu vồng và đào ở đó những kho báu không bao giờ vơi cạn.

Do cầu vồng là phi vật thể nên nó thường được dùng làm ẩn dụ để minh họa một số điều kỳ dị của cơ học lượng tử, một lý thuyết vật lý ra đời đầu thế kỷ XX nhằm giải thích hành trạng của ánh sáng và của các hạt dưới nguyên tử. Một trong những điều kỳ dị này liên quan đến chính bản chất của ánh sáng. Cũng giống như cầu vồng, ánh sáng không có tồn tại riêng, bởi vì, như chúng ta đã thấy, chính người quan sát quyết định bản chất của nó: nếu người quan sát không bật dụng cụ đo và không dò ánh sáng thì nó khoác bộ áo sóng. Nhưng nếu anh ta bật dụng cụ đo thì ánh sáng liền mang bộ áo hạt. Như vậy, người quan sát đóng vai trò tiên quyết trong cách mà mọi vật trình hiện trước mắt chúng ta. “Hiện thực” mà chúng ta tác động lên có bản chất thuần túy kinh nghiệm. Chúng ta hoàn toàn không nắm bắt được cái hiện thực tồn tại độc lập với các phép đo và quan sát của chúng ta. Nói theo cách của nhà vật lý học người Pháp Bernard d’Espangat, thì đó là hiện thực độc lập với người quan sát bị “bịt mắt”.

D’Espangat so sánh hiện thực kinh nghiệm phụ thuộc vào người quan sát với hiện tượng cầu vồng, và minh họa so sánh này bằng câu chuyện sau. Người dân trên một hòn đảo nhỏ nằm giữa một con sông ngắm cầu vồng. Họ thấy cái vòng cung đa sắc này cũng thực như tất cả các vật mà nó bắc qua. Ở một đầu mút của cái vòng cung ấy có một cây bạch dương; và ở đầu mút kia có một mái nhà. Người dân trên đảo nhỏ không hề nghi ngờ về tính hiện thực của cái cầu vồng ấy: họ tin rằng nó ở đó, chính xác ở vị trí đó, ngay cả khi họ nhắm mắt hay chui vào chỗ khuất. Tuy nhiên, nếu họ có thể rời hòn đảo nhỏ và đi xe vòng quanh mà mắt vẫn không rời cầu vồng, thì họ sẽ thấy vị trí của cầu vồng không hề cố định, và hai đầu của nó không còn nằm ở chỗ cây bạch dương và mái nhà nữa: vị trí của cầu vồng phụ thuộc vào vị trí của người quan sát, cũng giống như bộ áo mà ánh sáng khoác - hạt hay sóng phụ thuộc vào người làm thí nghiệm có đo hay không đo.

Phật giáo cũng thường sử dụng hình ảnh cầu vồng để minh họa một trong những khái niệm căn bản của mình: khái niệm về sự “trống rỗng”. Trống rỗng không có nghĩa là hư không, như người phương Tây thường tin, mà là các vật không có sự tồn tại tự thân. Trong ngôn ngữ hình ảnh và giàu chất thơ của Phật

giáo, những người phạm trần gắn bó với sự tồn tại bền vững của hiện thực cũng giống như những đứa trẻ chạy theo cầu vồng với hy vọng bắt được nó để choàng lên người. Cầu vồng, một đối tượng ánh sáng nhưng là phi vật thể, là biểu tượng không chỉ cho sự kết hợp của cái trống rỗng và các hiện tượng, mà còn cho cả sự phụ thuộc lẫn nhau, một khái niệm căn bản khác của Phật giáo: nó là kết quả của sự tương tác giữa một màn nước mưa và các tia sáng Mặt trời chứ không có gì là thực sự hiện hữu cả. Nó biến mất ngay khi một trong các yếu tố này không còn nữa, mà thực chất, cũng chẳng có gì là chấm dứt tồn tại cả<sup>24</sup>.

### *Mỗi giọt nước một cầu vồng*

Aristote (384-322 tr. CN) là người đầu tiên tìm cách giải thích cầu vồng trong tác phẩm *Khí tượng học*. Sự đối xứng tròn của cầu vồng khiến ông đặc biệt chú ý vì, theo trường phái Hy Lạp, hình học và các hình dạng tròn phải ngự trị trong bầu trời. “Chúa là một nhà hình học”: đó là khẩu hiệu nổi tiếng của Viện hàn lâm Platon (427-348 tr. CN). Thật vậy, cũng giống như quỹ đạo các hành tinh chỉ có thể là các vòng tròn hoàn hảo<sup>25</sup>, cầu vồng cũng phải là tuyệt đối tròn. Nếu Aristote còn chưa biết chính xác nguồn gốc của cầu vồng – ông nghĩ rằng đó là kết quả của các đám mây phản chiếu một cách không bình thường ánh sáng Mặt trời -, thì giải thích của ông về hình dạng tròn của cầu vồng là đúng và đã tồn tại nguyên vẹn cho tới ngày nay. Ông đã hiểu chính xác rằng chỉ một hình dạng tròn mới có thể giữ nguyên được mối quan hệ hình học giữa Mặt trời, người quan sát và mọi điểm của cầu vồng. Như vậy, Aristote đã ý thức được rằng cầu vồng không thể là một vật thể có một vị trí nhất định trong bầu trời, mà là kết quả của một trò chơi ánh sáng phụ thuộc vào hướng nhìn. Hình học đã giúp Aristote đưa ra một giải thích chính xác về hình dạng của cầu vồng, nhưng ông lại nhầm lẫn về nguyên nhân tạo ra nó. Còn về các màu sắc khác nhau của cầu vồng, ông cho rằng đó là do các trạng thái yếu đi khác nhau của ánh sáng: ánh sáng yếu nhất có màu lam, trong khi màu đỏ tương ứng với ánh sáng bị yếu ít nhất.



<sup>24</sup> Matthieu Ricard và Trịnh Xuân Thuận, *Cái vô hạn trong lòng bàn tay*, Phạm Văn Thiều và Ngô Vũ dịch, NXB Trẻ 2004, chương 7.

<sup>25</sup> Điều này là sai: nhà thiên văn học người Đức, Johannes Kepler (1571-1630) đã chứng tỏ rằng các quỹ đạo hành tinh có dạng elip, với Mặt trời ở một trong các tiêu điểm của elip này.



Sau Aristote, trong khoảng mười bảy thế kỷ sau loài người không có hiểu biết gì thêm về cầu vồng. Năm 1266, triết gia và nhà bác học người Anh Roger Bacon (1220-1292) là người đầu tiên đo được bán kính góc 42 độ của vòng cung chính của cầu vồng. Ông cũng đã hiểu rằng cầu vồng khác nhau tùy theo người quan sát. Bacon cũng là người đóng vai trò quan trọng trong sự phát triển của phương pháp thực nghiệm trong khoa học. Theo ông, để đột phá các bí mật của tự nhiên, không thể chỉ dựa vào các lời răn dạy của Aristote và của Kinh thánh, mà còn phải tiến hành thực nghiệm và đo lường. Vì các quan điểm dị giáo này, ông đã phải ngồi tù nhiều năm. Một trong những người đương thời ông, tu sĩ dòng Dominique người Đức Théodoric de Freiberg (1250-1310), là người kế tiếp ông suy ngẫm về bản chất của cầu vồng. Cuốn *Về cầu vồng và các ẩn tượng gây bởi các tia sáng* của ông công bố năm 1304 nằm trong số những đóng góp quan trọng cho vật lý học thời Trung Cổ. Trong cuốn sách này, Théodoric đã bác bỏ lời giải thích của Aristote cho rằng cầu vồng bắt nguồn từ sự phản chiếu tập thể của tất cả các giọt nước mưa trong một đám mây, mà theo ông mỗi giọt nước mưa riêng rẽ đã tạo ra cầu vồng của riêng nó. Ý tưởng căn bản này sẽ cho phép đột phá được bí mật của cầu vồng. Nó chứng tỏ sức mạnh của một tư duy “nguyên tử luận” có thể giải thích các hiện tượng vĩ mô từ hành trạng của các bộ phận vi mô cấu thành nên hiện tượng đó. Lý thuyết Aristote theo đó cầu vồng là do toàn bộ các đám mây phản xạ ánh sáng đã thất bại hết như số phận của các lý thuyết về vật chất trước khi đưa ra khái niệm nguyên tử.

### *Phản xạ và khúc xạ trong một giọt nước*

Giống như Bacon, Théodoric là một đệ tử của phương pháp thực nghiệm. Để đột phá các bí mật của cầu vồng, ông đã miệt mài tiến hành các thí nghiệm với một quả cầu thủy tinh chứa đầy nước mô phỏng một giọt nước. Mặc dù quả cầu có kích thước lớn hơn giọt nước rất nhiều, nhưng sự tương tự là hoàn hảo, điều này đã cho phép ông nghiên cứu chi tiết đường đi của các tia sáng bên trong. Dựa vào các kết quả thực nghiệm của mình, Théodoric đã chứng tỏ rằng vòng cung chính của cầu vồng là sản phẩm của các tia sáng đi vào giọt nước và chịu sự khúc xạ đầu tiên khi ánh sáng từ không khí đi vào trong giọt nước, phản xạ tại thành trong của giọt nước, rồi khúc xạ lần thứ hai khi ánh sáng từ giọt nước đi ra ngoài.

Để hiểu khúc xạ, hãy nhớ lại rằng ánh sáng chỉ lan truyền với vận tốc không đổi trong chân không. Trên thực tế, vận tốc này bằng 300.000 km/s và là một

trong những hằng số cơ bản của tự nhiên. Nhưng khi ánh sáng đi vào trong một môi trường vật chất, vận tốc của nó thay đổi tùy theo các tính chất của môi trường này. Môi trường này được đặc trưng bởi một "chiết suất" là tỉ số của vận tốc ánh sáng trong chân không với vận tốc mà nó đạt được trong môi trường này. Đối với không khí, hệ số này lớn hơn 1 một chút, điều này có nghĩa là vận tốc của ánh sáng trong không khí khác rất ít vận tốc của nó trong chân không. Và đối với nước, chiết suất là 1,33, vì thế vận tốc của ánh sáng trong nước chỉ bằng 25% vận tốc của nó trong chân không. Khi ánh sáng đi qua không khí vào trong nước, nó đi chậm lại và đường đi của nó bị gãy khúc, tức nó chịu sự khúc xạ đầu tiên<sup>26</sup>. Sau khi bị thành trong của giọt nước phản xạ, ánh sáng đi ra khỏi nước để trở lại không khí, và như vậy nó chịu sự khúc xạ lần thứ hai.

Théodoric cũng đã đưa ra được một giải thích về vòng cung thứ cấp: vòng cung này là sản phẩm của không phải một, mà là hai phản xạ liên tiếp của ánh sáng ở thành trong giọt nước, ngoài hai lần khúc xạ mà nó chịu khi đi vào và đi ra khỏi giọt nước. Vì một phần ánh sáng bị mất đi sau mỗi lần phản xạ, nên vòng cung cấp mờ hơn vòng chính.

Còn về sự tồn tại của dải tối Alexandre, thì cũng dễ dàng hiểu được. Các giọt nước không sinh ra cũng không triệt tiêu ánh sáng. Ánh sáng mà chúng tập trung trong vòng cung chính và vòng cung thứ cấp được lấy từ vùng không gian giữa hai vòng cung. Chính vì thế mà vùng này tối.

### *Các giọt nước không có đuôi nhọn*

Đến đây chắc là bạn sẽ hỏi liệu một giọt nước có chính xác là hình cầu như Théodoric đã gán cho nó hay không: tất cả chúng ta đều đã từng nhìn thấy trong các cuốn truyện tranh những giọt nước - nước chảy ra từ vòi không được khóa chặt hoặc nước mắt - được các họa sĩ miêu tả có hình ôvan và một cái đuôi nhỏ nhọn. Cách biểu diễn này hết sức sai lầm. Ai đã từng học vật lý dù chỉ sơ qua cũng đều biết rằng giọt nước có đuôi nhọn không thể tồn tại trong tự nhiên, dù chỉ là trong một khoảnh khắc ngắn ngủi. Tự nhiên không vốn ưa sần sùi và góc cạnh. Các lực tạo hình dạng cho nước (được gọi là "sức căng bề mặt") không cho phép tạo thành các góc cạnh trên bề mặt của nó. Ngược lại,



<sup>26</sup> Chúng ta đã thấy rằng góc trệch hướng mà ánh sáng phải chịu khi đi từ môi trường này sang môi trường khác được xác định bằng định luật Snell, tên của người đã xây dựng nó năm 1621. Định luật này nói rằng tỉ số sin của các góc tới và góc khúc xạ bằng tỉ số của các chiết suất của hai môi trường.

chúng sẽ làm tất cả để cho bề mặt này có diện tích cực tiểu, nghĩa là giọt nước phải là hình cầu. Giọt nước có đuôi nhọn ở đầu mút của nó phải bị tổng vào nghĩa địa của các khái niệm chết!

Tuy nhiên, trong đầu bạn lại nảy ra một thắc mắc khác: lực hấp dẫn làm cho các giọt nước mưa rơi xuống mặt đất làm ướt những người bất cẩn không mang ô. Vậy nếu nói các giọt nước gây ra cầu vồng, thì tại sao cầu vồng vẫn đứng nguyên vị một cách hoành tráng mà không bị sụp xuống theo? Théodoric không hề nao núng và ông đưa ra câu trả lời ngay lập tức: những giọt nước mưa tạo ra cầu vồng không phải cố định. Những giọt này rơi xuống đất, thì những giọt khác khác lại tới thay thế. Như vậy, không chỉ cầu vồng của tôi khác với cầu vồng của người bên cạnh, mà chính cái tôi tin là cùng cái cầu vồng ấy trên thực tế lại là một loạt các cầu vồng khác nhau gây bởi các giọt nước mưa nối tiếp nhau.

Théodoric đưa vào lý thuyết của mình cách chứng minh của Aristote về tính tròn của cầu vồng. Ông phát triển ý tưởng cho rằng hình của cái vòng cung đa sắc này hoàn toàn được xác định bởi quan hệ hình học giữa Mặt trời, mắt người quan sát và giọt nước mưa. Như vậy, tất cả các giọt nước nằm dọc theo một vòng tròn theo hướng đối lập với Mặt trời có tâm cùng với Mặt trời và mắt người quan sát tạo nên một đường thẳng, có quan hệ hình học đồng dạng; vì thế chúng phải có cùng một màu, và chính vì thế mà có các vòng tròn màu đồng tâm làm vui mắt chúng ta.

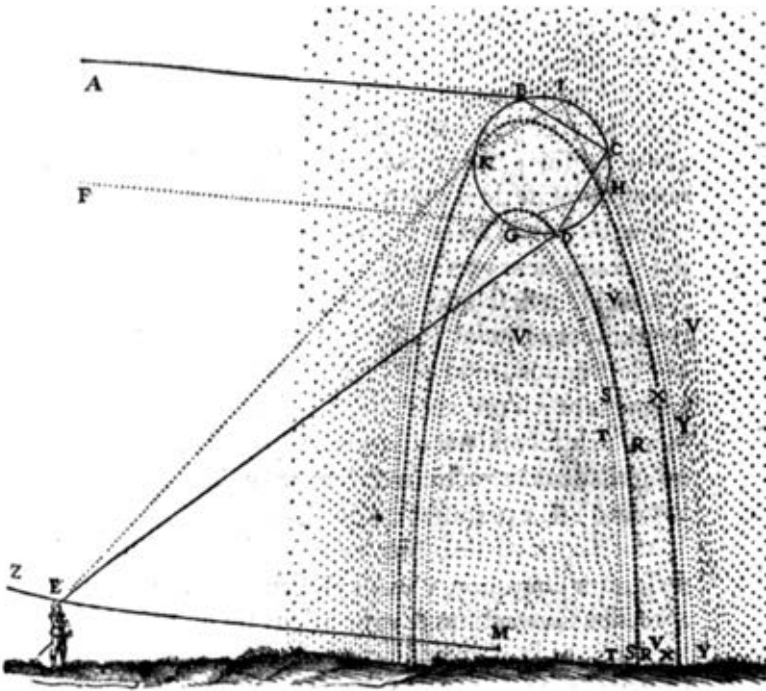
### *Descartes và các bí mật của cầu vồng*

Dù đã giải mã được rất nhiều bí mật của cầu vồng, nhưng Théodoric vẫn bỏ ngỏ rất nhiều câu hỏi. Đặc biệt, ông chưa thể giải thích được tại sao bán kính góc của vòng cung chính xung quanh điểm đối nhật luôn là 42 độ, không thay đổi bất chấp khoảng cách giữa các giọt nước và người quan sát, dù đó là một mét hay mười kilomet. Mặt khác, còn có một câu hỏi mấu chốt về các màu khác nhau của cầu vồng: Théodoric nghĩ rằng mỗi màu bắt nguồn từ sự yếu đi của ánh sáng trong một giọt nước khác. Nhưng, trong trường hợp này, điều gì đã thay đổi trong giọt nước để nó làm cho ánh sáng bị yếu đi khác nhau và do vậy tạo ra các màu khác nhau?

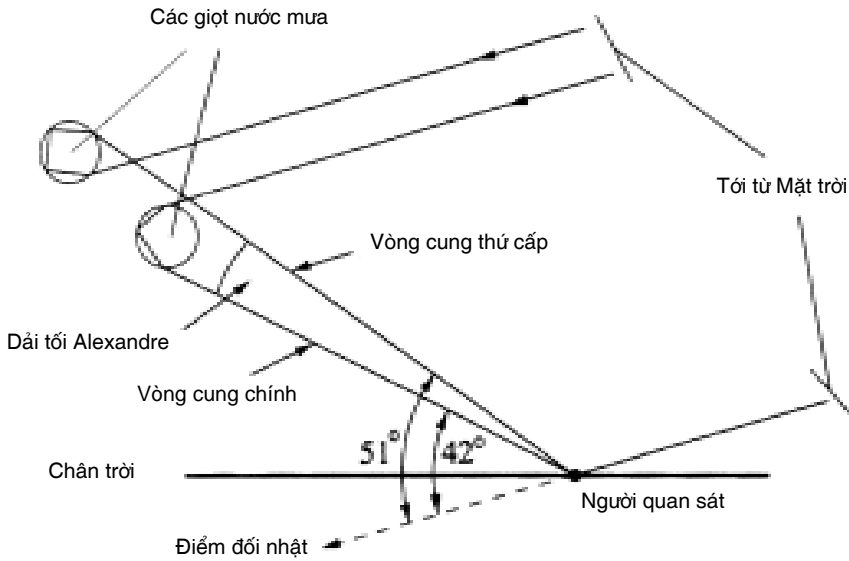
Thời Théodoric sống vẫn chưa có máy in, và các ý tưởng của ông không được phổ biến rộng rãi. Các cuốn sách của ông được sao chép cẩn thận bằng tay, được xếp trên giá sách của các thư viện trong các tu viện và đã bắt đầu

bám bụi. Các kết quả của ông đã bị quên lãng trong suốt ba thế kỷ. Phải mãi đến thế kỷ XVII thì triết gia và nhà vật lý học người Pháp René Descartes (1596-1650) mới tái phát hiện chúng một cách hoàn toàn độc lập, và cách lập luận của Descartes cũng giống như của Théodoric.

Năm 1637, Descartes đã công bố các phát hiện của mình về cầu vồng trong cuốn *Luận về sao băng* ("*Discours des météores*". Ở thời kỳ này, từ "*météore*" chỉ tất cả các hiện tượng nằm giữa Trái đất và Mặt trăng), ngay sau cuốn sách nổi tiếng *Luận về phương pháp* của ông công bố cùng năm. Descartes đã thêm vào một đóng góp quan trọng: Dựa trên các định luật về khúc xạ ánh sáng, ông đã chứng minh được rằng phần lớn các tia sáng Mặt trời thoát ra từ các giọt nước mưa là nguyên nhân gây nên vòng cung chính, sau một lần phản xạ và hai lần khúc xạ, theo một theo một hướng ưa thích: với một góc khoảng... 42 độ (H. 55). Lần đầu tiên, một giải thích đã được đưa ra cho bán kính góc của vòng cung chính. Descartes còn đi xa hơn: ông cũng suy nghĩ tới vấn đề vòng cung



**Hình 55.** Lý thuyết cầu vồng của Descartes trong cuốn *Luận về sao băng* (1637) của ông. Vòng tròn biểu diễn một giọt nước mưa. Vòng cung chính có bán kính góc bằng 42 độ do ánh sáng Mặt trời trong giọt nước mưa bị hai lần khúc xạ và một lần phản xạ, trong khi vòng cung thứ cấp có bán kính góc là 51 độ do ánh sáng chịu hai lần khúc xạ và hai lần phản xạ.



**Hình 56.** Sơ đồ biểu diễn chi tiết đường đi của các tia sáng Mặt trời gây ra các vòng cung chính và vòng cung thứ cấp của cầu vồng. Hai vòng tròn biểu diễn các giọt nước mưa. Vùng không có ánh sáng giữa vòng cung chính và vòng cung thứ cấp là “dải tối Alexandre”.

thứ cấp. Ông chứng minh rằng nếu ngoài hai khúc xạ trong hai lần đi vào và đi ra khỏi giọt nước, các tia sáng còn phải chịu hai lần phản xạ, thì chúng lại đi ra theo một hướng ưa thích khoảng 51 độ, giá trị quan sát được của bán kính góc của vòng cung thứ cấp (H. 56).

*Thiên tài Newton và sự phân tách ánh sáng*

Tuy nhiên, dù rất tài tình nhưng Descartes cũng chưa thể đưa ra một giải thích thỏa đáng về các màu của cầu vồng. Ông quan niệm một cách sai lầm rằng các màu của cầu vồng là do chuyển động quay của các “hạt” ánh sáng: các màu khác nhau được sinh ra là do các hạt này quay nhanh hay quay chậm. Phải đến khi xuất hiện thiên tài Isaac Newton (1642-1727) thì các bí mật về các màu của cầu vồng mới bị khám phá. Vào cái năm định mệnh (1666), năm mà ông đã phát hiện ra định luật vạn vật hấp dẫn và phép tính vi tích phân, nhà vật lý học 23 tuổi người Anh đã dùng một lăng kính phân tách ánh sáng trắng của Mặt trời thành các màu cầu vồng. Ông cũng đã không chỉ chứng minh rằng ánh sáng trắng là một hỗn hợp của các màu, mà còn chứng minh rằng chiết

suất của một lăng kính (hay của một giọt nước) là khác nhau đối với các màu khác nhau: ánh sáng bị lệch hướng khác nhau tùy theo màu (hay bước sóng) của nó, một hiện tượng mà các nhà vật lý học gọi là “tán sắc”. Bởi vì ánh sáng bị tán sắc, nên mỗi một thành phần màu cho ra một vòng cung hơi khác. Như vậy cái mà chúng ta tin là một và chỉ một thực thể “cầu vồng” duy nhất thực ra là một tập hợp các vòng cung màu khác nhau, vòng cung màu này hơi xô dịch đôi chút so với vòng cung màu kia. Bán kính góc của vòng cung chính và vòng cung thứ cấp vì vậy biến thiên nhẹ theo màu sắc của ánh sáng. Như vậy, đối với ánh sáng đỏ có bước sóng 800nm, góc là 42,60 độ đối với vòng cung chính và là 49,92 độ đối với vòng cung thứ cấp. Đối với ánh sáng tím có bước sóng 400nm, các góc này trở thành lần lượt 40,51 và 53,73 độ. Độ lớn của các góc đối với vòng cung chính (cỡ 2 độ) và của vòng cung thứ cấp (khoảng 4 độ) không gì khác chính là hiệu các góc lệch của các màu đỏ và tím.

### *Bí mật về các cung phụ*

Chỉ riêng Descartes và Newton đã khám phá được gần như tất cả các bí mật về cầu vồng. Nhưng mặc dù với thiên tài của mình, họ vẫn chưa giải thích được sự tồn tại của các cung “phụ”, đó là một loạt các vòng cung hẹp và mờ hơn, rất hiếm khi xuất hiện, ở bên trong của vòng cung chính, gần phần cao nhất của nó. Hai nhà khoa học này đều coi ánh sáng là hạt: các dòng hạt lan truyền theo đường thẳng. Quang hình học, khẳng định rằng ánh sáng lan truyền theo đường thẳng, là đủ để giải thích các tính chất chính của cầu vồng. Nhưng chính vì thế mà họ đã không giải thích được cái hiện tượng bề ngoài có vẻ là thứ yếu, đó là các cung phụ này. Vì vậy cần phải có một quan điểm tinh vi hơn về ánh sáng. Phải đợi đến Thomas Young (1773-1829), với quan điểm ánh sáng là sóng (1803), thì cuối cùng vấn đề hóc búa về các cung phụ của cầu vồng mới được làm sáng tỏ.

Chúng ta hãy nhớ lại rằng chính Thomas Young là người đã phát hiện ra hiện tượng giao thoa bằng thí nghiệm hai khe nổi tiếng: thêm ánh sáng đi qua một cái khe vào ánh sáng đi qua một khe khác có thể sinh ra không chỉ một ánh sáng sáng hơn, mà còn cả bóng tối nữa! Hai tia sáng bị giọt nước làm cho lệch hướng cũng tương tự như hai tia sáng đi qua hai khe của Young. Ở các bán kính góc rất gần 41 độ của cầu vồng, đường đi của hai tia sáng này khác nhau rất ít, và chúng được cộng với nhau. Ở những bán kính góc lớn hơn, sự khác nhau giữa đường đi của hai tia tăng lên, và sẽ chúng triệt tiêu nhau. Ở các bán kính còn lớn hơn nữa, chúng lại tăng cường nhau. Và cứ như vậy tiếp

tục. Các giao thoa tăng cường và phá hủy kế tiếp nhau này được thể hiện bằng một chuỗi các dải xen kẽ sáng và tối không gì khác chính là các cung phụ.

Khoảng cách giữa các cung phụ tùy thuộc vào kích thước của các giọt nước. Khi kích thước này tăng lên, thì các cung phụ gần nhau hơn. Khi các giọt nước mưa có đường kính lớn hơn một milimet, thì các cung phụ không còn xa nhau nữa và các màu hòa trộn vào nhau. Trong một trận mưa rào, các giọt nước mưa có kích thước khác nhau. Điều này làm cho giao thoa gây bởi một giọt nước mưa có một kích thước nhất định hòa trộn vào giao thoa của các hạt có kích thước khác, một sự hòa trộn làm triệt tiêu nhau và làm cho chúng trở nên không nhìn thấy được nữa. Đó là lý do vì sao rất hiếm khi quan sát được các cung phụ. Nếu tình cờ xuất hiện thì chúng luôn ở gần phần cao nhất của vòng cung chính. Tại sao lại như vậy? Câu trả lời nằm trong kích thước và hình dạng của các giọt nước mưa vốn biến thiên theo độ cao. Trong quá trình rơi xuống đất, các giọt nước mưa to lên và dẹt đi. Để nhận thấy điều này, bạn chỉ cần ngửa mặt lên trời nhìn theo phương thẳng đứng. Ta sẽ nhận thấy rằng các hạt to nhất bị biến dạng và dao động rất mạnh. Các giọt dẹt ở thấp không thể là nguyên nhân gây ra các giao thoa ánh sáng và chính vì thế các vòng cung phụ chỉ xuất hiện ở gần phần cao nhất của cầu vồng, tại đó các giọt nước mưa vẫn có dạng cầu.

#### *Các đoạn cầu vồng trong góc phố*

Ánh sáng trắng bị phân tách xuất hiện không chỉ trong bầu trời sau trận mưa giông. Các đoạn cầu vồng cũng có thể xuất hiện ngay khi ánh sáng Mặt trời có cơ hội đùa giỡn với các giọt nước. Người ta có thể thấy chúng ở những chỗ bất ngờ nhất và trong các hoàn cảnh đa dạng nhất. Để chụp được chúng, chỉ cần mở to mắt và biết cách đam mê vẻ đẹp của tự nhiên. Thật vậy, vào một ngày trời nắng, sáng sớm, bạn hãy đi ngắm một đồng cỏ xanh đẫm sương mai. Bạn sẽ thấy ánh sáng của ngày đùa giỡn với những giọt sương và đồng cỏ lấp lánh như hàng ngàn đốm lửa. Bạn sẽ quan sát thấy các giọt nước treo lơ lửng ở đầu ngọn cỏ phô bày một số thì phản chiếu một màu trắng chói loá, một số thì là những đoạn cầu vồng tuyệt đẹp. Hãy để ý tới các mạng nhện giăng mắc đâu đó trong đồng cỏ; chúng cũng được dính đầy các giọt sương, tạo ra các đoạn cầu vồng lộng lẫy.

Hãy đi ra bờ biển và thỉnh thoảng bạn cũng sẽ thấy cầu vồng xuất hiện trong bọt nước của sóng biển. Nếu đi tàu biển, bạn đừng quên ngắm từ mũi tàu các “cầu vồng biển” trong các con sóng mà làn tàu tạo ra. Hoặc là đi ngắm

các thác nước trong dãy Pyrénées, Alpes (Pháp), hay Niagara nằm ở biên giới giữa Mỹ và Canada, có thể bạn sẽ có cơ hội ngắm cảnh cầu vồng tuyệt đẹp sinh bởi thác nước đó (H. 17 trong tập ảnh màu). Các đoạn cầu vồng cũng có thể xuất hiện trong góc phố khi một người lái xe quá vội lao hết tốc lực qua một vũng nước làm tung toé nước lên người bạn. Bạn thậm chí còn có thể tự tạo ra cầu vồng bằng cách ngậm đầy miệng nước và phun ra, hoặc tốt hơn cả là dùng vòi phun nước! Cầu vồng dễ thấy nhất khi trời nắng là cầu vồng sinh ra từ hệ thống phun nước tự động trong vườn hoa. Trên thực tế, không nhất thiết phải có nước mới có cầu vồng. Một giọt nhựa cây cũng đủ làm nên cầu vồng: người ta cũng có thể thấy trong giọt nhựa một đoạn cầu vồng với điều kiện nhìn nó dưới một góc đúng và trời có nắng. Trong tất cả các hoàn cảnh này, phân bố màu của cầu vồng luôn như nhau: từ đỏ ở mép trên cùng đến tím ở mép dưới cùng, vì nền tảng vật lý của chúng không có gì thay đổi.

*Khoa học không loại trừ cái đẹp và thi ca*

Các nghiên cứu về cầu vồng vẫn còn được tiếp tục theo đuổi với mục đích mô tả ngày một định lượng hơn. Vì khoa học diễn ra theo một dạng thoái triển đến vô cùng: sau mỗi câu trả lời lại ẩn giấu một câu hỏi mới. Chẳng hạn, năm 1975, để giải thích chỉ một màu của cầu vồng, một nhà nghiên cứu đã sử dụng một công thức chứa hơn 1500 số hạng phức tạp! Nhưng, bằng cách hiểu quá sâu và duy lý hóa tất cả, liệu chúng ta có giết chết cái đẹp và thơ ca? Đó cũng chính là quan điểm của nhà thơ John Keats (1795-1821), một trong những nhà thơ lãng mạn lớn của Anh, người từng viết năm 1820:

*Dot not all charms fly  
 Ath the mere touch of cold philosophy?  
 There was an awful rainbow once in heaven:  
 We know her woof, her texture; she is given  
 Tin the dull catalogue of common things.  
 Philosophy will clip an angel's wings,  
 Conquer all mysteries by rule and line,  
 Empty the haunted air, the gnomed mine-  
 Unweave a rainbow*

*Cái đẹp kia liệu có biến tan  
 Khi triết lý lạnh lùng chạm đến?*



*Trong bầu trời một cầu vồng uy nghi chợt hiện:  
Nhưng bản chất, cấu tạo nó ra sao ta đã biết tởng rồi  
Nghĩa là nó cũng tâm thường như những vật khác mà thôi.  
Với triết lý thiên thân như cắt cánh,  
Khi mọi điều bí mật đều vỡ tan từng mảnh  
Thì còn đâu thấp thoáng bóng ma trôi,  
Và cầu vồng cũng tan biến mà thôi.*

Khi Keats chế nhạo sự “lạnh lùng của triết lý”, thì đó hẳn là “triết học tự nhiên”, thứ triết học mà ngày nay chúng ta gọi là “khoa học”. Keats không phải là người duy nhất nghĩ rằng quá nhiều khoa học giết chết thi ca. Thi hào người Đức Goeth (1749-1832) cũng đồng quan điểm rằng việc Newton phân tích các màu của cầu vồng đã “làm cho trái tim của tự nhiên thất lại”.

Tôi không chia sẻ quan điểm này. Hiểu biết bản chất khoa học của cầu vồng hay mọi hiện tượng tự nhiên khác không bao giờ làm suy giảm giá trị mà người ta gán cho sự mỹ lệ của chúng. Mà trái lại, một hiểu biết sâu sắc về tự nhiên còn làm cho chúng ta thêm ngất ngây, bái phục và trân trọng hơn vẻ đẹp và sự hài hòa của nó. Sự lộng lẫy của tự nhiên không bao giờ để cho người quan sát khoa học thờ ơ. Bởi vì hiểu sự phụ thuộc lẫn nhau của các sự kiện khác nhau và các mối quan hệ nhân quả giữa các thành phần khác nhau của một tập hợp mang lại sự gắn kết và logic cho cái thoạt tiên tưởng như chỉ là một chuỗi các sự vật hiện tượng tách rời nhau, cảm giác khâm phục trước tự nhiên lại được củng cố thêm. Khoa học cho phép chúng ta kết nối với thế giới cũng như nghệ thuật, thơ ca và tâm linh.

### *Ánh sáng ban ngày*

Phi tuyến Trái đất có một lớp khí quyển bao bọc như một cái kén. Lớp này dường như được điều chỉnh đủ dày để bảo vệ sự sống khỏi các tia cực tím độc hại của Mặt trời, cho phép sự sống sinh sôi và phát triển, nhưng cũng đủ mỏng để cho phần khả kiến của ánh sáng Mặt trời đi qua để duy trì nó. Ngoài bảo vệ sự sống, lớp khí quyển còn mang lại cho chúng ta cảnh vòm trời tuyệt đẹp vào ban đêm, và bầu trời trong xanh khoáng đạt vào ban ngày. Nếu khí quyển của chúng ta dày hơn (như trên Kim tinh, ở đó khí quyển dày hơn khoảng 90 lần), thì nó sẽ trở thành một lớp bao phủ mờ mịt ngăn không cho những người sống trên Trái đất thực hiện các quan sát thiên văn từ mặt đất. Nếu nó mỏng hơn, thì không chỉ sự sống trên Trái đất sẽ trở nên không thể,

mà bầu trời xanh và vô số các trò đùa giỡn của ánh sáng Mặt trời với các đám mây, và rất nhiều các hiện tượng quang học khác, sẽ không xuất hiện để mang đến cho chúng ta biết bao niềm vui sướng.

Vào một ngày trời nắng và quang mây, khi Mặt trời chiếu sáng bằng tất cả sự rực rỡ của mình, dường như không có gì ngăn cản nổi đường đi của ánh sáng Mặt trời và nó đến mặt đất chúng ta hoàn toàn nguyên vẹn. Trên thực tế không phải như vậy, một phần lớn ánh sáng đó không đến được chúng ta. Chúng ta đã thấy rằng khoảng 30% ánh sáng này bị phản chiếu vào không gian. 70% bức xạ còn lại đi vào khí quyển, nó bị yếu đi theo hai cách: hoặc là bị hấp thụ, hoặc bị lệch sang các hướng khác, mà người ta gọi là sự "tán xạ". Sự hấp thụ làm giảm lượng ánh sáng đến với chúng ta, và những vật ở xa trông sẽ mờ hơn. Ánh sáng bị hấp thụ được chuyển hóa thành nhiệt và được tái phát dưới dạng ánh sáng hồng ngoại. Sự hấp thụ diễn ra rất chọn lọc; chỉ có một số màu (hay bước sóng) bị hấp thụ: điều này phụ thuộc vào cấu trúc nguyên tử của vật chất hấp thụ ánh sáng; các màu khác hành xử như thể không có gì ngăn cản chúng. Còn sự tán xạ thì tác động đến tất cả các màu, nhưng theo cách không như nhau. Các tác nhân gây ra sự hấp thụ và tán xạ là các phân tử không khí nhỏ bé và các hạt bụi lơ lửng trong khí quyển.

Như vậy, thứ ánh sáng ban ngày mà người chụp ảnh rất thích là tổng hợp của nhiều loại ánh sáng: ánh sáng đến từ Mặt trời, ánh sáng đến từ bầu trời, bị tán xạ bởi không khí và các đám mây, và ánh sáng phản chiếu từ mặt đất.

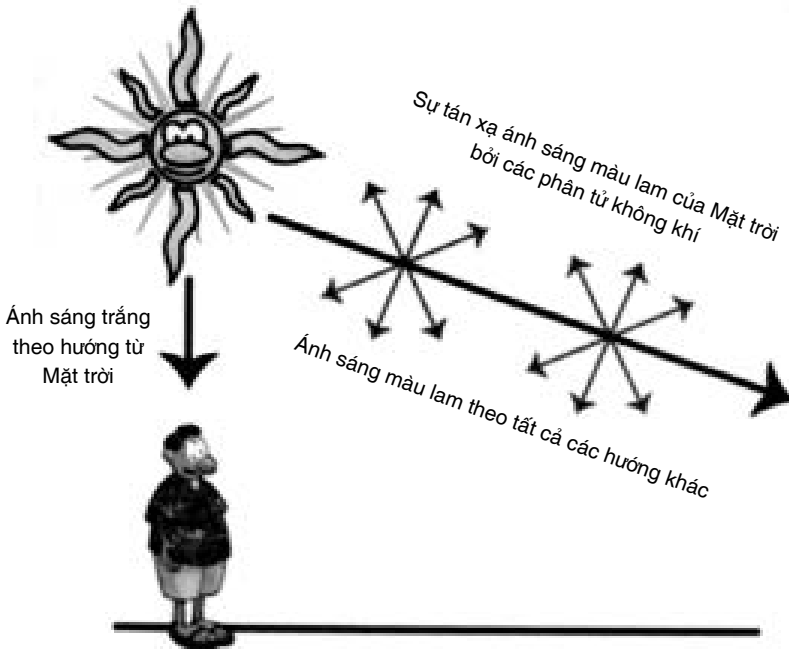
### *Tại sao bầu trời lại xanh?*

Khi chúng ta thất vọng, khi nỗi buồn xâm chiếm lòng ta, thì đôi khi chỉ cần ngắm nhìn bầu trời xanh, đầy nắng và không một gợn mây là nỗi buồn vội đi và lòng ta bớt nặng nề. Bầu trời xanh mang lại cho tâm hồn bị tổn thương của chúng ta ít nhiều an ủi. Chúng ta có cảm giác bị mất hút vào trong chiều sâu vô cùng vô tận của nó. Nhà phê bình nghệ thuật người Anh John Ruskin (1819-1900) từng viết, đó là "một cái gì đó mà cái nhìn của bạn có thể thâm nhập {...}, một cái gì đó không có bề mặt, nhưng ta có thể thả mình vào đó ngày một sâu hơn, cho tới khi mất hút vào khoảng bao la vô tận của không gian".

Nhưng tại sao da trời lại có màu xanh? Câu hỏi bề ngoài có vẻ ngây thơ này, loại câu hỏi mà con trẻ thường đặt ra cho bố mẹ chúng và làm cho họ bực mình vì không biết trả lời thế nào, lại là một câu hỏi phát lộ chân lý.

Bầu trời xanh không phải do ánh sáng được phát ra bởi khí quyển, vì, nếu

không, ánh sáng này cũng sẽ tồn tại cả vào ban đêm. Nhưng đêm không xanh, mà là đen. Tương tự, nó không thể được sinh ra bởi một nguồn ánh sáng màu lam nằm bên trên lớp khí quyển, vì, ban đêm, bầu trời đầy sao có một nền màu đen như mực. Như vậy, ánh sáng xanh lam của bầu trời phải gắn với ánh sáng Mặt trời. Thế nhưng ánh sáng Mặt trời lại không xanh lam, mà là trắng tinh. Nó chứa tất cả các màu, như Newton đã chứng tỏ nhờ một lăng kính. Để bầu trời có màu xanh lam, chứ không phải màu trắng, thì ánh sáng Mặt trời phải được khí quyển “lọc” trước khi đi đến Trái đất, cần phải có một cơ chế lấy đi màu đỏ, màu vàng và các màu khác, và chỉ cho ánh sáng màu xanh lam đi qua. Sự lọc này chỉ có thể được thực hiện theo hai cách: hoặc là bằng hấp thụ, hoặc là bằng tán xạ ánh sáng Mặt trời. Hấp thụ là không thể vì ánh sáng Mặt trời, Mặt trăng hay của các sao bị hấp thụ khi đi qua khí quyển không có màu xanh lam. Như vậy chính sự tán xạ ánh sáng Mặt trời, nghĩa là quá trình làm cho một tia tới của Mặt trời phân tán theo tất cả các hướng khả dĩ, là nguyên nhân làm cho bầu trời có màu xanh lam (H. 57).



**Hình 57.** Tại sao bầu trời lại có màu lam? Trừ theo hướng của Mặt trời ở đó ánh sáng có màu trắng, còn bầu trời có màu xanh lam trong tất cả các hướng do các phân tử không khí làm tán xạ phần màu xanh của ánh sáng Mặt trời.

Vậy các hạt vật chất trong không khí có thể làm tán xạ ánh sáng và cho chúng ta một bầu trời màu xanh lam là gì? Liệu có thể là các hạt bụi? Vào mùa hè, sau một quãng thời gian dài không mưa, không khí chứa rất nhiều các hạt cát và đất sét bốc lên từ mặt đất và được gió mang đi. Bầu trời mất đi màu xanh lam của nó và có một màu trắng nhạt. Nhưng chỉ cần vài trận mưa to là bầu trời lại xua tan được các hạt này và lấy lại màu xanh trong của mình. Như vậy, bụi không thể là nguyên nhân làm cho da trời có màu xanh, bởi vì chúng chỉ góp phần làm mất chứ không phải làm tăng thêm màu xanh cho bầu trời. Thế còn các phân tử nước trong khí quyển thì sao? Khi chúng đóng băng trên cao để choán đầy không khí các tinh thể nước đá và tạo ra các đám mây quyển, màu xanh da trời cũng biến mất để nhường chỗ cho màu trắng nhạt. Như vậy, các phân tử nước và nước đá cũng không phải là nguyên nhân. Chỉ còn lại các phân tử không khí. Trên thực tế, các phân tử không khí thích tán xạ ánh sáng, và chúng đặc biệt thích ánh sáng màu xanh lam. Bước sóng của ánh sáng càng ngắn, nghĩa là nó càng xanh lam, thì cơ hội nó được tán xạ càng cao. Thật vậy, một hạt ánh sáng xanh lam có cơ hội được tán xạ lớn hơn ánh sáng màu đỏ gấp mười lần<sup>27</sup>. Như vậy, khi chúng ta nhìn theo bất kỳ hướng nào của bầu trời, ngoại trừ trực tiếp theo hướng Mặt trời (điều mà bạn không bao giờ nên làm, dù là bằng mắt trần, hay đã đeo kính, hay mọi thiết bị quang học khác, nếu không bạn có thể sẽ bị tổn thương mắt nghiêm trọng), cơ hội để một photon Mặt trời màu xanh lam đến mắt của bạn cao hơn một photon đỏ. Và chính vì thế mà bầu trời có màu xanh lam. Còn về các photon Mặt trời đỏ và vàng, vì ít bị tán xạ, nên chúng đến mắt chúng ta chủ yếu theo hướng Mặt trời. Tuy vậy, Mặt trời hơi có màu đỏ vì sự tán xạ cũng lấy đi mất các photon Mặt trời màu xanh lam trong đường ngắm tới Mặt trời.

Bạn có thấy bầu trời ở gần chân trời sáng hơn ở trên đỉnh đầu chúng ta không? Ngay cả vào một ngày trời rất trong, thì bầu trời cũng không xanh ở khắp nơi. Ở gần chân trời màu của nó chuyển sang trắng. Chính lượng không khí mà ánh sáng Mặt trời phải đi qua để đến mắt chúng ta là nguyên nhân của điều đó: trực nhìn của chúng ta đi qua một khối không khí lớn hơn nhiều khi chúng ta nhìn ngang đường chân trời so với khi nhìn thẳng đứng lên cao. Xa chân trời, đường nhìn của chúng ta đi qua một lớp không khí mỏng hơn, có

❖

<sup>27</sup> Nhà vật lý học người Anh Lord Rayleigh (1842-1919) đã chứng tỏ rằng xác suất để một photon của ánh sáng Mặt trời bị tán xạ bởi một phân tử không khí tỉ lệ nghịch với lũy thừa bốn của bước sóng của nó.

ít phân tử không khí hơn, ánh sáng Mặt trời trung bình chỉ bị tán xạ một lần, và bầu trời có màu xanh lam. Ngược lại, gần chân trời, đường nhìn của chúng ta đi qua một lớp không khí dày hơn, có nhiều phân tử không khí hơn, và các phân tử này tán xạ ánh sáng không phải một lần, mà nhiều lần. Đúng là photon lam luôn có nhiều cơ hội được tán xạ hơn photon đỏ; nhưng do ánh sáng phải đi qua rất nhiều phân tử không khí, nên tất cả các photon, dù chúng có màu (hay bước sóng) gì, sớm hay muộn đều phải gặp một phân tử, và đường đi của chúng bị lệch hướng. Vì thế các photon thuộc tất cả các màu đều bị tán xạ và phát trở lại rất nhiều lần trước khi đến mắt chúng ta, tới mức chúng hòa trộn vào nhau một cách hoàn hảo. Chính vì thế da trời gần chân trời có cùng màu với Mặt trời: màu trắng.

### *Núi xanh*

Tôi sống tại Charlottesville, nơi tập trung nhiều trường đại học của bang Virginia, cách dãy núi Appalaches một giờ chạy xe. Dãy Appalaches trải dài từ Alabama đến cửa sông Saint-Laurent, Canada. Vì thế tôi thường có thú vui đi dạo trên núi và lần theo một con đường dẫn tôi lên một trong các đỉnh nhô ra thung lũng Shenandoah tuyệt đẹp. Từ trên đỉnh này, cái nhìn bao lấy các dãy núi nối tiếp nhau đến hút tâm mắt. Cảnh tượng này thật rung cảm. Những ngọn núi xa xa trông có màu xanh lam, một màu xanh càng thẫm hơn khi ngọn núi càng ở xa và ánh sáng càng yếu. Chúng ta ai cũng biết trên thế giới, hơn một chục đỉnh được đặt tên là “đỉnh núi xanh”: trong vùng Maine, Oregon, ở Australia hay Jamaica. Và điều này không hề ngẫu nhiên. Khối núi Appalaches không phải là một ngoại lệ. Đỉnh của nó có tên là “*Blue Ridge*”, “Đỉnh núi xanh”. Các họa sĩ vẫn thường mê mẩn trước màu xanh của núi. Từ xa xưa họ đã cố gắng biểu hiện nó: trên các bức bích họa từ thời đế chế La Mã, các dãy núi xanh đã được vẽ xa xa trong hậu cảnh. Các bức tranh của các họa sĩ xứ Flandre thế kỷ XV, như Jan van Eyck (1390-1441), nổi tiếng vì sử dụng các sắc thái khác nhau của màu lam để tái hiện các khung cảnh núi non ở hậu cảnh.

Tại sao chúng ta thấy các dãy núi xa lại có màu lam? Được rừng bao phủ, chúng lẽ ra phải có màu lục mới phải chứ. Sở dĩ nhìn từ xa chúng ta thấy chúng có màu xanh lam chứ không phải màu xanh lục, một lần nữa, lại là do các phân tử không khí nằm giữa chúng ta và dãy núi làm tán xạ ánh sáng Mặt trời. Ngoài ánh sáng phản chiếu từ dãy núi, chúng ta còn thấy “ánh sáng của không khí”. Bởi vì các photon lam có nhiều cơ hội được tán xạ hơn photon đỏ, nên ánh sáng này của không khí có màu lam và sinh ra một dạng tẩm voan màu lam

giữa núi và chúng ta. Lượng ánh sáng của không khí, lẽ tự nhiên, phụ thuộc vào khoảng cách giữa chúng ta và núi. Khi một trong các dãy núi này tương đối gần, thì ánh sáng Mặt trời bị nó phản chiếu đến mắt chúng ta dễ dàng, và chúng ta thấy nó qua một bức voan màu lam tạo cho nó có màu xanh nhạt. Mọi khung cảnh ở xa bao quanh có vẻ như cũng được tô các sắc lam tinh tế đan xen hài hòa với nhau. Chỉ có màu đỏ của mái nhà và màu xanh của đám cỏ ở gần, ở tiền cảnh, mới phá vỡ bản giao hưởng của các sắc lam này. Nhưng nếu núi ở đủ xa, và sự tán xạ xảy ra nhiều hơn (ánh sáng Mặt trời chịu nhiều tán xạ liên tiếp), điều này làm cho ánh sáng của nó bị tán xạ ra bên ngoài trục nhìn của chúng ta, và chúng ta không còn nhìn thấy nó nữa. Ánh sáng của núi vì vậy bị thay thế bởi ánh sáng của không khí. Điều này làm cho, ngay cả vào một ngày trời quang, khi không khí rất trong, chúng ta cũng không thể phân biệt được những đường nét nổi chìm của dãy núi khi ở ngoài một khoảng cách nào đó.

Các dãy núi cũng có thể biến mất khỏi tầm nhìn của chúng ta khi Mặt trời nằm cao trong bầu trời. Khi đó Mặt trời phát một lượng lớn ánh sáng vào không khí, làm giảm một lượng tương đương sự tương phản của các dãy núi và làm cho chúng trở nên không thể nhìn thấy được. Nhưng nếu Mặt trời xuống thấp trong bầu trời, thì ánh sáng của không khí dịu đi và các dãy núi lại xuất hiện trong tầm mắt của chúng ta. Đó cũng là hiện tượng xảy ra khi, đứng trên bờ biển lúc hoàng hôn, chúng ta thấy một hòn đảo hoặc một bờ biển xuất hiện đột ngột ở phía xa trong khi chúng không thể nhìn thấy được trong ngày do độ sáng quá mạnh của không khí.

### *Không khí và ánh sáng rung rinh*

Không khí giữa chúng ta và các vật ở xa đóng một vai trò to lớn trong cách các vật này xuất hiện trước mắt chúng ta. Họa sĩ và nhà bác học người Italia Léonard de Vinci (1452-1519) đã nhận thấy điều đó cách đây khoảng năm thế kỷ. Là người thực hành nghệ thuật và khoa học đỉnh cao, ông là người đầu tiên đã hệ thống hóa các quy tắc phối cảnh trong hội họa, cho phép chúng ta biểu diễn trên một bề mặt hai chiều các vật ba chiều như nhìn thấy từ một điểm nào đó. Léonard de Vinci đã phân biệt ba loại phối cảnh. Loại thứ nhất, quen thuộc nhất, là phối cảnh tuyến tính: các vật ở xa hơn trông nhỏ hơn<sup>28</sup>. Loại phối cảnh thứ hai là phối cảnh “không khí”: một vật càng xa thì trông nó càng mờ.



<sup>28</sup> Kích thước góc của một vật giảm tỉ lệ nghịch với khoảng cách của nó.

Loại thứ ba là phối cảnh màu: màu của các vật thay đổi theo khoảng cách của chúng. Léonard de Vinci đã nhận thấy rất chính xác rằng loại phối cảnh thứ hai và thứ ba có liên quan đến lớp không khí giữa người quan sát và vật: “Một vật càng xa, thì hình ảnh của nó càng khó thâm nhập vào khoảng không {ngăn cách nó với người quan sát} {...} và màu của nó càng bị biến đổi bởi màu của lớp không khí trong suốt này”. Nói theo ngôn ngữ hiện đại, phối cảnh không gian là do các hạt nhỏ bé lơ lửng trong không khí hấp thụ ánh sáng, và phối cảnh màu là do sự tán xạ một số màu của ánh sáng bởi chính lớp không khí này. Kỹ thuật phối cảnh các màu đã đạt đến đỉnh điểm với họa sĩ người Anh William Turner (1775-1851), người đã dàn dựng sự hòa tan các hình dạng trong rung rinh của không khí, nước và ánh sáng.

### *Không khí không phải là không nhìn thấy được*

Cảnh tượng Trái đất và bầu trời vào một ngày đẹp trời nhìn qua cửa sổ máy bay phản lực rẽ không khí cách mặt đất 10 km bao giờ cũng là một cảnh tượng tuyệt đẹp. Bầu trời, núi non, sông nước như tan vào một sự phối sắc phớt xanh mênh mông. Giá mà Turner được du lịch trên máy bay và ngắm các trò chơi của ánh sáng Mặt trời với Trái đất và bầu trời (một lần Turner đã đứng trên mũi của một con thuyền giữa mưa bão để quan sát rõ hơn các màu của biển động)! Từ máy bay chắc chắn bạn sẽ thấy bầu trời sẫm hơn so với nhìn từ mặt đất. Nguyên nhân rất đơn giản: như chúng ta đã biết, ánh sáng của bầu trời được xác định bởi lượng phân tử không khí nằm trên trục nhìn của chúng ta: càng có nhiều các phân tử không khí, thì bầu trời càng sáng, và nó càng nhạt. Bởi vì trên cao không khí loãng hơn, nên có ít các phân tử không khí trên đường ngắm của chúng ta hơn khi nhìn qua cửa kính máy bay, không khí mờ hơn và trông bầu trời xanh sẫm hơn. Nếu bạn đẩy thí nghiệm lên cực điểm và loại bỏ tất cả các phân tử không khí, sẽ không còn một ánh sáng xanh nào nữa bị tán xạ để chiếu sáng bầu trời và bầu trời sẽ trở nên tối đen như mực. Đó là điều xảy ra trong không gian hay trên bề mặt Mặt trăng, nơi hoàn toàn không có không khí. Chính vì thế các nhà du hành vũ trụ nhìn bầu trời từ không gian hay từ Mặt trăng luôn thấy nó tối đen như mực.

Ngược lại với những gì chúng ta nghĩ, không khí như vậy không phải là không nhìn thấy được. Chúng ta vẫn thường thấy không khí qua màu xanh của da trời và các dãy núi xa xa. Nếu màu xanh lam làm chúng ta khiến ta xúc động sâu sắc, thì đó là bởi vì chúng ta cảm nhận bằng trực giác rằng đó là màu

của thứ chất lưu sống, màu của chất mà chúng ta hít vào phổi và giúp chúng ta duy trì sự sống. Nhà thơ người Anh John Ruskin viết: “Màu xanh là màu được Chúa chỉ định để tạo ra niềm vui!”. Khi chúng ta ngược mắt nhìn bầu trời, cái nhìn của chúng ta không mất hút vào vô cùng. Ngược lại, nó gặp một lớp mỏng khí quyển màu xanh lam sáng, phóng chiếu lên nền tối của không gian, một thứ nước ôi bảo vệ chúng ta khỏi giá lạnh và các tia độc hại của không gian giữa các vì sao trong khi chúng ta chăm lo các công việc hàng ngày<sup>29</sup>.

### *Hoàng hôn lộng lẫy*

Tất cả chúng ta đều bị chinh phục bởi vẻ đẹp tuyệt vời của hoàng hôn, bởi một festival các tông màu vàng, cam và đỏ chiếu sáng bầu trời ngay trước khi Mặt trời lặn xuống dưới chân trời. Ngay cả con vật cũng không vô cảm với hoàng hôn. Người ta đã thấy những đàn tinh tinh đứng thẫn thờ trước những tia nắng đỏ rực của hoàng hôn. Điều gì làm cho Mặt trời khi xích gần đến chân trời lại chuyển từ màu trắng sáng sang màu vàng sáng, rồi màu cam lộng lẫy, để kết thúc trong màu đỏ sẫm?

Một lần nữa, chính sự tương tác của ánh sáng Mặt trời ban ngày với các phân tử không khí và các hạt có trong khí quyển Trái đất đã tạo ra cảnh tượng trắng lệt này. Trên thực tế, màu của Mặt trời được quyết định bởi số các tương tác mà ánh sáng Mặt trời phải chịu trên đường đi của nó trước khi đến được mắt người. Khi Mặt trời ở cao trên bầu trời, đường đi này tương đối ngắn, ánh sáng gặp tương đối ít các phân tử không khí và các hạt nên ít bị tán xạ hoặc hấp thụ, và Mặt trời giữ được màu trắng nguyên thủy của nó. Nhưng khi chiều tà, Mặt trời hạ thấp xuống gần đường chân trời, đường đi của ánh sáng dài hơn, ánh sáng Mặt trời tương tác với nhiều phân tử không khí và hạt hơn trước khi đến được chúng ta, độ sáng của nó yếu hơn và màu sắc của nó bị thay đổi. Một phần lớn các photon xanh lam bị tán xạ bắn ra ngoài chùm các tia Mặt trời, điều này làm giảm độ sáng của đĩa Mặt trời. Khi ánh sáng xanh lam bị lấy mất ra khỏi ánh sáng trắng của Mặt trời, thì ánh sáng Mặt trời chuyển sang màu vàng và cam. Ngoài sự tán xạ ánh sáng lam bởi các phân tử không khí, các phân tử ôzôn có trong khí quyển cũng đóng góp vào màu đỏ rực của Mặt trời bằng cách hấp thụ mạnh màu lam và lục.

❖

<sup>29</sup> Phần lớn (99%) khí quyển của Trái đất nằm dưới độ cao 30 km, tức 0,5% bán kính của Trái đất (6.378 km). Nếu chúng ta thu nhỏ kích thước của hành tinh của chúng ta bằng một quả cam, thì khí quyển sẽ mỏng hơn vỏ của quả cam này.



Nhưng các phân tử không khí và ôzôn không phải là thủ phạm duy nhất của màu đỏ và màu cam rực rỡ này. Các hạt rất nhỏ lơ lửng trong khí quyển sinh ra từ các hoạt động của con người, như bụi và khói, hoặc các hạt tự nhiên như nước mưa trên đại dương, cũng đóng vai trò quan trọng. Thật vậy, các hạt cực kỳ nhỏ, đường kính dưới 100nm, cũng tán xạ ánh sáng xanh lam<sup>30</sup>. Bằng cách lấy đi ánh sáng màu lam khỏi đường nhìn của chúng ta, chính các phân tử không khí và các hạt nhỏ đã là những tác nhân tạo ra các tia sáng đỏ rực mà tự nhiên ban tặng cho chúng ta. Vì số lượng các hạt này thay đổi theo các ngày khác nhau và ở các vị trí khác nhau, nên không bao giờ có hai hoàng hôn giống hệt nhau.

Các đám mây, tập hợp những giọt nước nhỏ li ti, cũng tán xạ ánh sáng vào lúc Mặt trời lặn. Chúng đóng góp vào cảnh tượng hoàng hôn bằng cách tô nên các màu vàng và cam và tạo ra các hình thù vô cùng đa dạng. Ngày tàn bỗng chốc được tôn lên bằng một bảng các gam ánh sáng đỏ pha cam vô cùng rực rỡ. Hoàng hôn đẹp nhất khi có các dải mây nhẹ lơ lửng ở chân trời (H. 18 trong tập ảnh màu). Các đám mây không được quá dày; nếu không chúng sẽ trở nên không trong suốt, chặn hết ánh sáng Mặt trời, và làm cho cảnh tượng trở nên tăm tối.

### *Ánh hoàng hôn và núi lửa*

Đêm không buông ngay lập tức khi Mặt trời lặn xuống chân trời. Bầu trời tiếp tục được chiếu sáng thêm một lúc ngắn nữa: đó là ánh hoàng hôn, hay là cảnh tranh sáng tranh tối. Khi Mặt trời lặn xuống khoảng 6 độ dưới đường chân trời, thì chúng ta không thể đọc sách bằng ánh sáng ngày được nữa. Ở -12 độ, đường viền của các vật xung quanh chúng ta trở nên nhoè đi, không còn rõ nét nữa và, ở -18 độ, thì bóng tối bao trùm hoàn toàn. Trong lúc tranh tối tranh sáng, nếu chúng ta hướng cái nhìn về phía chân trời phía Tây, hướng Mặt trời lặn, chúng ta có thể được ngắm một dải màu vàng nhạt pha cam vẫn còn vương vấn. Đó là cung hoàng hôn trải trên khoảng 90 độ từ Mặt trời sang hai bên. Các màu càng tương phản hơn khi Mặt trời càng hạ thấp xuống dưới đường chân trời và bầu trời trên cao càng tối. Ở giới hạn giữa dải màu vàng nhạt và bầu trời màu lam, các màu lục-lam ngọc có thể xuất hiện, tạo ra một hỗn hợp các màu rất đẹp. Khi tới đài thiên văn để đón nhận ánh sáng của bầu



<sup>30</sup> Xác suất tán xạ của một hạt ánh sáng bởi một hạt bụi tỉ lệ nghịch với bước sóng của nó, điều này có nghĩa là một photon lam có khả năng bị một hạt bụi tán xạ lớn gấp khoảng hai lần so với một photon đỏ. Trong khi đó, xác suất để một phân tử không khí làm tán xạ một hạt ánh sáng thì tỉ lệ nghịch với lũy thừa bậc bốn của bước sóng.

trời, trước khi vào phòng điều khiển kính thiên văn và chuẩn bị cho một đêm quan sát, tôi không bao giờ bỏ qua một vài phút quý giá để hòa mình vào cảnh tượng hùng vĩ của Mặt trời lặn và ánh hoàng hôn tiếp sau đó.

Một lần nữa, chúng ta có được cảnh hoàng hôn là do khí quyển tán xạ ánh sáng Mặt trời: mặc dù Mặt trời ở dưới chân trời, nhưng nó vẫn luôn chiếu sáng không khí ở trên. Cung hoàng hôn có màu vàng bởi vì thành phần màu lam của ánh sáng Mặt trời hoặc là bị tán xạ, hoặc bị hấp thụ. Cung này ôm lấy đường chân trời bởi vì theo hướng này có nhiều phân tử hơn để gây tán xạ ánh sáng so với trên đỉnh đầu chúng ta. Tại sao bầu trời lại giữ màu lam trên đỉnh trong lúc hoàng hôn, trong khi gần như tất cả các vùng khác đều đã đổi màu? Chính lớp ôzôn, ở độ cao hàng chục kilomet, là nguyên nhân: nó lọc ánh sáng Mặt trời, hấp thụ mạnh màu đỏ, cam và vàng, nhưng lại cho ánh sáng màu lam dễ dàng đi qua.

Các đợt phun trào núi lửa cũng có một ảnh hưởng nhất định đến cường độ của ánh hoàng hôn. Chúng ta biết điều này từ đợt phun trào kinh hoàng của núi lửa Krakatoa, ở Indonesia, năm 1883. Một hòn đảo đã bị xóa sổ khỏi bản đồ và 30.000 người đã thiệt mạng trong sóng thần sau khi núi lửa phun trào. Trong nhiều tháng sau, người dân ở bán cầu Bắc vẫn có thể quan sát được cảnh hoàng hôn đỏ tía một cách bất thường, những ánh hoàng sáng rực, và nhiều hiện tượng khí quyển hiếm có khác. Đó là vì núi lửa đã đẩy hàng tấn tro bụi và các xon khí chứa lưu huỳnh vào khí quyển. Các hạt nặng nhất nhanh chóng rơi xuống, nhưng các hạt nhỏ mịn vẫn lơ lửng trong không khí và được gió phát tán bay khắp địa cầu. Trong những lúc Mặt trời lặn, chúng đóng vai trò tán xạ ánh sáng và mang đến cho chúng ta những cảnh hoàng hôn đẹp chưa từng thấy. Người Mỹ và Canada cũng đã từng được ngắm những cảnh tượng ánh sáng lộng lẫy khi đêm xuống, sau khi núi lửa Pinatubo ở Philippines phun trào vào năm 1991.

### *“Lục quang tuyến”*

Một hiện tượng nổi tiếng gắn liền với hoàng hôn và thường chứa đựng một chiều kích gần như hoang đường, thậm chí huyền bí, trong trí tưởng tượng của dân gian, là hiện tượng “lục quang tuyến”. Theo một truyền thuyết xa xưa của Scotland, những người đã nhìn thấy “lục quang tuyến” sẽ không bao giờ lừa dối nhau trong chuyện tình cảm nữa. Đạo diễn người Pháp Éric Rohmer (sinh năm 1920), một người quan sát tinh tế các xúc cảm của con tim và sự lộn xộn tình cảm của những người đương thời đã thực hiện cả một bộ phim về

chủ đề này. Về phần mình, tiểu thuyết gia người Pháp Jules Verne (1828-1905) đã mang đến cho hiện tượng này một cái nhìn khoa học hơn, nhưng không vì thế mà thiếu chất thơ. Chúng ta hãy cùng nghe Jules Verne mô tả một cách trữ tình và đầy thi vị trong cuốn tiểu thuyết tình yêu *Lục quang tuyến* của ông:

“Bạn đã bao giờ quan sát Mặt trời lặn trên mặt biển chưa? Rồi! Chắc chắn. Bạn đã theo dõi cho tới lúc Mặt trời sắp lặn hết khi mà phần trên của đĩa Mặt trời chạm nhẹ mặt nước chưa? Rất có thể rồi. Nhưng bạn đã thấy hiện tượng diễn ra vào đúng cái lúc Mặt trời chói lọi chiếu tia cuối cùng của nó, nếu bầu trời quang đãng và hoàn toàn tinh khiết? Chưa! Có thể? Vậy thì lần đầu tiên khi bạn được chứng kiến – cơ hội rất hiếm khi xuất hiện đấy – sẽ không phải là một tia đỏ chiếu vào võng mạc của bạn như người ta vẫn tưởng, mà sẽ là một “lục quang tuyến”, một màu xanh lục tuyệt diệu, một màu xanh mà không một họa sĩ nào có thể tạo được trên bảng màu, một màu xanh mà tự nhiên, kể cả trong màu sắc hết sức đa dạng của cỏ cây hoa lá, cũng như trong màu của nước biển trong nhất, cũng không bao giờ tái tạo được sắc thái của nó! Nếu như có màu xanh lục trong thiên đường, thì đó chắc chắn phải là màu xanh này, một màu xanh Hy vọng đích thực!”.

Và cũng chính nhờ tiểu thuyết của Jules Verne mà công chúng ý thức được hiện tượng này. Có điều lạ là, trước năm 1882, năm xuất bản tác phẩm của Jules Verne, không một ai biết lục quang tuyến là gì, ngoại trừ một vài báo cáo hiếm hoi không được công bố. Chẳng hạn, nhà thiên văn học người Pháp Camille Flammarion (1842-1925) chỉ nhắc qua đến lục quang tuyến trong tác phẩm *Khí quyển*. *Khí tượng học phổ cập* của ông xuất bản năm 1872, dù rằng trong đó ông miêu tả rất chi tiết cảnh Mặt trời đi ngủ và màn đêm buông xuống. Chỉ sau khi Jules Verne “phổ cập hóa” nó thì các quan sát, các bài báo, các luận án và các chuyên luận mới bắt đầu dồn dập xuất hiện. Ngày nay, hiện tượng này đã được hiểu rõ. Tuy nhiên vẫn có những trang web riêng dành cho nó<sup>31</sup>.

Theo Jules Verne (và tín ngưỡng dân gian), lục quang tuyến rất hiếm khi xuất hiện. Nữ nhân vật chính của cuốn tiểu thuyết, Helena Campbell, đã sử dụng hiện tượng hiếm hoi này để trì hoãn nhận lời cầu hôn của một gã nực cười có cái tên kỳ cục là Aristobulus Ursiclos, mà gia đình muốn ép cô: cô nói với gã cầu hôn rằng sẽ chỉ nhận lời làm vợ anh ta sau khi nhìn thấy lục quang tuyến. Trên thực tế, lục quang tuyến không hiếm đến mức như thế: chỉ cần



<sup>31</sup> Xem chẳng hạn trang web của nhà thiên văn học Jacques Crovisier:  
[http://www.lesia.obspm.fr/~crovisier/JV/verne\\_RV.html](http://www.lesia.obspm.fr/~crovisier/JV/verne_RV.html).

chớp nó ở đúng vị trí và đúng thời điểm. Những điều kiện tốt nhất để quan sát lục quang tuyến: đó là buổi hoàng hôn có các tông vàng nhiều hơn là đỏ, khi bầu trời trong và quang mây, ít bụi và các hạt lơ lửng khác nhất, và trên một chân trời thấp. Vì tia này quan sát được rõ nhất ở thấp, với một chân trời quang mây, nên biển là vị trí lý tưởng để quan sát nó, từ bờ biển hoặc trên cầu tàu. Lục quang tuyến xuất hiện với các cường độ khác nhau ở mỗi hoàng hôn (hoặc bình minh) của Mặt trời. Khó khăn nằm ở chỗ nhìn bắt nó ở đúng thời điểm, vì nó chỉ kéo dài một hoặc hai giây. Chính sự tồn tại ngắn ngủi này là lý do vì sao rất khó quan sát được lục quang tuyến khi Mặt trời mọc: không thể biết trước vị trí chính xác của các tia nắng đầu tiên lộ ra. Khi mép trên của đĩa Mặt trời xuất hiện trên chân trời, thời điểm mà mắt chúng ta định vị được điểm sáng và quay về phía nó, thì lục quang tuyến đã xuất hiện và biến mất. Cũng không hề dễ bắt nó lúc hoàng hôn, vì lục quang tuyến xuất hiện vào thời điểm ánh sáng của ban ngày giảm nhanh. Vì lục quang tuyến trải trên một góc khoảng một phút góc (góc tạo bởi một đồng xu ở khoảng cách 140 mét), chúng ta có thể quan sát nó bằng mắt thường; vì ánh sáng yếu của Mặt trời lặn không gây bất kỳ nguy hiểm nào đối với mắt của chúng ta (H.19 trong tập ảnh màu).

### *Mặt trời trên chân trời chỉ là ảo tượng*

Nếu Jules Verne đã “phổ cập hóa” lục quang tuyến, thì những giải thích mà ông đưa ra trong cuốn tiểu thuyết thông qua lời nói của nhà thông thái róm Aristobulus Ursiclos lại là sai lầm. Để giải thích màu xanh lục, nhân vật này đã viện đến sự nhuộm màu của tia sáng Mặt trời bởi nước của đại dương (“Sở dĩ cái tia sáng cuối cùng mà Mặt trời phát ra vào thời điểm ở đó mép trên của nó vừa chạm đường chân trời có màu xanh lục, có lẽ là bởi vì vào thời điểm đi qua lớp nước, nó đã bị nhuộm màu của nước”), hoặc là thuyết theo đó màu xanh lục là bổ sung của màu đỏ (“Trừ phi màu xanh lục này không tiếp nối một cách hoàn toàn tự nhiên màu đỏ của đĩa, đột ngột biến mất, nhưng mắt của chúng ta đã lưu giữ cảm giác về nó, bởi vì, trong quang học, màu xanh lục là màu bổ sung của màu đỏ”). Jules Verne đã quay trở lại lý thuyết về màu bổ sung này trong tác phẩm *En Magellanie* viết năm 1897-1898 và được xuất bản dưới nhan đề *Les Naufragés du Jonathan* năm 1908: “Mặt trời chói lọi vừa chạm vào chân trời. Được mở rộng bởi khúc xạ, nó nhanh chóng bị rút lại còn một nửa hình cầu mà những tia cuối cùng ủa nó chiếu sáng bầu trời, rồi chỉ còn lại một mép chói sáng dần dần ngập xuống nước. Và khi đó thoát ra cái tia màu xanh lục này, nó là màu bổ sung của màu đỏ đã biến mất”.

Những lời giải thích trên đây không đúng. Tuy nhiên, Jules Verne đã tiến rất gần đến lời giải thích chính xác: trong đoạn trước, ông đã sử dụng một từ chính xác, đó là từ “khúc xạ”, mà không biết rằng chính nó là chìa khóa bí mật của lực quang tuyến. Trong khi đề cập đến cầu vồng, chúng ta đã thấy rằng khi ánh sáng thay đổi môi trường, chẳng hạn khi đi từ không khí vào nước, đường đi của nó bị lệch hướng, tức là nó bị khúc xạ. Tương tự, ánh sáng Mặt trời cũng bị khúc xạ - tức đường đi của nó bị bẻ cong - khi nó rời không gian để đi vào trong khí quyển Trái đất. Chiết suất của khí quyển - tức tỉ số của vận tốc của ánh sáng trong chân không và vận tốc của nó trong khí quyển - quyết định đường cong này. Chiết suất này phụ thuộc vào màu của ánh sáng, bản chất của các nguyên tử và phân tử không khí, và mật độ của chúng. Trong không gian trống rỗng, chiết suất bằng 1 đối với mọi màu, nhưng khi hạ thấp dần trong khí quyển, mật độ của không khí tăng và vận tốc của ánh sáng giảm, nên chiết suất tăng. Chiết suất đạt đến giá trị 1,0002941 đối với ánh sáng màu xanh lục trong không khí trong trên mặt biển.

Sự khúc xạ của khí quyển mang lại cho chúng ta những hiện tượng quang học rất đáng ngạc nhiên. Chẳng hạn, nó làm cho chúng ta nhìn thấy Mặt trời, Mặt trăng và các sao luôn luôn cao hơn một chút trong bầu trời so với vị trí thực của chúng. Khi Mặt trời lặn trên biển và khi phần dưới của nó có vẻ như chạm vào mặt nước, thì trên thực tế nó đã hoàn toàn nằm dưới đường chân trời rồi. Sờ dĩ như vậy là vì, trong không khí khô và với những gì liên quan đến ánh sáng màu vàng, góc khúc xạ từ mặt phẳng ngang đối với người quan sát đứng trên mặt biển là 39 phút góc, trong khi toàn bộ đĩa Mặt trời chỉ tương đương một góc 30 phút góc (hay nửa độ). Như vậy, Mặt trời mà chúng ta thấy ngay trên đường chân trời trước khi biến vào đêm tối chỉ là một ảo tượng! Chúng ta có thể giải thích điều này bằng cách bấm giờ chuyển động của Mặt trời qua bầu trời. Chuyển động này có vẻ như chậm lại khi Mặt trời đi xuống gần chân trời. Tuy nhiên, Mặt trời được coi là chuyển động với vận tốc không đổi, thực ra chuyển động biểu kiến của Mặt trời trong bầu trời không phải là do chuyển động quay của chính Mặt trời, mà là do chuyển động quay của Trái đất. Mà chuyển động quay của Trái đất là không đổi<sup>32</sup>. Chuyển động của Mặt trời trông có vẻ chậm lại là do sự khúc xạ của khí quyển. Sự khúc xạ này lớn hơn khi Mặt trời xuống dưới chân trời, ánh sáng phải đi qua một không khí có mật độ lớn hơn. Sự khúc xạ tăng lên này ó tác dụng bẻ cong thêm các tia

❖

<sup>32</sup> Chuyển động quay của Trái đất không hoàn toàn như nhau trên một thời kỳ dài. Mặt trăng đóng vai trò kim hãm chuyển động quay của Trái đất thông qua thủy triều của đại dương mà nó gây ra. Vận tốc quay của Trái đất chậm lại rất ít, khoảng 0,002 giây sau một thế kỷ. Xem Trịnh Xuân Thuận, *Hỗn độn và Hòa hòa*, sdd.

sáng Mặt trời và tạo ra cảm giác là Mặt trời vẫn ở trên đường chân trời, nhưng thực ra không phải như thế.

### *Một Mặt trời bị dẹt và biến dạng*

Bạn đã bao giờ thấy ở vài độ trên đường chân trời Mặt trời và Mặt trăng tròn trông không tròn, mà lại khá dẹt không? Đó cũng lại là một trò quang học khác của sự khúc xạ khí quyển. Mật độ của không khí ngày càng xuống thấp càng cao do trọng lượng của các tầng trên nén nó lại. Thế mà, như chúng ta đã thấy, Mặt trời có đường kính góc là nửa độ, điều này có nghĩa là ánh sáng đến từ phần dưới của Mặt trời phải đi qua một lớp không khí có mật độ lớn hơn so với ánh sáng đến từ phần trên, và do vậy nó bị lệch hướng nhiều hơn. Vì thế phần dưới của Mặt trời dịch lên phía trên nhiều hơn so với phần trên của nó, điều này làm cho Mặt Trời nhìn hơi bị dẹt (H.19 trong tập ảnh màu). Mặt trời bị dẹt nhiều hay ít phụ thuộc cùng lúc vào độ cao của người quan sát, vị trí của Mặt trời và các biến thiên nhiệt độ của khí quyển (không khí càng nóng thì mật độ của nó càng thấp). Trong các điều kiện nhiệt độ bình thường và với một bầu trời trong, Mặt trời bị dẹt khoảng 20% (tỉ lệ của các trục là 0,8 trên 1). Độ dẹt này sẽ còn lớn hơn nếu nhìn từ trên đỉnh núi, do lượng không khí bổ sung mà ánh sáng phải đi qua để đến từ chân trời tới người quan sát, điều này làm cho ánh sáng Mặt trời bị khúc xạ nhiều hơn. Khi đó Mặt trời có thể bị dẹt tới 40% (tỉ lệ của các trục là 0,6 trên 1).

Như vậy, ở gần chân trời, không chỉ Mặt trời trông dường như cao hơn trong bầu trời, mà nó còn dẹt hơn. Trong các hoàn cảnh đặc biệt, hình ảnh của Mặt trời thậm chí có thể bị biến dạng và phân mảnh. Hình dạng bất thường này, một lần nữa, lại là do khí quyển làm khúc xạ ánh sáng. Nó xuất hiện khi khí quyển không đồng nhất, khi có các biến thiên cục bộ và phân tầng về mật độ ở các độ cao thấp, hoặc khi có các đảo ngược nhiệt độ bất thường, chẳng hạn khi không khí nóng vượt lên trên không khí lạnh, trong khi nhìn chung càng lên cao thì nhiệt độ càng thấp.

### *Ảo giác, hay thực tại không ở nơi ta chờ đợi*

Rộng hơn nữa, tất cả các hiện tượng ảo tượng - một vũng nước lấp lánh trên đường nhựa và biến mất khi xe của bạn tiến đến gần, một ốc đảo với những cây cọ râm mát ngay giữa sa mạc khiến những lữ khách khát khô hy vọng sẽ được giải khát thoả thuê, nhưng thật đáng thất vọng là nó lại biến mất khi đến nơi,

các ngọn núi có vẻ như được treo lơ lửng trong không trung hay các lâu đài lơ lửng giữa trời – tất cả đều là các hậu quả của ánh sáng bị khúc xạ. Một ảo tượng không gì khác chính là hình ảnh bị khúc xạ của một cái gì đó tồn tại thực sự, nhưng vật này trên thực tế không nằm ở chỗ mà người ta nhìn thấy. Chẳng hạn, như chúng ta đã thấy, ảo tượng của Mặt trời nằm trên đường chân trời trong khi trên thực tế nó đã nằm ở dưới chân trời. Các ảo tượng xuất hiện ở những nơi các lớp không khí có nhiệt độ khác nhau chồng chập lên nhau: trong sa mạc, trên vỏ băng ở địa cực, hay trên mặt đường nhựa, nhựa đường bị Mặt trời nung nóng đã làm nóng không khí lạnh. Nếu mở mắt, thậm chí chúng ta có thể bắt gặp ảo tượng trên nóc xe ô tô vào một ngày trời nóng nực, hay ảo tượng ngay cạnh lò nướng bánh! Các chênh lệch nhiệt độ của không khí gây ra các chênh lệch về mật độ (không khí càng nóng thì mật độ càng thấp, không khí càng lạnh thì mật độ càng cao), và do vậy gây ra các chênh lệch về chiết suất làm cho đường đi của ánh sáng bị bẻ cong, tạo ra các ảo tượng và những hứa hẹn có nước trên sa mạc không bao giờ trở thành hiện thực.

### *“Lục quang tuyến” và hình ảnh bị phân tách của Mặt trời*

Sau khi đã làm quen với khúc xạ ánh sáng và các ảo tượng quang học mà nó có thể tạo ra, chúng ta hãy quay trở lại bí mật của “lục quang tuyến”. Tia này chủ yếu là do ánh sáng Mặt trời bị khúc xạ, nhưng cũng do nó bị hấp thụ và tán xạ nữa. Chúng ta đã thấy rằng, vì chiết suất phụ thuộc vào bước sóng, nên mỗi ánh sáng bị lệch hướng theo một góc khác nhau tùy theo màu của nó, hiện tượng mà các nhà vật lý học gọi là “sự tán sắc”. Ở gần chân trời, sự tán sắc của khí quyển tạo ra các hình ảnh đối với mỗi màu tách khỏi đĩa Mặt trời, chúng xê dịch nhẹ đối với nhau theo phương thẳng đứng. Vì các bước sóng ngắn bị khúc xạ mạnh nhất, nên trên bầu trời hình ảnh tím của Mặt trời nằm hơi cao hơn so với hình ảnh màu lam, hình ảnh màu lam lại cao hơn một chút so với hình ảnh màu lục, và cứ như vậy cho tới hình ảnh màu đỏ. Vì sự chuyển dịch của mỗi màu là rất nhỏ so với đường kính của Mặt trời, nên các hình ảnh chồng chập lên nhau, ngoại trừ ở mép trên có màu tím và mép dưới màu đỏ.

Những tia nắng cuối cùng trước khi Mặt trời lặn xuống dưới đường chân trời phải có màu của mép trên, nghĩa là màu tím. Nói cách khác, chúng ta phải quan sát được một tia tím chứ không phải một tia lục. Vậy thì vì lý do quái quỷ gì mà chúng ta lại thấy tia màu xanh lục chứ không phải màu tím? Ở đây nguyên nhân chính sự hấp thụ và tán xạ. Các quá trình này đã lấy đi một số màu của ánh sáng Mặt trời trên đường đi đến mắt chúng ta. Chẳng hạn, chính

hơi nước trong khí quyển đã hấp thụ ánh sáng và lấy đi một phần lớn màu vàng và cam. Như chúng ta đã thấy, sự tán xạ bởi các phân tử không khí và các hạt mịn lơ lửng trong khí quyển lấy đi màu xanh lam và màu tím của chùm sáng. Vì thế chỉ còn lại màu xanh lục ở mép trên và màu đỏ ở mép dưới. Khi tất cả đã biến mất dưới chân trời, ngoại trừ mép trên, chúng ta chỉ còn thấy một tia xanh lục (H. 19 trong tập ảnh màu). Vào những lúc hiếm hoi, khi không khí cực kỳ trong và chỉ có rất ít hạt lơ lửng, màu xanh lam gần như không bị tán xạ và sẽ có một tia màu lam chứ không phải màu lục đập vào mắt chúng ta.

Thời gian tồn tại của lục quang tuyến dài hay ngắn phụ thuộc phần lớn vào thời gian mà Mặt trời phải mất để lặn xuống dưới đường chân trời. Đến lượt mình, thời gian này lại phụ thuộc vào góc theo đó Mặt trời đi xuống phía chân trời, và bản thân góc này lại phụ thuộc vào độ cao nơi ta ngắm màn đêm buông xuống. Khoảng thời gian này rất ngắn ở xích đạo, ở đó Mặt trời đi xuống vuông góc với đường chân trời. Khi tôi trở về Việt Nam, đất nước ở gần xích đạo (trái từ vĩ tuyến thứ 9 đến 23), tôi luôn ngạc nhiên bởi sự chuyển tiếp đột ngột giữa ngày và đêm. Ở các vĩ độ cao, thời gian mà Mặt trời phải mất để lặn hẳn dài hơn vào mùa hè vì trong các vùng này Mặt trời xích lại gần đường chân trời dưới một góc nghiêng hơn và lặn xuống chân trời chậm hơn. Ở các vĩ độ của nước Pháp, lục quang tuyến có thể kéo dài vài giây. Nếu bạn đi đến Bắc cực (hay Nam cực), ở đó, vào mùa hè, Mặt trời không bao giờ lặn hoàn toàn (ngày ở đó kéo dài tới sáu tháng!), Mặt trời của chúng ta quét đường chân trời bắc (hoặc nam) đồng thời chỉ ló ra mép trên của nó. Lục quang tuyến khi đó có thể được nhìn thấy trong vài phút, thậm chí vài chục phút. Trong cuộc thám hiểm của đô đốc người Mỹ Richard Byrd (1888-1957) đến cực Nam năm 1929, lục quang tuyến đã xuất hiện ngắt quãng, giữa các tảng băng trôi nổi, trong khoảng ba mươi lăm phút, khi Mặt trời xuất hiện trở lại sau một đêm dài nam cực và quét qua chân trời.

### *Màu của nước*

Với vô vàn các biến thiên về màu sắc, cảnh nước kết hợp với ánh sáng thật mãn nhãn. Màu xanh thắm của đại dương mang lại cho chúng ta niềm vui, trong khi màu xám của những ngày xấu trời khiến chúng ta cảm thấy u buồn. Ai mà không thích thú với màu xanh ngọc của hồ nước mặn ở ven biển Caribe, hay không rung cảm trước màu đỏ cam của cảnh hoàng hôn trên biển. Ngay cả một cốc nước cũng khiến chúng ta phải sửng sò trước độ trong hoàn



hảo của nó. Dù ở đâu nước cũng có hàng nghìn màu sắc tồn tại ngắn ngủi và thay đổi tùy theo hoàn cảnh. Liệu nước có một màu riêng không? Nếu có, thì đó là màu gì? Hay điều gì khiến cho nước có hàng nghìn màu khác nhau làm chúng ta thích thú?

Sở dĩ nước có màu sắc đa dạng và thay đổi đến thế là bởi vì ánh sáng mà nó truyền hoặc truyền trở lại mắt chúng ta, làm cho chúng ta thấy nó, là tổng hợp của ba ánh sáng khác nhau. Đó là ánh sáng của một khối nước có thể đến từ bề mặt, từ giữa hay từ đáy của nó. Đó cũng có thể là ánh sáng được phản chiếu, tán xạ hay khúc xạ. Chẳng hạn, một tia sáng đến từ Mặt trời có thể hoặc bị mặt nước phản chiếu, hoặc đi vào trong nước đồng thời bị khúc xạ lần thứ nhất ở bề mặt, và khi đã vào trong nước nó bị nước tán xạ và bị khúc xạ lần thứ hai khi ra khỏi nước để quay trở lại không trung. Và đó cũng có thể là tia sáng Mặt trời bị khúc tán xạ lần đầu tiên ở mặt nước, đi qua nước rồi bị đáy phản chiếu và khúc xạ lần thứ hai ở mặt phẳng ngăn cách giữa nước và không khí. Chính sự kết hợp vô cùng phong phú của các loại ánh sáng khác nhau này đã làm cho nước có vô số màu sắc khác nhau. Tùy theo hoàn cảnh, một trong số các loại ánh sáng đó có thể nổi trội hơn. Chẳng hạn, ở vùng nước sâu và trong, ánh sáng bị đáy phản chiếu là không đáng kể, vì thế ánh sáng bị khúc xạ ở bề mặt sẽ là trội nhất, màu của nước vì thế chủ yếu có màu da trời bị phản chiếu. Ngược lại, ở vùng nước nông và trong, chính ánh sáng bị đáy phản chiếu là nổi trội nhất, và do vậy chủ yếu màu của đáy quyết định màu của nước. Ngược lại, ở vùng nước đục, ánh sáng chủ yếu là ánh sáng bị những trầm tích lơ lửng gần bề mặt tán xạ.

Vậy liệu nước có một màu riêng của mình không? Câu trả lời là có nếu nước đủ sâu để ánh sáng bị phản chiếu là không đáng kể, như trường hợp nước biển. Nước biển có một màu riêng, và màu này là màu xanh lam. Màu xanh lam này là kết quả của các hiệu ứng kết hợp của tán xạ và hấp thụ ánh sáng Mặt trời của nước biển. Hấp thụ đóng vai trò thiết yếu, vì nếu nước biển chỉ tán xạ ánh sáng thì màu của nó sẽ là trắng nhạt, mọi ánh sáng trắng của Mặt trời đi vào trong nước cuối cùng đều phải thoát ngược trở lại. Nhưng tán xạ cũng không kém phần quan trọng, vì nếu nước biển chỉ hấp thụ ánh sáng thì nó sẽ tối đen như mực. Thật vậy, trong trường hợp này, cách duy nhất để ánh sáng thoát ngược trở lại là đi xuống đáy của đại dương và từ đó phản chiếu ngược trở lại. Đường đi dài xuống tận đáy đại dương làm cho ánh sáng bị hấp thụ hoàn toàn. Chính tán xạ photon cho phép ánh sáng thoát ngược trở lại và đập vào mắt chúng ta mà không phải chạm xuống đáy và không bị hấp thụ hết. Sở

dĩ nước có màu xanh lam bởi vì các phân tử nước thích hấp thụ màu cam và màu đỏ hơn so với màu xanh lam và màu tím. Trên thực tế, nước trong nhất có màu lam-lục, với ánh sáng có bước sóng khoảng 480 nanomet.

Bởi vì đi qua càng nhiều nước thì ánh sáng bị hấp thụ càng nhiều, nên khối nước càng sâu thì màu xanh lam của nó càng sẫm. Như vậy, khi nước nông, như trong một giọt nước hay một cốc nước, sự hấp thụ gần như không xảy ra, và nước trong như tinh thể. Nhưng khi bạn đổ đầy nước vào bồn tắm, bạn đã có thể nhận thấy một màu xanh lam rất nhạt. Trên thực tế, một lớp nước sâu một mét hấp thụ 10% màu vàng, 20% màu đỏ, và chỉ 1% màu xanh lam. Nước của một bể bơi còn lam hơn, và nước biển thì hoàn toàn lam. Ở độ sâu 10 m dưới mặt nước biển, 60% màu vàng và 90% màu đỏ bị hấp thụ, so với chỉ 20% màu xanh lam. Khi bạn xuống rất sâu dưới đáy biển, toàn bộ ánh sáng bị hấp thụ, và màu của nước trở thành đen. Lần sau khi bạn lặn dưới biển, bạn đừng quên để ý xem màu xanh lam của đại dương có ngày càng sẫm hơn khi bạn xuống sâu hơn không nhé.

### *Hành tinh xanh và bọt trắng*

Bạn sẽ nói với tôi rằng bạn không cần phải lặn xuống đáy biển mới thấy biển màu xanh lam. Chẳng hề cần phải ướt chân bạn vẫn có thể ngắm màu xanh của mặt nước biển khi đứng trên bờ, hoặc trên tàu thủy hay máy bay. Và bạn hoàn toàn có lý, vì không phải hấp thụ cũng không phải tán xạ ánh sáng Mặt trời là nguyên nhân chính tạo màu cho nước biển, mà chính mặt nước phản chiếu màu da trời. Chính vì bầu trời có màu xanh lam nên màu của các đại dương vốn chiếm ba phần tư Trái đất cũng có màu xanh lam, điều này làm cho nó xứng với cái tên dịu dàng và xinh đẹp “hành tinh xanh”. Sự phản chiếu ánh sáng của bầu trời xảy ra theo nghìn lẻ một cách. Bề mặt của đại dương luôn động và thay đổi, nhờ gió và địa hình của bờ. Nhưng nếu trời đầy mây, thì đại dương có màu xám buồn tẻ. Màu xám này là kết quả của hỗn hợp ánh sáng lam nhạt dưới mặt nước bị tán xạ với ánh sáng trắng ở trên mặt nước từ các đám mây chiếu xuống. Khi Mặt trời lặn, nước biển phản chiếu bầu trời hoàng hôn sẽ được trang điểm bằng vô số lớp màu cam và đỏ. Đáy biển không có ảnh hưởng trực tiếp lên màu nước dưới độ sâu một mét. Nhưng, gần bờ, khi nước trong và nông, ánh sáng bị đáy phản chiếu đến được mắt chúng ta sẽ hòa trộn với ánh sáng lam của bầu trời bị mặt nước phản chiếu, tạo cho biển màu một màu xanh lục tuyệt đẹp.

Màu của nước cũng bị ảnh hưởng bởi các hạt nhỏ. Ngay cả nước hồ trên núi thuộc loại trong nhất cũng chứa các hạt lơ lửng, các hạt này, theo tính chất riêng của các loại khoáng cấu thành chúng, tán xạ ánh sáng có màu nhất định và tạo cho nước một màu đặc trưng. Chẳng hạn, chính bùn lơ lửng từ các sông băng chảy vào tạo cho các hồ trên núi màu ngọc lam tuyệt đẹp. Màu ngọc lam này là kết quả của sự hỗn hợp giữa màu xanh lam của nước và màu trắng nhạt do bùn tán xạ ánh sáng Mặt trời tạo ra.

Một câu hỏi nữa được đặt ra: nếu màu riêng của nước là xanh lam, thì tại sao bọt nước, thứ “bọt” xuất hiện trong nước bị khuấy động, lại có màu trắng thế (H. 20 trong tập ảnh màu)? Giải thích thế nào màu của bọt sóng tan trên bờ biển, hay của nước đổ xuống từ thác Niagara? Điều này là do bọt không chỉ được tạo thành từ nước, như chúng ta vẫn tưởng một cách hơi quá ngây thơ, mà còn cả từ các bọt khí được bao quanh bởi nước nữa. Các bọt khí này cũng tán xạ ánh sáng. Chúng có các đường kính rất đa dạng, từ vài trăm nanomet cho tới vài milimet. Tùy theo kích thước mà mỗi bọt khí tán xạ một ánh sáng có một màu nhất định nào đó, nhưng tổng của tất cả các màu do bọt khí tán xạ là ánh sáng có màu trắng. Hiện tượng tương tự cũng xảy ra khi bạn nghiền một chất màu thành bọt: dù chất đó có màu riêng là gì đi nữa, thì các hạt rất mịn tán ra từ nó cũng đều có màu trắng. Giờ bạn đã hiểu tại sao bọt của rượu sâm-panh – mặc dù rượu có màu vàng nhạt - lại luôn là màu trắng: màu bắt mắt của nó bắt nguồn từ hiệu ứng tập thể của toàn bộ bọt rượu tán xạ ánh sáng...

### *Bản giao hưởng của các đám mây*

Là các thể trắng như bông lơ lửng trong mênh mông bầu trời, các đám mây ban tặng chúng ta một bản giao hưởng các hình dạng thuộc loại kỳ lạ nhất, mang lại cho chúng ta biết bao khoái cảm (H. 21 trong tập ảnh màu). Chúng phô bày trước mắt ta một cảnh tượng vô cùng đa dạng, phá vỡ sự nhàm chán, đơn điệu của bầu trời xanh đến hút tầm mắt, làm cho bầu trời bắt mắt hơn. Nhưng một đám mây thực ra là gì?

Tập hợp các hạt rất mịn được giữ lơ lửng trong khí quyển bởi các chuyển động thăng đứng của không khí, một đám mây nhìn chung được cấu thành từ các giọt nước nhỏ hoặc các tinh thể băng có kích thước khoảng từ 1-100 micron (một micron bằng một phần triệu mét). Do lực hấp dẫn, tất cả các hạt này đều bị kéo nhẹ xuống dưới. Các hạt to hơn, có kích thước cỡ 100 micron, sẽ rơi xuống với vận tốc khoảng 30cm/s. Do lớn hơn 100 micron, các giọt nước trở

nên quá nặng nên không thể lơ lửng mãi trong không khí: chúng sẽ rơi xuống dưới dạng sương mù hoặc mưa. Còn các hạt nước nhỏ hơn, có kích thước cỡ 1 micron, lại quá nhẹ nên không thể rơi xuống mặt đất được; vận tốc rơi của chúng chỉ bằng một phần milimét mỗi giây, nên chúng luôn lơ lửng trong không khí theo tính thất thường của nòng gió.

Mặc dù có thể nhìn thấy các đám mây rất rõ trong bầu trời, nhưng chúng là các thực thể vô cùng tinh tế<sup>33</sup>. Một đám mây tích có thể chứa cả nghìn giọt nước nhỏ trên mỗi xentimét khối, nhưng các giọt nước này cách nhau rất xa, làm cho đám mây tích (cũng như tất cả các đám khác) choán một thể tích lớn. Ngược lại, nếu bạn tập hợp tất cả các giọt nước của đám mây tích lại, thì chúng cũng chỉ chiếm một phần tỉ thể tích của đám mây: toàn bộ phần còn lại chỉ là không khí.

Mây được hình thành khi không khí trở nên “bão hòa” độ ẩm, nghĩa là khi trong khí quyển có nhiều hơi nước hơn mức mà không khí có thể chứa được. Không khí nóng có thể chứa nhiều hơi nước hơn không khí lạnh. Chẳng hạn, ở trên mặt nước biển, không khí bị bão hòa ở 23°C chứa 23g hơi nước trên một mét khối, trong khi ở 0°C nó chỉ chứa chưa đến 5 g/m<sup>3</sup>. Người ta có thể hỏi tại sao hình dạng kỳ lạ của các đám mây lại khác nhau đến như thế. Tại sao chu vi và các đường biên của chúng lại không bị nhoè? Nếu mây sinh ra từ làn sóng thẳng đứng của không khí, thì câu trả lời nằm ngay trong cách không khí bay lên cao. Các đám mây có những đường bao rõ nét là do không khí không bay lên theo một làn sóng liên tiếp, mà theo từng “gói không khí” rời rạc.

Trong khi rất ít vật trong tự nhiên thực sự có màu trắng, thì các đám mây lại cho chúng ta một minh họa hoàn hảo về màu trắng tinh khiết. Chúng có cùng màu với bột nước, và về nguyên tắc vì cùng một lý do: các thể cầu nhỏ tán xạ ánh sáng Mặt trời. Thực vậy, các đám mây trong một chừng mực nào đó là “ngược” so với các bột nước: trong khi mây là tập hợp các giọt nước được bao quanh bởi không khí, thì bột nước được tạo thành từ các bột khí được bao quanh bởi nước. Về khả năng tán xạ ánh sáng, thì các giọt nước và bột khí không có gì khác nhau. Nếu mỗi giọt nước (hay mỗi bột khí) có một kích thước riêng tán xạ một màu cụ thể nào đó, thì sự tán xạ bởi tổng thể các giọt nước trong một đám mây theo tất cả các kích thước khả dĩ làm cho tất cả các màu



<sup>33</sup> Các đám mây được chia thành mười loại khác nhau tùy theo cách hình thành và độ cao của chúng: mây trung tích, mây trung tầng, mây quyển tích, mây quyển tầng, mây quyển, mây tích vũ, mây tích, mây tầng mưa, mây tầng tích và mây tầng.

đều được trình hiện và cộng với nhau để cho ra màu trắng. Điều này đặc biệt đúng đối với các đám mây dày làm cho ánh sáng Mặt trời đi vào gặp rất nhiều giọt nước nhỏ và bị lệch hướng nhiều lần liên tiếp (gọi là “đa tán xạ”) trước khi quay ngược trở lại. Sự tán xạ của ánh sáng bởi các tinh thể băng phức tạp hơn, bởi vì các tinh thể này không có hình cầu, mà có hình dạng không đều; nhưng rốt cuộc kết quả vẫn như nhau: các đám mây băng cũng có màu trắng.

### *Các đám mây đen của cơn giông*

Hãy ngược mắt lên trời và ngắm một đám mây tích. Một số có màu sáng và trắng muốt; một số khác lại tối hơn, màu xám nhạt. Không nên suy ra từ đó rằng các đám mây tích đen được cấu thành từ các giọt nước bắn hơn các giọt nước của các đám mây tích trắng! Màu đen của các đám mây không có liên quan gì đến độ bắn của chúng, mà liên quan đến việc chúng được chiếu sáng như thế nào: chúng đen hơn bởi vì chúng ít được chiếu sáng hơn so với các đám mây bên cạnh. Một đám mây có thể được chiếu sáng ít bởi vì nó nằm trong bóng của các đám mây bên cạnh, hoặc bởi vì nó mỏng hơn các đám khác. Trên thực tế, ngoài việc nó được chiếu sáng, thì một nhân tố khác quyết định độ sáng của một đám mây là độ dày, từ đó sinh ra độ trong suốt của nó. Trong một đám mây dày, sự tán xạ nhiều lần của ánh sáng Mặt trời đóng một vai trò quan trọng. Nếu không có một nguồn ánh sáng nào chiếu sáng đám mây từ đằng sau, thì độ sáng của nó sẽ chủ yếu được quyết định bởi ánh sáng chiếu tới nó từ đằng trước và sau đó bị tán xạ và hướng đến chúng ta. Nếu được chiếu sáng nhiều thì nó sẽ rất trắng.

Ngược lại, hãy xét trường hợp một đám mây mỏng. Nó sẽ truyền một phần ánh sáng của bầu trời màu xanh lam ở đằng sau nó, trong khi phần lớn ánh sáng Mặt trời trực tiếp đến từ đằng trước sẽ xuyên qua nó mà không bị phản chiếu đến mắt chúng ta. Ánh sáng của bầu trời được truyền qua mây như vậy có màu xanh nhạt và yếu, so với độ sáng chói và trắng của các đám mây bên cạnh, và đám mây mỏng sẽ có màu xám.

Cũng chính sự đa tán xạ là nguyên nhân làm cho các đám mây giông có màu đen và đầy hăm dọa. Chừng nào một đám mây giông còn tiếp tục tích những giọt nước mưa và to dần lên, thì chừng ấy nó vẫn sáng. Nhưng khi mây tích đã “chín muồi”, nghĩa là khi nó không to thêm và không bay lên cao nữa, thì phần trên của nó (gọi là “đe”, do hình dạng tương đối dẹt của nó) sẽ tối đi. Nếu chúng ta có thêm những nếp nhăn theo tuổi tác, thì các đám mây tích

càng lớn trông càng tối. Và sở dĩ như vậy là vì theo thời gian các giọt nước của chúng to lên và giảm về số lượng, làm cho các quá trình đa tán xạ ánh sáng trở nên kém hiệu quả hơn.

Chúng ta hãy cùng tìm hiểu xem tại sao.

Các giọt nước của một đám mây “trẻ” rất nhỏ. Nhưng, theo thời gian, chúng va chạm và kết tụ với các giọt khác và trở nên to hơn. Khi kích thước tăng, các giọt nước bay hơi ít hơn và như vậy mất ít nước hơn so với các hạt nước nhỏ, nên độ lớn của chúng được duy trì. Nhưng, vì kết tụ lại với nhau nên số lượng của chúng giảm xuống. Chúng ta hãy xét hai đám mây có tuổi khác nhau, nhưng chứa cùng lượng nước trên mỗi xentimét khối. Đám mây “già” có các giọt nước đường kính 50 micro mét, trong khi giọt nước của đám mây “trẻ” có đường kính nhỏ hơn 10 lần, tức 5 micro mét. Như vậy, thể tích của giọt nước hình cầu của đám mây già như vậy lớn hơn thể tích của giọt nước của đám mây trẻ một nghìn lần. Bởi vì hai đám mây chứa một lượng nước như nhau trên mỗi xentimet khối, nên điều này có nghĩa là số giọt nước trên mỗi xentimet khối trong đám mây già ít hơn số hạt nước trong đám mây trẻ một nghìn lần. Trong khi đó, khả năng tán xạ ánh sáng của một giọt nước tỉ lệ với diện tích, và như vậy nghĩa là tỉ lệ với bình phương đường kính của nó. Do đó, giọt nước nhỏ của đám mây trẻ sẽ tán xạ ánh sáng kém hơn giọt nước to của đám mây già một trăm lần. Dù hiệu quả tán xạ thấp hơn nhưng do vượt trội về số lượng nên rốt cuộc kết quả tán xạ ánh sáng bởi tổng các giọt trong một gam nước của đám mây trẻ vẫn cao hơn mười lần các giọt nước to của đám mây già! Như trong cạnh tranh quốc tế, ở đây dân số đóng vai trò quan trọng: ngay cả khi một nước có nguồn nhân lực trình độ thấp, nhưng nước đó rốt cuộc vẫn thắng do số dân lớn hơn, vì nhân công ở nước đó rẻ hơn! Bởi vì đám mây càng già thì sự đa tán xạ của nó càng kém hiệu quả, nên nó càng tối. Chính vì thế các đám mây giông chứa đầy các giọt nước lớn đầy hăm dọa có vẻ ngoài tối và xám.

#### *Sét và cơn giận dữ của các thần*

Những cơn giông tạo ra những cảnh tượng ánh sáng kinh hoàng, đôi khi nguy hiểm, nhưng không vì thế mà thiếu đi vẻ đẹp: đó dĩ nhiên là các tia chớp. Tia chớp, vốn chỉ kéo dài một phần giây, kèm theo sau là tiếng sấm nổ. Chúng ta nhìn thấy tia chớp trước sấm, bởi vì vận tốc của ánh sáng cao hơn rất nhiều vận tốc của âm thanh. Ánh sáng của tia chớp đến với chúng ta với vận tốc

thấp hơn 300.000 km/s một chút (vận tốc của ánh sáng trong không khí trong, trên mặt biển, thấp hơn vận tốc của nó trong chân không 0,03%), trong khi âm thanh đến với chúng ta chậm hơn, chỉ với vận tốc 0,34 km/s. Nếu bạn ghi thời gian trôi giữa tia chớp và tiếng sấm nổ, thì bạn có thể suy ra khoảng cách của nó (tính bằng km): chỉ cần nhân thời gian này (tính bằng giây) với 0,34. Thông thường, nếu khoảng thời gian này không lớn hơn một phút thì ở ngoài bán kính khoảng hai mươi kilômét sẽ không nghe được tiếng sấm. Ánh sáng của tia chớp không ổn định, mà thẳng giáng rất nhanh. Sự nhấp nháy này có nghĩa là tia chớp không phải do một sự kiện duy nhất phát ra, mà là do một chuỗi nhiều cú sét rất ngắn, cách nhau những khoảng thời gian cũng rất ngắn ngủi. Một tia chớp có thể gồm tới hai mươi lăm cú sét khác nhau, mỗi cú kéo dài khoảng một phần mười micro giây. Khi gió thổi mạnh, đường đi của sét có thể bị đẩy sang một bên, tạo ra một loạt các tia ngoằn ngoèo trong không gian (H. 22 trong tập ảnh màu).

Nhìn từ không gian bởi các vệ tinh trên quỹ đạo, Trái đất chìm trong màn đêm phát lộ các vùng ở đó hoạt động giông bão gần như không bao giờ ngưng. Phần lớn các cơn giông xảy ra trên lục địa. Các tia chớp hoặc các cú sét đi kèm gây chết chóc và tàn phá trên khắp thế giới mạnh hơn bất kỳ hiện tượng khí hậu nào khác. Mỗi giây lại có 100 cú sét đánh ở đâu đó trên Trái đất. Chỉ tính riêng trên lãnh thổ nước Mỹ, mỗi năm sét đánh chết hàng trăm người và làm bị thương gần hai trăm người. Các tổn thất mà sét gây ra cho nhà cửa và tàu bè đã giảm đáng kể nhờ phát minh ra cột thu lôi, nhưng rất khó bảo vệ người và động vật giữa đường gập giông. Trốn vào xe ô tô là giải pháp hay, vì thùng xe là một dạng "lồng" cách điện bảo vệ ta tránh khỏi các dòng điện. Nhưng cây cối trong rừng thì bị phó mặc cho sét và các hỏa hoạn do nó gây ra.

Đây là nguồn gốc của sét (H. 58), những đường lửa ngoằn ngoèo phóng từ bầu trời xuống đất giữa các cơn gió thổi mạnh, một trận mưa dữ dội và các tiếng sấm kinh hoàng, như để trừng phạt tội lỗi của con người? Tất cả các truyền thuyết xưa đều coi sét là biểu hiện cơn giận dữ của các thần. Người Hy Lạp thể hiện thần Zeus, vị thần tối cao trên đỉnh Olympia, là người giữ sét trong tay. Zeus duy trì trật tự và công lý trên Trái đất bằng cách phóng sét vào những ai mà vị thần này muốn trừng trị. Đối với người La Mã, sét là biểu hiện sự giận dữ của thần Jupiter, còn đối với người Ấn Độ, sét biểu thị sự giận dữ của thần Indra.

Chính triết gia vô thần và duy vật người La Mã Lucretius (98-55 tr. CN) là người đầu tiên nghi ngờ cách giải thích sét là sự biểu hiện cơn giận dữ của



**Hình 58.** Tháp Eiffel như một cột dẫn điện khổng lồ. Bức ảnh chụp tháp Eiffel bị sét đánh này là một trong những bức ảnh lâu đời nhất cho thấy hiệu ứng của sét trong môi trường đô thị. Nó được M. G. Loppé chụp ngày 3 tháng 6 năm 1902, lúc 21h20 và được công bố trên tờ *Bulletin de la Société astronomique de France* (Bản tin của Hội thiên văn học Pháp), tháng 5 năm 1905.

thánh thần, và ông đã tìm cho nó một cách giải thích khoa học. Trong khuôn khổ huyền thoại, ông không thể tìm ra câu trả lời thỏa đáng cho rất nhiều câu hỏi mà ông đặt ra. Nếu sét thực sự là cách mà thần Jupiter sử dụng để trừng phạt những kẻ độc ác, thì tại sao sét lại đánh cả người tốt lẫn người xấu mà không hề có sự phân biệt? - Lucrece tự hỏi. Tại sao sét lại đánh cả ở giữa sa mạc nơi không có một linh hồn sống nào. Tại sao thần bầu trời, thần ánh sáng, thần sét và thần sấm lại lãng phí sức mạnh của mình đến như thế? Tại sao thần Jupiter thỉnh thoảng lại đánh vào cả các ngôi đền tuyệt mỹ xây



dụng để thờ phụng thần, trong khi lẽ ra thần phải bảo vệ chúng mới phải chứ? Tại sao thần không bao giờ nổi giận và tung ra các cú sét khi trời đẹp và nắng? Tại sao thần lại thích những nơi cao, sét của thần thường đánh vào các đỉnh núi hơn là xuống đồng bằng? Do không có câu trả lời, Lucrece đã quay trở lại với giải thích khoa học. Ông đưa ra một lý thuyết theo đó sét và sấm được sinh ra do các đám mây va chạm vào nhau. Theo ông, sét như một dạng lửa giống như lửa củi, điều này không đến mức phi lí lắm nếu nghĩ đến các trận cháy rừng mà sét gây ra. Mãi rất lâu về sau người ta mới hiểu rằng các tia sét rất có thể là do một tia lửa nhưng bản thân chúng không phải là lửa.

### *Chế ngự sét*

Nghiên cứu thực nghiệm về sét chỉ thực sự bắt đầu vào năm 1750 với nhà vật lý kiêm chính trị gia người Mỹ Benjamin Franklin (1706-1790)<sup>34</sup>. Ông đã kiểm tra giả thuyết theo đó sét có bản chất điện. Giả thuyết này dựa trên quan sát các tia chớp trong một trận giông rất giống với các tia lửa điện trước đó đã được nhiều nhà khoa học đưa ra, trong đó có nhà bác học nổi tiếng Isaac Newton. Trong một bức thư gửi Hội Hoàng gia Luân Đôn (mà thực chất là Viện Hàn lâm Khoa học Anh), Franklin đã giới thiệu thí nghiệm sau: từ trên đỉnh của một tháp cao, hút điện của một đám mây giông xuống đất bằng một thanh kim loại dài. Franklin không thể tự mình thực hiện thí nghiệm này, vì thành phố Philadelphia nơi ông sinh sống vẫn chưa có ngọn tháp nào đủ cao. Thách thức này đã không được các nhà bác học Anh chấp nhận, nhưng đã được thực hiện ở Pháp nơi các công trình khoa học của Franklin được nhiều người đi theo và hâm mộ. Năm 1752, Thomas François d'Alibard người Pháp (1703-1799) đã hút được các tia chớp điện của bầu trời bằng một cây sắt dài khoảng chục mét dựng trong một khu vườn ở Marly-la-Ville, gần Paris. Thí nghiệm chứng minh các đám mây giông chứa điện đã được đăng trên trang nhất của các tờ báo thời đó và đã được đánh giá là “phát hiện lớn nhất kể từ các phát minh của Ngài Isaac Newton”.

Trong thời gian đó, Benjamin Franklin đã tìm ra một cách khác rất khéo léo để thực hiện thí nghiệm nổi tiếng của mình: nếu ông không thể dựng một cây sắt lên đỉnh tháp, thì ông có thể hút điện của một đám mây giông bằng cách



<sup>34</sup> Benjamin Franklin là một trong những người viết, cùng với Thomas Jefferson, Tuyên ngôn độc lập của nước Mỹ năm 1776.

gắn một chìa khóa kim loại lên một cái điều! Bằng cách đó, quả thật ông đã hút được sét của trời. Là một người có đầu óc cực kỳ thực tiễn, ông đã biết ngay phải sử dụng phát minh của mình như thế nào để bảo vệ nhà cửa khỏi bị sét đánh: chỉ cần dựng một cọc kim loại lên mái nhà là có thể hút được điện tích của bầu trời và dẫn chúng xuống đất, ở đó chúng sẽ mất đi sức công phá của mình. Đó chính là phát minh ra cột thu lôi, tạo thêm vinh quang cho Franklin. Vào cuối năm 1752, không chỉ nhà của Franklin được lắp cột thu lôi, mà cả rất nhiều tòa nhà công và nhà thờ tại các khu kiều dân Mỹ tại Pháp. Khi ông được bổ nhiệm làm đại sứ trẻ nhất trong số các đại sứ của nước Mỹ tại Pháp, người đàn ông khuất phục sét này đã được rất nhiều phụ nữ đẹp trong các salông sang trọng ở Paris yêu mến, và danh tiếng lớn đã mang lại cho ông rất nhiều thành công ngoại giao (và cả tình ái nữa!).

Cũng như tất cả các phát minh lớn, phát minh của Franklin đã vượt qua nhiều thế kỷ: các cột thu lôi được lắp cho các tòa nhà ngày nay giống như hai giọt nước với cột thu lôi đầu tiên, chỉ trừ một điều là thay vì một cọc nhọn, hệ thống chống sét ngày nay bao gồm nhiều cọc, bao phủ toàn bộ mái và xà nhà cần được bảo vệ. Nhưng lý thuyết điện của Franklin thì không có được một tuổi thọ cao như thế. Franklin nghĩ rằng điện là một chất lỏng. Quan niệm này phổ biến ở thời ông, và một số thuật ngữ về điện mà chúng ta sử dụng ngày nay vẫn phản ánh điều đó, chẳng hạn ta nói đến *dòng* điện. Bây giờ ai cũng hiểu chắc chắn rằng điện không phải là một chất lỏng, mà là một luồng gồm một số lượng rất lớn các hạt đồng nhất gọi là "electron", mỗi electron chứa một điện tích nguyên tố bản âm. Tuy nhiên, Franklin đã dự đoán được bản chất hạt của điện khi ông tiên tri như thế này: "Vật chất điện được cấu thành từ các hạt cực kỳ nhỏ, bởi vì nó có thể xuyên qua vật chất thông thường, ngay cả các kim loại có mật độ cao nhất, một cách rất dễ dàng và tự do như không gặp phải bất kỳ cản trở nào". Nhưng quan điểm này quá tiến bộ đối với thời của ông, và đã bị lý thuyết coi điện là một chất lỏng vốn rất phổ biến thời đó quét sạch.

### *Sự phóng điện trong không khí*

Ngày nay, người ta nghĩ rằng sét xuất hiện khi tự nhiên cố gắng làm trung hòa hiệu điện thế được tạo ra trong lòng các đám mây hoặc giữa các đám mây và mặt đất trong cơn giông. Ý tưởng như sau: khi rơi xuống mặt đất, các giọt nước mưa bị chia tách và trở nên phân cực về điện. Khi chia tách như thế, phần dưới của giọt nước, to hơn, tích điện dương, trong khi phần trên của nó nhỏ

hơn tích điện âm. Nếu các cơn gió mạnh thổi theo phương thẳng đứng mang theo những giọt nước nhỏ nhất lên phần trên của đám mây, thì các hạt nặng hơn, dưới tác dụng của lực hấp dẫn, sẽ lại đi xuống phần dưới đám mây, tạo ra một hiệu điện thế: phần trên của đám mây được tích điện âm trong khi phần dưới tích điện dương. Mặt đất nằm dưới một đám mây như thế cũng sẽ tích điện âm, và do đó cũng tạo ra một hiệu điện thế. Tự nhiên vốn “ghét” những chênh lệch điện thế này và cho triệt tiêu chúng bằng cách phóng điện, tức là tạo ra sét. Phóng điện giữa một đám mây và mặt đất tạo ra “sét mặt đất”, trong khi phóng điện xảy ra bên trong chính đám mây hoặc giữa các đám mây tạo ra “sét giữa các đám mây”. Lucrece đã đi đúng hướng: chính mây là nguyên nhân sinh ra sét; chỉ có điều không phải các va chạm giữa các đám mây, mà là các giọt nước phân cực về điện trong các đám mây mới sinh ra sét. Còn về tiếng sấm, thì nó là do các sóng xung kích được khởi phát bởi sự phóng điện trong không khí sinh ra.

Ngày nay chúng ta vẫn chưa biết tại sao các tia chớp lại đi xuống đất theo đường zig zag hoàn toàn không thể dự báo được. Trên đường đi của nó xuống đất, tia chớp bị phân nhánh rất nhiều lần. Đến gần mặt đất, một số tia phóng điện lệch khỏi con đường đi ban đầu, tạo ra các chớp hình “đĩa” hay “nhánh” (H. 22 trong tập ảnh màu). Như chúng ta đã thấy, một chớp sáng không phải là một sự kiện duy nhất, mà là một chuỗi các chớp riêng rẽ. Chuỗi các chớp này, mặc dù đi theo cùng một con đường, nhưng lại khác nhau bởi các chi tiết nhỏ, bộc lộ các đặc tính của sự phóng điện. Nhờ các đoạn phim chụp diễn tiến theo thời gian của các tia chớp giống, người ta thấy rằng tia chớp đầu tiên chứa rất nhiều phân nhánh không còn xuất hiện trong các chớp sau. Do có hình dạng rất bất thường nên tia chớp được gọi là “vật fractal”, nghĩa là một vật mà số chiều không biểu diễn được bằng một số nguyên, mà bằng một phân số. Chiều của nó không phải là 1, như một đường thẳng, không phải là 2, như một mặt phẳng, mà là ở giữa đường thẳng và mặt phẳng<sup>35</sup>.

Các tia chớp đi từ các đám mây đến mặt đất dường như có các màu khác nhau. Một lần nữa tán xạ và hấp thụ của khí quyển lại tham gia cuộc chơi: chúng làm đỏ các tia chớp xa nhất.

Một số phun trào núi lửa cũng có thể phát ra các tia chớp. Cả ở đây cũng vậy, phóng điện là nguyên nhân: tro bắt nguồn từ sự phun trào của núi lửa va chạm với nhau và giải phóng các điện tích dương và âm, tạo ra hiệu điện



35 Xem thêm Trịnh Xuân Thuận, *Hỗn độn và Hài hòa*, sđd.

thế bên trong đám mây núi lửa. Các chên lệch về điện thế này được triệt tiêu bằng phóng điện.

### *Vẻ đẹp lộng lẫy của quang cực Bắc*

Cũng chính các hạt tích điện là nguồn gốc của các cảnh tượng ánh sáng rất đẹp – đó quang cực Bắc. Chúng ta không khỏi lóa mắt trước vẻ đẹp hùng vĩ của chúng. Các quang cực Bắc là các tia sáng đa sắc và lan toả, di chuyển chậm chạp trong bầu trời và chỉ có thể quan sát được chúng ở các vĩ độ cao, khi bầu trời đêm trong và quang mây, tối và không có trăng (H. 23 trong tập ảnh màu). Chúng cũng xuất hiện ở Bán cầu Nam, và được gọi là “quang cực Nam”. Là một trong những cảnh tượng ánh sáng đẹp nhất của tự nhiên, quang cực mang lại cho chúng ta một festival các màu sắc thần tiên khiến chúng ta phải ngẩn ngơ chiêm ngưỡng. Màu sắc, hình dạng và chuyển động của cực quang có thể nói là phong phú đến vô cùng. Đúng là chúng thường có màu lục-vàng, nhưng có thể quan sát được tất cả các màu từ tím đến đỏ. Còn về hình dạng, chúng có thể vẽ nên các đường cong (gọi là các “cung cực quang”), các tia dài gần như là thẳng, chúng tạo nên các vết đồng nhất không khỏi nhắc ta nhớ đến hình dạng của các đám mây, chúng mang dáng vẻ của các tấm voan không có họa tiết bao phủ một phần lớn bầu trời, hoặc có hình các dải khổng lồ giống các tấm riđô xếp nếp mà mép dưới rất nét, nhưng mép trên thì mờ nhòe. Chuyển động của chúng chậm, dễ theo dõi bằng mắt thường, như các động tác khoan thai của nghệ sĩ ba lê, vô cùng quyến rũ. Chúng có thể uốn lượn như sóng nước đại dương, lắc lư hoặc phập phồng.

Quang cực được chia làm hai loại: quang cực tán xạ và quang cực rời rạc. Quang cực tán xạ xuất hiện liên tục, nhưng, trừ trong trường hợp bầu trời đêm rất sáng, còn hầu như không nhìn thấy. Chính các quang cực gọi là rời rạc dễ thấy nhất tạo nên các cảnh tượng khiến chúng ta vô cùng thích thú. Chúng sẽ ngoạn mục hơn khi hoạt động của Mặt trời lên đến đỉnh điểm, nghĩa là khi các vết Mặt trời nhiều nhất trên bề mặt. Trên thực tế, như chúng ta đã thấy, số các vết Mặt trời tăng hoặc giảm theo chu kỳ trung bình 11 năm. Mà các vết Mặt trời xuất hiện tại các vị trí mà Mặt trời biểu lộ tính khí của mình. Các cơn giận dữ của Mặt trời lên đến cực điểm khi chu kỳ Mặt trời đạt tới đỉnh điểm. Vết Mặt trời chính là vị trí xảy ra các phun trào Mặt trời, những vụ nổ lớn trên bề mặt phóng ra hàng tỉ tấn vật chất (proton và đặc biệt là electron) vào không gian. Vật chất này hòa vào gió Mặt trời, đó là các làn sóng liên tục các hạt bắt

nguồn từ sự bốc hơi các lớp trên của vành nhật hoa ở khoảng 10 triệu kilomet bên trên bề mặt Mặt trời. Khi gió Mặt trời thổi đến từ quyển của Trái đất, các hạt điện tích này, phần lớn là electron, được dẫn dắt dọc theo các đường sức từ của Trái đất đi đến các cực từ Bắc và Nam. Ở đó các hạt này tương tác với các nguyên tử và phân tử không khí của khí quyển, làm cho chúng phân ly, kích thích chúng lên các mức năng lượng cao hơn hoặc làm ion hóa chúng (nghĩa là lấy đi của chúng các electron). Bằng cách giải kích thích một cách tự phát (chúng thích ở mức năng lượng thấp nhất có thể) hoặc khi tái hợp với các electron trong không khí, các nguyên tử và phân tử này phát ra ánh sáng có màu sắc rất đa dạng. Tập hợp các ánh sáng này tạo ra cảnh tượng quang cực lộng lẫy mang lại cho chúng ta bao niềm thích thú.

Không khí mà chúng ta hít thở bao gồm 78% nitơ và 21% ôxy (phần còn lại gồm argon, khí cacbonic và hơi nước). Chính sự phát sáng của nguyên tử ôxy, với bước sóng 557,7 nanomet, là nguyên nhân của màu lục-vàng mà ta nói ở trên. Còn màu đỏ thì bắt nguồn hoặc từ ôxy nguyên tử, hoặc từ nitơ phân tử.

Độ cao và hình dạng của các quang cực phụ thuộc vào độ dày mà các hạt của gió Mặt trời đi vào khí quyển phải đi qua. Các dải ánh sáng nhìn chung trải trên hàng nghìn kilomet dài và hàng trăm kilomet rộng, nhưng độ dày của chúng thì chỉ vài trăm mét.

Bởi vì quang cực bắt nguồn từ sự tương tác của các hạt điện tích được dẫn dắt bởi các đường sức của từ trường Trái đất với khí quyển, nên chúng xuất hiện gần như bất biến trong một vùng gần tròn có tâm ở cực từ Bắc (hoặc Nam) của Trái đất. Chẳng hạn, ở Bắc Mỹ, nếu bạn sống tại thành phố Barrow, bang Alaska, hoặc thành phố Churchill của Canada, thì đêm nào bạn cũng có thể ngắm quang cực Bắc. Nhưng nếu bạn rời cực từ và đi xuống các vĩ độ thấp hơn, thì tỉ lệ các đêm mà bạn có thể được ngắm quang cực Bắc giảm xuống rất nhanh: 18% ở Calgary (Canada), 10% ở Oslo (Na Uy), 9% ở Montréal (Québec, Canada), 4% ở New York và 0,5% ở Los Angeles (Mỹ), 0,1% ở Roma (Italia), và 0,01% ở Tokyo (Nhật Bản). Thế nhưng tại sao ở các vùng vĩ độ thấp như New York (khoảng 40 độ), tỉ lệ đó lại không bằng không, mà vẫn lên đến 4%? Sở dĩ như vậy là vì, trong thời kỳ Mặt trời hoạt động đặc biệt mạnh, các đường sức của từ trường Trái đất được tích rất nhiều các hạt Mặt trời và bị biến dạng, cho phép các hạt này di chuyển xuống các vùng có vĩ độ tương đối thấp. Như vậy, trong các thời kỳ Mặt trời hoạt động mạnh, người dân ở miền Nam nước Mỹ thỉnh thoảng vẫn có thể được ngắm cảnh quang cực Bắc. Trong mọi trường hợp, nếu bạn muốn ngắm một trong những cảnh đẹp nhất của tự nhiên, thì

bạn hãy đáp máy bay đến các vùng cực ngay khi xảy ra một đợt phun trào mạnh của Mặt trời! Tốt nhất, bạn hãy đến Bắc cực, vì ở bán cầu Nam không có các khu vực lý tưởng để quan sát ngoài Nam cực.

\*

\* \*

Sau khi đã tìm hiểu bằng cách nào ánh sáng có thể là nguồn của mọi sự sống trên Trái đất, có ảnh hưởng đến sức khỏe và quyết định tính khí của chúng ta, là nguồn gốc của tất cả các nguồn năng lượng, là cội nguồn của tất cả các màu sắc xung quanh chúng ta, của các kiệt tác thiên nhiên làm cho sự sống thật đáng sống - trời xanh, biển biếc, hoàng hôn đỏ rực, mây trắng như bông, cầu vồng lộng lẫy, quang cực tuyệt đẹp, - giờ đã đến lúc chúng ta suy nghĩ về cách con người thuần phục ánh sáng để cải thiện cuộc sống của mình và giao tiếp với đồng loại, và, khi làm như vậy, chúng ta đã biến hành tinh thành một ngôi làng toàn cầu.

## Chương 6

# ÁNH SÁNG BỊ THUẦN HOÁ: TỪ NGỌN LỬA PROMÉTHÉE ĐẾN CÁC BIỂN HIỆU NEON, TỪ LASER VÀ CẤP QUANG ĐẾN VIỄN TẢI VÀ MÁY TÍNH LƯỢNG TỬ

### *Món quà lửa*

Hai sự kiện lớn đánh dấu thời kỳ tiền sử và làm đổi dòng lịch sử nhân loại chính là phát hiện ra lửa và phát minh ra nông nghiệp. Về phát hiện ra lửa, con người đã bắt giữ lửa từ trời rơi xuống và học cách tạo ra lửa tùy thích trên Trái đất. Về phát minh ra nông nghiệp, ánh sáng phục vụ con người thông qua cây cối: bằng khả năng quang hợp kì diệu, cây cối cung cấp cho con người thức ăn. Văn minh không thể ra đời nếu không có hai sự kiện này. Bởi vì lửa đóng vai trò quan trọng như vậy trong lịch sử nhân loại nên tất cả các nền văn hóa đều dựng nên các câu chuyện thần thoại để ca ngợi lửa. Chúng ta vẫn hay thấy xuất hiện chủ đề về con người yếu đuối và khốn khổ trước mùa đông khắc nghiệt và thú dữ, chiến đấu vô vọng chống lại đói rét, và một vị thần rủ lòng thương xót nên đã lấy cắp một ít lửa của trời làm quà tặng cho con người. Vì thế mà vị thần ấy bị Thượng đế trừng phạt. Chẳng hạn, trong thần thoại Hy Lạp, chính Prométhée đã đánh cắp một ít lửa của thần Mặt trời đem tặng cho con người. Thần Zeus, vua của các thần, đã cột chân Prométhée vào một tảng đá trên núi

Caucase. Tại đây, Prométhée bị một con kền kền moi gan; nhục hình này lặp đi lặp lại hàng ngày, vì gan của thần tái sinh sau mỗi đêm, và chuyện này chỉ chấm dứt khi Héraclès giết chết con kền kền đó.

Các hóa thạch khảo cổ học nói với chúng ta rằng con người đã bắt đầu thuần hóa lửa cách đây khoảng 500.000 năm. Trên các khu vực rất xa nhau về địa lý như Hungary và Trung Quốc, các nhà cổ sinh vật học đã tìm thấy trong các hang động những dấu vết tro, các thanh củi và các mẫu xương bị hóa thạch trong đá, các nhân chứng câm lặng về các ngọn lửa trại xa xưa cách đây nửa triệu năm của tổ tiên chúng ta. Các nhà nghiên cứu đã đặt tên cho những người chinh phục lửa này là *Homo erectus*, bởi vì họ đứng thẳng và đi thẳng. Những tổ tiên xa xôi này vẫn chưa sáng tạo ra ngôn ngữ và giao tiếp với nhau bằng thứ âm gầm gừ nơi cổ họng, giống như loài tinh tinh ngày nay. Họ sống ở châu Phi, châu Á, và có thể cả ở châu Âu, trong thời kỳ tương đối nóng trải từ thời kỳ thứ hai và thứ ba của kỷ băng hà. *Homo erectus* trông chưa ra dáng người lắm: cao chưa đầy một mét rưỡi, hộp sọ có hình dạng nửa khi nửa người ngày nay. Thể tích của não chỉ bằng hai phần ba thể tích não của chúng ta, nhưng cũng đã đủ chất xám để sinh vật có trí tò mò và lòng dũng cảm này thực hiện một trong những phát hiện quan trọng nhất của lịch sử nhân loại: phát hiện ra lửa.

Tổ tiên của chúng ta đã thuần phục lửa như thế nào? Có lẽ lửa đã từ trên trời rơi xuống, như truyền thuyết Prothémée kể lại: một hôm, trời nổi giông, sét đánh vào một cây, làm nó bốc cháy, đám cháy sau đó lan rộng sang trảng cỏ nơi người tiền sử sinh sống. Có lẽ tính tò mò đã xúi dục một cậu bé *Homo erectus* nào đấy vô lý lấy một cành hoặc một nhánh cây đang cháy và phát hiện ra cảm giác nóng bỏng.

Tổ tiên của chúng ta đã nhanh chóng học cách thuần hóa lửa. Họ đã dùng lửa thấp sáng lều trại của mình vào ban đêm để xua đuổi ác thú rình rập. Nỗi sợ hãi bóng tối của chúng ta có lẽ có từ những thời rất xa xưa này, thời mà con người còn chưa biết làm chủ ánh sáng và bóng tối che giấu hàng nghìn mối nguy hiểm. Lửa không chỉ có tác dụng thấp sáng, mà nó còn sưởi ấm nữa. Nhiệt của lửa đã cho phép các bộ lạc nguyên thủy rời nơi cư trú ban đầu của mình, những vùng nóng ẩm của châu Phi, để dần thân chinh phục các vùng lạnh hơn và tản ra khắp thế giới. Với lửa, trong một chừng mực nào đó, người nguyên thủy, bằng một cách nào đó, đã mang theo mình nhiệt của các trảng cỏ châu Phi tới khắp nơi mà họ đến. Chính nhiệt của ngọn lửa này đã cho phép họ vượt qua những mùa đông khắc nghiệt kéo dài hàng nghìn năm của kỷ băng



hà. Nhờ có lửa, tổ tiên của chúng ta đã có thể nấu chín thức ăn. Việc nấu chín thức ăn không chỉ có tác dụng diệt khuẩn gây bệnh trong thức ăn, mà còn làm cho thức ăn mềm hơn, dễ nhai hơn và dễ tiêu hóa hơn, giúp người nguyên thủy rút ngắn thời gian cho việc ăn uống và dành nhiều thời gian hơn cho săn bắn, khám phá hay đơn giản là để nghỉ ngơi. Trong khi một con khỉ dạng người gorila dành cả ngày để nhai lá cây nuôi cơ thể to lớn của mình, thì con người chỉ cần vài phút để ăn những món được nấu chín. Nhu cầu nhai thức ăn ít hơn chắc chắn đã tạo ra một tiến hóa về dáng vẻ bề ngoài của tổ tiên của chúng ta: hàm của họ trở nên nhỏ hơn đồng thời não rộng lớn thêm. Liệu ở đây có một mối quan hệ nhân quả nào không? Dù thế nào chăng nữa thì mặt của người *Homo erectus*, ban đầu trông giống khỉ, nay đã trở nên giống mặt người *Homo sapiens* hơn (người thông minh).

Nhưng có lẽ kết quả quan trọng nhất của cuộc chinh phục lửa là lần đầu tiên trong lịch sử nhân loại, con người đã tiếp cận với một nguồn năng lượng độc lập với năng lượng sinh ra từ sự trao đổi chất của các tế bào của mình. Với vai trò là nguồn năng lượng, lửa đã giúp con người vượt qua các giới hạn sinh học của mình, vượt hẳn lên về sức mạnh cơ bắp so với các động vật mà con người thuần hóa. Sau đó, chính lửa đã đưa con người bước lên con đường văn minh.

### *Thiên đường đã mất: phát minh ra nông nghiệp*

Một phát hiện khác đóng vai trò không kém phần quyết định trong sự tiến hóa của nhân loại. Cách đây khoảng 10.000 năm, tổ tiên của chúng ta đã phát hiện ra một cách thức mới mẻ và rất hiệu quả để sử dụng ánh sáng cho cuộc sinh tồn của mình. Phát hiện này đã biến các bầy người săn bắn du cư thành các nông phu định cư. Nó cho phép con người sinh sản gần như theo mong muốn, làm tăng dân số thế giới từ khoảng 100.000 lên đến hơn 6 tỉ người ngày nay. Đó chính là phát hiện ra nông nghiệp.

Thực ra con người đã phát hiện lại điều mà sự sống, ở cấp độ tảo lam, đã phát minh ra thông qua đột biến gen và chọn lọc tự nhiên cách đây khoảng 3,5 tỉ năm: đó là sử dụng ánh sáng Mặt trời, không khí, đất và nước để tạo ra thức ăn bằng một quá trình kỳ diệu mà con người sau đó gọi là “quang hợp”. Nhờ có sự kết hợp các thành phần mà cây cối, như chúng ta đã thấy, đã có khả năng tạo ra lương thực; bằng nông nghiệp, con người đã biết cách khai thác khả năng kỳ diệu này của thực vật. Con người đã trồng cây tạo ra thức ăn để nuôi sống mình.

Nông nghiệp đã gióng tiếng chuông báo tử đối với săn bắn. Ý thức được rằng mình có thể gieo hạt một cách có suy nghĩ và có kế hoạch và thu hoạch mùa màng để tạo ra một lượng thức ăn dự trữ, con người đã không còn thấy cần phải đi săn bắn để có cái cho vào bụng nữa, và thế là từ những người săn bắn họ đã trở thành các nông phu. Ý tưởng hoạt động nông nghiệp đã thành công lớn tới mức nó đã lan rộng khắp địa cầu, như đám cháy rừng lan truyền không thể kiểm soát nổi. Sự thay đổi phương thức sống này đã có những tác động sâu sắc đến tinh thần của con người. Xét cho cùng, trong gần như toàn bộ thời gian tồn tại của loài người, bắt đầu là *Homo erectus*, cách đây nửa triệu năm, tổ tiên của chúng ta luôn là những người săn bắn. Chỉ trong khoảng một trăm thế kỷ trở lại đây - một cái nháy mắt nếu so với năm nghìn thế kỷ trước - thì con người mới bỏ săn bắn để sống định cư thành làng mạc và chuyên tâm vào nông nghiệp. Các cấu trúc gia đình và xã hội, các quy tắc đạo đức và tinh thần được xây dựng quanh hoạt động săn bắn du cư vì thế đã phải thay đổi tận gốc rễ để phù hợp với hoạt động mới. Một số tác giả thậm chí còn coi sự biến mất của săn bắn như một loại thiên đường đã mất (thiên đường - "*paradis*" là từ gốc Ba Tư, ban đầu có nghĩa là "khu vực săn bắn"). Theo họ, sự trục xuất Adam và Eva khỏi thiên đường được kể lại trong kinh thánh là thể hiện sự hoài niệm về thiên đường đã mất này. Adam, người có thể gọi tên tất cả các loài vật trên Thiên đường (một người thợ săn bắn phải biết rõ con mồi của mình), đã chuyển sang hoa quả (áo cám của Eva) và cây cối để sinh sống.

Với phát hiện ra nông nghiệp, con người đã sống định cư để trở thành "con của đất". Trong khi khái niệm "sở hữu" là hoàn toàn xa lạ với các bộ lạc du cư (vùng đất mà họ săn bắn không của riêng ai), thì nó đã hùng dũng bước vào xã hội nông nghiệp. Chỉ cách đây vài trăm năm thôi, người chủ đất cũng là người chủ của những kẻ khác sống ở đó. Điều này đã tạo ra những khoảng cách về sự giàu có và quyền lực giữa những người có đất và những người không có đất. Tuy nhiên, bất chấp những đảo lộn xã hội và hoài niệm về một thiên đường đã mất, những ưu điểm của nông nghiệp nhiều hơn rất nhiều so với nhược điểm của nó. Bằng chứng là các bộ lạc chuyển từ săn bắn sang hoạt động nông nghiệp đã không bao giờ quay trở lại săn bắn nữa. Nông nghiệp cho phép con người khai thác nhiều hơn thức ăn từ một mảnh đất nhất định. Trong khi săn bắn một con hươu đòi hỏi cả một nhóm người trên một diện tích vài cây số vuông, thì cùng số người ấy chuyên tâm vào canh tác một miếng đất nhỏ hơn cũng có thể tạo ra đủ vật chất để nuôi hàng trăm người và gia súc. Như vậy, văn minh không thể phát triển mà không có vai trò kếp của ánh sáng: thông

qua lửa, nó đã giúp những người đầu tiên tránh được thú dữ ban đêm và mang theo mình nhiệt để chinh phục thế giới; thông qua cây lương thực, nó đã cho phép con người rời bỏ cuộc sống du cư, để sống định cư, xây dựng và sáng tạo.

### *Ánh sáng nhân tạo*

Lịch sử nhân loại là một chuỗi vô tận những cuộc vượt qua giới hạn sinh học, những lần sử dụng trí khôn của mình để vượt ra ngoài những khả năng mà cơ thể cho phép. Chúng ta không thể chạy nhanh bằng một con linh dương, nhưng, với ô tô, tàu hỏa, chúng ta có thể đi nhanh hơn bất kỳ con vật nào. Chúng ta không có cánh, nhưng với máy bay, tên lửa, phi thuyền không gian, chúng ta có thể bay cao hơn bất kỳ loài chim nào. Chúng ta cần không khí để thở, nhưng, với áo phi công không gian có trang bị bình ôxy, chúng ta có thể đi trên bề mặt không có khí quyển của Mặt trăng. Chúng ta là động vật kiếm ăn ban ngày, nhưng các hoạt động của chúng ta không bị ngắt quãng khi Mặt trời đi ngủ, vì chúng ta đã biết tạo ra ánh sáng.

Chinh phục lửa là giai đoạn đầu tiên của đà tiến không gì cản được đến việc sử dụng ánh sáng: các ngọn lửa trại không chỉ có tác dụng xua đuổi động vật săn mồi ban đêm, mà ánh sáng lửa còn làm ngày của những người tiền sử kéo dài cho tới tận khuya, cho phép họ làm việc rất lâu sau khi Mặt trời lặn xuống dưới chân trời.

Con người đã nhanh chóng học cách sử dụng đuốc và đèn để thắp sáng. Đuốc tạo ra ánh sáng nhân tạo bằng cách đốt cháy mỡ động vật hoặc dầu thực vật. Chúng là nguồn thắp sáng chính trong thời kỳ tiền sử, cho tới khi nến rồi bóng đèn xuất hiện thay thế cho chúng vào thời kỳ hiện đại. Người ta nghĩ rằng vào thời kỳ đồ đá cũ, các nghệ sĩ vẽ các bức tranh tuyệt tác trên đá trong các hang động ở Chauvet, Lascaux, Altamira và các hang động khác ở miền Nam nước Pháp và Đông-Bắc Tây Ban Nha, cách đây khoảng từ 30.000 đến 11.000 năm trước CN, dưới ánh sáng “đèn” sử dụng mỡ động vật. Để hoàn thành các kiệt tác của mình, chắc chắn là các họa sĩ thời đá cũ đã buộc phải sử dụng ánh sáng nhân tạo, vì ánh sáng Mặt trời không thể len lỏi tới những chỗ sâu tối tăm của các hang động này. Các ngọn đèn từ thời kỳ xa xôi này đã được tìm thấy hàng nghìn năm sau. Phần lớn được làm rất đơn giản bằng đá vôi có một chỗ lõm tự nhiên hoặc do đục gọt để giữ nhiên liệu. Vật thắp ánh sáng nhân tạo hay nghệ thuật khắc đá, cái nào xuất hiện trước? Rất có thể là ánh sáng nhân tạo, vì con người-thợ săn Cro-Mangon đã thắp sáng hang động của mình bằng đuốc,

trước rất xa “cú nhảy lượng tử” xảy ra trong một số các kết nối thần kinh làm xuất hiện trong họ cảm giác về cái thiêng liêng cũng như khao khát biểu hiện cái cao cả và cái đẹp.

### *Nến không cháy trong các trạm quỹ đạo*

Các ngọn đèn dùng mỡ động vật và dầu thực vật đã thắp sáng cuộc sống con người suốt chiều dài lịch sử của họ. Vào khoảng năm 1400 trước CN, các giáo sĩ Ai Cập cầu khẩn thần Râ, tức thần Mặt trời, bằng các ngọn đèn bằng đồng hoặc đất nung thắp bằng dầu oliu. Mười lăm thế kỷ sau, những cô gái đồng trinh giữ ngọn lửa thiêng ở Roma bằng các ngọn đèn có bắc làm bằng amiante. Giai đoạn tiếp sau chứng kiến nến bước lên sân khấu. Nguồn gốc của nến cho tới nay vẫn chưa được biết rõ. Có thể nến đã ra đời ở châu Phi, nơi quả hồ đào có dầu được xâu qua các cành cây nhỏ được đốt cháy để cung cấp ánh sáng. Những ngọn nến sáp đầu tiên xuất hiện trước CN nhiều thế kỷ được coi là của những người Phenixi và Êtoruri. Dù nguồn gốc có thể nào chẳng nữa thì nến, mà ban đầu chỉ dành riêng cho các nghi lễ tôn giáo, đã trở thành nguồn ánh sáng nhân tạo chính ở châu Âu ngay từ thời Trung Cổ. Sự phát minh ra nến cho phép chiếu sáng tốt hơn và trong thời gian dài hơn. Cấu tạo của nến gồm một bắc làm bằng sợi bông ép chặt bao quanh là một khối sáp hình trụ (sáp ong hoặc parafin, sản phẩm phái sinh từ dầu). Nến thực sự là một phát minh rất tài tình, có khá nhiều hiện tượng vật lý tham gia trong sự cháy của nó. Khi nến được châm, bắc cháy đầu tiên. Nhiệt tỏa ra làm chảy sáp quanh ngọn lửa. Sáp chuyển từ thể rắn sang thể lỏng và bị bắc hấp thụ. Hiện tượng “mao dẫn” làm cho sáp lỏng leo lên đến tận ngọn lửa bằng cách len lõi theo các kẽ hở giữa các sợi bông của bắc. (Cũng do chính hiện tượng mao dẫn này, nếu bạn làm ướt chỉ một góc nhỏ của tờ giấy ăn, bạn sẽ thấy vết ướt tự lan rộng ra). Khi đi đến ngọn lửa, sáp cháy và biến hoàn toàn thành khói, và chính sự đốt cháy này đã cho phép duy trì ngọn lửa. Nến cháy thông qua sự kỳ diệu của một vòng liên tục trong đó sáp chuyển liên tục từ thể rắn sang thể lỏng, rồi sang thể khí. Nhưng, sau một lúc, sự mao dẫn không còn đủ mạnh để dẫn một lượng đủ sáp lên ngọn lửa nữa. Khi đó bắc sẽ bị cháy một chút, làm cho nó ngắn lại và xuống thấp hơn về phía sáp nhiều hơn và ngọn lửa lại cháy đẹp đẽ trở lại. Cứ như vậy, theo thời gian sử dụng, nến và bắc ngày càng ngắn lại.

Ngọn lửa là lý do tồn tại của nến: chính nó đã chiếu sáng. Cũng chính ngọn nến đã tạo ra một không khí lãng mạn hoặc hoài niệm trong một bữa tối của những cặp uyên ương, hoặc là biểu tượng của niềm tin và sự tôn kính

của chúng ta trong nhà thờ. Nếu bạn quan sát kỹ ngọn lửa của một cây nến, bạn sẽ thấy nó gồm hai phần: một phần màu xanh lam ở dưới, một phần màu vàng ở trên. Chính trong phần màu lam xảy ra sự cháy. Sự cháy này không là gì khác mà chính là một phản ứng hóa học kết hợp sáp của nến với ôxy của không khí để tạo ra nước và ôxit carbon. Phản ứng này tạo ra một lượng lớn năng lượng tỏa ra dưới dạng nhiệt. Nhiên liệu - ở đây là sáp - được bắc đưa đến nhiệt độ rất cao và bốc cháy. Khi một chất bị đốt nóng đến nhiệt độ rất cao như thế thì cấu trúc phân tử của nó bị phá vỡ. Các phân tử hydrocacbua có trong sáp bị phân hủy: trong khi các nguyên tử hydro kết hợp với các nguyên tử oxy của không khí để tạo ra các phân tử nước, thì các nguyên tử carbon, vì không cháy được nên sẽ được giải phóng; bị dòng khí nóng đẩy lên cao, các nguyên tử carbon này (có thể gọi là cặn của quá trình đốt cháy), trở nên nóng và phát ra một ánh sáng màu vàng. Như vậy phần màu vàng của ngọn lửa nến chỉ là các mảnh vỡ phát sáng của các nguyên tử carbon nhảy múa trong không khí.

Bạn đã bao giờ tự hỏi tại sao ngọn lửa của một cây nến lại có hình nón nhọn ở phía trên chưa? Sở dĩ như vậy là do...lực hấp dẫn đấy! Thực vậy, khí phát ra trong quá trình đốt cháy và không khí nằm trong ngọn lửa được đẩy lên các nhiệt độ rất cao. Thế nhưng không khí nóng, vì có mật độ thấp hơn không khí lạnh hơn xung quanh, sẽ đi lên trên. Khinh khí cầu bay lên cao khi người ta đốt lửa bên trong nó cũng là theo nguyên lý này. Để nhận thấy hiện tượng không khí nóng bay lên, bạn chỉ cần đặt bàn tay bên trên ngọn nến: bạn sẽ cảm thấy nóng. Do vì tự nhiên vốn sợ chân không, nên khi khí nóng bốc lên, không khí lạnh từ dưới tràn lên thay thế nó. Khí lạnh này mang đến nguồn cung cấp ôxy mới, vì ôxy cũ đã bị đốt cháy cùng với nhiên liệu. Nhờ vậy mà ngọn lửa có thể tiếp tục cháy. Để làm được điều đó, nó phải liên tục được cung cấp đồng thời nhiên liệu (sáp) và chất đốt (ôxy). Và chính luồng khí nóng đi từ dưới lên trên dọc theo thân sáp, theo hướng được xác định bởi lực hấp dẫn của Trái đất, đã làm cho ngọn lửa của nến thành hình nón có đỉnh nhọn hướng lên trên. Giờ bạn hãy tưởng tượng mình đang trong tình trạng không trọng lượng trong một phi thuyền không gian quay quanh Trái đất: sẽ không còn hướng ưu tiên nữa, điều này có nghĩa là nếu một phi hành gia thấp nến, ngọn lửa sẽ không còn nhọn nữa, mà sẽ là hình cầu! Nó sẽ tắt ngay, vì do không có lực hấp dẫn, không còn dòng khí đi lên dọc theo thân sáp để cung cấp ôxy cho ngọn lửa nữa. Một khi đã tiêu thụ hết ôxy quanh nến, ngọn lửa thiếu chất đốt sẽ tắt. Như vậy, trong trường hợp mất điện, tốt hơn hết là các phi hành gia không nên trông chờ vào nến!

### *Đèn dầu và cá voi*

Vào thế kỷ XVIII, nhờ có hiểu biết rõ hơn về quá trình cháy – phản ứng hóa học kết hợp ôxy của không khí với carbon để tạo ra năng lượng và khí cacbonic – con người đã có thể chế tạo ra các cây đèn hiệu quả hơn, sáng hơn. Antoine Lavoisier người Pháp (1743-1794), một trong những người tạo dựng nền móng cho hóa học hiện đại, đã vĩnh viễn ném quên lãng lý thuyết tồn tại hàng thế kỷ về nhiên tố (*phlogos*, tiếng Hy Lạp nghĩa là lửa), vật liệu giả định được coi là được giải phóng trong quá trình cháy và để lại tàn dư của nó là tro. Lavoisier đã chứng tỏ rằng tro này trên thực tế là một hợp chất của ôxy, và rằng ôxy đóng một vai trò cơ bản trong sự cháy. Bất chấp các công trình khoa học xuất sắc của mình, Lavoisier vẫn phải chịu một kết cục bi thảm do các hoạt động hành chính của mình: là quan thuế từ năm 1778, ông đã cho dựng quanh Paris một hàng rào thuế nhập thị áp cho một số loại thực phẩm đưa vào thành phố, và điều này khiến cho ông không được người dân yêu thích; và dưới thời Khủng bố trong cuộc cách mạng Pháp, ông đã bị kết án và xử chém cùng với các quan thuế trước đó.

Dựa trên chứng minh của Lavoisier rằng không khí đóng vai trò căn bản trong sự cháy, một trong những học trò của ông là nhà hóa học người Thụy Sĩ François Argand (1750-1803), đã chế tạo một cây đèn dầu có ống bắc rỗng cho phép dẫn được nhiều không khí hơn - gồm một phần năm là ôxy – vào ngọn lửa. Ông cũng nảy ra ý tưởng bọc bắc bằng một lồng thủy tinh có hình ống, giống như ống thông khói, điều này cho phép tạo ra một luồng không khí kiểm soát được để cung cấp ôxy cho ngọn lửa thay vì để nó cháy tự nhiên như trong trường hợp của nến. Lồng thủy tinh còn bảo vệ ngọn lửa khỏi các luồng không khí, điều này mang lại cho nó một sự ổn định đáng kể. Argand cũng đã nghĩ ra một cơ chế nhằm nâng hoặc hạ bắc, cho phép kiểm soát kích thước của ngọn lửa và như vậy cả độ sáng của nó. Đèn dầu của Argand ngay lập tức đã chinh phục được mọi người. Ngọn lửa được cung cấp nhiều ôxy hơn nên cháy mạnh hơn các ngọn đèn trước, tỏa ra ánh sáng mạnh hơn và trắng hơn, các hạt carbon có trong khói vốn làm giảm ánh sáng của các loại đèn trước đó không còn nữa. Đèn của Argand đã xuất hiện khắp các thành phố để chiếu sáng các đường phố lớn. Các thủ đô của châu Âu, như Luân Đôn và Paris, thành phố của ánh sáng (được gọi như vậy do thành phố này đã được chiếu sáng từ rất sớm, ngay từ năm 1667 sau sắc lệnh của vua Louis XIV), được trang hoàng bằng hàng nghìn ngọn đèn, và dân chúng đã có thể thoải mái đọc sách đến tận đêm khuya. Cho tới cuối thế kỷ XIX, đèn

của Argand vẫn tiếp tục được dùng cho các ngọn hải đăng dẫn đường cho thuyền bè đi lại.

Vào thời kỳ này, mỡ cá voi là nhiên liệu tốt nhất trên thị trường nên rất nhiều cá voi đã bị đánh bắt để cung cấp cho đèn trên toàn thế giới. Chỉ đến khi dầu hoả được phát hiện ở Pennsylvania vào cuối thế kỷ XVIII thì cá voi mới thoát khỏi nạn tiệt chủng: kể từ đó dầu của dầu thô, nhiều hơn và rẻ hơn rất nhiều, bắt đầu được sử dụng. Ngay sau khi phát hiện ra dầu giá rẻ là phát hiện ra “khí than đá”, còn được gọi là “khí thấp sáng”. Được chế tạo bằng cách nung nóng than đá hoặc mùn cưa trong môi trường yếm khí trong nhiều giờ ở nhiệt độ 1.100°C, khí than đá chủ yếu được dùng để chiếu sáng đường phố, những nơi công cộng và nhà cửa. Việc dầu được thay thế bằng khí đã tạo ra một đổi mới quan trọng: một hệ thống phân phối nhiên liệu. Mô hình phân phối này sẽ đóng vai trò căn bản trong trường hợp chiếu sáng bằng điện sau này. Trên thực tế, mỗi chiếc đèn Argand trước kia có bình chứa dầu riêng. Cùng với khí thấp sáng đã xuất hiện một mạng lưới đèn được nối với một bình chứa nhiên liệu trung tâm. Ngay từ năm 1815, hàng nghìn kilômét ống đã dẫn khí từ một trạm trung tâm đến các ngọn đèn nằm trong các dãy phố và các ngôi nhà ở Luân Đôn. Sự thống trị của đèn Argand đã kéo dài cho tới khoảng năm 1880: kể từ đó, nó đã phải cạnh tranh với điện để rồi cuối cùng bị nữ hoàng ánh sáng nhân tạo mới trỗi ngôi.

### *Một ánh sáng không bắt nguồn từ lửa*

Trước khi bóng điện lên ngôi, nguồn ánh sáng nhân tạo của con người, từ những ngọn lửa trại đầu tiên của người *Homo erectus* cho tới đèn gaz, đều bắt nguồn từ lửa. Đuốc, nến, đèn dầu và đèn gaz tất cả đều tạo ra ánh sáng thông qua quá trình đốt cháy nhiên liệu, điều này không phải là không chứa nguy hiểm nhất định. Các ngọn lửa cháy trong không khí tự do có thể gây hỏa hoạn. Khí cung cấp cho các ngọn đèn có thể giải phóng ra khói độc hại. Nó cũng có thể gây ra các vụ nổ chết người. Cách chiếu sáng bằng điện do nhà phát minh người Mỹ Thomas Edison (1847-1931) nghĩ ra đã làm thay đổi toàn bộ tình hình.

Là một người chủ yếu là tự học và có nhiều sáng kiến, Edison được mệnh danh là “nhà phát minh của các phát minh”. Truyền thuyết nói rằng cứ mười ngày Edison lại có một sáng chế nhỏ và mỗi sáu tháng lại có một phát minh lớn! Ông liên tục cho ra đời hết thiết bị này đến thiết bị khác – máy hát, bút điện, máy chiếu phim và máy điện báo,... - tất cả đều hấp dẫn và kích thích trí tưởng tượng của công chúng. Hơn một nghìn bằng sáng chế đã dồn dập bước

ra từ phòng thí nghiệm Menlo Park của ông ở New Jersey, nơi ông xây dựng một “nhà máy sáng chế” đầu tiên trên thế giới. Hàng chục nhà khoa học và kỹ sư cùng nhau nghiên cứu tại phòng thí nghiệm của ông. Như vậy, Edison là cha đẻ của nghiên cứu công nghiệp hiện đại. Trong số rất nhiều các phát minh của ông, phát minh ra chiếu sáng bằng điện là có tác động sâu rộng nhất.

Edison không phải là người phát minh ra bóng đèn điện, như người ta vẫn hay nhầm tưởng. Bóng đèn điện đã xuất hiện vài thập kỷ trước khi Edison suy nghĩ về vấn đề này! Ngay từ thế kỷ XIX, nhà hóa học và vật lý học người Anh, Ngài Humphry Davy (1778-1829), đã nhận thấy rằng điện có thể tạo ra ánh sáng. Năm 1801, bằng cách nối hai điện cực bằng than vào một ắc quy và đặt đầu còn lại của hai điện cực này cách nhau vài centimet, ông thấy một tia lửa điện được phát ra giữa hai điện cực. Dòng điện chứa các hạt carbon nóng sáng, làm mòn các điện cực và tạo ra một ánh sáng trắng. Áp dụng các nghiên cứu của Davy, năm 1860 nhà hóa học người Anh, Ngài Joseph Swan (1828-1914) đã chế tạo ra một bóng đèn dây tóc dùng sợi carbon. Nhưng các bóng đèn này rất cồng kềnh, không thuận tiện cho sử dụng, nên chủ yếu chỉ được dùng để chiếu sáng đường phố hoặc cho các ứng dụng rất chuyên biệt khác. Cả một đội ngũ kỹ sư và kỹ thuật viên mới có thể lắp đặt và vận hành được chúng. Như Davy đã chứng tỏ, ánh sáng mà các bóng đèn này tạo ra bắt nguồn từ tia lửa điện phóng giữa hai điện cực carbon khi có một dòng điện chạy qua. Sau đó, một bộ phận phản xạ sẽ hướng ánh sáng đến vùng cần chiếu sáng sao cho nó sáng nhất và mạnh nhất có thể.

Các ngọn đèn này quá khó sử dụng đối với những người bình thường và quá cồng kềnh nên không thể lắp đặt trong nhà. Tại Paris, những người tổ chức Triển lãm quốc tế năm 1889 thậm chí còn muốn xây dựng gần Cầu Mới (Pont-Neuf) một ngọn tháp khổng lồ cao 400 mét, trên đỉnh sẽ mắc các ngọn đèn sợi đốt khổng lồ thấp sáng toàn bộ Paris. Rất may đối với thẩm mỹ của thành phố, dự án này đã không trở thành hiện thực và thế vào đó là tháp Eiffel. Nếu Paris từ bỏ ngọn tháp chiếu sáng bằng điện này, thì nhiều thành phố của Mỹ, trong đó có New York, lại lao vào cuộc phiêu lưu đó. Các kết quả rất đáng thất vọng: trường hợp thành công nhất cũng chỉ là một ánh sáng nhợt nhạt như ánh trăng.

### *Mang ánh sáng điện đến mọi nhà*

Giấc mơ của Edison không phải là chiếu sáng thành phố bằng đèn điện treo cao trên các tháp lớn, mà là mang ánh sáng điện đến mọi nhà – nói cách khác,



điện khí hóa toàn thế giới. Nhưng đưa ánh sáng điện vào các hộ gia đình như thế nào? Thiên tài của Edison nằm ở chỗ ông đã hiểu rằng chỉ mình bóng đèn điện thôi thì chưa đủ, mà cần phải tích hợp chúng với một hệ thống đầy đủ làm cho sự chiếu sáng bằng điện trở nên dễ dàng và như ý muốn. Edison đã ý thức được rằng một bóng đèn sẽ chỉ có ích và dễ sử dụng nếu nó được gắn với các trạm phát điện và với một mạng lưới dẫn điện.

Các máy phát điện đã xuất hiện ngay từ những năm 1830. Dựa trên các nghiên cứu về điện từ, nhà vật lý học người Anh Michael Faraday (1791-1867) đã phát minh ra một chiếc máy nhỏ gọi là “máy phát điện” (dynamo) mà không nghĩ rằng một ngày kia nó sẽ tạo ra một cuộc cách mạng trên toàn thế giới. Một đêm, sau một cuộc hội thảo dành cho công chúng, một phụ nữ đến hỏi Faraday: “Thưa ngài, các nghiên cứu về điện của ngài rất thú vị. Nhưng chúng phỏng có ích gì?”. Faraday đã điềm tĩnh trả lời: “Thưa bà, điều này cũng chẳng khác gì bà hỏi tôi ích lợi của một đứa trẻ sơ sinh là gì. Tôi hoàn toàn không biết!”. Và ông đùa thêm: “Có một điều chắc chắn, trong mọi trường hợp: dù thế nào đi nữa, thì Chính phủ cũng sẽ không bỏ lỡ cơ hội đánh thuế nó!” Faraday đã không nghĩ là mình lại nói hay đến thế. Bằng cách mang ánh sáng điện đến các gia đình trên toàn thế giới, Edison đã chứng tỏ một cách hết sức ấn tượng khả năng tiên tri của Faraday về phát minh “vô ích” của mình. Năm 1879, Edison đã vận hành một hệ thống ba mươi đèn chiếu sáng ở Menlo Park, bang New Jersey, nơi có phòng thí nghiệm của ông. Ba năm sau, cả một khu Manhattan đã được chiếu sáng bởi năng lượng Điện. Như vậy, New York đã đi vào lịch sử là thành phố đầu tiên có hệ thống chiếu sáng bằng điện. Và, lẽ dĩ nhiên, các chính phủ kế tiếp nhau đã không bỏ lỡ cơ hội đánh thuế việc sử dụng điện của người dân.

Đèn dây tóc đầu tiên về cơ bản là một bóng bằng thủy tinh kín bị rút hết không khí. Bên trong có một sợi mảnh làm bằng một chất dẫn điện. Khi một dòng điện chạy qua sợi tóc, các electron cấu thành dòng này va chạm với các nguyên tử của chất dẫn điện, làm rung động các nguyên tử. Vậy mà, sự rung động nguyên tử càng mạnh cũng có nghĩa là nhiệt độ càng cao. Sợi tóc nóng lên đến khoảng 2500°C và phát ra ánh sáng trắng làm sáng phòng<sup>1</sup>. Năm 1879,

❖

1 Một vật nóng sẽ phát ra ánh sáng mạnh hơn và giàu năng lượng hơn, với một bước sóng ngắn hơn, khi nhiệt độ của nó cao hơn. Chẳng hạn, lò sưởi điện của bạn khi nóng lên 100°C, nhiệt độ sôi của nước, sẽ phát ra ánh sáng hồng ngoại không nhìn thấy được. Nếu bạn tăng nhiệt độ lên tới 700 độ, lò sẽ phát ra ánh sáng đỏ; khi đó nó có một màu đỏ tươi. Nhiệt độ càng tăng cao thì sẽ xuất hiện ánh sáng cam, lục, lam...cho tới khi trở thành trắng ở 2500°C.

xuất hiện các bóng đèn dây tóc đầu tiên sử dụng các sợi carbon. Nhưng, để tự do ngoài không khí, carbon bị ôxi hóa và tự phân hủy. Để ngăn chặn ôxy hóa, Edison đã đưa dây tóc carbon vào trong một bóng thủy tinh hút hết không khí. Các bóng đèn điện đầu tiên có tuổi thọ khoảng 40 giờ. Để tăng tuổi thọ của bóng đèn, Edison đã tiếp tục thử nghiệm các loại sợi đốt khác nhau làm bằng các vật liệu khác nhau. Năm 1880, ông đã thấy các sợi đốt bằng tre được carbon hóa (cháy thành than) có tuổi thọ gần 180 giờ! Chúng được sử dụng cho tới năm 1889, ngày xuất hiện các vật liệu khác thay thế. Kể từ năm 1912 và cho tới nay, các sợi đốt được làm bằng vonfam, kim loại có điểm nóng chảy cao nhất trong số tất cả các kim loại có thể được sử dụng làm dây tóc bóng đèn, và có tuổi thọ rất cao. Tuổi thọ này còn cao hơn khi trong bóng là một khí trơ (không cháy) như nitơ hoặc argon. Bóng đèn cũng có thể chứa một khí gọi là "halogene" có các tính chất hóa học xác định, như flo, clo, brome hoặc iot<sup>2</sup>. Vì thế người ta gọi nó là bóng halogene (tiếng Hy Lạp *halos* nghĩa là "muối" - muối này chứa các nguyên tử clo, và *gen* nghĩa là "sáng tạo"). Bằng cách phản ứng với vonfam bay hơi từ sợi đốt, khí halogene cho phép hạn chế vonfam đóng cặn trên thành bóng, và bằng cách tự phân hủy ở gần sợi đốt, khí này giúp tái sinh và kéo dài tuổi thọ của sợi đốt.

Các nghiên cứu tiếp tục nhằm chế tạo các bóng điện hiệu quả hơn, rẻ hơn đối với người tiêu dùng và... mang lại nhiều lợi nhuận hơn cho người sản xuất. Ngoài tuổi thọ của bóng đèn còn có rất nhiều lý do khác như độ sáng và màu của ánh sáng mà bóng phát ra (tạo ra chính xác ánh sáng Mặt trời là điều không thể). Các bóng đèn dây tóc ngày nay có tuổi thọ khoảng 1000 giờ và tạo ra ánh sáng vàng hơn ánh sáng Mặt trời, nhưng trắng hơn ánh sáng nến hoặc đèn dầu. Thủy tinh của bóng cũng có thể được xử lý để tạo ra ánh sáng nhiều màu hơn hoặc dịu hơn. Mặc dù công nghệ đèn dây tóc đã có rất nhiều tiến bộ, nhưng chúng vẫn có một hạn chế căn bản: một phần lớn năng lượng điện tiêu hao bị lãng phí thành nhiệt nhiều hơn thành ánh sáng nhìn thấy được.

### *Ánh sáng phẳng của đèn neon*

Nếu đèn dây tóc tiếp tục là cách chiếu sáng nhân tạo chính của cuộc sống hiện đại, thì nó không phải là duy nhất trên thị trường. Đèn huỳnh quang cũng có vai trò của nó. Đèn huỳnh quang có hình ống dài chứa một khí ở áp



<sup>2</sup> Các khí halogene này nằm trong cột 17 của Bảng tuần hoàn các nguyên tố hóa học. Chúng tồn tại dưới dạng phân tử gồm hai nguyên tử có 7 electron trong lớp điện tử ngoài cùng.

suất thấp như neon, argon hoặc natri – và người ta gọi nó là đèn neon, mặc dù khí được sử dụng không nhất thiết phải là neon. Khi đặt vào đèn một điện áp nhất định, thì các nguyên tử khí nhận được năng lượng và bị “kích thích”, nghĩa là một trong các electron của chúng chuyển lên một mức năng lượng cao hơn. Sau một khoảng thời gian rất ngắn, nguyên tử bị kích thích tự trở lại trạng thái ban đầu và electron trở lại mức năng lượng thấp hơn, kết quả là một ánh sáng được phát ra, hiện tượng này gọi là sự “huỳnh quang”. Nhà vật lý Antoine Becquerel (1788-1878), người đã được giải Nobel vật lý cùng với Pierre và Marie Curie năm 1903 vì đã phát hiện ra hiện tượng phóng xạ, ông cũng là một trong những người đầu tiên chế tạo đèn huỳnh quang vào năm 1867. Nhưng đèn huỳnh quang này chỉ được thương mại hóa vào năm 1933, nhân Triển lãm một trăm năm thành phố Chicago, Hoa Kỳ.

Trong đèn huỳnh quang, một nguyên tử khí phát ra ánh sáng có màu đặc trưng, màu này phụ thuộc vào cấu trúc và các mức năng lượng của nó. Chính nhờ các khí có bản chất khác nhau này mà các biển hiệu quảng cáo ngày nay có các màu sắc hết sức đa dạng để thu hút sự chú ý và kích thích chúng ta mua sắm hoặc sử dụng dịch vụ cũng hết sức đa dạng. Chẳng hạn, neon là tạo ra màu đỏ, argon màu lam và lục, krypton màu cam và lục, xenon màu lam, và hơi nito màu vàng. Nhưng ánh sáng màu trắng biến đi đâu mất, trong festival các màu sắc này? Mà đó chính là thứ ánh sáng gần với ánh sáng Mặt trời mà hầu hết các bóng đèn neon tạo ra và chúng ta rất muốn có để thấp sáng nội thất ngôi nhà của chúng ta. Trừ phi có các sở thích rất đặc biệt, còn thì hẳn là không ai trong chúng ta muốn ánh sáng màu lam-lục trong phòng khách, cũng không muốn màu đỏ trong phòng ngủ. Chắc chắn chúng ta không ai muốn chiêm ngưỡng màu môi đen hoặc màu má xám do loại ánh sáng này tạo ra. Nhưng làm thế nào tạo ra được ánh sáng trắng? Thực ra, khí trong các bóng đèn huỳnh quang mà chúng ta sử dụng trong gia đình là hơi thủy ngân (hay natri). Khi một điện áp nhất định được đặt vào, hơi thủy ngân bị kích thích tạo ra ánh sáng màu lam-lục. Ánh sáng này bị một lớp phốt pho tráng bên trong ống đèn chặn lại. Các photon bị chặn lại như vậy kích thích các nguyên tử phốt pho và làm cho các electron của chúng chuyển lên các mức năng lượng cao hơn. Khi các nguyên tử phốt pho trở lại trạng thái bình thường, các electron này trở về các mức năng lượng thấp hơn và phát ra photon. Cấu trúc của các nguyên tử phốt pho và các mức năng lượng của chúng sao cho các photon được phát ra có các năng lượng đặc trưng của ánh sáng trắng.

Đèn huỳnh quang hiệu quả hơn đèn dây tóc, vì chúng chuyển hóa một phần lớn hơn công suất điện thành ánh sáng: sở dĩ chúng tạo ra một tối đa ánh

sáng với một tối thiểu nhiệt lượng là bởi vì, để phát ra ánh sáng này, chúng không còn phụ thuộc vào sự nung nóng dây tóc kim loại, như trong trường hợp đèn dây tóc. Ngoài ra, chúng có thể có bất kỳ hình dạng nào cũng được, điều này làm cho nhiệm vụ của các nhà chế tạo biển hiệu quảng cáo dễ dàng hơn. Nhưng ánh sáng của nó có một tính chất đặc biệt: nó là “phẳng”. Ánh sáng của một ngọn nến hay một đèn dây tóc thường làm nổi bật đường viền của các đồ vật và tạo ra các bóng, trong khi bóng đèn huỳnh quang tạo ra rất ít bóng. Nếu như các bóng đèn huỳnh quang dài rất thích hợp cho phòng làm việc bởi vì ánh sáng của chúng đồng nhất, thì chúng lại không thích hợp để tạo ra một môi trường dịu dàng và yên tĩnh: một bữa tối trong ánh nến lãng mạn hơn nhiều một bữa tối trong ánh đèn neon!

### *Ánh sáng nhân tạo đã tách chúng ta ra khỏi tự nhiên*

Phát minh ra chiếu sáng bằng điện của Edison đã làm thay đổi thế giới. Bóng đèn điện an toàn hơn nhiều so với các ngọn lửa đèn nháy múa trong không khí tự do. Nói như thế không có nghĩa là các nguy cơ điện giật với các đường dây dẫn điện là không tồn tại. Mặt khác, khi các nhà máy phát điện và các mạng phân phối được xây dựng, điện có thể được dùng cho rất nhiều thiết bị chứ không chỉ riêng cho việc thắp sáng nhân tạo. Cuộc sống hiện đại sẽ sụp đổ nếu không còn điện nữa. Chúng ta cũng phụ thuộc vào điện để nấu nướng thức ăn, để chạy thang máy, để mở cửa garage, để điều hòa nhiệt độ và trăm thứ việc gia đình khác. Chính điện cho phép những nốt nhạc của bản giao hưởng của Mozart tràn ngập căn phòng khi ta mở dàn hi-fi. Chính điện cho phép chúng ta kết nối với phần còn lại của thế giới. Chỉ cần bật vô tuyến là các hình ảnh của toàn thế giới sẽ xuất hiện trước mắt ta. Chính điện làm cho máy tính hoạt động để tôi gõ các dòng chữ này, cho phép tôi kết nối với những vùng xa xôi nhất của địa cầu và tiếp cận với những thông tin đa dạng nhất thông qua Internet. Điện xuất hiện nhiều trong cuộc sống của chúng ta tới mức chúng ta thậm chí không ý thức về sự tồn tại của nó nữa. Chúng ta đã quá quen với điện đến mức không còn ý thức về những lợi ích mà nó mang lại. Chỉ đến khi mất điện, bị nghẽn trong thang máy, không còn được nghe đoạn nhạc mà mình yêu thích, không thể kết nối Internet, thì chúng ta mới cầu nài về những khó chịu mà tất cả những thứ trên gây cho chúng ta.

Sự thắp sáng bằng điện đã làm thay đổi căn bản bộ mặt của các thành phố và lối sống ở đô thị. Nó đã làm cho các đường phố trở nên an toàn hơn. Hoạt động của con người không bị ngắt quãng khi đêm xuống. Ánh sáng nhân tạo

đã biến đêm thành ngày. Con người sinh ra, sống và chết trong cái bồn liên tục ánh sáng tự nhiên và/hoặc nhân tạo. Ánh sáng điện, hơn thế nữa, còn tạo cho một số thành phố một dáng vẻ thẩm mỹ nhất định. Chỉ cần ngắm các tòa nhà được thấp sáng bên bờ sông Seine, hay ngắm tháp Eiffel rực sáng vào ban đêm là có thể thấy Paris thật xứng với cái tên “Kinh đô Ánh sáng” của nó. Rất tiếc, hơn một thế kỷ sau khi Edison vận hành mạng lưới ba mươi bóng đèn, cho tới nay không phải ai cũng đã được dùng điện; chỉ cần nhìn một bức ảnh Trái đất ban đêm do một vệ tinh của NASA chụp là đủ thấy: trong khi hầu hết các nước phương Bắc rực rỡ ánh sáng, thì phần lớn các nước phương Nam vẫn chìm đắm trong bóng tối vô vọng (H. 59).

Dù ánh sáng điện có những ưu điểm không thể phủ nhận, nhưng nó cũng có nhược điểm là đã tách chúng ta ra khỏi môi trường xung quanh, điều này theo tôi là một mất mát lớn. Bởi vì sự chiếu sáng nhân tạo không còn tuân theo nhịp Mặt trời và Mặt trăng, nên chúng ta đã mất đi sự tiếp xúc mật thiết mà tổ tiên của chúng ta từng có với trời đất và thiên nhiên. Ánh sáng đèn neon và đèn dây tóc đã tước đoạt của những người thành thị cảnh vòm trời đầy sao tuyệt đẹp. Chỉ khi đi vào đài thiên văn, cách xa những nhiễu xạ và sự huyền ảo của con người, để đón nhận ánh sáng từ bầu trời, thì tôi mới có dịp đắm mình trong các tín hiệu ánh sáng đến với chúng ta từ những thời kỳ xa xưa nhất. Nhưng ngay cả các đài thiên văn này cũng đang bị ánh sáng nhân tạo đe dọa. Các thành phố lớn không ngừng phình thêm, đang gặm nhấm dần không



**Hình 59.** Trái đất nhìn vào ban đêm. Mặc dù điện đã trở nên thông dụng trong phần lớn các nước phương Bắc, nhưng một phần lớn các nước phương Nam vẫn chìm trong bóng tối vô vọng (ảnh NASA).

gian quanh các đài thiên văn, nơi mà con người còn có thể tiếp xúc với vũ trụ. Chẳng hạn, tại đài thiên văn trên đỉnh Wilson, ngoại ô Los Angeles, nơi nhà thiên văn học người Mỹ Edwin Hubble đã phát hiện ra bản chất của các thiên hà năm 1923 và sự giãn nở của vũ trụ năm 1929, ánh sáng đã bị các thành phố làm cho ô nhiễm nghiêm trọng tới mức tại đây không còn có thể quan sát được các thiên hà nữa. Con người liệu có đủ thông thái để tìm hăm ham muốn xây dựng và thấp sáng không biết chán của mình không, để con cháu của chúng ta còn có thể ngắm bầu trời trong toàn bộ vẻ đẹp lộng lẫy của nó?

### *Khi ánh sáng tương tác với vật chất*

Sau khi bóng điện lên ngôi năm 1879, phải gần tám mươi năm sau mới xuất hiện phát minh tiếp theo, đó chính là laser (viết tắt của cụm từ tiếng Anh "*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*" có nghĩa là khuếch đại ánh sáng bằng phát xạ cảm ứng). Ngày nay laser xuất hiện khắp nơi trong cuộc sống của chúng ta. Laser thường xuyên được sử dụng trong nghiên cứu khoa học: chẳng hạn, các chùm laser rất mạnh giúp chúng ta thăm dò cấu trúc của các nguyên tử riêng rẽ. Quân đội cũng sử dụng tia laser để chế tạo một hệ thống laser mà theo họ có khả năng bảo vệ chúng ta khỏi các tên lửa hành trình mang đầu đạn hạt nhân bằng cách phá hủy chúng trên đường bay trước khi chúng đến đích. Trong y học, các ứng dụng cũng rất đa dạng: chẳng hạn, các bác sĩ phẫu thuật sử dụng tia laser để dán lại võng mạc bị bong của những người khiếm thị và trả lại ánh sáng cho họ. Trong nhà máy, tia laser được sử dụng để cắt, đo, hàn và rất nhiều nhiệm vụ cơ khí khác. Để khoan đường hầm, các kỹ sư sử dụng một hệ thống các tia laser để giữ cho máy đào đúng hướng. Tia laser cũng đóng vai trò hàng đầu trong viễn thông: các chùm tia laser phát ra mỗi giây vô số các tín hiệu điện thoại và vô tuyến qua các đại dương và lục địa để kết nối chúng ta với nhau. Tia laser cũng đã được ứng dụng cho cuộc sống hàng ngày: chính một chùm laser đọc đĩa compact làm phát ra những bản nhạc xoa dịu tâm hồn ta.

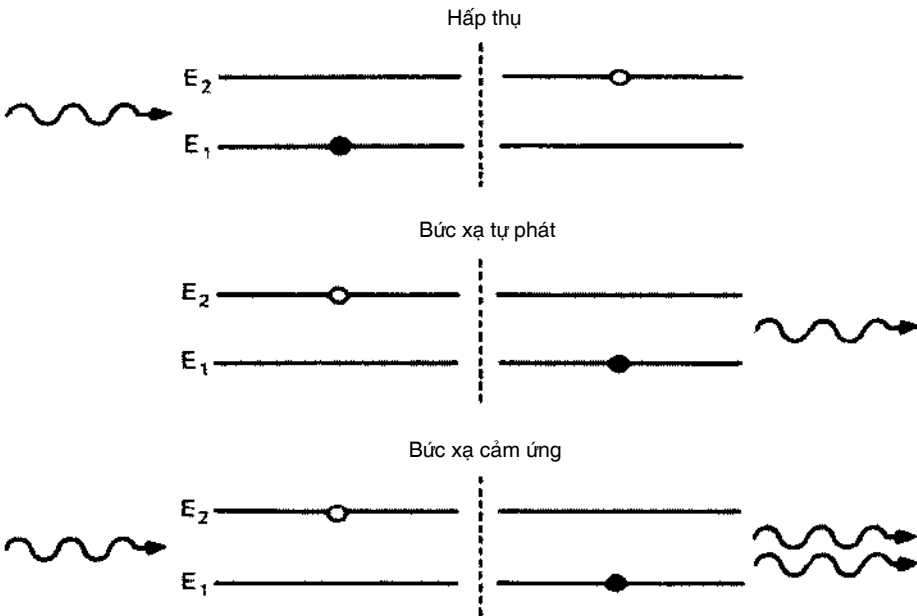
Tia laser là một đứa con của cơ học lượng tử, lý thuyết sinh ra vào đầu thế kỷ XX, mô tả hành trạng của các đơn vị khối lượng và năng lượng nhỏ nhất – trong tiếng Latinh *quantum* (lượng tử) có nghĩa là "đơn vị" -, và cùng với thuyết tương đối của Einstein, thuyết này là một trong hai trụ cột của vật lý hiện đại. Như chúng ta đã thấy, ánh sáng đóng vai trò cơ bản trong sự ra đời của lý thuyết về những cái vô cùng nhỏ này. Năm 1900, nhà vật lý học người Đức Max

Planck (1858-1947) đã suy nghĩ về một vấn đề bề ngoài có vẻ rất đơn giản, đó là sự phân bố các màu của ánh sáng phát ra từ một vật khi được nung nóng đến một nhiệt độ nhất định. Vật lý cổ điển, từ các nghiên cứu của Faraday và Maxwell, coi ánh sáng là một sóng điện từ, không thể giải thích được sự phân bố các màu quan sát được. Planck bất đắc dĩ đã phải từ bỏ định đề của vật lý cổ điển coi ánh sáng là một sóng liên tục và dù rất thất vọng ông vẫn phải cho rằng ánh sáng được bức xạ bởi một vật nung nóng không có cấu trúc sóng liên tục, mà gián đoạn. Trên thực tế, chỉ có cấu trúc gián đoạn gồm các “hạt” hay “photon” của ánh sáng mới có thể giải thích được các quan sát. Trong số bốn bài báo công bố vào năm kỳ diệu 1905, có một bài sau đó đã làm thay đổi diện mạo thế giới, trong đó Einstein đã khẳng định định đề của Planck. Để giải thích hiệu ứng quang điện (electron bị bứt ra khỏi bề mặt của kim loại khi chúng bị kích thích bởi một chùm ánh sáng), Einstein cũng đã phải thừa nhận rằng ánh sáng bị kim loại hấp thụ dưới dạng các hạt ánh sáng, mỗi hạt có một năng lượng bằng tích tần số của bức xạ với một số ngày nay gọi là “hằng số Planck”.

Nếu ánh sáng có bản chất gián đoạn, thì vật chất cũng không phải là ngoại lệ. Ngay từ năm 1913 nhà vật lý học người Đan Mạch Niels Bohr (1885-1962) đã đưa ra một mô hình nguyên tử trong đó electron không thể tùy thích lượn lờ quanh nhân nguyên tử, mà buộc phải nằm ngoan ngoãn trên các quỹ đạo xác định, ở cách hạt nhân những khoảng cách xác định và với các năng lượng hết sức xác định. Như vậy, quỹ đạo của các electron cũng có vẻ “lượng tử”. Nếu cả ánh sáng và vật chất đều có bản chất gián đoạn, thì chúng tương tác với nhau như thế nào? Einstein đã cho chúng ta câu trả lời trong một bài báo quan trọng công bố năm 1917, hơn một năm sau bài báo đồ sộ về thuyết tương đối của ông. Trong bài báo này ông đã mô tả các nguyên tử vật chất có thể hấp thụ hoặc phát ánh sáng như thế nào. Khi một photon bị hấp thụ, một electron của nguyên tử nhảy từ quỹ đạo ban đầu của nó sang một quỹ đạo cao hơn được đặc trưng bởi một năng lượng cao hơn (H. 60 a). Người ta nói rằng nguyên tử bị “kích thích”. Photon bị hấp thụ có một năng lượng đúng bằng hiệu năng lượng giữa quỹ đạo ban đầu và quỹ đạo cao hơn. Sau một khoảng thời gian rất ngắn, nguyên tử “rơi” trở lại trạng thái ban đầu, và electron quay về quỹ đạo năng lượng thấp hơn, gần hạt nhân hơn. Khi đó, một photon mới được phát ra, năng lượng của nó một lần nữa lại đúng bằng hiệu năng lượng giữa các quỹ đạo đầu và quỹ đạo cuối. Người ta gọi đó là hiện tượng bức xạ “tự phát” (H. 60 b). Như chúng ta đã thấy, chính hai quá trình này là nguyên tắc hoạt động của đèn neon: các electron của dòng điện kích thích các nguyên tử

của khí neon; khi các nguyên tử rơi trở lại trạng thái bình thường, các photon cực tím được phát ra, đến lượt chúng lại kích thích phốt pho trắng bên trong ống đèn; rồi phốt pho cũng trở lại trạng thái bình thường và cung cấp ánh sáng trắng cho chúng ta.

Einstein đưa ra thêm một loại tương tác thứ ba giữa vật chất và ánh sáng. Ông xét tình huống, trong đó nguyên tử vốn đã bị “kích thích” bị một photon đập vào. Trong trường hợp này, nguyên tử sẽ không bị kích thích thêm nữa; mà ngược lại, sự tương tác với photon này làm cho electron đã bị kích thích quay trở về mức năng lượng thấp hơn và phát ra một photon thứ hai. Còn về photon ban đầu, nó không bị hấp thụ, mà thoát ra khỏi nguyên tử như không có chuyện gì xảy ra. Bản quyết toán: một photon đi vào một nguyên tử đã bị kích thích cho ra hai photon. Như vậy, Einstein đã chỉ cho chúng ta biết cách thu được hai photon từ chỉ một photon, nghĩa là cách “khuếch đại” ánh sáng. Einstein gọi quá trình này là “bức xạ cảm ứng” (H. 60 c). Nó là cơ sở cho nguyên lý của laser.



**Hình 60.** Ba cách tương tác của nguyên tử với ánh sáng.  $E_1$  biểu thị một mức năng lượng thấp và  $E_2$  một mức năng lượng cao hơn của một nguyên tử. Các vòng tròn chỉ electron, và các đường lượn sóng chỉ photon. Sự hấp thụ (a) và bức xạ tự phát (b) photon là các quá trình thường xảy ra trong tự nhiên. Sự bức xạ cảm ứng photon (c) chính là cơ sở của laser.



*Maser hay ánh sáng vi sóng được khuếch đại*

Khi Einstein giới thiệu hiện tượng bức xạ cảm ứng trong bài báo năm 1917, ông nghĩ rằng đó chỉ là một thứ của lạ thú vị của tự nhiên, chứ không thể có một ứng dụng thực tiễn nào. Và ông đã có những lý do chính đáng để nghĩ như vậy: không phải ở đâu cũng có các nguyên tử đã bị kích thích, vì chúng có tuổi thọ rất ngắn. Chúng trở lại trạng thái bình thường tức thì sau vài phần triệu giây, và phát ra một photon. Thật vậy, tự nhiên vốn lười biếng và thích bằng lòng ở mức năng lượng thấp nhất có thể. Nói cách khác, rất hiếm khi các nguyên tử tồn tại ở trạng thái kích thích đủ dài để tạo ra sự bức xạ cảm ứng. Sự việc dừng lại ở đó cho tới năm 1951, khi các nhà vật lý Charles Townes (sinh năm 1915) và Joseph Weber (1919-2000) người Mỹ và Alexandre Prokhorov (sinh năm 1916) và Nikolaê Bassov (sinh năm 1922) người Nga đã hiểu một cách độc lập nhưng gần như đồng thời rằng, nhờ các kỹ thuật khéo léo và một dụng cụ mới, họ có thể tạo ra những tập hợp lớn các nguyên tử bị kích thích, trong đó độ cư trú của các electron bị đảo ngược: thay vì nằm trên các quỹ đạo với năng lượng thấp nhất có thể, chúng lại nằm trên các quỹ đạo cao hơn. Một hoàn cảnh như thế sẽ tạo ra một thác các photon. Trên thực tế, một photon đầu tiên sẽ kích thích phát ra một photon thứ hai; đến lượt chúng, hai photon này sẽ kích thích hai electron khác, và kết quả là hai photon khác ra đời, tức tổng cộng là bốn photon, bốn photon này lại tạo ra bốn photon khác, tức tổng cộng tám photon, v.v... Như vậy, chỉ một photon ban đầu sẽ cho ra đời vô số photon khác: nghĩa là ánh sáng đã được khuếch đại lên nhiều lần.

Năm 1953, Charles Townes và nhóm nghiên cứu của ông ở Đại học Columbia (New York) đã trở thành những người đầu tiên chế tạo thành công một dụng cụ có khả năng khuếch đại ánh sáng khi chiếu sáng các phân tử amôniac. Thiết bị này đã khuếch đại không chỉ ánh sáng nhìn thấy được, mà cả ánh sáng vi sóng (có cùng bản chất với ánh sáng của lò vi sóng trong nhà bạn), có bước sóng 1,25 cm, tức có tần số 24.000 MHz. Đó là lý do tại sao thiết bị đầu tiên này không được gọi là "laser", mà là "maser", viết tắt của cụm từ tiếng Anh "*Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation*", nghĩa là "khuếch đại ánh sáng vi sóng bằng bức xạ cảm ứng". Trong các điều kiện cân bằng bình thường, một số phân tử amôniac hấp thụ năng lượng vi sóng trong khi một số khác lại phát ra năng lượng vi sóng, tất cả có cùng một tần số. Giống như tại một ngân hàng, một số khách đến gửi tiền trong khi vài người khác lại rút ra một lượng tiền tương đương. Trong các điều kiện cân bằng này, năng lượng di chuyển liên tục từ phân tử này sang phân tử khác, làm cho nó

quá mất tổ chức nên không có ích gì. Townes và nhóm nghiên cứu của ông đã thiết lập được các điều kiện không cân bằng, trong đó một lượng lớn phân tử amôniac bị kích thích đồng thời, điều này cho phép chúng đồng thời phát ra photon, và như vậy sinh ra một năng lượng có tổ chức hơn và có ích hơn rất nhiều. Như thế là tất cả các khách hàng cùng quyết định rút tiền! Rất may, ngân hàng phân tử liên tục được cung cấp thêm năng lượng mới, và điều này ngăn nó không rơi vào tình trạng mất khả năng thanh khoản...

Mặc dù maser là một phát minh tuyệt vời, nhưng nó vẫn chưa tạo ra được một cuộc cách mạng công nghệ lớn sau đó. Do chi phí sản xuất quá lớn, lại rất khó vận hành nên maser chủ yếu được dùng trong các trạm radar và kính thiên văn vô tuyến, nghĩa là trong các hoàn cảnh ở đó các bộ phận tiếp nhận sóng vô tuyến phải được điều chỉnh đến một tần số cực kỳ chính xác. Chẳng hạn, các nhà thiên văn sử dụng các kính thiên văn khổng lồ Arecibo, đường kính 300 m, trên đảo Porto Rico, thuộc biển Caribê, để lắng nghe các tín hiệu có thể có của các nền văn minh ngoài Trái đất, họ sử dụng các tia maser để điều chỉnh tần số nghe của mình<sup>3</sup>. Dẫu vậy, cùng với bài báo năm 1917 của Einstein về bức xạ cảm ứng, phát minh ra maser đã đặt nền móng cho một lĩnh vực hoàn toàn mới của vật lý: đó là điện tử học lượng tử. Đặc biệt, nó đã mở đường cho sự lên ngôi của một thiết bị khác có khả năng khuếch đại không chỉ ánh sáng vi sóng, mà cả ánh sáng nhìn thấy được, và thiết bị này tạo ra cuộc cách mạng không chỉ đối với công nghệ mà đối với cả lối sống của chúng ta. Đó chính là laser.

### *Laser hay ánh sáng khuếch đại nhìn thấy được*

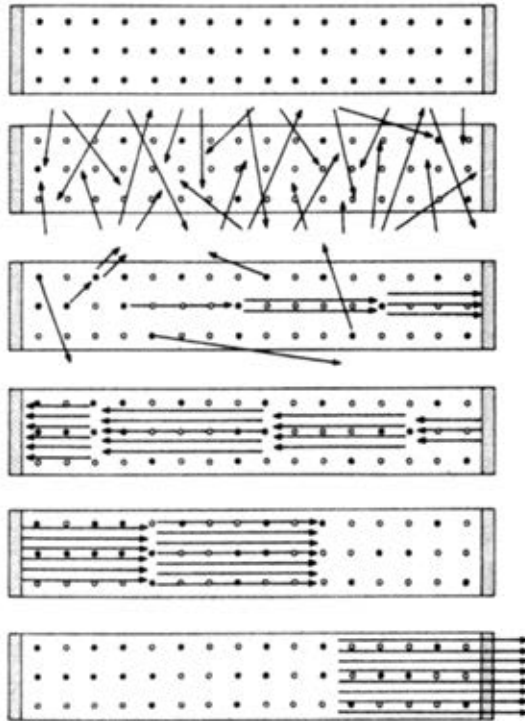
Khuếch đại ánh sáng nhìn thấy được bằng cách nào? Làm thế nào để có thể thay chữ “m” của từ “vi sóng” trong *maser* bằng chữ “l” của từ “light” (ánh sáng) trong *laser*? Phải tìm được các nhóm nguyên tử hay phân tử không những bị ánh sáng nhìn thấy được kích thích, mà còn được giữ đủ lâu trong trạng thái kích thích này để không cho xảy ra hiện tượng bức xạ tự phát, sao cho một vài photon có năng lượng (hay bước sóng) phù hợp có đủ thời gian để khởi phát bức xạ cảm ứng từ toàn bộ các nguyên tử hay phân tử bị kích thích, qua đó tạo ra một thác các photon. Cuộc chạy đua tìm người đầu tiên thực hiện chiến công



<sup>3</sup> Tự nhiên cũng biết cách tạo ra maser: các nhà thiên văn đã phát hiện ra các maser tự nhiên trong những khu vực hình thành sao trong Ngân hà. Trong một số điều kiện về mật độ và nhiệt độ, trong vùng giữa các vì sao xảy ra sự nghịch đảo độ cư trú của các electron trong một số phân tử khí (cùng như các phân tử nước), tạo ra các maser vũ trụ.

này rất gấp gáp. Người giật giải là nhà vật lý người Mỹ Theodore Maiman (sinh năm 1927), làm việc tại phòng nghiên cứu Hughes bên bờ biển nổi tiếng Malibu, bang California. Để tạo ra laser, Maiman đã nảy ra ý tưởng sử dụng một tinh thể hồng ngọc, thứ đá quý trong suốt màu đỏ thẫm pha hồng hoặc tía dùng làm vòng cổ cho các quý bà thanh lịch. Tinh thể hồng ngọc là kết quả của sự kết hợp của oxit nhôm và crôm. Chứa càng nhiều nguyên tử crôm thì hồng ngọc càng đỏ. Maiman đã quyết định lựa chọn một viên hồng ngọc màu hồng nhạt chứa khoảng 0,5% crôm, chế tác nó thành hình ống nhỏ dài 4cm và đường kính 0,5cm. Hai đầu của ống hồng ngọc được mài nhẵn và được phủ một phần bằng một lớp bạc biến nó thành gương có khả năng phản chiếu ánh sáng ở một cường độ nhất định.

Để kích thích các nguyên tử crôm và tạo ra sự nghịch đảo độ cư trú, Maiman đã chiếu sáng rất ngắn tinh thể hồng ngọc bằng một chớp sáng mạnh, giống loại đèn dùng cho máy ảnh. Electron trong các nguyên tử crôm được kích thích lên một mức năng lượng gọi là "giả bền": chúng có thể nằm ở trạng thái này trong khoảng vài phần nghìn giây, một khoảng thời gian vô cùng dài (chính xác hơn là dài hơn hàng nghìn lần) so với thời gian thường gặp trong bức xạ tự phát (vài phần triệu giây). Các sự kiện sau đó diễn ra rất nhanh. Một vài nguyên tử crôm ở trạng thái giả bền tức thì quay trở về trạng thái cũ, phát ra các photon đầu tiên, các photon này sau đó sẽ khởi phát các photon khác, nghĩa là tạo ra sự khuếch đại ánh sáng. Các photon đầu tiên này va chạm với các nguyên tử crôm khác vốn vẫn còn đang ở trạng thái giả bền. Bởi vì các photon này có đúng năng lượng cần thiết (bằng hiệu năng lượng của mức giả bền và năng lượng của mức thấp nhất), chúng sẽ gây ra bức xạ cảm ứng của các nguyên tử giả bền này. Mỗi khi một photon va chạm với một nguyên tử crôm giả bền, một photon khác có cùng năng lượng lại được phát ra. Hai photon này sẽ va chạm với hai nguyên tử crôm giả bền khác, tạo ra hai photon khác có cùng năng lượng, và cứ tiếp tục như vậy. Và số photon sẽ được nhân lên như thế. Khi được sinh ra, chúng di chuyển theo các quỹ đạo thẳng theo tất cả các hướng khả dĩ. Một lượng lớn trong số chúng thoát ra khỏi ống hồng ngọc, ngoại trừ những photon di chuyển dọc theo trục ống. Khi đi đến hai đầu ống, chúng bị hai gương phản xạ và quay trở lại, va chạm với các nguyên tử giả bền khác và khởi phát thêm sự bức xạ cảm ứng. Số photon không ngừng tăng lên cùng với việc chúng bị hai gương đối diện nhau phản xạ từ đầu này sang đầu kia của ống. Tất cả các sự kiện này diễn ra với tốc độ kinh hoàng, trong khoảng thời gian vài phần triệu giây. Khi thác các photon vượt qua một



**Hình 61.** Cơ chế hoạt động của một laser. Các vòng tròn đen chỉ các nguyên tử không được kích thích và các vòng trắng biểu thị các nguyên tử được kích thích. Các mũi tên chỉ quỹ đạo của các photon. Một lượng lớn photon thoát ra, ngoại trừ các photon dịch chuyển dọc theo trục của ống. Ở hai đầu ống có hai gương. Photon bị hai gương phản xạ, chúng kích thích các nguyên tử bị kích thích tạo ra thêm sự bức xạ cảm ứng. Khi số photon vượt qua một giới hạn nhất định sẽ phát ra một tia laser.

cường độ nhất định, thì các photon này sẽ đi qua gương được bán mạ ở một đầu của ống hồng ngọc, và chúng ta sẽ thấy một tia laser từ đó đi ra ngoài (H. 61). Con người đã sáng tạo ra điều mà các tác giả truyện khoa học viễn tưởng từng mơ tưởng: một chùm ánh sáng mà con người có thể kiểm soát theo ý muốn.

### *Màu thuần khiết của ánh sáng laser*

Ánh sáng của tia laser không giống với các loại ánh sáng khác. Nó có các tính chất đặc biệt khiến cho nó được xếp vào một loại riêng. Trước hết, nó có cường độ cực kỳ mạnh: mạnh hơn cả ánh sáng Mặt trời. Chẳng hạn, Mặt trời của chúng ta phát khoảng  $7 \text{ kWh/cm}^2$  bề mặt, tức tương đương với ánh sáng của 70 bóng đèn điện 100 W tập trung trên một diện tích chỉ bằng cái tem thư.

Một chùm laser có tiết diện  $1\text{cm}^2$  có thể có một năng thông hơn một triệu oát. Nếu bạn tập trung năng lượng trong các chùm laser còn mảnh hơn nữa thì công suất của chúng có thể lên đến hàng trăm triệu oát trên một  $\text{cm}^2$ . Công suất cực cao này là do, không như trong bóng đèn thông thường (như đèn flash dùng để kích thích các nguyên tử crôm) chỉ một vài nguyên tử tham gia vào việc phát photon ở một thời điểm nhất định, trong tia laser một lượng rất lớn các nguyên tử bị kích thích cùng phát xạ. Cơ chế hoạt động của tia laser chứng minh cho câu ngạn ngữ rất phổ biến: “Liên kết tạo nên sức mạnh”. Giống như trên sân cỏ: nếu khán giả cổ vũ mà không có bất kỳ sự phối hợp nào với nhau, thì bạn sẽ chỉ nghe thấy những tiếng động hỗn tạp, nhưng nếu đám đông đồng thanh reo hò, thì bạn sẽ nghe thấy một tiếng động lớn nổi lên từ các hàng ghế.

Đặc tính thứ hai của ánh sáng laser là nó có màu rất thuần khiết. Hay nói cách khác, ánh sáng của nó là đơn sắc, nghĩa là chỉ có một màu duy nhất. Nếu bạn cho nó đi qua một lăng kính, nó sẽ không bị phân tách và đi ra nguyên vẹn, không như các ánh sáng khác. Chúng ta đã biết rằng ánh sáng trắng của Mặt trời là tổng hợp của tất cả các màu cầu vồng. Các ngọn đèn dây tóc và đèn huỳnh quang cũng phát ra ánh sáng được cấu thành từ nhiều màu khác nhau. Màu của laser là thuần khiết, vì tất cả các photon của chùm có cùng một năng lượng. Trên thực tế, trong một máy laser, tất cả các nguyên tử đều giống nhau, điều này có nghĩa là các mức năng lượng của các electron bên trong các nguyên tử cũng chính xác như nhau, và photon được phát ra khi một electron trong một nguyên tử chuyển dời từ một mức năng lượng cao hơn (tương ứng với trạng thái kích thích) về một mức năng lượng thấp hơn có chính xác cùng một năng lượng (hay bước sóng, hoặc tần số) với tất cả các photon khác sinh ra từ cùng một quá trình trong các nguyên tử khác. Nếu ánh sáng Mặt trời giống như âm nhạc tạo nên từ một tập hợp các nhạc cụ khác nhau trong dàn nhạc và tạo ra gam đầy đủ các nốt, thì ánh sáng laser giống như âm thanh được tạo ra bởi tất cả các nhạc công chơi cùng một nhạc cụ và cùng một nốt không bao giờ thay đổi.

Sau nghiên cứu tiên phong của Maiman về laser hồng ngọc, hàng trăm loại laser khác đã ào ạt xuất hiện. Màu của ánh sáng laser tùy thuộc vào trạng thái của vật chất được sử dụng để tạo ra chùm sáng- chất rắn (như hồng ngọc), chất lỏng hay khí (như hỗn hợp heli và neon, argon, khí cacbonic, thậm chí cả không khí). Các vật liệu bán dẫn (các chất phi kim, dẫn điện không tốt) như các chất tạo thành các chip điện tử trong máy vi tính, như silic, cũng được sử dụng để tạo ra laser. Còn về các chùm sáng laser, chúng có thể là liên tục hoặc có dạng

các xung rất ngắn, với độ dài chỉ vài nano giây (một nano giây bằng một phần tỉ giây). Một số laser phát ra ánh sáng không nhìn thấy được, có bản chất hồng ngoại, cực tím, hoặc tia X. Nhưng, dù bản chất là thế nào đi nữa, thì ánh sáng này vẫn luôn là đơn sắc một cách ngang ngạnh. Để kích thích các nguyên tử, người ta đã sử dụng không chỉ ánh sáng nhìn thấy được (như trong trường hợp của Maiman), mà cả các dòng điện hay các phản ứng hóa học.

### *Phản xạ ánh sáng laser từ Mặt trăng*

Tất cả các photon của một chùm laser không chỉ có cùng màu, mà chúng còn cùng pha với nhau. Các bạn chắc còn nhớ rằng hạt “photon” cũng có bản chất sóng. “Cùng pha” có nghĩa là các sóng điện từ gắn với các photon luôn có cùng tần số và tại một thời điểm bất kỳ chúng có các đỉnh và các hõm sóng trùng nhau, giống như các chiến sĩ đi duyệt binh. Người ta nói rằng ánh sáng laser là “kết hợp” về không gian. Chúng cũng là kết hợp cả về thời gian, vì khoảng thời gian sóng đi từ đỉnh này sang đỉnh tiếp theo luôn như nhau. Điều này hoàn toàn không giống sóng nước vỗ vào bờ và tan trên bờ cát. Sóng trước luôn khác sóng sau nó: một số con sóng lớn, một số con sóng khác bình thường; một số sóng vỗ theo nhịp nhanh, một số khác lại chậm hơn. Các bạn sẽ không bao giờ thấy sóng nước là “kết hợp” trên bờ biển. Vì ánh sáng laser có tính kết hợp nên người ta đã sử dụng nó trong kỹ thuật đo lường. Vì bước sóng của laser cỡ một nửa micromét (một nửa phần triệu mét), nên nó bị phản xạ trên bề mặt của các vật cho phép đo được các cấu trúc chỉ cỡ một phần của micromét.

Tính chất cuối cùng phân biệt ánh sáng laser với các loại ánh sáng khác là tính định hướng của nó. Các chùm laser rất hẹp: đường kính của nó chỉ bằng đường kính của một cái bút chì. Đáng chú ý hơn, chùm vẫn giữ được độ mảnh của nó trong suốt quá trình lan truyền trên những khoảng cách rất lớn. Nó rất ít phân tán, và điều này phân biệt nó một cách rõ ràng với hành trạng của ánh sáng bình thường vốn phân tán rất mạnh, kể cả trên các khoảng cách ngắn. Để thấy điều đó, bạn chỉ cần cầm đèn pin, đi ra ngoài trời tối và chiếu đèn: bạn sẽ thấy chùm sáng trở nên không nhìn thấy được chỉ sau vài mét, vì ánh sáng của nó đã bị phát tán. Ngược lại, các chùm laser có công suất chỉ vài oát cũng dễ dàng vượt qua khoảng cách giữa Trái đất và Mặt trăng (384.000 km), rồi bị bề mặt của Mặt trăng phản xạ và quay trở lại Trái đất. Hành trình ngoạn mục này sở dĩ thực hiện được là bởi vì chùm laser giữ được tính định hướng của nó trong suốt quá trình lan truyền từ Trái đất lên Mặt trăng và không bị phân tán một cách vô độ. Một chùm laser đi từ Trái đất lên Mặt trăng ban đầu

có kích thước bằng cái bút chì thì khi lên đến Mặt trăng nó có kích thước chỉ bằng một vòng tròn đường kính vài kilômét. Sự loe rộng này của chùm laser, thoạt nhìn có vẻ rất lớn, nhưng thực ra không phải vậy, vì sự phân tán này chỉ bằng 0,001% khoảng cách Trái đất-Mặt trăng.

Bằng cách đo thời gian mà tia laser phải mất để hoàn thành một hành trình khứ-hồi, các nhà thiên văn có thể dựng lại bản đồ địa hình của Mặt trăng: nếu chùm laser bị phản xạ từ một đỉnh núi, thì thời gian này sẽ ngắn hơn một chút; ngược lại, nếu chùm bị phản xạ từ một thung lũng, thì thời gian này sẽ dài hơn một chút. Trong những năm 1970, các nhà du hành trong phi đoàn Apollo đã để lại trên Mặt trăng các gương phản xạ đặc biệt có khả năng phản xạ chùm laser (H. 62a). Ánh sáng laser bị phản xạ có thể được quan sát bằng các kính thiên văn đặt trên Trái đất (H. 62b). Bằng cách đo thời gian khứ-hồi của một chùm laser bị các gương đặt trên Mặt trăng phản xạ rồi nhân thời gian này với vận tốc của ánh sáng là có thể thu được khoảng cách Trái đất-Mặt trăng, các nhà thiên văn đã xác định được quỹ đạo của Mặt trăng quanh Trái đất với độ chính xác tới vài xentimét. Đối với khoảng cách Trái đất-Mặt trăng, thì độ chính xác đạt tới một phần mười tỉ. Bằng cách thực hiện các phép đo này từ các lục địa khác nhau, các nhà thiên văn thậm chí còn có thể đo được vận tốc trôi giạt của các mảng lục địa; vận tốc này là vài xentimét mỗi năm, tương đương với vận tốc mọc của móng tay bạn.

### *Nước nặng*

Nhờ có bốn tính chất rất đặc biệt nói ở trên - cường độ, màu thuần khiết, tính kết hợp và tính định hướng -, nên laser đã được sử dụng rộng rãi tại các nhà máy, phòng thí nghiệm, bệnh viện, siêu thị và phòng khách. Chính một chùm laser đã đọc các mã vạch của hàng hoá trong siêu thị và thông báo cho nhân viên thu ngân (hay chính xác hơn là cho máy vi tính) biết giá của sản phẩm. Các bác sĩ ngoại khoa sử dụng tia laser để điều trị bệnh đục thủy tinh thể (có thể dẫn đến mù), nối các mạch máu, chữa loét da. Laser cũng được sử dụng trong phẫu thuật thẩm mỹ để loại bỏ nốt ruồi hoặc vết xăm mà các chủ nhân của chúng không còn muốn mang trên cơ thể nữa. Bằng cách quét qua máu dự trữ trong các ngân hàng máu, laser có thể tiêu diệt rất nhiều loại virus nguy hiểm như virus gây AIDS, sởi, herpes. Dùng các chớp sáng laser có độ kéo dài cỡ một phần triệu tỉ ( $10^{-15}$ ) giây quét lên các nguyên tử, các nhà khoa học có thể quan sát được một cách trực tiếp vũ điệu vi mô của các nguyên tử đang liên kết hoặc tách rời nhau.



a



b

**Hình 62.** Một chùm laser bị phản xạ từ Mặt trăng (a): Các nhà du hành thuộc phi đoàn Apollo 14 vào tháng 2 năm 1971 đã để lại trên Mặt trăng một kính phản xạ bao gồm  $10 \times 10$  tấm có chiều dài mỗi cạnh là 3,8cm. Nhiều kính phản xạ khác cũng đã được đặt tại các vị trí khác trong chuyến du hành lên Mặt trăng của các phi đoàn Apollo khác (đặc biệt là Apollo 11, chuyến lên Mặt trăng đầu tiên). (b) Một chùm laser được phát lên Mặt trăng từ đài thiên văn McDonald ở Texas, Mỹ. Tia laser này sẽ bị một trong các gương đặt trên Mặt trăng phản xạ và sẽ quay trở lại đài thiên văn. Bằng cách đo thời gian mà chùm laser phải mất để quay trở lại Trái đất (thời gian khứ-hồi là cỡ 2,5 giây), các nhà khoa học đã có thể xác định được khoảng cách Trái đất-Mặt trăng với độ chính xác tới 2,5cm.



Laser cũng được sử dụng để làm nóng vật chất lên các nhiệt độ rất cao để tạo ra năng lượng hạt nhân thông qua sự tổng hợp các proton, như trong tâm của các ngôi sao. Như chúng ta đã biết, các ngôi sao phát sáng là do chúng tổng hợp theo nhóm cứ bốn proton một trong tâm của chúng để tạo ra các hạt nhân hêli. Trong quá trình này, một phần rất nhỏ (0,7%) khối lượng của bốn proton được chuyển hóa thành năng lượng theo công thức nổi tiếng của Einstein (năng lượng bằng tích của khối lượng với bình phương vận tốc ánh sáng). Do proton có điện tích dương nên chúng đẩy nhau. Chúng chỉ có thể tổng hợp trong các lò luyện hạt nhân của các sao vì ở đó nhiệt độ là cực cao (hơn 10 triệu độ). Nói nhiệt độ cao cũng nghĩa là nói tới các chuyển động dữ dội, điều này cho phép proton thắng được lực đẩy điện từ của chúng để tiến lại gần nhau và tổng hợp với nhau. Vậy có thể sử dụng nguồn proton nào trên Trái đất, và làm nóng chúng lên đến các nhiệt độ rất cao bằng cách nào để cho phép chúng thắng được lực đẩy điện từ và tổng hợp với nhau để chuyển hóa một phần khối lượng của chúng thành năng lượng? Ở các áp suất có thể tạo ra được trên Trái đất, khoảng một chục tỉ lần thấp hơn ở tâm Mặt trời, nhiệt độ phải cao hơn 100 triệu độ thì mới tạo ra được một sự tổng hợp có hiệu quả. Về nguồn proton, các nhà vật lý thường sử dụng đoteri và triti, đó là các đồng vị của hydro dễ dàng tổng hợp hơn hydro. Một đồng vị là một biến thể của một nguyên tố hóa học có ít hoặc nhiều hơn nhau một hoặc vài notron trong hạt nhân của chúng. Chẳng hạn, trong khi hạt nhân hydro được cấu thành từ một proton, thì hạt nhân của đoteri được cấu thành từ một proton và một notron, và hạt nhân của triti từ một proton và hai notron. Một phân tử nước được tạo thành từ hai nguyên tử hydro và một nguyên tử ôxy; hãy thay hai nguyên tử hydro bằng hai nguyên tử đoteri, bạn sẽ thu được “nước nặng” (hạt nhân của đoteri nặng hơn hạt nhân của hydro, bởi vì nó chứa nhiều hơn một notron). Nước nặng có cùng các tính chất hóa học như nước thường, và bạn có thể uống nó mà không có hại gì cho sức khỏe cả, chỉ có điều vì nó nặng hơn nên nó có thể làm rối loạn cơ chế bên trong của tai bạn, cơ quan gây cho bạn cảm giác cân bằng. Sau khi uống nước nặng, bạn sẽ loạng choạng như người say rượu.

### *Laser và năng lượng tổng hợp hạt nhân*

Đoteri tồn tại ở trạng thái tự nhiên trên Trái đất. Người ta phát hiện thấy đoteri trong nước suối, sông và biển. Trong những nơi chứa nước này, cứ 6000 nguyên tử hydro thì lại có một nguyên tử đoteri, tức 35 gam đoteri trong một mét khối nước. Hãy đổ đầy nước vào cốc và bạn sẽ có đủ số nguyên tử đoteri

để tạo ra bằng sự tổng hợp hạt nhân một lượng năng lượng tương đương với 500.000 thùng dầu! Trên thực tế, tổng hợp hạt nhân có khả năng tạo ra rất nhiều năng lượng. Bốn kilômét khối nước có thể tạo ra một lượng năng lượng bằng tất cả các mỏ dầu trên hành tinh cộng lại! Hãy nhớ rằng cứ mỗi lần xả nước trong toilet là một lần mất đi khoảng 15.000 kW.h năng lượng tổng hợp tiềm năng... Vì tổng thể tích của nước trên Trái đất lớn hơn rất nhiều một tỉ kilômét khối, nên sự tổng hợp hạt nhân có khả năng thỏa mãn nhu cầu năng lượng của toàn nhân loại trong nhiều thiên niên kỷ tới.

Hiện chúng ta vẫn chưa biết cách tạo ra năng lượng tổng hợp nhiệt hạch trên quy mô lớn. Dù người ta đã dành những khoản đầu tư rất lớn, nhưng rất tiếc sự tổng hợp hạt nhân vẫn chưa tiến được bao xa so với cách đây vài thập kỷ. Nhưng các nghiên cứu vẫn đang tiến triển. Laser đã góp phần vào những nghiên cứu này. Người ta đã dùng các xung laser bắn vào các viên tròn đường kính khoảng 2mm chứa vài miligam đoteri và triti. Khoảng chục chùm laser có cường độ cực mạnh tập trung chiếu đồng thời vào viên này từ tất cả các hướng, làm cho nó bị nổ co vào, dẫn đến áp suất và nhiệt độ của hỗn hợp đoteri-triti tăng lên đủ cao để khởi phát sự tổng hợp proton. Chỉ trong khoảng thời gian vài phần tỉ giây, công suất được hệ laser giải phóng cao hơn tổng công suất của tất cả các nhà máy điện của nước Mỹ! Nhưng, trong khi sự giam hãm vật chất ion hóa (mà người ta gọi là "plasma" vì ở các nhiệt độ cao như thế các va chạm dữ dội giữa đoteri và triti làm cho chúng mất electron; khi đó chúng ta sẽ thấy một hỗn hợp gồm các electron tự do tích điện âm và các hạt nhân nguyên tử tích điện dương, gọi là "ion") là quá trình tự nhiên trong các sao do chúng có khối lượng và lực hấp dẫn cực lớn, thì cho tới nay chúng ta vẫn chưa biết cách giam vật chất bị nóng lên đến các nhiệt độ như thế. Vật chất khi này sẽ phình ra, tản mát, và chưa đầy một phần tỉ giây (một nano giây) các phản ứng tổng hợp sẽ lập tức dừng lại. Sự tổng hợp hạt nhân bằng laser chỉ có thể tạo ra năng lượng bằng các xung ngắn, nên sẽ là không thực tế nếu muốn dùng nó để tạo ra năng lượng với số lượng lớn. Nhưng bằng cách làm nóng vật chất lên những nhiệt độ rất cao và khởi phát sự tổng hợp hạt nhân, ánh sáng laser đã giúp các nhà vật lý chế tạo ra vật chất cực kỳ nóng và học được cách giam hãm chúng bằng các từ trường mạnh để một ngày nào đó sẽ chế tạo ra các lò phản ứng tổng hợp nhiệt hạch có khả năng tạo ra đủ năng lượng cho các mục đích thương mại. Lò phản ứng nghiên cứu mang tên ITER (nghĩa là "Con đường" theo tiếng Latinh, nhưng đó cũng là từ viết tắt của cụm từ *International Thermonuclear Experimental Reactor* – Lò phản

ứng nhiệt hạch thử nghiệm quốc tế), một dự án quốc tế với các thành viên là châu Âu, Nhật Bản, Mỹ và Nga, hiện đang được xây dựng tại Cadarache, vùng Bouches-Rhône (Pháp), là một ví dụ về các máy mà các nhà vật lý sử dụng để giam vật chất cực nóng bằng các từ trường cực mạnh.

### *Nhạc stereo và các sóng âm thanh lệch pha*

Một trong những ứng dụng ấn tượng nhất của laser chắc chắn là kỹ thuật chụp ảnh toàn ký (*holographie*, trong tiếng Hy Lạp *holos* nghĩa là “toàn bộ” và *graphos* có nghĩa là “viết”), một ngành khoa học cho phép tạo ra các hình ảnh nổi, ba chiều, mà không cần phải sử dụng tới các thấu kính. Ý tưởng này được hình thành vào năm 1947 của nhà vật lý người Anh gốc Hungari Dennis Gabor (1900-1979). Vốn thường xuyên làm việc với các kính hiển vi điện tử, Gabor nghĩ rằng ông có thể tái tạo được các hình ảnh nổi bằng các chùm electron dùng trong các kính hiển vi này. Mặc dù Gabor đã chứng minh được nguyên lý chụp ảnh toàn ký, và nhờ đó ông đã được trao giải Nobel về vật lý năm 1971, nhưng vẫn phải chờ đến sự lên ngôi của laser thì người ta mới thực hiện được trên thực tế sự chụp ảnh toàn ký.

Để hiểu ảnh toàn ký là gì, chúng ta hãy nhớ lại thí nghiệm hai khe của Thomas Young: khi một sóng ánh sáng gặp một sóng ánh sáng khác sẽ xảy ra hiện tượng giao thoa. Nếu hai sóng xuất phát từ cùng một nguồn sáng và đi qua chính xác cùng quãng đường, thì các đỉnh (và các hõm) của chúng sẽ cùng pha với nhau (tức độ lệch pha bằng 0) và sẽ được cộng lại và tăng cường nhau. Ngược lại, nếu một sóng phải đi qua một quãng đường dài hơn một chút (hoặc ngắn hơn một chút), nó sẽ lệch pha một chút so với sóng kia. Chẳng hạn, các đỉnh của sóng này có thể gặp các hõm của sóng kia, và hai sóng sẽ triệt tiêu nhau; độ lệch pha khi đó đúng bằng 180 độ, và thêm ánh sáng vào ánh sáng có thể tạo ra bóng tối. Vì vậy, cường độ của chồng chất hai sóng ánh sáng biến thiên từ một cực đại sang một cực tiểu, khi độ lệch pha biến thiên từ 0 đến 180 độ.

Tất cả chúng ta đều cảm thấy hiện tượng này khi nghe một dàn giao hưởng thính phòng, hay đơn giản khi chúng ta thư giãn trong phòng nghe một bản nhạc phát ra từ dàn stereo. Thực ra, âm thanh lan truyền bằng các sóng âm trong không khí cũng giống như ánh sáng lan truyền bằng các sóng ánh sáng. Trong một phòng hòa nhạc lớn, âm thanh đến tai ta từ nhiều hướng, trực tiếp từ các loại nhạc cụ khác nhau trong dàn nhạc, nhưng cũng cả những sóng âm

được phản xạ trên bề mặt của trần và tường. Vì hai tai của chúng ta cách nhau một khoảng bằng độ rộng của khuôn mặt, nên phần lớn các âm thanh của dàn nhạc đến một trong hai lỗ tai sớm hơn hoặc muộn hơn so với lỗ tai kia một phần giây. Vì vậy âm thanh của các nhạc cụ được hai tai truyền lên não với một sự lệch pha nhất định, sự lệch pha này được các neuron phân tích để định vị âm thanh trong không gian. Một âm thanh không lệch pha sẽ được định hướng ở giữa. Ngược lại, một âm thanh có độ lệch pha lớn sẽ được xác định ở bên trái hoặc bên phải, trong khi một âm thanh có độ lệch pha ngược lại sẽ được định vị ở phía đối diện. Nhưng, nếu bản nhạc được ghi âm bởi hai hoặc nhiều microphone đặt ở các vị trí được lựa chọn cẩn thận, thì khi bạn nghe bản nhạc này từ đầu đọc đĩa CD với một cặp hoặc nhiều loa, bạn sẽ có cảm giác như âm thanh phát ra từ nhiều nhạc cụ phân bố trong không gian: người ta gọi đó là hiệu ứng âm lập thể (stereo).

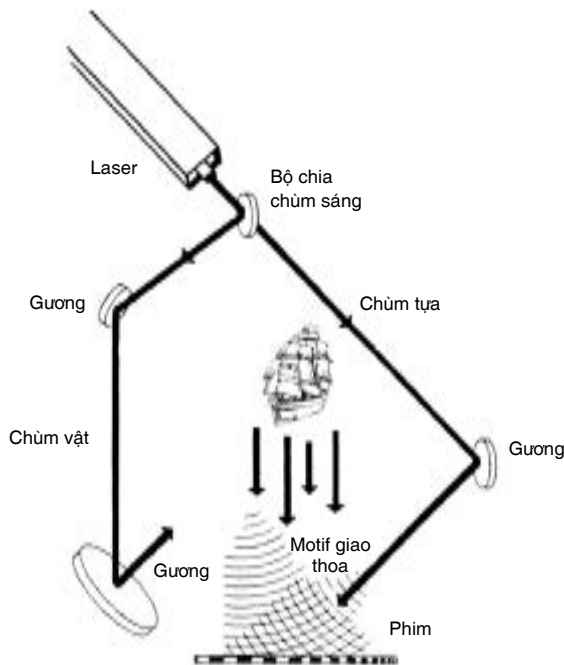
### *Ảnh toàn ký: những hình ảnh ba chiều*

Ví dụ về các âm thanh phát ra từ một dàn nhạc đã chứng tỏ cho chúng ta thấy rằng nếu các quan hệ về pha giữa các sóng âm thanh khác nhau có thể được lưu giữ, thì quan hệ về không gian giữa các vị trí từ đó phát ra các sóng này cũng có thể tái tạo được. Điều tương tự cũng xảy ra với các sóng ánh sáng, và đó chính là nguyên lý của kỹ thuật chụp ảnh toàn ký. Trong trường hợp này, thông tin gắn với pha của các sóng ánh sáng phản xạ từ một vật được ghi lại trên một kính ảnh, và được thể hiện bằng một mô típ giao thoa. Sau đó, mô típ này có thể được giải mã để tái tạo lại cấu trúc không gian của vật.

Chúng ta có thể hiểu hiện tượng này chi tiết hơn bằng cách so sánh ảnh giao toàn ký với một ảnh chụp thông thường. Đối với ảnh chụp bằng máy ảnh thông thường, cần phải có một thấu kính để tập trung các tia sáng lên một phim (hay một detector điện tử) và tạo ra ở đó hình ảnh của vật. Mỗi một điểm của vật được chụp tương ứng với một điểm duy nhất của ảnh, và ngược lại. Đối với một bức ảnh thông thường, chỉ có các thông tin liên quan đến màu sắc của vật và cường độ của ánh sáng ở mỗi điểm của vật này được ghi lại. Còn thông tin về pha của các sóng ánh sáng thì bị hoàn toàn. Điều này có nghĩa là nếu một phần của phim bị xước, thì phần tương ứng trong hình ảnh của vật cũng sẽ mất không gì cứu vãn được. Tình hình hoàn toàn khác trong trường hợp vật được chụp bằng kỹ thuật toàn ký. Hình ảnh này được tạo ra từ một chùm laser chia thành hai phần: phần thứ nhất, gọi là “chùm vật”, được hướng đến vật cần

chụp ảnh và được vật này phản xạ đến phim; phần thứ hai, gọi là “chùm tựa” (hay chùm quy chiếu), được một gương phản xạ và sẽ đi thẳng đến phim mà không hề gặp vật (H. 63). Hai chùm laser tương tác với nhau để tạo ra “môtip giao thoa”, và môtip này được phim lưu lại. Bức tranh giao thoa này không có gì giống với vật ban đầu cả. Thực ra nó trông giống như mặt ao khi bị một nắm sỏi ném xuống, với rất nhiều sóng tròn đồng tâm cắt nhau. Thế nhưng bức tranh không đầu không đuôi này lại chứa toàn bộ thông tin về các pha của sóng ánh sáng, cần thiết để tái tạo vật ba chiều. Trong một chừng mực nào đó nó đóng vai trò là “âm bản” của ảnh chụp thông thường.

Để tạo ra “đương bản” hay, nói cách khác, để đọc được motif giao thoa và tái dựng lại hình ảnh nổi, chỉ cần chiếu sáng môtip giao thoa bằng một chùm laser cùng bản chất với chùm đã được dùng để tạo ra môtip này. Ánh sáng thông thường (ánh sáng nèn, ánh sáng đèn dây tóc hoặc ánh sáng Mặt trời)



**Hình 63.** Nguyên lý chụp ảnh toàn ký. Để tạo ra ảnh toàn ký của một vật (ở đây là maket của một tàu thủy), chùm laser được chia làm hai phần: chùm vật, được hướng đến vật và chùm tựa đi thẳng đến phim mà không có bất kì tương tác nào với vật. Khi gặp nhau, hai chùm tạo ra một môtip giao thoa được ghi lại trên phim (hay một detector điện tử). Môtip này chứa tất cả thông tin cần thiết để tái tạo lại hình ảnh ba chiều của vật.

được tạo thành từ các sóng ánh sáng có các pha lộn xộn, nên không thể dùng để đọc môtip giao thoa và thu hồi thông tin về các pha được. Ngược lại, như chúng ta đã biết, ánh sáng laser có tính “kết hợp”. Các nguyên tử tạo nên nó đã được kích thích sao cho chúng đồng loạt phát ra ánh sáng vào cùng thời điểm, tới mức tất cả các sóng ánh sáng của một laser hoàn toàn cùng pha với nhau và là các tác nhân lý tưởng để khôi phục lại thông tin về các pha trong “âm bản”. Chính vì thế, để ảnh toàn ký trở thành hiện thực người ta phải chờ sự lên ngôi của laser. Khi bức tranh giao thoa được một chùm laser chiếu sáng, vật xuất hiện ba chiều, lơ lửng trong không trung như có phép lạ. Ảnh toàn ký trông thực một cách kỳ lạ: bạn thậm chí có thể xoay chúng và phát hiện được cả các phần của vật không thể thấy nếu nhìn đối diện như trong trường hợp nhìn vật thật. Chỉ khi bạn thử chạm vào vật, và ngón tay của bạn xuyên qua bức ảnh toàn ký như không có gì ngăn cản, thì bạn mới nhận ra rằng nó không phải là một vật thực mà chỉ là một hình ảnh.

#### *Tính tổng thể ảnh toàn ký và của vũ trụ*

Điều còn lạ lùng hơn cả tính phi vật chất của chúng, là các ảnh toàn ký còn có một tính chất khác hết sức kỳ lạ: đó là mỗi phần của ảnh toàn ký đều chứa toàn bộ thông tin của cả bức ảnh. Điều này hoàn toàn không thể có đối với một bức ảnh thông thường. Chẳng hạn, nếu ai đó cắt đi một phần âm bản bức ảnh của bạn, ví dụ phần ghi hình ảnh cánh tay bạn, thì bức ảnh được rửa ra sau đó sẽ cho hình ảnh về bạn bị cụt mất cánh tay. Trái lại, nếu một ai đó lấy đi một phần bức tranh giao thoa tạo nên “âm bản” của ảnh toàn ký, và nếu bạn chiếu sáng phần còn lại bằng một chùm laser thích hợp, thì bạn sẽ thu được không phải một phần của ảnh toàn ký, mà là toàn bộ bức ảnh, mặc dù độ sáng yếu hơn, và với các phối cảnh hạn chế hơn. Sở dĩ như vậy là vì, trong kỹ thuật ảnh toàn ký, không còn tồn tại mối quan hệ duy nhất giữa một phần của cảnh chụp và một phần của âm bản như trong trường hợp phim âm bản thông thường. Ở đây toàn bộ cảnh được ghi lại ở tất cả các điểm của âm bản ảnh toàn ký. Nói cách khác, mỗi điểm của ảnh toàn ký chứa toàn bộ hình ảnh.

Hiện tượng này có một hệ quả kỳ lạ: các sóng ánh sáng choán toàn vũ trụ, chúng không ngừng di chuyển, phản xạ từ vật này sang vật kia, nhảy từ vị trí này sang vị trí khác, liên tục giao thoa với nhau. Như vậy chúng tạo ra các môtip giao thoa thay đổi và tiến hóa liên tục theo thời gian, chứa đựng các kho thông tin không bao giờ voi cạn về tất cả các vật mà chúng tương tác trên hành trình của chúng. Hình dạng hình học của các vật mà chúng gặp trên đường,

vị trí không gian của chúng, khoảng cách của chúng với nhau, tất cả đều được mã hóa trong các môtip giao thoa mà vô số sóng ánh sáng trong vũ trụ tạo ra. Vì vật chất cũng có bản chất sóng – các bạn hãy nhớ lại phát hiện của nhà vật lý người Pháp Louis de Broglie (1892-1987) –, nên nó cũng tham gia vào việc tạo ra mạng lưới giao thoa khổng lồ này. Như vậy có thể coi vũ trụ được tằm trong một môtip mã hóa khổng lồ của vật chất và năng lượng. Mỗi vùng không gian, dù rất nhỏ (có thể chỉ bằng kích thước của một photon, bằng bước sóng gắn với nó), cũng chứa thông tin về toàn bộ quá khứ và có khả năng ảnh hưởng đến các sự kiện trong tương lai. Như vậy, chúng ta được dẫn đến một cái nhìn tổng thể đáng kinh ngạc về vũ trụ, một cái nhìn về vũ trụ toán ký vô hạn trong đó mỗi vùng được nhìn nhận theo một phối cảnh khác nhau, nhưng đều chứa tổng thể trong mình.

Cũng giống như thí nghiệm EPR (Einstein-Podolsky-Rosen) nói với chúng ta rằng nếu hai hạt tương tác với nhau, chúng luôn giữ liên lạc với nhau bằng một ảnh hưởng huyền bí và toàn thức, quan niệm về một vũ trụ toàn ký buộc chúng ta phải vượt ra ngoài các khái niệm thông thường về thời gian và không gian: mỗi bộ phận đều chứa tổng thể và tổng thể được phản ánh trong bộ phận. Cuốn sách mà bạn đang cầm trên tay, các đồ vật xung quanh bạn, những bông hồng ngát hương, những bức tượng tuyệt mỹ của Rodin, những bức tranh tuyệt đẹp của Cézanne, tất cả những vật mà chúng ta coi là các đoạn hiện thực rời rạc lại chứa đựng cái tổng thể ở ngay trong lòng chúng nhờ mạng lưới giao thoa rộng lớn của các sóng ánh sáng choán toàn vũ trụ. Trực giác thi ca đôi khi cũng theo kịp chứng minh khoa học, như thi sĩ người Anh William Blake (1757-1827) đã diễn tả hết sức tài tình tính tổng thể này vũ trụ bằng các câu thơ tuyệt đẹp:

*Nhìn vũ trụ trong một hạt cát  
Và thiên đường trong một đóa hoa  
Nắm cái vô hạn trong lòng bàn tay  
Và vĩnh hằng trong một khắc giây.*

### *Laser, đĩa CD và DVD*

Laser còn cho phép chúng ta phát triển các hệ quang học lưu giữ thông tin. Trong các hệ này, chúng ta sử dụng ánh sáng để lưu giữ thông tin trên một giá đỡ vật chất, và cũng để đọc nó nữa. Chắc bạn sẽ thầm nghĩ rằng các hệ này rất phức tạp và bạn sẽ chẳng có cơ hội được thấy chúng trong cuộc sống hàng ngày. Bạn nhầm rồi! Mỗi khi nghe nhạc ghi trên đĩa CD (đĩa compact) hay

xem một bộ phim trên đĩa DVD (viết tắt của cụm từ tiếng Anh *Digital Versatile Disc*, đĩa số hoá đa dụng), nghĩa là bạn đang sử dụng một hệ quang học lưu giữ thông tin đầy. Nguyên lý của các hệ này rất đơn giản: một chùm laser ghi thông tin lên đĩa - một bản giao hưởng của Beethoven hay một bộ phim cao bồi viễn tây của John Ford; và một chùm laser khác sẽ được sử dụng để đọc nó. Trên một màng mỏng nhạy cảm với ánh sáng phủ trên một đĩa quay rất nhanh được khắc hàng tỉ lỗ nhỏ biểu thị dạng mã số hoá của bản nhạc hay của bộ phim. Nói cách khác, cường độ của âm thanh hay của hình ảnh được thể hiện trong một loạt các con số, các số này, đến lượt chúng, được biểu diễn bằng các lỗ. Để khắc các lỗ nhỏ này, đường kính của chùm laser cũng phải nhỏ bằng một micromét (một phần triệu mét). Các lỗ được tạo ra như vậy tạo thành một môtip, một dạng chữ nổi được thu nhỏ mà một laser khác có thể đọc được. Chúng được khắc trên đĩa CD dọc theo một rãnh hình tròn ốc có thể dài đến 5 kilômét.

Đầu đọc được chế tạo theo cách sau: khi ánh sáng laser hồng ngoại chiếu sáng một lỗ, một phần đi vào tới tận đáy lỗ và bị đáy này phản xạ, trong khi phần còn lại bị bề mặt xung quanh lỗ này phản xạ. Khi hai sóng ánh sáng kết hợp với nhau, chúng có thể hoặc là cùng pha, với các đỉnh của sóng này trùng với các đỉnh của sóng kia, chúng sẽ giao thoa làm tăng cường nhau; hoặc là chúng lệch pha, các đỉnh của sóng này trùng với các hõm của sóng kia, dẫn tới giao thoa triệt tiêu nhau, làm giảm cường độ ánh sáng phản xạ. Ngược lại, nếu ánh sáng tới không gặp lỗ, thì ánh sáng bị phản xạ không giảm cường độ. Sự suy giảm hay không suy giảm cường độ này được một detector trong đầu CD đọc. Các biến thiên cường độ được truyền đến phân điện tử của hệ, phân này chuyển hóa chúng thành một chuỗi các số 0 và 1, phản ánh mã nhị phân được ghi trên đĩa CD. Thông tin này sau đó được dùng để tái tạo lại gần như hoàn hảo các âm thanh hoặc hình ảnh ban đầu, điều này cho phép chúng ta nghe được bản sonate của Mozart như thể (hoặc gần như thể) đàn nhạc đang chơi trong phòng của chúng ta, hoặc xem một bộ phim với các hình ảnh có chất lượng gần như hoàn hảo. Laser “đọc” chắc chắn phải có công suất nhỏ hơn công suất khoan lỗ, để không tạo ra thêm các lỗ mới và làm hỏng đĩa CD hay DVD. Khi bạn bật đĩa CD hay DVD, nếu loại trừ chùm laser “vuốt ve” đĩa một cách nhẹ nhàng ra, thì không có gì chạm trực tiếp vào đĩa, vì thế đĩa không bị mòn, ngược lại với các đĩa rãnh mịn trước kia (các đĩa này được đọc nhờ một kim thỉnh thoảng phát ra các tiếng rắc hoặc các nhiễu tạp ảnh hưởng đến chất lượng âm thanh).



Được sử dụng rộng rãi trong những năm 1950, nhưng các đĩa 33 và 45 vòng đã không chống lại nổi làn sóng đĩa CD xuất hiện năm 1983. Bị làn gió kỹ thuật số cuốn đi, các đĩa nhựa ngày nay đã thuộc về quá khứ và gần như đã rơi vào quên lãng. Các hộp nhỏ nhiều màu giờ đây trở thành các vật được mọi người sưu tập. Tương tự, các băng video cassette VHS, ngôi sao của cuối những năm 1970 (xuất hiện năm 1977), cũng đang trên đường tuyệt diệt, và đã trở nên ngày càng khó kiếm. DVD có phẩm chất âm thanh và hình ảnh cao, lại dễ dàng sử dụng, đã nhanh chóng chiếm thế thượng phong. Các đĩa CD và DVD cũng đã chinh phục bằng khả năng nén của chúng. Chúng có khả năng tích trữ tối đa thông tin trên một diện tích tối thiểu, đường kính của một chiếc đĩa chỉ là 12cm. Một đĩa CD có thể lưu giữ hàng triệu “bit” (bit là đơn vị cơ bản của thông tin chỉ có thể lấy hai giá trị khác nhau là 0 và 1), tương đương với dung lượng thông tin của cả một bản giao hưởng. Một đĩa DVD cùng kích thước có thể lưu giữ nhiều thông tin hơn khoảng một nghìn lần, tức hàng tỉ bit, tương đương với dung lượng của một bộ phim dài hai tiếng đồng hồ. Thời của các đĩa nhựa và video casset độc chiếm trên các giá đĩa của chúng ta đã vĩnh viễn qua rồi!

### *Ánh sáng vận chuyển thông tin*

Nhưng ánh sáng không chỉ dùng để lưu trữ thông tin và đọc thông tin. Nó còn đóng vai trò là nền tảng để vận chuyển thông tin. Chúng ta đã thấy rằng ánh sáng cho phép chúng ta giao tiếp với vũ trụ. Kính thiên văn là các con “mắt” lớn bắt ánh sáng của các thiên thể xa xôi. Bởi vì sự lan truyền của ánh sáng không phải là tức thì, nên nhìn xa, có nghĩa là nhìn sớm. Như vậy kính thiên văn là các máy lặn ngược thời gian, cho phép nhà thiên văn tái dựng lại lịch sử của vũ trụ. Nhưng ánh sáng còn làm được nhiều hơn thế: nó cung cấp cho con người khả năng giao thiệp với nhau và biến hành tinh thành một ngôi làng liên kết toàn cầu. Thật vậy, ánh sáng là sứ giả lý tưởng tuyệt vời: nó chạy nhanh hơn bất kỳ vật nào trong vũ trụ. Tổ tiên của chúng ta cũng đã nhận thấy điều đó: từ rất xa xưa ánh sáng đã được sử dụng để vận chuyển thông tin. Khi nói, chúng ta kết hợp các từ bằng cả điệu bộ của khuôn mặt và các cử chỉ của tay và cơ thể. Ngôn ngữ của cơ thể này được ánh sáng truyền đến người đối thoại. Trong các ngôn ngữ như tiếng Pháp hay tiếng Italia, cử chỉ và điệu bộ của khuôn mặt bổ sung rất nhiều cho ngôn ngữ nói. Khi lời nói trực tiếp trở nên không thể, thì người xưa đã sử dụng

gương, khói, các cột tín hiệu để truyền thông tin mã hóa. Tất cả các tín hiệu này đều do ánh sáng vận chuyển.

Trao đổi thông tin hiện đại không còn dựa trên các cột tín hiệu hay gương nữa. Ngày nay, việc sử dụng ánh sáng trong thông tin chủ yếu dựa trên hai phát minh: phát minh thứ nhất là laser mà chúng ta đã tìm hiểu; phát minh thứ hai là cáp quang, sợi thủy tinh cực kỳ tinh khiết, mảnh hơn một sợi tóc người, có khả năng vận chuyển ánh sáng laser xa hàng nghìn kilômét. Alexandre der Graham Bell (1847-1922), người phát minh ra điện thoại, đã nhận ra từ rất sớm tiềm năng vận chuyển thông tin của ánh sáng. Ông đã chế tạo một thiết bị gọi là “máy quang âm” sử dụng sự phản xạ ánh sáng Mặt trời để truyền âm thanh. Các sóng âm thanh của giọng nói làm rung động một chiếc gương, chiếc gương này sau đó sẽ truyền các xung ánh sáng phản xạ của Mặt trời đã được điều biến đến một máy thu. Và máy thu sẽ tái tạo lại âm thanh. Trong máy quang âm chính ánh sáng truyền thông tin, còn trong điện thoại chính điện, dòng các electron, đóng vai trò này. Nhưng Bell đã không thể thuần phục được ánh sáng. Với công nghệ của thời ông, điện truyền tải thông tin đáng tin cậy hơn nhiều so với ánh sáng, và như vậy điện thoại vẫn là phương tiện tốt nhất để kết nối con người với nhau. Các mạng dây điện thoại bắt đầu tràn ngập phố phường và phá vỡ cảnh quan nông thôn. Tuy nhiên, trong hai phát minh này, Bell coi trọng máy quang âm hơn, bởi vì vận chuyển thông tin bằng ánh sáng rẻ hơn bằng điện. Ông thậm chí còn muốn đặt tên cho cô con gái thứ hai chào đời vài ngày sau khi ông lần đầu tiên chứng minh chiếc máy vào tháng 2 năm 1880 là “Photophone” (máy Quang Âm); nhưng thật may cho con gái ông, vợ ông đã cương quyết phản đối.

### *Ánh sáng rơi theo nước*

Tuy nhiên, trực giác của Bell đã đúng. Đến đầu thế kỷ XXI, ánh sáng đã có khả năng trauốt điện khỏi vị trí là phương tiện trao đổi thông tin ưu tiên của con người. Chúng ta đã giao tiếp với nhau với vận tốc của ánh sáng: hãy nhắc điện thoại, và giọng nói của bạn được các xung ánh sáng vận chuyển dọc theo sợi thủy tinh mảnh với vận tốc 300.000 km/s, chỉ ít là trong một phần của hành trình. Cuộc cách mạng trong viễn thông bởi cáp quang đã diễn ra với vận tốc cực nhanh: chỉ trong vòng hơn hai thập kỷ, từ cuối thế kỷ XX, một mạng khổng lồ dây đồng, hợp kim của đồng và kẽm, được sử dụng để vận tải các electron cung cấp cho các mạng điện thoại trước kia, nay đã được thay bằng hơn 100 triệu kilômét cáp quang vận tải ánh sáng.

Lịch sử của cáp quang bắt đầu từ các thí nghiệm của nhà vật lý người Ailen John Tyndall (1820-1893). Ông đã chiếu sáng một tia nước được phun lên từ một bể nước. Trong khi rơi xuống đất, nước vạch ra một cung rất đẹp. Tyndall nhận thấy ánh sáng không tiếp tục đi qua nước theo quỹ đạo thẳng của nó, mà cũng uốn theo đường cong của nước rơi xuống. Cứ như thể ánh sáng bị nước cầm tù, như thể nước chứa một dạng “ống dẫn ánh sáng” vậy. Thực tế, khi lan truyền trong một môi trường có chiết suất như nước, trong những điều kiện nhất định, ánh sáng sẽ bị phản xạ khi đi đến mặt phân cách giữa môi trường này với một môi trường có chiết suất thấp hơn là không khí, như trong trường hợp tia nước nói ở trên. Khi đó, mặt phân cách giữa nước và không khí có vai trò như bề mặt phản xạ của gương. Nhưng cần chú ý là quá trình được gọi là “phản xạ toàn phần” này của ánh sáng chỉ xảy ra nếu ánh sáng tới mặt phân cách nước-không khí dưới một góc lớn. Dưới các góc tới nhỏ, ánh sáng vượt qua mặt phân cách nước-không khí như không có gì ngăn cản, và sẽ mất hút vào không gian. Nói cách khác, ánh sáng chỉ bị cầm tù trong “ống dẫn”, dù ống dẫn đó là nước hay thủy tinh, nếu sự uốn của ống không quá đột ngột. Nó sẽ biến mất ngay khi sự đổi hướng của ống là quá gấp.

#### *Cáp quang: các sợi thủy tinh vận tải ánh sáng*

Laser xuất hiện năm 1960. Các nhà nghiên cứu Mỹ làm việc ở phòng thí nghiệm Bell của hãng AT & T (*American Telephone and Telegraph*) đã ngay lập tức nắm bắt tiềm năng to lớn của laser với vai trò là phương tiện truyền tin. Thực tế, như chúng ta sẽ thấy, các sóng ánh sáng có thể vận chuyển thông tin nhiều hơn hàng triệu lần các tín hiệu điện chạy trong dây đồng. Nhưng làm thế nào vận chuyển được ánh sáng laser qua khí quyển Trái đất trên các khoảng cách vô cùng rộng lớn? Sương mù, mưa, tuyết, ô nhiễm, ẩm ướt: những thứ đó hấp thụ, làm suy yếu, biến dạng chùm laser. Chính sự suy yếu do khí quyển này đã làm cho máy quang âm của Bell không thể hoạt động được, và làm cho trong môi trường có sương mù dày đặc bạn không thể nhìn quá một mét, hay vào một ngày trời ẩm ướt, mùa hè, tầm nhìn của bạn không vượt quá một kilômét. Vì vậy, cần phải tìm ra cách bảo vệ ánh sáng laser đối với thời tiết xấu và các tầng giáng khí quyển trong hành trình của nó. Để làm được điều này cần phải xây dựng các đường dẫn ánh sáng đặc biệt.

Nước không phải là phương tiện giữ ánh sáng tiện lợi. Thủy tinh có thể giữ ánh sáng tốt hơn nước rất nhiều. Vì vậy người ta sử dụng các sợi cáp quang

làm bằng thủy tinh để vận chuyển ánh sáng. Nhưng trước hết cần phải giải quyết hai vấn đề công nghệ lớn về kích thước, cả hai vấn đề này đều làm giảm cường độ ánh sáng khi chạy trong cáp quang. Vấn đề thứ nhất là bề mặt của thủy tinh không bao giờ nhẵn hoàn toàn; thủy tinh không tránh khỏi có các vết sần làm thoát ánh sáng ra ngoài. Như chúng ta đã biết, thành thủy tinh chỉ phản xạ hoàn toàn ánh sáng nếu ánh sáng đến nó dưới các góc tới lớn. Nếu góc tới nhỏ, ánh sáng sẽ vượt ra ngoài thủy tinh như không có gì ngăn cản nó. Sợi thủy tinh chỉ có thể dẫn ánh sáng và giúp nó vượt qua được chỗ ngoặt, nếu chỗ ngoặt này không quá gấp khúc. Góc lệch mà quá lớn thì ánh sáng sẽ thoát ra ngoài. Vậy mà các vết sần của thủy tinh lại làm cho ánh sáng đập vào thành dưới các góc như vậy. Vấn đề thứ hai là thủy tinh nào cũng chứa các tạp chất có tác dụng hấp thụ một phần ánh sáng. Bạn có thể nhận thấy điều đó khi nhìn một miếng thủy tinh dày. Miếng thủy tinh có màu lục nhạt vì các tạp chất trong nó đã hấp thụ mất phần màu đỏ của ánh sáng Mặt trời. Hai hiệu ứng này kết hợp lại làm cho, vào đầu những năm 1960, các nhà khoa học không thể truyền ánh sáng đi xa quá 100 mét mà không bị hấp thụ hoàn toàn.

Đột phá công nghệ đầu tiên xuất hiện năm 1966 khi các nhà nghiên cứu người Anh nảy ra ý tưởng chế tạo cáp quang có lõi là thủy tinh có chiết suất lớn để dẫn ánh sáng, lõi này được bọc bằng một lớp thủy tinh bên ngoài có chiết suất thấp hơn. Đường kính lõi của sợi thủy tinh khoảng từ 4-8 micromét, tức mảnh hơn sợi tóc người từ 10-20 lần! Còn đường kính ngoài khoảng 125 micromét (dày hơn sợi tóc người một chút. Đường kính của sợi tóc người khoảng 75 micromét)! Lớp ngoài bảo vệ ánh sáng được dẫn đối với các sần sùi trên mặt sợi thủy tinh, cho phép nó phản xạ toàn phần bên trong lõi. Ngay cả khi một photon không lan truyền chính xác ở tâm của cáp quang, thì sự phản xạ toàn phần<sup>4</sup> này cũng dẫn nó trở về vùng trung tâm, như một viên bi billiard đập vào thành bàn.

### *Những sợi cáp quang rất tinh khiết*

Còn về vấn đề tạp chất, giải pháp đã xuất hiện vào năm 1970 khi các nhà nghiên cứu Mỹ của tập đoàn Corning bằng một kỹ thuật đặc biệt đã chế tạo thành công các sợi thủy tinh có độ tinh khiết cực cao, có khả năng vận tải ánh sáng đi xa một kilômet trước khi bị hấp thụ 99%. Khoảng cách này thoạt nhìn



<sup>4</sup> Cũng chính phản xạ toàn phần này đã làm cho kim cương phát sáng lóng lánh làm tăng vẻ đẹp cho người đeo nó.

có vẻ ngắn nhưng thực tế lại rất có ý nghĩa: đây chính là khoảng cách cần thiết giữa các trạm “tiếp sức” tín hiệu điện thoại khi tín hiệu này được truyền bằng điện tử. Nếu các tín hiệu được truyền bởi cáp điện thoại có thể được tiếp sức cứ mỗi một hoặc hai kilômét, thì làm điều tương tự đối với cáp quang chắc là sẽ không khó khăn hơn. Ở mỗi trạm, một bộ dò ánh sáng nhận tín hiệu, và một laser khuếch đại nó lên cường độ ban đầu rồi lại truyền nó đến đoạn hành trình tiếp theo. Nhưng ở đây có một trở ngại! Cho tới lúc đó, các trạm laser tin cậy rất đắt đỏ, đồ sộ và công kênh, điều này làm cho chi phí lắp đặt ở mỗi kilômét trong mạng cáp quang trở nên đắt đỏ. Có một loại laser cực kỳ gọn nhẹ và rẻ, đó chính là laser bán dẫn. Các chất bán dẫn là các vật liệu, như silic hay germani, dẫn điện không tốt. Hẳn là các bạn đã từng thấy các diot bán dẫn phát quang (trong tiếng Anh là gọi *light-emitting diode* hay viết tắt là “LED”), tức là các linh kiện điện tử phát ra ánh sáng khi có một dòng điện đi qua. Người ta thường sử dụng chúng để hiển thị dữ liệu bằng điện. Chính nhờ LED mà đồng hồ kỹ thuật số của bạn chỉ được giở, hay máy tính bỏ túi của bạn hiển thị kết quả tính toán. Các diot này cũng có thể được sử dụng để tạo ra laser. Các laser bán dẫn đầu tiên xuất hiện ngay từ năm 1963, nhưng chúng không đáng tin cậy và có thói xấu là hay lặn ra hồng chỉ sau vài phút hoạt động trong nhiệt độ môi trường xung quanh. Nhiều phòng thí nghiệm trên khắp thế giới đã thực hiện cuộc chạy đua ráo riết để tìm ra chất bán dẫn tạo ra laser tin cậy hơn, có thể hoạt động bền bỉ ở nhiệt độ bình thường. Bằng một sự kết hợp hoàn hảo của khoa học và công nghệ, nhóm nghiên cứu của phòng thí nghiệm Bell đã tuyên bố chế tạo thành công một chất bán dẫn như thế vào tháng 5 năm 1970, tức chưa đầy một tháng sau phát hiện của nhóm Corning về các sợi cáp quang rất tinh khiết.

Tất cả những yếu tố cần thiết để chế tạo một hệ thống thông tin bằng cáp quang giờ đã được hội đủ: các laser bán dẫn phát ra ánh sáng “kết hợp” có khả năng vận chuyển hơn một tỉ bit thông tin mỗi giây, các cáp quang có khả năng truyền các tín hiệu ánh sáng xa nhiều kilômét mà không hấp thụ chúng hoàn toàn, các trạm được lắp các diot laser để phục hồi tín hiệu ánh sáng trong suốt hành trình của chúng. Trong lịch sử công nghệ, sự phát triển các hệ thống thông tin bằng cáp quang chắc chắn là một trong những chương chiếm ít thời gian nhất kể từ thời điểm phát minh ra trong phòng thí nghiệm tới thời điểm đưa chúng vào sử dụng dưới dạng một hệ thống mang lại lợi nhuận. Từ phát minh ra các linh kiện đầu tiên đến thành công thương mại chỉ mất một thập kỷ. Ngay từ năm 1980, các hệ cáp quang đã bắt đầu tài các cuộc điện đàm. Và chỉ cần hơn hai thập kỷ, từ cuối thế kỷ XX, để thay thế phần lớn các cáp điện

thoại bằng cáp quang dọc ngang toàn bộ hành tinh (H. 24 trong tập ảnh màu). Các cáp bằng đồng được đưa vào sử dụng ngay từ năm 1866 gồm 1500 cặp dây điện và có thể vận tải đồng thời khoảng 10.000 cuộc điện đàm. Cáp quang ngày nay có thể vận tải đồng thời số cuộc điện đàm nhiều gấp mười lần cáp đồng! Hãy nói vào ống nghe điện thoại, và giọng của bạn sẽ được các xung ánh sáng dọc theo các sợi thủy tinh mảnh truyền đi hàng trăm, thậm chí hàng nghìn kilômét! Công nghệ đã không ngừng tiến bộ để ngày càng rút bớt hao tổn ánh sáng trong cáp quang. Năm 1983, các kỹ sư của phòng thí nghiệm Bell đã truyền một tín hiệu ánh sáng trên khoảng cách cỡ 160 km mà không cần phải khuếch đại. Cáp quang ngày nay trong suốt tới mức, nếu nước của đại dương trong bằng nó, thì đáy của các vùng biển sâu nhất cũng vẫn nhìn thấy được từ mặt nước.

### *Các “máy ánh sáng” tương lai*

Cuộc cách mạng công nghệ ánh sáng bắt đầu trong những năm 1960 và chưa bao giờ chậm lại. Ngược lại, nó đã không ngừng tăng tốc. Thế hệ “máy ánh sáng” đầu tiên, sinh ra cùng với phát minh ra laser và cáp quang, dựa trên các linh kiện không chỉ quang học, mà còn cả điện tử. Trong các máy được gọi là “quang điện” này, electron đóng vai trò quan trọng ngang như photon. Chính chúng đảm bảo cho việc dẫn ánh sáng. Nhưng giờ đây đã lấp ló ở chân trời các “máy ánh sáng” thế hệ thứ hai. Các máy “thuần túy quang học” này có tham vọng không cần sử dụng điện tử mà chỉ dựa trên ánh sáng. Trong các máy này, chính ánh sáng sẽ dẫn đường ánh sáng.

Ngày cả khi các máy thuần túy quang học này vẫn chưa hiện thực hóa hết tiềm năng của chúng, thì trong trí tưởng tượng vô cùng phóng túng của các nhà nghiên cứu đã hiện hình các “máy ánh sáng” thế hệ thứ ba, các “máy lượng tử”. Các máy lượng tử này cũng chỉ dựa trên ánh sáng. Chúng khai thác hành trạng kỳ lạ và tuyệt vời của photon trong thế giới nguyên tử, thế giới mà cơ học lượng tử chi phối.

Để hiểu các làn sóng cách mạng trong tương lai này, chúng ta phải xem xét chi tiết vai trò của electron và photon trong “máy ánh sáng”. Trong các máy ánh sáng thế hệ thứ nhất, các máy quang điện, ánh sáng và electron tạo thành một cặp bổ sung cho nhau. Mỗi loại đảm nhiệm một nhiệm vụ khác nhau tùy theo khả năng của mình. Chẳng hạn, electron chịu trách nhiệm kiểm soát các hoạt động trong máy, trong khi ánh sáng có nhiệm vụ truyền tải thông tin. Sự

phân công lao động này được quy định bởi các tính chất vật lý rất khác nhau của electron và photon. Một khác biệt lớn liên quan đến điện tích: electron tích điện âm, trong khi photon là trung hòa về điện, điều này làm cho electron đẩy các đồng loại của chúng bằng một lực điện, trong khi photon thì không làm như vậy. Tính chất này làm cho electron trở nên lý tưởng để đảm bảo các hoạt động kiểm soát: chẳng hạn, chỉ cần thay đổi số electron tham gia là có thể tạo ra hoặc ngăn chặn dòng electron trong kênh dẫn của một tranzito. Ngược lại, photon không thể đóng vai trò là nhân viên kiểm soát, bởi vì nó không tương tác với các photon khác. Hai chùm ánh sáng có thể cắt ngang nhau mà không hề ảnh hưởng đến nhau. Đó cũng chính là lý do vì sao các “kiểm laser” va vào nhau, như chúng ta thấy trong các bộ phim khoa học viễn tưởng như *Chiến tranh giữa các vì sao* hay *Cuộc phục thù của Jedi*, là không thể tồn tại: chúng đi ngang qua nhau. (Có những điểm rất khó tin liên quan đến thanh kiếm laser này: chùm laser không thể nhìn thấy được; người ta chỉ nhìn thấy nó trong một khí quyển có các hạt bụi rất nhỏ hấp thụ ánh sáng và làm tán xạ ánh sáng ra tất cả các hướng. Mặt khác, chùm laser không hữu hạn về kích thước: nó lan truyền theo đường thẳng cho tới khi bị một vật nào đó hấp thụ - điều này có nguy cơ làm hỏng phi thuyền không gian và gây các hậu quả nghiêm trọng - hoặc bị một cái gương nào đó phản chiếu...).

Nhưng chính cái đặc tính làm cho electron trở thành người kiểm soát tuyệt vời lại biến chúng thành các sứ giả tồi. Do các electron tương tác với nhau bằng lực điện từ, nên khi chúng ta muốn truyền một thông tin từ vị trí này sang vị trí khác thông qua các electron, thì thông tin này thế nào cũng bị nhiễu bởi các thông tin khác được vận chuyển bởi dòng các electron khác trong cùng đường dẫn. Điều này có nghĩa là nếu dùng electron để vận chuyển thông tin thì khi gọi điện, bạn sẽ nghe thấy hàng nghìn cuộc điện đàm khác diễn ra đồng thời. Thật không gì khó chịu hơn thế. Ngược lại, do photon có một đặc tính rất hay là chúng hoàn toàn không biết nhau, nên chúng là các sứ giả tuyệt vời; khi lan truyền với vận tốc ánh sáng, chúng có thể chung sống với hàng trăm các tín hiệu khác được vận chuyển bởi các photon khác mà không bao giờ bị nhiễu loạn. Thông tin luôn được truyền luôn nguyên vẹn đến đích, không bao giờ bị ảnh hưởng của các nhiễu loạn điện từ.

### *Thu nhỏ đến cực tiểu*

Nhưng, trong lĩnh vực thông tin, nếu photon đã chiến thắng electron một cách vang dội, thì electron lại có lợi thế là cực kỳ nhỏ so với photon. Kích thước

của một photon bằng khoảng cách của hai đỉnh (hoặc hai hõm) liên kế nhau của sóng gắn với nó, hay nói cách khác là bằng bước sóng của. Vì bước sóng này cỡ 1 micromét (một phần triệu mét), nên ánh sáng được sử dụng trong cáp quang thường có bản chất hồng ngoại để giảm thiểu khả năng nó bị thủy tinh hấp thụ. Còn về electron, các sóng gắn với chúng có bước sóng lớn hơn một nanomet (một phần tỉ mét), tức nhỏ hơn một hạt ánh sáng cả ngàn lần. Vậy tại sao kích thước của các hạt chạy trong các mạch điện tử lại quan trọng đến thế? Sở dĩ như vậy là vì kích thước của chúng càng nhỏ thì đường kính của dây tải electron càng nhỏ (nhờ công nghệ hiện nay, các dây có đường kính cỡ một phần mười micromét, tức nhỏ hơn bước sóng của ánh sáng mười lần), kích thước của các máy điện tử ứng dụng các tính chất của electron càng nhỏ, thời gian mà các tín hiệu phải mất để đi và truyền thông tin từ một linh kiện điện tử này sang một linh kiện điện tử khác càng ngắn lại, vận tốc xử lý (chẳng hạn, tốc độ tính toán của máy vi tính) do đó sẽ càng cao.

Như vậy, cuộc chinh phục chiếc cốc thánh điện tử chính là sản xuất ra các linh kiện ngày càng nhỏ hơn, đưa được ngày càng nhiều tranzito vào trong một thể tích ngày càng bé hơn. Những tiến bộ đạt được trong việc tiểu hình hóa này là rất nhanh chóng. Số tranzito tích hợp với một chip điện tử đã tăng theo hàm mũ, cứ hai mươi tư tháng lại tăng gấp đôi. Tỉ lệ tiểu hình hoá này đã được một kỹ sư người Mỹ tên là Gordon Moore (sinh năm 1929), người đồng sáng lập ra tập đoàn chip điện tử Intel, đã dự báo ngay từ năm 1965. Hơn bốn mươi năm sau, kể từ khi ra đời bộ vi xử lý đầu tiên - một linh kiện điện tử thu nhỏ, tất cả các thành phần của nó kết hợp lại với nhau thành một mạch tích hợp duy nhất, và là cơ sở cho tất cả các máy vi tính của chúng ta -, “định luật Moore” liên tục được khẳng định. Bộ vi xử lý đầu tiên ra đời năm 1971 có 2300 tranzito. Năm 2006, một chip cùng kích thước chứa tới 230 triệu! Theo thời gian, thỏa mãn định luật Moore đã trở thành một mục đích chính mà các kỹ sư ở Thung lũng Silicon nhằm tới. Sự tiểu hình hóa đến cực điểm này hiện đã khuyến khích sử dụng các electron làm sứ giả trong các máy quang điện. Với công nghệ hiện nay, photon chỉ tiếp sức với vai trò là sứ giả đối với những khoảng cách lớn hơn khoảng cách tới hạn một mét. Chẳng hạn, sự trao đổi thông tin giữa các máy tính nội mạng được thực hiện bởi ánh sáng lan truyền trong các cáp quang. Nhưng các kỹ sư hiện đang miệt mài tìm cách giảm khoảng cách tới hạn này xuống còn một xentimét, một phần nghìn mét, thậm chí chỉ còn một micromét, tức cỡ chiều dài của sóng ánh sáng: ánh sáng sẽ nhanh chóng xâm chiếm bộ vi xử lý của máy vi tính để vận chuyển thông tin giữa hai mạch tích hợp, thậm chí giữa hai chip.



### *Đồng cũng truyền các tín hiệu với vận tốc ánh sáng*

Electron là sứ giả chạy dọc theo dây đồng. Trong số tất cả các kim loại thường dùng, đồng là kim loại có điện trở suất thấp nhất. Điều này có nghĩa là thông tin có thể được truyền đi rất xa, rất nhanh. Nhưng với vận tốc nào? Bạn sẽ nói rằng, bởi vì electron có khối lượng, vận tốc của nó phải thấp hơn vận tốc của photon, và do đó thông tin được dây đồng vận chuyển phải chạy với vận tốc thấp hơn vận tốc của ánh sáng. Bạn đã lầm to! Vì đồng cũng truyền thông tin với vận tốc ánh sáng! Không phải là vì electron trong dây đồng chuyển động với vận tốc ánh sáng: chúng không làm như vậy. Thực tế, các tín hiệu không được truyền đi bằng sự dịch chuyển vật lý của các electron từ đầu này sang đầu kia của dây đồng; mà là chính lực điện tác động lên các electron di chuyển và truyền thông tin. Lực này do các sóng của điện trường sinh ra, mà các sóng này lại lan truyền với vận tốc ánh sáng. Giống như một ống chứa đầy nước: nếu bạn đẩy nước ở một đầu ống, bạn sẽ thấy nước chảy ngay ra ở đầu kia; không phải các phân tử nước mà các bạn vừa đẩy vào đã di chuyển dọc theo ống để thoát ra ở đầu kia, mà là một sóng áp suất. Vận tốc lan truyền của sóng này là bao nhiêu? Nó bằng chính vận tốc của âm thanh trong nước, tức 1480 m/s. Các tín hiệu điện cũng lan truyền dọc theo dây đồng với vận tốc ánh sáng. Như vậy, không phải bằng cách thay electron bằng photon, và thay dây đồng bằng cáp quang, là chúng ta sẽ rút bớt được thời gian truyền thông tin! Photon và electron ngang bằng nhau về phương diện liên quan tới vận tốc tải thông tin. Nhưng, như chúng ta đã thấy, electron đã chiến thắng vang dội về phương diện liên quan tới kích thước của chúng, và do đó liên quan tới kích thước của các linh kiện vận tải chúng.

Như vậy, trong các “máy ánh sáng” quang điện thế hệ thứ nhất xuất hiện trong các thập kỷ cuối thế kỷ XX và đã thống lĩnh thị trường đầu thế kỷ XXI, electron và photon phân chia nhau một cách hài hòa nhiệm vụ tùy theo khả năng riêng của mình. Do rất hiệu quả trong việc kiểm soát hoạt động ở khoảng cách ngắn, nhưng lại rất kém trong việc vận chuyển thông tin ở các khoảng cách xa do điện tích của chúng, nên electron chịu trách nhiệm kiểm soát các chức năng phân phối và định hướng trong các linh kiện điện tử nhỏ - như dòng điện đi qua một tranzito này hay khác, chẳng hạn -, trong khi photon lại truyền tin rất hiệu quả, nhưng lại rất kém trong việc kiểm soát xử lý do chúng không có điện tích, nên sẽ đảm trách việc vận chuyển thông tin.

### *Kỷ nguyên photon*

Nhưng photon lại đang chiếm vị trí của electron, kể cả trong các hoạt động kiểm soát. Chúng ta đang sống trong một cuộc cách mạng và gần như lặng lẽ chuyển từ kỷ nguyên điện tử sang kỷ nguyên photon. Như chúng ta đã thấy, chính photon là cơ sở của các laser bán dẫn và của mạng khổng lồ cáp quang, làm cho việc tích trữ các lượng khổng lồ thông tin trở nên khả dĩ, làm nền tảng cho hệ thống truyền thông toàn cầu được gọi là “xa lộ thông tin”, và kết nối các máy tính trên toàn thế giới vào một mạng gọi là Internet. Trong mạng khổng lồ này, photon lan truyền với vận tốc ánh sáng qua hàng trăm triệu kilômét sợi thủy tinh, được dùng thay thế cho các dây đồng trước kia để vận chuyển electron. Không phải công nghệ điện tử bỗng chốc trở nên lạc hậu – các dàn hi-fi của chúng ta vẫn còn chứa rất nhiều linh kiện điện tử, và các máy vi tính kỹ thuật số vẫn liên tục phá kỷ lục về vận tốc, khả năng lưu giữ thông tin và tính toán. Chỉ có điều, trong một số hoàn cảnh, photon hiệu quả hơn electron. Nó thậm chí sẽ thống trị trong máy tính, một vị trí mà cho tới nay vẫn độc tôn là của electron.

Bản sử thi của con người là câu chuyện không có hồi kết về các cuộc chinh phục công nghệ nhằm thay thế sức lao động con người bằng máy móc. Đầu cách mạng công nghiệp, sức của hơi nước được dùng để quay các bánh xe làm vận hành các máy và chạy các đầu tàu xe lửa. Sau đó, hơi nước đã được dùng để chạy máy phát điện, và các máy này, đến lượt mình, lại làm chạy các các động cơ: electron đã bước lên bục vinh quang trong đầu óc con người như thế đó. Nhưng electron còn làm được nhiều hơn thế: nó đã cho ra đời một công nghệ truyền thông mới cho phép con người gắn kết với nhau. Nó đã cho phép tạo ra máy điện tín, điện thoại và truyền hình. Nó cũng là nguồn gốc của máy tính hiện đại. Nhờ có phát minh này, con người từ nay đã có thể ủy thác một số công việc trí óc (như tính toán) cho máy tính. Tổ tiên của các máy tính là máy tính cơ học do các nhà toán học và triết học người Pháp Blaise Pascal (1623-1662) và người Đức, Gottfried Leibniz (1646-1716) chế tạo vào thế kỷ XVII. Vào thế kỷ XIX, nhà toán học và phát minh người Anh Charles Babbage (1792-1871) là người đầu tiên đưa ra nguyên lý của máy tính hiện đại, mà ông gọi là “máy vi phân” vì máy này dựa trên phép tính vi phân. Babbage đã dành phần lớn cuộc đời để nghiên cứu chế tạo máy tính cơ học, một tập hợp khổng lồ các bánh xe và bánh răng được dẫn động bởi một máy hơi nước, nhưng ông không bao giờ hoàn thành. Chỉ khi electron thay thế các bánh răng thì máy tính mới có khả năng thích nghi, vận tốc xử lý và khả năng lưu giữ như chúng ta

biết ngày nay. Nhưng, với vai trò vận tải thông tin, thì electron có những hạn chế so với photon: sở dĩ photon có thể vận tải các lượng thông tin khổng lồ so với electron là bởi vì nó có thể rung động với các tần số cao hơn rất nhiều.

### *Khả năng vận chuyển thông tin của ánh sáng*

Khả năng vận tải thông tin của một sóng ánh sáng gắn liền với tần số của nó: tức là số các sóng đi qua một điểm không gian trong một giây. Mỗi hệ thống truyền thông, dù đó là hai hộp inox nối với nhau bằng dây dẫn, một mạng điện thoại, một đài phát thanh hay một kênh truyền hình, đều được đặc trưng bởi băng thông: tức là khoảng tần số trong đó hệ này có thể truyền một tín hiệu mà không làm cho nó bị méo lớn. Băng thông càng rộng, thì lượng thông tin có thể được vận chuyển càng lớn.

Để hiểu điều này rõ hơn, chúng ta hãy xét ví dụ về cầu vồng. Như chúng ta đã thấy, các màu của cầu vồng đi từ đỏ đến tím, tương ứng với các tần số từ 400.000 đến 750.000 GHz (một gigahertz bằng một tỉ hertz). Hertz (Hz) là đơn vị tần số tương ứng với tần số của một sóng mà chu kỳ của nó - thời gian hai đỉnh hay hai hõm sóng liên kế đi qua một điểm không gian - bằng một giây. Khoảng tần số của cầu vồng là hiệu các tần số tối đa và tối thiểu, tức 350.000GHz. Mắt chúng ta nhạy cảm với tất cả các màu (hay tần số) của cầu vồng, cho phép chúng ta nhìn thấy cái vòng cung đa sắc trong toàn bộ vẻ đẹp lộng lẫy của nó. Ngược lại, hãy giả định rằng mắt chúng ta chỉ nhạy cảm với màu đỏ, tức quãng tần số giữa 400.000 và 450.000 GHz: "băng thông" của mắt chúng ta sẽ chỉ là 50.000 GHz. Khi đó, chúng ta sẽ chỉ nhìn thấy phần màu đỏ của cầu vồng, hay màu đỏ chói của hoa mào gà đồng nội. Trời xanh, biển xanh, hoa hồng ngát hương, đồng cỏ xanh mướt sẽ biến mất khỏi thế giới thị giác của chúng ta. Khi đó, thế giới thị giác của chúng ta sẽ tẻ nhạt và đơn điệu hơn rất nhiều. Thông tin mà chúng ta nhận được từ thế giới bên ngoài sẽ nghèo đi đáng kể.

Điều tương tự cũng xảy ra đối với tất cả các hệ truyền thông khác. Chẳng hạn, hãy xét các đài phát thanh và truyền hình phát các sóng AM và FM. Các sóng radio AM có tần số vài trăm kHz, và mỗi đài phát thanh AM lại được gắn với một băng thông 10 kHz, bằng một nửa băng thông của tai chúng ta (20 kHz). Ngược lại, các sóng FM có các tần số vài MHz (một megahertz bằng một triệu hertz), và các đài FM có các băng thông 200 kHz, có thể dễ dàng đón nhận tất cả các âm thanh mà thính giác con người có thể bắt được (H. 32). Băng

thông lớn hơn của các đài FM làm cho âm nhạc mà chúng phát ra phong phú và trung thực hơn rất nhiều âm nhạc phát từ các đài AM. Còn đối với thông tin vô cùng phong phú và phức tạp phát bởi các kênh truyền hình (ngoài âm thanh còn có hình ảnh), đòi hỏi một băng thông lớn hơn 25 lần băng thông của một đài radio FM, tức 5 MHz. Nếu kênh truyền hình muốn phát các chương trình có độ phân giải cao, sẽ phải cần một băng thông rộng hơn sáu lần, tức 30 MHz. Sau này chúng ta sẽ thấy, các băng thông thông này chưa là gì so với băng thông của các sóng ánh sáng được sử dụng để vận chuyển thông tin.

### *Biểu diễn tri thức bằng ngôn ngữ nhị phân*

Kỷ nguyên thông tin dựa trên một nhận thức quan trọng rằng mọi hiểu biết, dù được thể hiện bằng văn bản – như sách, tiểu thuyết, thơ ca hay các công thức toán học – hay bằng hình ảnh – như bức *Hoa súng* của Monet hay *Những quả táo* của Cézanne -, đều có thể được biểu diễn bằng các chuỗi số chỉ gồm hai chữ số là 1 và 0: người ta gọi đó là biểu diễn nhị phân. Triết gia và nhà bác học người Đức Gottfried Leibniz là một trong những người đầu tiên đã tìm cách xây dựng một ngôn ngữ biểu tượng phổ quát có khả năng diễn đạt đầy đủ tri thức, với hy vọng ngôn ngữ biểu tượng này sẽ kích thích phát hiện ra các khái niệm và chân lý mới còn chưa được ngờ tới. Phát minh ra phép tính vi phân của ông, cùng thời với Newton, là gắn liền với dự định lớn lao này. Những ký hiệu chuẩn mà chúng ta sử dụng ngày nay trong phép tính vi tích phân, gần như chủ yếu là do ông xây dựng; nó đã thay thế cho những ký hiệu rất bất tiện của Newton. Năm 1700 Leibniz đã hiểu rằng hệ đếm thập phân của chúng ta không phải là duy nhất. Ký hiệu này (dựa trên mười chữ số từ 0 đến 9) trông có vẻ tự nhiên, nhưng Leibniz đã nhận ra rằng hệ thập phân không có gì là huyền bí cả và rằng mỗi một đại lượng đều có thể được biểu diễn bằng một số tùy ý các ký tự, và hệ cơ bản nhất tất nhiên phải là hệ nhị phân, sử dụng chỉ hai chữ số: 0, mà Leibniz gán cho chân không, và 1, ông gán cho Chúa.

Ngôn ngữ nhị phân hoàn toàn phù hợp với máy tính điện tử. Chế tạo một chiếc máy tính vận hành theo 10 cách khác nhau để biểu diễn 10 chữ số của hệ thập phân không phải là việc dễ. Nhưng chế tạo một máy chỉ có hai trạng thái khả dĩ thì dễ hơn nhiều: một trạng thái là “bật”, ứng với 1, và một trạng thái là “tắt”, ứng với 0. Máy tính hiện đại trên thực tế là một hệ khổng lồ các thiết bị chuyển mạch có thể bật hoặc tắt cực nhanh theo các lệnh đã được mã hóa. Trạng thái của các thiết bị chuyển mạch này được truyền đến toàn bộ máy tính và bắt nguồn từ một chuỗi các xung điện ứng với 1 là bật hay với 0 là tắt.

Các xung điện đến càng nhanh, hay nói cách khác, tần số của dòng điện càng cao, thì số các chữ số nhị phân (tiếng Anh là *binary digit*, viết tắt là “bit”) được truyền đi mỗi giây càng cao, và do đó máy tính càng mạnh. Chẳng hạn, một máy tính có tần số 600 MHz nhanh hơn rất nhiều máy tính có tần số 100 MHz.

### *Bit đơn vị cơ bản của thông tin*

Bit chính là đơn vị cơ bản để mã hóa mọi thông tin. Mỗi một tập hợp các phần tử đều có thể được biểu diễn bằng một chuỗi tương ứng các bit. Hãy xét, chẳng hạn, tám số từ 0 đến 7. Trong một hệ nhị phân, nếu chúng ta chấp nhận nguyên tắc rằng, từ phải sang trái, một số “1” có giá trị 1 ở vị trí thứ nhất, giá trị 2 ở vị trí thứ hai và giá trị 4 ở vị trí thứ tư, và một số “0” có giá trị 0 ở bất kỳ vị trí nào, thì các số này có thể được mã hóa như sau: 0 = 000, 1 = 001, 2 = 010, 3 = 011, 4 = 100, 5 = 101, 6 = 110 và 7 = 111. Chúng ta chỉ cần một chuỗi 3 bit là có thể xây dựng được các mã vừa rồi. Nói cách khác, đối với tám số, tồn tại tổng cộng  $8 = 2^3$  cách khác nhau để kết hợp các số 1 và số 0. Rộng hơn, để mã hóa một hệ gồm  $N$  phần tử bằng các số 1 và 0, số các bit cho mỗi chuỗi cần thiết bằng số lần cần phải nhân với hai để thu được  $N$ . Nói cách khác,  $N = 2^b$ , trong đó  $b$  là số các bit của mỗi chuỗi. Như vậy, để mã hóa một tập hợp 16 phần tử, cần phải dùng 4 bit cho mỗi chuỗi, và cứ tiếp tục như vậy.

Phương pháp này sẽ rất ngon lành nếu tổng số các phần tử bằng một lũy thừa của 2. Nhưng điều gì sẽ xảy ra nếu nó không phải là lũy thừa của 2? Chẳng hạn, mã hóa nhị phân bảng chữ cái Latinh gồm 26 chữ cái như thế nào? Số 26 không phải là một lũy thừa của 2. Thực tế,  $26 = 2^{4.7}$ . Như vậy, số trung bình các bit trong mỗi chuỗi cần thiết để mã hóa bảng chữ cái Latinh là một số không nguyên, nó bằng 4,7. Bởi vì các bit thập phân không tồn tại nên chúng ta phải sử dụng một chuỗi 5 bit (5 là số nguyên lớn hơn và gần 4,7 nhất): điều này sẽ cho phép không chỉ mã hóa 26 chữ cái trong bảng chữ cái, mà còn có thể thêm vào đó một vài ký hiệu về dấu nữa. Tương tự, để mã hóa toàn bộ các số từ 1 đến 200, chúng ta chỉ cần sử dụng một chuỗi 8 bit, vì  $200 = 2^{7.644}$ , và 8 là số nguyên lớn hơn và gần 7,644 nhất.

Mã nhị phân là lý tưởng đối với các máy tính điện tử. Nhưng tiện ích của nó vượt ra ngoài những tính toán thuần túy. Các bit cũng có thể được sử dụng để biểu diễn các từ, các câu, thậm chí cả một cuốn tiểu thuyết. Chúng cũng có thể biểu diễn cả âm thanh hoặc hình ảnh, các cường độ ánh sáng hoặc màu sắc. Để biểu diễn văn bản, chỉ cần gán cho mỗi chữ cái một chuỗi các số 1 và 0, như

chúng ta vừa thấy. Thực ra, biểu diễn chữ cái bằng ngôn ngữ nhị phân không phải là một ý tưởng mới. Ngay từ năm 1832 nhà phát minh người Mỹ Samuel Morse (1791-1872) đã chế tạo mã nhị phân riêng cho máy điện tín của ông, bao gồm chuỗi các dấu chấm và gạch. Đầu tiên, ông xác lập tần suất tương đối của các chữ cái khác nhau trong tiếng Anh, sau đó Morse đã gán cho mỗi chữ cái chuỗi các gạch dài và ngắn khác nhau, các chuỗi ngắn nhất được dành cho các chữ hay được sử dụng nhất. Chẳng hạn, chữ cái E hay xuất hiện nhất nên được biểu diễn bằng một gạch ngắn, vạch này về sau trở thành một dấu chấm.

### *Âm thanh được số hóa và bị nén*

Một bản giao hưởng của Beethoven, một đoạn nhạc jazz của John Coltrane hay mọi loại nhạc khác đều có thể được ghi dưới dạng một mã nhị phân biểu diễn biên độ của âm thanh theo thời gian. Nhạc được lấy mẫu ở tần số 44,1 kilohertz, nghĩa là việc lấy mẫu phải được thực hiện cứ mỗi 11,3 micro giây. Tần số này ứng với dải tần 20 kHz, nằm trong vùng nghe được của thính giác con người. Biên độ của âm thanh được số hóa có thể lấy bất kỳ giá trị nguyên nào nằm trong khoảng từ 1 đến 65 536. Bởi vì  $65.536 = 2^{16}$ , điều này có nghĩa là mỗi mẫu được đặc trưng bằng 16 bit. Một dung lượng 16 bit mỗi 11,3 micro giây ứng với một luồng thông tin khoảng 1,41 megabit mỗi giây.

Nhưng, trong thực tiễn, khi bạn lên mạng Internet để tải một đoạn nhạc, lưu lượng thông tin đi vào máy tính của bạn nhỏ hơn, và sơ dĩ như vậy là vì nhạc chứa khá nhiều đoạn lặp có thể được tận dụng để giảm số bit cần thiết cho việc truyền nhạc. Chẳng hạn, có sự lặp lại trong các đoạn gần như im lặng, ở đó không cần tới đến tổng số 16 bit để tái hiện đầy đủ đoạn nhạc. Các đoạn khác chứa nhiều âm trầm (âm thanh được đặc trưng bởi các tần số thấp) không cần được lấy mẫu cứ mỗi 11,3 giây, khoảng thời gian phù hợp nhất cho các tần số cao. Từ đó người ta sử dụng các mã nén nhằm giảm lưu lượng bit mà Net cần phải truyền trước khi đoạn nhạc yêu thích của bạn được ghi lại trên ổ cứng của máy tính. Tập dữ liệu âm thanh rất phổ biến "MP3" là một ví dụ điển hình nhất về kỹ thuật nén này. "MP3" viết tắt từ "MPEG mức âm thanh 3", trong đó MPEG là viết tắt của cụm từ tiếng Anh "*Moving Picture Experts Group*" ("nhóm chuyên gia hình ảnh động"); đó là tên của một nhóm làm việc chịu trách nhiệm tạo ra các chuẩn quốc tế cho việc nén âm thanh và hình ảnh. MP3 sử dụng các mô hình âm học - tâm thần tinh xảo dựa trên những hiểu biết của chúng ta về sự tái tạo âm thanh bởi não từ những gì đi vào tai. Nó cho

phép nén một đoạn nhạc từ 1,41 megabit mỗi giây còn 64 kilobit mỗi giây đối với nhạc stereo, và 32 kilobit mỗi giây đối với nhạc mono, tức là đạt các hệ số nén lần lượt là 20 và 40.

### *Hình ảnh là các bức tranh ghép điện tử*

Tương tự như âm thanh, một hình ảnh cũng có thể được “số hóa”, nghĩa là được biểu diễn bằng các con số. Khi bạn quét một hình ảnh nghĩa là bạn đã biểu diễn nó bằng ngôn ngữ số: hình ảnh được phân tách thành vô số các thành phần hay các “pixel” (từ viết tắt của cụm từ tiếng Anh *picture element*, có nghĩa là “phần tử ảnh”). Một pixel là phần tử nhỏ nhất độc lập với hệ tạo ảnh. Chẳng hạn, trong một phim chụp ảnh, một pixel là một hạt tinh thể bạc. Đối với camera kỹ thuật số hay video, đó là một sensor photon nhỏ bằng silic. Đối với màn hình máy vi tính, đó là một chấm sáng. Cụ thể hơn, một bức ảnh được ghi trên phim chứa khoảng 10 triệu pixel trên một xentimét vuông; hình ảnh do một camera kỹ thuật số ghi lại chứa khoảng 100.000 pixel trên xentimét vuông, tức kém 100 lần; và hình ảnh mà bạn ngắm trên màn hình máy vi tính có độ phân giải cao, khoảng 2000 pixel trên một xentimét vuông, tức còn kém hơn 50 lần. Rõ ràng, cho tới nay, ảnh trên phim vẫn ăn đứt công nghệ điện tử, các hình ảnh trên phim cho thấy nhiều chi tiết hơn (hay nói theo ngôn ngữ kỹ thuật, thì tức là có “độ phân giải” cao hơn). Tuy nhiên, hình ảnh kỹ thuật số đã có những tiến bộ vượt bậc, và ngày mà nó bắt kịp hình ảnh trên phim không còn xa nữa.

Các pixel tạo nên một bức tranh ghép điện tử, trong đó mỗi phần tử được đặc trưng bởi một chuỗi các con số mô tả, chẳng hạn, vị trí của nó trong hình ảnh hay các tỉ lệ màu lam, lục và đỏ mà nó chứa, các thông tin này cho phép tái tạo lại cường độ ánh sáng và màu sắc của nó. Trong thế giới nhị phân, khi nói đến chuyện lưu trữ và truyền thông tin, thì không có sự phân biệt giữa cuốn tiểu thuyết *Chiến tranh và Hòa bình* và bức tranh *Nàng Mona Lisa*. Đối với Internet, cả hai đều là các luồng bit chỉ khác nhau về lượng thông tin mà thôi. Một cuốn sách 300.000 chữ như cuốn sách mà bạn đang cầm trên tay có lượng thông tin khoảng 3 triệu bit (hay 3 megabit), với giả định rằng chúng ta mã hóa nó một cách hiệu quả. Một bộ phim có dung lượng bit lớn hơn nhiều, bởi vì nó gồm một chuỗi các hình ảnh. Chúng ta hãy xét, chẳng hạn, trường hợp hình ảnh kỹ thuật số của một camera video bình thường. Nó gồm khoảng  $320 \times 240$  pixel, tức tổng cộng 76800 pixel. Cường độ của mỗi một trong ba màu cơ

bản - đỏ, vàng và lam, đối với mỗi pixel có thể còn được mã hóa bằng 8 bit. Nếu camera video chụp 30 ảnh mỗi giây, thì điều này ứng với một tốc độ thông tin 55 megabit mỗi giây. Đó là còn chưa tính đến kỹ thuật “xen ảnh” nhằm bảo vệ hình ảnh khỏi các nguy cơ bị mất dữ liệu trong quá trình được truyền bởi các mạng truyền thông lưu lượng cao. Xen ảnh mang lưu lượng thông tin khoảng 165 megabit mỗi giây. MP3 sau đó có thể nén các hình ảnh xuống 50 lần (vì trong ảnh luôn có sự lặp lại nhất định do các vật bất động, như bàn ghế, cây cối, núi non, không thay đổi từ cảnh này sang cảnh khác), làm cho lưu lượng thông tin còn khoảng 3 megabit mỗi giây. Nói cách khác, nếu chúng ta có một đường truyền lưu lượng 6 megabit mỗi giây, thì chúng ta có thể tải và xem tùy thích mọi bộ phim.

### *Các phân mềm thông minh, nhưng ngôn nhiều bit*

Chúng ta hãy hình dung cảnh một gia đình bốn người miệt mài các công việc khác nhau sau bữa tối. Tất cả đều kết nối Internet và nhận dữ liệu từ mạng theo cách này hay cách khác. Người mẹ trong phòng làm việc đang tải tất cả các bài báo có trên mạng liên quan đến các truyện cổ tích và thần thoại của Việt Nam; cùng lúc này, bà xem một bộ phim trên màn hình vô tuyến có độ phân giải cao. Để thực hiện tất cả những yêu cầu đó, cần phải có một tổng lưu lượng các dữ liệu khoảng 10 megabit mỗi giây. Người bố trong xưởng vẽ đang thiết kế một áp phích. Đồng thời, ông xem chương trình thợ mộc mà ông đã yêu cầu của một dịch vụ có trên Internet, và truyền đến máy tính của ông với lưu lượng 6 megabit mỗi giây. Cậu con trai trong phòng riêng đang học theo chương trình mô phỏng tập lái máy bay trên màn hình vô tuyến có độ phân giải cao, để thi lấy bằng phi công; bài tập kỹ thuật được khoa hàng không của một trường đại học phía Tây nước Mỹ cung cấp qua mạng Internet. Cậu kết nối với một máy vi tính của trường này và sử dụng một lưu lượng khoảng 400 megabit mỗi giây. Lưu lượng cao như thế là cần thiết đối với các hình ảnh họa đồ có độ phân giải cao trong phần mềm mô phỏng việc lái máy bay của cậu. Cô con gái đang tham gia hội thảo từ xa với một nhóm các bạn cùng lớp để lập một dự án xây dựng một căn nhà trong lớp kiến trúc của cô. Mỗi thành viên trong nhóm có một camera video và một blog điện tử cho phép theo dõi tức thì phản ứng của những người tham gia khác. Việc sử dụng Internet này tương ứng với một lưu lượng khoảng 50 megabit mỗi giây. Như vậy nhu cầu sử dụng của gia đình này (không có gì là đặc biệt trong tương lai gần) đòi hỏi một tổng lưu lượng dưới 500 megabit mỗi giây. Hãy nhân nhu cầu trong



thành phố này với hàng nghìn, thậm chí hàng triệu người, tất cả đều muốn xem phim, shopping, học từ xa, tra từ điển bách khoa hay trao đổi thông tin bằng cách truy cập Internet, thì tổng số phải lên đến vài trăm gigabit ( $10^9$ ) hay terabit ( $10^{12}$ ) mỗi giây.

Bản tổng kết vừa rồi chưa tính đến các phần mềm trong tương lai gọi là các “tác nhân thông minh”, chúng sẽ cực kỳ ngốn các bit. Các tác nhân thông minh này sẽ là các chương trình tìm kiếm thông tin trên mạng dành riêng cho người sử dụng bằng cách tính đến hồ sơ cá nhân của anh ta, sở thích và gu của anh ta. Mạng Internet là một công cụ tìm kiếm thông tin khổng lồ, nhưng chất lượng của các thông tin này lại rất đa dạng, từ tốt nhất đến xấu nhất. Bởi vì Internet đã lớn đến mức khổng lồ, nó chứa tất cả những gì bạn muốn biết về bất cứ chủ đề gì – và còn hơn thế!-, thật nghịch lý là các thông tin đích thực lại trở nên không thể tiếp cận được. Cần phải biết tách hạt giống tốt ra khỏi đồng cỏ dại, và đó chính là điều mà các tác nhân thông minh này sẽ làm. Các tác nhân này hoạt động 24h/24h. Chúng sẽ lọc thông tin trên Internet để trích ra từ đó các viên ngọc sáng của minh triết và tri thức trong hàng tấn rác rưởi sinh ra mỗi ngày. Hiện nay, nhu cầu cấp thiết nhất của Internet là sự quản trị thông minh thông tin. Các phần mềm tìm kiếm mạnh nhất ngày nay, như Google, sẽ trở thành những con khủng long so với các tác nhân thông minh trong tương lai này, nên chúng sẽ dễ dàng tải lưu lượng một gigabit (một tỉ bit) mỗi giây, tức nhiều lần lớn hơn lưu lượng mà một gia đình bình thường sử dụng.

### *Vận tốc tới hạn của electron trong các chất bán dẫn*

Vậy trước đòi hỏi ngày càng gia tăng về lưu lượng thông tin và do đó các băng thông cũng ngày càng phải rộng hơn, trước sự ngốn các bit của các tác nhân thông minh trong tương lai, chúng ta phải làm gì? Như chúng ta đã thấy, electron đã và sẽ còn đóng vai trò kiểm soát chính tất cả các hệ tính toán và truyền thông trong một tương lai gần. Nhờ có sự tương tác điện mạnh, electron là các tác nhân được lựa chọn để thực hiện vai trò này.

Các máy móc điện tử đã cực nhanh. Chỉ cần nhìn bộ xử lý của máy vi tính là thấy, nó có thể đạt đến tần số rất cao, tới 1 gigahertz. Kể từ thời chập chững của Internet trong những năm 1960 cho tới rất gần đây, như thế đã là quá đủ để thỏa mãn các nhu cầu về viễn thông của chúng ta. Nhưng Internet ngày nay đòi hỏi các băng thông tới terahertz ( $10^{12}$  Hz), trong khi giới hạn của các máy móc điện tử chỉ cỡ 100 gigahertz, tức là nhỏ hơn mười lần. Công nghệ duy nhất có khả năng cung cấp lưu lượng cỡ terabit mỗi giây trên các khoảng

cách xa trên Trái đất chính là công nghệ cáp quang. Nhưng chỉ mình cáp quang thôi thì chưa thể giải quyết được vấn đề. Để vượt qua giới hạn 100 gigahertz, cần phải tìm ra một phương tiện để thay thế electron bằng photon với vai trò là tác nhân kiểm soát.

Trong các máy quang điện thế hệ thứ nhất, các máy mà hiện chúng ta đang sử dụng, có một sự kết hợp chặt chẽ giữa electron và photon, với sự phân chia nhiệm vụ rõ ràng: electron kiểm soát – chính chúng sinh ra ánh sáng, điều chỉnh ánh sáng, dò ánh sáng -, trong khi photon độc quyền vai trò sứ giả truyền tin. Sự hợp tác chặt chẽ này được thể hiện bằng sự chuyển hóa liên tục năng lượng điện thành ánh sáng, và ngược lại. Nhưng các linh kiện điện tử có một hạn chế rất cơ bản về tốc độ hoạt động, và sở dĩ như vậy là vì nhiều lý do. Trước hết, do electron có khối lượng, nên vận tốc của nó luôn thấp hơn vận tốc ánh sáng, điều này có nghĩa là nó cần có thời gian để chạy bên trong các linh kiện điện tử. Ngay cả khi kích thước của các linh kiện điện tử này không ngừng giảm xuống rõ rệt (theo “định luật Moore”), thì tốc độ hoạt động của chúng vẫn dưới tiềm năng của cáp quang. Mặt khác, electron không thể tự do di chuyển tùy thích bên trong các chất bán dẫn như silic. Chúng bị gắn với các nguyên tử bằng các liên kết hóa học. Vì thế, một tỉ lệ rất nhỏ electron (một trên một triệu) đã được đưa vào chất bán dẫn, gắn liền với các vật liệu gọi là “chất đônô” (hay chất cho), như phốt pho. Các electron bổ sung này có thể di chuyển tự do trong chất bán dẫn, nhưng không phải là hoàn toàn không bị ngăn cản, bởi vì chúng phải chịu tác dụng của lực điện từ các electron được gắn kết bởi các liên kết hóa học. Dưới tác dụng của lực điện trường, vận tốc electron có thể tăng lên đến tối đa là 100 km/s trong silic (hay trong các chất bán dẫn khác như galli hay indi), tức chỉ bằng 0,03% vận tốc ánh sáng.

Vậy tần số ứng với vận tốc tối đa này là gì? Chúng ta hãy xét chẳng hạn một chip điện tử có kích thước một phần mười micromét. Một electron chạy với vận tốc tối đa 100km/s băng qua nó chỉ trong  $10^{-12}$  giây (hay một pico giây), nghĩa là ứng với một băng thông khoảng 100 gigahertz, thấp hơn rất nhiều băng thông 30 terahertz mà các cáp quang silic có thể cung cấp. Vì vận tốc của electron bị hạn chế nên để giảm thiểu thời gian chạy của electron, liệu chúng ta có thể giảm kích thước của các chip như chúng ta muốn được không? Một chip nhỏ hơn ứng với thời gian để electron chạy qua nó ngắn hơn, và như vậy là với các tần số cao hơn. Nhưng, một lần nữa ở đây chúng ta lại vấp phải các hạn chế vừa do vật lý của ánh sáng vừa do công nghệ. Cho tới nay các chip được chế tạo bằng một công nghệ có tên là “in litô quang học”: thay vì tái tạo bằng

cách in các bức tranh được vẽ bằng mực hay bằng bút chì mềm trên đá vôi, người ta phóng chiếu hình vẽ các mạch điện tử trên một bản dẫn bằng ánh sáng cực tím. Bởi vì quá trình in litô này có bản chất là quang học, nên nó phải tuân theo quy luật nhiễu xạ, điều đó hạn chế kích thước tối thiểu có thể được khắc là cỡ một nửa bước sóng của ánh sáng cực tím, tức bằng một phần mười micromét. Như vậy, chúng ta lại đứng trước bức tường tần số tối đa 100 gigahertz. “Định luật Moore” cho tới nay vẫn mô tả chính xác tốc độ cực tiểu hóa các linh kiện điện tử, nó báo trước rằng kích thước của các tranzito giảm xuống còn một phần mười micromét vào năm 2012.

### *Kiểm soát ánh sáng bằng ánh sáng*

Để vượt qua bức tường 100 gigahertz và thỏa mãn các nhu cầu ngày một gia tăng của Internet đối với các tần số và băng thông ngày càng cao, chúng ta phải quay lại các máy thuần túy quang học trong đó electron sẽ không được quyền nhắc đến tên nữa và ở đó photon sẽ không còn an phận với vai trò thụ động là sứ giả đưa tin nữa, mà sẽ chiếm lĩnh vị trí trước kia của electron trong việc kiểm soát các hoạt động. Tranzito sẽ biến mất và các thiết bị quang học kỳ diệu – các sợi quang liên kết hay các dây gương – có hình dạng mới và hành trạng lạ lùng sẽ thay thế cho nó. Trong các máy mới này, sẽ không còn sự chuyển hóa liên tục năng lượng điện tử thành ánh sáng và ngược lại, sự chuyển hóa đã phải trả giá quá đắt về hiệu suất và tốc độ. Thực tế, không có một quá trình chuyển hóa nào có hiệu suất 100% cả. Đối với các máy quang điện dựa trên đồng thời cả electron và photon, hiệu suất chỉ là 70%; 30% còn lại bị tiêu hao dưới dạng nhiệt. Không chỉ quá trình chuyển hóa này mất thời gian và làm chậm tốc độ truyền tin, mà nó còn gây lãng phí năng lượng. Các máy thuần túy quang học sẽ điều khiển luồng thông tin quang học mà không bao giờ phải chuyển hóa nó thành dòng điện sẽ khắc phục được những nhược điểm này.

Nhưng làm thế quái nào có thể dùng ánh sáng để kiểm soát chính ánh sáng? Không có điện tích, một photon không thể tác động lên quỹ đạo của một photon khác thông qua lực điện. Không có khối lượng, nó không thể ngăn cản một photon khác ở chính xác cùng vị trí với nó. Tuy nhiên, để nắm quyền kiểm soát các hoạt động, một photon phải nhất thiết phải tương tác với đồng loại của nó. Mặc dù điều này là không thể trong chân không - một chùm laser băng ngang qua một chùm laser khác như không có gì ngăn cản trở cả -, nhưng ánh sáng có thể tương tác với ánh sáng thông qua một môi trường trung gian: cụ thể là nếu nó lan truyền trong một vật liệu gọi là “phi tuyến”.

Hành trạng của một vật được gọi là “tuyến tính” khi nó có các tính chất, chẳng hạn như chiều dài, biến thiên tỷ lệ thuận với lực tác dụng lên nó. Ví dụ, nếu một lò xo ở trong chế độ tuyến tính sẽ dài thêm 2 hoặc 5 lần khi người ta tác dụng vào nó một lực kéo lớn hơn 2 hoặc 5 lần. Nhưng, vượt qua độ dài này thì không còn như vậy nữa. Sẽ rất khó kéo dài nó và chiều dài của nó không còn tăng tỉ lệ với lực tác dụng lên nó nữa. Lúc này lò xo chuyển sang một chế độ khác gọi là “phi tuyến”.

Chúng ta hãy xét một chùm laser đi qua một vật liệu phi tuyến. Điện trường gắn với ánh sáng kéo các electron theo một hướng ưu tiên (gọi là sự phân cực phi tuyến). Một chùm thứ hai cũng đi qua vật liệu này “cảm thấy” hướng ưu tiên đó bèn điều chỉnh hành trạng của mình bằng cách thay đổi vận tốc truyền của nó. Như vậy chùm ánh sáng thứ nhất đã làm thay đổi hành trạng của chùm thứ hai. Sự cấm photon tương tác với photon đã được lách qua nhờ các electron phân cực trong một môi trường phi tuyến.

Thí nghiệm đầu tiên về kiểm soát ánh sáng bằng ánh sáng đã được thực hiện năm 1961, tức chỉ một năm sau phát minh ra laser. Nhà vật lý người Mỹ Peter Franken (1928-1999) đã nảy ra ý tưởng cho một chùm ánh sáng laser đỏ đi qua một tinh thể thạch anh có các tính chất phi tuyến. Ông đã thấy ló ra từ đó không phải một chùm duy nhất, mà là hai chùm: chùm đỏ ban đầu, và một chùm laser khác, có màu tím, màu mà bước sóng của nó chính bằng một nửa bước sóng của ánh sáng đỏ (hay tần số của nó gấp đôi tần số của ánh sáng đỏ). Lần đầu tiên, thông qua một vật liệu phi tuyến, ánh sáng đã sinh ra ánh sáng. Thí nghiệm này đã đánh dấu sự ra đời của lĩnh vực nghiên cứu có tên là “quang học phi tuyến”. Nhờ kỹ thuật lựa chọn chính xác các tinh thể là các vật liệu phi tuyến hảo hạng, ngày nay chúng ta đã biết sử dụng các chùm laser để tạo ra các chùm laser khác, cùng hoặc không cùng tần số. Chúng ta cũng có thể làm cho hai chùm ánh sáng trao đổi photon với nhau, hoặc sử dụng một chùm để làm thay đổi quỹ đạo của một chùm khác, luôn thông qua các vật liệu phi tuyến. Trong các vật liệu này, các chùm không còn là độc lập nữa, mà phụ thuộc lẫn nhau.

### *Các máy thuần túy quang học*

Trao vai trò kiểm soát cho photon và loại electron ra khỏi sân khấu mang lại rất nhiều lợi ích. Bởi vì không còn sự chuyển hóa electron thành photon và ngược lại nữa, nên hiệu suất tiến gần đến 100%. Và không mất một tí thời

gian nào, bởi vì thông tin luôn được vận chuyển bởi photon chạy với vận tốc ánh sáng.

Nhưng chắc chắn bạn sẽ nghi ngờ rằng mọi việc không đơn giản đến thế. Bởi vì các hệ thuần túy quang học rất tuyệt vời và quang học phi tuyến sinh ra chỉ một năm sau laser, vậy tại sao các hệ truyền thông của chúng ta lại không thuần túy quang học luôn? Tại sao quá trình kiểm soát của chúng ta vẫn luôn có bản chất quang điện? Thực tế, trong thí nghiệm đầu tiên về quang học phi tuyến, năm 1961, hiệu suất chỉ là một phần trăm triệu: rất rất nhỏ so với hiệu suất 70% của chuyển hóa quang điện! Nhưng các tiến bộ đã đạt được cực nhanh. Với nỗ lực nghiên cứu phi thường, các nhà vật lý ngày nay đã có thể đạt được một hiệu suất gần 100% đối với việc tạo và kiểm soát ánh sáng bằng các vật liệu phi tuyến.

Tuy nhiên, có một trở ngại và lại là về kích thước! Để đạt được hiệu suất như vậy, cần phải có một ánh sáng rất mạnh. Thực tế, cần phải có các điện trường lớn để khởi phát những biến thiên của vật liệu đủ để tác động lên hành trạng của một chùm ánh sáng khác. Để làm được như vậy cần phải có một chùm laser tập trung 1kW công suất trên diện tích một xentimét vuông. Một chùm laser có cường độ như thế sẽ làm tan chảy mọi vật liệu nếu thời gian chiếu lên vật liệu ấy đủ lâu. Đặc biệt, tinh thể sinh ra nó sẽ tan chảy chỉ trong nháy mắt, như đá tan chảy dưới ánh nắng Mặt trời. Như vậy cần tạo ra các chùm laser rất mạnh, nhưng với độ dài rất ngắn dưới dạng các xung, và thời gian nghỉ giữa các xung này phải rất lâu để làm nguội vật liệu. Hiện nay, các nhà vật lý đã biết sử dụng một vật liệu phi tuyến để tạo ra các xung laser chỉ kéo dài vài pico giây (một pico giây bằng  $10^{-12}$  giây). Đối với các xung laser cực ngắn này, năng lượng không đổi, nhưng cường độ, nghĩa là năng lượng trên đơn vị thời gian, trở nên cực cao, thời gian được rút ngắn lại đến cực điểm. Chẳng hạn, một xung laser một pico giây (có khả năng truyền một dung lượng dữ liệu một terabit, hay  $10^{12}$  bit mỗi giây) với năng lượng rất yếu, chỉ một micro jun thôi, nhưng sẽ đạt đến công suất tối đa một MW (megaoát). Hiện các nhà vật lý đã biết cách kiểm soát các chùm ánh sáng bằng laser có năng lượng yếu tới mức chỉ đủ để thắp sáng một phòng nhỏ.

Bằng sự kết hợp tuyệt vời giữa vật lý và công nghệ, một loại vật liệu đặc biệt thuận lợi cho các tương tác phi tuyến là thủy tinh. Các cáp quang thủy tinh đã dọc ngang khắp một phần lớn địa cầu tạo thành một môi trường đặc biệt thuận lợi để ánh sáng tương tác với ánh sáng bằng các hiệu ứng phi tuyến, mà không cần phải tiêu hao nhiều năng lượng. Trên thực tế, lõi của một cáp

quang có đường kính dưới 8 micromét và ánh sáng khi được tụ tiêu trên một bề mặt nhỏ có thể trở nên cực mạnh, một điều kiện *tiên quyết* đối với các tương tác phi tuyến. Mặt khác, các chùm ánh sáng chạy trong cáp quang có thể tương tác trên các khoảng cách tới 100 km. Ngay cả khi các hiệu ứng phi tuyến của thủy tinh là rất yếu, thì các tương tác nhỏ này có thể được cộng lại trong hành trình của chúng để trở nên mạnh hơn. Cuối cùng, các cáp quang có thể được “pha tạp” bởi các tạp chất như các nguyên tử của một nguyên tố hiếm có tên là “eribi”, tạo cho chúng một tính chất cực kỳ quan trọng: được chiếu bởi một chùm ánh sáng có một bước sóng gần một micromét, chúng sẽ khuếch đại hai chùm ánh sáng có bước sóng cỡ 1,5 micromét. Nhưng bước sóng này lại chính là bước sóng “kỳ diệu” đối với sự truyền thông bằng sợi quang, bởi vì ở bước sóng này ánh sáng bị sợi quang hấp thụ ít nhất. Chính tính chất hao tổn tối thiểu và khuếch đại tối đa ánh sáng của sợi quang được pha tạp bởi eribi đã biến nó thành các linh kiện thuần túy quang học đầu tiên bước vào lĩnh vực thương mại: được chôn ngầm dưới đất hoặc dưới đáy biển, chúng đã vận chuyển vô số các tín hiệu viễn thông. Và cũng chủ yếu nhờ chúng mà chúng ta có thể lướt web.

### *Tính song song của ánh sáng và hình ảnh*

Như vậy Internet quang tử sẽ sớm thay thế cho Internet điện tử. Internet hoàn toàn dựa trên ánh sáng cũng sẽ cung cấp các dịch vụ tốt và ổn định. Cho tới nay, vẫn là các máy tính điện tử tinh xảo đảm nhiệm vai trò hết sức phức tạp là chia và lựa chọn các tín hiệu khác nhau, phân phối và gửi chúng đến đúng cổng thông tin. Vì nhiệm vụ của chúng ngày càng phức tạp thêm, nên các thuật toán dựa trên trí tuệ nhân tạo đã được áp dụng nhằm tối ưu hóa các chương trình kiểm soát để chúng đưa ra quyết định nhanh và chọn các con đường ngắn nhất. Khi Internet là hoàn toàn quang học, thì trí tuệ nhân tạo này cũng sẽ chạy trên các máy hoàn toàn quang học. Mạng chỉ gồm sợi quang sẽ sử dụng các chùm laser để điều biến các chùm laser khác, hướng các chùm này hay khác đến các địa chỉ khác nhau tùy theo thông tin được mã hóa trong các chùm ấy.

Cho tới nay, truyền tin bằng sợi quang vẫn thuần túy có bản chất số hoá: thông tin được chuyển hóa thành các bit, và được truyền đi theo các đoạn dưới dạng các chuỗi 1 và 0. Như vậy, tín hiệu đi ra từ một sợi quang không có gì là thị giác hết, hình ảnh được chuyển hóa thành một chuỗi các con số sẽ lại phải

được tái tạo lại. Trong các “máy ánh sáng” tương lai, hình ảnh sẽ thay thế các bit làm đơn vị thông tin. Thế giới thị giác của chúng ta trên thực tế choán đầy các hình ảnh mà mắt chiết xuất ra được từ môi trường xung quanh. Cũng giống như sự truyền thông tin mà không cần phải chuyển hóa electron thành photon và ngược lại sẽ nhanh hơn, nên sự truyền các hình ảnh vẫn ở trạng thái hình ảnh thay vì chuyển hóa chúng thành một chuỗi các con số, rồi lại phải tái chuyển hóa các con số này thành hình ảnh, sẽ là hiệu quả hơn.

Trong các điều kiện này, chúng ta có thể khai thác đầy đủ “tính song song” của các hình ảnh, nghĩa là thông tin thị giác được truyền song song, chứ không phải theo các chuỗi. Chẳng hạn, khi tôi nhìn qua cửa sổ, tôi nhìn thấy đồng thời đường phố, những chú sóc nhày nhót trên cành cây, một chiếc xe hơi chạy qua, một phụ nữ dắt chó đi dạo. Tôi không thấy các thành phần của cảnh này theo dãy kết tiếp nhau, mà là đồng thời. Chính tính song song này của hình ảnh làm cho hình ảnh truyền thông tin hiệu quả hơn là ngôn từ, mà xét cho cùng đó là một dãy các từ. Minh triết dân gian cũng đã từng biết: “Một hình ảnh đáng giá cả nghìn từ”. Để thỏa mãn nhu cầu không biết chán về thông tin của chúng ta, các “máy ánh sáng” thế hệ thứ hai sẽ khai thác triệt để tính song song của ánh sáng và hình ảnh này để trở nên hiệu quả hơn nữa.

Nhưng, ngay khi các máy thuần túy quang học thế hệ thứ hai được chế tạo, thì đã lấp ló ở chân trời các máy thế hệ thứ ba, các máy lượng tử, vượt ra ngoài vật lý cổ điển, chúng sẽ khai thác các quy luật huyền diệu và kỳ lạ của cơ học lượng tử và thực hiện những công việc khác thường tới mức chúng va đập dữ dội với lương tri của chúng ta.

### *Star Trek và viễn tải*

Một trong những khái niệm về máy lượng tử thuộc loại đáng kinh ngạc nhất chắc chắn là khái niệm “viễn tải lượng tử”. Khái niệm viễn tải lượng tử đã đi vào trí tưởng tượng của công chúng trong những năm 1960 qua loạt phim truyền hình khoa học viễn tưởng của Mỹ *Star Trek*, một bộ phim dù không thu được thành công lớn trong lần công chiếu đầu tiên vào năm 1966, nhưng sau đó đã rất được ưa thích cả ở Mỹ lẫn ở Pháp và nhiều nước châu Âu khác. Câu chuyện diễn ra vào thế kỷ XXIII kể lại những chuyến phiêu lưu của thuyền trưởng Kirk và phi hành đoàn của ông băng qua không gian giữa các vì sao trên phi thuyền không gian *Enterprise*. Hẳn nhiên, một trong những câu đáng nhớ nhất của bộ phim là: “*Beam me up, Scotty!*” (Hãy truyền tôi đi, Scotty!), đó

là mệnh lệnh của thuyền trưởng Kirk đối với kỹ sư trưởng để “viễn tải” ông lên phi thuyền *Enterprise* mỗi khi tình hình trên một hành tinh nào đó trở nên quá nguy hiểm. Đối với các nhà sản xuất và đạo diễn bộ phim, khái niệm viễn tải lượng tử quả là một khám phá thiên tài và ít tốn kém để di chuyển các nhân vật từ một vị trí này sang một vị trí khác mà không cần phải dựng các đoạn phi thuyền không gian cất cánh và hạ cánh hết sức tốn kém. Hơn nữa, cảnh viễn tải khiến cho người xem phải mơ mộng: chỉ cần đi vào một căn phòng và bật công tắc lên là mọi ràng buộc của không gian và lực hấp dẫn sẽ bị loại bỏ hết. Nhưng thực tế không đơn giản như thế, rất nhiều câu hỏi đã được đặt ra: viễn tải lượng tử liệu có khả dĩ trong bối cảnh các định luật vật lý đã biết? Liệu hiện thực một ngày nào đó có theo kịp khoa học viễn tưởng?

Để trả lời các câu hỏi này, chúng ta cần phải định nghĩa cái mà chúng ta gọi là “viễn tải”. Trong đầu của các tác giả khoa học viễn tưởng, viễn tải nghĩa là quét một vật (hay một người) để xác định chính xác các thành phần của anh ta và gửi thông tin này đến một vị trí ở xa, nơi sẽ tái tạo lại vật hoặc người được “viễn tải”. Một trong hai trường hợp sẽ phải xảy ra: hoặc là vật hoàn toàn bị “tháo rời” ra, các nguyên tử và phân tử của vật được gửi đồng thời cùng với sơ đồ tổ chức sẽ được dùng để tái tạo lại vật ở nơi xa đó; hoặc các nguyên tử và phân tử mới đã có sẵn ở nơi đến, và chúng được tổ chức chính xác như với các nguyên tử và phân tử gốc để tạo ra một phiên bản y hệt vật được viễn tải. Như chúng ta sẽ thấy, có lẽ khả năng thứ hai được vật lý ưu tiên hơn. Nói cách khác, một máy viễn tải sẽ hành động như một máy fax, chỉ khác ở chỗ nó truyền cả các vật ba chiều cũng như các vật hai chiều, và nó tạo ra một phiên bản chính xác thay vì một bản sao tương tự, đồng thời bản gốc sẽ bị hủy ngay sau khi quét. Một số tác giả khoa học viễn tưởng đã tính đến khả năng bản gốc được giữ lại cùng với bản copy, và câu chuyện sẽ trở nên hết sức rắc rối khi bản gốc và phiên bản gặp nhau. Tuy nhiên, chúng ta sẽ thấy rằng viễn tải lượng tử, như vật lý hiện nay dự báo, không cho phép tình huống này xảy ra.

Viễn tải người vấp phải vấn đề về kích thước. Cơ thể con người chứa khoảng  $10^{28}$  nguyên tử ( $10^{28}$  hạt nhân và số electron gấp khoảng 15 lần) và mỗi một nguyên tử được đặc trưng bởi rất nhiều thông số (vị trí, vận tốc, spin và các mức năng lượng...) phải được truyền nguyên vẹn để tái tạo người được viễn tải ở một vị trí khác. Thông tin liên quan đến từng nguyên tử tương ứng với 100 bit, điều này có nghĩa là các nguyên tử của một người nào đó chiếm một khối lượng thông tin khoảng 1000 tỉ tỉ bit ( $10^{30}$  bit). Hãy giả định rằng chúng ta muốn lưu trữ tất cả các dữ liệu vật lý của cơ thể con người trên các đĩa cứng



có dung lượng mỗi đĩa 10 GB (1 GB = 1.000.000 byte và 1 byte = 8 bit): chúng ta cần phải có khoảng 10 tỉ (10<sup>19</sup>) đĩa! Nếu xếp các đĩa này chồng lên nhau, bạn sẽ thu được một chồng đĩa cứng cao khoảng 10<sup>13</sup> km, tức 10.000 năm ánh sáng, gần bằng một nửa khoảng cách từ hệ Mặt trời tới tâm Ngân Hà! Ngay cả khi giả định rằng bạn có đủ vật liệu và không gian cần thiết để tích trữ thông tin và năng lượng điện để ghi tất cả những thông tin này vào đĩa và để đọc nó, thì cũng cần phải có một thời gian cực kỳ dài để truyền thông tin. Thực tế, ngay cả khi bạn truyền thông tin này với tốc độ một terabit (10<sup>12</sup> bit) mỗi giây, thì với giới hạn của công nghệ hiện nay, anh chàng tội nghiệp muốn được viễn tải của chúng ta sẽ phải chờ khoảng 30 tỉ năm, tức ba lần tuổi hiện nay của vũ trụ!

### *Nhân bản lượng tử là bất khả thi*

Với công nghệ hiện nay, các cơ hội để có thể viễn tải “theo kiểu *Star Trek*” một người từ vị trí này sang một vị trí khác là chuyện còn rất xa vời! Nhưng bạn cũng có thể cãi lại rằng số khổng lồ các bit cần phải truyền, xét cho cùng, chỉ là một vấn đề về thang; thế nhưng, theo thời gian, các vấn đề về thang thường đều được các kỹ sư giỏi giải quyết hết, miễn là các định luật vật lý cho phép. Chẳng hạn như, cách đây chỉ một thế kỷ thôi, việc đưa người lên Mặt trăng là một dự án dường như có vẻ nằm ngoài tầm tay của con người. Trong khi chờ đợi một máy viễn tải một ngày nào đó có thể được phát minh, còn nhiều câu hỏi cơ bản khác đang đặt ra.

Trước hết, liệu có thể, về nguyên tắc, coi một vật và xác định thành phần của nó với một độ chính xác đủ để sử dụng thông tin này vào các mục đích tái tạo lại vật được viễn tải ở một vị trí mong muốn không? Trong một vũ trụ được chi phối bởi các định luật vật lý cổ điển, câu trả lời là chắc chắn có: chỉ cần đo với độ chính xác cao nhất các tính chất của mỗi hạt cấu thành vật, như vị trí, vận tốc, spin, năng lượng... của nó. Nhưng, trong một thế giới được chi phối bằng các định luật của cơ học lượng tử, thế giới của các nguyên tử, thì đo là một hành động dữ dội làm thay đổi bản chất của thực tại. Trước khi được đo, mỗi tính chất của vật (vị trí, vận tốc... của nó) có thể được đặc trưng bởi một hàng hà sa số các giá trị, mỗi một giá trị ấy có một xác suất nhất định (tính bằng hàm sóng) để có thể trở thành hiện thực: vật nằm trong cái mà người ta gọi là một “trạng thái chồng chập lượng tử”, đối với nó, một vô số các khả năng cùng tồn tại. Nhưng, ngay khi người quan sát bật dụng cụ đo, thì hàng hà sa số các khả năng này rút lại chỉ còn duy nhất một. Hành động đo phóng chiếu

thái không biết của vật, vốn là một chồng chập các trạng thái, thành chỉ một trong số các trạng thái này. Nó đã xóa đi thông tin về tất cả các trạng thái khác.

Về mặt tiên nghiệm, sự nhân đôi nguyên vẹn một vật như vậy là không khả dĩ. Để nhân đôi một vật, về nguyên tắc, cần phải quan sát để biết các tính chất phải được nhân đôi. Nhưng, bởi vì hành động quan sát làm thay đổi các tính chất này, nên chúng ta sẽ không bao giờ có thể biết được chúng như chúng vốn thể trước hành động đo, và như vậy không thể nhân đôi chúng được. Nhân bản lượng tử và do đó cả viễn tải lượng tử, về mặt tiên nghiệm, là không thể. Người ta gọi đó là “định lý về tính không thể của nhân bản lượng tử”. Tính không thể này không phải là vì vấn đề phức tạp, mà là vì những giới hạn cơ bản cố hữu của cơ học lượng tử.

### *Các photon luôn giữ liên lạc với nhau và luôn có cùng lựa chọn*

Sự việc dừng lại ở đó cho tới đầu những năm 1990. Năm 1993, một nhóm nghiên cứu quốc tế các nhà vật lý đứng đầu là Charles Bennett làm việc tại Trung tâm Nghiên cứu Watson của tập đoàn IBM, và Gilles Brassard của Đại học Montréal, đã tìm ra một cách cực kỳ khéo léo để lách qua sự cấm sinh sản vô tính lượng tử và sử dụng các tính chất kỳ lạ và huyền diệu của cơ học lượng tử để viễn tải các hạt ánh sáng. Ý tưởng thật đơn giản, nhưng rất...sáng! Nó dựa trên những đặc tính của các photon gọi là có “vướng víu”, nghĩa là chúng có tương tác với nhau. Các bạn hãy nhớ lại: chúng ta đã từng gặp các photon như vậy trong thí nghiệm được Einstein, Podolsky và Rosen (EPR) nghĩ ra năm 1935, và đã được nhà vật lý Alain Aspect và nhóm nghiên cứu của ông thực hiện lần đầu tiên năm 1982. Thí nghiệm EPR chứng tỏ rằng một cặp photon vướng víu liên kết với nhau bằng một mối quan hệ chặt chẽ và kỳ lạ vượt lên trên các khái niệm thông thường của chúng ta về không gian. Trong thí nghiệm này, mỗi photon của cặp này, về nguyên tắc, sẽ quay với một xác suất nhất định quanh một trục được định hướng theo một góc nào đó. Chẳng hạn, góc 0 độ tương ứng với spin nằm ngang; góc 90 độ, với spin thẳng đứng. Khi dụng cụ đo được bật, mỗi photon có thể về nguyên tắc “chọn” ngẫu nhiên hướng spin của nó trong vô số các khả năng tiềm tàng. Tuy nhiên, bất kể hướng spin do photon được đo lựa chọn là thế nào đi nữa (chẳng hạn 45 độ), thì photon còn lại của cặp sẽ lập tức quay theo hướng đó, dù khoảng cách giữa hai photon có lớn đến đâu chẳng nữa. Thí nghiệm đã được thực hiện cho một cặp photon cách nhau 10 km, nhưng không có bất kỳ lý do nào để nghĩ rằng kết quả sẽ

không như vậy nếu các photon ở hai đầu vũ trụ.

Vật lý cổ điển nói rằng sự lựa chọn của hai photon sẽ phải hoàn toàn độc lập: các phép đo hai photon vì được thực hiện đồng thời (nghĩa là với một chênh lệch thời gian dưới 3 phần mười tỉ giây, độ chính xác của đồng hồ nguyên tử tinh xảo nhất), nên hai photon không thể trao đổi thông tin bằng các tín hiệu ánh sáng và phối hợp các lựa chọn của chúng với nhau. Vậy mà không phải như thế. Sự tương quan vẫn luôn hoàn hảo; sự lựa chọn của hai photon vẫn luôn như nhau. Giống như bạn, ở Paris, và Bob - bạn của bạn ở New York, chơi trò sấp ngửa, mỗi khi đồng xu của bạn rơi sấp ở Paris, thì đồng xu của Bob, ở bên kia Đại Tây Dương, cũng rơi sấp dù hai người không hề báo tin cho nhau. Giải thích thế nào đây về việc photon (A) (trong số hai photon) luôn “biết” tức thì điều mà photon (B) quyết định khi tương tác với dụng cụ đo? Cần phải chấp nhận rằng hai photon này là một bộ phận của cùng một thực tại tổng thể, dù khoảng cách giữa chúng có như thế nào chăng nữa. B không hề cần phải gửi một tín hiệu nào đến A, vì hai hạt ánh sáng nằm trong cùng một tổng thể. Cơ học lượng tử loại trừ mọi ý tưởng về sự định xứ. Nó trao cho không gian một tính chất tổng thể. Các nhà vật lý gọi điều đó là tính “phi định xứ” hay tính “bất khả tách”.

### *Viễn tải lượng tử và các hạt vướng víu*

Sử dụng tính bất khả tách hay tính vướng víu lượng tử như thế nào để thực hiện sự viễn tải các photon? Ý tưởng khéo léo của Charles Bennett, Gilles Brassard và các cộng sự của họ như sau: Hãy giả định rằng tôi muốn viễn tải các tính chất của photon A từ nhà tôi ở Charlottesville đến nhà anh bạn Bruno của tôi ở Paris. Đặc biệt, tôi muốn viễn tải tới Bruno thông tin liên quan đến spin của photon A để anh ấy có thể thu được một photon mà xác suất các định hướng spin của nó giống như xác suất của A. Dĩ nhiên, tôi không thể đo spin của A và gọi điện cho Bruno để báo kết quả: vì phép đo của tôi có thể sẽ ảnh hưởng đến spin của A và điều mà tôi quan sát được sẽ không phải là trạng thái của A trước quan sát của tôi. Vậy, tôi phải làm gì đây?

Bennett, Brassard và các đồng nghiệp đã ra tay giúp đỡ: họ đã gợi ý cho Bruno và tôi mỗi người lấy một photon – tôi lấy B, Bruno lấy C. Tuy nhiên, hai photon B và C có một đặc tính: chúng nằm trong một cặp photon vướng víu nhau, tương tác cùng nhau. Nói cách khác, nếu tôi đo hướng spin của B và nếu Bruno cũng làm điều tương tự đối với C ở bên kia Đại Tây Dương, thì chúng

tôi sẽ nhận được chính xác cùng một kết quả. Bước tiếp theo là đo không phải trực tiếp spin của A - điều này quá dữ dội đối với trạng thái của photon mà tôi muốn viễn tải tới Bruno -, mà là đo một tính chất chung của A và B, điều này sẽ ít gây tổn thương cho A hơn. Chẳng hạn, cơ học lượng tử cho phép tôi thực hiện một phép đo kết hợp để xem liệu A và B có cùng spin dọc theo trục thẳng đứng (hay trục bất kỳ nào khác) mà không cần phải đo spin của từng photon A và B một cách riêng rẽ. Với một phép đo chung cho A và B như thế, tôi vẫn hoàn toàn không biết hướng spin của A. Tất cả những gì tôi biết là spin của A liên hệ với spin của B như thế nào. Nhưng bởi vì B và C (photon của Bruno ở Paris) vướng víu nhau, nên nhờ đó tôi cũng biết sự liên hệ giữa spin của A với spin của C. Vì vậy tôi có thể, chỉ bằng một cú điện thoại, báo thông tin này cho Bruno. Điều này cho phép Bruno điều chỉnh C sao cho spin của nó trở nên giống như spin của A. Trong trường hợp đơn giản nhất, nếu phép đo của tôi cho thấy spin của B giống spin của A, thì tôi sẽ suy ra từ đó rằng spin của C cũng giống với spin của A, và như vậy tôi đã thực hiện thành công dự án viễn tải A: A vẫn ở Charlottesville, nhưng đã được nhân bản vô tính thành C ở Paris. Điều đúng với spin cũng đúng với tất cả các tính chất khác của A, chẳng hạn xác suất để A có năng lượng này hay năng lượng khác... Cuối cùng, tôi đã viễn tải toàn bộ trạng thái lượng tử của A, với các tính chất khác nhau của nó, từ Charlottesville sang Paris (H. 64a).

Ở điểm này, các bạn chắc chắn sẽ bác lại: ngay cả khi thực hiện phép đo chung cho A và B ít gây xáo trộn cho A, và ngay cả khi rốt cuộc tôi thu được một quan hệ giữa spin của A và spin của B, thì điều đó cũng không ngăn cản mối quan hệ giữa chúng là quan hệ sau phép đo, chứ không phải trước phép đo. Vậy mà các spin của A và B sau phép đo chắc chắn khác với spin ban đầu của chúng do sự xáo trộn do hành động đo gây ra. Thoạt nhìn, hoá ra chúng ta lại bị cấm thực hiện nhân bản lượng tử. Vậy phải chăng việc đưa vào cặp photon vướng víu không mang lại ích lợi gì?

Câu trả lời là "có" ích lợi vì thực ra photon C ra tay cứu vớt. Thực vậy, bằng sự kỳ diệu của vướng víu lượng tử, sự xáo trộn mà tôi đã gây cho B bằng phép đo ở Charlottesville đã tức thì được phản chiếu trong trạng thái của C ở Paris. Sử dụng C, Bruno có thể cách li được hiệu ứng xáo trộn do hành động đo của tôi gây ra. Khi tôi gọi điện cho Bruno báo kết quả về quan hệ giữa các spin của A và B sau phép đo của tôi, Bruno, nhờ có C, hầu như là loại bỏ được hiệu ứng xáo trộn này do phép đo của tôi ra khỏi mối quan hệ này và khôi phục được quan hệ ban đầu, nghĩa là quan hệ trước phép đo của tôi. Cặp photon vướng

víu B và C như vậy đã cho phép lách thành công sự cấm nhân bản vô tính lượng tử và viễn tải một photon từ một vị trí này sang một vị trí khác.

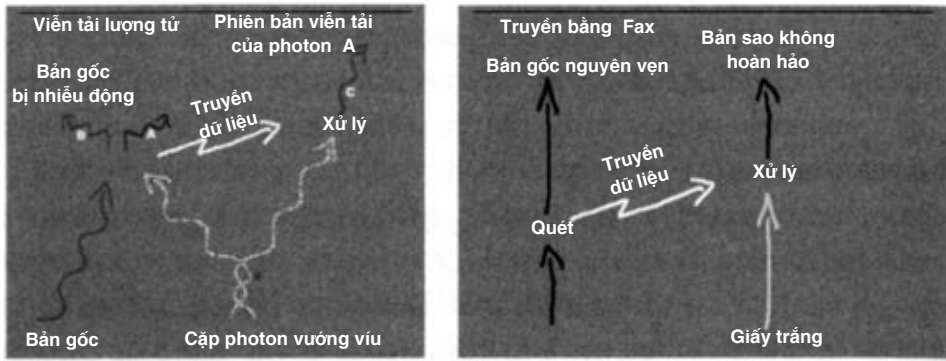
*Viễn tải lượng tử không thể nhanh hơn vận tốc ánh sáng*

Như vậy viễn tải lượng tử đòi hỏi một cặp các photon vướng víu và hai giai đoạn cơ bản. Giai đoạn đầu tiên là thực hiện một phép đo cho cả photon cần viễn tải và một trong hai photon vướng víu. Sự xáo trộn gây bởi phép đo được phản ánh trực tiếp lên photon kia trong cặp vướng víu nằm ở một vị trí đích, không phải bằng truyền thông tin, mà bằng ma thuật của sự vướng víu lượng tử. Nếu giai đoạn đầu là một quá trình hoàn toàn lượng tử, thì giai đoạn thứ hai lại chỉ thuộc vật lý cổ điển. Kết quả của phép đo được thông báo đến vị trí đích bằng cách thông thường mà chúng ta đã biết – điện thoại, fax, email...- mà vận tốc của nó thấp hơn vận tốc ánh sáng (H. 64a). Mặc dù hành động đo lựa chọn một trạng thái chính xác trong hằng hà sa số các khả năng có thể xảy ra trước quan sát, trong khi trạng thái này được khôi phục tức thì trên photon ở xa, nhưng không một thông tin nào được phát đi trước khi tôi thông báo cho Bruno bằng một cách thông thường. Bởi vì viễn tải lượng tử phụ thuộc vào một cơ chế cổ điển, nên nó không thể diễn ra với vận tốc cao hơn vận tốc ánh sáng. Như vậy, nó đồng thời phù hợp với cả sự cấm đi nhanh hơn ánh sáng của thuyết tương đối và với quan niệm thông thường của chúng ta về nhân quả<sup>5</sup>. Nó cũng phù hợp với định lý về tính không thể nhân bản lượng tử và với mọi định luật vật lý đã biết khác.

Viễn tải lượng tử cũng đáng chú ý ở nhiều phương diện khác. Trước hết, trạng thái lượng tử ban đầu của photon A ở Charlottesville vì bị thay đổi không gì sửa chữa nổi bởi phép đo, nên chỉ photon C ở Paris nằm trong trạng thái ban đầu này. Điều này có nghĩa là không tồn tại hai phiên bản độc lập của photon A ban đầu, mà chỉ một: phiên bản nằm ở Paris. Viễn tải lượng tử vì vậy khác về cơ bản với hoạt động của máy fax. Đối với máy fax, bản gốc được quét, thông tin trích ra từ đó được gửi qua đường điện thoại và được tái tạo một cách gần đúng trên giấy ở đầu dây bên kia (H. 64b). Bản gốc vẫn không thay đổi trong máy fax, trong khi trạng thái lượng tử của photon C giống ở mọi điểm với



<sup>5</sup> Việc gửi các tín hiệu với vận tốc lớn hơn vận tốc ánh sáng có nguy cơ sinh ra các tình huống trong đó kết quả xuất hiện trước nguyên nhân, điều này dẫn đến các nghịch lý kiểu như: tôi có thể ngăn cha mẹ tôi gặp nhau và hủy sự ra đời của chính tôi.



**Hình 64.** *Viễn tải lượng tử.* (a) Để lách qua sự cấm nhân bản vô tính lượng tử photon A, các nhà khoa học Charles Bennett, Gilles Brassard và các cộng sự đã sử dụng một cặp photon vướng víu, B và C. Kết quả của một phép đo chung cho A và B sau đó được truyền theo cách thông thường (bằng điện thoại hoặc fax chẳng hạn) đến một vị trí khác, ở đó nhờ sự huyền diệu của vướng víu lượng tử, một phiên bản được viễn tải của A có thể được tạo ra. (b) Quá trình viễn tải lượng tử này khác căn bản với sự truyền bằng fax. Bản gốc vẫn nguyên vẹn trong máy fax, trong khi trạng thái gốc của photon A bị phá hủy bởi sự đo chung cho A và B. Mặt khác, chất lượng của fax thấp hơn chất lượng của bản gốc, trong khi trạng thái lượng tử của phiên bản được viễn tải giống hoàn toàn với bản gốc.

trạng thái lượng tử của photon gốc A. Một tính chất đáng chú ý khác của viễn tải lượng tử liên quan đến việc tôi không hề cần biết trạng thái lượng tử của A để viễn tải nó. Photon C ở Paris có chính xác cùng các xác suất để có một spin theo hướng này hoặc theo hướng khác so với photon A ở Charlottesville trước khi tôi đo, nhưng tôi không biết các xác suất này. Để thực hiện viễn tải lượng tử A, tất cả những gì tôi cần biết, đó là kết quả của phép đo chung cho A và B. Sự vướng víu lượng tử gánh vác phần việc còn lại.

### *Ứng dụng viễn tải*

Chắc chắn bạn sẽ ngờ rằng việc thực hiện viễn tải lượng tử trên thực tế không phải là việc dễ dàng. Rất nhiều khó khăn kỹ thuật cần phải vượt qua. Trước hết, cần phải biết tạo ra một cặp photon vướng víu nhau, một kỹ thuật mới chỉ được làm chủ vào đầu những năm 1990. Chẳng hạn, người ta gửi một photon ánh sáng laser phân cực (thuật ngữ này muốn nói rằng điện trường của ánh sáng này không phải dao động theo mọi hướng vuông góc với phương truyền của ánh sáng, mà theo một hướng ưu tiên nào đó) qua một số loại tinh thể, sinh ra một cặp photon năng lượng nhỏ vướng víu với nhau. Sau đó, cần phải biết thực hiện các phép đo chung cho một cặp photon, điều này cũng

không hề dễ dàng<sup>6</sup>. Các nhóm nghiên cứu do nhà vật lý người Áo Anton Zeilinger ở Đại học Innsbruck và nhà vật lý người Italia A. Francesco De Martini, Đại học Romey đứng đầu đã vượt qua những khó khăn kỹ thuật này vào năm 1997. Và cuối cùng người ta cũng đã có thể viễn tải được một hạt. Trong thí nghiệm của Innsbruck, trạng thái lượng tử của một photon đã có thể được viễn tải một cách chính xác với xác suất thành công 25%.

Con đường phải vượt qua giữa viễn tải lượng tử chỉ một hoặc vài hạt (cho tới nay, người ta đã có thể viễn tải được bốn hạt cùng lúc, các hạt này thường là photon) và viễn tải các vật lớn, được cấu thành từ hàng tỉ tỉ các hạt, như các bạn có thể hình dung, vẫn còn rất dài. Cho tới nay, mục đích đó có vẻ như nằm ngoài tầm tay. Nhưng biết đâu đây. Trí tưởng tượng sáng tạo của con người là không có giới hạn và có thể một ngày nào đó sự viễn tải các vật lớn và cả con người bằng xương bằng thịt nữa sẽ trở nên khả dĩ cũng nên. Trong khi chờ đợi, chúng ta hãy cùng xem xét các nguồn lực mà chúng ta phải có để thực hiện chiến công viễn tải con người bằng kỹ thuật photon vương vếu vừa mô tả ở trên.

Chúng ta đã biết rằng cơ thể con người chứa khoảng  $10^{28}$  nguyên tử. Điều này có nghĩa là nếu tôi đề nghị bạn Bob của tôi viễn tải tôi từ Charlottesville đến nhà của Bruno ở Paris, thì cần phải cấp cho Bob và Bruno không phải chỉ một cặp photon vương vếu, mà phải cho mỗi người cả một phòng đầy chứa hàng trăm tỉ tỉ tỉ ( $10^{29}$ ) các hạt bao gồm proton, neutron, electron và các hạt cơ bản khác, tất cả các hạt có trong phòng ở Charlottesville vương vếu với các hạt có trong phòng ở Paris. Đúng là các nhà thực nghiệm đã bắt đầu biết cách chế tạo một hoặc vài cặp photon vương vếu, nhưng chế tạo một số lượng lớn đủ để chất đầy cả một phòng thì cho tới nay vẫn vượt ra ngoài những khả năng điên rồ nhất.

Sau đó còn cần phải phát minh ra một máy có khả năng đo các tính chất chung của các hạt có trong cơ thể tôi với các hạt nhảy nhót trong phòng ở Charlottesville. Nhờ ma thuật của vương vếu lượng tử, các xáo trộn mà Bob tạo ra khi thực hiện các phép đo ở Charlottesville sẽ được phục hồi tức thì trong các tính chất của các hạt vương vếu trong phòng ở Paris. Tiến hành một phép đo chung cho một cặp photon cho tới nay đã là một chiến công.

❖

<sup>6</sup> Các nhà vật lý học gọi kiểu đo chung cho một cặp photon này là “đo trạng thái Bell”, theo tên của nhà vật lý người Ailen John Bell (1928-1990). Năm 1964 Bell đã chứng minh một định lý toán học mà sau này được đặt tên là “bất đẳng thức Bell”, cho phép kiểm chứng bằng thực nghiệm các giả thuyết của Einstein, Podolsky và Rosen (EPR)

Tiến hành đo cho hàng trăm tỉ tỉ tỉ cặp thì cho tới nay mới chỉ là một giấc mơ quá xa vời.

Tiếp theo, Bob phải thông tin cho Bruno kết quả của toàn bộ các phép đo để anh ta có thể điều khiển các hạt trong phòng ở Paris và làm cho chúng đồng nhất với các hạt trong phòng ở Charlottesville. Chúng ta đã thấy rằng một thao tác như thế không hề là chuyện đơn giản. Bob phải thông tin cho Bruno khoảng  $10^{30}$  phân tử thông tin. Ngay cả khi đủ kinh phí để trả số tiền điện thoại khổng lồ, thì với công nghệ truyền điện thoại mạnh nhất hiện nay Bob cũng phải mất khoảng 30 tỉ năm để truyền hết số lượng thông tin này, tức dài hơn đời người khoảng 300 triệu lần.

Như chúng ta vừa thấy, giấc mơ viễn tải một người hay mọi vật lớn khác cho đến giờ vẫn là chuyện của khoa học viễn tưởng, chí ít là nếu người ta định sử dụng nguyên xi cách thức viễn tải chỉ một hạt.

*Người được viễn tải có đúng là người như tôi không?*

Thậm chí ngay cả khi chấp nhận rằng viễn tải người có thể được thực hiện trong một tương lai rất xa đi nữa, thì một câu hỏi ở tầm triết học vẫn được đặt ra: người được Bruno ráp lại ở Paris có đúng là tôi, người đã từng ở Charlottesville trước khi hành động đo của Bob làm xáo động trạng thái lượng tử của các nguyên tử tạo nên tôi hay không? Tất nhiên, bản sao của tôi cũng được cấu thành chính xác từ cùng các hạt, với chính xác cùng các trạng thái lượng tử trước khi xuất hiện các xáo động do hành động đo của Bob gây ra. Theo cơ học lượng tử, các tính chất của mỗi hạt cơ bản là đồng nhất với các tính chất của mọi hạt cơ bản khác. Một electron có cùng khối lượng, cùng điện tích, cùng spin..., như mọi electron khác. Các tính chất này hoàn toàn xác định hạt, và không tồn tại các tính chất khác. Cái phân biệt hai hạt cùng loại, đó chính là trạng thái lượng tử của chúng: chúng có thể, chẳng hạn, có các khả năng khác nhau ở chỗ này hay chỗ kia, có vận tốc này hay vận tốc khác, spin của chúng chỉ theo hướng này hay hướng kia. Viễn tải tái tạo y hệt không chỉ các hạt, mà còn cả các trạng thái lượng tử của chúng, điều này liệu có đủ để nói rằng bản sao của tôi, kết quả của sự viễn tải tôi, có chính xác là tôi hay không?

Sau rốt, trong suốt cuộc đời chúng ta, các tế bào cấu thành chúng ta thường xuyên được thay thế bởi các tế bào mới. Vậy mà chúng ta đâu có mất đi cá tính của chúng ta. Nếu tôi thay đổi các nguyên tử carbon và ôxy của tôi bằng các nguyên tử carbon và ôxy khác, thì tôi vẫn là tôi. Xét cho cùng, điều quan



trọng không phải là bản thân các nguyên tử mà là cách chúng được tổ chức. Tình hình liệu có vẫn như vậy nếu tôi đổi toàn bộ các nguyên tử của tôi lấy các nguyên tử khác? Bàn sao của tôi có thể cùng chiều cao, cùng cân nặng, cùng màu mắt và màu tóc như tôi, cơ thể anh ta có thể toát ra cùng mùi tự nhiên như tôi, nhưng suy nghĩ của anh ta, niềm tin tôn giáo của anh ta, các sở thích triết học, sở thích đối với một số típ phụ nữ của anh ta, sở thích ẩm thực, tóm lại, tất cả các thuộc tính xác định cá tính của anh ta liệu có giống của tôi không?

Nếu câu trả lời là có, thì điều này sẽ phải dẫn đến giả định rằng tâm hồn, ý thức, tình cảm siêu nghiệm, cảm xúc, sự suy xét về đạo đức và thẩm mỹ, về thực chất, cũng chỉ là một thứ vật chất, và rằng tình yêu hay hận thù, lòng trắc ẩn hay sự ghen tỵ cũng chỉ là chuyện của các nguyên tử và phân tử, của các luồng hóa học và xung điện. Mặc dù điều này có thể xảy ra, nhưng quan niệm duy vật thuần túy dẫn đến kết luận rằng bàn sao của tôi, được cấu thành từ cùng các hạt và các trạng thái lượng tử của chúng, là chính tôi, thì cho tới giờ vẫn còn xa mới được chứng minh bởi sinh học hiện đại.

### *Làm thất bại tin tặc bằng các số nguyên tố như thế nào?*

Viễn tải người và những vật lớn dường như là không thể, hiện nay cũng như trong tương lai rất xa. Nhưng hiện nay một thao tác như thế có lẽ chưa phải là ứng dụng hay nhất trong số các tính chất kỳ lạ và huyền diệu của cơ học lượng tử. Các nhà vật lý nghĩ rằng sẽ là thực tế hơn nếu người ta có thể sử dụng tính chất của các hạt vướng víu không phải để viễn tải các vật lớn, mà để gửi một cách tuyệt đối an toàn khóa mã của các thư tín bí mật hoặc để truyền thông tin trong máy tính lượng tử tương lai.

Vấn đề về an ninh mạng đang ngày càng trở nên cấp bách khi mà số các giao dịch thương mại trên mạng internet mỗi ngày một tăng, cùng với nó là số các thẻ tín dụng được lưu giữ khi kết thúc giao dịch. Tất cả chúng ta đều đã từng đọc các bài báo miêu tả sự tấn công các ngân hàng dữ liệu bởi bọn tin tặc. Mật mã lượng tử sẽ làm cho nhiệm vụ của bọn tin tặc trở nên vô cùng khó khăn, thậm chí là không thể. Cho tới nay, mỗi khi bạn thực hiện một mua bán bằng thẻ tín dụng, thông tin cần thiết được làm rối nhờ một mã dựa trên phép nhân hai số nguyên tố, những số chỉ chia hết cho 1 và chính nó. Nhân hai số với nhau thì dễ, nhưng phép tính ngược lại – phân tích một số rất lớn thành tích của hai số nguyên tố, điều cần phải làm để có mã bí mật (hay “chìa khóa mã”) – lại là chuyện khác. Chẳng hạn, với một máy vi tính xách tay và một

thuật toán hiệu quả, chỉ cần vài giây là có thể phân tích một số có 12 chữ số thành tích của hai số nguyên tố, số này, trong biểu diễn nhị phân, cần 40 bit. Có vẻ như đây là một khoảng thời gian rất ngắn, nhưng bạn chớ mừng vội, vì thời gian cần thiết để phân tích một số ra các thừa số nguyên tố tăng lên theo hàm mũ theo sự gia tăng của số này. Chẳng hạn, để phân tích một số 128 bit thành tích của hai số nguyên tố, máy vi tính phải mất vài triệu năm! Ngay cả với các công cụ toán học hiệu quả nhất và các máy tính mạnh nhất hiện nay, cũng cần phải một thời gian dài hơn cả tuổi của vũ trụ để phân tích được số 2048 bit thành tích của hai số nguyên tố! Chính vì thế bắt buộc tin tặc tiềm ẩn phân tích các số khổng lồ thành tích của hai số nguyên tố để có thể giải mã các dữ liệu được mã hóa là cách tốt nhất để đảm bảo an ninh tin học.

Loại mã hóa này - được gọi là RSA, theo chữ cái đầu trong tên của những người nghĩ ra nó, Ronald Rivest, Adi Shamir và Leonard Adleman - ngày nay được sử dụng gần như trên toàn thế giới để truyền các dữ liệu điện tử. Chẳng hạn, nếu tôi muốn trao đổi các thông tin mã hóa với Bruno, tôi sẽ truyền tới anh ta bằng đường thông tin không được bảo mật hai số mà tôi đã chọn, một số là tích của hai số nguyên tố lớn, số kia là một số bất kỳ. Sử dụng hai số này, Bruno soạn một bức thư mã hóa và cũng gửi cho tôi bằng đường thông tin không được bảo mật. Mặc dù cả hai con số và bức thư mã hóa không được giữ bí mật, nhưng chỉ ai có khả năng phân tích được số lớn mà tôi đã chọn thành tích hai số nguyên tố thì mới đọc được bức thư của Bruno. Với sức mạnh không ngừng gia tăng, các máy tính mạnh nhất hiện nay có thể phân tích ra thừa số nguyên tố trong một khoảng thời gian hợp lý các số gồm 129 chữ số, được thể hiện bằng 429 bit. Chính vì thế, trong sơ đồ RSA, các chìa khóa mã 512 bit hiện thường xuyên được sử dụng.

Nhưng các chìa khóa mã công khai này không thể chống được vĩnh viễn sự tấn công của bọn tin tặc, do các tiến bộ không ngừng của sức mạnh của máy tính và những kỹ thuật toán học của lý thuyết số. Trước tình hình này, các chuyên gia tin học đã bắt đầu hướng đến mã hóa lượng tử. Mã hóa lượng tử, như chúng ta sẽ thấy, là một cách gửi thư tín an toàn tuyệt đối, vì mọi âm mưu đánh cắp hay gián điệp đều bị phát hiện ngay lập tức.

### *Các chìa khóa mã công khai và riêng*

Mục đích của mã hóa là truyền an toàn tuyệt đối một thông tin mà chỉ người nhận nó có thể đọc được. Cho tới rất gần đây, sự an toàn này phụ thuộc

vào tính chất bí mật của các phương pháp mã hóa và giải mã. Tuy nhiên, hiện nay để mã hóa và giải mã, chúng ta sử dụng các thuật toán không còn bí mật nữa, mà là công khai, và chúng có thể bị phát hiện bởi bất kỳ ai mà không ảnh hưởng đến sự an toàn của các bản mật mã. Điều này có được là nhờ cái mà người ta gọi là “chìa khóa”, chìa khóa này phải được cung cấp cùng với văn bản cần mã hóa và với văn bản mật mã cần giải. Tính bảo mật của bản mật mã phụ thuộc hoàn toàn vào tính bí mật của chìa khóa này. Nhưng, để tạo ra chìa khóa, hai người lúc đầu không chia sẻ bất kỳ một thông tin mật nào phải thông báo được cho nhau một cách an toàn tuyệt đối ở một thời điểm nào đó, qua một kênh tin cậy mà những kẻ không mời mà đến không thể tiếp cận được. Vậy mà, theo các định luật vật lý cổ điển, an toàn không bao giờ là tuyệt đối. Ngay cả khi việc nghe trộm là rất khó trong thực tiễn, nhưng việc truyền một chìa khóa theo cách thông thường vẫn có nguy cơ bị “nghe” mà hai người trao đổi thông tin với nhau không nhận ra rằng một người thứ ba đang theo dõi sự trao đổi chìa khóa của họ.

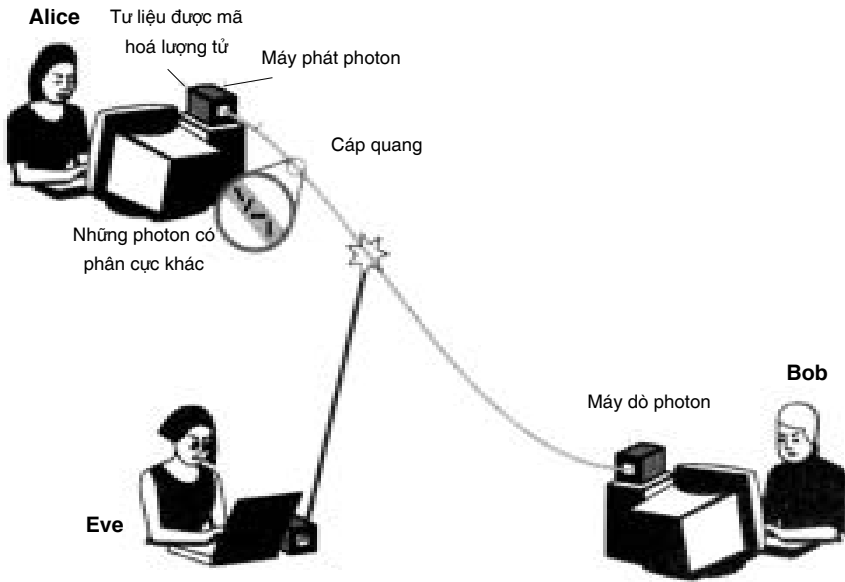
Do vậy, các nhà toán học phải bắt tay giải quyết vấn đề trao đổi một cách bí mật các chìa khóa mã. Những năm 1970 đã chứng kiến sự phát minh tuyệt vời sơ đồ chìa khóa mã công khai. Trong sơ đồ này, những người trao đổi thông tin không cần phải thỏa thuận với nhau về mật mã trước khi gửi tin. Họ hành động theo nguyên lý mật mã giống như một kết sắt hai chìa: một chìa công khai để đóng nó, và một chìa riêng để mở nó. Bất kỳ ai cũng có thể đóng kết, nhưng chỉ một người có thể mở kết. Tất cả mọi người đều có thể đưa thông tin vào trong kết, nhưng chỉ một người có thể tiếp cận được nó. Sơ đồ này khai thác một thực tế là: một số phép tính toán học được thực hiện theo một chiều dễ dàng hơn là theo chiều ngược lại. Chẳng hạn như nhân hai số nguyên tố (ví dụ, 18.313 với 22.307) dễ hơn nhiều là phân tích một số lớn (như 408.508.091) thành tích của hai số nguyên tố (trong thực tế, số được sử dụng lớn hơn rất nhiều). Sơ đồ trước kia khéo léo lảng tránh vấn đề an ninh trong việc trao đổi chìa khóa mã hóa bằng cách hoàn toàn không dùng nó! Nhưng an ninh của các sơ đồ như RSA lại hoàn toàn dựa trên những khó khăn trong việc thực hiện một số phép tính toán học (như phân tích một số lớn thành hai số nguyên tố), những khó khăn mà như chúng ta đã thấy có thể sẽ biến mất một ngày nào đó với các tiến bộ toán học và máy vi tính. Khả năng này không còn xa lắm (có thể từ nay đến vài thập kỷ tới?), vì các nghiên cứu mới đây, mà sau này chúng ta sẽ thấy, đã chứng tỏ rằng máy tính lượng tử có thể “phân tích ra thừa số” nhanh hơn các máy vi tính cổ điển rất nhiều.

### *Mã hóa lượng tử*

Vấn đề an ninh trong trao đổi chìa khóa mã như vậy cần được xem xét lại, và chính cơ học lượng tử đã ra tay cứu giúp. Trong khi, trong mật mã cổ điển, những kỹ thuật toán học được sử dụng để ngăn cản những kẻ không mời mà đến đọc được các thư tín được mã hóa, thì trong mã hóa lượng tử cùng vẫn các định luật vật lý ấy lại đóng vai trò bảo vệ thông tin. Ít nhất đã có hai phương pháp tiếp cận lớn trong mã hóa lượng tử đã được áp dụng.

Phương pháp thứ nhất dựa trên một nguyên lý nổi tiếng của vật lý lượng tử: nguyên lý bất định do nhà vật lý người Đức Werner Heinsberg (1901-1976) phát biểu năm 1927. Theo định luật cơ bản này, không thể quan sát một tính chất lượng tử của một hạt (như photon, chẳng hạn) mà lại không làm nhiễu loạn một tính chất khác của nó. Bằng cách áp dụng nguyên lý này, có thể đảm bảo rằng một kênh thông tin, chẳng hạn một cáp quang, không bị nghe trộm. Thực tế, các nhà vật lý Charles Bennett người Mỹ và Gilles Brassard người Canada (chính họ là người đã nghiên cứu sự viển tải lượng tử) và các cộng sự vào năm 1984 đã nghĩ ra một giao thức phân phối lượng tử các chìa khóa mã mà tính không thể xâm phạm của chúng được đảm bảo bởi nguyên lý bất định. Trong giao thức này, tôi gửi từng photon một trong chuỗi photon đến Bruno bằng một cáp quang nối Charlottesville với Paris. Tôi biết rõ trạng thái phân cực (hướng dao động của điện trường) của từng photon. Khi nhận được chúng ở Paris, đến lượt mình, Bruno lại đo phân cực của từng photon và sau đó gọi điện cho tôi thông báo kết quả một phần các phép đo của mình. Tôi sử dụng các kết quả đo này để kiểm tra tính không thể bị xâm phạm của đường truyền. Nếu các phép đo của Bruno phù hợp với các phân cực mà tôi đã ghi chép, thì cáp quang là an toàn. Còn nếu khác, thì nghĩa là nó đã bị theo dõi: trên thực tế, mọi hành động đo – như nghe trộm, chẳng hạn - đều làm ngay lập tức làm nhiễu loạn các photon và làm thay đổi trạng thái lượng tử của chúng... Tuy nguyên lý bất định không thể ngăn các vị khách không mời mà đến “nghe trộm” cáp quang, nhưng nó chắc chắn sẽ tiết lộ sự xuất hiện của vị khách này, dù các cố gắng che giấu của anh ta có khéo léo và tinh vi đến đâu chẳng nữa. Thông tin bị “ô nhiễm” ngay khi người ta có âm mưu bắt, dù chỉ là một photon. Mọi âm mưu gián điệp đều để lại dấu vết trên nó mà không gì có thể xóa đi được (H. 65).

Phương pháp tiếp cận thứ hai của mật mã lượng tử là sử dụng các cặp photon vướng víu nhau, tương tác với nhau và mãi mãi liên kết với nhau. Bruno cũng như tôi đều được cung cấp các cặp photon vướng víu mà chúng tôi mỗi



**Hình 65. Mã hóa lượng tử.** Alice gửi cho Bob bằng cáp quang các photon mà cô biết rõ ràng trạng thái phân cực của nó. Ève “nghe trộm” cáp. Nhưng, khi làm như vậy, theo nguyên lý bất định trong cơ học lượng tử, trạng thái phân cực của các photon chắc chắn sẽ bị nhiễu động, tiết lộ cho Alice và Bob sự hiện diện của một vị khách không mời mà đến đã dò xét đường truyền tin của họ.

người lần lượt thực hiện các phép đo phân cực. Một vị khách không mời mà đến dò xét cuộc trao đổi của chúng tôi sẽ phải chặn một photon, tiến hành đo photon này rồi thả trở lại đường truyền của nó để cố gắng không tiết lộ sự hiện diện của mình. Nhưng, cũng như trong trường hợp trước, các định luật của cơ học lượng tử không cho phép anh ta làm điều đó: hành động đo một photon trong một cặp bởi một kẻ không mời mà đến sẽ phá hủy không gì vẫn hồi được sự tương quan lượng tử của nó với photon kia trong cặp, và do đó tiết lộ cho tôi và Bruno biết có một gián điệp trên mạng thông tin. Chỉ khi chắc chắn có một đường truyền an toàn thì chúng tôi mới tiến hành trao đổi chìa khóa cần thiết để mã hóa và giải mã các thông tin của chúng tôi.

Việc ứng dụng mã hóa lượng tử bằng các cặp photon vướng víu đang trên đường trở thành hiện thực. Như chúng ta đã biết, năm 1997, nhà vật lý người Thụy Sĩ Nicolas Gisin và nhóm nghiên cứu của ông đã gửi được các cặp photon vướng víu trong một cáp quang trên khoảng cách tới 10 km mà không làm mất sự tương quan lượng tử của chúng. Các thí nghiệm khác cũng đã truyền thành công thông tin lượng tử qua khoảng cách vài kilômét trong không trung.

Vì phân có mật độ cao nhất của khí quyển Trái đất nằm ở độ cao dưới 10 km, nên con đường đã được rộng mở cho sự truyền thông lượng tử bằng vệ tinh.

Nếu mã hóa lượng tử sắp bước ra khỏi tháp ngà và các phòng thí nghiệm để trở thành công nghệ lượng tử hàng đầu có thể khai thác thương mại được, thì nó cũng lại cực kỳ quan trọng trên một phương diện khác: sự phát triển của nó gắn bó mật thiết với sự phát triển của máy tính lượng tử. Thực tế, ngược với mã hóa cổ điển dùng các chìa khóa công khai, mà chắc chắn trong tương lai sẽ không còn an toàn và sẽ không còn áp dụng được nữa ngay khi máy tính lượng tử xuất hiện, mã hóa lượng tử sẽ không bị đe dọa bởi sự lên ngôi của máy tính lượng tử.

### *Bit lượng tử như một cánh cửa vừa mở vừa đóng*

Khái niệm máy tính lượng tử đã xuất hiện khi các nhà khoa học bắt đầu suy nghĩ một cách nghiêm túc về những giới hạn cơ bản mà các định luật vật lý áp đặt cho máy tính hiện nay. Họ đã biết định luật Moore theo đó sự tiêu hình hoá của các tranzito làm cho số lượng của chúng trong một chip điện tử tăng lên gấp đôi cứ mỗi 24 tháng. Các nhà vật lý đã nhận ra rằng với sự giảm liên tục kích thước của các mạch tích hợp trong một chip, một ngày nào đó kích thước của các linh kiện trong các mạch này sẽ không vượt quá kích thước của vài nguyên tử. Thế nhưng, ở thang nguyên tử, vật lý cổ điển sẽ không đứng vững nữa và hành trạng của các mạch tích hợp sẽ trở thành lượng tử. Từ đó nảy ra ý tưởng về một máy tính dựa chỉ trên các nguyên lý của cơ học lượng tử.

Năm 1982, nhà vật lý người Mỹ Richard Feynman (1918-1988), giải Nobel về vật lý, một trong những nhà vật lý sáng tạo nhất thế hệ ông, là người đầu tiên đã suy nghĩ vấn đề xây dựng một hệ lượng tử có khả năng tính toán nhanh hơn rất nhiều các máy tính cổ điển. Chúng ta hãy cùng nghe những lời tiên tri của ông: “Thay vì phàn nàn rằng mô phỏng các hiện tượng lượng tử vượt quá khả năng của máy tính hiện nay của chúng ta, hãy sử dụng sức mạnh tính toán của các hiện tượng lượng tử để chế tạo các máy tính mạnh hơn các máy tính hiện nay của chúng ta!”. Feynman cũng đã nghĩ đến cách sử dụng một máy như thế để mô phỏng các hiện tượng lượng tử, sao cho các nhà vật lý có thể sử dụng để tiến hành các thí nghiệm trong vật lý lượng tử.

Từ những bước chập chững ở đầu thế kỷ XIX cùng với Charles Babbage (1791-1871), máy tính đã đi đúng con đường của nó. Nhưng, bất chấp những tiến bộ kỳ diệu, chiếc máy nằm trên bàn làm việc của bạn vẫn không có gì khác

căn bản với tổ tiên trước kia của nó, chiếc máy từng choán cả một phòng và nặng tới 300 tấn, với khoảng 20.000 đèn điện tử và 700 km dây điện! Mặc dù máy tính hiện nay đã nhỏ gọn hơn và tính toán nhanh hơn rất nhiều, nhưng hoạt động của chúng vẫn hầu như không thay đổi: chúng vẫn giới hạn ở việc xử lý và diễn giải theo trình tự các chuỗi bit. Như chúng ta đã thấy, bit là đơn vị cơ bản của thông tin, được biểu diễn bằng một số 1 hoặc một số 0 trong máy vi tính. Mọi hệ chỉ có hai trạng thái khả dĩ đều có thể được biểu diễn bằng một bit. Một đồng tiền tung lên không trung và rơi sấp hoặc ngửa, một bóng đèn tắt hoặc sáng, một cánh cửa mở hoặc đóng: đó là những ví dụ về các hệ hai trạng thái này. Các đồng tiền rơi cạnh xuống và như vậy rơi cả sấp và ngửa, những cánh cửa khép hờ, những ngọn đèn mà người ta có thể thay đổi cường độ sáng của chúng một cách liên tục đều bị loại bỏ khỏi thế giới này. Những câu trả lời không phải là “đen” hoặc “trắng” đều không được chấp nhận.

Về phần mình, máy tính lượng tử cắt đứt hoàn toàn với máy vi tính cổ điển. Đơn vị thông tin lượng tử không phải là một bit, mà là một bit lượng tử hay một “qubit”. Cũng giống như một bit cổ điển được miêu tả bằng trạng thái của nó (0 hoặc 1), một qubit cũng được đặc trưng bởi trạng thái lượng tử của nó. Một qubit có thể nằm trong hai trạng thái lượng tử ứng với 1 và 0 của bit cổ điển. Chẳng hạn, trong một nguyên tử có hai mức năng lượng, electron có thể hoặc là ở mức cao, hoặc ở mức thấp. Một photon có thể có phân cực hoặc là ngang (với góc bằng 0 độ), hoặc là thẳng đứng (với góc 90 độ). Cho tới đây vẫn chưa có gì là mới cả. Tuy nhiên, trong cơ học lượng tử, mọi vật có thể ở hai trạng thái khác nhau thì cũng có thể nằm trong vô số các trạng thái khác được gọi là “chồng chập” của hai trạng thái đó. Các trạng thái này có đồng thời, nhưng ở các mức độ khác nhau, các tính chất của hai trạng thái cổ điển trước. Chúng ta hãy lấy ví dụ về một photon có phân cực là 45 độ. Photon này cùng lúc có các tính chất của photon phân cực ngang (0 độ) và các tính chất của photon phân cực dọc (90 độ). Nói cách khác, phân cực của nó đồng thời cả ngang và dọc. Cứ như thế chúng ta nói rằng đồng tiền rơi cả sấp và ngửa, rằng cánh cửa vừa mở vừa đóng, rằng bóng đèn vừa bật vừa tắt. Trong thế giới cổ điển, người ta nghĩ rằng có lẽ chúng ta mất lý trí nên mới dám tuyên bố như vậy, nhưng, trong thế giới lượng tử, các chồng chập trạng thái này là một quy tắc. Trong vũ trụ kỳ lạ được chi phối bởi các định luật thách thức lương tri này, thì photon phân cực 45 độ có đồng thời các phân cực ngang và dọc, giống như một photon có thể đi qua hai khe cùng lúc trong thí nghiệm của Young như chúng ta đã thấy.

### *Tính song song của máy tính lượng tử*

Nói cách khác, một qubit có thể tồn tại trong một trạng thái ứng với 0 hoặc 1, như một bit cổ điển, nhưng cũng có thể ở các trạng thái ứng đồng thời với cả 0 và 1. Nhưng, liên quan đến máy tính lượng tử, thì sức mạnh của qubit không bắt nguồn từ một qubit riêng rẽ, mà từ một tập hợp các qubit. Chúng ta có thể so sánh, chẳng hạn, dung lượng thông tin của hai bit cổ điển với dung lượng thông tin của hai qubit. Một cặp bit cổ điển có thể được sắp xếp theo bốn cách khác nhau: 00, 01, 10 và 11. Máy tính cổ điển, tại một thời điểm, xử lý được một và chỉ một cách sắp xếp. Để xử lý cả bốn cách sắp xếp, máy tính phải xét chúng một cách lần lượt. Tình hình sẽ hoàn toàn khác trong máy tính lượng tử: đối với hai qubit, bốn tổ hợp tồn tại đồng thời. Chỉ một chồng chập lượng tử đã bao hàm đồng thời tất cả các khả năng. So với máy vi tính cổ điển, máy tính lượng tử tiết kiệm gấp bốn lần trong tính toán.

Khi tập hợp các qubit càng lớn thì càng tiết kiệm được thời gian tính toán. Một hệ ba qubit sẽ có thể thực hiện  $2^3 = 8$  cấu hình đồng thời. Nói cách khác, mỗi khi người ta thêm một qubit vào một máy tính lượng tử, số các trạng thái mà nó đồng thời xử lý, và do đó cả sức mạnh tính toán của nó, được nhân lên gấp đôi. Với  $N$  qubit, máy tính lượng tử có thể xử lý đồng thời trên  $2^N$  cấu hình khác nhau. Chẳng hạn, đối với  $N = 200$ , tồn tại  $2^{200} = 10^{60}$  cấu hình khác nhau. Một máy tính cổ điển sẽ phải xét lần lượt  $10^{60}$  trường hợp, mỗi trường hợp vì được biểu diễn bởi một danh sách 200 số "1" và "0", trong khi một máy tính lượng tử sẽ chỉ phải xác định 200 qubit, và  $10^{60}$  cấu hình sẽ đồng thời được xử lý song song. Cứ mỗi tíc tắc của đồng hồ máy tính, một phép tính lượng tử lại sẽ tính toán không chỉ một trạng thái lượng tử duy nhất, mà  $2^{200}$  trạng thái đồng thời. Như vậy, tăng số qubit sẽ làm tăng tính "song song lượng tử" của hệ theo hàm mũ. Nhờ có một thuật toán tốt, chúng ta có thể khai thác tính song song rộng lớn này của một máy tính lượng tử, hệ quả của sự chồng chập các trạng thái lượng tử, để giải một số vấn đề chỉ trong một phần nhỏ của thời gian mà một máy tính cổ điển phải mất. Trong ví dụ của chúng ta về một hệ 200 qubit, máy tính lượng tử mất cùng một thời gian để hoàn thành cùng một công việc như một siêu máy tính cổ điển được trang bị  $10^{60}$  bộ vi xử lý, giả định rằng có thể chế tạo một siêu máy tính như vậy!

Theo nhà vật lý người Anh David Deutsch thuộc Đại học Oxford, một máy tính 100 qubit sẽ cho phép mô phỏng được chức năng của não người, và một máy vi tính 300 qubit, sẽ có khả năng phỏng được sự tiến hóa của toàn bộ vũ trụ! Thực vậy, bởi vì  $2^{300} = 10^{90}$ , nên một máy tính lượng tử sẽ có thể tạo ra đồng



thời  $10^{90}$  thông tin, tức hơn cả số nguyên tử chứa trong vũ trụ quan sát được! Tuy nhiên, kết luận về sự mô phỏng vũ trụ này lại gây nhiều tranh cãi. Nếu một máy tính 300 qubit có thể mô phỏng được toàn vũ trụ cho tới những chi tiết nhỏ nhất của nó, thì chúng ta sẽ rơi vào một tình huống nghịch lý, trong đó một bộ phận sẽ có khả năng mô tả cả tổng thể. Để thoát khỏi nghịch lý này, Deutsch đưa ra hai lời giải, và nghiêng về lời giải thứ hai: hoặc là tồn tại một định luật cơ bản còn chưa biết ngăn không cho chúng ta đạt đến giới hạn của một máy tính 300 qubit; hoặc là tồn tại một vô hạn các vũ trụ song song (theo nghĩa mà nhà vật lý Hugh Everett đưa ra cho từ này, chính Hugh đã đưa ra ý tưởng rằng vũ trụ tự phân chia thành hai mỗi khi có lựa chọn hoặc quyết định: trong một vũ trụ, con mèo của Schrödinger bị chết, trong một vũ trụ khác nó lại sống; trong một vũ trụ, photon đi qua khe bên trái, trong một vũ trụ khác nó đi qua khe bên phải...), và chính trong các vũ trụ song song này đã diễn ra phần lớn các tính toán lượng tử, vì chỉ riêng vũ trụ của chúng ta thôi thì không đủ các nguồn lực cho phép thực hiện các tính toán này.

### *Máy tính lượng tử và các số nguyên tố*

Như vậy, máy tính lượng tử có thể tính toán chỉ trong một thao tác một lượng vô cùng lớn các trạng thái. Nhưng một vấn đề rất cơ bản được đặt ra: chúng ta sẽ đọc kết quả các phép tính này như thế nào? Như chúng ta đã biết, hành động quan sát hoặc đo một sự chồng chập các trạng thái lượng tử sẽ cho một và chỉ một câu trả lời. Trong thí nghiệm hai khe của Young, khi dụng cụ đo được bật, photon hoặc đi qua khe trái hoặc đi qua khe phải, chứ không đồng thời đi qua cả hai khe. Còn về con mèo của Schrödinger, khi chúng ta đi vào phòng để xem tình trạng của nó, nó hoặc chết, hoặc sống, chứ không thể vừa sống vừa chết. Trong trường hợp máy tính lượng tử, việc trạng thái chồng chập là sự tổ hợp của hai hay của  $10^{60}$  trạng thái khác nhau là không quan trọng. Khi chồng chập các trạng thái này được quan sát, chỉ một câu trả lời được chọn trong hàng hà sa số các khả năng: trong cơ học lượng tử, người ta gọi đó là “sự suy sập của hàm sóng”. Để xem xét tổng số  $10^{60}$  trạng thái, cần phải tiến hành đo đạc trên  $10^{60}$  hệ giống nhau. Số các phép đo này chính bằng số các thao tác mà một máy tính cổ điển phải thực hiện để xử lý cùng vấn đề ấy.

Vậy phải chăng máy tính lượng tử chỉ là một chiếc gương lừa dối? Nếu chúng ta mỗi lần chỉ tiếp cận được sự mô tả chỉ của một trạng thái, thì phỏng có lợi gì so với máy tính cổ điển? Tính song song rộng lớn của phép tính lượng tử liệu có đóng góp gì nếu như nó bốc hơi ngay khi chúng ta nhìn kết quả?

Nếu những thông tin này thực sự tồn tại, mà chúng ta lại không thể tiếp cận được nó, vậy nó phỏng có ích gì?

Cho tới giữa những năm 1980, máy tính lượng tử vẫn là một thực thể thuần túy lý thuyết, không có ích lợi gì về mặt thực tiễn, và chỉ thu hút được sự chú ý của một số ít các nhà vật lý. Năm 1985, David Deutsch đã tìm ra một cách sử dụng tài tình cùng lúc tất cả các kết quả của trạng thái chồng chập, mà vẫn không phá hủy chúng. Ý tưởng là không ra lệnh cho máy tính lượng tử trả lời các câu hỏi song song, mà thế nào đó để cho tất cả các câu trả lời giao thoa với nhau để tạo ra chỉ một câu trả lời chung. Deutsch đã chứng tỏ thành công rằng mọi quá trình vật lý đều có thể được mô hình hóa hoàn hảo bằng một máy tính lượng tử, và điều này biến nó thành một máy tính phổ quát, vượt rất xa các khả năng của máy tính cổ điển.

Công trình của Deutsch ban đầu không được ai chú ý, bởi vì người ta còn hoàn toàn chưa biết máy tính lượng tử ấy có thể giải quyết được loại vấn đề thực tiễn nào. Giống như các nhân vật trong vở bi hài kịch của Pirandello đi tìm tác giả, máy tính lượng tử đi tìm vấn đề cần giải quyết. Vấn đề này đã được nhà vật lý người Mỹ Peter Shor làm việc tại phòng thí nghiệm của tập đoàn điện thoại Bell đưa ra năm 1994. Bell đã quyết định tấn công vấn đề phân tích các số lớn thành tích của hai số nguyên tố lớn. Chúng ta đã thấy rằng mọi mật mã hiện nay (sơ đồ RSA) đều dựa trên vấn đề phân tích thừa số này, và việc giải mã nó thành công có thể sẽ có những hậu quả tàn phá đối với thế giới tài chính và thương mại, và theo hiệu ứng dây chuyền, đối với cả sự ổn định chính trị của các quốc gia: các giao dịch chuyển tiền liên ngân hàng sẽ không còn an toàn nữa. Các cơ quan tình báo và phản gián, được trang bị các mật mã đó, cũng sẽ bị ảnh hưởng nghiêm trọng: các thư tín mã hóa sẽ không còn là bí hiểm đối với các tình báo viên của đối phương nữa. Shor đã chứng minh được rằng một máy tính lượng tử khi sử dụng tính song song lượng tử và nguyên lý giao thoa, về nguyên tắc, có thể giải quyết dễ dàng vấn đề phân tích ra thừa số nguyên tố này. Shor đã nhận thấy rằng chìa khóa của vấn đề này nằm ở chỗ định vị các môtip lặp lại trong các chuỗi số. Vậy mà, mọi môtip lặp đi lặp lại đều có thể được mô tả bằng sóng, mà các sóng giao thì có thể giao thoa nhau. Điều này liên hệ trực tiếp vấn đề phân tích các số lớn thành các số nguyên tố với khái niệm giao thoa lượng tử của Deutsch. Xét cho cùng, Shor đã tạo ra được một thuật toán lượng tử có khả năng, về nguyên tắc, giải được tất cả các mật mã hiện nay và trong tương lai dựa trên sự phân tích các số lớn thành tích hai số nguyên tố.

Tuy vậy, thảm họa được báo trước – cái chết của mật mã cổ điển, và các đảo lộn diễn ra sau đó – đã không xảy ra. Tại sao? Bởi vì, để tạo ra các thuật toán lượng tử, cần phải có máy tính lượng tử. Vậy mà cho tới nay máy tính lượng tử vẫn chỉ tồn tại trong trí tưởng tượng đầy phóng túng của các nhà vật lý. Còn rất nhiều vấn đề phải giải quyết và rất nhiều chướng ngại cần vượt qua trước khi máy tính lượng tử có thể xuất hiện. Nhưng các nghiên cứu theo hướng này đã tiến những bước dài, và sau các máy quang điện thế hệ thứ nhất và các máy thuần túy quang học thế hệ thứ hai, thời điểm ra đời máy tính đầu tiên đại diện cho thế hệ các “máy ánh sáng” thứ ba, máy tính lượng tử, chắc cũng không còn xa nữa.

### *Phân cứng lượng tử*

Các vấn đề còn lại phải vượt qua để bắt đầu kỷ nguyên máy tính lượng tử là rất lớn: không phải chỉ cần tạo ra các qubit và một giá đỡ vật chất (cái gọi là *phân cứng*), mà còn cần phải bảo vệ chúng khỏi các nhiễu động tất yếu gây bởi môi trường có xu hướng phá hủy các chồng chập lượng tử rất dỗi mong manh. Mặt khác, cần phải chế tạo ra máy sinh ra các qubit vướng víu, cho phép các qubit kiểm soát các qubit khác, và trong các máy này ánh sáng đóng vai trò hàng đầu. Như chúng ta đã thấy, kiểm soát ánh sáng bằng ánh sáng không phải là việc dễ thực hiện. Các photon không thích tương tác với nhau. Ngay cả khi người ta bắt chúng phải tương tác thông qua một môi trường phi tuyến, thì nhiệm vụ cũng vẫn còn hết sức khó khăn.

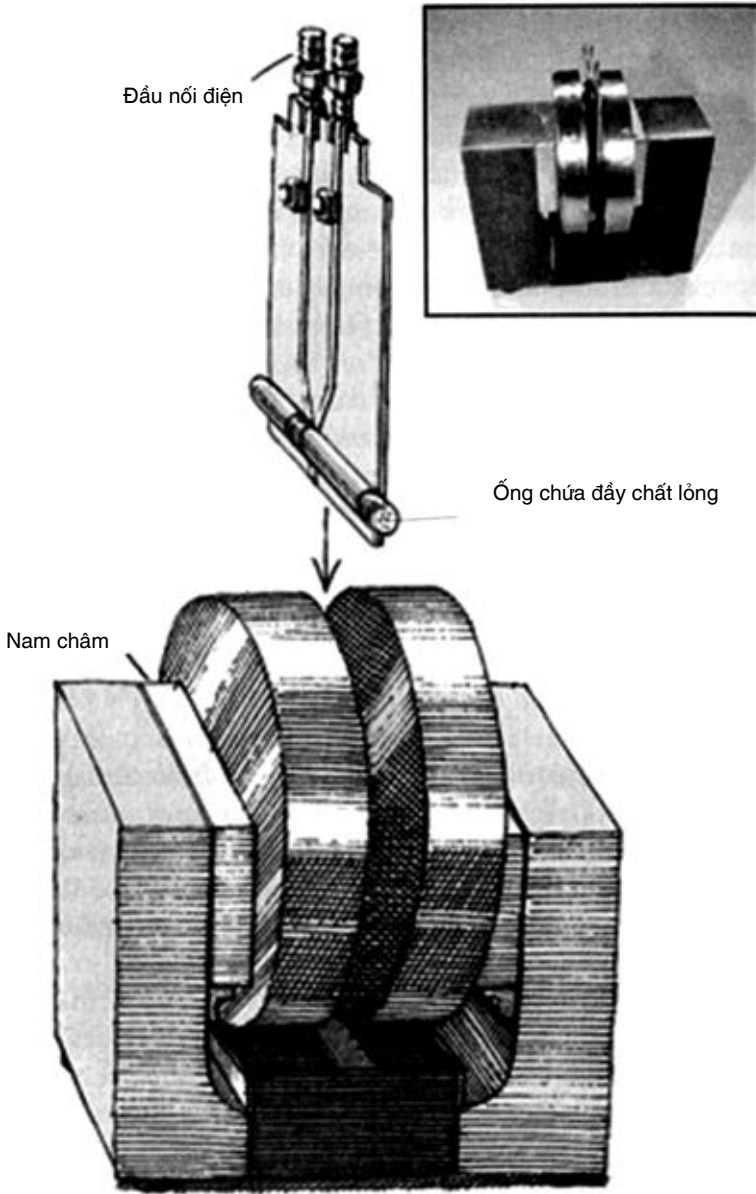
Sự phát triển *phân cứng* phục vụ tính toán lượng tử vẫn mới đang chập chững những bước đầu tiên. Nhiều con đường đã được vạch ra và nhiều dự án về các máy tính điện tử rắn, lỏng hay khí đã được đề xuất. Vật chất và ánh sáng đều góp phần. Chẳng hạn, các nhà khoa học đã tạo ra được một qubit bằng cách sử dụng một electron bị nhốt trong một lồng nguyên tử. Khi electron này (gọi là “chấm lượng tử”) được chiếu sáng bởi một xung laser có bước sóng và độ kéo rất xác định, nó sẽ chuyển sang một trạng thái kích thích. Một xung laser thứ hai làm cho nó chuyển trở lại trạng thái bình thường. Các trạng thái “bình thường” và “kích thích” là các trạng thái 0 và 1 của một qubit. Nếu xung laser chỉ dài bằng một nửa, thì electron sẽ chuyển sang một chồng chập của các trạng thái “bình thường” và “kích thích” đồng thời. Các kỹ thuật khác sử dụng phân cực của một ánh sáng laser, thậm chí các nguyên tử hay các phân tử riêng rẽ làm giá đỡ thông tin.

Một trong các kỹ thuật thuộc loại đáng chú ý nhất và thịnh hành nhất hiện nay là cộng hưởng từ hạt nhân (RMN). RMN, nhờ có các từ trường mạnh sinh bởi các nam châm mạnh, cho phép phát hiện các thay đổi spin của một hạt nhân nguyên tử ứng với các trạng thái 0 và 1. Trung tâm của một máy tính lượng tử dựa trên kỹ thuật RMN bao gồm một đĩa “súp” hay một “tách” các phân tử lỏng, và các qubit của nó được biểu diễn bằng các hạt nhân nguyên tử của các phân tử này (H. 66). Thay cho các chip và các mạch tích hợp, trung tâm của máy tính lượng tử trong tương lai có thể được cấu thành từ một chất lỏng trong suốt chứa hàng tỉ tỉ phân tử trong một dung môi lỏng<sup>7</sup>. Một máy tính như thế đã được nhà nghiên cứu người Mỹ gốc Hoa Isaac Chuang, làm việc tại tập đoàn IBM, chế tạo năm 1998 bằng các phân tử clorofom lỏng mà tổng thể tích của nó không vượt quá thể tích của một chiếc đê khâu. Máy tính lượng tử này là loại hai qubit. Để tạo ra các máy tính lượng tử mạnh hơn, cần phải có một lượng qubit lớn hơn, và như vậy nhiều phân tử và các hạt nhân nguyên tử hơn. Năm 2001, Chuang và nhóm nghiên cứu của ông đã chế tạo thành công một hệ 7 qubit, cho phép họ phân tích số 15 ra thừa số nguyên tố ( $15 = 3 \times 5$ ) nhờ thuật toán của Shor. Điều thoạt nhìn có vẻ là một kết quả tầm thường này lại không hề tầm thường khi tính đến việc cần phải kiểm soát không dưới một tỉ tỉ phân tử để thu được kết quả đó! Các máy 7 qubit là các máy tính lượng tử mạnh nhất hiện có. Với kỹ thuật RMN, đi xa hơn các máy tính 15 hoặc 20 qubit dường như là điều không thể. Trên thực tế, các tín hiệu từ đo hướng spin của các hạt nhân và do đó đo trạng thái lượng tử của chúng sẽ giảm về cường độ khi các bit tăng lên, nó sẽ yếu đi khoảng một nửa với mỗi qubit tăng thêm.

Các dạng *phân cứng* khác cũng đã được sử dụng. Chẳng hạn, người ta đã gắn các qubit vào các chất bán dẫn: các qubit được tạo ra với các electron giam trong các cấu trúc nano bán dẫn (các cấu trúc có kích thước cỡ một phần tỉ mét), hoặc với các hạt nhân gắn với các tạp chất đơn nguyên tử. Một kỹ thuật khác là sử dụng photon bị nhốt trong các hốc quang học. Như vậy, ý tưởng thì không thiếu. Nhưng tất cả các kỹ thuật chế tạo máy tính lượng tử đều vấp phải một vấn đề cơ bản giới hạn tuổi thọ của máy: đó là nó tương tác với môi trường.



<sup>7</sup> Người ta gọi một giá đỡ vật chất lỏng như thế là *wetware* (phần “ướt”), để đối lập với *hardware* của máy tính cổ điển.



**Hình 66.** Máy tính lượng tử dựa trên cộng hưởng từ hạt nhân (RMN). Trung tâm của một máy tính lượng tử gồm một ống chứa đầy một chất lỏng, như clorofom, chứa hàng tỉ tỉ phân tử. Mỗi phân tử hoạt động như một máy tính lượng tử nhỏ. Nhờ từ trường của các nam châm mạnh, RMN cho phép phát hiện các thay đổi spin của một hạt nhân nguyên tử, ứng chẳng hạn với các trạng thái 0 và 1.

### *Ảnh hưởng của môi trường lên máy tính lượng tử*

Yếu tố then chốt của tính toán lượng tử là sự chồng chập các trạng thái lượng tử và sự giao thoa kết hợp các trạng thái này trong các thao tác tính toán. Nhưng máy tính lượng tử không đứng cô lập: nó nằm trong một môi trường và tương tác với môi trường ấy. Sự tương tác này gây ra sự “mất kết hợp” trạng thái lượng tử của hệ, dẫn đến những nhầm lẫn trong tính toán. Vì vậy phải kéo dài, dài nhất có thể, thời gian kết hợp của máy tính lượng tử, một thách thức lớn đối với công nghệ. Cho tới nay, thời gian kết hợp dài nhất thu được là đối với các ion bị cầm tù (các ion là các nguyên tử đã mất hoặc có thêm một hoặc nhiều electron, và do đó tích điện dương hoặc âm). Thời gian này rất ngắn, chỉ khoảng một phần nghìn giây, và càng bị rút ngắn hơn khi số các qubit, và do đó là số các ion bị cầm tù, tăng lên.

Năm 1995, một phát hiện lý thuyết quan trọng đã làm cho vấn đề mất kết hợp này bớt khó khăn hơn. Nó đưa ra khả năng sửa chữa các sai sót trong tính toán do sự mất kết hợp gây ra và thu được các kết quả tin cậy. Các giao thức mới đã xuất hiện, chúng sử dụng các trạng thái vướng víu để sửa chữa thông tin được vận tải bởi các trạng thái lượng tử và bị tổn hại do sự mất kết hợp gây ra. Các sơ đồ sửa sai này dường như là phao cứu sinh của các máy tính lượng tử.

Như vậy, vẫn còn một chặng đường rất dài cần phải vượt qua để các máy tính lượng tử có thể cạnh tranh, vượt qua và thay thế máy tính kỹ thuật số hiện nay. Vẫn còn nhiều rất trở ngại cần phải vượt qua. Trước hết, phải tìm ra các phương pháp khắc phục các hiệu ứng phá hủy của sự mất kết hợp và duy trì các trạng thái lượng tử chồng chập lâu nhất có thể. Sau đó, phải phát triển một cấu trúc tối ưu cho *phân cứng* của máy tính lượng tử. Cuối cùng, cần phải phát minh ra các thuật toán lượng tử (như thuật toán của Shor) để sử dụng một cách có ý thức sức mạnh tính toán vô biên của các máy tính tương lai này. Những nhiệm vụ đó đòi hỏi phải có thời gian. Thực ra, chúng ta cũng không cần ngay lập tức các máy tính lượng tử, vì chúng ta còn phải biết sử dụng tính song song lượng tử để phục vụ cho các tính toán của chúng ta. Hơn hai thập kỷ với trực giác thiên tài và các nghiên cứu giàu trí tưởng tượng, các vấn đề còn cần phải giải quyết chỉ là vấn đề công nghệ chứ không phải ở tầm lý thuyết. Không còn nghi ngờ gì nữa, máy tính lượng tử sẽ làm đảo lộn cuộc sống con người trong một tương lai không xa.

Nhưng máy tính lượng tử không phải là kết quả của riêng con người. Chúng cũng tồn tại ở trạng thái tự nhiên. Thật vậy, các “lỗ đen” và toàn vũ trụ cũng là các máy tính lượng tử.

### Lỗ đen giống như máy tính lượng tử

Vậy một lỗ đen và một máy tính có quan hệ gì với nhau? Điều thoạt nhìn có vẻ như là câu hỏi vô nghĩa này, trái lại, lại là một chủ đề nghiên cứu hoàn toàn nghiêm túc đối với nhà vật lý. Đối với anh ta, mọi hệ vật lý, dù là một tảng đá, một hành tinh, một ngôi sao, một thiên hà, hay toàn vũ trụ, đều ghi lại và xử lý thông tin, nghĩa là chẳng khác gì một máy tính. Mỗi electron, photon hay mọi hạt cơ bản khác đều lưu giữ các dữ liệu dưới dạng các bit, và mỗi khi hai trong số các hạt này tương tác với nhau thì sẽ có sự biến đổi các bit này. Sự trùng hợp của vật lý và lý thuyết thông tin này là một hệ quả trực tiếp của nguyên lý cơ bản của cơ học lượng tử: tự nhiên gián đoạn, không liên tục, điều này có nghĩa là mọi hệ vật lý đều có thể miêu tả được bằng một số hữu hạn các bit (hay qubit). Chẳng hạn, spin của mỗi hạt có thể được định hướng lên trên hay xuống dưới, ứng với các giá trị 0 hay 1 của một bit. Nó cũng có thể thay đổi định hướng, và như vậy mô phỏng một phép tính đơn giản. Hệ gián đoạn không chỉ trong không gian, mà còn cả trong thời gian: cần một khoảng thời gian tối thiểu để thực hiện sự đổi hướng spin của một hạt. Khoảng thời gian này được xác định bằng nguyên lý bất định của Heisenberg: năng lượng cung cấp càng cao thì thời gian càng ngắn.

Lỗ đen, nhà tù ánh sáng, kết quả của sự co mạnh lại do hấp dẫn của một vật nặng, thoạt nhìn có vẻ như là một ngoại lệ. Nó hấp thụ một lượng lớn thông tin, đặc trưng cho mọi vật rơi vào trong cái miệng há hốc của nó. Chẳng hạn, nếu bạn rơi vào trong một lỗ đen, thì thông tin mà lỗ đen nuốt chửng là trọng lượng, kích thước của bạn, quần áo mà bạn mặc, màu mắt của bạn... Cho tới đầu những năm 1970, người ta vẫn nghĩ rằng thông tin này sẽ mất đi vĩnh viễn, một khi đã vượt qua bán kính không thể quay lui của lỗ đen. Năm 1974, bằng cách áp dụng các định luật của cơ học lượng tử, nhà vật lý người Anh Stephen Hawking đã chứng tỏ rằng lỗ đen không hoàn toàn "đen", mà nó cũng bức xạ. Trong phân tích ban đầu của Hawking, bức xạ này là hỗn độn và không chứa bất kỳ thông tin nào có thể sử dụng được. Nếu bạn rơi vào cái miệng tham lam của lỗ đen và bạn bị chuyển hóa thành bức xạ được nó phát ra, thì bức xạ này sẽ không thể được sử dụng để tái tạo lại bạn. Điều này đặt ra vấn đề, vì các định luật của cơ học lượng tử được giả định là bảo toàn thông tin. Vì vậy, nhiều nhà vật lý ho rằng bức xạ phát bởi lỗ đen không hoàn toàn là hỗn độn, mà nó có chứa thông tin. Năm 2004, Hawking đã trở về quan điểm này, theo đó bức xạ của một lỗ đen là một phiên bản cực kỳ tinh luyện của thông tin rơi vào trong nó. Nhưng những tranh cãi vẫn chưa khép lại, và cuộc tranh luận vẫn còn rất gay gắt.

Ta hãy tạm chấp nhận rằng lập luận vừa rồi là đúng; nghĩa là nếu vật chất một khi rơi vào cái miệng há hốc của lỗ đen thì không thể quay trở lại được nữa, nhưng hàm lượng thông tin của nó thì lại có thể. Để giải thích tại sao lại như vậy một lần nữa phải nhờ đến các photon vướng víu. Một cặp photon vướng víu được vật chất hóa ngay bên ngoài bán kính không thể quay lui của lỗ đen. Photon thứ nhất thoát khỏi các móng vuốt của lỗ đen, trong khi photon thứ hai rơi vào miệng nó, bị đớp bởi điểm kỳ dị của lỗ đen, vùng ở tâm của lỗ đen có trường hấp dẫn và độ cong của không gian trở nên vô hạn. Sự rơi của photon thứ hai vào miệng của lỗ đen giống như một hành động đo. Và bởi vì hai photon vướng víu nhau, nên hành động đo photon bên trong lỗ đen tức thì được phản ánh ở photon bên ngoài lỗ đen, kết quả là thông tin từ bên trong lỗ đen được truyền ra bên ngoài. Thông tin đúng là đã bị nhào nặn ở bên trong lỗ đen, điều này làm cho lỗ đen về đại thể cũng xử sự như một máy tính.

Làm thế nào mà một lỗ đen có thể hoạt động trên thực tế như một máy tính? Chỉ cần mã hóa các dữ liệu dưới dạng vật vật chất và năng lượng và gửi chúng vào trong cái mồm há hốc của lỗ đen. Thông qua tương tác với nhau, các hạt rơi vào miệng của lỗ đen thực hiện các tính toán trong một thời gian nhất định trước khi xích gần đến điểm kỳ dị. Thông tin này được truyền ra bên ngoài bởi các cặp photon vướng víu. Điều xảy ra sau đó đối với vật chất khi nó bị nén vào trong điểm kỳ dị chúng ta vẫn chưa biết, vì chúng ta chưa có lý thuyết về hấp dẫn lượng tử.

Hãy lấy ví dụ một lỗ đen có khối lượng 1kg. Bán kính không thể quay lui (thay đổi theo khối lượng) của nó là một phần tỉ tỉ mét ( $10^{-27}$  mét), tức một phần triệu triệu bán kính của một proton. Bằng cách chuyển hóa khối lượng của nó thành năng lượng theo công thức nổi tiếng của Einstein,  $E = mc^2$ , và phân phối năng lượng này vào trong các bit, lỗ đen có thể thực hiện  $10^{51}$  phép tính mỗi giây. Còn khả năng lưu giữ dữ liệu của lỗ đen là  $10^{16}$  bit. Lỗ đen là một bộ xử lý siêu nhanh, vì thời gian phải mất để thay đổi trạng thái của một bit và cũng là để thực hiện một lệnh, chỉ là  $10^{-35}$  giây, tức là thời gian mà ánh sáng phải mất để đi qua lỗ đen. Như vậy, sự truyền thông tin cũng nhanh như tính toán. “Máy tính lỗ đen” hành động như một đơn vị duy nhất. Cùng với việc nó bức xạ, khối lượng của nó giảm xuống, vì chính nó đã bị chuyển hóa thành bức xạ. Sau khi đã phát ra các tia gamma trong một khoảng thời gian rất ngắn, cỡ phần nghìn tỉ giây ( $10^{-21}$  giây), lỗ đen biến mất trong một chớp bức xạ. Những người sống trên Trái đất khi đó có thể bắt các tia gamma này và giải mã các kết quả tính toán của lỗ đen!



Để so sánh, một máy tính thông thường chỉ có thể thực hiện  $10^9$  phép tính mỗi giây, tức kém một lỗ đen 1 kg hàng triệu tỉ tỉ tỉ lần, và lưu giữ  $10^{12}$  bit, tức kém lỗ đen 10.000 lần. Nhưng máy tính thông thường có ưu điểm là nó không nổ sau một khoảng thời gian rất ngắn! Người ta có thể ngạc nhiên là lỗ đen chỉ có thể lưu giữ tương đối ít thông tin như vậy. Điều đó là do trọng lực cực lớn của nó. Khi trọng lực không đáng kể, thì khả năng lưu giữ biến thiên tỉ lệ với số các hạt, cũng tức là tỉ lệ với thể tích. Nhưng khi trọng lực lớn, nó liên kết các hạt với nhau làm cho, về mặt tập thể, các hạt này ít có khả năng lưu giữ thông tin hơn: thay vì tỉ lệ thuận với thể tích, khả năng lưu giữ của lỗ đen biến thiên chỉ theo diện tích của nó.

### *Vũ trụ như một máy tính tối hậu*

Không chỉ các lỗ đen nhỏ có thể hành động như các máy tính, mà thực thể lớn nhất, toàn vũ trụ, cũng có thể làm điều đó. Vũ trụ đã tồn tại 13,7 tỷ năm và phần quan sát được của nó, giới hạn bởi chân trời vũ trụ, trải trong không gian hơn chục tỉ năm ánh sáng. Để kết quả của một tính toán tiếp cận được đối với chúng ta, nó phải xảy ra trong vũ trụ quan sát được. Trữ lượng vật chất và năng lượng của vũ trụ bao gồm vật chất thông thường, vật chất nhìn thấy được và không nhìn thấy được của các sao và thiên hà (4%), vật chất tối ngoại lai (26%), và năng lượng tối thủ phạm của sự tăng tốc của vũ trụ (70%). Các tính toán cho thấy rằng tổng số những phép tính có thể đã diễn ra kể từ khi vũ trụ ra đời là cỡ  $10^{123}$ . Tổng khả năng lưu giữ thông tin của vật chất và ánh sáng thông thường, như các neutrino hay photon<sup>8</sup>, là  $10^{92}$  bit. Còn về vật chất tối và năng lượng tối, các nhà vật lý còn chưa có bất kỳ ý tưởng nào về bản chất của chúng, nên hiển nhiên không thể tính toán được khả năng lưu giữ thông tin của chúng. Nhưng cần phải đánh cược rằng trữ lượng thông tin của chúng nhỏ hơn trữ lượng thông tin của vật chất sáng. Trong khi vật chất sáng phải thực hiện một số không thể tưởng tượng được các phép tính để tạo ra vũ trụ phong phú và đa dạng mà chúng ta đang sống, thì vật chất tối và năng lượng tối lại có một nhiệm vụ, xét cho cùng, dễ dàng hơn nhiều: đó là cung cấp vật chất còn thiếu của vũ trụ hay tăng tỉ lệ giãn nở của vũ trụ, mà trên phương diện tính toán, thì điều này đơn giản hơn rất nhiều.



<sup>8</sup> Vật chất và ánh sáng có thể lưu giữ nhiều thông tin nhất khi chúng ở dưới dạng các hạt không có khối lượng, như photon, hay rất nhẹ, như neutrino.

Vậy vũ trụ thực hiện các tính toán nào? Nó tự tính toán. Thực tế, nó tính toán lịch sử của chính nó sao cho phù hợp với các định luật vật lý: Big Bang, giai đoạn lạm phát, bức xạ hóa thạch, các trường điện từ, các hạt cơ bản, các sao, các thiên hà, các hành tinh, vi khuẩn, hoa mào gà, động vật hoang dã, con người,... Bởi vì vũ trụ biết tính toán nên nó tồn tại.

Sau khi xem xét con người đã thuần hóa ánh sáng như thế nào, cuối cùng chúng ta sẽ tiến hành khám phá ánh sáng đã được não người tri giác và giải thích như thế nào, ánh sáng đã góp phần làm phong phú thế giới tinh thần và nghệ thuật của con người ra sao.

## Chương 7

# ÁNH SÁNG NGHỆ THUẬT, ÁNH SÁNG TINH THẦN: MẮT VÀ BỘ NÃO

### *Ánh sáng và bộ não*

Hàng ngày chúng ta tắm trong ánh sáng, ánh sáng tự nhiên, như ánh sáng Mặt trời, hay ánh sáng nhân tạo, như ánh sáng đèn điện. Ánh sáng này ảnh hưởng đến chúng ta theo hai cách: không chỉ trên khía cạnh sinh lý, như chúng ta đã thấy, mà còn cả ở khía cạnh tâm lý nữa. Ánh sáng đưa chúng ta vào một trạng thái tinh thần, gây trong ta một tính khí nhất định. Và sở dĩ như vậy là vì mọi ánh sáng mà mắt thu nhận nhất thiết phải thông qua sự sàng lọc của các noron thần kinh, vì mọi tín hiệu ánh sáng chiếu vào võng mạc của chúng ta đều được não diễn giải. Nội tâm của chúng ta gắn bó mật thiết với môi trường bên ngoài thông qua ánh sáng. Chính tác động của ánh sáng bên ngoài đến nội tâm con người là cơ sở cho phương pháp nghệ thuật và kỹ thuật của họa sĩ, nhiếp ảnh gia và những người làm điện ảnh. Thông qua sự kết hợp ánh sáng và bóng tối, màu sắc và hình dạng, các nghệ sĩ tìm cách tái tạo trên toan hoặc phim một không khí tâm lý tác động đến sâu thẳm tâm hồn ta. Do có tính vừa vật thể vừa phi vật thể nên ánh sáng cũng đóng vai trò lớn, một cách ẩn dụ, trong các truyền thống tâm linh của con người.

Mắt liên tục truyền các tín hiệu mà nó nhận được từ môi trường lên não, và đến lượt mình não phát các tín hiệu ra lệnh cho các bộ phận khác nhau của

cơ thể. Các tín hiệu này được vận chuyển bởi các xung điện do các tế bào thần kinh cá thể gọi là các neuron tạo ra. Tổng công suất của hoạt động điện này là rất nhỏ, cỡ hai phần trăm oát: công suất điện của 2500 người cộng lại mới đủ để thắp chỉ một bóng đèn 50W! Tuy vậy, dù rất yếu về điện nhưng não có lẽ là một trong những sản phẩm phức tạp nhất của vũ trụ. Có khả năng biểu lộ yêu thương hay khinh ghét, trắc ẩn hay đố kỵ, có thể sáng tác bản *Cây sáo mê hồn* (*La Flute enchantée*), viết nên cuốn tiểu thuyết *Đi tìm thời gian đã mất*, vẽ nên bức *Guernica* hay thực hiện bộ phim *Citizen Kane*, não người phức tạp tới mức, nếu so với nó thì máy tính mạnh nhất trong các siêu máy tính hiện nay cũng chỉ là một món đồ chơi không hơn không kém.

### *Mọi con đường đều dẫn đến thị giác*

Trong các đại dương nguyên thủy cách đây 3 tỉ năm, các cơ thể đơn bào đã phát triển khả năng phản ứng với ánh sáng. Thông qua tiến hóa và chọn lọc tự nhiên, một số động vật đơn bào, amíp và trùng đế giày, đã được ban tặng trong tế bào duy nhất của chúng một vùng đặc biệt chứa một sắc tố nhạy quang có tính thay đổi trạng thái hóa học mỗi khi được chiếu ánh sáng. Sắc tố này, có màu vàng hoặc đỏ, thường là một protein phân tử caroten<sup>1</sup>. Một số động vật không xương sống đa bào thậm chí còn tiến xa hơn trên con đường thị giác: chúng đã phát triển một thấu kính thô sơ đồng thời với một tập hợp các tế bào nhạy sáng. Thấu kính này có chức năng tập trung ánh sáng để các tế bào có thể phản ứng với các cường độ ánh sáng yếu nhất và phân biệt một cách tinh tế nhất các cường độ ánh sáng khác nhau.

Các con mắt nguyên thủy đã trao cho động vật không xương sống này một khả năng mới: khả năng nhận biết ánh sáng đến từ hướng nào. Chẳng hạn, một ánh sáng mạnh hơn bên trái của mắt sẽ đến từ góc trái. Nhờ sự gia tăng các tế bào nhạy quang sau thấu kính, mắt có thể phân biệt được các chuyển động của một nguồn sáng (hay tối) bằng qua tầm nhìn của nó. Trong con mắt nguyên thủy này, vẫn chưa có sự hình thành các hình ảnh, nên nó vẫn chưa thể cho biết vật đang chuyển động là một con mồi, một kẻ săn mồi hay một đối tác tiềm năng. Mặc dù chức năng ban đầu của mắt là tập trung ánh sáng lên các tế bào thụ cảm, nhưng sau đó thấu kính đã tiến hóa tới mức có khả năng



<sup>1</sup> Caroten có trong thực vật, đặc biệt là cà rốt. Chính vì thế những ông bố bà mẹ lo lắng cho mắt của con mình thường thúc chúng ăn cà rốt và các loại rau.

hội tụ ánh sáng và tạo nên một ảnh trên một mặt cong gọi là võng mạc. Các tế bào nhạy quang gắn với võng mạc tăng lên đáng kể về số lượng để có thể xử lý lượng thông tin gia tăng gắn với một hình ảnh nào đó. Giai đoạn cuối cùng trên con đường thị giác liên quan đến sự phát triển của não: các ảnh hình thành trên võng mạc được thể hiện bằng các xung thần kinh, và các xung thần kinh này được truyền lên một bộ não có khả năng diễn giải chúng<sup>2</sup>.

Rất nhiều loài đã vượt qua các giai đoạn khác nhau này trên con đường tiến hóa đến thị giác của chúng. Chẳng hạn, loài động vật nhuỷ thể đã phát triển một hệ thị giác khá phức tạp. Một số loài ốc, từ động vật thân mềm sống ở biển cho đến sò, như sò Saint-Jacques, mực thẻ và bạch tuộc, đã phát triển các con mắt thật sự với các võng mạc có độ tinh vi cao, có thể so với mắt người. Loài nhện cũng có các con mắt rất giống với mắt của loài ốc tiến hóa nhất. Trong chùng mực họ nhện và ốc sên tiến hóa một cách độc lập, nên chắc chắn là chúng đã phát triển hệ thống thị giác một cách hoàn toàn độc lập. Tuy nhiên, mặc dù đi theo các con đường khác nhau, nhưng chúng vẫn đến cùng một đích, hội tụ về cùng một hệ thống thị giác. Trong sinh học người ta gọi đó là hiện tượng “hội tụ”: các loài khác nhau đi đến cùng một giải pháp để giải quyết cùng một vấn đề. Chẳng hạn, hệ thống thị giác đã tiến hóa nhiều lần một cách độc lập: người ta phân biệt ít nhất 15 con đường khác nhau mà các loài khác nhau đã trải qua để đạt đến cùng một hệ thống thị giác chứa một thấu kính gắn với các tế bào nhạy quang.

### *Mắt kiểu camera và mắt kép*

Tôi nhìn quanh phòng làm việc. Con chó của tôi nằm dài bên cạnh. Một con muỗi lượn lờ trong phòng, chờ cơ hội thuận lợi để đậu lên cánh tay trần của tôi để hút máu. Hai con vật này đều có thể nhìn thấy tôi: con chó nhìn tôi bằng hai con ngươi giãn nở của con mắt kiểu “camera”, và con muỗi bằng cặp “mắt kép”.

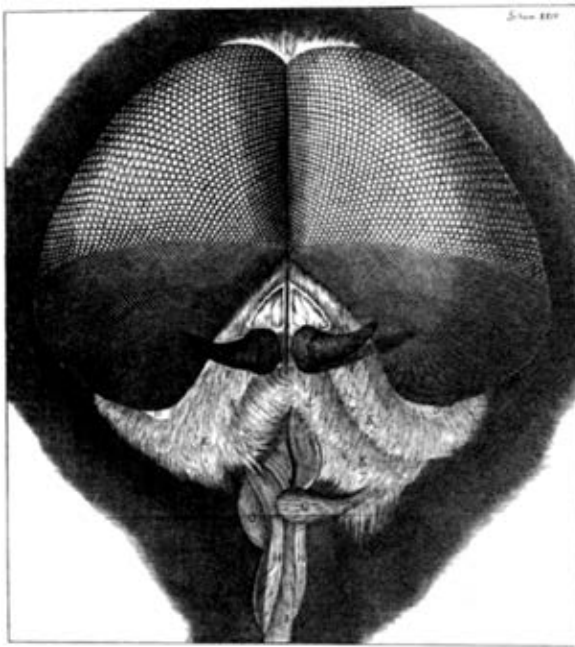
Trên thực tế có hai loại mắt. Động vật có xương sống, kể cả chó, mèo, người, đều có mắt hoạt động như một máy chụp ảnh, bằng cách phóng chiếu một ảnh duy nhất lộn ngược của vật, nhưng không phải lên phim hay một detector điện tử, như trong trường hợp máy ảnh, mà là lên một màng gọi là võng mạc. Trái lại, côn trùng trưởng thành và loài thân giáp (như cua chẳng hạn) lại có loại



<sup>2</sup> Có những loài mắt không đi liền với não: đó trường hợp loài sứa.

mắt kép. Các con mắt này được tạo thành từ hàng nghìn, thậm chí hàng chục nghìn thấu kính kết nối với nhau cực kỳ nhỏ gọn (H. 67), mỗi thấu kính được kết nối với các tế bào cảm quang bằng một loại ống giống như một sợi quang. Nhờ hàng nghìn hình ảnh được truyền đồng thời lên não, côn trùng cực kỳ nhạy cảm với mọi chuyển động trong tầm nhìn của chúng. Tất cả những ai đã từng cố gắng một cách uổng công để đập chết một con ruồi hay một con muỗi đều nhận thấy điều đó. Sự tồn tại của các loại mắt này nhắc chúng ta rằng, bất chấp hiện tượng hội tụ, những giải pháp mà các loài khác nhau tìm ra cho cùng một vấn đề tiến hóa sinh học không nhất thiết phải là duy nhất, mà có thể lớn hơn một.

Một vấn đề đặt ra: liệu trong hai giải pháp mà tiến hóa sinh học đưa ra – các con mắt kiểu “camera” hay mắt kép -, giải pháp này có hay hơn giải pháp kia không? Đúng là một số động vật giáp xác sống dưới sâu, trong các vùng dưới đáy biển nơi ánh sáng khó xuống tới nơi, đặc biệt có khả năng thu nhận các lượng ánh sáng rất yếu. Cũng đúng là trong các con mắt kép, phần thu nhận



**Hình 67.** Tranh vẽ con mắt kép của ong của Robert Hooke. Các con mắt này được cấu thành từ hàng nghìn thấu kính nối với các tế bào cảm quang. So với các mắt kiểu “camera” được cấu thành từ chỉ một thấu kính như mắt người, các mắt kép hay mắt “đa diện” có độ phân giải góc thấp hơn rất nhiều. Nhưng chúng có một trường nhìn rộng và rất nhạy cảm với mọi chuyển động.

ánh sáng có thể tăng lên do diện tích tăng và sự kết hợp các thấu kính riêng lẻ được nén chặt nhất có thể. Nhưng có một giới hạn đối với kích thước tối thiểu của các thấu kính. Nếu các thấu kính trở nên quá nhỏ thì chúng không thể tiếp nhận đủ ánh sáng để cho phép mắt nhìn và hoạt động được. Các mắt kép phải trở nên rất lớn về thể tích và công kênh ngay khi có nhiều ánh sáng. Chẳng hạn, các tính toán gợi ý rằng nếu chúng ta có các mắt kép và chúng ta muốn có một thị giác tương đương với thị giác mà chúng ta hiện có, thì mắt kép của chúng ta phải có đường kính từ 1-12 mét (H. 68)! Như vậy phải đánh cược rằng nếu những người ngoài Trái đất tồn tại trên các hành tinh xa xôi, thì mắt của họ không thể được cấu tạo như mắt côn trùng, mà phải có các con mắt kiểu “camera” như bạn và tôi. Dù mắt kiểu “camera” của người và mắt kép của côn trùng có những khác biệt rõ ràng, nhưng điều đó không có nghĩa là chúng hoạt động khác nhau về căn bản. Chúng cũng có rất nhiều điểm chung. Chẳng hạn, quá trình phối hợp giữa thị giác và vận động cho phép chặn một con mồi hoặc một đối tác ở côn trùng rất giống với quá trình xảy ra ở người. Thị giác hai mắt cho phép nhìn hình ảnh nổi đã tiến hóa một cách độc lập ở rất nhiều côn trùng cũng như ở chim và động vật có vú. Ngoài ra, còn có những hội tụ trong cấu trúc phân tử của thị giác: các protein thiết yếu cho thị giác, như các protein *rhodopsine*, xuất hiện cả ở người và côn trùng.



**Hình 68.** Con người và các mắt kép. Để đạt được một thị giác tương đương với các mắt kiểu “camera” (chẳng hạn, với cùng độ phân giải góc), thì con người phải có các mắt kép đường kính ít nhất là một mét.

### *Mắt, dụng cụ quang học kỳ diệu*

Mắt người nằm trong số các mắt kiểu “camera” tinh xảo nhất trong thế giới động vật. Nó có hình một khối cầu. Ở trẻ sơ sinh, khối cầu này có đường kính khoảng 1,3cm. Kích thước này tăng cho tới khi đạt tới 90% kích thước trưởng thành (2,5cm) ở tuổi 13, và nặng khoảng 7 gam. Một điều rất lạ là mắt của những động vật to nhất trên Trái đất cũng không to hơn nhiều so với mắt người. Chẳng hạn, mắt của một con cá voi dài 30 m chỉ to hơn mắt người khoảng 3 lần<sup>3</sup>! Nhưng chắc chắn là kích thước nhỏ này vẫn đủ để mắt cá voi đón nhận toàn bộ ánh sáng mà nó cần.

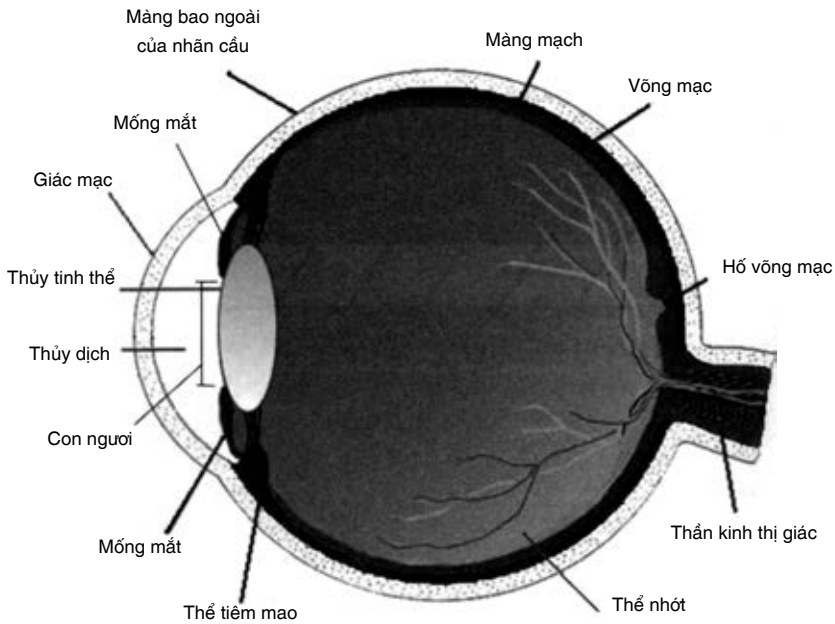
Mắt người là một dụng cụ quang học kỳ diệu (H. 69). Chức năng của nó là chiếu các hình ảnh từ bên ngoài lên một màng nhạy cảm với ánh sáng nằm ở phía sau: đó là võng mạc. Đến lượt mình, võng mạc diễn giải các vùng tối, sáng và cường độ của các màu của hình ảnh thành một ngôn ngữ hiểu được đối với não, ngôn ngữ xung điện. Các bộ phận của mắt tham gia vào sự tạo thành hình ảnh trên võng mạc, tính từ ngoài vào trong, là: giác mạc, mống mắt, và thủy tinh thể. Trái với quan điểm đã được thừa nhận rộng rãi, thủy tinh thể đóng vai trò thấu kính lại không phải là bộ phận chịu trách nhiệm hội tụ các tia sáng ở bên trong mắt. Vai trò này được đảm nhiệm đến 70% bởi giác mạc, lớp vỏ bảo vệ trong suốt của thủy tinh thể: thực vậy, sự hội tụ các tia sáng phụ thuộc vào các sự chênh lệch về chiết suất ở mặt phân cách hai môi trường trong suốt. Mà sự chênh lệch về chiết suất giữa không khí và giác mạc cao hơn khoảng ba lần so với sự chênh lệch về chiết suất giữa thủy tinh thể và thủy dịch, chất trong suốt và nhót nằm trong cầu mắt sau thủy tinh thể. Cùng với tuổi tác, giác mạc có xu hướng cứng lại và trở nên không còn đều đặn nữa, làm cho sự hội tụ ánh sáng trở nên kém hơn, và do đó các hình ảnh nhận được mờ hơn: người ta gọi đó là tật loạn thị. Trong một số trường hợp, giác mạc thậm chí có thể trở nên không còn trong suốt nữa; trước kia, điều này tất yếu dẫn đến mù lòa. Nhờ các kỹ thuật phẫu thuật hiện đại, chủ yếu là kỹ thuật dùng laser thay thế cho dao mổ, người ta có thể cấy ghép giác mạc mới nếu có người cho. Các giác mạc nhân tạo bằng chất dẻo cũng đã được sử dụng.

Nếu võng mạc chịu trách nhiệm chính trong việc hội tụ các tia sáng vào trong mắt, thì chính thủy tinh thể và chỉ riêng thủy tinh thể là có nhiệm vụ điều khiển sự hội tụ ánh sáng để cho phép nhìn xa hay gần. Nó thực hiện nhiệm vụ



<sup>3</sup> Cá voi là động vật có vú như chúng ta. Chúng đã rời đất liền để sống dưới biển cách đây khoảng 50 triệu năm.





**Hình 69. Giải phẫu mắt người.** Cấu tạo của mắt người gồm hai thấu kính, đó là giác mạc và thủy tinh thể, hướng ánh sáng đến võng mạc. Võng mạc chứa các tế bào cảm quang mà các sợi của chúng tạo thành dây thần kinh thị giác.

này nhờ các cơ mi, có tác dụng làm biến thiên nhẹ độ cong của nó bằng cách tăng hoặc giảm áp lực tác dụng lên thấu kính. Như vậy, thủy tinh thể chịu trách nhiệm thực hiện các điều chỉnh tinh tế làm cho mắt người nhìn rõ các vật ở những khoảng cách rất khác nhau. Không có sự điều tiết này, mắt sẽ chỉ có thể nhìn rõ ở một khoảng cách nhất định; toàn bộ những khoảng cách còn lại sẽ hoàn toàn không thể phân biệt được.

Ở đây, một lần nữa, tiến hóa sinh học đã tìm ra các giải pháp khác nhau để giải quyết cùng một vấn đề: nếu động vật có vú thường thực hiện sự tụ tiêu tinh tế của chúng bằng cách làm thay đổi độ cong của thủy tinh thể, thì các động vật khác lại sử dụng các kỹ thuật khác. Chẳng hạn, chim săn mồi bay rất cao, như chim ưng và đại bàng, phải có khả năng định vị con mồi – một con chuột hay một con thỏ - ở cách xa hàng nghìn mét và phải giữ được hình ảnh rõ nét của con mồi trong suốt quãng đường sà xuống. Để làm được như vậy, những loài chim săn mồi này thay đổi không phải độ cong của thủy tinh thể, mà là độ cong của chính giác mạc. Còn động vật thân mềm, như bạch tuộc chẳng hạn, nó lại ép toàn bộ mắt để có thể kéo thấu kính xích gần lại võng mạc hơn. Còn

đối với cá thì chúng lại dịch chuyển thấu kính lên phía trước hoặc sau giống như thị kính của kính thiên văn.

Nằm giữa võng mạc và thủy tinh thể, mống mắt là một màng tròn đóng vai trò là cửa điều sáng ; nó kiểm soát lượng ánh sáng đi vào mắt bằng cách co hoặc giãn. Đó cũng là phần tạo nên màu của mắt, làm cho mắt người ở bán đảo Scandinaves có màu xanh hay mắt người châu Á có màu nâu sẫm. Mống mắt phản ứng không chỉ với lượng ánh sáng nhận được, mà còn cả với trạng thái hóa học và xúc cảm của cơ thể. Thật vậy, sự sợ hãi hay ngạc nhiên có thể làm giãn hoặc co mống mắt. Những người uống thuốc ngủ thường phải đeo kính để bảo vệ mống mắt không bị giãn quá mức, làm cho mắt quá nhạy cảm với ánh sáng.

Nằm chính giữa mống mắt là một lỗ dẫn ánh sáng đi vào trong mắt: đó là con ngươi. Con ngươi luôn có màu đen, dù màu của mống mắt có là gì chẳng nữa, vì nó gần như không phản xạ bất kỳ ánh sáng nào. Độ mở của nó lớn hay nhỏ tùy theo lượng ánh sáng nhận được. Trong bóng tối, con ngươi có thể mở tối đa với đường kính 7mm ở người trẻ, và độ mở tối đa này giảm xuống còn 4 mm ở người già. Ngay khi nhận được ánh sáng mạnh, con ngươi co lại còn khoảng 3,5 mm ở người trẻ.

### *Thế giới màu sắc*

Con người không chỉ nhìn thấy các vật, mà còn nhìn thấy cả các màu sắc nữa. Các màu này mang lại một chiều kích bổ sung cho thị giác của chúng ta, vì phân biệt hai vật có màu sắc khác nhau dễ dàng hơn là hai vật cùng màu. Khả năng này chắc chắn đã giúp tổ tiên xa xôi của chúng ta định vị con mồi dễ dàng hơn, và như vậy đã góp phần vào sự sinh tồn của họ. Xét theo quan điểm này, thì thị giác của con người khác với thị giác của phần lớn các động vật có vú khác, vì các động vật có vú không phân biệt được các màu. Chẳng hạn, khi một đầu sĩ vẫy tấm vải đỏ trước một con bò tót, thì hành động này có kết quả là kích thích khán giả hơn là con vật! Đầu sĩ vẫn có thể gây ra hiệu ứng khiêu khích tương tự nếu anh ta vẫy trước con vật một tấm vải màu xám. Nếu chó, mèo, bò, ngựa và các gia súc khác có giác quan rất kém về màu sắc thì người anh em gần nhất của chúng ta, tinh tinh và khỉ, lại có chung khả năng nhìn một thế giới đa sắc như chúng ta. Có lẽ, ở thời kỳ sống trong rừng cách đây hàng triệu năm, tổ tiên của chúng ta cần thị giác màu để có thể phân biệt được quả trong đám lá rậm rạp và xác định xem chúng có ăn được hay không. Lần sau,

khi bạn đi siêu thị và xoay đi xoay lại một loại trái cây để kiểm tra xem nó có khuyết tật gì không trước khi mua, bạn hãy nghĩ rằng bạn đang sử dụng giác quan về màu sắc giống như tổ tiên xa xôi của mình!

Các loài vật khác cũng nhạy cảm với những màu sắc mà chúng ta không thấy. Chẳng hạn, ong có thể thấy ánh sáng cực tím mà chúng ta không nhìn được. Nếu có cặp mắt giống như mắt ong, thì chúng ta sẽ thấy một số loại hoa phô các sọc cực tím hướng đến tâm có nhiều phấn, như các mũi tên định hướng ở cạnh các đường băng hạ cánh ở sân bay. Sự nhạy cảm của thị giác con người phụ thuộc vào các tế bào nhạy quang của võng mạc nằm ở phía sau mắt. Võng mạc ghi hình ảnh theo cách của phim hoặc detector điện tử trong các máy chụp ảnh. Lớp trong của nó được cấu tạo gồm nhiều tế bào nhạy quang thuộc hai loại – hình nón và hình que -, cùng với các tế bào xử lý và dẫn thông tin thị giác lên não. Võng mạc, trong một chừng mực nào đó, là một u phình của não. Trong bào thai, lúc đầu nó là một bộ phận của não. Chỉ về sau nó mới nhô ra phía trước hộp sọ của đứa trẻ và biệt hóa thành bộ phận tiếp nhận ánh sáng. Như vậy, mắt không chỉ được kết nối với não, mà còn là một bộ phận không thể tách rời của não. Chúng ta thấy thế giới không chỉ bằng mắt, mà cả còn bằng não nữa.

### *Sự gắn bó mật thiết giữa mắt và não*

Sự gắn bó mật thiết giữa mắt và não này đã được họa sĩ và nhà phát minh Leonard de Vinci (1452-1519) nhận thấy ngay từ thế kỷ XV. Theo ông, mắt là cửa sổ của tâm hồn. Mặc dù thị giác chỉ là một trong năm giác quan cho phép con người lĩnh hội thế giới, nhưng ông vẫn cho rằng nó là nữ hoàng của các giác quan: chính bằng mắt mà con người có thể ngắm nhìn rõ nhất tác phẩm vô hạn của Chúa. Trong các phẫu tích não người và mắt người, ông đã nhận thấy cả hai đều được cấu thành từ các mô giống nhau, và mỗi mắt được kết nối với não bằng một dây thần kinh thị giác. Dây thần kinh thị giác đi lên não ở một vị trí mà Leonard de Vinci xác định là “trung tâm của tâm hồn”, ở đó hình ảnh thị giác được diễn giải và chuyển thành tri thức và ý thức. De Vinci cũng phát hiện ra rằng hai dây thần kinh thị giác đi từ hai mắt gặp nhau trong một cấu trúc ngày nay gọi là “giao thoa thị giác”. Ông đã diễn giải chính xác sự hội tụ của hai dây thần kinh thị giác là bằng chứng cho thấy các hình ảnh của hai mắt kết hợp với nhau để tạo thành một hình ảnh duy nhất trong trí óc. Theo ông, mắt hoạt động như một máy chụp ảnh. Nhưng điều này đặt ra

một vấn đề nghiêm trọng: các hình ảnh phóng chiếu lên võng mạc chắc chắn là bị đảo ngược, trong khi rõ ràng là chúng ta nhìn thế giới đúng theo chiều thuận của nó. De Vinci đã nghĩ một cách sai lầm rằng chính thấu kính thủy tinh thể đã tái lập chiều đúng của các hình ảnh (H. 4). Mặc dù đã ý thức được mối quan hệ mật thiết giữa mắt và não, nhưng ông chưa bao giờ nảy ra ý nghĩ rằng chính não đã tái lập các hình ảnh theo đúng trật tự và làm cho chúng ta nhìn thế giới theo đúng chiều thuận của nó! De Vinci đã đi đúng hướng khi xác định rằng dây thần kinh thị giác là đường dẫn thông tin thị giác lên não, nhưng ông lại không thể đoán được rằng các hình ảnh của thế giới bên ngoài được truyền lên não dưới dạng các thông điệp được mã hóa và nén nhờ khá nhiều bộ phận của võng mạc.

Đặc tính quan trọng nhất của võng mạc là nó được cấu thành từ các noron có rất nhiều điểm tương đồng với các noron của não<sup>4</sup>. Có ba lớp noron khác nhau trong võng mạc (H. 70). Theo thứ tự từ trước ra sau, ánh sáng, trước hết, phải đi qua một lớp các tế bào hạch có các sợi trục (axone) tạo thành dây thần kinh thị giác, rồi qua lớp tế bào thứ hai gọi là lưỡng cực, và cuối cùng đến lớp tế bào cảm quang hình nón và hình que (H. 25 trong tập ảnh màu). Các tế bào cảm quang này là các noron rất ngắn có một đoạn bên ngoài hình trụ đối với tế bào hình que, và hình nón đối với các tế bào hình nón. Rất lạ là, cấu trúc của võng mạc dường lại như tuân theo một logic đảo ngược, ánh sáng đi qua nhiều lớp noron và các khớp thần kinh (synap) trước khi đến các tế bào hình nón và hình que. Sở dĩ như thế có lẽ là do tiến hóa: các tế bào cảm quang cần năng lượng để hoạt động; nhưng năng lượng này được cung cấp bởi máu, mà máu lại ngăn không cho ánh sáng đi qua. Giải pháp của tiến hóa là gắn các tế bào cảm quang lên màng mạch, một cấu trúc nằm sau võng mạc có rất nhiều mạch máu và nằm ngoài đường đi của ánh sáng.

### *Thị giác là một quá trình lượng tử*

Giai đoạn đầu tiên trong quá trình thị giác này diễn ra trong lớp các tế bào hình nón và hình que. Người ta đếm được trung bình có 6 triệu tế bào hình nón và 120 triệu tế bào hình que trong một mắt người. Các tế bào hình que thống trị trong các vùng ngoại vi của võng mạc. Chúng chứa các phân tử *rhodopsine*



<sup>4</sup> Noron là đơn vị chức năng của hệ thần kinh. Nó được cấu thành từ một tế bào và các sợi (sợi trục và sợi nhánh).



**Hình 70.** Cấu trúc của võng mạc. Võng mạc tuân theo một loại logic đảo ngược. Ánh sáng phải đi qua các lớp dây thần kinh, các tế bào hạch và lưỡng cực trước khi đến các tế bào cảm quang hình nón và hình que. Dây thần kinh thị giác không được nối trực tiếp với các tế bào cảm quang mà là với não, nhờ các tế bào hạch và lưỡng cực vốn được coi là một bộ phận của não. Mắt và não như vậy gắn bó mật thiết với nhau.

nhạy cảm với ánh sáng. Phân tử rodopsine là kết quả tổ hợp của protein *opsine* với phân tử sắc tố gọi là *retinal*. Chính phân tử này tạo cho *rhodopsine* một màu được gọi bằng một cái tên khác là “màu tím võng mạc”. Bởi vì *retinal* gắn liền với vitamin A, nên những người thiếu loại vitamin này thường bị rối loạn thị giác. Khi một phân tử *rhodopsine* hấp thụ một photon (năng lượng của photon phải bằng hiệu hai mức năng lượng của phân tử này), nó bị vỡ thành các

hai thành phần *retinal* và *opsine*, và sự thay đổi quang hóa này khởi phát một chuỗi các sự kiện dẫn đến một xung điện được dây thần kinh thị giác truyền lên trung tâm thị giác của não. Quá trình này khiến cho chỉ một photon thôi cũng đủ để chúng ta nhìn thấy. Thị giác chủ yếu là một quá trình lượng tử, vì phân tử *rhodopsine* là một hệ lượng tử với các trạng thái năng lượng rất chuyên biệt. Mắt của chúng ta là các máy cảm quang lượng tử có dụng ghi nhận các lượng tử năng lượng.

*Rhodopsine* được tái sinh từ các thành phần của nó bởi các tế bào thần kinh sử dụng nhiệt lượng của cơ thể làm nguồn năng lượng. Quá trình tái sinh này dĩ nhiên hiệu quả hơn trong bóng tối, nhưng, ngay cả khi có ánh sáng, thì sự tái sinh các phân tử *rhodopsine* cũng diễn ra đồng thời với sự phá hủy chúng, thiết lập một sự cân bằng động làm cho chúng ta liên tục nhìn thấy. Tuy nhiên, khi mắt mỏi, theo bản năng, chúng ta thường nhắm mắt lại, nhằm làm cho quá trình tái sinh hiệu quả hơn. Giấc ngủ cũng là cỗ máy tái sinh: khi chúng ta ngủ, cơ thể tái sinh đủ *rhodopsine* cho các nhu cầu của thị giác trong ngày tiếp theo. Sự kích thích bởi ánh sáng một lượng lớn các phân tử *rhodopsine* trong các tế bào hình que sau đó được thể hiện bằng sự kích thích các khớp thần kinh của lớp noron kế tiếp trong võng mạc, lớp của các tế bào lưỡng cực. Chỉ một tế bào lưỡng cực duy nhất nhận các kích thích của nhiều tế bào hình que, tạo ra các kết nối phức tạp giữa lớp tế bào cảm quang với lớp tế bào lưỡng cực. Sự kết nối giữa các tế bào lưỡng cực với các hạch thần kinh còn phức tạp hơn nữa. Chính nhờ có sự kết nối noron này mà thông tin được chiết xuất từ hình ảnh tạo ra trên võng mạc, nó được cô đúc, nén và cuối cùng được truyền lên não.

Các tế bào hình que có khả năng bắt ánh sáng yếu hơn rất nhiều so với các tế bào hình nón; chính vì thế chúng đóng vai trò thiết yếu khi nhìn trong bóng tối. Chúng ta ai cũng biết khi chuyển từ một vùng sáng sang một vùng tối, lúc đầu chúng ta không phân biệt được thật rõ các vật. Nhưng, sau vài phút, khi mắt chúng ta đã thích nghi với bóng tối, cảnh vật trong bóng đêm sẽ lại hiện ra. Các thí nghiệm đã chứng tỏ rằng nếu ở trong bóng tối nửa giờ; thì mắt của chúng ta sẽ có khả năng nhìn thấy các vật được chiếu sáng yếu hơn khoảng 10.000 lần so với các vật được chiếu sáng bình thường: các tế bào hình que gánh vác toàn bộ trách nhiệm nhìn khi ánh sáng trở nên quá yếu đối với các tế bào hình nón. Nhưng, bởi vì các tế bào hình nón không được kích hoạt, nên các vật xuất hiện không có màu. Thực tế, trong khi các tế bào hình que chịu trách nhiệm nhìn nổi, thì chính nhờ các tế bào hình nón mà chúng ta có thể tri giác được màu sắc.

Tôi thường nhận thấy khả năng thích nghi kỳ diệu với bóng tối của mắt khi đi vào đài thiên văn để đón nhận ánh sáng vũ trụ. Trong đêm, khi kính thiên văn thu lại ánh sáng của một thiên hà xa xôi, tôi thường đi ra khỏi căn phòng điều khiển ấm áp và được thấp điện sáng trưng, ở đó các hình ảnh của bầu trời được chiếu lên một màn hình vô tuyến nhờ sự kỳ diệu của điện tử học, để tự ban cho mình niềm vui sướng được ngắm trực tiếp bầu trời. Những phút đầu tiên, chìm trong bóng tối sâu thẳm của màn đêm, mắt tôi chỉ phân biệt được các ngôi sao sáng nhất. Nhưng, sau khoảng chục phút, mắt đã thích nghi với bóng tối và các tế bào hình que của mắt đi vào hoạt động, tôi thấy toàn bộ bầu trời nhấp nháy vô số các chấm sáng.

### *Các tế bào hình nón và màu sắc*

Các tế bào hình nón có nhiều nhất trong vùng trung tâm của võng mạc. Chính chúng làm cho chúng ta tri giác được một thế giới đa sắc. Có ba loại tế bào hình nón, mỗi loại chứa một sắc tố nhạy cảm với một loại màu cụ thể: loại tế bào hình nón hấp thụ ánh sáng màu xanh lam, một loại khác hấp thụ ánh sáng màu xanh lục, và một loại khác nữa hấp thụ ánh sáng màu đỏ. Ba loại tế bào hình nón này là nguyên nhân tạo ra toàn bộ bảng màu bao quanh chúng ta, vì màu xanh lam, đỏ và lục là ba màu cơ bản. Ở động vật có vú, gần như chắc chắn chỉ có con người, cùng với người anh em linh trưởng của chúng ta, là được tận hưởng thế giới màu sắc. Thế giới của loài mèo và chó chỉ là một màu xám đồng nhất, đơn điệu. Nhưng thật là lạ, rất nhiều loài động vật gọi là “cấp thấp”, như chim, cá, bò sát và côn trùng (như ong và chuồn chuồn), trái lại, lại có một giác quan rất phát triển về màu sắc. Chẳng hạn, gà và chim bồ câu, và thậm chí cả gián, cũng tri giác được thế giới màu sắc! Võng mạc của chúng thậm chí có bốn loại sắc tố thay vì ba như của chúng ta. Điều này liệu có nghĩa là một con gián tri giác một thế giới nhiều màu sắc hơn con người không? Có lẽ là không, vì, như chúng ta đã thấy, chúng ta nhìn đồng thời bằng cả mắt và não, và các khả năng tinh thần của chúng ta phát triển hơn rất nhiều so với loài gián! Dù chúng có bốn sắc tố đi nữa, nhưng các sắc tố này lại hoàn toàn vô cảm với màu đỏ. Thật vậy, nếu chúng làm tổ ở nhà bạn, và nếu bạn muốn phá tổ của chúng, một mẹo hay là bạn hãy dùng bóng đèn đỏ: bạn có thể thấy chúng trong khi chúng hoàn toàn không nhìn thấy bạn!

Các dị thường gen gây ra sự rối loạn chức năng của các tế bào hình nón phụ trách một màu cơ bản làm cho một số người bị mù với loại màu này. Một

rối loạn năng tương tự có thể là do thiếu một sắc tố hoặc các tế bào hình nón không có khả năng truyền thông tin lên não. Nó có thể liên quan đến hoặc là chỉ một màu cơ bản (đỏ, lục hoặc lam), hoặc hai, hoặc cả ba màu này. Sự mù màu đỏ được gọi là “*protanomalie*”, mù màu lục gọi là “*deuteranomalie*”, mù màu xanh lam là “*tritanomalie*” (trong tiếng Hy Lạp ba thuật ngữ này có nghĩa là dị thường thị giác thứ nhất, thứ hai và thứ ba). Những người mù màu đỏ không thể phân biệt được màu đỏ và màu xanh lục, thường được gọi là “hội chứng Dalton”, theo tên của nhà hóa học người Anh John Dalton (1766-1844), người đầu tiên mô tả, vào cuối thế kỷ XVIII, hiện tượng không thể nhìn được hoặc lẫn lộn giữa các màu ở một số người. Bản thân ông cũng bị bệnh này: ông nhận thấy mình không thể phân biệt được các chất hóa học bằng các màu sắc của chúng, trong khi các đồng nghiệp của ông dễ dàng làm điều đó.

Tại sao phải chờ lâu đến thế con người mới nhận biết được bệnh mù màu? Có thể là do chúng ta không tiếp cận trực tiếp được các cảm giác về màu sắc của người khác. Khi tôi nói với một người bạn về bầu trời xanh lam hay một bông hoa mào gà đỏ, làm thế nào tôi có thể biết cảm nhận của anh ta về màu xanh hay màu đỏ có chính xác như tôi hay không? Phần lớn những người mù một số loại màu sống hoàn toàn bình thường, những người xung quanh không hề nhận thấy có một cái gì đó khác thường trong thị giác của họ.

Chứng mù màu đỏ, hay lẫn lộn giữa màu đỏ và màu xanh lục, là dị tật thường xảy ra nhiều nhất. Hơn 10% số người mắc phải chứng này. Ngược lại, sự lẫn lộn giữa màu xanh lam và xanh lục hiếm gặp hơn rất nhiều. Các chứng loạn sắc thường do di truyền và hay mắc phải ở nam giới. Chẳng hạn, nếu như tỉ lệ mắc bệnh mù màu đỏ ở nam là 10% thì tỉ lệ này ở phụ nữ chỉ là 1%. Sở dĩ như vậy là vì sự sắp xếp các gen làm cho một người phụ nữ chỉ có thể bị bệnh mù màu đỏ khi cả bố và mẹ của người đó cùng mắc, một trường hợp hiếm xảy ra, trong khi một người đàn ông có thể bị mù màu đỏ khi bố bình thường còn mẹ bị mắc chứng này, trường hợp dễ xảy ra hơn.

### *Thomas Young và ba màu cơ bản*

Một vấn đề đặt ra, nếu thị lực bình thường, là “tam sắc tố”, nghĩa là dựa trên chỉ ba loại tế bào hình nón, mỗi loại có một sắc tố nhạy cảm với một loại màu khác nhau: xanh lam, đỏ và xanh lục. Nếu đúng như vậy, thì tại sao thế giới lại không trình hiện trước mắt chúng ta với chỉ ba màu đó thôi? Một người có thị lực bình thường có thể phân biệt hàng trăm màu sắc khác nhau. Bằng



cách nào chỉ với ba màu cơ bản lại có thể tạo ra vô số các màu sắc mà chúng ta tri giác được? Nếu mỗi sắc thái ứng với một tế bào cảm quang nhất định, thì phải tồn tại hơn hai trăm, chứ không phải chỉ ba!

Nhà vật lý học người Anh Thomas Young (1773-1829) – cũng chính ông đã phát hiện ra rằng thêm ánh sáng vào ánh sáng có thể tạo ra bóng tối – là người đầu tiên suy nghĩ về vấn đề này vào năm 1801. Ông đã nhận thấy rằng chúng ta nhìn trong một ánh sáng đơn sắc (chỉ một màu) cũng rõ gần như trong một ánh sáng trắng chứa tất cả các màu sắc cầu vồng. Điều này có nghĩa là mật độ của các tế bào cảm quang không thể giảm nhiều trong trường hợp ánh sáng đơn sắc. Mật độ các tế bào cảm quang có thể giảm nhiều nếu như mỗi sắc thái màu được tri giác bởi một tế bào cảm quang khác nhau. Vì dường như không thể có chuyện mỗi một điểm cảm quang của võng mạc chứa vô số các tế bào cảm quang rung động nhịp nhàng với mỗi loại ánh sáng màu, nên Young đã có trực giác thiên tài khi cho rằng chỉ có ba màu cơ bản: đỏ, xanh lục và xanh lam (hay tím), thay vì bảy màu cơ bản được Newton khẳng định trong cuốn *Quang học*. Young còn đi xa hơn: ông khẳng định rằng không phải các màu này là cơ bản, như nhà bác học lỗi lạc Newton nghĩ, mà chính sự tri giác của mắt mới là cơ bản. Như vậy, ông là người đầu tiên gắn sự tri giác màu sắc với một quá trình sinh lý. Chúng ta hãy nghe nhà vật lý vĩ đại người Scotland James Clerk Maxwell (1831-1879) dành những lời cảm phục ông hơn sáu mươi năm sau: “Nói màu sắc là một cảm giác gần như một lẽ đương nhiên; tuy nhiên, khi nhận ra chân lý cơ bản này, chính Young là người đầu tiên xây dựng một lý thuyết chặt chẽ về màu sắc. Theo tôi biết, Thomas Young là người đầu tiên xuất phát từ một thực tế đã biết rằng có tồn tại ba màu cơ bản để đi tìm lời giải thích cho nó không phải trong bản chất của ánh sáng, mà trong cấu tạo của con người.”

Để kiểm tra trực giác của mình, Young đã lao vào một loạt các thí nghiệm dựa trên một tính chất cơ bản của các màu: chúng có thể trộn vào nhau. Điều thoạt nhìn có vẻ là hiển nhiên sẽ không còn hiển nhiên nữa khi chúng ta nhận thấy rằng mắt xử sự rất khác với tai. Hai âm thanh khác nhau không thể trộn với nhau để cho ra một âm thứ ba trong và khác, trong khi chúng ta có thể dễ dàng trộn hai ánh sáng để thu được một ánh sáng thứ ba. Chính tính chất không thể hòa trộn của âm thanh làm cho chúng ta có thể dễ dàng nhận ra âm thanh của đàn hạc với âm thanh của cây vĩ cầm hay đàn dương cầm khi nghe một bản giao hưởng. Bằng cách hòa trộn chỉ ba loại ánh sáng, ánh sáng đỏ, xanh lục và xanh lam (hay tím), Young đã chứng tỏ rằng có thể tái tạo tất cả các sắc thái của màu, tất cả các sắc điệu bằng cách điều chỉnh cường độ tương

đôi của chúng. Ông cũng đã tái tạo được màu trắng, nhưng không thể tái tạo được màu đen.

Các ý tưởng tiên phong của Young về sau đã được nhà vật lý và sinh lý học người Đức Hermann von Helmholtz (1821-1894) vận dụng và phát triển. Lý thuyết ba màu của Young và của Helmholtz ngày nay được phần lớn các nhà nghiên cứu chấp nhận để giải thích sự tri giác các màu của chúng ta: có ba loại tế bào cảm quang (các tế bào hình nón) nhạy cảm với màu đỏ, màu xanh lục và màu xanh lam (hoặc màu tím), và tất cả các màu sắc của thế giới bên ngoài được não thu nhận là nhờ sự tổ hợp các tín hiệu của ba loại tế bào cảm quang này.

### *Phân nhạy cảm nhất của mắt*

Các dây thần kinh chạy ra từ mắt thông qua dây thần kinh thị giác. Ở điểm ra này, võng mạc bị ngắt quãng, không còn các tế bào cảm quang nữa và ánh sáng khi đập vào vị trí này sẽ không còn được cảm nhận nữa. Người ta gọi đó là “điểm mù”. Sự tồn tại của điểm mù là thiết yếu để mắt có thể truyền thông tin mà nó nhận lên não thông qua kênh thần kinh thị giác. Không có điểm mù, chúng ta cũng không thể nhìn được! Ở cạnh điểm này có một điểm vàng, hay còn gọi là hố thị giác, một chỗ hõm nhỏ ở võng mạc, ở đó lớp các tế bào thần kinh dẹt nhất và cho ánh sáng đi qua dễ dàng hơn để tới các tế bào cảm quang. Có kích thước chỉ cỡ một milimét, hố thị giác không chứa bất kỳ tế bào hình que nào, mà chỉ chứa các tế bào hình nón với mật độ rất dày. Đó là chỗ thị lực của chúng ta là tốt nhất. Khi ngắm một người hay một vật, chúng ta cử động vô thức mắt sao cho hố thị giác nằm trong đường ngắm tới người hoặc vật này, như một người thợ săn chĩa súng vào hướng của con mồi. Nếu vật được ngắm quá lớn, chúng ta cử động mắt theo cách “quét” toàn bộ nó bằng hố thị giác. Trong khi bạn đọc các dòng này, mắt của bạn cử động sao cho hố thị giác đi qua từng chữ và từng từ một cách riêng rẽ.

Nhưng, để nhìn màu sắc và hình ảnh, các tế bào hình nón phải nhận được ánh sáng đủ mạnh. Các tế bào hình nón không hiệu quả lắm trong việc nhìn các vật sáng yếu. Để làm được điều đó, cần phải huy động các tế bào hình que. Như chúng ta đã biết, các tế bào này nằm không phải trong vùng trung tâm của hố thị giác, mà bao quanh nó, trong các vùng lân cận. Chính vì thế, để nhìn các vật có độ sáng yếu, tốt hơn hết là không nhìn chúng trực diện, mà “từ khước mắt”, để ánh sáng đến từ vật đi vào các tế bào hình que vốn nhạy cảm hơn đối với ánh sáng có cường độ yếu.

Cá nhân tôi có thể đảm bảo với bạn rằng kỹ thuật này rất hiệu quả: tôi đã thực hiện nó nhiều lần khi bắt đầu nghiên cứu thiên văn, cách đây ba mươi năm, khi hình ảnh của các thiên thể còn chưa được phát lên màn hình ti vi và khi nhà thiên văn học nhòm trực tiếp vào kính thiên văn để định vị các sao hoặc các thiên hà rất mờ. Các tế bào hình que như vậy đóng vai trò thiết yếu trong thị giác ngoại vi (nhìn các vật xung quanh) và trong thị giác ban đêm của chúng ta.

### *Não người là kết quả của một lịch sử dài lâu*

Các tín hiệu ánh sáng được các tế bào cảm quang của võng mạc thu nhận có thể giúp chúng ta nhìn như thế nào? Não đã chuyển các thông tin được các dây thần kinh truyền lên thành các hình ảnh ra sao? Để trả lời các câu hỏi này, chúng ta phải nghiên cứu cấu trúc của não.

Trước khi chúng ta có thể tiếp xúc với các trí tuệ ngoài Trái đất, thì não người vẫn là cấu trúc phức tạp nhất được biết tới trong vũ trụ. Nó chứa vài trăm tỉ tế bào thần kinh gọi là noron, mỗi noron có đường kính vài phần triệu milimét, bằng số các sao trong một thiên hà, hay số các thiên hà trong vũ trụ quan sát được. Não là một cánh rừng rậm dày đặc các noron kết nối chằng chịt với nhau. Nếu tất cả các sợi trục có trong não chúng ta được duỗi thẳng ra, thì chúng sẽ dài hàng trăm nghìn kilômét. Mỗi một trong số hàng trăm tỉ noron này lại chứa trung bình từ 1000 đến 10.000 các kết nối, hay còn gọi là khớp thần kinh, điều này làm cho mỗi noron có thể đồng thời nhận các tín hiệu từ hàng nghìn các noron khác và phát đi một số lượng tín hiệu tương tự. Như vậy não của chúng ta chứa hơn 100.000 tỉ khớp thần kinh: tất cả các máy tính trên thế giới có kết nối với nhau cũng không có khả năng xử lý thông tin bằng não người.

Não người là kết quả của một lịch sử dài lâu. Nó gồm ba phần liên kết với nhau, mỗi phần xuất hiện sớm hơn ở các động vật “cấp thấp” và ứng với một giai đoạn chính của quá trình tiến hóa. Phần cổ nhất là não bò sát, có lẽ nó đã tiến hóa cách đây khoảng 400 triệu năm. Não bò sát không chỉ chỉ huy nhịp thở và nhịp tim, mà nó còn là nguồn gốc của tính hung hăng, của cảm giác chủ quyền lãnh thổ của chúng ta và về các thứ bậc xã hội. Bao quanh phần não bò sát này là phần dưới vỏ não (*limbic*), mà chúng ta cùng chia sẻ với các động vật có vú khác. Nó đã tiến hóa từ khoảng giữa 300 và 200 triệu năm. Phần não limbic này điều chỉnh thân nhiệt và huyết áp. Nó cũng là nơi của cảm xúc, tình

cảm và ham muốn tình dục. Nó chịu trách nhiệm về bản năng bảo tồn thúc đẩy chúng ta ăn uống, tự bảo vệ và sinh sản. Cuối cùng, bao bọc tất cả là vỏ não chiếm khoảng 85% bộ não và chứa nhiều noron hơn bất kỳ các phần não nào khác. Vỏ não có lẽ đã bắt đầu tiến hóa cách đây vài chục triệu năm, nhưng bắt đầu tăng tốc cách đây khoảng một triệu năm, với sự xuất hiện của con người. Trong số tất cả các loài, chúng ta có vỏ não phát triển nhất. Diện tích của vỏ não người là khoảng 2.200 cm<sup>2</sup> và, để nằm được trong hộp sọ có thể tích chưa đầy một lít rưỡi, nó phải được gấp đi gấp lại nhiều lần. Chính trong vỏ não này mà những suy nghĩ được sinh ra, các quyết định được đưa ra, các ký ức về quá khứ xuất hiện, tương lai được hoạch định, các tình cảm tôn giáo và cảm giác siêu nghiệm được hình thành. Cũng chính tại đây có trung tâm thị giác. Đằng sau vỏ não là thùy chẩm; các tín hiệu thị giác tới từ võng mạc được xử lý tại đây và biến thành hình ảnh. Đó chính là lý do tại sao thùy chẩm còn được gọi là “vỏ não thị giác”. Người ta cho rằng não cũng tạo ra tại đây các hình ảnh tinh thần xuất hiện trong các giấc mơ của chúng ta.

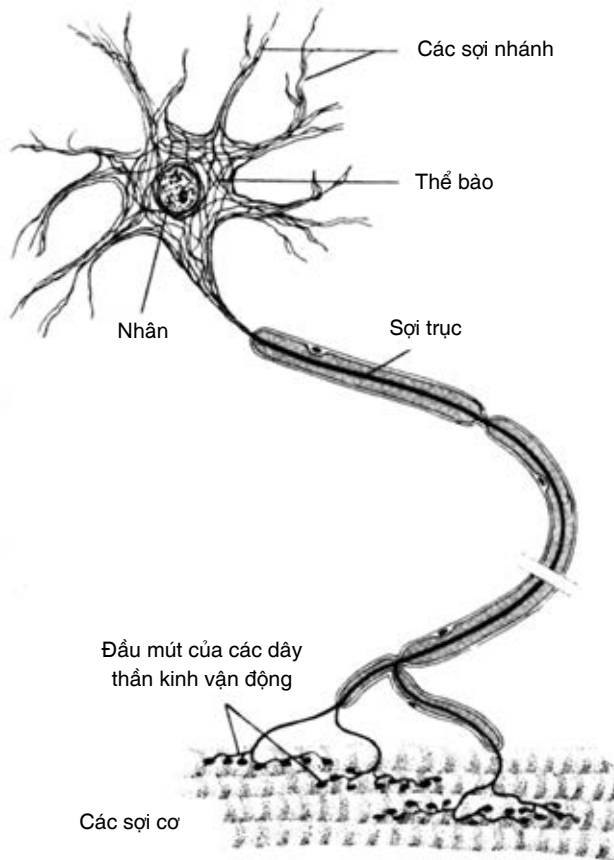
Giai đoạn cuối cùng của não người là sự biệt hóa hai bán cầu. Nó xảy ra cách đây khoảng từ 4 đến 1 triệu năm. Bán cầu não trái quyết định ngôn ngữ, cảm giác toán học và lập luận logic; bán cầu não phải quyết định khả năng hình dung không gian các hình dạng cũng như các cảm giác nghệ thuật và thi ca. Nhưng, cũng giống như não bò sát, phần dưới vỏ não và vỏ não tạo thành một tổng thể liên kết với nhau, hai bán cầu được liên kết với nhau bằng một cầu nối gồm khoảng 300 triệu sợi thần kinh, gọi là các “thể chai”, và hoạt động một cách phụ thuộc lẫn nhau<sup>5</sup>.

### *Tắc nghẽn thông tin*

Vậy các tín hiệu ánh sáng mà võng mạc thu nhận được dẫn từ mắt lên đến vỏ não thị giác như thế nào? Mỗi noron có một thân và hoạt động như một máy thu-phát nhỏ xíu. Bộ phận thu bao gồm rất nhiều các nhánh giống như nhánh cây gọi là “sợi nhánh”; bộ phận phát là một sợi gọi là sợi trục, tự phân chia ở đầu mút thành rất nhiều các nhánh (H. 71). Các nhánh này được nối với các sợi nhánh của các noron bên cạnh bởi các vùng tiếp xúc gọi là khớp thần kinh. Thông tin luôn đi theo một chiều: từ các sợi nhánh của noron thứ nhất



<sup>5</sup> Để biết thêm chi tiết, xem Trịnh Xuân Thuận, *Nguồn gốc - Nỗi hoài niệm về những thuở ban đầu*, sđd



**Hình 71.** Một tế bào thần kinh gọi là noron. Một noron có một nhân, một thể bào và một sợi trục. Các thông tin nhận được từ các tế bào cảm quang của võng mạc được rất nhiều các sợi nhánh truyền đến thể bào. Một số trong các thông tin này sẽ làm cho noron khởi phát một xung điện, trong khi một số thông tin khác lại ức chế nó.

đến sợi trục của nó, rồi tới các sợi nhánh của noron thứ hai, và cứ như vậy tiếp tục. Các noron là các nhà máy điện hóa nhỏ cực kỳ tinh vi. Ánh sáng nhận được bởi các tế bào võng mạc (các tế bào hình nón và hình que) được chuyển hóa thành các xung điện. Khi đi đến đầu mút của một sợi trục, xung điện khởi phát sự giải phóng một số sản phẩm hóa học vượt qua một khớp thần kinh để rồi bị một sợi nhánh của một noron bên cạnh bắt giữ. Khi các sản phẩm hóa học này đạt đến một nồng độ tới hạn, thì noron bên cạnh lại truyền một tín hiệu điện dọc theo sợi trục của nó, và quá trình lặp lại ở khớp thần kinh tiếp theo.

Một vấn đề đặt ra ở giai đoạn tiếp theo, giai đoạn thần kinh thị giác truyền thông tin. Đó là sự tắc nghẽn thông tin. Thật vậy, võng mạc của người chứa

khoảng 120 triệu tế bào hình que và 6 triệu tế bào hình nón, tức tổng cộng 126 triệu noron. Vậy mà chỉ tồn tại một triệu sợi trục trong thần kinh thị giác để truyền các tín hiệu lên não<sup>6</sup>. Điều này có nghĩa là, trung bình, thông tin đến 126 tế bào cảm quang trong võng mạc thì chỉ có thể được truyền bởi chỉ một sợi trục của một tế bào hạch trong dây thần kinh thị giác. Mỗi một sợi thần kinh thị giác nhận các kích thích của rất nhiều tế bào hình nón và hình que, giống như một cáp điện thoại nhận nhiều cuộc điện đàm cùng một lúc. Tình hình này làm cho một tín hiệu ánh sáng rất yếu nhận được bởi hàng nghìn tế bào hình que cũng được tri giác bởi não như một tín hiệu ánh sáng mạnh nhận được bởi vài tế bào. Các dây thần kinh thị giác bổ sung các tín hiệu ánh sáng phát ra từ vô số các tế bào võng mạc để làm cho thị giác của chúng ta nhạy hơn.

### *Soạn và nén thông tin*

Mắt giải quyết sự tắc nghẽn thông tin này như thế nào? Bằng cách soạn và nén nó lại. Thật vậy, trong một trường thị giác, luôn tồn tại các thông tin thừa. Khi bạn ngắm một bức ảnh chụp bầu trời xanh, bạn không cần phải ngắm từng góc của bầu trời để nhận ra da trời. Mắt của bạn bị cuốn hút bởi một thay đổi, chẳng hạn ở chỗ bầu trời xanh bị ngắt quãng bởi các đỉnh núi đầy tuyết. “Thay đổi” ở đây là từ khoá. Để giảm thông tin chứa trong một hình ảnh với các thành phần cơ bản hấp dẫn nhất của nó, mắt chỉ đáp ứng lại với các thay đổi xen vào không gian và thời gian. Nó bỏ qua tất cả những gì là tĩnh và bất động, tất cả những gì mà tính chất của chúng không thay đổi trong không gian và thời gian. Một cái gì đó chuyển động, một khung cảnh thay đổi, đó là những thứ cuốn hút mắt. Trong một bầu trời không một gợn mây và xanh thẳm đến vô cùng, không có gì giữ được cái nhìn của bạn. Chỉ khi các đám mây lượn lờ trên đó tạo thành các hình ảnh xinh đẹp, hay khi dốc của một ngọn núi xám hiện lên ở chân trời, phá vỡ sự nhàm chán của màu xanh da trời trải đến hút tầm mắt, thì cái nhìn mới bị cuốn hút. Thiên hướng chỉ phản ứng với những thay đổi này – một con chim vỗ cánh, một con kiến bò, các tòa nhà hiện lên ở chân trời – cho phép võng mạc soạn và nén thông tin, thực hiện cái mà người ta gọi là “hội tụ thông tin”.

Nhưng, để đo một sự thay đổi – chẳng hạn, sự đi qua về mặt không gian từ bóng tối sang ánh sáng, hay sự di chuyển của một người từ chỗ này sang chỗ



<sup>6</sup> Từ “chỉ” ở đây được dùng theo nghĩa tương đối. So với thần kinh thị giác, thần kinh thính giác chỉ chứa 30.000 sợi thần kinh.

kia -, thì ánh sáng được phát hiện ở một vị trí cần được so sánh với ánh sáng được phát hiện ở một vị trí khác hay ở một thời điểm khác. Điều xảy ra ở một chỗ phải được so sánh với cái xảy ra ở chỗ khác cả trong thời gian và không gian. Cái cục bộ phải được gắn với cái toàn thể.

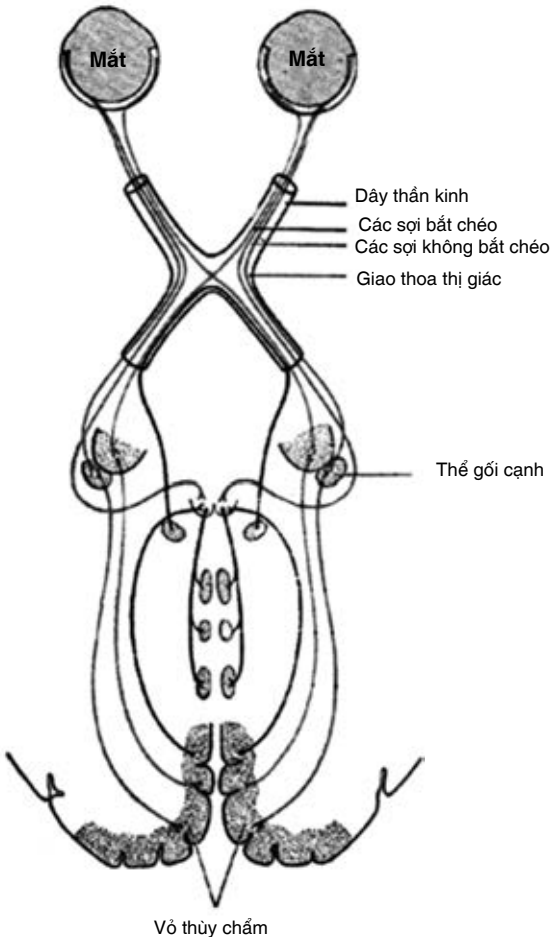
Loại so sánh này đòi hỏi các kết nối cạnh giữa các tế bào thần kinh. Như vậy, một tế bào lưỡng cực được kết nối cạnh với rất nhiều tế bào cảm quang. Cũng tồn tại rất nhiều kết nối cạnh trong các lớp khớp thần kinh. Để dò được sự thay đổi dù rất nhỏ, thì các kết nối thần kinh phải được sắp xếp một cách khéo léo, theo một kiểu kiến trúc gọi là “trung tâm-ngoại vi”. Các neuron thuộc các lớp khác nhau của võng mạc bao phủ một vùng của trường thị giác của chúng ta, hay còn gọi là “trường thu nhận”. Trong cấu hình “trung tâm-ngoại vi”, các tế bào cảm quang ở tâm của trường thu nhận của tế bào hạch làm cho tế bào này phản ứng trực tiếp với ánh sáng – chúng kích thích nó – trong khi, trái lại, các tế bào cảm quang nằm ở ngoại vi của trường thu nhận lại ức chế phản ứng của nó. Đối với một trường thu nhận được chiếu sáng một cách đồng nhất, hai hiệu ứng trên triệt tiêu nhau, kết quả là tế bào hạch không truyền bất kỳ xung thần kinh nào lên dây thần kinh thị giác. Ngược lại, ngay khi có thay đổi về độ sáng hay về màu, sự bù trừ sẽ không hoàn toàn, và một tín hiệu được phát ra. Chẳng hạn, nếu phần phải của trường thu nhận chìm trong bóng tối trong khi phần còn lại được chiếu sáng, thì sự ức chế của vùng phải không bù lại được sự kích thích của vùng trung tâm, làm cho tế bào hạch bị kích thích mạnh.

Các chuyển động trong trường thị giác được phát hiện theo cách tương tự bởi những thay đổi không phải trong không gian, mà trong thời gian. Bởi vì thông tin chỉ được truyền cho dây thần kinh thị giác nếu có thay đổi, nó được sắp xếp và do đó được nén một cách đáng kể. Sự nén thông tin này tương tự với sự nén đối với một bộ phim video tải trên mạng: toàn bộ thông tin lặp của nó đều bị cắt bỏ. Điều rất lạ là, hệ số nén 126 của võng mạc gần bằng hệ số nén của các kỹ thuật nén chuẩn được sử dụng cho Internet, như MP3...

### *Hành trình của thông tin từ mắt lên não*

Nhưng sự nén thông tin bởi võng mạc mới chỉ là bước khởi đầu. Thông tin được nén sau đó phải được dẫn từ võng mạc lên não để diễn ra nhận thức và để chúng ta hiểu mình đang nhìn gì. Các xung thần kinh từ hai võng mạc chạy dọc theo hai dây thần kinh thị giác, trái và phải, đầu tiên đi qua một hệ thống

kết nối nằm ngay sau hai mắt và được gọi là “giao thoa thị giác” (H. 72). Chức năng của nó là hợp nhất các tín hiệu của mắt phải với mắt trái sao cho mỗi bán cầu của não nhận không phải thông tin của một mắt, mà thông tin kết hợp của cả hai mắt. Như Léonard de Vinci đã nhận xét, “giao thoa thị giác” làm cho chúng ta chỉ nhìn thấy một hình ảnh duy nhất thay vì hai. Vì được đặt ở phần bắt chéo hình chữ X của hai đường thị giác, nên đường đi của thông tin từ đó sẽ đổi hướng cho nhau. Thật vậy, nửa trái của trường thị giác sẽ được xử lý bởi bán cầu não phải, và nửa phải bởi bán cầu não trái.



**Hình 72.** Từ điểm giao thoa thị giác tới não. Giao thoa thị giác hợp nhất các tín hiệu của mắt trái với mắt phải để mỗi bán cầu não nhận được thông tin tổ hợp của cả hai mắt.



Giai đoạn thứ hai trên con đường tiến tới nhận thức là “thể gôi cạnh”. Một sự biệt hóa lớn các chức năng của các hạch diễn ra ở giai đoạn này. Các hạch này phân bố thành hai nhóm chính: các hạch có chức năng xác định “cái gì” chỉ nhạy cảm với các tính chất như hình dạng và màu sắc, trong khi các hạch xác định “ở đâu” chỉ phản ứng với chuyển động. Các hạch “cái gì” chiếm phần lớn (80%) tổng số, trong khi các hạch “ở đâu” chỉ chiếm 10%, 10% còn lại là các hạch có các chức năng chưa rõ. Sự phân bố mất cân đối các nhiệm vụ này phản ánh việc xác định bản chất của một vật khó hơn là biết nó nằm ở đâu.

### *Sự biệt hóa cực độ của các tế bào vỏ não thị giác*

Sau khi đã trải qua nhiều trạm tiếp sức khác nhau, các tín hiệu điện cuối cùng cũng đến vỏ não thị giác, một màng mỏng chất xám dày khoảng 2 milimét. Các xung thần kinh đã thực hiện hành trình của chúng từ mắt tới vỏ não thị giác với vận tốc khoảng 11km/h – một vận tốc rùa bò nếu so với vận tốc của máy tính điện tử, nhưng đủ phù hợp với các giác quan của con người.

Một phần lớn hiểu biết về hoạt động của vỏ não được rút ra từ các nghiên cứu não chuột và khỉ. Các kỹ thuật tạo ảnh của não đã cho thấy cấu trúc vỏ não của khỉ macao và của chúng ta có những điểm rất tương đồng. Nghiên cứu các bộ não người bị tổn thương cũng đã cho những đóng góp quan trọng vào hiểu biết này. Bằng cách quan sát các thương tổn vật lý gây ra cho não ảnh hưởng đến thị giác như thế nào, người ta đã định vị được các vị trí khác nhau của vỏ não thị giác chịu trách nhiệm khía cạnh nào của thị giác.

Vỏ não thị giác bao gồm sáu lớp tế bào có các chức năng cực kỳ chuyên biệt: một số chỉ nhạy cảm với màu, một số khác lại nhạy cảm với các gián đoạn đột ngột trong trường thị giác, một số khác nữa lại nhạy cảm với góc tạo thành từ hai đường gặp nhau. Sự chuyên biệt cực cao các chức năng của các tế bào vỏ não này đã được làm sáng tỏ bởi các nhà sinh học David Hubel (1926-) và Torsten Wiesel (1924-), giải Nobel y học năm 1981, bằng cách đưa các điện cực vào trong não mèo. Mỗi tế bào của vỏ não thị giác của mèo chỉ phản ứng với một hình dạng hình học xác định, chẳng hạn một đường thẳng có định hướng cụ thể. Một tế bào bên cạnh phản ứng với một đường thẳng khác có một định hướng khác vài độ. Như vậy, các hình dạng và các định hướng rất cụ thể chỉ được nhận ra bởi các tế bào chuyên biệt. Như thế vỏ não thị giác được tạo thành từ hàng triệu triệu những nhà quan sát được chuyên môn hoá đến cực độ, được tạo ra để chỉ nhận biết một và chỉ một chi tiết, bất kể cảnh tượng được

nhìn là như thế nào. Chính sự tổng hợp hàng triệu các tiểu hình ảnh này trong vỏ não thị giác làm cho cuối cùng xuất hiện trong ý thức của chúng ta hình ảnh về một hoàng hôn tuyệt đẹp hay về các đường cong tuyệt mỹ trên các bức tượng của Rodin. Sự chuyên môn hoá cao độ này của các tế bào vỏ não thậm chí còn khiến một số nhà nghiên cứu nhận thức thị giác còn đùa rằng phải tồn tại một tế bào “bà nội” nằm ở đâu đó trong vỏ não của chúng ta. Tế bào này chỉ được kích hoạt trong não nếu “bà nội” của chúng ta xuất hiện trước mắt chúng ta! Tuy vậy, sự dí dỏm này cũng chứa một phần sự thật, vì các động vật linh trưởng tỏ ra cực kỳ giỏi nhận biết các thành viên trong gia đình chúng. Có thể vỏ não của chúng đã được cấu trúc một cách chuyên biệt cho chức năng này với mục đích lợi thế rõ ràng về mặt tiến hoá.

### *Sự kỳ diệu của ý thức*

Thông tin đến vỏ não thị giác được xử lý và gạn lọc sao cho tất cả các dữ liệu về vật được ngắm – màu sắc, kích thước, vị trí, khoảng cách, quan hệ với bối cảnh không gian – được lắp ghép với nhau và tổ chức thành một hình ảnh nhất quán. Một lần nữa, môi trường đóng một vai trò rất quan trọng. Chẳng hạn, cảm giác về các màu sắc là kết quả của việc não so sánh ánh sáng tới từ vật được ngắm với màu sắc của các vật xung quanh nó. Mắt tri giác không chỉ các màu sắc của vật, mà còn tất cả các sắc thái tinh tế cũng như các cấp độ của màu, bằng cách so sánh tất cả các vật nằm trong trường thị giác của nó với nhau. Nếu các tế bào hình nón của võng mạc phát hiện ra các màu, thì chính vỏ não thị giác, bằng cách so sánh chúng với nhau, mới tạo cho chúng ta khả năng phân biệt một cách tinh vi các sắc thái hết sức tinh tế của màu. Bạn đã bao nhiêu lần muốn chụp một bức ảnh về một cảnh lộng lẫy với đối tượng trong bóng tối trước một nền sáng – và bấy nhiêu lần bạn thất vọng với kết quả: một bức ảnh cho thấy đối tượng tối thui và không phân biệt rõ trên một nền quá sáng! Sở dĩ như vậy là vì không một loại phim chụp ảnh nào, không một detector số nào có khả năng làm điều mà mắt chúng ta làm một cách hoàn toàn tự nhiên: rút ra các đặc trưng của một cảnh có các độ sáng rất khác nhau. Và sở dĩ mắt chúng ta có thể làm được như vậy chính là vì chúng không chỉ nhạy cảm với một cường độ cục bộ (vật trong bóng tối), mà còn cả với các cường độ xung quanh (nền sáng). Ở động vật có xương sống, khả năng kỳ diệu của thị giác xuất hiện bởi vì điều mà một tế bào “nhìn thấy” và truyền lên não phụ thuộc vào điều mà các tế bào xung quanh nhìn thấy. Độ sáng và màu sắc của tất cả những gì chúng ta nhìn thấy phụ thuộc

vào toàn bộ môi trường, vì thông tin không phải là một đặc tính cục bộ, mà là một đặc tính có tính tổng thể.

Một khi đã được lắp ghép một cách nhất quán bởi vỏ não thị giác, hình ảnh được truyền lên phân đồi hà mã (*hippocampe*, trong tiếng Hy Lạp, *hippos* nghĩa là “ngựa”, có cấu trúc giống như con hà mã) nằm ở mặt dưới của thùy thái dương của não. Bởi vì đồi hà mã là nơi lưu trữ thông tin của bộ nhớ, nên thông tin mới phải được so sánh với thông tin đã được lưu trữ, để trả lời các câu hỏi như: hình ảnh mới này có ứng một cái gì đó mà tôi từng nhìn thấy không? Nó thuộc loại nào? Nó có là một cái gì đó thù địch với tôi và tôi phải trốn chạy nó không? Tôi có biết người này không? Tôi có nên cười và nói chuyện với anh ta không, hay là tôi phải tránh xa anh ta? Khi tìm được các câu trả lời, toàn bộ thông tin được truyền chỉ trong vài phần giây lên vỏ não. Các tế bào xám khác được huy động: hãy xét tình huống này, bạn nghĩ gì về nó? tôi phải đưa ra hành động gì để đương đầu với nó đây? Cuối cùng, một quyết định được đưa ra. Vỏ não truyền các xung thần kinh cần thiết để kích hoạt các chỉ huy vận động của các cơ và làm cho cơ thể phản ứng một cách phù hợp với quyết định này. Điều này sẽ được thể hiện bằng một tiếng kêu sợ hãi sau đó là cuống cuống chạy trốn trước một nguy hiểm, hay bằng một nụ cười và một bàn tay chìa ra để chào người mình quen cũ.

Ở mỗi giai đoạn của con đường thị giác tiến đến nhận thức – từ tiếp nhận ánh sáng bởi các tế bào cảm quang trong võng mạc của mắt, đến các xung điện phát bởi các tế bào võng mạc, sự nén các tín hiệu, sự hòa trộn chúng trong giao thoa thị giác và truyền chúng sang thể gối cạnh, cho tới sự phát tán của chúng trong vỏ não thị giác -, thông tin ban đầu đã trở nên ngày càng khó nhận dạng hơn. Nó đã chịu một quá trình phá vỡ và phân tách thành nhiều bộ phận rời rạc trong vô số các nếp nhăn của vỏ não. Ấy vậy mà chính sự phá vỡ hình ảnh này cho phép não tái tạo lại hình ảnh và tạo nên điều thần diệu là thị giác. Hình ảnh ban đầu bắt nguồn từ thực tại sờ mó được, được chi phối bởi các định luật vật lý. Tuy nhiên, điều mà chúng ta tri giác như là thực tại thị giác được mã hóa dưới dạng các dao động và các sóng kích thích thần kinh lan truyền trong não. Tập hợp các sóng này có thể dẫn đến sự đột sinh diệu kỳ của nhận thức như thế nào vẫn là một trong những bí ẩn sâu xa nhất mà khoa học hiện đại đang phải đương đầu.

### *Sự lưu ảnh của thị giác*

Như chúng ta đã thấy, mắt và não liên tục ở trong tình trạng báo động để định vị các thay đổi. Trên đường, một ánh sáng nhấp nháy thu hút chú ý nhiều hơn một ánh sáng ổn định. Điều này rất có thể là do các nguyên nhân có lợi cho tiến hóa: thay đổi thường có nghĩa là nguy hiểm, nhưng cũng có thể là cơ hội.

Khi võng mạc bị một chớp ánh sáng rất ngắn kích thích, hoạt động thần kinh trong não không dừng lại sau khi nguồn sáng đã tắt. Dù độ kéo dài của chớp sáng có ngắn ngủi thế nào chẳng nữa, thì các neuron vẫn bị kích thích thêm trong vòng từ 15 đến 18 phần trăm giây, và chúng ta tiếp tục nhìn thấy nó: đó là hiện tượng “lưu ảnh” của thị giác. Tất cả chúng ta đều đã thấy các hình ảnh lưu lại sau một chớp đèn chụp ảnh hay sau khi vô ý nhìn vào đĩa sáng chói của Mặt trời.

Con người đã khai thác tính chất này để tạo ra một cách biểu hiện nghệ thuật mới, một phương tiện mới để kể lại các câu chuyện, một cách tạo ra cách nhìn mới bằng vật lý, đó chính là điện ảnh. Mục đích của nghệ thuật thứ bảy này là để giải trí, nhưng cũng là để làm chúng ta xúc động, để chúng ta phải suy nghĩ, chiêm nghiệm và tư duy. Công thức chủ yếu là tạo ra ảo ảnh động từ một chuỗi các hình ảnh tĩnh. Để làm được điều này, mỗi hình ảnh riêng rẽ phải nằm trên võng mạc trong một khoảng thời gian nhất định, và thời gian giữa hai hình ảnh liên kế nhau phải đủ ngắn để não có thể kết nối chúng, và như vậy tạo ra ảo ảnh về các hình ảnh liên tục.

Hãy đến vũ trường và quan sát một người đang nhún nhảy dưới ánh sáng đèn chớp. Đó là một máy phát ra các chớp sáng đều đặn với một tần số gần giống với tần số chuyển động của người nhảy. Do sự tồn lưu của các cảm giác ánh sáng, nên chúng ta có cảm giác rằng các chớp này chậm lại rất nhiều bất chấp các cử động nhanh như điên của người nhảy. Bạn hãy thử tăng dần tần số của các chớp sáng. Với một tần số dưới 5 chớp mỗi giây, bạn chỉ thấy một chuỗi hình ảnh ở đó người nhảy trông như bất động, như lơ lửng trong thời gian và không gian: khoảng thời gian neuron không được kích hoạt quá dài nên não không thể gắn kết các hình ảnh kế tiếp lại với nhau được. Hãy tăng tần số của các chớp sáng: người nhảy được chiếu sáng và chìm trong bóng tối xen kẽ nhau. Chỉ đến khi đạt đến tần số khoảng 40 chớp mỗi giây thì mắt mới không thể nhận ra bóng tối giữa các chớp. Ánh sáng khi đó có vẻ liên tục và các chuyển động của người nhảy trở nên bình thường.

### *Sự kỳ diệu của điện ảnh*

Điện ảnh cũng dựa trên nguyên lý ấy: người ta chiếu lên màn ảnh một chuỗi các hình ảnh tĩnh với một nhịp điệu đủ nhanh để não có thể gắn kết chúng và tạo ra cảm giác về các chuyển động liên tục. Các camera cũ trước kia được dẫn động bằng tay và tạo ra các phim câm phóng chiếu với tần số 16 hình ảnh mỗi giây. Tần số này không đủ và làm cho hình bị giật rất khó chịu. Chỉ cần xem *Du hành trên Mặt trăng* (1902) của Georges Méliès hay các bộ phim đầu tiên của Charlot là có thể nhận thấy điều đó, dù rằng khiếm khuyết này không hề làm mất đi sự lãng mạn đầy chất thơ của các bộ phim đầy sáng tạo này. Cùng với sự lồng tiếng vào phim ở cuối những năm 1920, công nghiệp điện ảnh đã lấy chuẩn là 24 hình trên giây. Trong điện ảnh hiện đại, các bộ phim được chiếu với nhịp 48 hình trên giây, vì mỗi hình được chiếu hai lần để làm cho hình ảnh trông đỡ bị giật hơn. Ở tần số này, mắt không còn nhận ra được khoảng tối giữa các hình ảnh nữa, và tất cả các chuyển động đều trở nên trơn tru. Các hình ảnh văng vác nhận được không chồng chập lên nhau, dù nhịp chiếu có là 24 hay 48 hình trên giây. Vò não thị giác so sánh một hình ảnh với hình ảnh tiếp sau và, nếu hai hình ảnh không rất khác nhau, thì nó “kết nối” chúng để tạo ra cảm giác về một chuyển động liên tục.

Nguyên lý này đã được Walt Disney, Hayao Miyazaki và các nhà sáng tạo phim hoạt hình khác sử dụng tài tình để mang đến cho chúng ta biết bao niềm vui và khiến chúng ta phải thán phục. Những người vẽ tranh hoạt hình tạo ra hàng nghìn bức tranh riêng rẽ, tranh sau khác rất ít so với tranh trước. Nếu chiếu chúng với tốc độ 48 tranh trên giây, thì người ta sẽ thấy Nàng Bạch tuyết múa với bảy chú lùn, hay Người đẹp ngủ trong rừng được hoàng tử đánh thức. Các hình ảnh truyền hình cũng dựa trên nguyên lý này: chúng được phát với tốc độ 60 hình mỗi giây, đủ cao để người xem không nhận ra sự không liên tục của các hình ảnh.

Tần số tối hạn mà vượt ra ngoài nó mắt không thể nhận thấy sự giật hình ảnh nữa phụ thuộc vào độ sáng của phòng chiếu phim. Chẳng hạn, trong một phòng có ánh sáng mờ, tần số giới hạn này có thể thấp cỡ 1 hình trên giây, nhưng trong một phòng rất sáng, thì tần số này là khá cao, cỡ 60 hình trên giây. Nếu như bạn có ý tưởng đại dột chiếu phim ở một nơi rất sáng, thì với tốc độ 24 hình trên giây, hình ảnh sẽ bị giật. Nhưng, trong các điều kiện bình thường của một phòng tối, tần số này lại là cao hơn nhiều so với tần số tối hạn và như vậy là hoàn toàn phù hợp. Nói cách khác, trong các điều kiện này, nếu

một ánh sáng được bật lên hoặc tắt đi cứ mỗi 20 mili giây (hoặc ngắn hơn), thì chúng ta sẽ không thấy nó nhấp nháy.

Như vậy điều mà mắt người cảm nhận phụ thuộc phần lớn vào độ chiếu sáng. Và sỡ dĩ như vậy là vì mắt có thể nhìn các cường độ ánh sáng rất đa dạng từ nguồn ánh sáng yếu nhất, trong một phòng gần như tối hoàn toàn, đến các ánh sáng sáng hơn hàng triệu tỉ ( $10^{15}$ ) lần, một khả năng mà không một xenoxo sinh học nào khác có được.

### *Con mắt liên tục cử động*

Mắt không bao giờ nghỉ. Thật vậy, trong khi bạn đang đọc các dòng chữ này, hình ảnh về trang sách chứa đầy các con chữ của cuốn sách mà bạn đang cầm trên tay đến và đi với vận tốc lớn trên võng mạc của bạn. Chuyển động tới lui náo nhiệt này là do chuyển động liên tục của mắt bạn. Ngay cả khi bạn quyết dán cái nhìn của mình vào một vị trí cụ thể của trang sách, thì hình ảnh vẫn cứ tiếp tục chuyển động. Hơn nữa, trong khi bạn đọc một dòng, cái nhìn của bạn nhảy rất nhanh từ một vị trí này sang một vị trí khác thay vì theo nó một cách tuần tự. Các chuyển động vô thức này của mắt khác với các cử động mà bạn điều khiển một cách có ý thức.

Với một hình ảnh không ngừng chuyển động trên võng mạc, thì việc mà chúng ta có thể nhìn được quả là một điều thần kỳ. Tại sao thế giới lại không chạy vùn vụt trước mắt chúng ta? Tại sao chúng ta không cảm thấy chóng mặt? Tại sao hình ảnh thế giới lại không bị nhòe? Câu trả lời ở đây cũng tương tự với câu trả lời mà chúng ta đã đưa ra cho câu hỏi tại sao chúng ta không thấy thế giới bị lộn ngược, vì các hình ảnh của thế giới bên ngoài bị lộn ngược trên võng mạc. Sỡ dĩ chúng ta thấy thế giới theo chiều đúng, và nó trình hiện trước mắt ta ổn định, rõ nét và riêng biệt, thì chính là bởi vì não mới là cơ quan chịu trách nhiệm cho sự cảm nhận thị giác. Các cơ mắt chịu trách nhiệm về sự chuyển động không ngừng của các hình ảnh truyền thông tin liên quan đến hành trạng của chúng lên não; não kết hợp các tín hiệu vận động với các cảm giác cân bằng và chuyển động được tai trong điều chỉnh để tạo cho chúng ta sự tri giác về một thế giới ổn định và bền vững.

Các chuyển động náo nhiệt và vô thức này của mắt là cần thiết để dò các biến thiên về độ sáng vốn là cơ sở cho thị giác. Như chúng ta đã thấy, các mạng noron của võng mạc là các máy bắt các thay đổi này. Mọi biến thiên theo không gian của độ sáng đều là nguồn kích thích các noron. Ngoài những thay đổi về

không gian này, các chuyển động của mắt cũng thông báo cho nơron những thay đổi theo thời gian. Một hình ảnh hoàn toàn tĩnh trên võng mạc không gây ra bất kỳ kích thích nào đối với các tế bào hạch, và như vậy không một tín hiệu nào được truyền lên não.

Để hiểu rõ hiện tượng này, các nhà khoa học đã sử dụng một thiết bị phóng chiếu đặc biệt để tạo ra một hình ảnh tĩnh trên võng mạc của một người bất chấp các chuyển động vô thức của mắt anh ta. Máy theo dõi các chuyển động của mắt của người đó và điều chỉnh sao cho hình ảnh chuyển động theo cùng cách với mắt, làm cho hình ảnh trở nên đứng so với võng mạc. Người đó kể lại rằng, nếu một hình ảnh là nhìn thấy được lúc đầu, thì nó sẽ biến mất sau từ một đến ba giây mặc dù là nó vẫn còn xuất hiện trên võng mạc. Kết luận dứt khoát: mắt là một máy dò các thay đổi và không có khả năng tri giác các hình ảnh tĩnh. Nó không biết tất cả những gì không thay đổi với thời gian trong một hình ảnh, giống như các trường thu nhận “trung tâm-ngoại vi” của các nơron võng mạc không biết phần lớn của một hình ảnh được chiếu sáng một cách đồng nhất. Đó là một cách khác đối với mắt để nén thông tin và góp phần vào hệ số nén 216 cần thiết để truyền các dữ liệu của rất nhiều các tế bào cảm quang đến rất ít các sợi trục hạch cấu thành nên dây thần kinh thị giác.

Như vậy các chuyển động hỗn độn và vô thức của mắt ngăn cản thế giới thị giác biến mất khi bạn cố định cái nhìn. Chúng ta chắc sẽ phát điên nếu mỗi khi sự chú ý của chúng ta nhằm vào một vật gì đó – ví như các chi tiết của một bức tranh của Monet, các đường cong tuyệt vời của một phụ nữ, bộ máy tinh xảo của chiếc đồng hồ đeo tay -, thì nó lại biến mất! Bạn sẽ càng cảm thấy thất vọng hơn nữa khi mà, nếu không có các chuyển động này của mắt, bạn càng tập trung vào vật, thì vật này lại càng thoát khỏi cái nhìn của bạn. Bạn sẽ chỉ thấy các vật mà bạn không thực sự chú ý tới. Còn nhưng thứ quan trọng nhất đối với bạn thì bạn lại không nhìn thấy!

Vậy điều gì xảy ra đối với mắt bạn trong khi bạn đọc một dòng của trang sách này? Trước hết, mắt nhìn cố định vào một vị trí trong thời gian khoảng 200 mili giây, khoảng thời gian trong đó chúng dao động rất nhanh từ phần này đến phần khác theo chu kỳ từ 10 đến 20 mili giây (ứng với một tần số từ 50 đến 100 Hz), rồi giật đột ngột trong 30 mili giây làm cho chúng chuyển sang một vị trí khác, và cứ tiếp tục như vậy. Giả định rằng dòng này chứa mười từ; đối với một văn bản tương đối đơn giản, mỗi người đọc bình thường sẽ dừng khoảng năm lần nghỉ mỗi dòng, mỗi lần cho hai từ. Đối với một văn bản khó hơn (có thể như văn bản mà bạn đang đọc chẳng hạn), mỗi từ cần dừng một

lần, và như vậy mỗi dòng phải nghỉ mười lần. Nhìn chung, số lần nghỉ mỗi giây không đổi, khoảng năm lần. Một văn bản khó sẽ đòi hỏi nhiều lần nghỉ mỗi dòng hơn, và như vậy đọc mất nhiều thời gian hơn. Khoảng thời gian 200 mili giây cho mỗi một lần dừng là khoảng thời gian cần thiết để não có thể thiết lập sự tri giác thị giác dẫn đến sự hiểu.

Không phải mọi cái nhìn của chúng ta đều bắt nguồn từ quan sát thế giới bên ngoài. Chúng ta còn tạo trong đầu các cảnh tưởng tượng; khi ngủ, chúng ta cũng thường tạo ra trong giấc mơ các cảnh và những tình huống chưa từng diễn ra “thật”, nhưng lại tỏ ra y như thật. Võ não thị giác của chúng ta hoá ra có khả năng được kích hoạt bởi trí nhớ về những người và cảnh đã qua, và kết nối chúng thành một kịch bản ít nhiều chặt chẽ để không chỉ tái tạo lại các cảnh diễn ra trong quá khứ, mà còn tạo ra các tình huống chưa từng trải qua hoặc các cảnh tượng hư ảo chưa từng nhìn thấy. Một điều kỳ lạ là, khi chúng ta mơ và dựng các kịch bản tưởng tượng trong giấc ngủ, mắt của chúng ta vẫn cứ cử động. Các nhà thần kinh sinh lý học đã nhận thấy điều đó khi đo hoạt độ điện của hàng tỉ noron của não bằng các điện cực gắn trên đầu của những người đang ngủ - hoạt độ điện gắn với giấc mơ -, họ đã quan sát thấy mắt cử động giật dưới mi mắt đã khép, các cử động này chỉ kéo dài vài giây rồi biến mất, rồi lại xuất hiện ngay sau đó. Mắt của chúng ta cử động khi chúng ta mơ, tức là ngay cả khi não của chúng ta không cần mắt để hiển thị thế giới. Sự kết nối mật thiết giữa mắt và não vẫn tồn tại ngay cả khi chúng ta đang nằm trong vòng tay của nữ thần Ngủ!

Giấc ngủ gắn với mơ và với các chuyển động của mắt được gọi là “giấc ngủ nghịch lý”. Nó đã được nhà thần kinh sinh lý học người Pháp Michel Jouvet phát hiện năm 1961. Người Anh gọi nó một cách mô tả hơn là “giấc ngủ REM” (viết tắt của cụm từ *Rapid Eye Movement*: “chuyển động mắt nhanh”). Trong pha nghịch lý, các chuyển động của mắt không chỉ đi liền với hoạt động mạnh của não, mà còn cả với một giấc ngủ rất sâu và sự mất trương lực lớn của cơ: người ngủ rất khó tỉnh giậy và cơ thể anh ta trở nên mềm nhũn. Giấc ngủ nghịch lý có tầm quan trọng sống còn đối với tất cả các động vật có vú và chim: không có giấc ngủ nghịch lý, chúng sẽ chết. Ở con người, có bốn hoặc năm chu kỳ giấc ngủ, mỗi chu kỳ kéo dài khoảng 90 phút liên tiếp nhau trong đêm. Mỗi chu kỳ chứa năm pha khác nhau. Người ngủ trong một “giấc ngủ chậm” ở bốn pha đầu, nhưng hoạt động điện của não, của mắt và cơ mắt được khởi phát trong pha thứ 5, khoảng từ 20-25 phút. Các chu kỳ của giấc ngủ nghịch lý như vậy xảy ra cứ khoảng mỗi 90 phút một lần, và diễn ra bốn hoặc năm lần trong đêm,



cách nhau bởi các giai đoạn ngủ chậm. Tổng thời gian của giấc ngủ nghịch lý khoảng một trăm phút cứ mỗi hai mươi bốn giờ.

### *Não không có khả năng xử lý mọi thông tin thị giác*

Lượng thông tin đi vào trong mắt khi chúng ta nhìn thế giới là bao nhiêu? Tồn tại khoảng 200.000 trường tế bào hạch thụ cảm gắn với vùng hố thị giác của võng mạc người. Chúng ta đã thấy rằng một thời gian ngừng 200 mili giây (hoặc 0,2 giây) là cần thiết cho não xử lý thông tin thị giác. Vì mắt có thể phân biệt hơn 100 sắc thái xám giữa đen và trắng, điều này tương ứng với một lượng thông tin cỡ 7 bit ( $2^7 = 128$ ), nên thông tin được thần kinh thị giác truyền lên vỏ não thị giác với lưu lượng 7 triệu ( $= 7 \times 200.000/0,2$  giây) bit mỗi giây.

Lưu lượng này là cực kỳ cao. Để so sánh, toàn bộ văn bản mà bạn đang đọc trong cuốn sách này chỉ chứa khoảng 2 triệu bit thông tin, tức nhỏ hơn ba lần lượng thông tin được truyền lên não mỗi giây. Liệu điều này có nghĩa là bạn có thể hấp thu toàn bộ thông tin chứa trong cuốn sách này chỉ trong một phần của giây? Hiển nhiên là không! Bạn phải mất nhiều ngày, thậm chí nhiều tuần, để đọc, thậm chí phải đọc đi đọc lại. Ti lệ bạn hấp thụ thông tin chứa trong cuốn sách này thấp hơn rất nhiều tỉ lệ 7 triệu bit mỗi giây thông tin đi lên não qua thần kinh thị giác. Điều gì làm cho việc đọc cuốn sách này chậm chạp đến thế? Sự chậm này chắc chắn cũng lại là do não: não không chỉ phải xử lý thông tin được mắt truyền lên, mà nó còn phải tiêu hóa và hiểu nó. Một số nghiên cứu thần kinh sinh lý học về phản ứng với các kích thích thị giác đã chứng tỏ rằng khả năng nhận dạng các từ của não người chỉ là 25 bit mỗi giây, tức nhỏ hơn 280.000 lần lưu lượng thông tin được truyền lên não! Khả năng hiểu này có vẻ như không chỉ đúng đối với các từ của một văn bản, mà còn cả với các thành phần của một hình ảnh. Ngay cả khi, theo ngôn ngữ, một hình ảnh bằng một nghìn từ, thì mỗi một hình ảnh cũng đòi hỏi rất nhiều thời gian nghỉ, điều này rất cuộc đòi hỏi một khoảng thời gian bằng khoảng thời gian cần thiết để đọc một nghìn từ. Tồn tại một giới hạn đối với các khả năng nhận thức của con người. Vậy điều gì đã xảy ra đối với 7 megabit thông tin được thần kinh thị giác truyền lên não mỗi giây nếu chỉ 25 bit được dùng mỗi giây? Có phải là não đã vứt bỏ toàn bộ thông tin này? Đường như không phải thế. Nhưng nếu nó giữ thông tin lại, thì thông tin này được lưu trữ ở đâu, và dùng để làm gì? Cho tới nay, vẫn chưa ai tìm được câu trả lời.

### *Não trái và não phải hợp tác chặt chẽ với nhau*

Não cho phép ta lĩnh hội thế giới, nó không chỉ là trung tâm của những khả năng phân tích, mà còn là nơi tụ hội những cảm giác thi ca và nghệ thuật của chúng ta. Bán cầu não trái chịu trách nhiệm chủ yếu về khả năng ngôn ngữ và nhận thức lý tính về các sự vật. Nó cũng liên quan đến lập luận lôgic và khả năng toán học. Ngược lại, bán cầu não phải cung cấp cho chúng ta tri thức trực quan, phi ngôn ngữ về các sự vật. Nó chịu trách nhiệm về khả năng hình dung không gian của các hình dạng cũng như sự nhạy cảm đối với thơ ca và vẻ đẹp của chúng ta. Được kết nối bởi khoảng 300 triệu sợi thần kinh của thể chai, hai bán cầu hợp tác với nhau một cách hài hòa để tạo thành một tổng thể.

Ánh sáng tác động đến cả não trái và não phải. Chúng ta sử dụng não trái để nghiên cứu các tính chất vật lý của ánh sáng; nhưng ánh sáng cũng gọi trong ta những cảm xúc khác nhau, điều này kéo theo sự tham gia của não phải. Khi thức, chúng ta liên tục tắm trong ánh sáng. Bởi vì chúng ta sinh ra, sống và chết đi trong một môi trường xen kẽ ánh sáng Mặt trời và ánh sáng nhân tạo, nên ánh sáng không chỉ là đề tài của những nghiên cứu khoa học và kỹ thuật phục vụ con người, mà nó còn ảnh hưởng sâu sắc đến các cảm xúc của chúng ta. Sự kết hợp ánh sáng và bóng tối ảnh hưởng đến con người cả về sinh lý lẫn tâm lý. Các nghệ sĩ - họa sĩ, nhiếp ảnh gia, nhà điện ảnh - đã biết tái tạo ánh sáng hoặc là bằng cách cố định nó lên toan hoặc bức ảnh, hoặc bằng cách làm cho nó sống động trong các bộ phim để gọi trong ta những cảm xúc đa dạng nhất. Bằng cách sử dụng ánh sáng để tạo ra một tâm cảnh, các nghệ sĩ đã biết đánh thức nội tâm của con người và gọi lên ở đó các vang vọng.

Sự mô tả thuần túy cơ học, điện từ học và duy vật về ánh sáng và các màu sắc của nó, như Newton và những người kế nghiệp ông đã làm, không thể giải thích được các xúc cảm cũng như nội tâm này. Đại thi hào và văn hào người Đức Johann Wolfgang von Goethe (1749-1832) (H. 73) đầu thế kỷ XIX đã chống lại cách mô tả quá cơ giới và qui giản luận này về ánh sáng. Ông muốn trao cho ánh sáng một sự mô tả mang tính tổng thể hơn, có tính đến nhiều hơn những tình cảm và xúc cảm của con người. Nói theo ngôn ngữ hiện đại, ông đã tìm cách sử dụng cả não trái và não phải để xây dựng một lý thuyết về ánh sáng.

### *Goethe và ánh sáng thẩm mỹ*

Phản ứng chống lại sự thống trị của cơ giới luận và nguyên tử luận mà Newton và các môn đệ của ông tôn thờ đã diễn ra tại Đức trong một bầu không khí



**Hình 73.** Chân dung Johann Wolfgang von Goethe. Là nhà thơ, nhà soạn kịch và tiểu thuyết gia thiên tài người Đức, gương mặt tiêu biểu của trào lưu lãng mạn thế kỷ XVIII, Goethe cũng đã rất quan tâm đến ánh sáng và màu sắc. Cuốn *Luận về màu sắc* của ông công bố năm 1810 thường được coi là một chuyên luận lớn về mỹ học hiện đại. Trong cuốn sách này ông đã khẳng định sự vượt trội của màu sắc đối với hình dạng.

chính trị và trí thức hết sức đặc biệt. Các cuộc chiến của Napoleon và sự tan rã chính trị đã làm suy yếu đáng kể quốc gia Đức. Một sự hồi sinh lòng ái quốc lớn đã thúc đẩy phát triển một nền văn hóa quốc gia riêng, khác với văn hóa của các quốc gia khác. Người ta đã được chứng kiến sự bác bỏ chủ nghĩa duy lý, niềm tin vào sự tiến bộ và vào các tư tưởng nguyên tử luận và toán học mới vốn là riêng có của cuộc cách mạng khoa học. Người ta đã muốn áp dụng các tư tưởng cũ đến từ thời Hy Lạp cổ đại hay của quá khứ Trung Cổ đầy huyền thoại của nước Đức cũ. Các phong trào Hy-La mới và lãng mạn này nổi lên chống lại các tư tưởng cơ giới và quy giản luận của Newton. Triết gia Friedrich Hegel (1770-1831) tuyên bố rằng có ba quả táo đã đóng vai trò có hại trong lịch

sử con người: đó là quả táo của Eva, dẫn đến hậu quả là con người bị trục xuất ra khỏi thiên đường; quả táo của Paris, là nguyên nhân gây cuộc chiến thành Troy; quả táo rơi vào Newton. Mục đích của phong trào lãng mạn này là xây dựng một triết học về tự nhiên dựa trên các ẩn dụ và các tương tự nhằm thể hiện “sự đại phụ thuộc lẫn nhau của vạn vật”. Một khái niệm trung tâm của triết học tự nhiên này là khái niệm về “tính phân cực”, hay nhị nguyên: khái niệm về thể xác và tinh thần, vi mô và vĩ mô, điện và từ, axit và kiềm. Một khái niệm khác: đó là về tăng tiến liên tục của tự nhiên lên các cấp độ cao hơn. Theo Goethe, hai khái niệm này là hai động cơ của tự nhiên, và ông đã sử dụng các khái niệm này để xây dựng lý thuyết về màu sắc của mình.

Quan tâm của Goethe đối với ánh sáng và màu sắc bắt đầu từ các chuyến du lịch của ông đến Italia, giữa các năm 1786 và 1790, dưới bầu trời Địa Trung Hải trong sáng một cách lạ lùng. Nhà thơ người Đức đã kể lại rất nhiều trải nghiệm và ấn tượng thị giác của ông trong các chuyến đi này. Ông đặc biệt bị cuốn hút bởi hiệu ứng màu sắc của các họa sĩ thuộc trường phái Venise: màu đỏ mang lại cảm giác nóng của sự ngọt ngào và rực rỡ, trong khi màu xanh lam lại gợi đến một cảm giác mát lạnh của sự yên bình và thư thái. Như vậy tồn tại một sự phân chia tự nhiên các màu sắc thành các màu nóng và các màu lạnh.

Vì thế Goethe đã bắt đầu suy nghĩ về việc sử dụng màu sắc của các họa sĩ. Liệu có hay không một cơ sở thẩm mỹ cho việc sử dụng này, hay các màu sắc được lựa chọn chỉ đơn giản là để tái tạo lại vẻ bề ngoài của vật? Những lựa chọn này liệu có bị chi phối chỉ bởi các sở thích của nghệ sĩ, và đến lượt mình, các nghệ sĩ lại bị bởi các phong tục, định kiến và quy ước nghệ thuật? Goethe đã rất ngạc nhiên trước những khó khăn mà các nghệ sĩ vấp phải khi diễn đạt sự hài hòa của các màu sắc mà họ sử dụng: “Tôi nghe nói đến các màu nóng và lạnh, các màu tôn nhau lên, và rất nhiều các thứ khác, nhưng tất cả những thứ này hòa vào nhau trong một cuộn xoáy kỳ lạ”. Goethe muốn phát hiện ra nguyên lý thống nhất của các màu sắc— một nguyên lý, mà ông đã có trực giác về nó, sẽ trao cho màu sắc một chiều kích vừa tinh thần vừa thẩm mỹ. Việc Goethe bước vào thế giới màu sắc đã được thúc đẩy bởi các lý do nghệ thuật hơn là khoa học.

### *Màu sắc, những hành động và đau đớn của ánh sáng*

Ngoài rất nhiều các hoạt động văn học và thơ ca, đại văn hào người Đức còn rất quan tâm đến ánh sáng. Từ 1790 cho đến cuối đời, năm 1832, Goethe đã

dành hơn bốn mươi năm nghiên cứu ánh sáng không phải chỉ để tìm ra các bí mật của màu sắc, mà còn để xây dựng một phương pháp lĩnh hội thế giới phù hợp hơn với tính cách của ông, một cách nhìn gắn kết cùng lúc tính khách quan và chủ quan, khoa học và nghệ thuật. Ông đã ghi lại các quan sát và kết luận của mình về ánh sáng trong cuốn *Zur Farbenlehre* (Luận về màu sắc) xuất bản năm 1810 (H. 26 trong tập ảnh màu). Tác phẩm này tổng hợp những kết quả nghiên cứu không chỉ của các nhà vật lý học và hóa học, mà còn của cả các nghệ sĩ và triết gia nữa. Đặt tất cả các ngành của khoa học tự nhiên vào trong mối quan hệ với nhau, Goethe hy vọng không chỉ đạt đến một sự “thống nhất đầy đủ hơn về tri thức vật lý”, mà còn đi đến một phối cảnh hiệu quả hơn của nghệ thuật. Ông ấp ủ tham vọng đưa ra một “lịch sử về trí tuệ con người thu nhỏ”.

Dài khoảng 1400 trang trong bản gốc do Nhà xuất bản Munich ấn hành, *Luận về màu sắc* có lẽ là tác phẩm đồ sộ nhất về màu sắc. Chuyên luận này gồm ba phần: phần thứ nhất về phương pháp luận; phần thứ hai về luận chiến, nó đề cập đến những cuộc tranh luận giữa Goethe và những người ủng hộ lý thuyết về màu sắc của Newton; phần thứ ba về lịch sử, nó đề cập đến quá trình phát sinh ra các ý tưởng của ông. Goethe coi *Luận về màu sắc* của ông là tác phẩm hoàn thiện nhất, đồ sộ hơn cả cuốn *Faust*, các bài thơ, các vở kịch và các tiểu thuyết của ông. Bốn năm trước khi mất, ông tâm sự với người thư ký của mình: “Tôi không kiêu hãnh chút nào về các phẩm chất nhà thơ của tôi. Có những nhà thơ xuất sắc sống cùng thời tôi, và có nhiều nhà thơ còn xuất sắc hơn sống trước tôi và sau tôi. Nhưng tôi tự hào là người duy nhất đã tiếp cận được chân lý đối với những gì liên quan đến khoa học phức tạp về màu sắc.”

Trong chương thứ nhất của phần phương pháp luận, Goethe phát triển một chủ đề mà ông rất gắn bó: chủ đề về “các màu sắc sinh lý”. Ông viết chương này không phải bằng cách miêu tả những thí nghiệm trong phòng thí nghiệm, mà bằng cách kể lại các giai thoại cá nhân. Ngược với nhà vật lý miêu tả chân lý gián tiếp của khoa học, thi sĩ Goethe viện đến chân lý trực tiếp rút ra từ những ấn tượng do cảm giác đưa lại. Theo Goethe, quan sát các hiện tượng kinh nghiệm là không thể tách rời với một cách nhìn thi ca về thế giới. Chúng ta hãy cùng nghe ông: “Một buổi tối trong quán trọ, tôi thấy một cô phục vụ có thân hình mập mạp, da trắng muốt, tóc đen, mặc một chiếc áo chèn màu hồng đi vào. Tôi chăm chú nhìn cô gái đang ở cách tôi một đoạn trong bóng tối lơ mờ. Ngay khi cô gái đi ra, tôi vẫn còn phân biệt được trên bức tường trắng đối diện một khuôn mặt màu đen bao quanh là một vầng sáng, và bộ quần áo bó lấy hình bóng cô gái được vạch rõ có màu xanh nước biển rất đẹp”. Thông

qua giai thoại này, Goethe muốn chứng tỏ rằng các màu sắc sinh ra từ sự gặp gỡ và đối thoại giữa ánh sáng và bóng tối: ông ngồi trong phòng được chiếu sáng của nhà trọ và ngắm người phục vụ trong bóng tối lơ mờ, và thấy một khuôn mặt tối bao quanh là ánh sáng. Đối với nhà thơ, màu sắc là các “hành động và đau đớn của ánh sáng”, chúng “hành động” hoặc “đau đớn”.

Ý tưởng về nguồn gốc của các màu sắc từ các nguyên mẫu cơ bản “ánh sáng” và “bóng tối” không phải là mới. Nó đã có từ thời Aristote (384-322 tr. CN). Trong cuốn *Metereologiques*, Aristote đã thể hiện quan điểm cho rằng các màu sắc sinh ra từ một sự yếu đi của ánh sáng, rằng nó phân bố giữa các cực điểm ánh sáng và bóng tối tùy theo nó bị tối đi nhiều hay ít. Khái niệm về sự tương phản cơ bản giữa màu sáng và màu sẫm chắc chắn không đóng một vai trò nào trong lý thuyết hạt về ánh sáng và màu sắc của Newton.

Sự đắm chìm của Goethe vào thế giới ánh sáng còn được kích thích bởi chính sự quan sát tương tác này giữa ánh sáng và bóng tối. Goethe kể lại các tình huống trong tác phẩm *Confession des Verfassers* (Sự sám hối của tác giả). Năm 1799, từ Italia trở về ông đã mượn các thiết bị quang học của một người bạn với hy vọng lập lại các thí nghiệm của Newton về ánh sáng. Nhưng ông không tìm được thời gian để thực hiện chúng và thiết bị này đã bị xếp xó nhiều tháng trong một hốc tường, cho tới khi người bạn của ông đòi lại. Đúng vào lúc đưa trả, bỗng Goethe lấy một lăng kính và giữ nó trước mặt để cuối cùng tận mắt nhìn thấy “hiện tượng nổi tiếng về các màu” từng được Newton phát hiện: đó là sự phân tách ánh sáng trắng bởi một lăng kính, một thí nghiệm đã được ca tụng bấy lâu. Ông mong đợi được thấy bảy màu cầu vồng được phóng chiếu trên bức tường trắng đối diện. Nhưng, thật vô cùng ngạc nhiên, ông chỉ thấy qua lăng kính ánh sáng trắng, ngoại trừ chỗ cửa kính tối của cửa sổ. Chỉ ở chỗ ánh sáng của trời và bóng tối của khung cửa gặp nhau thì các màu sắc mới xuất hiện trong toàn bộ vẻ đẹp lộng lẫy của nó, với màu đỏ và vàng ở một phía, màu xanh lam và tím ở một phía khác. Từ đó, Goethe rút ra kết luận rằng màu sắc không bắt nguồn chỉ từ sự phân tách ánh sáng, như Newton từng nghĩ, mà còn cả từ sự tương tác của ánh sáng với bóng tối.

### *Định luật về sự thay đổi cân thiết*

Nếu bạn muốn tái tạo hiệu ứng quang học mà Goethe nhận thấy trên cô phục vụ của quán trọ, hãy đặt một vật nhỏ có màu sáng trước mặt bạn trên một tờ giấy trắng. Nhìn thẳng vào nó trong khoảng ba mươi giây, rồi bỏ vật

này đi. Bạn sẽ thấy hiện lên trước mắt bạn hình ảnh của một vật giống hệt với vật mà các bạn vừa bỏ đi, nhưng có một màu sắc khác, màu bổ sung của màu sắc ban đầu. Người ta gọi đó là sự “lưu ảnh”, một ảo giác quang học sinh ra sau khi bạn nhìn trong một khoảng thời gian ngắn một nguồn ánh sáng mạnh. Hiện tượng này, như chúng ta đã thấy, là nguồn gốc của điện ảnh và phim hoạt hình. Chính Aristote là người đầu tiên đã mô tả hiện tượng lưu ảnh trong tác phẩm của ông về những giấc mơ. Các vật sáng là nguồn gốc của các ảnh lưu lại tối; và các vật tối là nguồn gốc của các ảnh lưu lại sáng. Theo Goethe, tính đối ngẫu của ánh sáng và bóng tối này được quy định bởi cái mà người ta gọi là “định luật về sự thay đổi cần thiết”. Theo ông, định luật này không chỉ áp dụng cho thị giác, mà còn cho tất cả các giác quan khác, cũng như cho bản chất tinh thần của chúng ta. Bởi vì mắt được gắn với một giác quan tinh vi là thị giác, nên định luật về sự thay đổi cần thiết hiển nhiên là đúng đối với màu sắc.

Hai màu được gọi là bổ sung cho nhau nếu khi sự trộn với nhau chúng cho ra màu trắng. Chẳng hạn, màu xanh lục là màu bổ sung của màu đỏ, màu tím là màu bổ sung của màu vàng, màu da cam là màu bổ sung của màu xanh lam. Goethe nghĩ rằng mắt, được kích thích bởi một màu sắc nào đó, sẽ tìm cách “bổ sung vòng tròn màu” bằng cách đưa ra sự lựa chọn thị giác màu sắc bổ sung của nó. Một vật màu đỏ khêu gọi một hình ảnh màu lục, và ngược lại. Như vậy, mắt kết hợp các màu bổ sung cho nhau để tạo ra một hình ảnh thống nhất về tổng thể theo định luật về sự thay đổi cần thiết. Định luật này càng có ý nghĩa hơn khi mà màu bổ sung có thể xuất hiện không chỉ bị trễ theo thời gian so với màu gốc, mà còn đồng thời với nó, như trong hiện tượng các bóng được tô màu. Để nhận ra điều đó, bạn hãy chiếu sáng cùng một vật bằng hai nguồn sáng khác nhau, một có màu trắng, một có màu đỏ, và hãy xem xét các bóng của vật được phóng chiếu lên một màn hình. Chắc hẳn bạn mong chờ sẽ được thấy bóng của vật được bao quanh bởi màu trắng, một bóng khác bao quanh bởi màu đỏ, và một vùng trung gian chứa một hỗn hợp ánh sáng trắng và đỏ cho ra một màu đỏ nhạt. Thế nhưng, thật hết sức ngạc nhiên, bạn sẽ chỉ thấy màu xanh lục xuất hiện thay vì màu trắng, trong khi không hề có một nguồn ánh sáng màu lục nào cả! Mắt đã thay màu trắng bằng màu xanh lục, màu bổ sung của màu đỏ. Hãy thay ánh sáng đỏ thành ánh sáng lam, và màu trắng khi đó sẽ được thay bằng màu da cam, màu bổ sung của màu xanh lam.

Ngày nay các hiện tượng sinh lý này của mắt được gọi là “sự thích ứng màu”. Chúng là bằng chứng cho thấy rằng thị giác hoạt động và rằng chúng ta không chỉ nhìn bằng mắt, mà còn cả bằng não nữa. Thay vì vứt bỏ các ảo giác

quang học này vì không có gì quan trọng cho sự tìm hiểu ánh sáng, Goethe ngược lại đã biến nó thành cơ sở cho lý thuyết của ông: “Các ảo giác quang học sẽ đưa chúng ta đến chân lý”, ông nhấn mạnh.

### *Các màu nóng và lạnh*

Goethe phát triển hệ thống về các màu của ông xuất phát từ sự tương phản cơ bản giữa sáng và tối. Theo ông, chỉ màu vàng và màu xanh lam là hoàn toàn thuần khiết, “không hề gọi gì đến các màu khác”. Màu vàng là “gần ánh sáng nhất”, trong khi màu lam là “gần bóng tối nhất”. Sắp xếp giữa hai thái cực này là tất cả các màu sắc khác (H. 26 trong tập ảnh màu). Cũng như mỗi một tri giác của chúng ta về thế giới bên ngoài đều bị ảnh hưởng bởi thế giới nội tâm – các ký ức, những trải nghiệm đã qua, những niềm vui, nỗi buồn -, các màu sắc của thế giới bên ngoài cũng tạo ra một hiệu ứng cảm giác ảnh hưởng đến thế giới nội tâm của chúng ta. Nói cách khác, các màu sắc không phải là khách quan, mà là chủ quan. Nói theo cách của Goethe, chúng như “các bình chứa các phẩm chất cảm giác của ý thức”. Từ đó sinh ra khái niệm về màu sắc “nóng” và “lạnh”. Màu vàng gọi đến “sáng, sức mạnh, gần gũi và hăm hở”; màu xanh lam gọi đến “tối, yếu ớt và xa cách”. Màu vàng là “kỳ diệu và cao quý”; nó gọi lên “một không khí hoạt động, sự sống và nỗ lực”. Ngược lại, màu xanh lam gọi “một cảm giác bất an, yếu ớt và hoài niệm”. Màu vàng mang đến cho chúng ta một cảm giác nóng; còn màu xanh lam cho ta một cảm giác lạnh.

Dựa rất mạnh vào phối cảnh cảm giác và tinh thần của các màu sắc, Goethe đã thử xác lập trật tự của chúng trong mỹ học. Ông sắp các màu vào hai nhóm “mạnh” và “dịu”. Hiệu ứng mạnh biểu lộ khi các tông vàng, đỏ-vàng và hồng thống trị, như trong cảnh hoàng hôn. Hiệu ứng dịu xuất hiện khi màu lam và các màu lân cận xuất hiện, chẳng hạn như khi chúng ta ngắm một bầu trời xanh ngắt không một gợn mây. Khi “tất cả các màu sắc ở trạng thái cân bằng đối với nhau” sẽ nảy sinh sự hài hòa an ủi tâm hồn ta. Quan niệm về ánh sáng dựa trên hai màu đối cực là vàng và lam, sinh ra từ sự đối thoại giữa ánh sáng và bóng tối, được Goethe gọi là “hiện tượng cốt yếu”. Theo Goethe, ánh sáng có một đặc tính chất huyền bí: đó là biểu hiện của thần thánh.

### *Goethe và Newton: hai cách tiếp cận ánh sáng bổ sung cho nhau*

Cách tiếp cận của Goethe khác căn bản với cách tiếp cận của Newton. Nhà thơ không định nghĩa ánh sáng bằng ngôn ngữ cơ giới và quy giản luận. Theo



ông, mọi ý định giải thích bản chất nội tại của ánh sáng bằng các lý thuyết trừu tượng, bằng những thao tác với nó qua lăng kính hoặc phân tách nó thành các hạt, đều là vô bổ. Để đột phá bản chất riêng của nó, theo ông, tốt hơn hết là áp dụng phương pháp kinh nghiệm, nghĩa là quan sát và phân loại tất cả các hiệu ứng của ánh sáng trong môi trường tự nhiên. Dựa trên kinh nghiệm viết tiểu thuyết của mình, Goethe đã ý thức rất rõ rằng người ta không miêu tả một nhân vật bằng các lý thuyết tâm lý, mà bằng cách kể lại anh ta hành động, ăn nói, đi đứng, thể hiện tình cảm... như thế nào. Tương tự, nếu chúng ta muốn biết bản chất sâu thẳm của ánh sáng, cả vật lý lẫn tinh thần, thì chúng ta phải quan sát các tác động và hành trạng của nó, “các hành động và những nỗi đau đớn của nó”, bằng việc chiêm ngưỡng các màu sắc. Chẳng hạn, điều đơn giản đối với Newton – ví dụ như ánh sáng đỏ tinh khiết, ánh sáng “đơn sắc” có một bước sóng xác định – lại là phức tạp đối với Goethe, vì một ánh sáng như thế là nhân tạo: cần phải chuẩn bị nó rất công phu bằng cách phân tách ánh sáng trắng bằng một lăng kính thành các thành phần màu sắc khác nhau của nó. Ngược lại, đối với Goethe, ánh sáng trắng lại rất đơn giản, vì nó có sẵn một cách tự nhiên và tức thì mà không cần phải chuẩn bị gì, trong khi theo Newton nó lại là phức tạp, vì nó được cấu thành từ tất cả các màu.

Cũng như Newton và các nhà khoa học khác, Goethe dựa trên quan sát để rút ra các kết luận. Nhưng ông nhìn các hiện tượng thị giác và tri giác trong tổng thể của chúng, theo cách tổng thể, trong khi Newton và những người kế tục ông tiếp cận chúng theo cách quy giản luận. Hai quan điểm này liệu có mâu thuẫn và loại trừ nhau? Tôi không nghĩ thế. Quy giản luận là thiết yếu đối với sự tiến bộ của khoa học phương Tây. Bởi vì tự nhiên là phức tạp, nên quy nó về các phần tử đơn giản hơn của nó sẽ cho phép khoa học phát triển. Phương pháp quy giản luận cho phép chúng ta ghép lần lượt các mảnh rời rạc trong trò chơi ghép hình mà không cần phải biết tổng thể của nó. Và cần phải biết ơn Newton vì ông đã có thiên tài trong việc tách riêng ra các mảnh của hiện thực, những mảnh chứa nhiều ý nghĩa nhất, để tái tạo lại tổng thể. Goethe đã nhầm khi lớn tiếng tuyên bố, trong phần luận chiến của cuốn *Luận về màu sắc* của mình, rằng Newton đã nhầm. Tuyên bố này của ông chỉ nhận được sự thờ ơ, đối lập, thậm chí chống đối của giới khoa học, và đã kéo những đòn sấm sét mà các nhà nghiên cứu đánh vào tác phẩm của ông. Chúng ta hãy nghe tuyên bố chắc nịch của nhà vật lý Thomas Young: “Một sự tan vỡ văn hóa sẽ xảy ra nếu người ta phải coi trọng một tác phẩm như thế, một tác phẩm mà giá trị chứng minh của nó giống giá trị của một cuốn almanach đầy những mơ mộng, trào phúng và châm biếm”.

Nhưng Goethe cũng rất có lý khi khẳng định rằng vấn đề màu sắc không thể đơn giản tóm gọn vào việc phân tách ánh sáng. Ông đã không hề nhầm lẫn khi khẳng định rằng các màu sắc phải được tái tạo trong tính nhân văn nhạy cảm của nó – một vật có màu sắc không chỉ được tri giác bởi mắt, mà còn cả bởi não -, rằng thực tại của ánh sáng vừa là vật chất vừa là phi vật chất, rằng nó thuộc thị giác cũng như thuộc lĩnh vực tinh thần. Theo nghĩa này, cuốn sách của Goethe không được coi là một chuyên luận vật lý, mà như một chuyên luận lớn bàn về mỹ học hiện đại của màu sắc. Khi mong muốn hiểu sâu hơn mối quan hệ gắn kết các họa sĩ với màu sắc, muốn hiểu cách mà các họa sĩ sử dụng ánh sáng và màu sắc để gọi lên các trạng thái tâm hồn và xúc cảm, Goethe đã là một trong những người đầu tiên nhấn mạnh mối liên hệ khăng khít giữa nghệ thuật và khoa học. Vì thế, nếu *Luận về màu sắc* không được biết hay bị bác bỏ bởi cộng đồng khoa học, thì người ta sẽ không hề ngạc nhiên khi nó thu hút được sự hưởng ứng của nhiều nghệ sĩ và triết gia. Trong các thập kỷ tiếp sau đó, các nhà tư tưởng Ludwig Wittgenstein (1889-1951) và Rudolf Steiner (1861-1925) người Áo, và các nghệ sĩ như Wassily Kandinsky (1866-1944) người Nga là những người đã bảo vệ mạnh mẽ các quan điểm của Goethe về ánh sáng.

Các phương pháp tiếp cận của Goethe và Newton đối với ánh sáng bổ sung cho nhau. Nếu Goethe đặt con người ở trung tâm của lý thuyết của ông, thì Newton lại loại bỏ hoàn toàn con người khỏi vị trí đó. Đối với Goethe, ánh sáng tự nhiên không đủ để nhìn thấy; ánh sáng của tinh thần cũng là cần thiết. Thị giác cũng đòi hỏi tưởng tượng và trực giác, vốn là “các giác quan chỉ người mới có”. Goethe cho biết: “Mắt được hình thành bởi ánh sáng và vì ánh sáng, theo cách sao cho ánh sáng bên trong đột sinh để gặp gỡ ánh sáng bên ngoài”. Mặt khác, rõ ràng là phương pháp tiếp cận thuần túy quy giản luận của Newton, lý thuyết chia nhỏ hiện thực thành hàng nghìn mảnh, không thể là tiếng nói quyết định. Khoa học về sự phức tạp đã chứng tỏ rằng trong tự nhiên tồn tại rất nhiều hệ, nếu được xét trong tổng thể của chúng, các hệ này có các tính chất “đột sinh” không thể được suy ra từ sự nghiên cứu các thành phần riêng rẽ của nó<sup>7</sup>. Chẳng hạn, chúng ta không thể suy ra sự tồn tại của sự sống chỉ từ nghiên cứu các hạt vô sinh. Mặt khác, thí nghiệm Einstein-Podolsky-Rosen chứng tỏ rằng hiện thực không phải mang tính cục bộ, mà tổng thể. Hai hạt đã tương tác với nhau vẫn sẽ tiếp tục liên lạc với nhau bằng một loại tương tác huyền bí. Một hạt “biết” tức thì hạt kia đang làm gì, ngay cả khi chúng nằm



<sup>7</sup> Xem *Hồn độn và Hài hòa*, sđd

ở hai đầu vũ trụ. Như vậy, một phương pháp tiếp cận tổng thể đối với các sự vật, với con người đóng vai trò trung tâm của người quan sát – vai trò cũng đã được trao bởi cơ học lượng tử -, là hết sức cần thiết. Nhưng điều đó không có nghĩa là phương pháp tiếp cận tổng thể loại trừ phương pháp quy giản luận: cả hai đều không thể thiếu, vì chúng bổ sung cho nhau để giúp chúng ta đột phá các bí mật của tự nhiên.

### *Các màu sắc vận tải những ý nghĩa bị ẩn giấu*

Như Goethe đã lớn tiếng tuyên bố trong cuốn *Luận về màu sắc*, các màu có một chiều kích cảm tính và xúc cảm không thể tách rời khỏi con người, xã hội và văn hóa trong đó chúng ta sống. Các màu sắc chuyển tải các mật mã, các ý nghĩa ẩn giấu, các cấm kỵ, các định kiến mà chúng ta phải tuân theo một cách vô thức, làm thay đổi tri giác của chúng ta về hiện thực và ảnh hưởng đến cách hành xử, ngôn ngữ, tình cảm và trí tưởng tượng của chúng ta. Vì các xã hội và văn hóa là khác nhau và vì các xã hội này tiến hóa theo thời gian, nên ý nghĩa mà các màu sắc chuyển tải không thể là phổ quát. Chẳng hạn, nếu màu lam là màu được ưa thích của người phương Tây - ở nữ cũng như ở nam, bất kể môi trường nghề nghiệp, xã hội và đất nước gốc của họ, ở Pháp cũng như ở Mỹ, ở New Zealand cũng như ở Sicile -, thì màu đỏ lại là màu được mến chuộng bởi người phương Đông, ở Nhật Bản cũng như ở Việt Nam. Mặt khác, ý nghĩa của các màu cũng không bất biến: chúng có một lịch sử đầy biến động bắt nguồn từ rất xa xưa và phản ánh lịch sử con người. Chẳng hạn, ở phương Tây, màu lam không phải lúc nào cũng được đa số người mến chuộng. Nó vắng bóng trong các bức tranh tường đa sắc tuyệt đẹp thời đồ đá cũ, trong các hang động Lascaux và Chauvet ở Pháp, Altamira ở Tây Ban Nha, những nơi mà cách đây khoảng từ 10.000 đến 30.000 năm, con người lần đầu tiên đã tìm cách biểu hiện bằng hình ảnh cảm giác mới mẻ của mình về siêu nghiệm và cái thiêng liêng. Trong thời Cổ đại, màu lam không có được địa vị của một màu đích thực, mà ngược lại, màu đen, màu trắng và màu đỏ mới đích thị là màu sắc. Bất chấp sự hiện diện khắp nơi của nó trong tự nhiên vùng Địa Trung hải – trời và biển xanh -, màu lam vẫn không đóng bất kỳ một vai trò nào trong đời sống biểu trưng, xã hội và tôn giáo của người La Mã. Đối với họ, đó là màu sắc của người German, những kẻ mọi rợ phương Bắc. Từ vựng của các ngôn ngữ latin phản ánh sự loại bỏ màu lam này: không có các từ để miêu tả nó và khi muốn diễn đạt nó, các ngôn ngữ này buộc phải đi vay mượn trong các ngôn ngữ Hy Lạp (từ *bleu* (màu lam) gốc là từ *blau* của Hy Lạp) và Ả-rập (*azur* xanh nước biển có

gốc là từ *azraq* của tiếng Ả-rập). Còn về người Hy Lạp, họ chưa bao giờ nhắc đến màu lam trong các tác phẩm của mình, tới mức một số triết gia thế kỷ XIX thậm chí còn tự hỏi một cách nghiêm túc rằng không biết họ có mắc bệnh về mắt hay không mà lại không nhìn thấy màu lam!

Tình hình này kéo dài cho tới tận thế kỷ XII, khi màu lam trở lại ô ạt nhờ hàm nghĩa tôn giáo và tâm linh gắn cho nó. Chúa của những người Cơ đốc giáo là ánh sáng, và ánh sáng đó có màu lam! Việc thờ Đức mẹ đồng trinh cũng rất phát triển, và bởi vì Đức mẹ ngự trên trời, nên trang phục của Đức mẹ được biểu diễn bằng màu lam (H. 27 trong tập ảnh màu). Lần đầu tiên trong lịch sử hội họa phương Tây, bầu trời có màu lam, thay vì màu trắng nhạt, đỏ hoặc vàng vốn đặc trưng cho nó trước đó. Còn về Đức mẹ đồng trinh, người ta vẽ Đức mẹ mặc áo choàng hoặc váy màu lam. Vào năm 1140, khi tu viện Saint-Denis được tái dựng, mở đầu phong cách gô-tíc, người ta sử dụng rất nhiều màu, đặc biệt là màu lam, để làm tiêu tan bóng tối. Một sản phẩm rất đắt, màu xanh đen (về sau được gọi là màu xanh côban), đã được sử dụng để sơn cửa kính. Sau đó nó được sử dụng rộng rãi khắp nước Pháp, đặc biệt là ở Chartres nơi vì thế nổi tiếng với “màu xanh Chartres”.

### *Màu xanh lam và quần bò xanh*

Được thần thánh hóa, màu lam đã lập tức tràn ngập không chỉ các cửa kính và các tác phẩm nghệ thuật, mà cả trong xã hội. Bởi vì Đức mẹ đồng trinh mặc màu lam, nên vua Pháp cũng phải làm tương tự. Bởi vì vua làm như thế, nên các quần thần cũng không là ngoại lệ. Sau vài thế hệ, màu lam đã trở thành màu ưa thích của giới quý tộc, thúc đẩy các thợ nhuộm đua nhau tạo ra các vải màu lam, màu sau còn đẹp hơn màu trước. Sau đó màu lam tiếp tục con đường vinh quang của nó. Vào thế kỷ XVI, làn sóng đạo đức khởi nguồn Cải cách tôn giáo cũng ảnh hưởng đến các màu. Nó thừa nhận một số màu sắc là xứng đáng và đạo đức, ngược lại một số màu khác không như thế. Các màu đen, xám và lam rất hay được sử dụng cho trang phục của nam giới. Như vậy, các màu sắc khô khan này mà các doanh nhân ngày nay vẫn còn mặc chính là bắt nguồn từ thời kỳ Cải cách tôn giáo xa xôi này. Tuy nhiên, màu lam vẫn tiếp tục đà phát triển thắng lợi của nó. Vào thế kỷ XVIII nó đã trở thành màu ưa thích của người châu Âu. Điều này thúc đẩy kỹ thuật tiến xa hơn: trong những năm 1720, một dược sĩ ở Berlin đã tình cờ phát hiện ra màu xanh Phổ nổi tiếng, màu này sau đó cho phép các thợ nhuộm và các họa sĩ có thể thay

đổi một cách hết sức phong phú gam các sắc thái xẫm của màu xanh lam. Mặt khác, màu chàm, vốn có ưu điểm là giá rẻ (do nô lệ sản xuất), và có khả năng tô màu mạnh, đã được nhập một lượng lớn từ Antilles và Trung Mỹ.

Như vậy màu lam đã tràn ngập tất cả các lĩnh vực. Sự phát triển của nó ở Đức được giúp đỡ bởi trào lưu lãng mạn, trào lưu đã nhận thấy ở màu lam màu sắc của hoài niệm. Tác phẩm *Những đau khổ của chàng Werther* của Goethe công bố năm 1747 đã tạo được những tiếng vang lớn trong giới trẻ châu Âu. Giới trẻ châu Âu đua nhau mặc màu lam, như nhân vật chính của tác phẩm. Cảm giác hoài niệm này mà Goethe, người theo trường phái lãng mạn Đức, gán cho màu lam đã vượt qua các đại dương và các thế kỷ. Một biểu hiện của sự hưởng ứng đối với màu này là tên gọi một loại âm nhạc bình dân của người da đen Mỹ, là nhạc *blue*. Nhạc này, được đặc trưng bởi một nhịp điệu chậm rãi và ám ảnh, gợi nỗi buồn, hoài niệm, nỗi đau khổ vì tình – những cảm giác mà người Pháp gán không phải với màu lam, mà với một màu khác, màu đen, như trong thành ngữ “gặm nhấm nỗi buồn” (*broyer du noir*). Màu lam đã nhận được một sự ủng hộ khác nhờ sự xuất hiện ở Mỹ một loại trang phục mới, sau đó lan truyền ra toàn thế giới: đó là quần bò (*jean*). Được phát minh năm 1850 tại San Francisco bởi một thợ may người Do Thái, Levi-Strauss, quần bò ban đầu là một quần dài làm bằng vải màu chàm. Vải được sử dụng để may loại quần này ban đầu được nhập từ cảng Gênes. Trong tiếng Mỹ để chỉ “đến từ Gênes” người ta dùng từ *genoise*, sau đó từ này đã biến thành *jean*. Trang phục này sau đó đã mang tên của vải, và trở thành *blue jeans*. Ngay cả khi vật liệu làm nên loại trang phục này sau đó đã thay đổi thì cái tên ấy vẫn được giữ nguyên. Từ 1860 đến 1865, Levi-Strauss đã nảy ra ý tưởng thay thế vải ban đầu bằng một chất liệu nhẹ hơn và mềm hơn gọi là *denim*, cũng có màu chàm và được nhập từ châu Âu. Nguồn gốc của từ *denim* không rõ, nhưng một cách giải thích khả dĩ là nó bắt nguồn từ sự viết gọn lại trong cụm từ tiếng Pháp “*serge Nîmes*”, chỉ một loại vải được sản xuất ở vùng Nîmes từ thế kỷ XVII. Ý nghĩa xã hội của *blue jean* cũng thay đổi theo thời gian: từ một trang phục dành cho người lao động, thợ mỏ và dân chăn bò, nó đã trở thành một trang phục giải trí trong những năm 1930 ở Mỹ, và sau đó, trong một thời gian ngắn, vào những năm 1960, nó là biểu tượng của sự nổi loạn. Giờ đây nó được thanh niên, giới trẻ trên toàn thế giới chấp nhận, một phần bởi vì nó gắn với nhịp sống Mỹ, nhưng chủ yếu vì nó bền, tiện dụng và dễ mặc.

Sở dĩ màu lam là màu sắc được người phương Tây ưa thích chính bởi vì, như Goethe đã nói, nó gắn với cảm giác yên bình và thư thái. Đó là một màu

ưng thuận, không xung đột, không tạo sóng và chiếm được sự tán thành của tất cả mọi người, cả cá nhân cũng như tổ chức. Bằng chứng là các tổ chức quốc tế như Liên hợp quốc, UNESCO hay Liên minh châu Âu đều lấy biểu tượng có màu xanh lam. Về phần mình, tôi thú nhận là có sở thích đặc biệt đối với màu lam: đó không chỉ là màu của trời và biển, mà còn là màu của các ngôi sao nặng rất nhiều trong các thiên hà lùn xanh mà tôi nghiên cứu.

### *Màu đỏ, màu của lửa và máu*

Màu lam là màu nổi tiếng là “lạnh”, vậy còn màu đỏ, màu mà theo Goethe là “nóng” thì sao? Nếu màu lam là kín đáo, thì màu đỏ lại áp đặt sự hiện diện của nó và muốn làm cho người ta nhìn thấy. Nếu màu lam là ôn hòa và hợp lý thì màu đỏ lại xốc xược, kiêu ngạo, đầy bạo lực và giận dữ. Nếu màu lam có sự khởi đầu dẹt dẹt, thậm chí không tồn tại, thì màu đỏ lại khẳng định mình rất sớm. Thành công gần như tức thì của nó chắc chắn là do con người đã sớm làm chủ hóa học về màu đỏ. Cách đây khoảng 30.000 năm, các nghệ sĩ thời đại đồ đá cũ đã sử dụng đất son đỏ để tô màu đỏ cho các bức tranh thú vật tuyệt đẹp trong các hang động Lascaux và Chauvet (H. 28 trong tập ảnh màu). Các chất cung cấp màu đỏ sau đó là cây thiên, một loại cỏ có rễ cung cấp một chất tạo màu đỏ, rồi một số kim loại như ôxít sắt hay sulfua thủy ngân.

Bởi vì màu đỏ là màu của lửa và của máu, nên nó gọi đến tôn giáo (ngọn lửa của hòa ngục, máu của Chúa), và cả chiến tranh nữa. Ở phương Tây màu đỏ gắn liền với quyền lực và là một dấu hiệu của sức mạnh ở cả những người vô thần cũng như những tín đồ. Trong Đế chế Roma, hoàng đế, các quân thần, một số giáo sĩ mặc quần áo toàn màu đỏ. Từ thế kỷ XIII đến thế kỷ XIV, giáo hoàng và các hồng y đã bắt đầu mặc màu đỏ, một hành động biểu trưng có nghĩa là họ sẵn sàng đổ máu vì Chúa. Nhưng đến thời Cải cách tôn giáo, vào thế kỷ XVI, sự ngạo mạn của màu đỏ không dung hợp với sự chặt chẽ về nguyên tắc của những người theo trường phái Cải cách tôn giáo Tin lành. Những người này tuyên bố màu đỏ là vô đạo đức, hơn nữa đó là màu của bọn “theo giáo hội La Mã”. Màu đỏ bị loại khỏi các trang phục của tất cả những người theo đạo Tin Lành. Ngoại trừ các hồng y và những người được phong tước kị sĩ, còn thì người ta không mặc màu đỏ nữa kể từ thế kỷ XVI. Sự “cấm” màu đỏ này sau đó còn trầm trọng thêm trong nhiều thế kỷ. Trong một thời gian dài, gái mại dâm buộc phải mặc quần hoặc áo màu đỏ để người ta có thể phân biệt được. Áo choàng của thẩm phán ở Pháp cũng có màu đỏ, găng tay và mũ của

đao phủ cũng có màu đỏ. Kể từ thế kỷ XVIII, giẻ lau hay cờ màu đỏ có nghĩa là “nguy hiểm” và “cấm”. Ngày nay, chúng ta phải dùng lại khi có đèn đỏ. Ý nghĩa cấm của màu đỏ cũng xuất hiện trong các biển cấm, hoặc trên sân vận động, ví như “thẻ đỏ”, chẳng hạn. Biểu tượng của lửa và máu xuất hiện trong màu đỏ của xe cứu hỏa, trong “đường dây đỏ” (ở ta gọi là đường dây nóng) hay Chữ Thập Đỏ.

Ở châu Á, màu đỏ có hàm nghĩa tích cực, mang lại may mắn và thịnh vượng. Chẳng hạn, những chiếc đèn lồng đỏ ở Trung Quốc là biểu tượng của sức khỏe, hạnh phúc, thịnh vượng. Trong ngày Tết ở Việt Nam, cha mẹ cho con bao lì xì màu đỏ chứa tiền để chúc hạnh phúc, niềm vui và sức khỏe trong năm mới. Pháo tạo ra tiếng nổ vui tai trong ngày năm mới cũng có màu đỏ. Ý nghĩa gắn với niềm vui và ngày hội, xa hoa và thịnh vượng của màu đỏ cũng bắt gặp ở phương Tây: trong lễ Noel, các cửa hàng và rạp hát trang trí màu đỏ, và quần áo của ông gia Noel cũng có màu đỏ.

Bằng một sự đảo ngược kỳ lạ của lịch sử, màu đỏ vốn biểu trưng cho quyền lực và quý tộc lại có một ý nghĩa hoàn toàn đối lập, ý nghĩa của màu đỏ cách mạng và của giai cấp công nhân. Ngày 17 tháng 7 năm 1791, trong Cách mạng Pháp, một đám đông người dân Paris đã tập trung ở Quảng trường Tháng Ba để đòi truất ngôi vua Louis XVI. Các cơ quan công quyền dựng cờ đỏ để yêu cầu đám đông giải tán. Vệ quốc quân thành lính xả súng vào đám đông, làm khoảng năm chục người chết. Cờ đỏ, “màu máu của lũ bạo chúa này”, đã trở thành biểu tượng của nhân dân bị áp bức và của cách mạng diễn ra khắp thế giới. Các nước cộng sản lần lượt dùng sắc cờ màu đỏ: Liên Xô năm 1918, Cộng hòa nhân dân Trung Hoa năm 1949, và Việt Nam năm 1945.

### *Một màu chỉ xuất hiện ở đó vì người ta nhìn nó*

Ngoài màu lam bình yên và màu đỏ rực rỡ, còn có bao nhiêu màu cơ bản khác? Như chúng ta đã thấy, đối với nhà vật lý, mỗi màu được xác định bằng bước sóng của nó: màu đỏ có bước sóng trung bình là 0,65 micromét, trong khi bước sóng của màu lam là 0,42 micromét. Và sở dĩ như vậy là vì ánh sáng bị lệch hướng khác nhau khi đi qua một lăng kính tùy theo bước sóng của nó mà ánh sáng trắng bị phân tách thành bảy màu cầu vồng: tím, chàm, lam, lục, vàng, da cam và đỏ. Đối với nhà thần kinh sinh lý học hiện đại, lý thuyết ba màu của Thomas Young và Hermann von Helmholtz theo đó chỉ tồn tại trong võng mạc ba loại tế bào cảm quang hình nón, nhạy cảm với màu lam, màu lục

và màu đỏ, hiện đang được chấp nhận rộng rãi. Tất cả các màu khác với các sắc độ khác nhau của thể giới bên ngoài được tri giác bởi não của chúng ta nhờ sự kết hợp các tín hiệu được truyền từ ba loại tế bào cảm quang này.

Nhưng, trong cuộc sống hàng ngày, các màu không cho ta biết, chúng được xác định theo thần kinh sinh lý học hay vật lý học. Sở dĩ chúng ảnh hưởng đến tính khí, tình cảm và xúc cảm của chúng ta, là bởi vì tùy theo ánh sáng chiếu vào tế bào hình nón nào, nhạy cảm với loại màu sắc nào, hay bởi vì bước sóng của nó dài hay ngắn; bởi vì mỗi một màu gắn với một tập hợp các biểu tượng và các kế ước gắn liền với xã hội và văn hóa mà chúng ta đang sống. Goethe đã nói rất hay điều này: “Một màu không được ai nhìn thì không tồn tại!”. Ông tự hỏi: “Một chiếc váy màu đỏ liệu có còn là màu đỏ nữa không, khi mà không một ai nhìn nó?”. Câu trả lời dĩ nhiên là không: các màu không tồn tại ngoài tri giác, bởi vì chính chúng ta diễn giải chúng bằng não của mình!

Trong quang học mới mẻ này, ở đó con người đóng vai trò trung tâm, thì các màu cơ bản nào sẽ nói cho chúng ta biết? Có sáu màu mà bất kỳ một đứa trẻ nào cũng có thể liệt kê cho bạn một cách tự phát: lam và đỏ, mà chúng ta đã biết, rồi lục, trắng, đen và vàng. Sáu màu này là cơ bản theo nghĩa chúng là duy nhất có thể được xác định một cách trừu tượng mà không cần nhờ đến một sự quy chiếu cụ thể trong tự nhiên – khác với các “màu nửa vời”, như hồng, tím, hạt dẻ hay cam, chúng có tên là tên của loại hoa hoặc quả. Cũng như màu lam và màu đỏ, các màu cơ bản khác cũng nặng về biểu trưng và quy ước; chúng cũng có một lịch sử đầy biến động từ rất xa xưa.

### *Màu lục sinh thái*

Màu lục là một màu không ổn định và không bền về mặt hóa học. Chất tạo màu lục có thể dễ dàng thu được từ các dược liệu khác nhau – lá, rễ, hoa và vỏ cây -, chúng bám rất yếu vào sợi, làm cho vải màu xanh lục nhanh bị bạc màu. Trong hội họa, màu xanh lục bắt nguồn từ thực vật như màu cây tống quán sủi hay tòi tây dễ tan biến trong ánh sáng. Đó là màu biến mất đầu tiên trên các bức ảnh cũ. Tính dễ bay hơi hóa học này của màu lục biến nó thành biểu tượng của sự không ổn định và bấp bênh: nó biểu thị cho tất cả những gì động đậy và hay thay đổi, và, nói rộng ra là tất cả những gì gắn với trò chơi, may rủi, số phận. Không hề ngẫu nhiên khi tất cả các bàn trò chơi trong các sòng bạc để bạn đặt thẻ hay lá bài lên và các tay hồ li tung xúc sắc, đều được bọc thảm màu xanh lục. Thói quen này đã ra đời ngay từ thế kỷ XVI trong các sòng



bạc ở Venise. Trong thế giới thể thao, nơi chuyển động là vua và may rủi luôn hiện diện, màu xanh lục cũng thống trị: chỉ cần nhìn màu của các sân tennis, hay màu của các bàn bóng bàn là đủ thấy. Màu xanh lục vì được gắn với trò chơi và tiền bạc, nên cũng không hề ngẫu nhiên khi đồng đôla, vua của các tờ giấy bạc, cũng lại có màu xanh lục. Nhưng may rủi có hai mặt: may hoặc rủi. Màu xanh lục biểu thị tài sản, nhưng nó cũng có thể là phá sản, tích cực nhưng cũng có cả tiêu cực. Người ta cũng thấy mặt tiêu cực và gây lo lắng của màu xanh lục trong cách biểu diễn bằng màu xanh nhạt những con quỷ, rắn, rồng và các sinh vật xấu khác ở thời Trung Cổ. Trước kỷ nguyên chinh phục không gian, người ta đã chứng kiến trong trí tưởng tượng dân gian một ám ảnh về “những người xanh lục” đến từ Hỏa tinh để chinh phục Trái đất và biến con người thành nô lệ. Màu xanh lục cũng được biểu thị như màu bổ sung của màu đỏ. Vì màu đỏ là màu của cảm đoán, nên màu xanh lục trở thành màu của cho phép. Điều này đặc biệt hiển nhiên trong các biển chỉ dẫn ô tô, tàu hỏa và thuyền bè: chúng ta dừng lại trước đèn đỏ, nhưng tiếp tục đi khi có đèn xanh.

Nhưng màu xanh lục ngày nay lại rất thịnh hành do ý nghĩa sinh thái của nó, do mối liên hệ của nó với thiên nhiên. Không một tờ báo nào lại không có có bài viết về đảng Xanh, không một chương trình phát thanh hay truyền hình nào lại không nhắc đến không gian xanh. Ngay cả các thùng rác, cả ở Pháp lẫn ở Mỹ, đều có màu xanh lục, cái màu sắc gọi đến thiên nhiên và sạch sẽ. Màu xanh lục (cùng với màu trắng) đã trở thành biểu tượng của vệ sinh, của cuộc đấu tranh chống lại rác và rác thải công nghiệp. Theo các thăm dò dư luận, màu xanh lục đã trở thành màu được ưa thích thứ hai của những người phương Tây sau màu xanh lam. Sở dĩ nó gặp vận là bởi vì công chúng ngày càng nhạy cảm với các thảm họa sinh thái – sự nóng lên toàn cầu do hiệu ứng nhà kính, nạn tàn phá rừng, sự phá hủy tính đa dạng sinh thái – đang đè nặng lên cái bến đỗ vũ trụ của chúng ta và đe dọa sự sống còn của con người và các loài sinh vật khác trên hành tinh. Tuy nhiên, mối liên hệ của màu xanh lục với thiên nhiên mà ngày nay chúng ta thấy hiển nhiên, chỉ đi vào ý thức của người phương Tây rất gần đây, từ cuối thế kỷ XVIII. Trong thời kỳ Cổ đại và Trung Cổ, và ngay cả trong thời Phục Hưng, tự nhiên chủ yếu được gắn với bốn thành phần: nước, lửa, không khí và đất, một quan niệm có nguồn gốc mãi từ thời Aristote, và thực vật xanh đã không chiếm một vị trí xứng đáng trong trí óc của cộng đồng. Có lẽ chính đạo Hồi là đạo đầu tiên kết nối màu xanh lục với ý nghĩa về tự nhiên. Vào thời Mahomet, toàn bộ không gian xanh trong một môi trường sa mạc được gắn với thiên đường, và truyền thuyết kể

lại rằng bản thân nhà tiên tri này cũng thích đội khăn và cầm cờ xí màu xanh lục. Màu xanh lục chỉ thực sự cất cánh ở phương Tây với trào lưu lãng mạn trong nghệ thuật. Kể từ cuối thế kỷ XVIII, rồi thế kỷ XIX, chủ nghĩa lãng mạn đã đề cao cảm giác và óc tưởng tượng hơn lý trí, và chủ trương quay lại với thiên nhiên bằng cách đứng lên chống lại cơ khí hóa và công nghiệp hóa. Mặc dù đặc biệt ưa thích màu xanh lam, nhưng Goethe, gương mặt tiêu biểu nhất của chủ nghĩa lãng mạn, vẫn gán cho màu xanh lục các phẩm chất tạo bình yên. Goethe khuyến nghị độc giả sử dụng giấy màu xanh lục để trang trí trong nhà, đặc biệt là phòng ngủ!

### *Màu trắng tinh khiết và siêu nghiệm*

Trong vô thức tập thể, màu trắng thường gắn không phải với một màu, mà với sự không có màu. Cảm giác về sự tương đương giữa màu trắng và không màu này có lẽ là do công nghệ in sử dụng màu trắng là giá đỡ chính. Cảm giác về màu trắng gắn với một sự thiếu hay vắng bóng thường bắt gặp trong ngôn ngữ hàng ngày: như chúng ta nói một trang trắng khi nó không có chữ, chúng ta phàn nàn về một đêm trắng bởi vì chúng ta mất ngủ. Một viên đạn trắng không chứa thuốc nổ, một tờ séc trắng là tấm séc không ghi số tiền cụ thể và một phong bì trắng là phong bì chưa dán tem. Cảm giác này tất nhiên là sai lầm: bằng lăng kính, Newton đã chứng tỏ rằng ánh sáng trắng là tổng hợp của tất cả các màu sắc và chắc chắn nó là một màu riêng.

Bởi vì màu trắng gắn với sự không có gì vết, nên nó phổ biến được coi là màu của sự sạch sẽ, tinh khiết và trong trắng. Ở các vùng cao, nơi có các mùa khác nhau, tuyết trắng gợi cảm giác về sự tinh khiết không gì vết của màu trắng. Ngắm cảnh tuyết roi phủ đầy các hoa tuyết trắng xoá không chỉ gợi cho chúng ta cảm giác về sự tinh khiết, mà còn làm cho chúng ta cảm thấy sự yên bình và thư thái. Ở phương Tây, váy trắng của cô dâu gợi sự ngây thơ và trinh trắng. Một trang phục màu trắng trên làn da thiếu nữ dễ đánh thức dục vọng ở một số đàn ông. Nhưng sự kết hợp giữa màu trắng với sự trinh trắng và sự ham muốn là không phổ biến. Ở châu Á, cô dâu mặc váy đỏ, màu của may mắn và hạnh phúc. Ý nghĩa về hòa bình gắn với màu trắng được chứa đựng trong biểu tượng của cờ trắng trong một cuộc chiến: ngay từ thời chiến tranh Một trăm năm (giữa Pháp và Anh) vào thế kỷ XIV và XV, người ta đã sử dụng cờ trắng để yêu cầu ngừng chiến. Còn về ý nghĩa về sự trong sạch gợi bởi màu trắng, chúng ta bắt gặp nó trong màu của các loại vải áp sát cơ thể. Màu trắng trong suốt một thời gian dài đã là màu của ga giường, của áo lót và các loại quần

áo tắm. Ngoài ý nghĩa biểu trưng này, còn có một lý do thực tiễn để sử dụng màu trắng cho vải: trong quá khứ, việc giặt vải bằng nước sôi thường làm phai màu, trừ màu trắng, ổn định và bền vững. Ngày nay, ga giường không còn độc quyền màu trắng nữa: một số có màu dịu, trong các tông màu phấn, hay kẻ sọc, thậm chí cả các màu sống động như đỏ hoặc vàng! Tuy nhiên, màu trắng vẫn tiếp tục là biểu tượng của sự sạch sẽ và tinh khiết: chỉ cần nhìn vô số quảng cáo cho các loại bột giặt, tất cả đều ca ngợi một loại vải trắng hơn cả trắng là đủ thấy! Hoàn toàn không phải là ngẫu nhiên mà các tủ lạnh, bồn tắm, lavabo của chúng ta thường có màu trắng. Màu trắng là màu vệ sinh tuyệt vời nhất.

Nếu màu trắng là màu của tinh khiết và trong trắng gắn liền với trẻ thơ, thì nó cũng chính là màu của tóc của những người già. Như vậy, màu trắng cũng là màu của tuổi già, của sự thông thái và thanh thản. Người ta lại thấy ở đây biểu tượng hòa bình gắn với cờ trắng, nhưng đây không phải là một hòa bình ở bên ngoài, mà là bên trong. Màu trắng của cái chết và của vải liệm trở về với màu trắng của sự trắng trong thời thơ ấu. Biểu tượng này rất rõ ở châu Á và một phần ở châu Phi, nơi màu trắng là màu của tang tóc.

Bởi vì màu trắng là màu của ánh sáng tự nhiên, ánh sáng Mặt trời, ngôi sao của chúng ta trong mệnh mộng vũ trụ, nên nó cũng có một ý nghĩa tâm linh và thường được gắn với ý tưởng về sự siêu nghiệm. Ở phương Tây, Chúa được cảm nhận là một ánh sáng trắng. Các thiên thần, các thiên sứ của Ngài cũng được biểu thị bằng màu trắng. Màu trắng đã trở thành màu thứ hai của Đức mẹ đồng trinh, vốn từ lâu gắn với màu lam, kể từ khi giáo lý Đức mẹ vô nhiễm được chấp nhận năm 1854. Có lẽ chính do gắn màu trắng với sự siêu nghiệm này mà ánh sáng khởi thủy của Big-Bang thường được các họa sĩ biểu diễn là một tia sáng màu trắng – một biểu diễn hoàn toàn sai lầm: ánh sáng của Big-Bang, như chúng ta đã thấy, được tạo thành từ các photon gamma giàu năng lượng tới mức chúng ta không thể nhìn thấy chúng, kể cả là chúng ta đã có mặt để nhìn chúng đi nữa!

Màu trắng của quần áo trong đám tang ở châu Á cũng có một ý nghĩa tôn giáo: người châu Á nghĩ rằng xác của người chết sẽ biến thành một thể ánh sáng trắng bay lên phía trong trắng và tinh khiết. Nhưng, trong lĩnh vực siêu nhiên, màu trắng lại trưng một khuôn mặt khác đáng sợ hơn nhiều: đó là màu của ma quỷ, của các hồn ma, của các linh hồn lang thang chưa nhận được công lý và mộ phần từ người sống và quay trở về đòi lại. Ngay từ thời Cổ đại La Mã, sự hiện hình và bóng ma được biểu diễn bằng màu trắng, và truyền thống này kéo dài cho đến ngày nay.

### *Màu đen của tang tóc và điện ảnh*

Màu đen vừa là vai phụ vừa là đối lập của màu trắng. Trong khi màu trắng được gắn với ánh sáng thần thánh, thì màu đen được gắn với bóng tối. Màu đen đánh thức trong chúng ta nỗi sợ hãi ngàn xưa từ thời tiền sử, khi bóng tối chứa đầy nguy hiểm, các động vật hoang dã núp trong bóng tối lúc nào cũng sẵn sàng lao ra tấn công. Như vậy, màu đen gợi đến sự chết chóc. Sự liên hệ này thường xuyên xuất hiện trong Kinh thánh: màu đen gắn với xác chết, với tang tóc, cũng như với tội lỗi. Màu đen là màu của đất, và do đó cũng là màu của thế giới ngầm và của địa ngục. Ở phương Tây, màu đen đã trở thành màu của tang tóc. Trong khi người phương Đông thấy xác của người chết biến thành thể ánh sáng bay lên phía tinh khiết, thì người phương Tây lại thấy nó trở thành tro bụi, và lại trở về với đất. Người La Mã mặc quần áo tang màu xám, màu của tro, và người theo đạo Cơ Đốc giữ mãi biểu tượng của màu tối gắn với khái niệm tang tóc này.

Nhưng, theo thời gian, màu đen cũng đã có một ý nghĩa khác, tích cực hơn ở phương Tây: nó đã trở thành màu của nhún nhường và khắc khổ. Cuộc cải cách tôn giáo nổi lên ở thế kỷ XVI chống lại các màu sống động và ca tụng một thứ thẩm mỹ xám tối và trang nghiêm. Những người theo đạo Tin lành mặc đồ đen. Màu sắc hèn mọn của phạm nhân đã trở thành một. Không chỉ các thầy tu, mà cả các giáo sĩ cao cấp cũng mặc đồ đen. Ngày nay, màu đen gắn với sự lịch sự và thanh lịch. Màu đen của bộ đồ smoking và các loại quần áo lễ hội của chúng ta có một mối liên hệ trực tiếp với màu đen đế vương của thời Phục hưng. Mối liên hệ này cũng làm cho màu đen trở thành màu của quyền lực. Nó cũng là màu quần áo của thẩm phán và quan tòa. Những chiếc xe Limousin của các nguyên thủ quốc gia cũng thường là màu đen.

Sự đan xen giữa hèn mọn, lịch sự và quyền lực này đã kích thích một nhu cầu lớn các loại vải màu đen và đã thúc đẩy mạnh mẽ kỹ thuật sản xuất màu đen. Trên thực tế, rất khó tạo ra màu đen bằng hóa học. Hòa trộn tất cả các màu sắc cho ra một thứ màu xám hoặc nâu hơn là màu đen. Tuy nhiên, các thợ nhuộm ở Italia thế kỷ XVI đã tạo được cả một gam các màu đen, cho cả các loại lụa lẫn cho vải len.

Ngoài tính biểu trưng riêng của mình, màu đen còn gần như luôn gắn với màu tương phản của nó, màu trắng. Nếu như màu đen gắn với sự vắng bóng của ánh sáng, và như vậy là với lo âu, với sợ hãi và chết chóc, thì màu trắng lại gắn với ánh sáng, và do đó là với niềm sướng và sự sống. Màu đen và màu

trắng biểu trưng cho sự đan xen của thất vọng và hy vọng, của nỗi buồn và niềm vui, vốn là thân phận của con người. Trong thế giới của các màu sắc, cặp đen/trắng chiếm một vị trí riêng từ khi Newton phát hiện vào thế kỷ XVII rằng phổ cầu vồng của ánh sáng Mặt trời cung cấp một *continuum* các màu sắc liên tục đi từ tím đến đỏ, lần lượt qua màu chàm, lam, lục, vàng và tím, nhưng không chứa màu đen cũng không chứa màu trắng. Hai màu này không còn được coi là các màu riêng nữa – điều mà trên bình diện khoa học hiển nhiên là sai!

Sự phát minh ra máy chụp ảnh và sự ra đời những bộ phim câm đen trắng đầu tiên vào thế kỷ XIX còn củng cố thêm trong trí tưởng tượng của tập thể ý nghĩ sai lầm rằng một thế giới đen và trắng là một thế giới không có màu, nói cách khác là một thế giới nghiêm ngặt, đơn điệu, mờ nhạt và buồn tẻ. Từ đó sinh ra một biểu tượng khác gắn liền với cặp đen/trắng: đó là sự trang nghiêm. Là một người sùng đạo Tin lành, trùm tư bản công nghiệp ô tô người Mỹ Henry Ford không chịu sản xuất ô tô có màu khác màu đen. Các màu khác có lẽ quá lòe loẹt và quá thiếu nghiêm túc. Tuy nhiên, ngày nay, luật chơi đang đảo ngược lại. Trong thế giới điện ảnh, cặp đen/trắng đã lấy lại sức mạnh của nó và đang trở thành một. Một số chuyên gia điện ảnh thích phim đen và trắng hơn là phim màu để chơi với ánh sáng và bóng tối, và bằng các trò chơi tương phản sáng và tối này để gợi mạnh hơn không khí, xúc cảm và tâm cảnh khác nhau. Nhờ có cặp đen/trắng này, họ nghĩ, có thể gợi tốt hơn sự huyền bí, tính bi kịch và thi ca, nỗi hoài niệm, hay ngược lại, gợi sự nhẹ nhàng duyên dáng, hạnh phúc và vui vẻ.

### *Màu vàng không được ưa thích*

Màu vàng nằm cuối cùng trong sáu màu cơ bản của cuộc sống hàng ngày, những màu chuyển tải các biểu tượng, các quy ước và các ý nghĩa bị che giấu, ảnh hưởng đến xúc cảm, cách hành xử, ngôn ngữ và óc tưởng tượng của chúng ta, và tôn lên sự lộng lẫy và đa dạng của thế giới. Ở châu Á và Nam Mỹ, màu vàng rất được ưa thích và chiếm vị trí ưu tiên. Trong các nước châu Á, màu vàng thường gắn với ý nghĩa về quyền lực và giàu có. Ở Trung Quốc, đó là màu của vua chúa. Nó cũng hàm nghĩa sự thông thái và trí tuệ: chẳng hạn, trang phục của các nhà sư có sắc vàng nâu. Ở phương Tây, trong suốt một thời gian dài màu vàng nằm trong số các màu không được ưa thích. Tuy nhiên, gần đây tình hình này đã bắt đầu thay đổi và màu vàng đã bắt đầu khôi phục lại quyền

năng của nó. Sự chối bỏ trước kia đối với màu vàng rất có thể do sự so sánh bất lợi cho nó với màu vàng của Mặt trời, nguồn của ánh sáng và sự sống, năng lượng và nhiệt lượng, sức mạnh và niềm vui. Màu ánh vàng cũng là màu của kim loại quý, đồng nghĩa với sự thịnh vượng và giàu có. Đặt bên cạnh vàng kim loại, màu vàng gọi đến những hình hài nhợt nhạt: lò mò và buồn, nó gọi đến sự già nua, suy tàn, bệnh tật và chết chóc. Người có da vàng khi bị bệnh gan. Vàng cũng là màu của lá cây tàn úa mùa thu.

Trong trí tưởng tượng của công chúng, tính tiêu cực của màu vàng còn bị tô đậm thêm theo nhiều thế kỷ. Vì các lý do huyền bí nào đó, ở thời Trung Cổ, nó không chỉ gắn với biểu tượng về sự suy tàn, mà còn cả với sự đối trá: màu vàng đã trở thành biểu tượng của sự phản nghịch, gian xảo và bất nghĩa. Có lẽ bởi vì nó là màu của lưu huỳnh, một chất gọi lên sự nham hiểm quý ác. Trong trí tưởng tượng ở thời Trung Cổ, màu vàng gắn liền với gã tông đồ Judas, kẻ đã giao nộp Chúa cho kẻ thù chỉ vì ba mươi đồng bạc. Các họa sĩ thời Trung Cổ gần như ai cũng vẽ Judas mặc áo choàng vàng, mặc dù màu này không hề được nhắc tới trong Kinh thánh. Các hiệp sĩ phản nghịch cũng được miêu tả là mặc quần áo màu vàng. Màu vàng trở thành màu của phản bội, của những kẻ bất lương bị mọi người khinh bỉ và xỉ nhục. Ở thời Trung Cổ, người ta sơn màu vàng các ngôi nhà của những kẻ làm tiền giả. Tai tiếng này của màu vàng, gắn với sự suy tàn và đối trá, đã tồn tại qua thời gian. Vào thế kỷ XIX, người ta vẫn còn vẽ biếm họa các ông chồng bị cầm sừng bằng màu vàng. Một kẻ phá đám đình công, phản bội phong trào tổng bãi công cũng được gọi là một “tên vàng”.

Biểu tượng cho sự suy tàn và đối trá đã dẫn đến một hàm nghĩa xấu còn nghiêm trọng hơn, đó là sự loại bỏ, trục xuất, tẩy chay: màu vàng đã trở thành màu mà thông qua nó người ta muốn loại bỏ hay kết tội một ai đó. Bằng cách thiết lập quy định buộc người Do Thái phải đeo ngôi sao màu vàng trong những năm 1940, Đức quốc xã thực ra đã mượn ý nghĩa biểu trưng Trung Cổ của màu vàng. Thực tế, ở thời kỳ Trung Cổ, để nhận dạng người Do Thái và ngăn chặn các cuộc kết hôn giữa người Thiên Chúa và Do Thái, các hội đồng giám mục đã buộc những người này phải mang một dấu hiệu phân biệt màu vàng (đôi khi là màu đỏ) trên quần áo.

### *Màu vàng được phục hồi quyền năng*

Dù bị mang tiếng xấu và rơi xuống đến địa ngục, nhưng màu vàng đã bắt đầu phục hồi từ từ và được khôi phục địa vị vào cuối thế kỷ XIX, nhờ công

đầu của các nghệ sĩ và thế giới thể thao. Trong khi màu vàng gần như đã biến mất khỏi các cửa kính của các nhà thờ từ thế kỷ XII, nhường chỗ cho màu xanh lam và màu đỏ, và khi các họa sĩ thời Phục Hưng rất ít sử dụng nó trong các bức tranh, thì nó đã trở nên nổi bật với các họa sĩ ấn tượng. Chỉ cần ngắm sự phối hợp các màu vàng trong bức *Đêm sao* của Vincent Van Gogh (1853-1890), hay sắc vàng rực rỡ của cánh đồng lúa mì hay của Mặt trời trong các bức tranh phong cảnh của ông (như *Hoa mào gà*) là đủ thấy rõ điều này. Màu vàng đã ào ạt trở lại, các nghệ sĩ đã từ bỏ ánh sáng nhân tạo của xưởng vẽ để khám phá ánh sáng tự nhiên của ban ngày. Nhưng cả ánh sáng nhân tạo cũng góp phần vào sự phục hồi giá trị cho màu vàng. Như chúng ta đã thấy, sự thấp sáng bằng điện cũng đã xuất hiện vào cuối thế kỷ XIX nhờ thiên tài của Thomas Edison. Các bóng đèn điện phát ra thứ ánh sáng vàng nhạt chỉ tái tạo được một cách gần đúng ánh sáng ban ngày. Sự hiện diện của màu vàng trong thế giới hội họa còn mạnh mẽ hơn với phong trào dã thú, rồi với nghệ thuật trừu tượng đề cao sự hòa tan các hình khối và sự tối thượng của màu sắc.

Màu vàng trở lại mạnh mẽ trong trí tưởng tượng của công chúng còn nhờ thể thao nữa. Người chiến thắng trong cuộc đua xe đạp Vòng quanh nước Pháp được mặc chiếc áo vàng. Màu vàng lần này không phải gắn với biểu tượng về sự suy tàn hay phản bội, mà với biểu tượng về sự cố gắng, lòng dũng cảm, sự kiên trì, dẻo dai và chiến thắng. Ngôn ngữ phổ thông ngày nay sử dụng thành ngữ “áo may ô vàng” để chỉ người vô địch trong mọi cuộc thi đấu thể thao, chứ không hẳn chỉ trong môn đua xe đạp. Nguồn gốc của thành ngữ này bắt nguồn khá lý thú từ màu vàng nhạt của một tờ báo thể thao tên là *Ô tô*, ông tổ của tờ *Équipe* của Pháp ngày nay, và tờ báo này đã tung ra một chiến dịch quảng cáo về cuộc đua Vòng quanh nước Pháp năm 1919. Màu các trang của tờ báo này đã trở thành màu của người chiến thắng. Bóng đá, môn thể thao được khắp hành tinh yêu thích, cũng đã giúp đỡ rất nhiều cho sự phục hồi giá trị của màu vàng. Thực tế, màu vàng và màu xanh lục là các màu rất được các đội bóng Nam Mỹ ưa thích. Và vì hiện nay bóng đá thế giới do một vài trong số các đội bóng này (như Brazil) thống trị, nên màu vàng đã trở lại đây tính thuyết phục sau những bước trượt dài xuống địa ngục.

### *Chất xám và cuộc sống màu hồng*

Nếu tồn tại sáu màu cơ bản trong cuộc sống hàng ngày – lam, đỏ, lục, trắng, đen và vàng -, những màu đã được xác định một cách độc lập mà không cần

sự quy chiếu nào với tự nhiên, thì cũng tồn tại các màu thứ cấp, những màu, mà trái lại, đòi hỏi phải có một sự quy chiếu để được xác định, như một bông hoa (đối với màu hồng hay màu tím violet) hay một quả (đối với màu hạt dẻ hay màu da cam), chẳng hạn. Các màu thứ cấp này cũng mang nặng những ý nghĩa và biểu tượng. Chẳng hạn, màu hồng (*rose*) gọi đến sự dịu dàng (như thành ngữ “cuộc sống màu hồng”) và nữ tính, thậm chí cả sự màu mè (như trong thành ngữ “*un roman à l'eau de rose*” để chỉ loại tiểu thuyết màu mè), màu hạt dẻ gọi đến sự nghèo khó và hèn mọn (đó là màu quần áo của các thầy tu ở phương Tây), nhưng đôi khi cũng là bạo lực và tàn nhẫn, từ khi quân đội của Hitler dùng nó làm màu đồng phục cho mình. Màu tím gắn với sự già nua của nữ và quần áo mẫn tang, trong khi màu da cam biểu thị sức sống, sự thoải mái, sức khỏe và niềm vui. Màu xám chiếm một vị trí riêng trong số các màu thứ cấp, vì, trái với các màu khác, nó không quy chiếu đến bất kỳ loài hoa hay quả nào. Nó có hai ý nghĩa biểu trưng: đó là màu của nỗi buồn và phiền muộn, nhưng nó cũng là màu của trí tuệ, như trong thành ngữ “chất xám”, vì các neuron cấu thành bề mặt của não có màu xám hồng.

Ngoài các màu cơ bản và thứ cấp, mắt người nhạy cảm với khoảng hai trăm sắc màu khác. Ngôn ngữ phổ thông chỉ sự đa dạng các sắc thái này bằng cách kết hợp hai từ chỉ màu với nhau (như trong các từ “đỏ-cam”, hay “xám-hạt dẻ”), hoặc thêm một tính từ vào tông của màu (như màu “ghi sáng” hay “ghi sẫm”), hoặc quy chiếu đến hoa quả (như các màu “anh đào” hay “phúc bồn tử”), thậm chí đến các vật trong cuộc sống hàng ngày (như “màu cát” hay “ngà”). Nhưng, khác với các màu cơ bản và màu thứ cấp, các sắc màu này không gắn với bất kỳ một biểu trưng nào và chỉ có ý nghĩa thuần túy thẩm mỹ.

### *Đối thoại giữa nghệ thuật và khoa học*

Các màu nói với chúng ta và tác động đến chỗ sâu thẳm nhất của chúng ta. Nhưng không thể có màu sắc mà không có ánh sáng. Chính với ánh sáng, cùng các thăng giáng và các sắc thái của nó, mà các màu trở nên rực rỡ thêm hay nhạt bớt đi, mà chúng thu hút sự chú ý của chúng ta hay lặng lẽ trôi qua mà chẳng ai để ý tới. Các phát hiện khoa học về bản chất của ánh sáng và các cơ chế của thị giác đã ảnh hưởng sâu sắc đến cách nhìn thế giới của các nghệ sĩ, các bậc thầy về sử dụng màu sắc và biểu diễn ánh sáng. Hai thế kỷ gần đây chúng ta đã được chứng kiến một cuộc đối thoại hiệu quả giữa khoa học và nghệ thuật. Các nghệ sĩ của thế kỷ XIX đã bị sự phát hiện ra bản chất sóng của



ánh sáng mê hoặc. Ý thức được rằng không chỉ ánh sáng lan truyền như một sóng, mà âm thanh cũng lan truyền tương tự, các họa sĩ đã tin rằng họ sống trong một thế giới các rung động, mà bằng mọi cách phải tái hiện được trên toan nhờ các đường nét và màu sắc. Họ đã tri giác như một nhạc sĩ gắn kết các âm thanh để soạn ra một bản giao hưởng.

Bạn có thể băn khoăn tự hỏi tại sao nhận thức này lại đến muộn như thế, bởi vì Young và Fresnel đã chứng minh ánh sáng có bản chất sóng ngay từ cuối thế kỷ XVIII kia mà. Nhưng, giữa khoa học và nghệ thuật, luôn tồn tại một hiệu ứng trễ: cần phải có một thời gian nhất định thì các khám phá khoa học mới đến được với công chúng thông qua các nhà phổ biến kiến thức khoa học tài năng và để chúng có thể đi vào ý thức của công chúng. Nhưng đó là một sự chậm chễ làm phong phú thêm trên phương diện nghệ thuật, vì khoảng thời gian này cho phép người nghệ sĩ hấp thụ thông tin vào tận vô thức của mình và diễn giải các yếu tố khoa học một cách trực giác và giàu chất thơ.

Trong nửa sau thế kỷ XIX, quang sinh lý học đã đạt được những tiến bộ quan trọng chủ yếu nhờ những nghiên cứu của nhà vật lý và sinh lý học người Đức Hermann von Helmholtz (1821-1894). Suy nghĩ rằng hành động nhìn diễn ra theo hai giai đoạn, rằng thị giác không chỉ xảy ra ở cấp độ mắt, mà còn ở cả cấp độ não nữa, đã đi vào ý thức của các nghệ sĩ. Họ đã nhận ra rằng không chỉ các tia sáng tạo ra một “ấn tượng” lên võng mạc, mà ấn tượng này còn được các dây thần kinh của võng mạc truyền lên não, ở đó nó được chuyển hóa thành các “cảm giác”. Sự lĩnh hội hiện thực không còn là khách quan nữa, mà trở thành chủ quan. Họa sĩ người Pháp Edgar Degas (1834-1917) đã diễn tả quan điểm này: “Trong hội họa, vấn đề không phải là tái hiện cái bạn nhìn thấy, mà là làm cho người khác thấy cái mà bạn cảm nhận”.

### *Sự rung rinh của khí quyển và ánh sáng*

Họa sĩ người Anh Joseph Mallord William Turner (1775-1851) là người đầu tiên sử dụng ánh sáng bằng bàn tay bậc thầy để gọi các ấn tượng và cảm giác về hiện thực. Sau các chuyến du lịch ở Italia và chủ yếu là sau khi đến Venice, thành phố của những chiếc thuyền *gondole*, nơi ánh sáng không ngừng đùa giỡn với nước tù, trong một tác phẩm hướng nhiều hơn đến ánh sáng, ông đã bắt đầu hòa tan các hình khối của hiện thực trong sự rung rinh của khí quyển và ánh sáng. Là người báo trước chủ nghĩa ấn tượng Pháp, bằng tài năng bậc thầy trong những trò chơi ánh sáng, đặc biệt là trên trời và trên mặt nước,

họa sĩ người Anh này quan tâm đến khả năng gợi và gây cảm xúc của hiện thực hơn là chính bản thân hiện thực. Trong các bức tranh của ông, các quang ảnh sáng chói lóa làm mờ nhạt đi các hình khối, hợp nhất trời, nước và đất với nhau. Trong các bức tranh về Venise, mắt phải vất vả mới phân biệt được các đường viền của các cung điện và các kênh đào, vì nó bị chói bởi ánh sáng rực rỡ. Cách miêu tả hiện thực các công trình nghệ thuật nhường chỗ cho các bức tranh bão hòa ánh sáng ở đó chỉ vài ba motif hiện lên trong sự chói lóa ánh sáng nhấn chìm các chi tiết, đem lại sự thích thú hoặc bất đồng, nhưng không bao giờ khiến người xem thờ ơ. Tương tự, trong các bức *Phong ảnh sông Thames*, Turner đã chơi với ánh sáng và sương mù Luân Đôn để diễn tả tính chất phù du của các sắc màu và sự bốc hơi các hình khối trong một ánh sáng không ngừng thay đổi trong ngày (H. 29 trong tập ảnh màu).

Bằng cách chơi như vậy với ánh sáng, họa sĩ đã đẩy nghệ thuật vượt ra ngoài chính bản thân tự nhiên. Bằng cách khám phá đến tận cùng các phản xạ, sự rực rỡ của ánh sáng, và các hình khối sáng trong tự nhiên, ông đã tạo ra các tác phẩm làm con mắt phải bối rối còn hơn cả tự nhiên. Vì mục đích của Turner không phải là tái hiện một cách trung thành một phong cảnh hay một cảnh tượng, mà là nắm bắt cường độ của thời điểm và tái tạo toàn bộ xúc cảm của nghệ sĩ trước phong cảnh tự nhiên và các công trình mà con người đã dựng nên. Bằng cách tạo cho tự nhiên một tâm hồn, họa sĩ không chỉ làm cho chúng ta thấy được nó, mà còn chứng tỏ cho chúng ta thấy công sức của trí tưởng tượng của ông và sự nhạy cảm của ông trước tự nhiên này. Bằng cách đó, ông đã hài hòa một cách tuyệt đối với phong trào lãng mạn trong văn học mà Goethe là một trong những gương mặt tiêu biểu nhất.

### *Hoài niệm về một thế giới đã mất*

Sự hòa tan các hình khối, sự từ bỏ tính hoàn hảo hình thức của nét vẽ cổ điển, các trò chơi ánh sáng được Turner đưa vào hội họa sau đó đã nở rộ trong trào lưu ấn tượng Pháp, mà nhân vật tiêu biểu nhất chắc chắn là họa sĩ Claude Monet (1840-1926). Và lại chính một bức tranh của Monet đã là nguồn gốc của tên trào lưu nghệ thuật có lẽ là nổi tiếng nhất và phổ biến nhất này của lịch sử nghệ thuật. Khoảng ba thập kỷ trước khi kết thúc thế kỷ XIX, Monet là một nghệ sĩ trẻ đang đi tìm một phong cách mới có khả năng giải phóng khỏi những gò bó của chủ nghĩa cổ điển của Viện Hàn lâm nghệ thuật. Đối với Viện Hàn lâm bị khép kín trong các tiêu chí thẩm mỹ cứng nhắc và được xác định hết

sức chặt chẽ này, thì lý tưởng về cái đẹp được biểu diễn chỉ bằng các mô hình của điêu khắc cổ đại. Để lánh cuộc chiến tranh Pháp-Phổ năm 1870, Monet đã chuyển đến Luân Đôn sống trong một năm, và tại đây ông đã khám phá tác phẩm của Turner trưng bày tại *National Gallery*. Trở về Pháp, Monet bắt đầu áp dụng các bài học rút ra từ các bức tranh của họa sĩ bậc thầy Turner: các hình khối cấu trúc nhường vị trí hàng đầu cho ánh sáng, khám phá các phản xạ và sự rục rờ của ánh sáng trên mặt nước, sự tung toé của ánh sáng nhấn chìm các chi tiết. Chuyển đến Havre, nơi ông làm việc cùng với họa sĩ vẽ biển Eugène Boudin (1824-1898), và trong hai năm 1872-1873, Monet đã vẽ từ cửa sổ phòng mình cảnh hải cảng lúc Mặt trời mọc. Hiện trên bức tranh là cảnh “Mặt trời trong hơi nước đọng lại và ở cận cảnh là một vài cột buồm chĩa thẳng lên trời”. Ông đã gửi bức tranh cho triển lãm đầu tiên của các nghệ sĩ độc lập, diễn ra năm 1874 ở nhà nghệ sĩ nhiếp ảnh Nadar ở Paris. Được tổ chức bởi một nhóm khoảng ba chục họa sĩ (trong đó có Eugène Boudin, Paul Cézanne, Edgar Degas, Berthe Morisot, Camille Pissarro, Auguste Renoir và Alfred Sisley) cùng với một số nhà điêu khắc, Triển lãm của những người độc lập này đã được mở để chơi lại các triển lãm chính thức đã từ chối tác phẩm của họ. Ban đầu Monet đặt tên cho bức tranh của ông là *Biển*. Khi người ta giục ông đặt một cái tên rõ hơn để đưa vào catalogue của triển lãm, ông đã rất lúng túng. “Nó thực sự không thể đổi thành *Le Havre* được, ông trả lời. Thôi thì cứ gọi nó là *Ấn tượng, mặt trời mọc vậy*”. Trong bài báo của mình, một nhà phê bình nghệ thuật đã chế diễu bịa ra thuật ngữ “chủ nghĩa ấn tượng” để vui dập bức tranh. Nhưng rồi thuật ngữ này đã được giữ lại: các họa sĩ của trường phái ấn tượng đã dùng lại nó trong các cuộc triển lãm sau.

Các họa sĩ ấn tượng đã biến ánh sáng thành yếu tố cốt yếu và chuyển động trong tranh của họ. Còn các đường thì nhoè, các nét thì nhanh. Các hình khối trở nên nhạt nhoà và người ta chỉ còn thấy các khuôn mặt không còn đường nét rõ ràng, thường mất hết cả bản sắc. Các chủ đề thường được lựa chọn trong cuộc sống hằng ngày được diễn giải tự do tùy theo cách nhìn cá nhân của từng nghệ sĩ, được rút ra từ cuộc sống của chính nghệ sĩ hay của những người thân. Monet và Renoir, Degas và Sisley, Pissarro và Morisot là các nghệ sĩ khác nhau và thế giới quan của họ chắc chắn là không như nhau: *Thiếu nữ cầm hoa* của Renoir cách rất xa với *Nữ thợ là* của Degas. Nhưng các bức tranh ấn tượng đều có tính chất chung là tái hiện một thế giới hạnh phúc bình yên và thư thái, một dạng thiên đường mà mỗi người đều có thể tiếp cận được, dù đó là cảnh sống trong các thành phố hay làng quê, trong các quán cafe hay

trong các phòng khách, trên bờ biển hay bên bờ sông Seine. Chính vì thế, mặc dù trường phái ấn tượng đã gây sốc trong thời gian đầu – những người tân công nó đã khẳng định rằng phụ nữ nhìn các bức tranh này có thể bị đẻ non! -, nhưng nó đã trở nên phổ biến nhất trong số tất cả các trào lưu nghệ thuật. Hơn một thế kỷ sau, sự thèm muốn đối với hội họa ấn tượng vẫn còn nguyên vẹn, các bức tranh được bán với giá cao ngất ngưởng, lên đến hàng chục, thậm chí hàng trăm triệu USD, mặc dù các cảnh mà chúng miêu tả gọi đến một thế giới hoài niệm của các niềm vui và hạnh phúc đã mất gần như không có liên quan gì đến thế giới ngày hôm nay.

### *Nắm giữ thời gian trôi qua*

Các đường nhoè, các nét nhanh, và những khuôn mặt nhạt nhoà, tất cả những điều này phản ánh một mong muốn mới: đó là mong muốn nắm giữ lại khoảnh khắc. Các nghệ sĩ ấn tượng đưa vào một chiều thời gian vào trong các bức tranh của mình. Họ muốn gọi một khoảnh khắc rất xác định, in dấu một độ sáng cụ thể, và bằng cây cọ của mình, họ muốn biểu hiện tất cả các ấn tượng gắn với khoảnh khắc này. Tình yêu đối với tính tức thì này đặc trưng cho cách nhìn ấn tượng của sự biểu diễn hiện thực. Cần phải giữ lại trên toan cái mà Monet gọi là “tính tức thì”, cái hồn của một vật ở một thời điểm nhất định. Những thay đổi mà thời gian và ánh sáng vốn cũng thay đổi in dấu lên dáng vẻ các vật phải được tính đến. Trong khi hội họa hiện thực cũ được thể hiện bằng một biểu diễn đơn giản không thay đổi theo thời gian, như các bức tranh tĩnh vật, thì trường phái ấn tượng lại nhấn mạnh tính sò mó được của vật và khung cảnh, và do đó không còn là các tĩnh vật nữa, mà biến đổi theo ánh sáng và thời điểm của ngày. Trong cách nhìn này, các màu sắc không còn là đặc trưng của một vật nào đó, chúng tiến hóa tùy theo độ sáng. Chúng là những dấu hiệu bên ngoài của thời gian trôi. Monet hiểu rằng ông chỉ có thể tái tạo cái hồn cốt của một vật bằng cách chứng tỏ dáng vẻ của nó thay đổi với thời gian như thế nào. Bản chất của các vật không chỉ được phát lộ bởi các chiều không gian của chúng, mà còn cả bởi chiều thời gian của chúng. Hơn một thập kỷ sau, trực giác nghệ thuật của Monet đã được khẳng định bằng khoa học, khi Albert Einstein khám phá ra mối liên hệ mật thiết giữa thời gian và không gian qua lý thuyết tương đối hẹp của ông năm 1905. Kể từ đó, một nhà vật lý không thể nói về cái này mà không nhắc đến cái kia.

Trong số các họa sĩ ấn tượng, không một ai tái hiện thiên nhiên giàu xúc cảm như Monet. Nếu Renoir là họa sĩ của các thiếu nữ cầm hoa, thì Monet lại là họa sĩ của các khu vườn, cây cối, hoa cỏ, của trời và biển: “Tôi thực sự là người của cây cối cách biệt và các không gian rộng mở”. Kể từ năm 1888, để biểu diễn thời gian trôi, ông bắt đầu vẽ các loạt tranh biểu diễn cùng một motif và cảnh, nhìn từ cùng vị trí nhưng ở các thời điểm khác nhau trong ngày: “Tôi biết rõ rằng, để thực sự vẽ biển, cần phải nhìn nó hàng ngày, hàng giờ và ở cùng một vị trí, để biết sự sống ở nơi đó; tôi vẽ lại cùng các motif cho tới bốn, thậm chí sáu lần”. Rất có thể Monet lấy cảm hứng từ các loạt tranh vẽ bằng bút chì của Nhật Bản, như *Một trăm bức tranh về núi Phú Sĩ*, của Hokusai, rất được giới nghệ sĩ đương thời yêu thích. Năm 1891, ông giới thiệu loạt tranh đầu tiên: mười lăm bức tranh đồng rom, tập hợp ánh sáng minh họa những biến thái gần như vô tận của các hiệu ứng ánh sáng theo thời điểm của ngày và mùa (H.30 trong tập ảnh màu). Chúng ta hãy nghe họa sĩ miêu tả trạng thái tinh thần của ông trong khi thực hiện loạt tranh *Đồng rom*: “Tôi trở thành một người chậm chạp làm công việc khiến tôi thất vọng; nhưng càng đi, tôi càng nhận thấy cần phải làm việc nhiều để diễn tả cái mà tôi tìm kiếm, tính tức thì, đặc biệt là vẻ ngoài, với cùng một thứ ánh sáng lan tỏa khắp nơi... Tôi suốt ngày cặm cụi, tôi say mê với một loạt các hiệu ứng khác nhau của các đồng rom, nhưng ở thời điểm đó, Mặt trời lặn nhanh tới mức tôi không thể theo kịp được nó... Tôi không có mong ước nào khác là được hòa quyện vào Tự nhiên, và tôi không có khát vọng nào khác là làm việc và sống hài hòa với các quy luật của nó, như Goethe đã từng khuyên. Tự nhiên là Vĩ đại, Sức mạnh và Bất tử. So với tự nhiên, con người chỉ là một nguyên tử nhỏ bé đáng thương”.

Sau khi tập trung vào các đồng rom với các màu sắc tuyệt diệu, Monet tiếp tục các nghiên cứu của mình về ánh sáng bằng cách tập trung sự chú ý vào mặt tiền của một nhà thờ kiến trúc kiểu gôtic. Năm 1892, ông chuyển đến sống trong một phòng khách sạn quay ra mặt phía Tây của nhà thờ Rouen. Trong suốt một năm, ông đã vẽ khoảng hai chục bức tranh về cùng một mặt của nhà thờ này bằng quan sát kỹ lưỡng trò chơi của ánh sáng và bóng tối trên các motif của nhà thờ trong suốt nhiều giờ và nhiều ngày. Ở một số thời điểm, ông vẽ cùng lúc 14 bức tranh, chạy từ bức này sang bức kia, để có thể nắm bắt được những thay đổi dù là nhỏ nhất của màu sắc và ánh sáng. Mỗi ngày ông lại phát hiện một khía cạnh chưa từng thấy mà ông phải thêm vào tranh, và nhiệm vụ của ông dường như không bao giờ chấm dứt đích. Trong một bức thư gửi Alice, vợ ông, Monet đã miêu tả sự day dứt của mình: “Anh

phải bỏ thôi, anh không thể tiếp tục được nữa, và một điều chưa từng bao giờ xảy với anh, là anh đã có một đêm đầy ác mộng: nhà thờ đổ xuống đầu anh, trông nó lúc thì màu lam lúc thì màu hồng lúc lại màu vàng”. Trong một bức thư khác, ông diễn tả sự thất vọng của mình trước khó khăn sáng tạo: “Thời gian lưu lại của tôi ở đây sắp hết, điều này không có nghĩa là tôi sắp kết thúc các bức tranh về nhà thờ của tôi. Chao ôi! Tôi chỉ có thể nhắc lại điều này: rằng càng vẽ, thì tôi càng khó tạo ra cái mà tôi cảm nhận; và tôi tự nhủ rằng kẻ nào nói đã hoàn thành một bức tranh là một kẻ kiêu ngạo kinh khủng. Kết thúc có nghĩa là đầy đủ, hoàn hảo, tôi đã rất cố gắng nhưng không tiến lên được, tìm kiếm, mò mẫm, mà không đạt được cái gì lớn lao, nhưng lại sắp mệt mỏi vì nó... Tôi sẽ không thể đạt đến cái gì hay ho cả. Đó là sự phết chống các màu sắc lên nhau, chứ không phải là hội họa”.

Monet không phải là một người mộ đạo. Trong sự ương ngạnh của ông đối với việc quan sát kỹ lưỡng các trò chơi của ánh sáng trên mặt trước của nhà thờ Rouen, ông đối xử với một nơi tín ngưỡng đáng kính ấy chẳng khác gì với một đồng rom khô hay một cây bạch dương, Monet dường như muốn nói với chúng ta rằng hành động nhìn và luôn giữ ý thức, luôn chủ quan và thay đổi, quan trọng hơn bất kỳ niềm tin nào: “Không phải ánh sáng và bóng tối là đối tượng trong tranh của tôi, mà bức tranh được đặt trong bóng tối và ánh sáng”.

### *Trái tim tôi ở Giverny, mãi mãi và mãi mãi*

Năm 1883, Monet chuyển đến sống gần làng Giverny, cách Paris khoảng 80 kilomet, và đã ở lại đây cho đến khi mất, năm 1926. Trong một bức thư gửi nhà buôn tranh Paul Durand-Ruel, năm 1890, ông viết: “Tôi buộc phải yêu cầu ông rất nhiều tiền, để mua ngôi nhà hiện tôi đang ở hoặc là phải rời Giverny, điều sẽ làm tôi rất buồn, vì tôi chắc rằng sẽ không bao giờ thấy được một nơi ở cũng như một xứ sở đẹp đến vậy”. Monet đã cho cải tạo ở đây một khu vườn nước, bất đối xứng, với những đường cong uốn lượn, phóng theo các khu vườn Nhật Bản mà ông biết qua các bức tranh vẽ bằng bút chì của Nhật mà ông là một người sưu tập nhiệt tình. Say mê cỏ cây, ông trồng hoa, liễu, các khóm tre và những cây hoa súng nổi tiếng, và ông trang trí khu vườn bằng một cây cầu Nhật Bản tuyệt vời phủ đầy cây đậu tía. Khu vườn nước này – “hậu cung tự nhiên” của ông, theo lời của một nhà lịch sử nghệ thuật – được ông sử dụng làm chủ đề để khám phá ánh sáng và màu sắc trong những ngày cuối đời. Ông đã lấy từ đó các mô-típ cho các bức tranh đẹp nhất trong sự

nghiệp của ông: “Tôi đang sống trong mê li; Giverny là một xứ sở tuyệt đẹp đối với tôi... Trái tim tôi ở Giverny, mãi mãi và mãi mãi...”.

Sự sắp xếp khu vườn của Monet (bị rơi vào hoang tàn sau khi ông qua đời, nhưng ngày nay đã được cải tạo và được rất nhiều đoàn khách du lịch trên toàn thế giới (nửa triệu người mỗi năm) tới tham quan) diễn ra trong hai giai đoạn. Đầu tiên là “Clos Normand”, phần trước của ngôi nhà, rất giàu màu sắc, phối cảnh và cân xứng. Không thích các khu vườn được tổ chức, Monet pha trộn ở đây các loại hoa tùy theo màu sắc của chúng. Chỉ đến năm 1893, khi đã bước vào tuổi 50, ông mới bắt tay xây dựng phần thứ hai của khu vườn, một khu vườn nước nằm ở bên kia đường, được cấp nước bởi một con ngòi nhỏ tên là Ru, một nhánh của Epte, phụ lưu của sông Seine. Monet đã cho đào ở đây một cái ao: “Có một ngòi nước nhỏ, Epte, chảy từ Gisors, quanh mảnh đất của tôi. Tôi đã cho đào một cái rãnh để dẫn đây nước vào một cái ao nhỏ trong vườn. Tôi thích nước, nhưng tôi cũng thích hoa. Tôi xem một catalogue và đã chọn ngẫu nhiên, vậy thôi.” Việc đào ao đã vấp phải sự phản đối của hàng xóm, vì họ sợ Monet làm bẩn nước và trồng các loại cây kỳ dị. Monet đã phải viết thư cho tỉnh trưởng tỉnh Eure để nói rõ: “Đây chỉ là một trò giải trí và vì niềm vui cho mắt, và cũng vì một mục đích tạo các motif vẽ; tôi không trồng gì trong cái ao này ngoài vài loại cây như hoa súng, hoa hồng, các giống đuôi diều sống bám vào nhau trong tự nhiên dọc theo con suối của chúng ta, và không có chuyện làm bẩn nước”. Rất may cho lịch sử nghệ thuật, tỉnh trưởng đã đứng về phía các lập luận của Monet và đã ủng hộ ông.

Chưa hề có một nghệ sĩ nào đã nhào nặn tự nhiên theo cách này trước khi vẽ nó, và làm như vậy cũng tức là tạo ra tác phẩm của mình hai lần. “Ngoại trừ hội họa và làm vườn, tôi chẳng giỏi việc gì hết”, Monet tâm sự. Trong hơn hai mươi năm, ông đã lấy cảm hứng của mình trong vườn nước này. Sau loạt tranh về các cây cầu Nhật Bản, ông lại chuyên tâm vào loạt tranh hoa súng: “Tôi bỗng phát hiện ra những cảnh kỳ diệu của cái ao. Tôi bèn lấy bảng màu ra. Và kể từ lúc đó, tôi không còn hình mẫu nào khác nữa”. Tuy nhiên, ông đã trồng những cây hoa súng này mà không hề có một dụng ý nào: “Tôi dành thời gian để tìm hiểu những cây hoa súng của tôi... Tôi đã trồng chúng vì niềm vui; tôi chăm sóc chúng mà không hề nghĩ rằng mình sẽ vẽ chúng... Một khung cảnh không thể thấm đẫm vào bạn chỉ trong một ngày...” Monet tiếp tục cố gắng nắm bắt thời khắc và cố định lên toan ánh sáng liên tục chuyển động và các màu sắc liên tục thay đổi: “Người ta mang đến cho tôi hết toan này đến toan khác. Trong không khí, một màu tái xuất hiện mà hôm qua tôi đã thấy và

đã phác trên một trong các bức toan này. Rất nhanh, người ta chuyển cho tôi bức tranh này và tôi cố gắng hết sức có thể để cố định vĩnh viễn cái nhìn này. Nhưng, nhìn chung, nó biến mất cũng nhanh như nó xuất hiện, để nhường chỗ cho một màu sắc khác đã được đặt từ nhiều ngày trước trên một hình nghiên cứu khác mà người ta đã đặt tức khắc trước mặt tôi... Và điều này cứ như thế diễn ra suốt ngày..."

*Các kết nối màu sắc không ngắt quãng*

Ngoại trừ những quan tâm liên quan đến thời gian và ánh sáng, Monet cũng đã đưa vào trong tranh một đối mới quan trọng liên quan đến không gian. Bức tranh là một mặt phẳng trên đó họa sĩ đặt một sự phối hợp các chất màu. Các dấu hiệu thị giác là cần thiết để tạo cho người xem một sự định hướng của bức tranh: trên và dưới, phải và trái. Sử dụng các định luật phối cảnh, họa sĩ mang đến cho chúng ta khái niệm về gần và xa. Ngay từ năm 1891, tác phẩm của Monet đã rời xa chiều sâu của cảnh vốn đặc trưng cho các bức tranh ấn tượng thời kỳ đầu. Các cảnh ba chiều không gian trở thành hai chiều. Họa sĩ ngày càng loại bỏ chiều sâu. Ngay trong loạt tranh *Bạch dương*, Monet đã quy giản khung cảnh thành ba dải màu sắc phẳng. Ông còn đi xa hơn nữa trong loạt tranh *Hoa súng*: "Tôi tìm cách để làm một cái gì đó mà tôi chưa bao giờ làm được, một tiếng xào xạc mà tranh của tôi còn chưa tạo được".

Monet ngày càng tập trung sự chú ý của mình không phải vào các bông hoa hay cây hoa súng, mà vào sự phản xạ của nước, để tìm kiếm một thế giới bị chất lỏng làm cho biến hình: "Các hiệu ứng biến thiên liên tục, không chỉ từ mùa này sang mùa khác, mà còn từ phút này sang phút khác, bởi vì các loài hoa nước không tạo ra toàn bộ cảnh; mà thực sự, chúng chỉ là phần đệm... Cái cốt yếu của mô-tif là mặt gương nước mà bề ngoài của nó thay đổi từng phút do các khoảng trời được phản chiếu trên đó và mang lại cho nó ánh sáng và chuyển động". Nước choán đầy bức tranh và bầu trời không còn nhìn thấy được nữa, ngoại trừ khi được phản chiếu lên mặt nước. Monet miệt mài cố định lên toan các cuộc hôn phối phù du nhất của nước và trời: "Các khung cảnh nước và những phản chiếu đã trở thành nỗi ám ảnh của tôi. Chúng vượt ra ngoài khả năng già dặn nhất của tôi, và bất chấp tất cả, tôi muốn thể hiện thành công điều mà tôi cảm nhận. Tôi đã phá bỏ một số bức tranh... Rồi lại bắt đầu một lần nữa... Và tôi hy vọng một cái gì đó cuối cùng sẽ thoát ra từ rất nhiều cố gắng".



Đường chân trời cũng không có mặt trong tranh của Monet. Ông rút gọn các bức tranh của mình xuống còn hai thành phần: nước và hoa súng. Trong các bức tranh của ông, sự phân biệt giữa cái trong nước, trên nước, và cái được phản chiếu, trở nên ngày càng khó thực hiện, cho tới khi ba thành phần này chỉ tạo thành một *continuum* của các màu sắc. Không còn tiền cảnh và hậu cảnh nữa. Thay vì, đó là các kết nối màu, không có ngắt quãng. Trong các bố cục đầy lùi các giới hạn của chủ nghĩa hiện thực để tuyên bố nghệ thuật trừu tượng, Monet đã vẽ các hình dạng khó phân biệt tới mức tất cả các dấu hiệu thị giác để định hướng đều biến mất. Ông không quan tâm đến hình học của các hình khối bằng sự kết hợp các màu. Bởi vì các nét không còn phân định ở các biên của vật, nên các màu sắc lan tràn khắp nơi. Bản sắc của các vật trở nên không quan trọng bằng màu sắc của chúng.

### *Seurat và khoa học của nghệ thuật*

Nếu như Monet sử dụng các màu sắc tràn ra mọi phía để thể hiện tính tức thì và nắm bắt ánh sáng và các ấn tượng của thời khắc đang trôi qua, thì về phần mình họa sĩ người Pháp Georges Seurat (1859-1891) lại tìm cách bắt thời gian vào trong tranh, ở đó tính tức thì không còn quan trọng hàng đầu nữa, ở đó tất cả được lập kế hoạch một cách cẩn thận, trật tự, nhưng gợi một cảm giác về vẻ đẹp và độ sáng cũng hết sức mạnh. Seurat xây dựng tác phẩm của mình vào một thời kỳ bản lề của lịch sử nghệ thuật, thời kỳ sau những khởi đầu của chủ nghĩa ấn tượng và trước các trào lưu lớn của nghệ thuật hiện đại thế kỷ XX. Là con đẻ của chủ nghĩa thực chứng và chủ nghĩa lạc quan khoa học nửa sau thế kỷ XIX, ông đã tìm ra con đường của mình rất nhanh. Và thật may mắn cho lịch sử nghệ thuật, vì cuộc đời của Seurat rất ngắn ngủi: sức khỏe kém, ông đột tử vì bệnh viêm họng ở tuổi ba mươi mốt. Seurat là người phát minh ra một phong cách hội họa thuần khiết và cổ điển dựa trên kỹ thuật chấm màu và vì thế được gọi là “trường phái điểm họa”. Bị quyến rũ bởi tiến bộ và khoa học, ông say mê với các phát minh khoa học mới liên quan đến ánh sáng và thị giác. Ông tin rằng thông qua khoa học của nghệ thuật ông sẽ khám phá ra các quy luật của thị giác và hóa học của các màu. Nhờ có bảng tuần hoàn các nguyên tố hóa học, ông thấy dường như cuối cùng con người đã phát hiện ra các cấu thành cơ bản của vật chất và như vậy cũng là của hiện thực. Nếu vật chất có thể được phân tích thành các hạt cơ bản, thì tại sao người ta lại không thể phân tích thị giác thành các thành phần cơ bản nhất và qua đó xây dựng những quy tắc của thị giác?

Trong quá trình nghiên cứu của mình, Seurat đặc biệt bị ảnh hưởng bởi hai tác phẩm. Tác phẩm thứ nhất là *Các quy tắc của nghệ thuật đồ họa*, của Charles Blanc. Charles Blanc từng tuyên bố: “Nghĩa vụ của người nghệ sĩ là nhắc nhở chúng ta lý tưởng, nói cách khác là phát hiện cho chúng ta vẻ đẹp cơ bản của các sự vật, phát hiện ra hồn cốt tinh khiết của chúng và từ các hình dạng nhạt nhòa và tối tăm của chúng trong tự nhiên, rút ra những phẩm chất của chúng”. Seurat đã gạn ra ở đó ý tưởng rằng “màu sắc tuân theo các quy tắc, giống như âm nhạc”, và rằng “các chấm màu tinh khiết, riêng rẽ đặt trực tiếp trên toan, tái tạo cho mắt các tông màu sáng hơn và rung rinh hơn so với cách hòa trộn trước các màu trên bảng màu rồi mới vẽ”.

Nhưng Seurat đặc biệt bị quyến rũ bởi các phát hiện về các màu được nhà hóa học người Pháp Eugène Chevreul, giám đốc xưởng Gobelins, miêu tả trong tác phẩm *Quy luật của sự tương phản được kích thích bởi các màu*, xuất bản năm 1839. Theo Chevreul, chính sự hòa trộn ba màu cơ bản lam, đỏ và vàng, sẽ tạo ra tất cả các màu khác, và được đặt tên là các “màu đôi”. Chẳng hạn, hòa màu vàng với màu đỏ cho ra màu cam; màu lam với màu đỏ cho ra màu tím; màu lam với màu vàng cho ra màu lục. Màu cơ bản không hòa trong thành phần của một màu đôi là màu “bổ sung” của nó. Chẳng hạn, màu lam là màu bổ sung của màu cam; màu vàng - của màu tím; và màu đỏ - của màu lục. Tại sao lại gọi là “bổ sung”? Bởi vì hai màu bổ sung được đặt cạnh nhau sẽ tôn nhau lên, trong khi nếu đem trộn với nhau chúng sẽ trở nên mờ xỉn. Chẳng hạn, màu đỏ đặt cạnh màu lục sẽ tăng cường lẫn nhau, trong khi trộn chúng với nhau sẽ cho ra một màu xám nhạt không có ánh. Như vậy, Chevreul đã chứng tỏ rằng hiệu ứng mờ xỉn của một số màu trên thảm Gobelin không phải là do chất lượng kém, mà do hiệu ứng chủ quan của sự hòa trộn thị giác: các sợi bên cạnh của các màu bổ sung trông mờ xỉn và không có tương phản. Nhà hóa học này đã giải thích rằng mắt gấn cho mọi chấm màu một quang màu bổ sung: một chấm màu cam được bao quanh bởi một quang màu lam, một chấm vàng được bao quanh một quang màu tím. “Sự giao thoa” của các quang màu này làm cho mỗi màu được tri giác khác nhau tùy theo các màu bên cạnh: như vậy một màu không tồn tại tự thân, nó chỉ là nó so với các màu xung quanh nó. Sự tri giác các màu không phải là kết quả của sự phát hiện bởi mắt màu này tiếp sau màu kia, mà là sự tổng hợp của một mạng những tương tác và kết nối phức tạp giữa các màu khác nhau.

## Mắt hòa sắc

Seurat sử dụng các phát hiện của Chevreul để xây dựng lý thuyết “hội họa khoa học” của mình. Theo ông, hội họa là một công cụ nhận thức hiện thực ngang hàng với khoa học, tôn giáo hay triết học. Hội họa phải được tư duy đồng thời với thực hiện. Seurat có ý định áp dụng lần đầu tiên, với một sự chặt chẽ của khoa học, nguyên lý phân chia màu thành các chấm nhỏ hòa trộn với nhau về mặt thị giác – cái mà ông gọi là “chấm màu được chia nhỏ”, hay các nhà lịch sử khoa học gọi là “lối vẽ dùng chấm màu nguyên chất” – để tạo ra một ấn tượng về cái đẹp, về sự hài hòa, bình yên và tĩnh lặng. Các chấm màu trên toan được thu gọn kích thước thành các điểm nhỏ, làm cho kỹ thuật này có tên khác là “lối vẽ điểm họa”. Trong hội họa, nói chung, chính bút vẽ hòa trộn các màu. Bằng nghệ thuật điểm họa của mình, Seurat yêu cầu mắt của người xem phải thực hiện sự hòa trộn này. Khi một bức tranh vẽ theo lối điểm họa được ngắm từ một khoảng cách nhất định, các chấm màu không thể phân biệt được nữa, chúng kết hợp với nhau trong một dạng “đại hợp nhất thị giác”. Bởi vì những biến thái của các tông màu không còn thu được bằng cách hòa trộn các màu trên bảng màu, rồi sau đó mới quét lên toan như trước nữa, nên khía cạnh thị giác mà Seurat thu được, trong mắt của một số người, sẽ vừa sáng hơn vừa tinh khiết hơn.

Tạo ra các màu theo cách hòa trộn các sắc tố trên một bảng màu và theo cách khác là huy động thị giác để hợp nhất các điểm màu dựa trên hai quá trình vật lý khác nhau căn bản:

Khi các màu được sinh ra từ sự hòa trộn các sắc tố, thì chính quá trình này đã rút bớt một phần ánh sáng tham gia: khi ánh sáng rơi trên một sắc tố, thì sắc tố này hấp thụ một số tần số (hay năng lượng) của phổ ánh sáng tới, các tần số này phụ thuộc vào cấu tạo nguyên tử và các mức năng lượng của sắc tố đó, và nó chỉ truyền trở lại mắt của người ngắm phần ánh sáng không bị hấp thụ. Chẳng hạn, hỗn hợp các sắc tố sẽ gửi tới mắt người xem tập hợp những tần số không bị hấp thụ. Khi nghệ sĩ hòa trộn trên bảng màu của mình màu lam với màu vàng để tạo ra màu lục, thì mắt ta không nhìn thấy hỗn hợp của ánh sáng màu lam và vàng, mà nhìn thấy toàn bộ phổ ánh sáng trừ đi các màu bị các sắc tố này hấp thụ. Chẳng hạn, nếu bạn hòa trộn các sắc tố đỏ thẫm, vàng và màu xanh đậm (*cyan*), các màu cơ bản “bị trừ đi”, và bạn sẽ thu được một màu gần như đen.

Ngược lại, khi Seurat đặt cạnh nhau các chấm màu khác nhau và bắt mắt và não của chúng ta thực hiện việc hòa trộn các nguồn ánh sáng khác nhau

này (mỗi chấm màu có thể được coi là một nguồn sáng khác nhau), thì ở đây tham gia cuộc là quá trình cộng chứ không phải là trừ. Chẳng hạn, khi bạn hòa trộn (bằng mắt) các chùm sáng màu đỏ, xanh lục và xanh lơ, thì bạn sẽ thu được một ánh sáng gần như trắng, vì nó chứa gần như hoàn toàn các tần số nhìn thấy được.

Như chúng ta đã thấy, mắt và não đóng một vai trò quan trọng trong quá trình hòa trộn này. Hòa trộn ánh sáng đỏ với ánh sáng lục sẽ cho ra ánh sáng vàng. Nhưng võng mạc của mắt không có một tế bào cảm quang đặc biệt nào nhạy cảm với màu vàng. Năm 1801, nhà vật lý học Thomas Young đã gợi ý rằng trong mắt chỉ có ba loại tế bào cảm quang, đó là những tế bào nhạy cảm với ba màu cơ bản – đỏ, lục và lam (hay tím) -, lý thuyết này về sau đã được nhà sinh lý học Hermann von Helmholtz sử dụng và phát triển, và ngày nay được chấp nhận rộng rãi. Theo lý thuyết này, chính sự kích thích kết hợp của các tế bào cảm quang nhạy với màu đỏ và lục và các tín hiệu thần kinh được gửi lên não cho chúng ta cảm giác về màu vàng. Bằng cách viện đến mắt và não, vô số các điểm màu khác nhau mà Seurat chấm lên toan đã cho phép ông tạo ra một sự hài hòa tinh tế về tỷ lệ giữa màu sắc và tương phản, giữa sự nhạt dần và các tông màu, giữa các sắc thái và các đường nét. Theo Seurat, sự hài hòa tạo nên hồn cốt hay tâm hồn của nghệ thuật, mà kỹ thuật tạo ra nó chỉ là cái vỏ vật lý mà thôi.

### *Biến một bức tranh thành một lò phát sáng*

Seurat thực hiện ở tuổi 25 kiệt tác tuyệt vời nhất của đời ông, *Một buổi chiều chủ nhật trên đảo Bát Lớn* – hiện đang được trưng bày tại Viện Nghệ thuật Chicago -, là tác phẩm sáng lập thực sự ra trường phái điểm họa và là một ví dụ tuyệt vời của “hội họa thị giác” (H. 31 trong tập ảnh màu). Đầu tiên Seurat vẽ khoảng bốn mươi nhân vật và động vật đến tận hưởng ngày trời đẹp trên hòn đảo nhỏ của sông Seine, nơi có thể nhìn thấy toàn bộ Paris bình dân, với những nhóm khiêu vũ nhỏ, quán rượu nhỏ, các cặp dạo chơi và những đứa trẻ chơi đùa. Bằng hai mươi sáu bức tranh chuẩn bị và ba chục “bản nháp”, họa sĩ đã đặt chúng vào trong một khung cảnh yên bình của dòng sông, các con thuyền, cây cối, bóng râm và ánh sáng. Sau rất nhiều điều chỉnh về bố cục và sự cân đối của bức tranh, Seurat đã chuyển cảnh lên một tấm toan lớn kích thước 2x3 mét và bắt đầu kiên nhẫn chấm vô số các điểm màu nguyên chất, các vết dài và rắc rối làm ông phải mất tới gần hai năm trời (1884-1886). Làm chủ hoàn toàn chủ đề của mình, Seurat biết trước màu nào và vết nào cần phải

vẽ, mà không cần phải lùi lại để đánh giá hiệu ứng chung (phòng vẽ chật hẹp không cho phép ông làm điều đó!), mặc dù tranh của ông được vẽ là để nhìn từ khoảng cách vài mét. Các màu sắc cục bộ sẫm hòa trộn với các màu bổ sung nhạt hơn. Mục đích là tạo ra một bức tranh không chỉ gọi ánh sáng, mà bản thân nó phải trở thành một lò ánh sáng. Đi theo chỉ dẫn của Chevreul về sự tương phản đồng thời của các màu sắc – “hai vật đặt cạnh nhau nhưng có các màu khác nhau không trình hiện dưới các màu sắc lần lượt của chúng, mà có một màu tổng hợp ảnh hưởng màu của vật kia” -, bằng cách phân tách các tông màu thành các hợp phần của chúng, nói cách khác là thay thế hỗn hợp các sắc tố thành hỗn hợp thị giác, Seurat đã tạo ra được một tác phẩm có vẻ đẹp tinh khiết và một độ sáng kỳ diệu, toát ra một ấn tượng trang nghiêm, thu thái và yên tĩnh khó tả, ở đó thời gian như ngừng trôi.

Được giới thiệu ở triển lãm của các họa sĩ ấn tượng lần thứ tám năm 1886, *Một chiếc chũm nhật trên đảo Bát Lớn* đã cuốn hút ghé thăm công chúng. Người ta chen chúc nhau trước bức tranh, để ngắm nó thì ít mà để chế nhạo nó và đưa ra các lời chỉ trích nó thì nhiều. Bức tranh gây ra rất nhiều khó hiểu và xáo động. Người ta nói về “con mưa hoa giấy”, các nhân vật khô cứng như “búp bê gỗ”. Người ta coi tác giả của bức tranh là “nhà hóa học nhỏ”. Chỉ có nhà phê bình nghệ thuật Félix Fénéon là nhận thấy tầm quan trọng của tác phẩm và công khai ủng hộ phong cách vẽ mới mà ông gọi là “ấn tượng mới” này. Trong số các họa sĩ ấn tượng, chỉ mình Camille Pissarro (1830-1930), người mà về sau chấp nhận, trong một thời gian, kỹ thuật điểm họa của Seurat, là ủng hộ ông. Bằng cách buộc phải đưa tranh của Seurat vào triển lãm lần thứ tám, Pissarro đã gây ra sự rút lui của Renoir, Monet và Sisley, những người không chấp nhận ý tưởng về một hội họa dựa trên các nguyên lý khoa học. Theo Renoir, “trong hội họa cũng như trong các nghệ thuật khác, không có một quy trình nào, dù rất nhỏ, bằng lòng với việc được biến thành công thức”. Sự nhay cảm của nghệ sĩ chống lại sự xâm nhập của khoa học vào nghệ thuật, chống lại mọi âm mưu gò cương tự nhiên bằng các lý thuyết: “Người ta nghĩ rằng mình đã biết nhiều khi từ các nhà khoa học họ biết được rằng chính sự đối lập giữa màu vàng và màu lam gây ra các bóng màu tím, nhưng khi bạn biết điều đó, bạn lại không biết toàn bộ những thứ còn lại. Trong hội họa có một cái gì đó hơn thế, không giải thích được, mà nó lại là cốt yếu. Bạn tới trước thiên nhiên với các lý thuyết, thiên nhiên sẽ hất đổ tất cả”.

Bất chấp phản ứng ban đầu tiêu cực này và bất chấp sự ngăn ngại của cuộc đời Seurat, các tìm tòi về hình thức và màu sắc của ông về sau đã ảnh hưởng

sâu sắc đến các trào lưu nghệ thuật hiện đại. Seurat đã trở thành thủ lĩnh của trào lưu tân ấn tượng mà sau đó có nhiều người khác tham gia, trong đó đáng chú ý là Pissarro, Paul Signac bạn ông (1863-1935) và, trong một thời gian ngắn, cả Vincent Van Gogh (1853-1890) nữa. Tác phẩm của Signac hướng đến các chấm rộng hơn và đẩy lên cực điểm sự phóng khoáng của các màu sắc mà trường phái dã thú và trào lưu biểu hiện Đức lấy cảm hứng sau này. Còn sự kiểm soát tuyệt đối mà Seurat thực hiện đối với sự nhạy cảm nghệ sĩ của ông để đi đến một sự biểu hiện hoàn toàn được làm chủ, và sự hiểu biết khoa học tuyệt vời trong quan niệm của ông sau đó đã khơi nguồn cho các họa sĩ lập thể và là nguồn gốc của nghệ thuật trừu tượng.

### *Nghệ thuật “đào sâu một bề mặt”*

Mối bận tâm của Seurat trong *Một chiều chủ nhật trên đảo Bát Lớn* không phải chỉ là hòa trộn thị giác các màu. Vấn đề chiều sâu không gian cũng làm ông quan tâm. Ông tuyên bố: “Hội họa, đó là nghệ thuật đào sâu một bề mặt”. Bằng cách kết hợp các đường dọc và ngang, đường cong của chiếc ô và buồm của các con thuyền, các đường chéo của cây sậy, các đường lượn sóng của đuôi chó hoặc khi, bằng cách phân bố trong không gian các tương phản giữa bóng tối và ánh sáng, bằng cách đặt cạnh nhau các chấm màu, Seurat đã tạo ra được những khác biệt sâu sắc của không khí và khép không gian vào trong một phối cảnh “phẳng”.

Vấn đề phối cảnh – hay tái hiện thế nào một không gian ba chiều trên một mặt phẳng hai chiều bằng cách tính đến khoảng cách và vị trí của các vật so với người quan sát – từ lâu đã ám ảnh các nghệ sĩ. Cách đây khoảng 15.000 năm, các bức tranh tường tuyệt đẹp trong hang động Lascaux, ở Dordogne, Pháp, đã chứng tỏ một mối quan tâm đến chiều sâu. Các con vật được vẽ bị cắt một phần, các con bò tốt xa nhất bị các con gần hơn che khuất một phần.

Phối cảnh như chúng ta biết ngày nay vắng bóng trong nghệ thuật Ai Cập, cách đây khoảng 5000 năm. Các nghệ sĩ cổ Ai Cập sử dụng các đường vuông góc, dọc và ngang, để tạo thành một hình ô vuông và thu được các tỉ lệ mong muốn. Nghệ thuật Ai Cập, được đặc trưng bởi khái niệm trật tự, nó muốn trước hết phản ánh trật tự xã hội, chính trị và tôn giáo. Chẳng hạn, kích thước của các nhân vật ở đây được quyết định bởi vị trí xã hội của họ, chứ không phải bởi khoảng cách của họ so với người quan sát: những gương mặt lớn nhất không nhất thiết là những người ở gần nhất, mà là quan trọng nhất trong tôn ti trật

tự. Pharaon luôn lấn át về chiều cao so với các nhân vật khác. Phụ nữ và những người đại diện cho các dân tộc bị chinh phục có kích thước nhỏ bé hơn. Thần thánh quan trọng nhiều hay ít tùy theo quyền năng của từng vị. Mỗi nhân vật (hoặc vật) không được tái hiện bằng một điểm nhìn cụ thể và duy nhất, mà bằng cách đặt nó theo giá trị và làm cho nó dễ nhận thấy nhất có thể. Như vậy, không có sự thống nhất về điểm nhìn. Bất chấp sự thiếu vắng phối cảnh này, nghệ thuật Ai Cập vẫn rất hiện thực, các họa sĩ chứng tỏ một cảm giác hoàn hảo về chi tiết và một sự hiểu biết sâu sắc về giải phẫu người. Các con vật biểu trưng cho các thần thánh cũng rất hay được tái hiện.

Trong các thế kỷ sau, vào các thời kỳ Hy Lạp và La Mã, kỹ thuật tạo ấn tượng về chiều sâu không phát triển được là bao, bất chấp những đóng góp của người Hy Lạp (như nhà toán học Euclid thế kỷ III trước CN) cho khoa học về quang học. Chiều sâu tiếp tục được gọi bằng một phương pháp về cơ bản vẫn không có gì thay đổi so với phương pháp được áp dụng trong các hang động Lascaux: đó là sự giảm biểu kiến về kích thước của các vật do hiệu ứng khoảng cách<sup>8</sup>.

Sự vắng bóng điểm nhìn duy nhất trong nghệ thuật Ai Cập cũng bắt gặp trong nghệ thuật phương Đông. Các họa sĩ phương Đông chưa bao giờ phát triển phối cảnh tuyến tính vốn được coi là chí thánh trong nghệ thuật phương Tây. Tuy nhiên, điều này không có nghĩa là họ không phát triển một sơ đồ tổ chức không gian chặt chẽ. Nhưng, thay vì tách người quan sát chủ quan ra khỏi thế giới khách quan, như trong nghệ thuật phương Tây, nghệ thuật phương Đông tìm cách lồng người quan sát vào trong khung cảnh được quan sát, hòa tan con người vào trong thiên nhiên sao cho chủ thể và khách thể chỉ còn là một thể thống nhất. Thay vì thiết lập một điểm nhìn bên ngoài ở đâu đó trước tấm toan, trong nghệ thuật phương Đông, điểm trung tâm nằm ở chính trong khung cảnh được quan sát. Các bức tranh phong cảnh của Trung Quốc hay Nhật Bản không chứa các dấu hiệu chỉ cho chúng ta thấy vị trí của người quan sát, vì không cần như vậy (H. 32 trong tập ảnh màu). Nghệ sĩ cũng như người ngắm tác phẩm tất cả đều được đưa vào khung cảnh. Việc đưa người quan sát vào tự nhiên này cho phép nghệ sĩ không đưa ra một và chỉ một điểm nhìn nữa (điểm nhìn của họa sĩ và của người ngắm bất động trước một cảnh tĩnh), mà nhiều điểm nhìn cùng một lúc. Chẳng hạn, các bức tranh của Trung Quốc



<sup>8</sup> Kích thước góc của các vật giảm tỉ lệ nghịch với khoảng cách so với người quan sát. Chẳng hạn, một vật xa hơn 10 lần trông sẽ nhỏ hơn 10 lần

và Nhật Bản thường kết hợp một cái nhìn từ trên cao phong cảnh và các tòa nhà với một cái nhìn cạnh các nhân vật. Sự nhân lên các điểm nhìn này cũng mang lại một số ưu điểm. Nó cho phép, chẳng hạn, tái hiện các ngọn núi trong phần trên của bức tranh mà không làm cho các ngọn núi này đè nặng sự hiện diện của nó ở phần dưới.

### *Điểm nhìn duy nhất và phối cảnh tuyến tính*

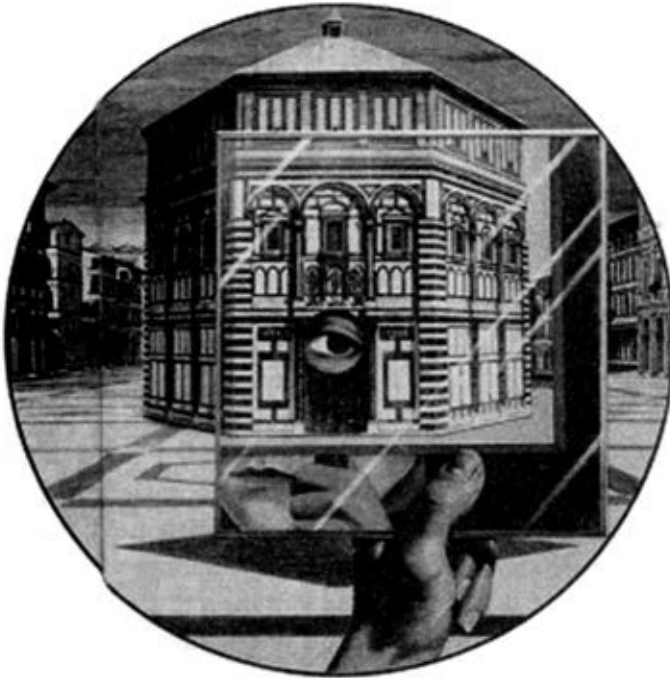
Nếu như các bức tranh Ai Cập và phương Đông thể hiện rất nhiều điểm nhìn, thì ngược lại, điểm nhìn duy nhất là cơ sở cho phối cảnh “tuyến tính” hay “trung tâm” ở phương Tây<sup>9</sup>. Phối cảnh này xuất hiện vào thời kỳ Phục Hưng. Chính kiến trúc sư, kỹ sư và nhà điêu khắc Filippo Brunelleschi (1377-1446) xứ Florence, Italia, là người đầu tiên chứng minh các nguyên tắc phối cảnh trong một thí nghiệm thực hiện năm 1415 trên quảng trường San Giovanni ở Florence, trước nhà rửa tội cùng tên. Thí nghiệm này đã làm đổi dòng chảy của lịch sử nghệ thuật và là nguồn gốc của cuộc cách mạng thực sự trong cách diễn tả bằng hình ảnh ở phương Tây. Đứng gần cửa chính của nhà thờ Florence, quay lưng lại gian giữa của nhà thờ và đối diện với nhà rửa tội, kiến trúc sư Brunelleschi một tay cầm một chiếc gương và tay kia áp vào mắt mình một tấm gỗ nhỏ, trên mặt trước của nó có vẽ một bức tranh nhỏ tái tạo một cách trung thành nhà rửa tội San Giovanni, theo các luật phối cảnh bằng cách sử dụng một đường ngang, một điểm trung tâm và các đường thẳng hội tụ. Tấm gỗ được khoan một lỗ nhỏ, “không lớn hơn một thấu kính”, cho phép Brunelleschi nhìn được ảnh của bức vẽ nhà rửa tội được phản xạ qua gương. Brunelleschi đã chứng tỏ được rằng nếu ông đứng ở một vị trí chính xác, ông có thể chồng chập chính xác ảnh phản xạ của bức vẽ của ông với nhà rửa tội thật, tạo ra một dạng ảo giác hoàn hảo về hiện thực (H. 74). Như vậy, phối cảnh tuyến tính cho phép tạo ra, với một độ chính xác khoa học, ảo giác về chiều sâu. Nó cung cấp khả năng biểu diễn thế giới trên một mặt phẳng chính xác như mắt nhìn thấy nó.

Brunelleschi phát hiện ra rằng, để thu được một sự trùng lặp chính xác giữa bức vẽ và hiện thực, ông phải đứng ở một và chỉ một vị trí, nơi mà bức vẽ nhà rửa tội đã được thực hiện. Như vậy, chỉ một điểm nhìn duy nhất là khả dĩ. Phối cảnh “tuyến tính” (được gọi như vậy vì nó dựa trên việc ánh sáng lan



<sup>9</sup> Từ “perspective” bắt nguồn từ tiếng Latinh *perspicere* nghĩa là “nhìn nghiêng”.





**Hình 74.** Phối cảnh tuyến tính của Filippo Brunelleschi. Trong một thí nghiệm nổi tiếng trên quảng trường Giovanni ở Florence, Brunelleschi đã chứng tỏ rằng nếu đứng ở một vị trí chính xác thì ông có thể chồng chập chính xác ảnh phản xạ của bức vẽ nhà rửa tội San Giovanni được thực hiện theo các luật phối cảnh tuyến tính với nhà rửa tội thực. Như vậy, phối cảnh tuyến tính cho phép tạo ra một ảo ảnh hoàn hảo về hiện thực.

truyền theo đường thẳng) hay “xuyên tâm” (có một điểm nhìn duy nhất) hay cũng được gọi là “hình học”. Thực tế nó dựa vào sự hình học hóa không gian, chấp nhận rằng các đường song song trong thực tế sẽ hội tụ về điểm tụ trên bức vẽ, và tồn tại một mối quan hệ khăng khít giữa điểm tụ này với điểm nhìn duy nhất và trung tâm của người xem.

Nhưng Brunelleschi không sa vào toán học và chính một kiến trúc sư khác xứ Florence, họa sĩ và nhà nhân văn chủ nghĩa Léon Alberti (1404-1472) đã soạn vào năm 1435 chuyên luận đầu tiên về phối cảnh, đặt tên là *Della pittura*, trong đó trình bày các cơ sở hình học và toán học của nó. Alberti giải thích rằng phối cảnh rút gọn con người vào con mắt, và con mắt vào một điểm nhìn duy nhất. Từ điểm nhìn này dựng một hình chóp thị giác mà mắt là đỉnh và mặt phẳng của bức tranh là đáy của nó. Alberti viết: “Bức tranh là một giao diện của hình chóp thị giác”. Kiến trúc sư này đã xây dựng cái mà ông gọi là

*costruzione legittima*, một phương pháp nhằm xác định và vạch tất cả những các giao điểm của các tia nhìn với mặt phẳng của tranh, điều này cho phép dựng được một phối cảnh chính xác của bất kỳ phong cảnh hay của vật nào.

Phối cảnh tuyến tính là một hệ quả của các tiến bộ đạt được trong sự khám phá các định luật quang học chi phối hành trạng của ánh sáng cũng như của thế giới quan gán cho con người vị trí trung tâm trong vũ trụ. Vũ trụ địa tâm ngự trị vào thế kỷ XV và chỉ được thay thế bởi vũ trụ nhật tâm của Nicolas Copernic vào năm 1543. Với sự lên ngôi của phối cảnh, thế giới không còn được coi là sự phản ảnh đơn giản của tư duy thần thánh, mà như một thế giới vật lý có một không gian thực và nhân văn được điều chỉnh bằng các định luật duy lý của quang học. Phối cảnh mang đến sự ổn định cho trải nghiệm thị giác, nó thay thế hỗn độn bằng trật tự và sự kết hợp. Trước đó chưa ai khám phá được một công cụ mạnh mẽ như thế cho phép thiết lập trật tự trong trải nghiệm thị giác thông qua một ảo giác. Điều này bộc lộ gần như là một ma thuật: hãy áp dụng phương pháp phối cảnh trung tâm, và ảo giác về hiện thực sẽ được trình hiện trên toan như thể nhờ cú vẩy của chiếc đũa thần.

### *Cézanne và sự tái tổ chức không gian*

Sự tái hiện các vật trong không gian dựa trên các quy luật phối cảnh tuyến tính với điểm nhìn duy nhất phát triển rất chậm trong các thế kỷ sau đó. Phải đến thế kỷ XIX thì họa sĩ người Pháp Paul Cézanne (1839-1906) mới tạo ra một cuộc cách mạng trong lịch sử phối cảnh ở phương Tây bằng cách đưa vào một cách hình dung không gian mới về căn bản. Cézanne bác bỏ quan điểm thông thường về một và chỉ một điểm tụ duy nhất (một điểm của hình vẽ phối cảnh, nơi hội tụ các đường thẳng song song trên thực tế) được quan sát bởi chỉ một điểm nhìn trung tâm. Cézanne muốn tính đến việc chúng ta có hai mắt, chứ không phải chỉ có một. Mặt khác, ông đã quan sát thấy rằng mắt của chúng ta cử động không ngừng, rằng nó không bao giờ nó ở trạng thái nghỉ. Chúng ta đã thấy rằng, ngay cả khi quyết định nhìn chăm chăm vào một vật, thì hình ảnh của nó cũng nhảy liên tục từ bên này sang bên kia. Đầu của chúng ta cũng không bất động so với vật. Ở mỗi lúc, nó chiếm một vị trí hơi khác so với lúc trước, điều này làm cho vẻ ngoài của vật cũng hơi thay đổi. Vì vậy chúng ta không thấy các vật theo một và chỉ một phối cảnh duy nhất, mà theo nhiều phối cảnh cùng một lúc. Phối cảnh duy nhất chẳng qua chỉ là một dạng trừu tượng hóa và lý tưởng hóa. Điều mà chúng ta nhìn thấy bằng mắt không phải

là một và chỉ một hình ảnh cố định trong thời gian, mà là một bức tranh ghép các hình ảnh, tổng hợp của nhiều thời điểm khác nhau. Nói cách khác, có một sự tương tác liên tục giữa người quan sát và vật được quan sát. Chúng ảnh hưởng lẫn nhau. Quan niệm này báo trước một cách kỳ lạ sự xuất hiện của cơ học lượng tử vào đầu thế kỷ XX, theo đó “chính quan sát tạo ra thực tại”. Nói đến một thực tại khách quan” đối với một hạt dưới nguyên tử, một hiện thực tồn tại không phụ thuộc vào việc người ta có quan sát nó hay không, là không có ý nghĩa, bởi vì người ta không bao giờ có thể lĩnh hội được nó. Hiện thực khách quan trong thế giới nguyên tử và dưới nguyên tử bị thay đổi không gì cứu vãn nổi bởi hành động quan sát và biến thành hiện thực “chủ quan” phụ thuộc vào người quan sát và dụng cụ quan sát của anh ta.

Kể từ năm 1880, các bức tranh của Cézanne bắt đầu rời xa phối cảnh duy nhất. Chúng không còn thể hiện một phân đoạn cố định của hiện thực như được tri giác bởi một họa sĩ-người xem bất động, mà thể hiện nhiều phân đoạn hiện thực được quan sát từ hai hoặc ba điểm nhìn khác nhau. Trong các tác phẩm bậc thầy về tranh tĩnh vật, các cốc thủy tinh hay các mâm bông được vẽ dưới nhiều góc độ khác nhau: một số được biểu diễn theo đường xiên, một số từ mặt trước, một số khác lại từ trên nhìn xuống. Chẳng hạn, trong bức tranh *Tĩnh vật với chiếc làn* (1888-1890) (H. 33 trong tập ảnh màu), “các mâm bông và các chai lọ không còn đứng thẳng nữa, mép bàn không còn kéo dài từ đầu này sang đầu kia của khăn trải bàn che đi một phần của nó, những quả táo lơ lửng thẳng bằng trên cái nắp nghiêng của chiếc hòm... Sự đa dạng điểm nhìn này sẽ tiến triển cùng thời gian với rất nhiều “dị giáo” khác: phá vỡ thang, phân đoạn hình khối, phân tách hình vẽ và màu sắc, đưa vào các yếu tố trừu tượng để chèn một bố cục”. Tuy nhiên, bất chấp sự bác bỏ phối cảnh duy nhất, các bức tranh tĩnh vật của Cézanne vẫn có sự gắn kết và hài hòa tuyệt vời, mỗi vật, mỗi vết màu đều nằm đúng chỗ của chúng. Mặc dù có những thay đổi về phối cảnh trong cùng một không gian, nhưng “không gì cảm thấy khó khăn hết. Trong toàn bộ lịch sử hội họa, không hề có tác phẩm nào đáng ngấm hơn một số bức tranh tĩnh vật vẽ trong những năm 1880 của ông, hơn nữa niềm vui của mắt và tinh thần không cảm ta phân tích hình thức hay chủ đề”.

### *Hình trụ, hình cầu và hình nón*

Triết gia Maurice Merleau-Ponty đã miêu tả sự cân bằng hoàn hảo của các bức tranh tĩnh vật của Cézanne như thế này: “Thiên tài của Cézanne là làm

cho các biến dạng do phối cảnh, bằng sự bố cục hài hòa của bức tranh, không còn nhìn thấy nữa, khi người ta nhìn nó một cách tổng thể, và, như chúng làm trong thị giác tự nhiên, góp phần tạo ra cảm giác về một trật tự chớm nở, của một vật đang xuất hiện, đang kết tụ dưới mắt chúng ta". Rõ ràng, như bản thân Cézanne từng nói, họa sĩ đã tìm thấy "một công thức đẹp" để thực hiện các bức tranh tĩnh vật. Ở Cézanne liên tục biểu lộ một mối bận tâm tìm kiếm các dạng thức nội tại, thiết yếu và lâu bền, và tổ chức chúng một cách logic trong một không gian được tư duy lại. Nhờ một vài yếu tố đơn giản phân bố trên một cái bàn – vài quả táo, một con dao, một cái cốc thủy tinh, một cái chai -, Cézanne đã tạo ra một vở kịch thực sự. Sự kiếm tìm các hình dạng thiết yếu này của thế giới vật lý – quả táo hay ngọn núi Sainte-Victoire – đã biến Cézanne trở thành người báo trước sự ra đời của trường phái lập thể. Bằng chứng là công thức nổi tiếng của ông: "Hãy vẽ thiên nhiên bằng các hình trụ, hình cầu, hình nón!".

Cézanne tiếp tục thử nghiệm với không gian và màu sắc. Ông từ bỏ viễn phối cảnh truyền thống và các hình nổi bằng các bóng: "Sự mô tả các vật và sắp xếp các mặt phẳng thoát ra ngoài mọi quy tắc và xây dựng một thế giới gắn kết, ở đó mỗi vết màu được quyết định bởi vị trí của nó trong tổng thể". Họa sĩ nhấn mạnh đến vị trí hàng đầu của các hình dạng và màu sắc, và đến sự tương tác liên tục của chúng: "Hình vẽ và màu sắc không hề tách rời nhau; phết màu cũng đã là vẽ rồi; màu sắc càng hài hòa, thì hình vẽ càng chính xác. Khi màu sắc đạt tới độ phong phú, thì hình dạng cũng đạt tới độ viên mãn. Các tương phản và tỷ lệ về tông màu, đó chính là bí quyết của hình và khối". Ông nói rõ hơn: "Từ tỷ lệ chính xác của các tông màu sẽ sinh ra hình khối. Khi chúng đặt cạnh nhau một cách hài hòa và tất cả đều cùng hiện diện ở đó, thì bức tranh sẽ một mình hiện lên". Trong các bức tranh phong cảnh như bức núi Sainte-Victoire nổi tiếng và cảnh đồng quê vùng Aixois, chính sự bố trí và xếp cạnh nhau các màu sắc đã tạo ra ấn tượng về chiều sâu, các màu lạnh tạo cảm giác về những cái ở phía xa, các màu nóng tạo cảm giác về các vật ở gần. Và rồi dần dần với sự tiến triển, nghệ thuật của ông trở nên ngày càng trừu tượng hơn. Các đường nét ngày càng mờ nhạt, các hình khối chỉ có ý nghĩa khơi gợi. Theo Cézanne, hội họa không phải là nghệ thuật bắt chước một vật bằng các đường nét: "vẽ theo tự nhiên, không phải là sao chép cái khách quan, mà là thể hiện các cảm giác về nó". Tất cả chỉ còn là tương phản về màu sắc: "Không có đường nét, không có hình khối. Các tương phản này, không phải là do màu đen và màu trắng tạo nên, mà là cảm giác được tô màu". Và chính

sự chói lóa của màu sắc gây ra cảm giác về ánh sáng. Cézanne viết năm 1905: “Các cảm giác màu tạo ra ánh sáng là nguyên nhân của những trù tượng hóa không cho phép tôi phủ lên tầm toan của mình, cũng không cho phép tôi theo đuổi sự vạch giới hạn của các vật”.

Cho tới cuối đời, Cézanne vẫn có một mong muốn cháy bỏng diễn tả các cảm giác mạnh bên trong mà ông biểu lộ trước thế giới bên ngoài, diễn tả một cách hài hòa “sự phong phú tuyệt vời về màu sắc tạo sinh khí cho tự nhiên”: “Vì nếu cảm giác mạnh về tự nhiên – mà chắc chắn, tôi đã trải qua cảm giác ấy – là cơ sở cần thiết cho mọi quan niệm về nghệ thuật, mà tầm vóc và vẻ đẹp của tác phẩm trong tương lai của chúng ta dựa vào, thì việc hiểu biết các phương tiện diễn đạt cảm xúc của chúng ta cũng không kém phần thiết yếu và chỉ có được sau một trải nghiệm lâu dài”.

#### *Donatello giữa các họa sĩ dã thú*

Dù sao thì các bức tranh của Cézanne vẫn mang tính tượng hình. Nhưng, bằng cách dành ưu tiên hàng đầu cho màu sắc, bằng cách tạo cho màu sắc một vị trí mới cả với vai trò là vật chất được cây cọ phết lên toan và với vai trò là sự rung động, khi đặt nó ngang bằng với hình dạng để gọi chiều sâu, nhịp điệu, chuyển động, các tác phẩm của Cézanne về các quả táo và dãy núi Sainte-Victoire đã báo trước các trào lưu nghệ thuật lớn thế kỷ XX. Ông đứng là người báo trước sự xuất hiện của trào lưu dã thú và trào lưu nghệ thuật trừu tượng. Trào lưu dã thú sau đó dành vị trí hàng đầu cho màu sắc, trong khi trào lưu trừu tượng vứt bỏ lối biểu diễn tượng hình để ưu tiên tuyệt đối cho các hình khối và màu sắc.

Trào lưu dã thú ra đời năm 1905 nhân Triển lãm mùa Thu, trên đại lộ Champs-Élysées, Paris. Sự kiện đã gây một xicăngđan. Tên gọi của trào lưu này bắt nguồn từ một nhận xét gay gắt của một nhà phê bình về các bức tranh của người đứng đầu phong trào là Henri Matisse (1869-1954), và các đồng nghiệp của ông – trong đó có Maurice de Vlaminck (1876-1958), André Derain (1880-1954) và Georges Braque (1882-1963) -, được trưng bày cạnh các tác phẩm điêu khắc theo phong cách Italia: “Ở giữa phòng, một bức tượng trẻ con nửa người và một bức tượng bán thân bằng đá của Albert Marque, được dựng với một khoa học tinh tế. Sự trong trắng của các bức tượng nửa người này gây ngạc nhiên giữa tràn ngập các tông màu nguyên chất: đúng là Donatello giữa bầy dã thú!”.

Phong cách dã thú được đặc trưng bởi sự giải phóng màu sắc Như ở Seurat và các họa sĩ tân ấn tượng, một số bức tranh dã thú đặt các màu nguyên chất cạnh nhau thay vì hòa trộn chúng, nhằm để cho mắt và não của người xem làm công việc tái tạo lại. Bức *Xa xỉ, yên lặng và khoái lạc* (1904-1905) của Matisse là một ví dụ điển hình. Matisse nói: “Trong hội họa, các màu sắc chỉ có quyền năng và sức thuyết phục của chúng khi được sử dụng ở trạng thái nguyên chất”. Và ông nói thêm: “Trào lưu dã thú xuất hiện từ một thực tế là chúng ta đã từ bỏ các màu bất chước, và với các màu nguyên chất chúng ta thu được các phản ứng mạnh hơn”. Theo Matisse, màu sắc phải đi trước hình vẽ: “Thay vì vẽ đường viền và sắp xếp màu sắc vào đó – cái này làm thay đổi cái kia -, tôi vẽ trực tiếp trong và với màu. Sự đơn giản hóa này đảm bảo cho sự thống nhất của hình vẽ và màu sắc, để cả hai hòa vào làm một. Màu sắc có thể làm được tất cả”. Ngoài sự nguyên chất của các màu, đôi khi sáng và không hài hòa, phong cách dã thú còn khác biệt ở sự đơn giản hóa các hình dạng, ở sự làm dẹt không gian, một vẻ ngoài ứng tác nhanh, ở cảm giác thô mộc về một kết cấu hung tợn và khiêu khích.

Nếu trường phái dã thú cấu viện màu sắc nguyên chất ở mức cao nhất của nó, thì nghệ thuật trừu tượng lại sử dụng màu sắc để giải phóng hoàn toàn hội họa ra khỏi cách biểu diễn hình tượng.

### *Không bắt chước các hình dạng tự nhiên nữa*

Như chúng ta đã thấy, từ năm 1810, trong cuốn *Luận về màu sắc*, Goethe đã khẳng định mạnh mẽ vị trí vượt trội của màu sắc so với hình dạng. Theo Goethe, sự tri giác các hình dạng không xuất hiện trước sự tri giác các màu, mà ngược lại xuất hiện sau. Các màu xuất hiện trước hết trong sự tương phản giữa sáng và tối, và cuối cùng mới xuất hiện hình dạng. Nhận định này đã lật độ một trong những nguyên tắc nền tảng của hội họa, theo đó màu sắc chỉ là hỗ trợ cho hình vẽ. Như vậy, có thể nói rằng hội họa trừu tượng, ở đó các hình dạng mờ nhạt để nhường lại ưu thế cho màu sắc, đã có xuất phát điểm từ cuốn *Luận về màu sắc* của Goethe. Nhà thơ người Đức còn đi xa hơn nữa: ông cũng đã khẳng định sự cần thiết phải tính đến chiều kích tinh thần của ánh sáng và màu sắc. Một vật có màu sắc không chỉ được tri giác bởi mắt, mà còn bởi tinh thần; thực tại của ánh sáng không chỉ là vật chất, mà còn phi vật chất; các màu không chỉ thuộc thế giới bên ngoài, mà còn ảnh hưởng đến thế giới bên trong của chúng ta.

Một họa sĩ sau đó đã bị ảnh hưởng rất sâu sắc các tư tưởng của Goethe. Bằng cách đòi hỏi sự vượt trội của cái nhìn tinh thần so với tri giác khách quan của hiện thực trong hội họa, bằng cách khẳng định ưu thế của bên trong so với bên ngoài, đồng thời với họa sĩ người Nga Kazimir Malevitch (1878-1935) và người Hà Lan Piet Mondrian (1872-1944), ông đã làm cho nghệ thuật vượt qua thêm một bước, một bước thiết yếu để cho hội họa trừu tượng ra đời.

Sinh ở Moscow trong một gia đình khá giả và trí thức, ban đầu Kandinsky học luật và kinh tế, sau đó ông từ bỏ sự nghiệp học hành của mình để chuyên chú vào hội họa. Khâm phục sâu sắc nghệ thuật gian dân của đất nước mình (một số tác phẩm đầu tay của ông được vẽ theo phong cách dã thú có chủ đề là các cảnh dân gian Nga), Kandinsky đã kể lại trong cuốn *Nhìn về quá khứ* cú sốc tinh cảm của ông khi được gửi đến sống trong các ngôi nhà truyền thống của nông thôn Nga trong một chuyến điền dã dân tộc học, ông có cảm giác như “đi vào trong hội họa” khi ngắm các hình ảnh dân gian màu sắc sống động và nguyên sơ trang trí trên tường của một ngôi nhà gỗ. Cũng có cả những loé sáng của trường phái ấn tượng, mà nhờ đó Kandinsky khám phá ra rằng các vật có thể chỉ đóng một vai phụ. Nhân một triển lãm, Kandinsky đã cảm thấy bị đảo lộn trước bức *Đống rom* của Monet, ông viết, “các vật không còn là các thành phần thiết yếu của hội họa nữa”. Ông thể hiện cảm xúc của mình như thế này: “Tôi đã sống qua một sự kiện sẽ ghi dấu cả đời tôi và sẽ làm đảo lộn tôi đến tận nơi sâu thẳm nhất. Đó là triển lãm của các họa sĩ ấn tượng ở Matxcova – mà trước hết là bức *Đống rom* của Monet {...}. Bất chợt, lần đầu tiên, tôi nhìn một bức tranh... Tôi bối rối cảm thấy rằng, các vật đã làm hỏng bức tranh. Tất cả những điều đó làm cho tôi rất bối rối và không thể rút ra các kết luận cơ bản về trải nghiệm này. Nhưng điều hoàn toàn rõ ràng trong tôi, đó là sức mạnh không thể nghi ngờ của bảng màu vốn cho tới lúc này vẫn còn ẩn giấu đối với tôi và đi ra ngoài mọi các giấc mơ của tôi”. Đó là một cú hích thúc đẩy ông chuyển đến Munich năm 1896 để theo học hội họa ở Viện Mỹ thuật và dần thân vào con đường nghệ thuật.

Sau đó ông phát hiện ra nghệ thuật trừu tượng. Một buổi tối, đi vào xưởng vẽ của mình, ông phát hiện ra “một bức tranh đẹp không tả nổi, được bao bọc trong một thứ ánh sáng nội tại”, với “các hình dạng và các màu sắc mà hàm ý của chúng ông vẫn chưa hiểu được”. Và rồi ông chợt nhận ra rằng đó là một trong những bức tranh của chính ông, nhưng đã vô tình bị đặt lộn ngược! Khi đó Kandinsky ý thức được rằng các “vật” làm hại hội họa và cần phải giải thoát

khỏi sự trung thành với hiện thực thị giác để giao tiếp một cách trực tiếp với “cái được cảm nhận”, với xúc cảm bên trong. Chỉ cần tính đến các hình khối và màu sắc. Theo Kandinsky, “hình khối là biểu hiện bên ngoài của nội dung bên trong”, và không một hình khối nào, về mặt tiên nghiệm mà nói, lại là tốt hơn một hình khối khác. Nghệ thuật phải được giải phóng khỏi cách biểu diễn các vật, khỏi sự lệ thuộc vào tự nhiên. Nghệ thuật phải trở nên sáng tạo bằng cách thoát ra khỏi sự bắt chước các hình dạng tự nhiên. Hoạ sĩ người Nga này đã vẽ bức tranh màu nước đầu tiên, trừu tượng và vô đề, vào năm 1910; và nó thường được coi là tác phẩm đầu tiên của nghệ thuật trừu tượng.

### *Nhu cầu nội tại*

Năm sau, năm 1911, Kandinsky đã trao gửi trạng thái tư duy của mình vào tiểu luận nổi tiếng *Về cái tinh thần trong nghệ thuật và trong hội họa nói riêng*, một chuyên luận mang tính lý thuyết đầu tiên về nghệ thuật trừu tượng. Nó được coi là một trong những tác phẩm sáng lập của nghệ thuật hiện đại. Kandinsky không chỉ là tác giả của một tác phẩm đánh dấu lịch sử nghệ thuật, mà còn giải thích lý thuyết của mình về nghệ thuật trừu tượng với một sự chính xác và rõ ràng đáng khâm phục. Trong *Về cái tinh thần trong nghệ thuật và trong hội họa nói riêng*, Kandinsky đã tự vấn về các mối quan hệ giữa tinh thần và biểu hiện nghệ thuật, đồng thời khẳng định sự cần thiết phải giải phóng khỏi tự nhiên. Là người theo thuyết thần trí, theo đó đạo lý thần thánh hiện diện khắp nơi trong vũ trụ và trong con người, Kandinsky coi trừu tượng hóa là cách thể hiện trên toan một hiện thực thứ hai được cấu thành từ các dạng thức tinh thần ít nhiều gắn với các hình dạng tự nhiên: “Thế giới được choán đầy các cộng hưởng. Nó tạo thành một vũ trụ các sinh linh tác dụng một hành động tinh thần. Vật chất chết là một tinh thần sống”. Theo Kandinsky, vai trò của nghệ thuật là gọi các “nhịp cơ bản” của vũ trụ bằng các hình dạng bắt nguồn từ thế giới bên trong, thế giới của tinh thần. Sự quy chiếu không phải là thế giới thực – những quả táo, hoa súng hay cơ thể trần -, mà là thế giới bên trong con người, nơi ngự trị tinh chất của sáng tạo. Nghệ sĩ phải lưu giữ bằng mọi giá trên toan sự tươi mát và sức mạnh của các hình ảnh nổi lên từ vô thức, mà không cần phải tìm cách làm sáng tỏ ý nghĩa đầy đủ của nó. Theo Kandinsky, nghệ thuật phải là sự biểu hiện trực tiếp của thế giới bên trong, và cho phép truyền đạt một thực tại khác với thực tại vật chất. Sứ mạng đích thực của nghệ thuật là ở đẳng cấp tinh thần.



Hội họa có thể giải phóng khỏi các hình dạng và, bằng cách thể hiện chỉ qua các nét, các vết, các màu, nó tác động đến tâm hồn chúng ta chẳng khác gì thể hiện bằng các hình tượng (H. 34 trong tập ảnh màu). Mỗi màu sắc có một sự cộng hưởng riêng bên trong với tâm hồn con người, gây ra một xúc cảm và một rung động đặc biệt của tinh thần và có thể được sử dụng một cách độc lập với hiện thực thị giác. Một màu sắc có thể gợi cảm giác nóng hoặc lạnh, sáng hoặc tối. Chẳng hạn, màu vàng gợi cảm giác nóng, gắn với đất và ẩn chứa một hàm nghĩa dữ dội và khiêu khích. Ngược lại, màu lam gợi cảm giác lạnh, gắn với bầu trời và ẩn chứa một hàm nghĩa tĩnh lặng và yên bình. Màu đen gợi hư không và tuyệt vọng, trong khi màu trắng gợi một tương lai rộng mở cho tất cả các khả năng. Theo Kandinsky, “màu đen như một giàn thiêu đã tắt, bất động và vô cảm như một xác chết, mà trên đó mọi thứ trượt qua và chẳng có gì chạm vào, trong khi màu trắng “ngân lên như sự lặng im, một hư vô trước mọi bắt đầu”. Theo Kandinsky, hai lĩnh vực nghệ thuật và thế giới tự nhiên được chi phối bởi các định luật khác nhau và độc lập với nhau; chỉ nghệ thuật trừu tượng có khả năng thực hiện thành công sự tổng hợp các thế giới bên trong và bên ngoài, và dẫn đến sự hiểu biết quy luật lớn của vũ trụ. Bằng hội họa “tinh khiết”, Kandinsky muốn đạt đến cái tuyệt đối.

Đối với ông, tồn tại một “nhu cầu bên trong” tạo thành nguyên tắc của nghệ thuật trừu tượng và tạo nên một nền móng cho sự hài hòa của các màu sắc và hình dạng. Theo cách vừa thần bí vừa bí ẩn, tác phẩm nghệ thuật sinh ra từ nhu cầu bên trong của nghệ sĩ, để sau đó có được cuộc sống riêng, được làm cho sinh động nhờ hơi thở tinh thần. Bởi vì nghệ thuật trừu tượng không còn dựa trên sự bắt chước tự nhiên, nên chính nguyên tắc về nhu cầu bên trong đã cho phép nó không bị khuất phục trước nghệ thuật vị nghệ thuật, trước các hình dạng được cách điệu hóa một cách đơn giản, trước sự trang trí thuần túy hay thực nghiệm vô căn cứ. Nói cách khác, nó cho phép ngăn chặn “sự bóp nghẹt mọi âm vang bên trong, {...} sự tiêu hao sức lực của nghệ sĩ”. Nhu cầu bên trong trao cho nghệ sĩ một tự do vô hạn trong sáng tạo, nhưng sự tự do này sẽ bị sử dụng sai nếu nó không dựa trên một nhu cầu như thế. Trừu tượng hóa vì vậy không thể là một mục đích tự thân, mà phải thường xuyên nhằm tạo ra một sự hài hòa chạm được đến tâm hồn con người: “Tất cả những gì xuất phát từ nhu cầu bên trong của tâm hồn đều là đẹp. Và tất cả những gì đẹp ở bên trong cũng đều là đẹp”. Khi làm rung động tâm hồn người xem, bằng nghệ thuật của mình, Kandinsky muốn nhờ cậy không phải vào sự nhạy cảm của mình, mà là vào nơi sâu thẳm nhất của con người ông. “Ai chưa từng

đạt đến sự cộng hưởng bên trong của hình dạng (hữu hình và đặc biệt là trừu tượng) sẽ luôn coi một bố cục như thế là hoàn toàn tùy tiện”, ông bày tỏ. Theo ông, “hội họa là một nghệ thuật, và nghệ thuật trong tổng thể của nó không phải là sáng tạo ra một cách vô ích các vật mất hút trong hư vô, mà là một sức mạnh có mục đích và phận sự phục vụ sự tiến hóa và tinh lọc tâm hồn con người {...} Khi tôn giáo, khoa học và đạo đức bị lung lay, và khi những điểm tựa bên ngoài của chúng có nguy cơ sụp đổ, thì con người quay cái nhìn đầy những ngẫu nhiên bên ngoài và hướng nó vào chính mình; khi đó, chức năng của hội họa trở thành biểu diễn thế giới bên trong của cá nhân, nói cách khác là thế giới tinh thần của anh ta”.

### *Thời gian và âm nhạc*

Nếu không gian ám ảnh Kandinsky và nếu như ông không ngừng chất đầy nó bằng các hình dạng và màu sắc, thì đối với ông nghệ thuật trừu tượng cũng là một phương tiện để đưa chiều thời gian vào những bức tranh của ông. Kandinsky rất quan tâm tới khái niệm thời gian. Trong cuốn *Về cái tinh thần trong nghệ thuật*, ông đã phân tích cách sử dụng sáng-tối của Rembrandt như một khát vọng sâu xa nhằm cố định thời gian trên toan. Trong một tác phẩm khác nằm trong số các tác phẩm lý thuyết chính của ông, *Điểm và đường trên mặt phẳng*, ông dường như phân biệt hai trường hợp: “sự vĩnh cửu thân thánh”, nằm ngoài thời gian, và thời gian con người, tạo thành từ một chuỗi các khoảnh khắc. Đối với con người, chỉ hiện tại mới có một hiện thực sờ mó được. Quá khứ đã qua và mất hút trong ký ức của chúng ta. Tương lai, còn chưa đến, chỉ tồn tại trong các giấc mơ và hy vọng của chúng ta. Vĩnh cửu thân thánh, ở đó không có gì nối tiếp nhau và ở đó tất cả đều hiện diện, có thể được biểu diễn một cách tượng trưng trong một bức tranh bằng một điểm, vì sự bất động của điểm, sự không thể chuyển động của nó trên mặt phẳng hoặc ngoài mặt phẳng đã đặt nó ra ngoài thời gian. Ngược lại, chính các đường biểu diễn thời gian của con người bao gồm một vô số các khoảng thời gian nối tiếp nhau. Bởi vì đường được vạch bởi chuyển động của một điểm, nên thời gian con người này không thể tách rời khỏi chuyển động. Tính đối ngẫu của thời gian và phi-thời gian, của chuyển động và bất động, phản ánh tính đối ngẫu của vật chất và tinh thần.

Khái niệm về thời gian chuyển động này cũng bắt gặp trong ngôn ngữ phổ thông. Chúng ta vẫn thường nói: “Thời gian qua, thời gian trôi”. Trong đầu

óc mỗi người, chúng ta hình dung thời gian như nước của con sông, như làn sóng của một dòng sông lớn. Đứng trên bờ của hiện tại, chúng ta ngắm dòng thời gian trôi, rời xa dần các làn sóng của quá khứ và đón nhận các làn sóng của tương lai. Chính sự hình dung chuyển động của thời gian trong không gian này đã mang lại cho chúng ta cảm giác về quá khứ, hiện tại và tương lai. Tuy nhiên, quan niệm này về sự trôi của thời gian tâm lý, về chuyển động của nó so với ý thức đứng yên của chúng ta, khó phù hợp với vật lý hiện đại. Nếu thời gian có một chuyển động, thì vận tốc của nó là bao nhiêu? Câu hỏi rõ ràng là phi lý! Mặt khác, quan niệm theo đó chỉ riêng hiện tại là thực và sò mó được không phù hợp với thuyết tương đối của Einstein vốn bác bỏ thời gian cứng nhắc và phổ quát. Quá khứ và tương lai cũng phải hiện thực như hiện tại, bởi vì Einstein dạy chúng ta rằng, tùy thuộc vào chuyển động tương đối, mà quá khứ của người này có thể là hiện tại của người khác hoặc là tương lai của một người thứ ba<sup>10</sup>. Theo Einstein, thời gian không còn được đánh dấu bởi một chuỗi các sự kiện. Tất cả các khoảnh khắc đã qua, hiện tại và tương lai đều như nhau, và không có khoảnh khắc nào được ưu tiên hơn khoảnh khắc nào. Như Einstein từng viết: “Đối với chúng tôi, những nhà vật lý học xác tín, sự phân biệt giữa quá khứ, hiện tại và tương lai chỉ là một ảo giác, thậm chí là một ảo giác rất dai dẳng”. Bởi vì các khái niệm về quá khứ, hiện tại và tương lai đã bị xoá bỏ, nên thời gian không cần phải chuyển động. Thời gian vật lý không trôi. Nói theo cách của Kandinsky, nó đơn giản nằm đó, bất động, như một đường thẳng trải đến vô tận theo cả hai phía.

Do chiều thời gian của nó, âm nhạc, thứ nghệ thuật phù du tuyệt vời, cũng có một ảnh hưởng lớn đến Kandinsky nói riêng và nghệ thuật trừu tượng nói chung. Ông là một đệ tử của quan niệm “tác phẩm nghệ thuật trọn vẹn” của nhạc sĩ người Đức Richard Wagner (1813-1883). Cũng giống như nghệ thuật trừu tượng, âm nhạc không tìm cách tái hiện thế giới bên ngoài, mà tìm cách thể hiện một cách trực tiếp những tình cảm được trải nghiệm bởi tâm hồn con người – điều mà Kandinsky gọi, như chúng ta đã thấy, là “nhu cầu bên trong”. Hội họa của Kandinsky, tất cả đều rung động và cộng hưởng, giống như một bản giao hưởng. Theo lời tiên tri của Goethe “hội họa phải tìm được cái liên tục giọng trầm của mình”, Kandinsky đã đặt màu sắc và hình dạng phục vụ cho bố cục của bức tranh như một nhạc sĩ đặt âm thanh phục vụ cho bố cục của bản nhạc. Kandinsky từng viết: “Hãy nghĩ đến phần âm nhạc mà từ nay



<sup>10</sup> Xem thêm *Giai điệu bí ẩn* và *Hỗn độn và Hài hòa*, sđd

màu sắc sẽ lấy trong hội họa hiện đại. Màu sắc, vốn rung động giống như âm nhạc, cũng có khả năng đạt đến cái rộng hơn, và do đó, cũng mơ hồ hơn trong tự nhiên: đó chính là sức mạnh bên trong của nó”. Tác động xúc cảm của màu sắc như vậy cũng giống với tác động của âm nhạc. Theo Kandinsky, sự phân bố các tông màu, cách ông làm cho tranh của mình chuyển động, giống với một bố cục âm nhạc. Mặt khác, ông cũng thường sử dụng các thuật ngữ âm nhạc để chỉ các tác phẩm của mình: các “Phóng tác” là những sáng tạo tự phát nhất của ông ở đó các hình ảnh nổi lên từ vô thức, còn các “Sáng tác” lại được phản ánh trong những tác phẩm dụng công nhất, ở đó những hình ảnh nổi lên từ vô thức được chăm chút hơn, nhưng không vì thế mà mất đi vẻ tươi mát và sức mạnh của chúng.

### *Tâm linh trong ánh sáng*

Nếu Kandinsky sử dụng màu sắc – vốn bắt nguồn, như chúng ta đã thấy, từ sự rút một phần của ánh sáng tới bởi các sắc tố khác nhau – để diễn tả nhu cầu bên trong của mình và trao cho nghệ thuật chiều kích tinh thần của nó, thì ánh sáng cũng gắn liền với tri thức và với sự xóa đi ngu dốt trong hầu hết tất cả các nền văn minh cổ xưa. Dù là ở phương Tây hay ở phương Đông, ngôn ngữ phổ thông đều nói đến “sự soi sáng bên trong” (hay “thiên khai”) hay “ánh sáng của mình triết” để mô tả sự tiếp cận tri thức. Tương tự, các thành ngữ “ban phát ánh sáng”, “soi sáng”, “rõ như ban ngày”, đều nhắc đến sự linh hội một tri thức. Nhưng ánh sáng đặc biệt có một hàm nghĩa mạnh về tâm linh. Bởi vì nó là “dạng cao quý nhất của thế giới vật chất”, bởi vì nó có một bản chất vừa vật thể vừa gần như phi vật thể (nó chỉ thể hiện khi gặp một vật nào đó), nên nó luôn là một nguồn từ vụng ẩn dụ phong phú để gắn kết chúng ta với cái thiêng liêng, với siêu nghiệm và với thần thánh. Chẳng hạn gốc của từ “Chúa (hay Thượng đế)” (*Dieu*) trong ngữ hệ Ấn-Âu, mang các hàm nghĩa sáng, ban ngày và bầu trời sáng. Người Hy Lạp gắn thế giới của các thần thánh và con người với thế giới của ánh sáng, và thế giới của người chết với vương quốc của bóng tối. Mặc dù loại trừ mọi thờ cúng đối với một thành phần tự nhiên nhưng Hồi giáo vẫn nói đến nhà tiên tri Mahomet như “ánh sáng đến từ thánh Allah”. Còn thánh Allah thì được mô tả trong kinh Coran bằng các câu thơ sau:

*Allah là Ánh sáng của các tầng trời và đất!  
Ánh sáng của Ngài có thể ví như một cái chụp  
Mà bên trong là một ngọn đèn.*

*Ngọn đèn nằm trong một lồng kính  
 Lồng kính như một ngôi sao lấp lánh.  
 {...} Ánh sáng trên ánh sáng!  
 Allah hướng dẫn đến Ánh sáng của Ngài người nào mà Ngài muốn.*

Trong phương Tây Thiên Chúa giáo thời Trung Cổ, ánh sáng khởi thủy được diễn tả như bắt nguồn từ Chúa, chính Chúa ban tặng ánh sáng cho con người. Đó là nguồn của mọi ánh sáng tự nhiên. Chủ đề ánh sáng hiện diện khắp nơi trong toàn bộ Kinh thánh. Trong Sáng thế ký bắt đầu bằng sự sáng tạo thần thánh ra ánh sáng, sự phân chia ngày và đêm, sự sáng tạo ra Mặt trời, Mặt trăng và các sao:

*Thiên Chúa phán: “Phải có ánh sáng.” Liền có ánh sáng.  
 Thiên Chúa thấy ánh sáng tốt lành, bèn phân rẽ ánh sáng và bóng tối.  
 Thiên Chúa gọi ánh sáng là “ngày”, bóng tối là “đêm” {...}  
 Thiên Chúa lại phán rằng: “Phải có các vì sáng trên vòm trời  
 Để phân rẽ ngày với đêm;  
 Để làm dấu chỉ xác định các ngày đại lễ, ngày và năm;  
 Đó là những vầng sáng trên vòm trời để chiếu soi mặt đất...”  
 Thiên Chúa làm ra hai vầng sáng lớn;  
 Vầng sáng lớn hơn để điều khiển ngày  
 Vầng sáng nhỏ hơn để điều khiển đêm;  
 Người cũng làm ra các ngôi sao  
 Thiên Chúa đặt các vầng sáng trên vòm trời để chiếu soi mặt đất  
 Để điều khiển ngày và đêm  
 Và để phân rẽ ánh sáng và bóng tối.*

Khi Ngày Tận thế đến, chính Jérusalem trên trời soi sáng Trái đất bằng sự lộng lẫy của nó: “Giữa hai vũ trụ quan đó, sự gọi đến ánh sáng nhan nhân ở khắp nơi và luôn đi cùng với các giai đoạn chính của Thần khai, cũng như chứng kiến một số cột mốc này: bụi cây rậm rạp mà Moêse ngắm, cột ánh sáng dẫn đường ban đêm cho người Do Thái vượt qua sa mạc, ngọn đèn của Giáo đường mà con cháu của Aaron luôn giữ gìn, cỗ xe lửa mang đi nhà tiên tri Élie đi; nhưng ánh sáng tập trung nhiều trong Tân ước với Chúa Jesus, “Ánh sáng của thế giới”, người chứng tỏ cho một số tông đồ của mình trong sự vinh quang chói lòa của sự Biến thân”.

### *Ánh sáng của tri thức và tuyệt đối*

Trong truyền thống Cơ đốc giáo, “Chúa là ánh sáng”. Công thức này không thể hiện sự thần thánh hóa ánh sáng tự nhiên do Chúa sinh ra. Nó không hề muốn cất giấu tính thần thánh trong một trong các biểu hiện vật lý của nó. Để phân biệt nó với “ánh sáng được sáng tạo ra”, thánh Augustin (354-430) đã gọi nó là “ánh sáng không được sáng tạo ra”, là ánh sáng “lý tính”, chứ không “cảm tính”. Thánh Bonaventure (1221-1274), “một nhà siêu hình học về ánh sáng”, đã sử dụng các thuật ngữ *lux* (nguồn sáng) để nói về ánh sáng thần thánh, và *lumen* (ánh sáng tỏa tia) để chỉ ánh sáng tự nhiên. Ánh sáng thần thánh phân biệt với ánh sáng tự nhiên bằng cường độ của nó. Nó mạnh đến mức cái nhìn của con người không chịu nổi. Nó không tồn tại tự thân. Theo thánh Bonaventure, “ánh sáng tỏa tia” phát ra từ “nguồn sáng” làm sáng (theo nghĩa tâm linh) những sinh linh mà nó chạm tới: sự tồn tại của các sinh linh chính là phản ánh sự phát sáng của của Thiên Chúa. Quan niệm này về ánh sáng bắt nguồn từ một điểm trung tâm và được phản xạ trên bề mặt của các sinh linh và vạn vật đã là nguồn cảm hứng cho các nghiên cứu quang học và các hiện tượng vật lý gắn với sự tán xạ của ánh sáng tự nhiên của Aristote và những người kế tục ông. Ánh sáng thần thánh khi chạm vào các sinh linh sẽ là nguồn của tri thức, bởi vì nó chiếu sáng ý thức của chúng và cho phép chúng vươn lên đến cái tuyệt đối: “Ta là ánh sáng của thế giới; ai đi theo Ta sẽ không phải đi trong bóng tối, mà sẽ có ánh sáng suốt đời”<sup>11</sup>.

Từ nhân vật thần thánh, ở thời Trung Cổ, ẩn dụ ánh sáng cũng được áp dụng cho tất cả những gì bao quanh nó: Thiên đình cũng như các sinh vật khác sống trên trời. Thiên kinh luôn được mô tả như một nơi tràn trề ánh sáng từ Chúa phát ra. Trong cuốn Thần Khúc (*Divine Comédie*), Dante (1265-1321) đã ngợi ca thiên đường bằng các từ như thế này: “Ôi sự lộng lẫy của ánh sáng sống bất diệt!” Các chủ nhân của Thiên đình, Đức Mẹ đồng trinh Maria, các thiên thần và các thánh, được chiếu bởi ánh sáng thần thánh. Còn các thiên thần thượng đẳng, họ mang căn cước của các sinh linh ánh sáng ngay trong chính cái tên (*séraphin*) của họ, bởi vì nó có nghĩa là “bốc cháy”. Ánh sáng thần thánh có thể tràn xuống Trái đất dưới dạng các thiên cảm hay phép màu. Trong Kinh thánh nhan nhản những ví dụ về chuyện đó: chính ánh sáng thần thánh quật ngã thánh Paul trên đường Damas và làm cho ngài bị mù ba ngày; chính ánh sáng này đã tràn ngập nhà tù giam thánh Pierre trong khi ngài được Thiên



<sup>11</sup> Phúc âm theo thánh Jean, VIII, 12.

thần phóng thích. Khi các chủ nhân của Vương quốc ánh sáng, như Đức Mẹ đồng trinh Maria, hiện ra trước các tín đồ của mình, họ luôn được bao quanh bởi một ánh sáng chói lòa. Ấn dụ ánh sáng cũng áp dụng cho tất cả các tín đồ. Khi Chúa nói: “Các ngươi là ánh sáng của thế giới”, thì người không chỉ nói đến các tông đồ của mình, mà với tất cả các tín đồ để khích lệ họ đi theo sự nghiệp ánh sáng của Người.

Khi đi theo sự nghiệp của Chúa, những người được ân sủng, thông qua sự tồn tại của họ trên Trái đất, có thể sẽ được tới Vương quốc của ánh sáng và được hưởng hạnh phúc vĩnh hằng lớn lao. Một hệ quả tất yếu của khái niệm Thiên đường rực rỡ ánh sáng của Chúa và là nơi sinh sống của những người được ân sủng chìm ngập trong ánh sáng chói lòa của Chúa là khái niệm ngược với nó: đó là thế giới địa ngục nơi hoàn toàn không có ánh sáng của Chúa và là nơi ngự trị bóng tối của cái Ác. Cai quản vương quốc bóng tối này là Lucifer, người đứng đầu các thiên thần nổi loạn, đã phạm các hành động xấu trong bóng tối của đêm, đối lập với các tác phẩm tốt lành của Chúa được thực hiện trong ánh sáng của ban ngày. Trong thế giới của bóng tối này, các hình phạt của địa ngục thường đi liền với nhục hình bằng lửa. Có lẽ hơi nghịch lý là thế giới địa ngục chìm trong bóng tối này lại gắn với lửa, máy phát ra ánh sáng; nhưng lửa của địa ngục không giống như lửa của ánh sáng: đó là “ngọn lửa trừng phạt có một bản chất đặc biệt, lửa này, vì là bất diệt, nên cháy mà không phát sáng và cũng không thiêu hủy, nó chỉ làm cứng và tối đen các tâm hồn như đất sét đen”.

### *Ánh sáng hiệp thông*

Để các tín đồ thoát khỏi vương quốc bóng tối và lên được thiên đàng chói sáng, để họ không bị lạc lối cũng như không rời xa ánh sáng minh triết, Nhà thờ Thiên Chúa đấng giáo đã phát triển cả một nghi lễ dựa trên ánh sáng. Để tượng trưng cho đức tin rằng Chúa là ánh sáng và ánh sáng của Đấng Sáng tạo được truyền cho mỗi sinh linh của Ngài, một biểu trưng của ánh sáng, được thể hiện bằng nến hoặc các đèn đuốc khác, đã được dựng lên. Nến được giữ bởi tín đồ - hay bởi các người thân cận trong trường hợp lễ đặt tên thánh cho một trẻ sơ sinh - đi liền với sự hội nhập của nó với ánh sáng của Chúa. Tương tự, nó cũng xuất hiện khi một người gia nhập vào một hội đoàn tôn giáo. Theo thời gian, các tín đồ cũng đã tích hợp dấu hiệu ánh sáng này vào trong rất nhiều hành động sùng đạo. Họ đã biến nó thành phương tiện truyền tải ưa thích trong sự đối thoại với Thiên Chúa. Chẳng hạn, trong một buổi cầu nguyện trước một bàn thờ hay một bức tượng, hay trong phục vụ nghi lễ, các

ngọn nến được dâng lên, chúng đóng một vai trò thay thế và cho phép kéo dài cầu nguyện, ngay cả khi tín đồ không còn hiện hữu về mặt vật lý nữa (H. 75a). Các ngọn nến và đèn đuốc thờ cũng đóng vai trò quan trọng trong các đám rước và hành hương. Ánh sáng như biểu tượng của sự hiệp thông (không phải



a



b

**Hình 75. Biểu tượng âm linh của ánh sáng.** (a) Các ngọn nến được thắp ở Lyon, trong nhà thờ Notre-Dame-de-Fourvière, hiến dâng Maria. Theo Thiên Chúa giáo, ánh sáng biểu trưng cho sự hiệp thông với Chúa (“Chúa là ánh sáng”), Chúa Jêsus và Đức Mẹ đồng trinh Maria. Những ngọn nến và đèn đuốc thờ đóng vai trò thay thế cho phép kéo dài cầu nguyện, ngay cả khi tín đồ không còn xuất hiện về mặt vật lý nữa. (b) Các ngọn nến trong ngôi chùa Phật giáo. Trong Phật giáo, ánh sáng biểu trưng cho sự hiệp thông với tuệ quang của Đức Phật (“ánh sáng” ở đây nghĩa là “tiếp cận chân lý tuyệt đối”).



với Chúa, mà với Đức Phật, chẳng hạn) cũng xuất hiện trong các truyền thống tâm linh phương Đông như Phật giáo, chẳng hạn (H. 75b).

Ngày nay, ý nghĩa của ánh sáng hiệp thông cũng bắt gặp trong một bối cảnh hoàn toàn khác, hoàn toàn không có ý nghĩa tôn giáo ban đầu, mà liên quan tới một sự kiện vô thần có chiều kích trần gian: cứ mỗi bốn năm, ngọn lửa Olympic lại được truyền tay từ Hy Lạp, quê hương của phong trào Olympic, cho tới nước đăng cai, và ngọn lửa này thắp từ khi khai mạc và được duy trì trong suốt thế vận hội, biểu trưng cho ý chí thống nhất của thể hệ vận động viên trẻ trên toàn thế giới. Trong một bối cảnh hoàn toàn khác, ở nhiều nước, như Pháp chẳng hạn, các vị quan chức cấp cao của Nhà nước đến viếng đài tưởng niệm các chiến sĩ vô danh và, thông qua đài tưởng niệm này tỏ lòng biết ơn đối với tất cả những người đã ngã xuống vì tổ quốc bằng cách thắp sáng mãi ngọn lửa vĩnh cửu tượng trưng cho sự hiệp thông của đất nước với những người lính của mình.

#### *Gôtic, nghệ thuật của ánh sáng*

Chính mối quan tâm mà tư tưởng Trung Cổ dành cho ánh sáng thần thánh là nguồn gốc của sự thăng hoa của nghệ thuật gôtic. Kể từ năm 1000, phương Tây được bao phủ bởi “chiếc áo choàng trắng các nhà thờ” theo phong cách La Mã. Nghệ thuật La Mã có nét đặc trưng là sử dụng các vòm bán nguyệt bằng đá tác dụng một áp lực đáng kể lên các bức tường. Do đó, tường phải dày và được đỡ bởi các cột ộp to bên ngoài. Để không làm yếu tường, số lượng và kích thước của các cửa sổ rất hạn chế. Điều này làm cho các nhà thờ kiểu La Mã là các tòa nhà thấp lùn và tối. Vào khoảng giữa thế kỷ XII, mong muốn có nhiều ánh sáng bên trong nhà thờ hơn đã cho ra đời nghệ thuật gôtic. Suger, được phong làm tu viện trưởng Saint-Denis năm 1122, đã quyết định vào năm 1137 xây dựng lại tu viện dòng Bona theo một kiến trúc mở hơn cho ánh sáng đi vào, để các linh hồn “thông qua các ánh sáng thực, đi đến ánh sáng thực ở đó Chúa là cái cửa thực”. Năm 1144, lễ lạc thánh điện thờ của tu viện này với sự hiện diện của vua Louis XII đã khởi đầu sự lên ngôi của một kiến trúc mới. Thay vì vòm bán nguyệt, Suger lần đầu tiên sử dụng tất cả các kỹ thuật của kiến trúc gôtic. Ông đổi mới bằng cách sử dụng kỹ thuật vòm trên chỗ bắt chéo của các gân cung, lái các sức đẩy của vòm lên các cột chứ không phải lên tường. Các bức tường hình cung làm giá đỡ lại tựa trên các tường ộp



<sup>12</sup> Những người xây dựng nhà thờ gôtic thời đó chỉ có những hiểu biết kinh nghiệm về sự phân bố các lực. Các khái niệm vật lý mà kiến trúc gôtic dựa vào chỉ được biết kể từ thế kỷ XVII với lý thuyết hấp dẫn và các lực của Newton.

dùng làm bệ đỡ bên ngoài cột<sup>12</sup>. Giữa các cột, các bức tường không còn phải đỡ vòm nữa nên có thể trở các cửa sổ rộng hình vòm nhọn để cho ánh sáng ủa vào. Công trình gôtíc tựa như được phóng ra từ lòng đất để vươn lên cao, tới gần ánh sáng của Chúa. Tu viện trưởng Suger nói: “Quả là một kiệt tác tràn ngập một ánh sáng mới”.

Thực vậy, nghệ thuật gôtíc trước hết là một nghệ thuật của ánh sáng. Sự chinh phục ánh sáng thể hiện qua việc mở rộng dần các cửa sổ. Các bức tường ngày càng nhường chỗ cho các cửa sổ ngày càng rộng hơn. Vào thời hoàng kim của phong cách gôtíc, tức khoảng giữa thế kỷ XIII, diện tích cửa lớn hơn diện tích phần tường đặc, và ánh sáng tràn ngập công trình, làm nổi bật rất nhiều các bức tượng, các cửa kính hình hoa hồng và các vật trang trí khác.

Nhưng chinh phục ánh sáng cũng chính là sử dụng ngày càng thường xuyên hơn loại kính phẳng, trắng hoặc màu, và phát triển các kính ghép màu trong nhà thờ. Được cắt bằng sắt nung nóng, các tấm kính đa sắc này được ghép vào một lưới chì. Phơi trước ánh sáng ban ngày, các tấm kính màu xếp cạnh nhau này tạo thành một bức tranh ghép ánh sáng tuyệt đẹp. Các thợ kính giỏi thời Trung Cổ sử dụng khả năng hấp thụ và khúc xạ các tia sáng của kính để làm xuất hiện thứ ánh sáng bất ngờ và mãi mãi bằng một gam các màu ngày càng tinh tế. Theo sử gia người Pháp Georges Duby (1919-1996), để dựng các kính ghép màu của nhà thờ Saint-Denis, Suger “đã tìm kiếm rất kỹ lưỡng các thợ làm kính ghép, các thợ nấu thủy tinh dùng các chất rất quý như saphia với số lượng rất lớn, tán nhỏ và nấu chảy cùng với thủy tinh để tạo cho nó màu xanh nước biển, khiến cho ngắm nó quả là một thú vui”. (H. 35 trong tập ảnh màu). Với 160 lỗ cửa kính, 2600 mét vuông kính tái hiện khoảng 5000 nhân vật, nhà thờ Chartres (H. 76), được xây dựng năm 1194, có một trong những bộ cửa kính ghép đẹp nhất thế giới. Rất giàu màu sắc, nhưng chủ đạo là màu xanh lam (“màu lam Chartres” nổi tiếng) với các màu đỏ ở thế kỷ XII, rồi các màu lục và vàng ở thế kỷ XIII, các cửa kính ghép của nhà thờ Chartres tán xạ một thứ ánh sáng màu sắc tuyệt vời mang đến sự dịu dàng, yên bình và thư thái.

Chinh phục ánh sáng bằng cửa kính ghép màu còn có một ý nghĩa siêu hình. Chúng nhắc nhở rằng “Chúa là ánh sáng” và có chức năng biến ánh sáng tự nhiên (*lumen*) thành ánh sáng thần thánh (*lux*), nghĩa là đưa sự hiện diện thần thánh vào trong nhà thờ và xua đi bóng tối gắn liền với Quỷ dữ. Mối quan tâm siêu hình này được Georges Duby mô tả rất rõ: “[nghệ thuật cửa kính ghép màu dẫn tới] những bông hồng lớn tỏa sáng giữa thế kỷ XIII trên các cánh ngang mới của nhà thờ. Chúng vừa mang ý nghĩa về các chu kỳ của vũ trụ,



**Hình 76.** Nhà thờ Chartres. Gôtic trước hết là một nghệ thuật của ánh sáng. Các mũi tên của nhà thờ gôtic vươn lên trời như để đón nhận ánh sáng thần thánh. Cuộc chinh phục ánh sáng cũng được thực hiện bởi các ô cửa ngày càng rộng và bởi sự phát triển của kính ghép màu. Nhà thờ này có một trong những bộ cửa kính ghép màu đẹp nhất thế giới. © AKG-Images.

của thời gian được thâu tóm trong bất tử, và bí mật của Chúa, Chúa ánh sáng, Jesus Mặt trời”. Trong khi nghệ thuật điêu khắc La Mã thường có chủ đề về Ngày phán xử cuối cùng và số phận của những kẻ bất hạnh bị đày xuống địa ngục để tạo ấn tượng cho các tín đồ và để giữ cho họ không bị lạc lối, thì kiến trúc gôtic muốn thể hiện ý tưởng về một Chúa ánh sáng độ lượng hơn và gần gũi con người hơn, một tôn giáo ôn hòa và khoan dung hơn.

Ra đời ở île-de-France vào nửa sau thế kỷ XII, kiến trúc gôtic sau đó đã lan rộng như một ngọn lửa cháy rừng không thể chặn nổi, ban đầu là ở Pháp, phía Bắc vùng Loire (các công trình chính ở Bourges, Chartres, Laon, Noyon, Paris và Sens), rồi ra khắp châu Âu. Ngày nay, các nhà thờ gôtic vẫn còn sừng sững ở Salisbury (Anh quốc) cũng như ở Assise (Italia), Uppsala (Thụy Điển), Praha (Cộng hòa Séc). Kỳ nguyên của kiến trúc ánh sáng chỉ kết thúc vào giữa thế kỷ XVI, khi thời kỳ Phục Hưng tiếp sức.

#### Sự soi sáng cơ bản của tinh thần

Ngược lại với các tôn giáo đơn thần, Phật giáo không chấp nhận khái niệm về một Chúa sáng thế. Theo Phật giáo, thế giới các hiện tượng không được sinh ra, theo nghĩa chuyển từ không tồn tại sang tồn tại; thế giới tồn tại chỉ theo một “chân lý tương đối” ứng với trải nghiệm kinh nghiệm của chúng ta và nhằm gán cho các vật một hiện thực khách quan, như thế chúng tồn tại tự thân và có một bản thể nội tại. Theo Phật giáo, “chân lý tuyệt đối” ứng với một thế giới không có một thực tại tối hậu, theo nghĩa các hiện tượng không phải là một tập hợp các thực thể độc lập tồn tại một cách tự thân. Nhà triết học Phật giáo lớn người Ấn Độ của thế kỷ II Nagajuna đã nói: “Các hiện tượng rút ra bản chất của chúng từ sự phụ thuộc lẫn nhau và tự bản thân chúng không là gì cả”. Đó là quy luật lớn về sự phụ thuộc lẫn nhau, tư tưởng nền tảng của Phật giáo: sự phát triển của các hiện tượng không tùy tiện cũng không bị quyết định bởi một đòi hỏi thần thánh nào, mà tuân theo các quy luật nhân quả trong lòng sự phụ thuộc lẫn nhau phổ quát và trong mối quan hệ nhân quả qua lại.

Sự phụ thuộc lẫn nhau là tất yếu cho sự thể hiện của các hiện tượng. “Cái này xuất hiện bởi vì có cái kia”, hay nói một cách khác, không gì tồn tại tự thân cả, “cái này, khi đã được sinh ra, sẽ tạo ra cái kia”, điều này có nghĩa là không gì lại có thể là nguyên nhân của chính nó. Không có sự phụ thuộc lẫn nhau của vạn vật, thì thế giới không thể vận hành được. Một hiện tượng dù có như thế nào chẳng nữa thì cũng chỉ có thể xuất hiện nếu được liên hệ và kết nối với các hiện tượng khác. Tất cả đều có quan hệ với nhau, không gì tồn tại vì nó và bởi chính nó. Một thực thể tồn tại độc lập với tất cả các thực thể khác

sẽ là bất biến và tự lập: nó không thể tác động nên bất cứ thứ gì, và không gì có thể tác động lên nó. Như vậy, Phật giáo nhìn nhận thế giới như một luồng khổng lồ các sự kiện gắn kết với nhau và tất cả đều tham gia vào nhau. Cách thức mà chúng ta tri giác luồng các sự kiện đó làm kết tinh một số khía cạnh của tính tổng thể này một cách thuần túy ảo tưởng và làm cho ta tin rằng trước mắt chúng ta là các thực thể tự lập hoàn toàn tách rời với chúng ta. Phật giáo khuyên nên đi theo con đường Trung Đạo: Phật giáo không nói rằng sự vật không tồn tại, bởi vì chúng ta đã có kinh nghiệm về nó. Như vậy, Phật giáo tránh quan điểm hư vô, một quan điểm thường bị gán cho nó một cách sai lầm. Nhưng Phật giáo cũng khẳng định rằng sự tồn tại này không phải là tự lập, mà hoàn toàn phụ thuộc lẫn nhau, và do đó tránh được quan điểm hiện thực duy vật. Quan niệm về sự phụ thuộc lẫn nhau bác bỏ cả khái niệm các hạt cơ bản tự lập vốn là nền tảng của thế giới vật chất, lẫn khái niệm về một thực thể sáng tạo toàn năng và vĩnh hằng không có nguyên nhân nào khác ngoài chính nó. Như vậy, khái niệm về một “Chúa ánh sáng” đã tạo ra vũ trụ từ hư vô là vắng bóng trong Phật giáo. Mà không có Sáng thế, thì vũ trụ sẽ không thể được tạo ra. Như vậy nó phải không có bắt đầu cũng không có kết thúc. Vũ trụ khoa học tương thích với quan điểm Phật giáo ở chỗ nó là một vũ trụ tuần hoàn, lần lượt trải qua một cách đầu đốn một chuỗi vô tận các Vụ nổ lớn (Big-Bang) và Vụ co lớn (Big-Crunch).

Nhưng nếu như khái niệm về một Chúa ánh sáng không tồn tại trong Phật giáo, thì ẩn dụ ánh sáng cũng vẫn hiện diện trong đó để chỉ sự nhận thức chân lý tuyệt đối (hay tối hậu) và sự tiêu tan của vô minh. “Nhận thức” trong Phật giáo không phải chỉ sự lĩnh hội một khối lượng kiến thức và thông tin, mà là chỉ sự thấu hiểu bản chất đích thực của sự vật. Thông thường, chúng ta gán cho vật sự tồn tại tự lập và nội tại, nhưng chúng ta không phân định bản chất phụ thuộc lẫn nhau của chúng. Chúng ta nghĩ rằng cái “tôi” hay “bản ngã” tri giác các thực thể này cũng hoàn toàn cụ thể và thực. Nghĩ như vậy là chúng ta đã lạc đường, chúng ta đã có một ý niệm sai lầm về hiện thực tối hậu vốn là “trống rỗng” (hay vắng bóng sự tồn tại tự thân của các hiện tượng, dù chúng là hữu sinh hay vô sinh). Sự sai lầm này, mà Phật giáo gọi là “si” hay samsara, sinh ra các cảm giác chấp trước hay căm ghét vốn thường là nguyên nhân của đau khổ. Chỉ bằng cách lĩnh hội “tri thức”, nghĩa là một sự thấu hiểu đúng đắn về bản chất của các sự vật và các sinh linh thì chúng ta mới có thể loại trừ dần sự mù quáng tinh thần và các đau khổ bắt nguồn từ đó, và tìm được sự thư thái trong tâm hồn. Phật giáo gọi ý thức này là “sự soi sáng cơ bản của

tinh thần". Nó tương ứng với một nhận thức thuần khiết, không vận hành theo kiểu nhị nguyên chủ thể - khách thể và cũng không hề biết tới tư duy suy lý lôgic. Kiểu nhận thức đó cũng được gọi là "sự soi sáng tự nhiên" hay là "sự hiện diện tinh thức".

Những đứa con của ánh sáng

Chúng ta là những đứa con của ánh sáng. Chúng ta sinh ra, sống và chết trong một bồn ánh sáng tự nhiên hoặc nhân tạo. Nhịp xuất hiện của ánh sáng và sự biến mất của nó ảnh hưởng đến chúng ta cả về sinh lý lẫn tâm lý. Ánh sáng Mặt trời là nguồn sống của chúng ta. Ánh sáng của lửa là cơ sở của nền văn minh chúng ta. Sức mạnh và vẻ đẹp của ánh sáng là nền tảng sự tồn tại của chúng ta. Ánh sáng giúp chúng ta "nhìn thấy". Nó làm cho các vật và các hình dạng trình hiện trước mắt chúng ta. Không có ánh sáng, thế giới sẽ bị "tiêu hủy", nó không tồn tại nữa; con người sẽ bị tách khỏi vũ trụ vì không thể tri giác thế giới bao quanh mình nữa. Con người sẽ như bị tê liệt, vì không một hành động nào có thể khả dĩ trong một vũ trụ tối tăm. Đối lập với vũ trụ chìm trong bóng tối này là một vũ trụ nhìn thấy được nhờ ánh sáng, nguồn vô tận của khả năng hiểu được và sáng tạo. Nếu bóng tối gắn liền với cái chết, thì ánh sáng gắn liền với sự sống.

Nhưng ánh sáng không chỉ giúp chúng ta nhìn thấy, mà nó còn giúp chúng ta tư duy. Thông tin đến với chúng ta từ thế giới bên ngoài được mắt truyền lên não. Thị giác, nữ hoàng của các giác quan, cung cấp cho chúng ta lượng thông tin nhiều gấp mười lần thính giác, vì các sóng ánh sáng vận tải nhiều "bit" thông tin hơn các sóng âm thanh. Như vậy, ánh sáng gắn liền với tinh thần. Các nhà vật lý đã suy ngẫm về bản chất của nó. Họ đã ngạc nhiên khi phát hiện ra lưỡng tính của ánh sáng, nó vừa là sóng vừa là hạt. Họ đã vén bức màn bí mật về bầu trời xanh và cầu vồng. Bởi vì sự lan truyền của ánh sáng là không tức thì, và nhìn xa nghĩa là nhìn sớm, nên ánh sáng kết nối con người với toàn bộ vũ trụ. Các nhà thiên văn có thể sử dụng ánh sáng để tái dựng lịch sử các nguồn gốc của chúng ta, một bản sử thi tuyệt vời trải trên khoảng thời gian 14 tỉ năm. Các nhà vật lý thiên văn đã có thể thuật lại cho chúng ta bức bích họa hoành tráng của vũ trụ từ thời điểm ánh sáng khởi thủy, trong Big-Bang, cho tới tương lai xa xôi, ở đó vũ trụ sẽ chìm trong một đêm đen dài vô tận. Các nhà sinh học và hóa học đã chứng tỏ cho chúng ta biết cây xanh chuyển hóa ánh sáng Mặt trời thành vật chất sống thông qua sự kỳ diệu của quang hợp như thế nào, và bằng cách nào năng lượng của Ngôi sao của sự sống đó có thể được thu hồi để thỏa mãn các nhu cầu năng lượng của chúng ta. Các nhà phát

minh, các kỹ sư và các chuyên gia kỹ thuật đã biết thuần hóa ánh sáng để ban tặng cho chúng ta ánh sáng nhân tạo. Từ sự chiếu sáng bằng đuốc, nến và đèn dầu, họ đã chuyển sang bóng đèn điện và các biển hiệu đèn neon. Bằng cách khuếch đại ánh sáng, họ đã cho ra đời laser. Laser đã tràn ngập các phòng thí nghiệm, nhà máy, bệnh viện, siêu thị và ngay trong phòng khách nhà chúng ta. Nhờ có laser và các mạng cáp quang dọc ngang khắp thế giới, ánh sáng đã cho phép kết nối con người với nhau và biến hành tinh thành một ngôi làng toàn cầu thông qua một mạng thông tin khổng lồ được gọi là Internet. Các nhà vật lý còn muốn sử dụng các tính chất lượng tử kỳ lạ của ánh sáng để chế tạo máy vi tính có khả năng tính toán nhanh hơn rất nhiều bất kỳ máy vi tính cổ điển nào. Họ muốn dùng ánh sáng để vô hiệu hoá bọt tin tặc và “viễn tải” thông tin từ nơi này sang nơi khác.

Nhưng không nên quên rằng ánh sáng còn hơn cả vật chất: nó còn thuộc phạm vi tâm linh nữa. Bằng cách nghiên cứu tỉ mỉ những phản chiếu, ánh chói, các hình dạng sáng của môi trường và các công trình mà con người đã dựng nên, Turner, Monet và Cézanne đã ban tặng cho tự nhiên một tâm hồn. Bằng cách tự giải phóng khỏi các hình khối để dành ưu thế cho màu sắc, Kandinsky viển đến nhu cầu bên trong của người nghệ sĩ để sử dụng nghệ thuật vào các mục đích tổng hợp thế giới bên trong và bên ngoài và dẫn đến quy luật vĩ đại của vũ trụ. Mối quan tâm tinh thần này đối với ánh sáng, các truyền thống tôn giáo trên toàn thế giới đã đẩy nó lên đến cực điểm: Cơ đốc giáo nói đến một “Chúa ánh sáng”, trong khi Phật giáo gắn nó với sự tiêu tan của ngu si, nguồn gốc của mọi đau khổ, với “sự soi sáng tinh thần”. Con người được định nghĩa bằng biểu tượng mà nó được làm từ ánh sáng. Dù ở tâm khoa học, kỹ thuật, nghệ thuật hay tinh thần, thì chính phương pháp tiếp cận ánh sáng này cho phép chúng ta là con người.



# MỤC LỤC

LỜI TỰA

CHƯƠNG 5

ÁNH SÁNG CỦA SỰ SỐNG:  
MẶT TRỜI, NĂNG LƯỢNG,  
BẦU TRỜI XANH VÀ CẦU VỒNG

15

CHƯƠNG 6

ÁNH SÁNG BỊ THUẦN HOÁ:  
TỪ NGỌN LỬA PROMÉTHÉE ĐẾN  
CÁC BIỂU HIỆU NEON, TỪ LASER  
VÀ CẤP QUANG ĐẾN VIỄN TẢI  
VÀ MÁY TÍNH LƯỢNG TỬ

125

CHƯƠNG 7

ÁNH SÁNG NGHỆ THUẬT,  
ÁNH SÁNG TINH THẦN:  
MẮT VÀ BỘ NÃO

209



# NHỮNG CON ĐƯỜNG CỦA ÁNH SÁNG

## VẬT LÝ VÀ SIÊU HÌNH HỌC CỦA ÁNH SÁNG VÀ BÓNG TỐI

TRỊNH XUÂN THUẬN

PHẠM VĂN THIẾU và NGÔ VŨ dịch

*Chịu trách nhiệm xuất bản:*

TS. QUÁCH THU NGUYỆT

*Biên tập:*

HẢI VĂN

*Bìa:*

BÛI NAM

*Sửa bản in:*

THANH VIỆT

*Kỹ thuật vi tính:*

THANH HÀ

### **NHÀ XUẤT BẢN TRẺ**

161B Lý Chính Thắng - Quận 3 - Thành phố Hồ Chí Minh

ĐT: 9316289 - 9316211 - 8465595 - 8465596 - 9350973

Fax: 84.8.8437450 - E-mail: [nxbtre@hcm.vnn.vn](mailto:nxbtre@hcm.vnn.vn)

Website: <http://www.nxbtre.com.vn>

### **CHI NHÁNH NHÀ XUẤT BẢN TRẺ TẠI HÀ NỘI**

20 ngõ 91, Nguyễn Chí Thanh, Quận Đống Đa - Hà Nội

ĐT & Fax: (04) 7734544

E-mail: [vanphongnxbtre@hn.vnn.vn](mailto:vanphongnxbtre@hn.vnn.vn)



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 Trịnh 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, Trịnh 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, Trịnh 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 Trịnh 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 Trịnh Xuân Thuận là tìm hiểu sự hình thành của các thiên hà.

Lễ trao giải thưởng lớn Moron cho Trịnh Xuân Thuận đã được tổ chức trọng thể vào tháng 11 năm 2007 với giải thưởng trị giá 5000 euro.

PRESS BUREAU - ĐH VIRGINIA

