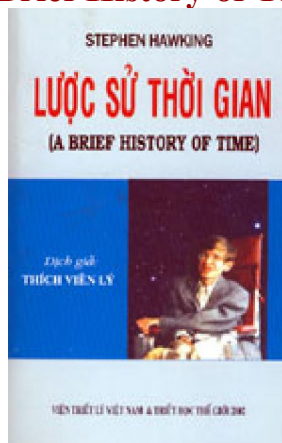


LƯỢC SỬ THỜI GIAN (A Brief History of Time)



Tác Giả:-Steven Hawking
Dịch Giả:-TT.Thích Viên Lý
Viện Triết Lý Việt Nam và Triết Học Thế Giới, USA

---o0o---

Nguồn

<http://thuvienhoasen.org>

Chuyển sang ebook 26-7-2009

Người thực hiện : Nam Thiên – namthien@gmail.com

Link Audio Tại Website <http://www.phatphaponline.org>

Mục Lục

Lời Giới Thiệu

Cảm Tạ

CHƯƠNG 1 - BỨC TRANH VĨ TRỤ CỦA CHÚNG TA

CHƯƠNG 2 - KHÔNG GIAN VÀ THỜI GIAN

CHƯƠNG 3 - VĨ TRỤ BÀNH TRƯỚNG

CHƯƠNG 4 - NGUYÊN TẮC BẤT ĐỊNH

CHƯƠNG 5 - NHỮNG HẠT CƠ BẢN VÀ CÁC LỰC THIÊN NHIÊN

CHƯƠNG 6 - HỒ ĐEN

CHƯƠNG 7 - HỒ ĐEN KHÔNG ĐEN LẮM

CHƯƠNG 8 - NGUỒN GỐC VÀ VẬN MỆNH CỦA VĨ TRỤ

CHƯƠNG 9 - MŨI TÊN THỜI GIAN

CHƯƠNG 10 - THỐNG NHẤT VẬT LÝ HỌC

CHƯƠNG 10 - KẾT LUẬN

---o0o---

Lời Giới Thiệu

Hàng ngày chúng ta sinh hoạt trong khi hầu như không hiểu biết gì về thế giới. Chúng ta chỉ quan tâm chút ít về cái bộ máy phát ra ánh sáng mặt trời mà nhờ đó mới có sự sống, về cái trọng lực buộc chặt chúng ta trên trái đất mà nếu không có nó thì chúng ta sẽ bị thả lăn lóc trong không gian, hoặc về những nguyên tử cấu tạo nên thân thể, và chúng ta tùy thuộc vào sự ổn cố của chúng.

Ngoại trừ trẻ con (chúng ngây thơ nên không ngần ngại hỏi những câu hỏi quan trọng), chỉ có một số ít trong chúng ta dành nhiều thì giờ để thắc mắc tại sao thiên nhiên lại như thế này thế nọ; vũ trụ phát sinh từ đâu, hay là xưa nay nó vẫn vĩnh hằng hiện diện ở đây; phải chăng tới một ngày nào đó thời gian sẽ trôi ngược chiều và những hậu quả sẽ đi trước những nguyên nhân; hoặc phải chăng có những giới hạn tối hậu đối với những gì mà con người có thể hiểu biết. Có những trẻ em – và tôi đã từng gặp một số – muốn biết một hố đen trong vũ trụ giống như thế nào; bộ phận nhỏ nhất của vật chất là gì; tại sao chúng ta nhớ được quá khứ mà không phải tương lai; nếu ở thời sơ khai có sự hỗn loạn thì làm thế nào mà hiện tại lại đang có trật tự như chúng ta thấy; và tại sao lại có một vũ trụ.

Trong xã hội chúng ta các bậc cha mẹ và thầy giáo vẫn còn có thói quen trả lời đa số những câu hỏi đó bằng cách nhún vai, hoặc bằng cách mượn những ý niệm tôn giáo mà họ nhớ một cách mơ hồ. Một số người cảm thấy lúng túng khó chịu đối với những vấn đề loại này, vì chúng phơi bày một cách rõ ràng những giới hạn trong sự hiểu biết của con người.

Nhưng phần lớn triết học và khoa học đã được thúc đẩy bởi những tra vấn như vậy để tấn tới. Ngày càng có nhiều người lớn cũng muốn hỏi những câu hỏi loại này, và thỉnh thoảng họ tìm được một số câu trả lời đáng kinh ngạc. Đứng ở giữa các nguyên tử và các ngôi sao, chúng ta đang nói rộng những chân trời thám hiểm để tìm hiểu cả cái rất nhỏ lẫn cái rất lớn.

Mùa Xuân năm 1974, khoảng hai năm trước khi phi thuyền Viking đáp xuống Hỏa tinh, tôi đang dự một hội nghị ở Anh Quốc, do Học Hội Hoàng Gia ở Luân Đôn bảo trợ. để thảo luận về vấn đề truy tìm đời sống ngoài địa cầu. Trong giờ nghỉ uống cà-phê tôi nhận thấy có một cuộc hội họp, rất đông đảo hơn, đang cử hành trong một sảnh đường bên cạnh; và tôi đi vào vì hiếu kỳ. Tôi liền nhận ra rằng mình đang chứng kiến một nghi thức cổ xưa, đây là nghi lễ tiếp nhận các hội viên mới được nhận vào Học Hội Hoàng

Gia, một trong những tổ chức học thuật lâu đời nhất trên hành tinh này. Ở hàng phía trước, một người trẻ tuổi ngồi trên xe lăn đang rất chậm chạp ký tên vào một cuốn sổ mà trên những trang đầu tiên có chữ ký của Isaac Newton. Đến khi người đó đã ký tên xong, mọi người vỗ tay hoan hô nồng nhiệt. Ngay từ hồi đó Stephen Hawking đã là một nhân vật truyền thuyết.

Hiện thời Hawking là Giáo Sư Toán Học Hàm Lucasian của Đại Học Cambridge, một chức vụ mà Newton đã từng giữ, và sau này Paul Dirac cũng đã giữ – đây là hai nhà khai phá lừng danh về cái rất lớn và cái rất nhỏ. Hawking xứng đáng là người kế nghiệp họ.

Đây là cuốn sách đầu tiên mà Hawking viết cho giới độc giả không chuyên môn, và nó chứa đựng những công hiến nhiều loại dành cho giới độc giả đại chúng. Ngoài nội dung bao quát của cuốn sách, điều không kém thú vị là độc giả có thể thấy thoáng qua ở đây về những tác động trong tâm trí của tác giả. Trong cuốn sách này có những khái thị rõ ràng về các biên cương của vật lý học, thiên văn học, vũ trụ luận, và sự can đảm.

Đây cũng là một cuốn sách về Thượng Đế... hoặc có lẽ về sự vắng mặt của Thượng Đế. Chữ Thượng Đế tràn đầy trong những trang sách này. Hawking lên đường đi tìm câu trả lời cho câu hỏi nổi tiếng của Einstein rằng phải chăng Thượng Đế có sự lựa chọn khi cấu tạo vũ trụ. Hawking muốn thử tìm hiểu tâm trí của Thượng Đế – như ông nói rõ. Và điều này khiến cho kết luận càng thêm bất ngờ, ít ra là cho tới nay: một vũ trụ mà không gian không có giới hạn, thời gian không có khởi đầu hoặc kết thúc, và không có gì để cho một Đấng Tạo Hóa làm cả.

– Carl Sagan
Đại Học Cornell
Ithaca, New York

---o0o---

Cảm Tạ

Tôi đã quyết định thử viết một cuốn sách phổ thông về không gian và thời gian sau khi tôi phụ trách khóa giảng Loeb tại Đại Học Harvard năm 1982. Trước đây đã có một số đáng kể những cuốn sách về vũ trụ ở thời sơ khai và những hồ đên, từ những sách rất hay, như cuốn Ba Phút Đầu Tiên (The First Three Minutes) của Steven Weinberg, cho tới những sách rất dở mà tôi sẽ

không nêu tên. Tuy nhiên, tôi cảm thấy rằng không có cuốn sách nào trong số đó thực sự đề cập những vấn đề đã xui khiến tôi nghiên cứu về vũ trụ luận và thuyết lượng tử: Vũ trụ đến từ đâu? Nó đã bắt đầu như thế nào và tại sao? Nó có sẽ đi tới kết thúc hay không, và nếu kết thúc thì sẽ như thế nào? Đây là những câu hỏi đáng được tất cả chúng ta quan tâm. Nhưng khoa học hiện đại đã trở thành kỹ thuật hóa đến nỗi rằng chỉ có một số ít chuyên gia có thể nắm vững toán học dùng để mô tả những vấn đề đó. Tuy nhiên, những ý niệm cơ bản về khởi thủy và vận mệnh của vũ trụ thì có thể lý giải không cần tới toán học, trong một hình thức mà những người không được huấn luyện về khoa học có thể hiểu. Đây là điều mà tôi đã thử làm trong cuốn sách này. Độc giả sẽ phán đoán xem tôi có thành công hay không.

Có người bảo tôi rằng mỗi phương trình mà tôi đem vào sách sẽ khiến cho số lượng tiêu thụ giảm xuống phân nửa. Vì thế tôi quyết định không dùng tới một phương trình nào cả. Tuy nhiên, rốt cuộc tôi đã đem vào một phương trình, đó là phương trình nổi tiếng của Einstein, $E=mc^2$. Tôi hy vọng rằng điều này sẽ không khiến cho một nửa số độc giả tương lai của tôi sợ hãi bỏ chạy.

Ngoại trừ điều xui xẻo bị mắc bệnh ALS – tức là bệnh về thần kinh vận động – hầu hết mọi phương diện khác tôi đều được may mắn. Nhờ sự trợ lực của Jane, vợ tôi, và các con tôi – Robert, Lucy, và Timmy – tôi đã có thể sống một cuộc đời khá bình thường và có một sự nghiệp thành công. Tôi lại được may mắn vì đã chọn môn vật lý học lý thuyết, vì môn này chỉ cần dùng tới tâm trí mà thôi. Cho nên sự bại liệt của tôi chẳng phải là một điều bất lợi trầm trọng. Các đồng sự khoa học của tôi, không trừ một ai, đã tận tình giúp đỡ tôi.

Ở giai đoạn "cổ điển" đầu tiên trong sự nghiệp của tôi, những người hợp tác chính yếu là Roger Penrose, Robert Geroch, Brandon Carter, và George Ellis. Tôi mang ơn họ về những giúp đỡ họ đã dành cho tôi, và về công trình mà chúng tôi đã cùng nhau thực hiện. Giai đoạn này được thu tóm bởi cuốn sách Cấu Trúc Vĩ Mô của Không-Thời Gian (The Large Scale Structure of Spacetime) mà tôi và Ellis viết chung vào năm 1973. Tôi không khuyên độc giả của cuốn sách này tham khảo cuốn sách đó để hiểu biết thêm: nó thuộc loại nặng về kỹ thuật và rất khó đọc. Tôi hy vọng rằng kể từ khi đó tôi đã học được cách viết dễ hiểu hơn.

Ở giai đoạn "lượng tử" thứ nhì trong sự nghiệp của tôi, từ năm 1974, những người cộng tác chính yếu là Gary Gibbon, Don Page, và Jim Hartle. Tôi nợ

họ và các sinh viên nghiên cứu của tôi rất nhiều, những người đã giúp đỡ tôi tận tình, kể cả ý nghĩa thể chất lẫn ý nghĩa lý thuyết của từ ngữ này. Vì phải theo kịp các sinh viên của tôi nên tôi cảm thấy rất hào hứng, và điều này giúp tôi tránh được một đời sống buồn tẻ.

Một trong các sinh viên đó là Brian Whitt đã giúp tôi rất nhiều trong việc viết cuốn sách này. Năm 1985 tôi bị viêm phổi, sau khi đã viết xong bản sơ thảo thứ nhất. Tôi phải giải phẫu khai thông khí quản, điều này khiến tôi bị mất khả năng nói, và do đó hầu như không thể nào truyền thông với người khác. Tôi tưởng rằng mình không thể nào hoàn tất cuốn sách. Tuy nhiên, Brian chẳng những đã giúp tôi duyệt lại bản thảo mà còn giúp tôi sử dụng một chương trình truyền thông gọi là "Trung Tâm Sinh Hoạt" mà ông Walt Woltoz, thuộc công ti Word Plus Inc., ở Sunnyvale, California, đã hiến tặng tôi. Với hệ thống này tôi có thể viết sách, viết luận văn, và nói chuyện với người ta bằng cách sử dụng một máy tổng hợp tiếng nói do hãng Speech Plus – cũng ở Sunnyvale, California – hiến tặng. Máy tổng hợp tiếng nói và một máy vi tính cá nhân nhỏ được ông David Mason gắn trên xe lăn cho tôi. Hệ thống này đã tạo biến đổi lớn lao: Trên thực tế bây giờ tôi có thể truyền thông tốt hơn trước khi tôi bị mất tiếng nói.

Tôi đã nhận được những đề nghị cải tiến cuốn sách này từ nhiều người đã đọc những bản sơ thảo. Đặc biệt, ông Peter Guzzardi, người chủ biên của tôi tại nhà xuất bản Bantam Book, đã liên tiếp gửi nhiều trang bình luận và câu hỏi về những điểm mà ông cảm thấy tôi đã không giải thích rõ ràng. Tôi phải nhìn nhận rằng tôi hơi bực mình khi nhận cái danh sách dài của ông ấy, trong đó ghi những điều cần sửa đổi, nhưng ông ấy thật là có lý. Tôi tin rằng sự thúc đẩy không nương tay của ông đã giúp cuốn sách trở thành khá hơn.

Tôi rất biết ơn các phụ tá của tôi, Colin William, David Thomas, và Raymond Laflamme; các thư ký của tôi Judy Fella, Ann Ralph, Cheryl Billington, và Sue Masey; và toàn ban y tá của tôi. Cuốn sách này không thể nào hoàn thành nếu không có sự yểm trợ cho những phí tổn nghiên cứu và y khoa của tôi, cung cấp bởi Phân Khoa Gonville & Caius, Hội Đồng Nghiên Cứu Khoa Học và Cơ Khí, và bởi những cơ quan Leverhulme, McArthur, Nuffield, và Ralph Smith Foundations. Tôi rất biết ơn họ.

– Stephen Hawking
20 tháng 10 năm 1987

Xem Thêm:
Cùng Tác Giả, Khác Dịch Giả:
[Lược Sử Thời Gian, Dịch Giả: Cao Chi và Phạm Văn Thiều](#)

---o0o---

CHƯƠNG 1 - BỨC TRANH VŨ TRỤ CỦA CHÚNG TA

Một khoa học gia nổi tiếng (có người nói đó là Bertrand Russell) có lần diễn thuyết trước công chúng về thiên văn học. Ông mô tả địa cầu quay chung quanh mặt trời như thế nào, và, mặt khác, mặt trời lại quay quanh trung tâm của một quần thể các vì sao gọi là thiên hà như thế nào. Vào cuối buổi diễn thuyết, một bà cụ nhỏ thó ngồi cuối phòng đứng lên nói: "Những lời ông nói đều là tầm bậy. Thế giới này thực ra là một cái đĩa bằng phẳng nằm trên lưng một con rùa khổng lồ." Vị khoa học gia mỉm cười hóm hỉnh trước khi trả lời: "Vậy thì con rùa nó đứng trên cái gì?" "Ông rất khôn lanh, ông bạn trẻ ạ, rất khôn lanh," bà cụ nói. "Nhưng, đây là bầy rùa cứ con nọ cũng con kia liên tiếp như thế!"

Phần lớn người ta sẽ cho rằng hình ảnh vũ trụ của chúng ta như một tháp rùa vô tận nghe hơi tức cười, nhưng tại sao chúng ta tự cho rằng mình biết rõ hơn? Chúng ta biết gì về vũ trụ? và chúng ta biết về nó như thế nào? Vũ trụ từ đâu mà đến, và nó sẽ đi về đâu? Vũ trụ có một khởi thủy hay không? và nếu có thì chuyện gì xảy ra trước đó? Bản chất thời gian là gì? Liệu nó sẽ đi tới kết cuộc hay không? Những khai thông mới đây về vật lý học, một phần nhờ những kỹ thuật mới kỳ diệu, đưa ra những giải đáp cho một vài trong số những câu hỏi lâu đời này. Một ngày nào đó những câu trả lời này có thể sẽ tỏ ra hiển nhiên đối với chúng ta như chuyện địa cầu quay chung quanh mặt trời – hoặc cũng có thể tức cười như một cái tháp gồm những con rùa. Chỉ có thời gian (dù đó là gì chẳng nữa) sẽ cho biết.

Ngay từ năm 340 trước Tây Nguyên, Aristotle, triết học gia Hy Lạp, trong quyển sách "Luận Thiên"(On the Heaven) của ông, đã có thể đưa ra hai luận cứ giá trị để tin rằng địa cầu là một trái cầu tròn chứ không phải là một đĩa bằng phẳng. Thứ nhất, ông nhận thức rằng nguyệt thực là do địa cầu vận hành đến giữa mặt trời và mặt trăng. Bóng địa cầu ở trên mặt trăng luôn luôn tròn là vậy, điều này chỉ đúng nếu bản thân trái đất hình cầu. Nếu địa cầu là một cái đĩa tròn bằng phẳng, cái bóng sẽ bị kéo dài ra hoặc có hình bầu dục e-lip (ellipse), trừ phi nguyệt thực luôn luôn xảy ra vào lúc mặt trời nằm ngay dưới trung tâm cái đĩa tròn này. Thứ hai, nhờ những cuộc du hành,

người Hy Lạp đã biết rằng khi quan sát bầu trời từ những vùng phía nam, sao Bắc Đẩu có vẻ thấp hơn trong bầu trời so với khi quan sát từ những vùng gần phía bắc. (Bởi vì sao Bắc Đẩu nằm ngay phía trên Bắc Cực, cho nên nó có vẻ nằm ngay trên đỉnh đầu của người quan sát đứng tại Bắc Cực, còn đối với người quan sát từ xích đạo, sao Bắc Đẩu có vẻ nằm ngay ở chân trời).

Từ sự khác biệt về vị trí biểu kiến của sao Bắc Đẩu tại Ai Cập và Hy Lạp, Aristotle thậm chí còn tính phỏng chu vi của địa cầu là 400,000 stadia (chuẩn cự). Hiện nay không thể biết chính xác, độ dài 1 stadium (số ít của stadia) là bao nhiêu, nhưng có lẽ là trên dưới 200 yards, như thế thì sự phỏng tính của Aristotle gấp đôi con số được công nhận hiện nay. Người Hy Lạp còn đưa ra một luận cứ thứ ba là trái đất phải hình tròn, nếu không thì tại sao người ta nhìn thấy cột buồm của một chiếc thuyền từ chân trời đi tới và sau đó mới thấy thân thuyền?

Aristotle nghĩ rằng địa cầu bất động và rằng mặt trời, mặt trăng, các hành tinh và các ngôi sao di chuyển theo những quỹ đạo hình tròn chung quanh địa cầu. Ông tin tưởng điều này bởi vì ông cảm thấy, vì những lý do thần bí, rằng địa cầu là trung tâm của vũ trụ, và rằng chuyển động tròn là hoàn hảo nhất. Quan niệm này đã được phát triển bởi Ptolemy vào thế kỷ thứ hai sau Tây Nguyên thành một mô hình vũ trụ học đầy đủ. Địa cầu nằm ở trung tâm, bao quanh bởi tám hình cầu mang mặt trăng, mặt trời, các ngôi sao và năm hành tinh được biết hồi đó: Thủy tinh, Kim tinh, Hỏa tinh, Mộc tinh và Thổ tinh. (Hình 1.1). Những hành tinh này lại chuyển động trên những vòng tròn nhỏ hơn gắn vào những hình cầu tương ứng để giải thích đường đi tương đối phức tạp của chúng khi được quan sát trên bầu trời. Hình cầu tầng ngoài cùng chứa những ngôi sao gọi là sao cố định, chúng luôn luôn nằm ở cùng vị trí so với nhau, nhưng cùng nhau quay trong bầu trời. Những gì bên ngoài hình cầu ngoài cùng thì không hề được minh định, nhưng chắc chắn nó không nằm trong cái vũ trụ có thể quan sát được của con người.

Mô hình của Ptolemy cung cấp một hệ thống chính xác một cách hợp lý để tiên đoán vị trí của các thiên thể trong bầu trời. Nhưng để tiên đoán đúng những vị trí này, Ptolemy đã phải giả định rằng mặt trăng đi theo một quỹ đạo mà đôi khi nó tới gần địa cầu gấp đôi những lúc khác. Và điều đó có nghĩa rằng mặt trăng đôi khi phải nhìn lớn gấp đôi những lúc khác! Ptolemy đã thừa nhận khuyết điểm này, mặc dù thế, mô hình của ông vẫn được tiếp nhận rộng rãi tuy không phải ai cũng đồng ý. Nó được giáo hội Cơ Đốc giáo tiếp nhận như hình ảnh của vũ trụ phù hợp với Thánh Kinh, bởi vì nó có ưu

điểm lớn lao là dành nhiều chỗ bên ngoài hình cầu các tinh tú cố định cho thiên đường và địa ngục.

Tuy nhiên, năm 1514, một vị giáo sĩ người Ba Lan, tên là Nicholas Copernicus, đã đề ra một mô hình đơn giản hơn. (Ban đầu, có lẽ sợ bị giáo hội của mình gán cho là một kẻ theo dị giáo, Copernicus chỉ luân lưu mô hình của ông một cách nặc danh.) Quan niệm của ông là, mặt trời nằm cố định ở trung tâm, còn địa cầu và các hành tinh di chuyển theo các quỹ đạo tròn quanh mặt trời. Gần một thế kỷ sau, quan niệm của ông mới được coi trọng. Rồi hai nhà thiên văn học – Johannes Kepler, người Đức, và Galileo Galilei, người Ý – đã khởi sự công khai ủng hộ lý thuyết của Copernicus, mặc dù các quỹ đạo mà nó dự đoán đã không hoàn toàn phù hợp với các quỹ đạo quan sát được. Đòn chí tử cho lý thuyết của Aristotle và Ptolemy xảy ra vào năm 1609. Năm ấy, Galileo dùng viễn vọng kính vừa phát minh để quan sát bầu trời ban đêm. Khi quan sát Mộc tinh, Galileo đã phát hiện có mấy vệ tinh nhỏ hoặc mặt trăng chuyển động quanh nó. Điều này ngụ ý rằng không phải mọi vật đều phải quay quanh trái đất như Aristotle và Ptolemy đã nghĩ. (Đương nhiên, người ta vẫn có thể tin rằng địa cầu đứng yên tại trung tâm vũ trụ, còn các vệ tinh của Mộc tinh di chuyển theo những quỹ đạo hết sức phức tạp quanh địa cầu, khiến có vẻ như chúng quay quanh Mộc tinh. Tuy nhiên, lý thuyết của Copernicus đơn giản hơn nhiều.) Cùng lúc đó, Johannes Kepler đã cải tiến lý thuyết của Copernicus, cho rằng các hành tinh di chuyển không phải theo hình tròn mà theo hình e-lip (một e-lip là một vòng tròn được kéo dài ra, giống như hình bầu dục). Những tiên đoán đó ngày nay phù hợp với những quan sát.

Đối với Kepler, những quỹ đạo hình e-lip chỉ là một giả thuyết tạm thời, và là một giả thuyết hơi khó chấp nhận, bởi vì hình e-lip rõ ràng không hoàn hảo bằng hình tròn. Sau khi hầu như tình cờ khám phá ra rằng các quỹ đạo hình e-lip phù hợp với những quan sát, ông lại không thể thỏa hiệp chúng với quan niệm của ông rằng các hành tinh phải quay chung quanh mặt trời do tác dụng của các lực từ tính. Mãi về sau, vào năm 1687, một sự giải thích mới được đưa ra, khi Sir Isaac Newton xuất bản cuốn sách của ông nhan đề Triết Lý Nguyên Tắc Tự Nhiên của Toán Học, có lẽ là tác phẩm đơn độc quan trọng nhất từng được xuất bản về khoa vật lý. Trong quyển sách này, Newton không những đưa ra một lý thuyết về vấn đề làm thế nào các vật thể di chuyển trong không gian và thời gian, mà còn phát triển những bài toán phức tạp cần thiết để phân tích những chuyển động này. Ngoài ra, Newton còn đề ra định luật vạn vật hấp dẫn, theo đó, mọi vật thể trong vũ trụ đều thu hút lẫn nhau bởi một lực. Lực này càng mạnh nếu khối lượng của vật thể

càng lớn và khi chúng càng nằm gần nhau. Chính lực này đã khiến mọi vật đều rơi xuống mặt đất. (Câu chuyện rằng Newton đã được gợi ý bởi một trái táo rơi trúng đầu hầu như chắc chắn chỉ là huyền thoại. Chính Newton chỉ nói rằng ý tưởng về trọng lực đã tới với ông khi ông ngồi "trầm tư," và "tình cờ một trái táo rơi xuống.") Newton tiếp tục chứng tỏ rằng, theo định luật của ông, hấp lực khiến mặt trăng di chuyển theo một quỹ đạo hình e-líp chung quanh trái đất và khiến trái đất cùng các hành tinh quay theo các đường e-líp chung quanh mặt trời.

Mô hình theo Copernicus loại bỏ các hình cầu của Ptolemy, và cả quan niệm rằng vũ trụ có một biên giới tự nhiên. Bởi vì các "ngôi sao cố định" có vẻ như đã không thay đổi vị trí ngoại trừ chuyển quay ngang bầu trời gây ra bởi địa cầu quay theo trục của nó, điều đã trở thành tự nhiên khi cho rằng những ngôi sao cố định là những vật thể giống như mặt trời của chúng ta nhưng ở xa hơn rất nhiều.

Theo lý thuyết hấp lực của ông, Newton nhận thấy rằng các ngôi sao phải thu hút lẫn nhau, do đó hình như chúng không thể bất động mãi. Thế liệu sẽ có một lúc nào đó chúng sẽ rơi vào nhau không? Trong một bức thư năm 1691 viết cho Richard Bentley — một nhà tư tưởng hàng đầu khác vào thời đó — Newton lý luận rằng điều này quả thực sẽ xảy ra nếu chỉ có một con số hữu hạn các ngôi sao, được phân bố trong một khoảng không gian hữu hạn. Nhưng mặt khác, ông lý luận rằng nếu có một con số vô hạn các vì sao được phân bố tương đối đồng đều trong không gian vô hạn, thì điều này sẽ không xảy ra, bởi vì khi đó sẽ không có trung tâm điểm nào để chúng rơi xuống.

Luận cứ này là một loại cạm bẫy mà bạn có thể gặp phải khi nói về cái vô hạn. Trong một vũ trụ vô hạn, mọi điểm đều có thể coi như trung tâm, bởi vì mọi điểm đều có một con số vô hạn các ngôi sao ở mọi phía của nó. Phương pháp chính xác, rất lâu sau mới được nhận thức, là xem xét tình trạng hữu hạn, trong đó các ngôi sao đều rơi vào nhau, và rồi tự hỏi mọi chuyện sẽ thay đổi như thế nào nếu người ta thêm vào các ngôi sao được phân bố tương đối đồng đều bên ngoài vùng này. Theo định luật của Newton, những ngôi sao cộng thêm đó tính trung bình sẽ không làm thay đổi gì đối với những ngôi sao nguyên thủy, khiến những ngôi sao này vẫn rơi vào nhau nhanh như cũ. Chúng ta có thể thêm bao nhiêu ngôi sao tùy ý, nhưng chúng vẫn luôn luôn rơi vào nhau. Hiện chúng ta biết rằng không thể có một mô hình vũ trụ ở trong trạng thái tĩnh mãi mãi trong đó trọng lực luôn luôn thu hút.

Điều lý thú khi nhớ lại bầu không khí chung của tư tưởng trước thế kỷ 20, là không ai từng cho rằng vũ trụ đang bành trướng hoặc đang co rút. Người ta thường chấp nhận rằng vũ trụ hoặc tồn tại mãi mãi trong một trạng thái không thay đổi, hoặc đã được tạo ra trong quá khứ vào một thời điểm nhất định, gần giống như chúng ta thấy ngày nay. Điều này một phần có thể do khuynh hướng của con người muốn tin vào những chân lý vĩnh hằng, cũng như sự dễ dãi mà người ta tìm thấy trong ý nghĩ rằng dù họ có thể già đi và chết, vũ trụ vẫn tồn tại mãi mãi và không thay đổi.

Ngay cả những người ý thức rằng lý thuyết hấp dẫn của Newton cho thấy vũ trụ không thể ở trạng thái tĩnh, họ cũng không suy nghĩ để cho rằng vũ trụ có thể đang bành trướng. Ngược lại, họ cố cải tiến lý thuyết bằng cách cho rằng lực hấp dẫn trở thành lực đẩy khi ở những khoảng cách rất lớn. Điều này đã không ảnh hưởng đáng kể tới những tiên đoán của họ về chuyển động của các hành tinh, nhưng nó cho phép một sự phân bố vô hạn những ngôi sao để duy trì sự cân bằng – với những lực hấp dẫn giữa những ngôi sao nằm gần nhau được cân bằng bởi những lực đẩy từ những ngôi sao nằm xa hơn. Tuy nhiên, hiện nay chúng ta tin rằng một sự cân bằng như vậy cũng không ổn định: nếu các ngôi sao ở một khu vực nào đó hơi nhích lại gần nhau thêm một tí, hấp lực giữa chúng với nhau sẽ mạnh hơn và vượt trội các lực đẩy, do đó các ngôi sao sẽ tiếp tục rơi về phía nhau. Mặt khác, nếu các ngôi sao hơi xa lìa nhau thêm một tí, các lực đẩy sẽ chiếm ưu thế và thúc đẩy chúng lìa nhau càng xa thêm.

Một phản bác khác đối với thuyết vũ trụ tĩnh vô hạn thường được gán cho triết gia Đức Heinrich Olbers, người đã viết về lý thuyết của ông vào năm 1823. Thật vậy, nhiều người cùng thời với Newton đã nêu lên vấn đề này và bài viết của Olbers không phải là tài liệu đầu tiên chứa đựng những luận cứ đáng tin chống lại nó. Tuy nhiên, đây là bài viết đầu tiên được nhiều người chú ý. Điều khó khăn là trong một vũ trụ ở trạng thái tĩnh và vô hạn, gần như mọi luồng thị tuyến đều tận cùng ở bề mặt một ngôi sao. Như vậy, người ta có thể trông đợi cả bầu trời sẽ sáng như mặt trời, ngay cả vào ban đêm. Luận cứ phản bác của Olbers cho rằng ánh sáng chiếu từ các ngôi sao ở xa sẽ bị yếu đi bởi sự hấp thụ của vật chất nằm chen ở giữa. Tuy nhiên, nếu điều đó xảy ra, vật chất nằm giữa này cuối cùng sẽ bị nóng lên cho tới khi phát sáng như các ngôi sao. Cách duy nhất để tránh kết luận rằng cả bầu trời ban đêm phải sáng như mặt trời là giả định rằng các ngôi sao chẳng phải chiếu sáng vĩnh viễn như thế, mà đã được bật sáng ở một thời điểm xác định nào đó trong quá khứ. Trong tình huống này, vật chất hấp thụ nhiệt có thể chưa được hâm nóng, hoặc giả ánh sáng từ các ngôi sao ở xa có thể chưa đạt tới

chúng ta. Và điều đó đưa chúng ta tới câu hỏi là cái gì có thể làm cho các ngôi sao bật sáng lúc đầu.

Đương nhiên, vấn đề khởi thủy của vũ trụ đã được thảo luận trước chuyện này rất lâu. Theo một số các học thuyết vũ trụ thời kỳ đầu và truyền thống của người Do Thái / Cơ Đốc giáo / Hồi giáo, vũ trụ đã bắt đầu vào một thời điểm xác định, và cách đây không xa lắm trong quá khứ. Một luận cứ cho một sự khởi đầu như vậy là cảm nghĩ rằng cần phải có "Nguyên Nhân Thứ Nhất" để giải thích sự hiện hữu của vũ trụ. (Bên trong vũ trụ, bạn luôn luôn giải thích một biến cố như là gây ra bởi một biến cố trước đó, nhưng sự hiện hữu của chính vũ trụ, chỉ có thể được giải thích bằng cách này nếu nó có một khởi thủy nào đó.) Một luận cứ khác đã được đưa ra bởi Thánh Augustine trong tác phẩm "Thành Phố của Thượng Đế." Ông vạch ra rằng nền văn minh đang tiến bộ và chúng ta nhớ ai đã làm công trình này hoặc phát triển kỹ thuật kia. Như vậy, con người, và cũng có thể là vũ trụ, không thể nào đã có mặt từ lâu như thế. Thánh Augustine đã chấp nhận một thời điểm khoảng 5,000 năm trước Tây Nguyên cho việc Sáng Tạo vũ trụ theo cuốn Kinh Cựu Ước. (Cần lưu ý rằng đây không phải là lúc kết thúc thời kỳ băng hà mới nhất, khoảng trước Tây Nguyên 10,000 năm, đó là lúc các nhà khảo cổ cho ta biết rằng nền văn minh đã thực sự bắt đầu.)

Mặt khác, Aristotle và hầu hết các triết gia Hy Lạp khác không thích tư tưởng sáng thế, bởi vì nó mang quá nhiều mùi vị sự can thiệp thần quyền. Cho nên họ tin rằng, nhân loại và thế giới chung quanh đã và sẽ tiếp tục tồn tại vĩnh viễn. Người xưa đã xem xét luận cứ về sự tiến bộ như mô tả ở trên, và trả lời bằng cách nói rằng đã có những trận lụt có tính cách định kỳ hoặc những tai nạn khác đã liên tiếp đưa nhân loại trở lại thời văn minh sơ khai.

Năm 1781, triết gia Immanuel Kant trong tác phẩm vĩ đại (và rất khó hiểu) Phê Phán về Thuần Lý, đã khảo sát cận kề vấn đề liệu vũ trụ có một khởi thủy về thời gian hay không và liệu nó có bị giới hạn về không gian hay không. Ông gọi những câu hỏi này là những mâu thuẫn của thuần lý bởi vì ông cảm thấy rằng có những luận cứ đáng tin như nhau để tin vào mệnh đề, rằng vũ trụ có một khởi thủy, và phản đề, rằng vũ trụ đã hiện hữu từ vĩnh cửu. Luận cứ của ông cho mệnh đề là, nếu vũ trụ không có một mở đầu, thì sẽ có một thời gian vô hạn trước bất cứ biến cố nào, điều ông coi là phi lý. Luận cứ cho phản đề là, nếu vũ trụ có một mở đầu, sẽ có một thời kỳ vô hạn về thời gian trước đó, vậy thì tại sao vũ trụ lại phải bắt đầu vào một thời khắc đặc định nào đó? Thật ra, lý luận của ông cho cả đề và phản đề đều giống nhau. Chúng đều đặt căn bản trên giả thiết hiểu ngầm của ông, rằng

thời gian là vô tận trở về trước, dù vũ trụ đã hiện hữu vô tận hay không. Như chúng ta sẽ thấy, ý niệm về thời gian không có ý nghĩa trước khi vũ trụ khởi đầu. Đây là điểm được nêu lên đầu tiên bởi Thánh Augustine. Khi được hỏi: Thượng đế đã làm gì trước khi sáng tạo ra vũ trụ? Augustine đã không trả lời: Ngài đang sửa soạn Địa Ngục cho những ai hỏi những câu hỏi như vậy. Thay vào đó ông nói rằng thời gian là một tính chất của vũ trụ mà Thượng Đế đã sáng tạo, và rằng thời gian đã không hiện hữu trước khởi thủy của vũ trụ.

Khi phần đông người ta tin vào một vũ trụ bản chất tĩnh và bất biến, vấn đề nó có khởi đầu hay không, thực sự là một vấn đề siêu hình hoặc có tính cách thần học. Người ta có thể giải thích những gì đã được quan sát một cách khá đồng đều về lý thuyết cho rằng vũ trụ đã tồn tại vĩnh viễn hoặc về lý thuyết cho rằng nó đã được khởi động ở một thời điểm hữu hạn nào đó theo một cách sao cho nó có vẻ như đã tồn tại vĩnh viễn. Nhưng vào năm 1929, Edwin Hubble đã thực hiện cuộc quan sát quan trọng cho thấy dù bạn nhìn từ đâu, những thiên hà ở xa cũng di chuyển nhanh xa lìa chúng ta. Nói cách khác, vũ trụ đang bành trướng. Điều này có nghĩa là vào thời xa xưa, các vật thể sẽ nằm gần nhau hơn. Thật vậy, hình như có một thời điểm, khoảng 10 đến 20 ngàn triệu năm về trước, chúng tất cả đều ở đúng một chỗ và, do đó, mật độ vũ trụ lớn vô hạn. Phát hiện này rất cuộc đưa vấn đề khởi thủy của vũ trụ vào lãnh vực khoa học.

Những quan sát của Hubble gợi ý rằng có một lúc, gọi là bùng nổ lớn (big bang), vũ trụ vô cùng nhỏ và dày đặc vô cùng. Dưới những điều kiện này, mọi định luật khoa học, và do đó mọi khả năng tiên đoán tương lai, đều sụp đổ. Nếu có những biến cố xảy ra trước thời khắc này, chúng không thể ảnh hưởng tới những gì xảy ra trong hiện tại. Chúng ta có thể không lý đến sự hiện hữu của chúng, bởi vì chúng không có những hậu quả có thể quan sát được. Người ta có thể nói rằng thời gian có một khởi đầu ở vụ nổ lớn, theo một ý nghĩa rằng thời gian trước đó giản dị không định nghĩa được. Cần phải nhấn mạnh rằng sự khởi đầu này của thời gian rất khác biệt với những gì đã được quan niệm trước kia. Trong một vũ trụ bất biến, một khởi điểm của thời gian là cái được đặt ra bởi một đấng nào đó bên ngoài vũ trụ; không cần có một khởi đầu về vật lý. Người ta có thể tưởng tượng rằng Thượng Đế đã tạo ra vũ trụ ở bất cứ thời điểm nào đó trong quá khứ. Mặt khác, nếu vũ trụ đang bành trướng, có thể có những lý do vật lý là tại sao phải có một khởi đầu. Người ta vẫn có thể tưởng tượng rằng Thượng Đế đã tạo ra vũ trụ trong cái khoảnh khắc của vụ nổ lớn, hoặc giả thậm chí sau đó, để nó giống như đã xảy ra một vụ nổ lớn, nhưng sẽ vô nghĩa khi giả định rằng vũ trụ được tạo ra

trước vụ nổ lớn. Một vũ trụ đang bành trướng không loại trừ một đấng sáng tạo, nhưng nó quả thật đặt ra những giới hạn về chuyện khi nào đấng sáng tạo đã thực hiện công việc của mình!

Để nói về bản chất của vũ trụ và thảo luận các vấn đề như liệu nó có một khởi đầu hoặc chung cuộc hay không, bạn cần thấu hiểu một lý thuyết khoa học là gì. Tôi sẽ dùng quan điểm đơn giản cho rằng một lý thuyết chỉ là một mô hình của vũ trụ hoặc một phần có giới hạn của nó, và là một bộ những quy luật liên kết các số lượng trong mô hình với những quan sát mà chúng ta thực hiện. Nó chỉ tồn tại trong đầu chúng ta và không có bất cứ thực tế nào khác (bất kể điều đó có ý nghĩa gì). Một lý thuyết là một lý thuyết tốt nếu nó thỏa mãn hai đòi hỏi: Nó phải mô tả chính xác một số lớn các quan sát trên căn bản một mô hình chỉ chứa một ít các yếu tố độc đoán, và nó phải đưa ra những tiên đoán rõ rệt về những kết quả của những cuộc quan sát trong tương lai. Ví dụ, lý thuyết của Aristotle cho rằng mọi vật đều được cấu tạo bởi bốn nguyên tố, đất, không khí, lửa và nước, đủ giản dị để được chấp nhận, nhưng nó đã không đưa ra bất cứ tiên đoán nào rõ rệt. Mặt khác, thuyết hấp lực của Newton được đặt căn bản trên một mô hình còn đơn giản hơn nữa, trong đó các vật thể hút lẫn nhau với một lực tỉ lệ thuận với một số lượng gọi là khối lượng của chúng và tỉ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa chúng với nhau. Vậy mà nó tiên đoán các chuyển động của mặt trời, mặt trăng, và các hành tinh với một độ chính xác cao.

Bất cứ lý thuyết vật lý nào cũng luôn luôn có tính cách tạm thời, theo ý nghĩa rằng nó chỉ là một giả thuyết: bạn không bao giờ có thể chứng minh nó. Bất kể bao nhiêu lần kết quả của những cuộc thí nghiệm phù hợp với một lý thuyết nào đó, bạn không bao giờ có thể quả quyết kết quả lần sau không mâu thuẫn với lý thuyết đó. Mặt khác, bạn có thể chứng minh một lý thuyết sai lầm bằng cách chỉ cần tìm ra một lần quan sát duy nhất không phù hợp với những tiên đoán của lý thuyết đó. Như triết gia khoa học Karl Popper đã nhấn mạnh, đặc trưng của lý thuyết tốt là, nó đưa ra một số các tiên đoán mà trên nguyên tắc có thể bị bác bỏ hoặc ghi nhận là sai lầm bằng cách quan sát. Chừng nào những thực nghiệm mới được ghi nhận phù hợp với những tiên đoán thì lý thuyết còn tồn tại, và sự tin tưởng của chúng ta đặt vào nó tăng lên; nhưng nếu có một ghi nhận mới không phù hợp, chúng ta phải bỏ hoặc tu chính lý thuyết này. Ít nhất đó là điều được dự trừ sẽ xảy ra, nhưng bạn luôn luôn có thể nghi ngờ khả năng của người thi hành việc quan sát.

Trên thực tế, điều thường xảy ra là một lý thuyết mới thực ra là một sự mở rộng của lý thuyết trước. Chẳng hạn, những cuộc quan sát chính xác về Thủy Tinh cho thấy một sai biệt nhỏ giữa chuyển động của nó và những tiên đoán của thuyết hấp dẫn của Newton. Thuyết tương đối tổng quát của Einstein đã tiên đoán một chuyển động hơi khác so với thuyết của Newton. Sự kiện rằng những tiên đoán của Einstein phù hợp với những gì được thấy, trong khi những tiên đoán của Newton thì không, đã là một trong những sự xác nhận quan trọng của lý thuyết mới. Tuy nhiên, phần lớn chúng ta vẫn còn sử dụng lý thuyết của Newton cho mọi mục tiêu thực tiễn bởi vì sự khác biệt giữa các tiên đoán của nó và những tiên đoán của thuyết tương đối tổng quát rất nhỏ trong những hoàn cảnh mà chúng ta thường gặp. (Lý thuyết của Newton cũng có những ưu điểm lớn là giản dị hơn nhiều so với lý thuyết của Einstein!)

Mục đích chung cuộc của khoa học là cung cấp một lý thuyết đơn nhất để mô tả toàn thể vũ trụ. Tuy nhiên, phương pháp mà phần lớn các nhà khoa học thực sự theo đuổi là phân chia vấn đề thành hai phần. Đầu tiên, có những định luật cho chúng ta biết vũ trụ thay đổi theo thời gian như thế nào (Nếu chúng ta biết vũ trụ ra sao ở bất cứ thời điểm nào, những định luật vật lý này sẽ cho ta biết vũ trụ sẽ ra sao ở bất cứ thời điểm nào sau này). Thứ hai, có vấn đề tình trạng sơ khai của vũ trụ. Một số người cảm thấy rằng khoa học chỉ nên lưu tâm tới phần thứ nhất, họ coi vấn đề trạng thái ban sơ là một vấn đề siêu hình hoặc thuộc về tôn giáo. Họ sẽ nói rằng Thượng Đế toàn năng có thể khai mở vũ trụ bất cứ cách nào tùy ý. Có thể như vậy, nhưng trong trường hợp đó, Thượng Đế cũng có thể phát triển vũ trụ theo một cách hoàn toàn độc đoán. Tuy nhiên, xem ra Thượng Đế đã chọn cách cho vũ trụ tiến hóa theo một đường lối rất bình thường theo một số định luật. Cho nên, cũng hợp lý không kém khi giả định rằng cũng có những định luật chi phối tình trạng ban sơ.

Hóa ra rất khó phác họa một lý thuyết để mô tả hết vũ trụ. Thay vào đó, chúng ta chia vấn đề ra thành nhiều mảnh nhỏ, và phát minh ra một số lý thuyết từng phần. Mỗi một bộ phận lý thuyết này mô tả và dự đoán một phạm vi quan sát có giới hạn, không để ý tới các hiệu ứng của các lượng khác, hoặc trình bày chúng bằng những loạt con số đơn giản. Có thể phương pháp này hoàn toàn sai. Nếu mọi vật trong vũ trụ đều tùy thuộc vào mọi điều khác về căn bản, có lẽ không thể nào tới gần được một giải đáp đầy đủ bằng cách xem xét những phần riêng rẽ của vấn đề. Mặc dù như vậy, chắc chắn đây là phương pháp giúp chúng ta tiến bộ trong quá khứ. Thí dụ cổ điển vẫn là thuyết hấp lực của Newton, nó cho chúng ta biết rằng lực hấp dẫn giữa hai

vật thể chỉ tùy thuộc vào một con số gắn liền với mỗi vật thể, đó là khối lượng của nó, mà không tùy thuộc vào cái gì làm thành những vật thể đó. Như vậy, người ta không cần có một lý thuyết về kết cấu và thành phần của mặt trời và các hành tinh để tính toán các quỹ đạo của chúng.

Các khoa học gia ngày nay mô tả vũ trụ theo hai lý thuyết từng phần cơ bản – thuyết tương đối tổng quát và cơ học lượng tử. Chúng là những thành quả vĩ đại trong tiền bán thế kỷ 20. Thuyết tương đối tổng quát mô tả trọng lực và cơ cấu vĩ mô của vũ trụ, nghĩa là, cơ cấu trên một tầm mức từ vài dặm cho đến lớn cỡ 1 triệu triệu triệu triệu (số 1 với 24 con số 0 theo sau) dặm, là tầm cỡ có thể quan sát của vũ trụ. Mặt khác, cơ học lượng tử xử lý các hiện tượng ở tầm cỡ cực kỳ nhỏ, chẳng hạn một phần triệu của một phần triệu của một inch. Tuy nhiên, đáng tiếc là, hai lý thuyết này được biết không phù hợp với nhau – chúng không thể đồng thời đều đúng. Một trong số những cố gắng chủ yếu của vật lý học ngày nay, và chủ đề chính của quyển sách này, là tìm kiếm một lý thuyết mới có thể hợp nhất cả hai – một thuyết hấp dẫn lượng tử. Chúng ta chưa có một lý thuyết như vậy, và có thể còn lâu chúng ta mới có, nhưng chúng ta quả đã biết nhiều trong số các tính chất mà nó phải có. Và chúng ta sẽ thấy, ở những chương sau, rằng chúng ta đã biết khá nhiều những tiên đoán mà một thuyết hấp dẫn lượng tử phải có.

Bây giờ, nếu bạn tin rằng vũ trụ không phải tùy hứng, mà bị chi phối bởi những định luật nhất định, cuối cùng bạn phải kết hợp những lý thuyết từng phần này thành một lý thuyết thống nhất hoàn toàn để mô tả mọi thứ trong vũ trụ. Nhưng có một mâu thuẫn căn bản trong việc tìm kiếm một lý thuyết thống nhất hoàn toàn như vậy. Quan niệm về những lý thuyết khoa học được phác họa ở trên giả định rằng chúng ta là những sinh vật có lý trí được tự do quan sát vũ trụ như chúng ta muốn và rút ra những suy luận hợp lý từ những gì chúng ta thấy. Trong một phương án như vậy, chúng ta có lý khi cho rằng có thể tiến tới gần hơn bao giờ hết những định luật chi phối vũ trụ. Nhưng, nếu quả thật có một lý thuyết thống nhất hoàn toàn, thì chắc hẳn nó cũng sẽ quyết định tới hành động của chúng ta. Và do đó chính lý thuyết sẽ quyết định kết quả cuộc tìm kiếm của chúng ta dành cho nó! Và tại sao nó sẽ phải định rằng chúng ta đã đạt tới những kết luận đúng rút từ bằng chứng? Liệu nó cũng có thể quyết định rằng chúng ta rút ra những kết luận sai lầm hay không? Hoặ không có kết luận nào cả?

Câu trả lời duy nhất mà tôi mà có thể đưa ra cho vấn đề này được căn cứ trên nguyên tắc tuyển chọn tự nhiên của Darwin. Tư tưởng này cho rằng trong bất cứ quần thể sinh vật tự sinh sản nào, sẽ có những biến đổi trong

vật liệu và chỉ thị di truyền chứa trong những cá thể khác nhau. Những khác biệt này sẽ có nghĩa vài cá thể có thể có khả năng hơn những cá thể khác trong việc rút ra những kết luận đúng đắn về thế giới chung quanh và hành động sao cho thích hợp. Những cá thể này có nhiều khả năng hơn để tồn tại, sanh sản và do đó mô thức về hành vi và tư tưởng của chúng sẽ trở nên vượt trội. Điều chắc chắn đúng trong quá khứ là những cái chúng ta gọi là trí thông minh và khám phá khoa học đã đưa tới lợi thế để sinh tồn. Điều không hiển nhiên như vậy là trường hợp những khám phá khoa học của chúng ta rất có thể hủy diệt toàn thể chúng ta, và dù chúng không hủy diệt, một lý thuyết thống nhất hoàn toàn có thể không thay đổi nhiều cơ may tồn tại của chúng ta. Tuy nhiên, giả thử vũ trụ đã tiến hóa theo một đường lối bình thường, chúng ta có thể trông đợi những khả năng lý luận mà sự tuyển chọn tự nhiên đã cho chúng ta sẽ có giá trị trong cuộc tìm kiếm một lý thuyết thống nhất hoàn toàn, và nhờ đó không đưa chúng ta tới những kết luận sai lầm.

Bởi vì những lý thuyết từng phần mà chúng ta đã có cũng đủ để đưa ra những tiên đoán đúng cho mọi tình huống, ngoại trừ những tình huống cực đoan nhất, cho nên cuộc tìm kiếm lý thuyết chung cuộc về vũ trụ có vẻ khó biện minh đối với những lý do thực tiễn. (Tuy nhiên, cũng nên ghi nhận rằng những luận điểm tương tự có thể đã được sử dụng để chống lại cả thuyết tương đối lẫn cơ học lượng tử, trong khi những lý thuyết này đã cho chúng ta cả năng lượng hạt nhân lẫn cuộc cách mạng vi điện tử !) Cho nên, khám phá về một lý thuyết thống nhất hoàn toàn có thể không trợ giúp gì cho sự sống còn của chủng loại chúng ta. Thậm chí nó cũng không ảnh hưởng tới lối sống của chúng ta. Nhưng kể từ buổi đầu của nền văn minh, con người ta đã không an phận nhìn các sự việc xảy ra như không liên hệ với nhau và không lý giải được. Họ khao khát một sự hiểu biết cái trật tự tiềm ẩn trong thế giới. Ngày nay chúng ta vẫn khao khát muốn biết tại sao chúng ta ở đây và chúng ta từ đâu mà đến. Ý nguyện sâu kín muốn hiểu biết của nhân loại đủ chánh đáng để chúng ta tiếp tục cuộc tìm kiếm. Và mục tiêu của chúng ta không ngoài việc mô tả toàn diện cái vũ trụ mà chúng ta đang sống bên trong.

---o0o---

CHƯƠNG 2 - KHÔNG GIAN VÀ THỜI GIAN

Quan niệm hiện nay của chúng ta về sự chuyển động của các vật thể có từ thời Galileo và Newton. Trước họ, người ta tin tưởng Aristotle, người nói

rằng trạng thái tự nhiên của một vật thể là đứng yên, và chỉ di động khi bị tác động bởi một lực hoặc xung lực. Như vậy, vật thể nặng phải rơi nhanh hơn so với vật thể nhẹ, bởi vì nó bị lực lớn hơn kéo nó về mặt đất.

Aristotle cũng cho rằng người ta có thể dùng tư duy thuần túy để tìm ra mọi định luật chi phối vũ trụ: không cần phải dùng quan sát để kiểm nghiệm. Cho nên, cho tới thời Galileo, không ai bận tâm quan sát xem các vật thể có trọng lượng khác nhau có thực sự rơi với vận tốc khác nhau hay không. Nghe nói Galileo đã chứng minh rằng sự tin tưởng của Aristotle là sai lầm bằng cách thả những vật nặng từ tháp nghiêng Pisa xuống. Câu chuyện này hầu như hoàn toàn không đúng, nhưng Galileo quả thật đã làm một chuyện tương tự: ông lăn những trái banh có trọng lượng khác nhau xuống một đường dốc nhẵn. Tình trạng cũng tương tự như những vật nặng rơi thẳng đứng, nhưng dễ quan sát hơn bởi vì vận tốc chậm hơn. Những số đo của Galileo cho thấy rằng mỗi vật thể gia tăng tốc độ với cùng một nhịp, bất kể trọng lượng của nó bao nhiêu. Thí dụ, nếu bạn thả một trái banh xuống một đường dốc mà cứ 10 mét thì chiều cao hạ xuống 1 mét, trái banh sẽ lăn xuống dốc với tốc độ khoảng 1 mét mỗi giây sau một giây, 2 mét mỗi giây sau hai giây, và cứ thế, dù trái banh nặng bao nhiêu. Đương nhiên, một vật nặng bằng chì sẽ rơi nhanh hơn một cái lông chim, nhưng đó chỉ vì cái lông chim bị sức cản không khí làm chậm lại. Nếu một người thả hai vật thể ít bị sức cản không khí, như hai vật nặng bằng chì khác nhau, thì chúng rơi với tốc độ như nhau.

Những đo đạc của Galileo đã được Newton sử dụng làm căn bản cho các định luật về chuyển động của ông. Trong những thí nghiệm của Galileo, khi một vật thể lăn xuống dốc, nó luôn luôn bị tác động bởi cùng một lực (trọng lượng của nó), và hậu quả là làm cho nó luôn luôn tăng tốc độ. Điều này chứng tỏ rằng ảnh hưởng thực sự của một lực là luôn làm thay đổi tốc độ của một vật thể, thay vì chỉ làm cho nó chuyển động, như trước kia người ta tưởng. Nó cũng có nghĩa rằng mỗi khi một vật thể không bị tác động bởi bất cứ lực nào, nó sẽ tiếp tục chuyển động theo một đường thẳng với cùng tốc độ. Tư tưởng này lần đầu tiên được minh định trong cuốn Các Nguyên Tắc Toán Học xuất bản năm 1687, và được biết như định luật thứ nhất của Newton. Điều xảy ra cho một vật thể khi có một lực tác động lên nó thì chi phối bởi định luật thứ hai của Newton. Định luật này nói rằng vật thể sẽ gia tốc, hay thay đổi tốc độ, theo một nhịp độ tỉ lệ với lực. (Chẳng hạn, nếu lực tăng gấp đôi thì gia tốc cũng sẽ lớn gấp đôi). Gia tốc cũng sẽ nhỏ hơn nếu khối lượng vật thể (hoặc lượng vật chất) lớn hơn. (Cùng một lực tác động lên một vật thể có khối lượng gấp đôi sẽ gây ra một gia tốc nhỏ hơn một

nửa.) Lấy một chiếc xe để làm một thí dụ quen thuộc: máy xe càng mạnh, gia tốc càng lớn, nhưng xe càng nặng, gia tốc càng nhỏ đối với cùng máy xe.

Ngoài các định luật về chuyển động của ông, Newton còn khám phá một định luật để mô tả trọng lực: Mọi vật thể đều hấp dẫn mọi vật thể khác, với một lực tỉ lệ thuận với khối lượng của mỗi vật thể. Do đó lực giữa hai vật thể sẽ mạnh gấp đôi nếu một trong hai vật thể (thí dụ, vật thể A) có khối lượng gấp đôi. Đây là điều bạn có thể dự liệu, bởi vì người ta có thể coi vật thể A mới như được tạo thành bởi hai vật thể với khối lượng nguyên thủy. Mỗi vật thể sẽ thu hút vật thể B với lực nguyên thủy. Do đó tổng lực giữa A và B sẽ gấp đôi lực nguyên thủy. Và nếu, chẳng hạn, một trong hai vật thể có khối lượng gấp đôi, và vật thể kia có khối lượng gấp ba, khi đó lực sẽ mạnh gấp sáu lần. Bây giờ người ta có thể thấy tại sao mọi vật thể đều rơi với cùng một nhịp độ: một vật thể có trọng lượng gấp đôi sẽ có trọng lực gấp đôi kéo nó xuống, nhưng nó cũng có gấp đôi khối lượng. Theo định luật thứ nhì của Newton, hai ảnh hưởng này sẽ vừa đúng triệt tiêu lẫn nhau, cho nên gia tốc sẽ như nhau trong mọi trường hợp.

Định luật hấp dẫn của Newton còn cho chúng ta biết rằng các vật thể càng xa nhau, hấp lực càng nhỏ. Định luật hấp dẫn của Newton nói rằng hấp lực của một ngôi sao bằng đúng một phần tư hấp lực của một ngôi sao tương tự ở nửa độ xa. Định luật này tiên đoán các quỹ đạo của địa cầu, mặt trăng, và các hành tinh với độ chính xác cao. Nếu giả sử định luật cho rằng lực hấp dẫn của một ngôi sao giảm nhanh hơn theo khoảng cách, các quỹ đạo của các hành tinh sẽ không phải là hình e-lyp, chúng sẽ xoáy về hướng mặt trời. Nếu lực giảm chậm hơn, các hấp lực từ các ngôi sao ở xa sẽ thắng thế hấp lực từ trái đất.

Sự khác biệt lớn lao giữa quan niệm của Aristotle và quan niệm của Galileo và Newton là Aristotle tin vào một trạng thái tịnh chiêm ưu thế, khiến bất cứ vật thể nào cũng ở trạng thái này nếu nó không bị tác động bởi một lực hoặc xung động nào. Đặc biệt, ông cho rằng địa cầu ở trạng thái tịnh. Nhưng theo các định luật của Newton, chẳng có một tiêu chuẩn yên nghỉ duy nhất nào. Người ta có thể nói rằng vật thể A đứng yên còn vật thể B di chuyển với một tốc độ không đổi so với vật thể A, hoặc vật thể B đứng yên còn vật thể A di chuyển. Chẳng hạn, nếu chúng ta tạm thời gác qua một bên chuyển động quay của địa cầu và quỹ đạo của nó quanh mặt trời, người ta có thể nói rằng địa cầu đứng yên và rằng một chiếc xe lửa trên đó đi về hướng bắc với tốc độ 90 dặm một giờ, hoặc xe lửa đứng yên, còn địa cầu di chuyển về phía nam với tốc độ 90 dặm một giờ. Nếu một người thực hiện các thí nghiệm với

những vật di chuyển trên xe lửa, mọi định luật của Newton cũng vẫn đúng. Chẳng hạn, chơi bóng bàn trên xe lửa, người ta sẽ thấy rằng trái banh tuân theo các định luật của Newton giống hệt như một trái banh trên một cái bàn nằm cạnh đường rầy. Do đó không có cách nào để biết được là xe lửa hay là địa cầu đang di chuyển.

Thiếu một tiêu chuẩn tuyệt đối về tình trạng tịnh chỉ có nghĩa rằng người ta không thể xác định hai sự việc xảy ra ở những thời gian khác nhau có xảy ra tại cùng một vị trí trong không gian hay không. Chẳng hạn, giả thử trái banh bóng bàn của chúng ta nảy lên xuống theo đường thẳng, đụng vào bàn ở cùng một điểm cách nhau một giây đồng hồ. Đối với một người trên đường rầy, hai lần nảy có vẻ xảy ra cách nhau khoảng bốn mươi mét, bởi vì xe lửa đã di chuyển được khoảng cách đó dọc đường rầy giữa hai lần banh nảy. Như vậy, việc không có sự yên nghỉ tuyệt đối có nghĩa là người ta không thể cho mỗi biến cố một vị trí tuyệt đối trong không gian như Aristotle đã tin tưởng. Vị trí của các biến cố và khoảng cách giữa chúng với nhau sẽ khác đối với một người trên xe lửa và người trên đường rầy, và sẽ không có lý do gì để coi trọng vị trí của người này hơn vị trí của người kia.

Newton đã rất bận tâm về sự kiện thiếu vị trí tuyệt đối hoặc không gian tuyệt đối, như nó được gọi, bởi vì nó không phù hợp với quan niệm của ông về một Thượng Đế tuyệt đối. Thật vậy, ông không chịu chấp nhận chuyện không có không gian tuyệt đối, mặc dù nó đã được bao hàm trong các định luật của ông. Ông đã bị nhiều người chỉ trích nặng nề vì niềm tin vô lý này, đáng kể nhất là Giám Mục Berkeley, một triết gia tin rằng mọi vật thể vật chất và không gian và thời gian đều là ảo tưởng. Khi vị bác sĩ nổi tiếng Johnson được nói cho biết quan điểm của Berkeley, ông đã la lớn, " Tôi bác bỏ nó như thế này!" và đá chân vào một tảng đá lớn.

Cả Aristotle và Newton đều tin vào thời gian tuyệt đối. Nghĩa là, họ tin rằng người ta có thể đo đạc một cách không hàm hồ khoảng cách thời gian giữa hai sự kiện, và rằng khoảng thời gian này sẽ như nhau dù ai là người đo, chỉ cần dùng đồng hồ tốt. Thời gian hoàn toàn tách biệt và độc lập với không gian. Đây là điều mà phần lớn mọi người xem như đương nhiên. Nhưng, chúng ta đã phải thay đổi quan niệm của chúng ta về không gian và thời gian. Mặc dù những ý niệm có vẻ hợp lý của chúng ta có giá trị khi đối phó với những cái như quả táo, hoặc các hành tinh di chuyển tương đối chậm, chúng không đúng chút nào đối với những vật thể di chuyển bằng hay gần bằng vận tốc ánh sáng.

Sự kiện ánh sáng di chuyển với một tốc độ hữu hạn, nhưng rất lớn, lần đầu được khám phá năm 1676 bởi nhà thiên văn học người Đan Mạch Ole Christensen Roemer. Ông đã quan sát thấy rằng thời gian vào lúc các mặt trăng của Mộc tinh hình như đi qua phía sau Mộc tinh đã không cách nhau đồng đều, như người ta trông đợi, nếu các mặt trăng này quay quanh Mộc tinh với một tốc độ không đổi. Khi địa cầu và mộc tinh quay quanh mặt trời, khoảng cách giữa chúng thay đổi. Roemer ghi nhận rằng những vụ nguyệt thực của các mặt trăng của Mộc tinh xuất hiện càng muộn hơn nếu chúng ta càng ở xa Mộc tinh. Ông lý luận rằng đó là do ánh sáng từ các mặt trăng phải tốn thời gian nhiều hơn để tới chúng ta khi chúng ta ở xa hơn. Tuy nhiên, những số đo của ông về những biến thiên về khoảng cách từ Mộc tinh đến trái đất không chính xác lắm, và do đó trị số của ông về tốc độ ánh sáng là 140,000 dặm một giây, so với trị số hiện nay là 186,000 dặm một giây. Mặc dù thế, những thành quả của Roemer thật là đáng kể, không những trong việc chứng tỏ rằng ánh sáng di chuyển với một tốc độ hữu hạn, mà còn trong việc đo tốc độ đó — được thực hiện mười một năm trước khi Newton xuất bản cuốn Nguyên Tắc Toán Học.

Một lý thuyết thích hợp về sự lan truyền của ánh sáng đã không có cho tới năm 1865, khi nhà vật lý học Anh quốc James Clerk Maxwell thành công trong việc thống nhất các lý thuyết từng phần mà cho tới khi đó đã được sử dụng để mô tả những lực của dòng điện và từ tính. Các phương trình của Maxwell tiên đoán rằng có thể sẽ có những nhiễu loạn hình sóng trong điện từ trường tổng hợp, và rằng những nhiễu loạn này sẽ di chuyển với một vận tốc cố định, như những gợn sóng trên một cái ao. Nếu những độ dài sóng của những sóng này (khoảng cách giữa hai đỉnh sóng) là một mét hoặc dài hơn, đây là sóng mà chúng ta hiện nay gọi là sóng vô tuyến. Những độ dài sóng ngắn hơn được gọi là vi ba (một vài centimét) hoặc hồng ngoại tuyến (hơn một phần mười ngàn centimét). Ánh sáng mắt nhìn thấy được có một độ dài sóng chỉ ở khoảng bốn mươi đến tám mươi phần triệu của một centimét. Các độ dài sóng ngắn hơn nữa được gọi là tia tử ngoại, tia X và tia gamma.

Lý thuyết của Maxwell tiên đoán rằng sóng vô tuyến hoặc sóng ánh sáng phải di chuyển với một tốc độ cố định nào đó. Nhưng lý thuyết của Newton đã loại bỏ quan niệm tuyệt đối tịnh, cho nên nếu ánh sáng được cho là di chuyển với một tốc độ cố định, người ta sẽ phải cho biết tốc độ cố định đó phải được đo so với cái gì. Do đó người ta cho rằng có một chất gọi là "ê-te" hiện hữu ở khắp mọi nơi, thậm chí ở cả trong "chân không". Sóng ánh sáng phải di chuyển qua ê-te như sóng âm thanh di chuyển qua không khí, và tốc

độ của chúng do đó phải tương đối với ê-te. Những quan sát viên khác nhau, di chuyển tương đối với ê-te, sẽ thấy ánh sáng hướng tới họ ở các tốc độ khác nhau, nhưng tốc độ ánh sáng tương đối với ê-te sẽ không thay đổi. Đặc biệt khi địa cầu xuyên qua ê-te theo quỹ đạo của nó quanh mặt trời, tốc độ ánh sáng đo theo chiều chuyển động của địa cầu qua ê-te (khi chúng ta di chuyển về hướng nguồn ánh sáng) phải lớn hơn tốc độ ánh sáng thẳng góc với sự chuyển động đó (khi chúng ta không di chuyển về hướng nguồn sáng). Năm 1887, Albert Michelson (người sau này trở thành người Mỹ đầu tiên nhận giải Nobel vật lý) và Edward Morley đã thực hiện một thí nghiệm thật thận trọng tại trường Khoa Học Ứng Dụng ở Cleveland. Họ so sánh tốc độ của ánh sáng theo chiều di chuyển của địa cầu với tốc độ ở chiều thẳng góc với chuyển động của địa cầu. Và họ vô cùng kinh ngạc khi thấy chúng hoàn toàn giống y như nhau!

Giữa năm 1887 đến 1905, đã có nhiều cố gắng, đáng kể nhất bởi nhà vật lý học Hòa Lan Hendrik Lorentz, để giải thích kết quả của thí nghiệm Michelson–Morley, theo đó vật thể co rút lại và đồng hồ chạy chậm lại khi chúng di chuyển qua ê-te. Tuy nhiên, trong một tài liệu nổi tiếng năm 1905, một viên thư ký khi đó không ai biết tới ở phòng bằng sáng chế Thụy Sĩ, Albert Einstein, đã vạch ra rằng toàn thể quan niệm về một chất ê-te là không cần thiết, miễn rằng người ta từ bỏ quan niệm thời gian tuyệt đối. Một quan điểm tương tự đã được đưa ra vài tuần sau đó bởi nhà toán học Pháp hàng đầu, Henry Poincaré. Lý luận của Einstein gần với vật lý hơn là của Poincaré, người coi vấn đề này như thuộc về toán học. Einstein thường được coi như có công đưa ra lý thuyết mới, nhưng Poincaré được nhớ tới bởi sự kiện tên ông được gắn với một phần quan trọng của lý thuyết.

Định đề cơ bản của thuyết tương đối, như nó được gọi, là những định luật khoa học phải nhất như đối với mọi quan sát viên di chuyển tự do, bất kể vận tốc của họ ra sao. Điều này đúng đối với định luật chuyển động của Newton, nhưng bây giờ ý niệm được mở rộng để bao gồm cả lý thuyết của Maxwell và tốc độ của ánh sáng: mọi quan sát viên phải đo được cùng một tốc độ của ánh sáng, bất kể họ di chuyển nhanh như thế nào. Quan niệm đơn giản này có một số hậu quả lớn lao. Có thể hậu quả được biết tới nhiều nhất là mối tương quan giữa khối lượng và năng lượng, được tóm tắt trong phương trình nổi tiếng của Einstein $E = mc^2$ (trong đó E là năng lượng, m là khối lượng, c là vận tốc ánh sáng), và định luật cho rằng không có gì có thể di chuyển nhanh hơn ánh sáng. Do sự tương đương giữa năng lượng và khối lượng, năng lượng mà một vật thể có nhờ sự chuyển động của nó sẽ cộng thêm với khối lượng của nó. Nói cách khác, muốn gia tăng tốc độ của nó sẽ

trở nên khó khăn hơn. Hiệu ứng này chỉ thật sự đáng kể đối với những vật thể di chuyển với vận tốc gần bằng vận tốc ánh sáng. Chẳng hạn, ở tốc độ bằng 10% tốc độ ánh sáng, khối lượng của vật thể chỉ tăng 0,5% so với bình thường, trong khi với tốc độ bằng 90% tốc độ ánh sáng nó sẽ tăng gấp đôi khối lượng bình thường của nó. Khi một vật thể tiến gần tới tốc độ ánh sáng, khối lượng của nó tăng lên nhanh hơn, do đó cần thêm càng nhiều năng lượng để tăng tốc độ của nó thêm. Trên thực tế nó không thể nào đạt đến tốc độ của ánh sáng, bởi vì lúc bấy giờ khối lượng của nó sẽ trở nên lớn vô hạn, và theo nguyên lý tương quan giữa khối lượng và năng lượng, sẽ cần phải có một năng lượng lớn vô hạn mới có thể làm được. Vì lý do này, bất cứ vật thể bình thường nào cũng vĩnh viễn bị giới hạn bởi thuyết tương đối để chỉ di chuyển với tốc độ chậm hơn tốc độ của ánh sáng. Chỉ có ánh sáng, hoặc những sóng khác không có khối lượng nội tại, có thể di chuyển với tốc độ của ánh sáng.

Một hậu quả cũng quan trọng không kém của thuyết tương đối là đường lối nó đã cách mạng hóa quan niệm của chúng ta về không gian và thời gian. Trong lý thuyết của Newton, nếu một xung ánh sáng được gửi từ một nơi này đến nơi khác, những người quan sát khác nhau sẽ đồng ý về thời gian cần tới cho quãng đường đi (vì thời gian là tuyệt đối), nhưng họ sẽ không luôn luôn đồng ý về chuyện ánh sáng đã đi được bao xa (bởi vì không gian không phải tuyệt đối). Bởi vì tốc độ của ánh sáng chỉ là khoảng cách ánh sáng đã di chuyển chia cho thời gian nó cần, những quan sát viên khác nhau sẽ đo được những tốc độ khác nhau của ánh sáng. Trong khi đó, ở thuyết tương đối, mọi quan sát viên phải đồng ý về chuyện ánh sáng di chuyển nhanh như thế nào. Tuy nhiên, họ vẫn không đồng ý về khoảng cách mà ánh sáng đã di chuyển, do đó họ cũng phải bất đồng ý kiến về thời gian đã cần tới. (Thời gian cần thiết là khoảng cách mà ánh sáng đã di chuyển — mà các quan sát viên không đồng ý — chia cho tốc độ của ánh sáng — mà họ đã đồng ý). Nói cách khác, thuyết tương đối đã kết liễu quan điểm về thời gian tuyệt đối! Có vẻ như mỗi quan sát viên phải có những số đo về thời gian riêng của mình, như được ghi nhận bởi một chiếc đồng hồ mà người đó mang theo, và những đồng hồ giống nhau được mang bởi các quan sát viên khác nhau sẽ không nhất thiết phải phù hợp với nhau.

Mỗi quan sát viên đều có thể dùng radar để cho biết khi nào và tại đâu một biến cố xảy ra bằng cách gửi đi một xung ánh sáng hoặc sóng vô tuyến. Một phần của xung được phản chiếu lại nơi xảy ra và quan sát viên đo thời điểm mà người đó nhận được xung phản chiếu. Thời gian của biến cố sau đó được gọi là thời gian nửa đường khi xung được gửi và thời gian khi xung dội được

nhận lại: khoảng cách của biến cố bằng nửa thời gian cần thiết cho chuyến đi khứ hồi này nhân với tốc độ của ánh sáng. (Một biến cố, trong nghĩa này, là điều xảy ra tại một điểm trong không gian, vào một điểm đặc biệt trong thời gian.) Ý niệm này được trình bày trong hình 2.1, là một thí dụ về một đồ biểu không–thời gian. Dùng cách này, những số đo của các quan sát viên di chuyển so với nhau sẽ ghi nhận những thời gian và vị trí khác nhau cho cùng một biến cố. Không có những đo lường nào của một quan sát viên đặc biệt nào chính xác hơn bất cứ những đo lường nào của quan sát viên khác, nhưng mọi đo lường đều liên hệ với nhau. Bất cứ quan sát viên nào cũng có thể tìm ra chính xác thời gian và vị trí mà bất cứ quan sát viên nào khác sẽ gán cho một biến cố, với điều kiện người đó biết vận tốc tương đối của quan sát viên kia.

Ngày nay chúng ta dùng đúng phương pháp này để đo khoảng cách một cách chính xác, bởi vì chúng ta có thể đo thời gian một cách chính xác hơn độ dài. Dùng cách này, mét được định nghĩa là khoảng cách di chuyển bởi ánh sáng trong 0,00000003335640952 giây đồng hồ, như được đo bởi một đồng hồ nguyên tử cesium (Lý do cần con số đặc biệt đó vì nó đáp ứng được định nghĩa có tính cách lịch sử của mét — theo khoảng cách của hai dấu khắc trên một thanh bạch kim đặc biệt được lưu giữ tại Paris). Cũng vậy, chúng ta có thể dùng một đơn vị độ dài thuận tiện hơn gọi là giây–ánh sáng. Đơn vị này được định nghĩa một cách giản dị là khoảng cách ánh sáng di chuyển trong một giây. Theo thuyết tương đối, bây giờ chúng ta định nghĩa khoảng cách theo thời gian và tốc độ ánh sáng, do đó đương nhiên đưa tới hậu quả là mọi quan sát viên sẽ đo được ánh sáng có cùng tốc độ (theo định nghĩa, 1 mét mỗi 0,00000003335640952 giây). Không cần phải đưa vào ý niệm về một chất ê-te mà sự hiện diện của nó không ai phát hiện được, như thí nghiệm Michelson–Morley đã chứng tỏ. Tuy nhiên, thuyết tương đối quả thật buộc chúng ta thay đổi hoàn toàn các ý niệm của chúng ta về không gian và thời gian. Chúng ta phải chấp nhận rằng thời gian không phải hoàn toàn tách biệt và độc lập với không gian, nhưng được phối hợp với không gian để hình thành một đối tượng gọi là không–thời gian.

Kinh nghiệm thông thường của chúng ta là có thể mô tả vị trí của một điểm trong không gian bằng ba con số, hoặc tọa độ. Chẳng hạn, người ta có thể nói rằng một điểm trong một căn phòng cách một bức tường 7 bộ, cách một bức tường khác 3 bộ, và cao hơn mặt đất 5 bộ. Hoặc người ta cũng có thể định rõ rằng một điểm ở một vĩ độ, kinh độ và cao độ nào đó so với mặt biển. Người ta có thể tự do dùng bất cứ 3 tọa độ thích hợp nào, mặc dù chúng chỉ có một tầm giá trị giới hạn. Người ta sẽ không chỉ vị trí của mặt

trăng theo số dặm về phía bắc và số dặm về phía tây của Piccadilly Circus* và số bộ trên mặt biển. Thay vào đó, người ta có thể mô tả nó theo khoảng cách từ mặt trời, khoảng cách từ mặt phẳng chứa những quỹ đạo của các hành tinh, và góc độ giữa đường nối mặt trăng với mặt trời và đường nối mặt trời với một ngôi sao ở gần đó như ngôi sao Alpha Centauri. Ngay cả những tọa độ này cũng sẽ không ích lợi gì nhiều trong việc mô tả vị trí của mặt trời trong thiên hà của chúng ta hoặc vị trí của thiên hà của chúng ta trong nhóm những thiên hà ở trong vùng. Thật vậy, người ta có thể mô tả trọn vũ trụ theo một tập hợp những mảng gối lên nhau. Trong mỗi mảng này, người ta có thể dùng những bộ ba tọa độ khác nhau để chỉ rõ vị trí của một điểm.

Một biến cố là sự kiện xảy ra ở một điểm đặc biệt trong không gian và ở một thời gian đặc biệt. Như vậy, người ta có thể xác định nó bằng 4 con số hoặc tọa độ. Một lần nữa, việc tuyên chọn tọa độ là tùy ý; người ta có thể dùng bất cứ ba tọa độ không gian nào đã được định rõ ràng và bất cứ số đo nào về thời gian. Trong thuyết tương đối, không có sự phân biệt thực sự giữa các tọa độ thời gian và không gian, cũng như không có sự khác biệt thực sự nào giữa bất cứ hai tọa độ không gian nào. Người ta có thể chọn một bộ tọa độ mới, trong đó, thí dụ, tọa độ không gian thứ nhất là một sự phối hợp giữa tọa độ không gian thứ nhất cũ và các tọa độ không gian thứ nhì. Chẳng hạn, thay vì đo vị trí của một điểm trên mặt đất bằng số dặm về phía bắc của Piccadilly, và số dặm về phía tây của Piccadilly, người ta có thể dùng số dặm về phía đông bắc của Piccadilly, và số dặm về phía tây bắc của Piccadilly. Tương tự, trong thuyết tương đối, người ta có thể dùng một tọa độ thời gian mới là thời gian cũ (tính theo giây) cộng với khoảng cách (tính theo giây–ánh sáng) về phía bắc của Piccadilly.

Thường là có ích khi nghĩ tới bốn tọa độ của một biến cố khi xác định vị trí của nó trong một không gian bốn chiều gọi là không–thời gian. Tưởng tượng ra một không gian bốn chiều là điều không thể được. Chính tôi cũng thấy việc hình dung một không gian ba chiều đã đủ khó khăn rồi! Tuy nhiên, thật dễ vẽ ra những đồ biểu của những không gian hai chiều, như bề mặt của trái đất. (Bề mặt của trái đất là hai chiều bởi vì vị trí của một điểm có thể được xác định bởi hai tọa độ, vĩ độ và kinh độ.) Thông thường tôi sẽ sử dụng các biểu đồ trong đó thời gian tăng lên trên và một trong những chiều không gian được trình bày theo đường nằm ngang. Hai chiều không gian kia được bỏ qua, hoặc đôi khi, một trong hai chiều đó được biểu thị theo phối cảnh. (Những biểu đồ này được gọi là những biểu đồ không–thời gian, như hình 2.1). Thí dụ, trong hình 2.2, thời gian được đo hướng lên trên bằng số năm và khoảng cách dọc theo đường từ mặt trời tới ngôi sao Alpha Centauri được

đo bằng dậm theo đường nằm ngang. Những đường đi của mặt trời và của ngôi sao Alpha Centauri qua không–thời gian được trình bày bằng những đường thẳng đứng về bên trái và bên phải của biểu đồ. Một tia sáng từ mặt trời đi theo đường chéo, và cần bốn năm để đi từ mặt trời tới ngôi sao Alpha Centauri.

Như chúng ta đã thấy, phương trình của Maxwell tiên đoán rằng tốc độ của ánh sáng phải nhất như bất kể tốc độ của nguồn sáng, và điều này đã được xác nhận bởi những đo đạc chính xác. Điều này đưa tới kết luận rằng nếu một xung ánh sáng được phát ra tại một thời gian đặc biệt ở một điểm đặc biệt trong không gian, rồi khi thời gian diễn ra nó sẽ lan truyền như một trái cầu ánh sáng có độ lớn và vị trí độc lập với tốc độ của nguồn sáng. Sau một phần triệu của giây, ánh sáng sẽ lan truyền để hình thành một trái cầu với bán kính 300 mét; sau hai phần triệu giây, bán kính sẽ là 600 mét; và cứ thế tiếp tục. Nó sẽ giống như những gợn sóng tỏa ra trên bề mặt của một cái ao khi ném xuống một cục đá. Những gợn sóng tỏa ra như một vòng tròn càng ngày càng lớn khi thời gian tiếp tục. Nếu người ta nghĩ tới một mô hình ba chiều bao gồm bề mặt hai chiều của cái ao và một chiều về thời gian, vòng tròn mở rộng của các gợn sóng sẽ vẽ ra một hình nón có đỉnh nằm ở không gian và thời gian mà cục đá chạm mặt nước (H. 2.3). Tương tự, ánh sáng tỏa ra từ một biến cố hình thành một hình nón ba chiều trong không–thời gian bốn chiều. Hình nón này được gọi là hình nón ánh sáng tương lai của biến cố. Cũng bằng cách đó chúng ta có thể vẽ một hình nón khác, gọi là hình nón ánh sáng quá khứ, là bộ biến cố từ đó một xung ánh sáng có thể đạt tới biến cố đã cho (H. 2.4).

Các hình nón ánh sáng quá khứ và tương lai của một sự kiện P phân chia không–thời gian thành ba vùng (H. 2.5). Tương lai tuyệt đối của sự kiện này là vùng bên trong hình nón ánh sáng tương lai P. Đó là tập hợp của mọi biến cố có thể bị ảnh hưởng bởi những gì xảy ra tại P. Những tín hiệu xuất phát từ P không thể tới được những sự kiện nằm ngoài hình nón ánh sáng P bởi vì không có gì có thể di chuyển nhanh hơn ánh sáng. Do đó chúng không thể bị ảnh hưởng bởi những gì xảy ra tại P. Quá khứ tuyệt đối của P là vùng bên trong hình nón ánh sáng quá khứ. Đó là tập hợp của mọi biến cố từ đó các tín hiệu di chuyển bằng hay dưới tốc độ của ánh sáng có thể đạt tới P. Do đó nó là tập hợp của mọi biến cố có thể ảnh hưởng tới những gì xảy ra tại P. Nếu người ta biết điều gì đang xảy ra tại một thời điểm nào đó ở bất cứ nơi nào trong vùng không gian nằm bên trong hình nón ánh sáng quá khứ của P, người ta có thể tiên đoán những gì sẽ xảy ra tại P. Vùng nào khác là vùng không–thời gian không nằm trong những hình nón ánh sáng tương lai

hoặc quá khứ của P. Các biến cố ở vùng nào khác không thể ảnh hưởng hoặc bị ảnh hưởng bởi những sự kiện tại P. Chẳng hạn, nếu mặt trời ngưng chiếu sáng vào ngay lúc này, nó sẽ không ảnh hưởng tới những gì trên Trái Đất vào thời gian hiện tại bởi vì chúng sẽ ở vùng nào khác của biến cố khi mặt trời tắt (H. 2.6). Chúng ta sẽ chỉ biết về chuyện đó sau tám phút, là thời gian để ánh sáng từ mặt trời đến chúng ta. Chỉ lúc ấy các sự kiện trên địa cầu mới nằm trong hình nón ánh sáng tương lai của biến cố mặt trời tắt này. Tương tự, chúng ta không biết những gì đang xảy ra lúc này ở những nơi xa hơn trong vũ trụ: ánh sáng mà chúng ta thấy từ những thiên hà xa xôi đã rời khỏi chúng từ hàng triệu năm về trước, và trong trường hợp vật thể nằm xa nhất mà chúng ta đã thấy, ánh sáng đã rời đi từ khoảng tám ngàn triệu năm về trước. Như vậy, khi chúng ta nhìn vào vũ trụ, chúng ta đang nhìn nó như là nhìn vào quá khứ của nó.

Nếu người ta bỏ qua các hiệu ứng hấp lực, như Einstein và Poincaré đã làm vào năm 1905, người ta có điều được gọi là thuyết tương đối đặc biệt. Đối với mỗi biến cố trong không-thời gian, chúng ta có thể xây dựng một hình nón ánh sáng (tập hợp của mọi đường đi có thể có của ánh sáng trong không-thời gian phát ra tại biến cố đó), và bởi vì tốc độ của ánh sáng không đổi ở mọi biến cố và trong mọi chiều, tất cả những hình nón ánh sáng sẽ giống nhau và sẽ cùng hướng về một hướng. Thuyết này cũng cho chúng ta biết rằng không có gì có thể di chuyển nhanh hơn ánh sáng. Điều này có nghĩa là đường đi của bất cứ vật thể nào qua không gian và thời gian phải được biểu diễn bởi một đường nằm bên trong hình nón ánh sáng tại mỗi sự kiện trên đó (H. 2.7).

Thuyết tương đối đặc biệt rất thành công trong việc giải thích rằng tốc độ ánh sáng giống nhau đối với mọi quan sát viên (như đã được trình bày bởi thí nghiệm Michelson–Morley) và trong việc mô tả những gì xảy ra khi các vật thể di chuyển với tốc độ gần bằng tốc độ ánh sáng. Tuy nhiên, điều đó không phù hợp với lý thuyết hấp lực của Newton, nói rằng các vật thể thu hút lẫn nhau với một lực tùy thuộc vào khoảng cách giữa chúng với nhau. Điều này có nghĩa rằng nếu người ta di chuyển một trong những vật thể, lực tác động lên vật thể kia sẽ thay đổi tức khắc. Hoặc nói cách khác, các hiệu quả của trọng lực phải di chuyển với tốc độ vô hạn, thay vì bằng hoặc dưới tốc độ của ánh sáng, như thuyết tương đối đặc biệt đòi hỏi. Einstein đã thực hiện một số cố gắng không thành công giữa năm 1908 và 1914 để tìm một lý thuyết về trọng lực phù hợp với thuyết tương đối đặc biệt. Cuối cùng, trong năm 1915, ông đã đưa ra thuyết mà hiện giờ chúng ta gọi là thuyết tương đối tổng quát.

Einstein đã đưa ra đề nghị cách mạng là hấp lực không phải là một lực giống như những loại lực khác, mà là hậu quả của sự kiện rằng không-thời gian không bằng phẳng, như trước kia người ta tưởng: nó cong, hay "vênh" bởi sự phân bố của khối lượng và năng lượng trong nó. Những vật thể như địa cầu không phải do một lực gọi là dẫn lực làm chúng di chuyển trên các quỹ đạo cong; mà do chúng đi theo cái gằn giống nhất với một đường thẳng trong một không gian cong, được gọi là đường trắc địa. Một đường trắc địa là con đường ngắn nhất (hoặc dài nhất) giữa hai điểm gần nhau. Chẳng hạn, bề mặt của trái đất là một không gian cong hai chiều. Một đường trắc địa trên trái đất được gọi là một vòng tròn lớn, và là con đường ngắn nhất giữa hai điểm (H. 2.8). Vì đường trắc địa là con đường ngắn nhất giữa bất cứ hai phi trường nào, đây là con đường mà một hoa tiêu hàng không sẽ nói người phi công bay theo. Trong thuyết tương đối tổng quát, các vật thể luôn luôn đi theo các đường thẳng trong không-thời gian bốn chiều, nhưng đối với chúng ta chúng có vẻ như di chuyển dọc theo những đường cong trong không gian ba chiều của chúng ta. (Điều này hơi giống như quan sát một chiếc máy bay bay phía trên vùng đồi núi. Mặc dù nó bay theo một đường thẳng trong không gian ba chiều, cái bóng của nó đi theo một đường cong trên mặt đất hai chiều.)

Khối lượng của mặt trời làm cong không-thời gian theo một cách mà mặc dù trái đất đi theo một đường thẳng trong không-thời gian bốn chiều, đối với chúng ta có vẻ như nó di chuyển theo một quỹ đạo tròn trong không gian ba chiều. Thật vậy, quỹ đạo của các hành tinh tiên đoán bởi thuyết tương đối tổng quát hầu như đúng như những quỹ đạo đã được tiên đoán bởi thuyết hấp dẫn của Newton. Tuy nhiên, trong trường hợp Thủy tinh, vì là hành tinh gần mặt trời nhất, nên chịu những hiệu ứng hấp lực mạnh nhất, và có một quỹ đạo hơi dài ra, thuyết tương đối tổng quát tiên đoán rằng trục dài của hình e-líp phải quay theo mặt trời với một nhịp độ khoảng một độ trong mười ngàn năm. Mặc dù hiệu ứng này nhỏ, nó đã được ghi nhận trước năm 1915 và được coi như một trong những xác nhận đầu tiên cho lý thuyết của Einstein. Trong những năm gần đây, những biến thiên còn nhỏ hơn về quỹ đạo của những hành tinh khác từ những tiên đoán theo Newton đã được đo bằng radar và thấy phù hợp với những tiên đoán của thuyết tương đối tổng quát.

Các tia sáng cũng phải đi theo các trắc địa tuyền của không-thời gian. Một lần nữa, sự kiện rằng không gian hình cong có nghĩa rằng ánh sáng không còn có vẻ di chuyển theo các đường thẳng trong không gian nữa. Như vậy, thuyết tương đối tổng quát tiên đoán rằng ánh sáng phải bị uốn cong bởi các

trường trọng lực. Thí dụ, lý thuyết này tiên đoán rằng các hình nón ánh sáng của những điểm gần mặt trời sẽ hơi bị cong về phía trong, do ảnh hưởng của khối lượng của mặt trời. Điều này có nghĩa rằng ánh sáng từ một ngôi sao xa xôi đi qua gần mặt trời sẽ bị đẩy lệch qua một góc nhỏ, khiến ngôi sao hiện ra ở một vị trí khác đối với một quan sát viên ở trên mặt đất (H. 2.9). Dĩ nhiên, nếu ánh sáng từ ngôi sao luôn luôn đi qua gần mặt trời, chúng ta sẽ không thể nào biết liệu ánh sáng đã bị lệch hướng hoặc là ngôi sao thực sự nằm ở chỗ mà chúng ta đang nhìn thấy nó. Tuy nhiên, vì trái đất quay chung quanh mặt trời, những ngôi sao khác nhau có vẻ đi qua phía sau mặt trời và ánh sáng của chúng bị lệch đi. Do đó chúng thay đổi vị trí biểu kiến so với những ngôi sao khác.

Bình thường rất khó nhận thấy hiệu ứng này, bởi vì ánh sáng từ mặt trời khiến cho chúng ta không thể quan sát được những ngôi sao xuất hiện gần mặt trời trong bầu trời. Tuy nhiên, có thể làm như vậy trong một vụ nhật thực, khi ánh sáng mặt trời bị che khuất bởi mặt trăng. Sự tiên đoán của Einstein về sự lệch hướng của ánh sáng đã không thể được thí nghiệm ngay vào năm 1915, bởi vì cuộc Thế Chiến Thứ Nhất đang diễn ra, và mãi cho đến năm 1919, một toán thám hiểm người Anh, khi quan sát một vụ nhật thực từ Tây Phi Châu, đã chứng tỏ rằng ánh sáng quả thật bị mặt trời làm lệch hướng, như lý thuyết đã tiên đoán. Bằng chứng về một lý thuyết của người Đức được thực hiện bởi các khoa học gia người Anh đã được hoan nghênh như một hành vi vĩ đại của sự hòa giải giữa hai nước sau chiến tranh. Có điều mỉa mai là cuộc khảo sát sau này về những bức hình được chụp trong cuộc thám hiểm đó cho thấy những sai sót cũng lớn lao như hiệu ứng mà họ cố gắng đo lường. Trắc lượng của họ thuần túy nhờ vận may, hoặc là một trường hợp biết trước kết quả mà họ muốn đạt tới, không phải là ít xảy ra trong khoa học. Tuy nhiên, sự lệch hướng ánh sáng đã được xác nhận một cách chính xác bởi một số những quan sát sau này.

Một tiên đoán khác của thuyết tương đối tổng quát là thời gian phải có vẻ chạy chậm hơn gần một vật thể lớn như trái đất. Đây là vì có một mối liên hệ giữa năng lượng của ánh sáng và tần số của nó (tức số làn sóng ánh sáng mỗi giây): năng lượng càng lớn, tần số càng cao. Khi ánh sáng di chuyển về phía trên trong trường hấp lực của trái đất, nó mất bớt năng lượng, và do đó tần số của nó giảm bớt. (Điều này có nghĩa là độ dài của thời gian giữa một đỉnh sóng và đỉnh sóng kế tiếp tăng lên.) Đối với một người ở trên cao, sẽ có vẻ như mọi chuyện ở phía dưới diễn ra với thời gian dài hơn. Sự tiên đoán này đã được thí nghiệm vào năm 1962, dùng một cặp đồng hồ thật chính xác đặt trên đỉnh và đáy của một tháp nước. Chiếc đồng hồ ở đáy, gần mặt đất hơn,

được thấy chạy chậm hơn, hoàn toàn phù hợp với thuyết tương đối tổng quát. Sự khác biệt về tốc độ của các đồng hồ ở các cao độ khác nhau phía trên mặt đất hiện giờ có tầm quan trọng thực tế rất đáng kể, với sự ra đời của những hệ thống định vị chính xác căn cứ vào những tín hiệu từ các vệ tinh. Nếu người ta bỏ qua sự tiên đoán của thuyết tương đối tổng quát, vị trí mà người ta tính toán sẽ bị sai cả vài dặm!

Các định luật về chuyển động của Newton đã kết liễu quan niệm về vị trí tuyệt đối trong không gian. Thuyết tương đối loại bỏ thời gian tuyệt đối. Giả sử có một cặp sinh đôi, một người lên đỉnh núi sinh sống, còn người kia ở lại ngang mặt biển. Người thứ nhất sẽ già nhanh hơn so với người kia. Như vậy, nếu họ gặp lại nhau, một người sẽ già hơn người kia. Trong trường hợp này, sự khác biệt về tuổi tác rất nhỏ, nhưng nó sẽ lớn hơn nhiều nếu một người trong cặp sinh đôi đi một chuyến lâu dài trong một phi thuyền không gian có vận tốc gần bằng vận tốc của ánh sáng. Khi người đó trở về, anh ta sẽ trẻ hơn nhiều so với người ở lại địa cầu. Điều này được gọi là sự mâu thuẫn song sinh, nhưng nó chỉ là một mâu thuẫn nếu người ta có quan niệm thời gian tuyệt đối trong đầu. Trong thuyết tương đối, chẳng có thời gian tuyệt đối duy nhất, ngược lại, mỗi cá nhân đều có số đo thời gian cho chính mình, tùy thuộc vào nơi người đó đang ở và đang di chuyển như thế nào.

Trước năm 1915, không gian và thời gian được nghĩ tới như là một sân khấu cố định trong đó các biến cố xảy ra, nhưng nó không bị ảnh hưởng bởi những gì xảy ra trong đó. Điều này đúng ngay cả đối với thuyết tương đối đặc biệt. Các vật thể di chuyển, các lực thu hút và đẩy nhau, nhưng thời gian và không gian thì vẫn tiếp tục, không bị ảnh hưởng. Nếu thế, người ta đương nhiên nghĩ rằng không gian và thời gian tiếp đi mãi mãi.

Tuy nhiên, tình hình khác hẳn trong thuyết tương đối tổng quát. Bây giờ, không gian và thời gian biến thành những số lượng biến động: khi một vật thể di chuyển, hoặc một lực tác động, nó ảnh hưởng độ cong của không gian và thời gian – và ngược lại kết cấu của không–thời gian ảnh hưởng tới đường lối theo đó các vật thể di chuyển và các lực tác động. Không gian và thời gian không những ảnh hưởng mà còn bị ảnh hưởng bởi mọi chuyện xảy ra trong vũ trụ. Cũng như người ta không thể nói về những biến cố trong vũ trụ mà không có những ý niệm về không gian và thời gian, cho nên trong thuyết tương đối tổng quát, nói về không gian và thời gian bên ngoài các giới hạn của vũ trụ đã trở nên vô nghĩa.

Trong mấy mươi năm tiếp theo, sự hiểu biết mới này về không gian và thời gian đã cách mạng hóa cái nhìn của chúng ta về vũ trụ. Quan niệm cũ về một vũ trụ chủ yếu bất biến có thể đã tồn tại, và có thể tiếp tục tồn tại, vĩnh viễn bị thay thế bởi ý niệm về một vũ trụ biến động, đang bành trướng, có vẻ đã bắt đầu ở một thời gian hữu hạn trước đây, và nó có thể kết thúc ở một thời gian hữu hạn trong tương lai. Cuộc cách mạng đó làm thành chủ đề cho chương sau. Và nhiều năm sau, nó cũng đã là khởi điểm cho công trình của tôi về vật lý học lý thuyết. Roger Penrose và tôi đã chứng tỏ rằng thuyết tương đối tổng quát của Einstein ngụ ý rằng vũ trụ phải có một khởi thủy và, có thể, một chung cuộc.

---o0o---

CHƯƠNG 3 - VŨ TRỤ BÀNH TRƯỚNG

Nếu có một đêm trời trong, không trăng, ngược lên ngó trời sao, những vật thể sáng nhất mà người ta nhìn thấy thường là những hành tinh như Kim Tinh, Hỏa Tinh, Mộc Tinh và Thổ Tinh. Cũng còn có một con số lớn lao những vì sao, giống như mặt trời chúng ta, nhưng cách xa chúng ta hơn nhiều. Một số các ngôi sao cố định này quả thật có vẻ như thay đổi vị trí của chúng rất ít so với nhau trong khi địa cầu quay chung quanh mặt trời: chúng thực ra không phải là cố định! Đây là vì chúng tương đối ở gần chúng ta. Khi địa cầu quay chung quanh mặt trời, chúng ta nhìn chúng từ những vị trí khác trên nền của những ngôi sao nằm xa hơn. Đây là điều may mắn, bởi vì nó giúp chúng ta có thể trực tiếp đo đạc khoảng cách giữa chúng ta và những ngôi sao này: chúng càng ở gần, chúng càng có vẻ di chuyển. Ngôi sao gần nhất, gọi là Proxima Centauri, được biết nằm cách chúng ta khoảng bốn năm ánh sáng, (ánh sáng từ nó phát ra tốn khoảng bốn năm mới tới địa cầu), hoặc vào khoảng 23 triệu triệu dặm Anh. Hầu hết những ngôi sao khác nhìn được bằng mắt trần nằm trong khoảng vài trăm năm ánh sáng. Để so sánh, mặt trời của chúng ta chỉ cách có 8 phút ánh sáng! Những ngôi sao nhìn thấy được có vẻ trải rộng khắp bầu trời ban đêm, nhưng đặc biệt tập trung vào một dải mà chúng ta gọi là Dải Ngân Hà. Trước đây vào năm 1750, vài nhà thiên văn học cho rằng hình dạng của Dải Ngân Hà có thể được giải thích nếu phần lớn các ngôi sao nhìn thấy được nằm trong một hình thể duy nhất giống cái đĩa, một thí dụ của những gì mà hiện giờ chúng ta gọi là một thiên hà hình xoắn ốc. Chỉ một vài thập niên sau, nhà thiên văn học Sir William Herschel đã xác nhận quan niệm của ông bằng cách phân loại một cách tỉ mỉ các vị trí và khoảng cách của một con số lớn lao các ngôi sao. Mặc dù vậy, quan niệm này chỉ được hoàn toàn chấp nhận vào đầu thế kỷ này.

Hình ảnh mới của chúng ta về vũ trụ mãi đến năm 1924 mới ra đời, khi nhà thiên văn học người Mỹ là Edwin Hubble chứng minh rằng thiên hà của chúng ta không phải là thiên hà duy nhất. Quả thật còn có nhiều thiên hà khác, với những khoảng không gian trống rỗng lớn ở giữa chúng. Để chứng minh điều này, ông cần phải xác định khoảng cách tới những thiên hà này, nằm ở xa đến độ, không như những ngôi sao ở gần, chúng quả thật có vẻ cố định. Do đó Hubble đã phải sử dụng những phương pháp gián tiếp để đo những khoảng cách này. Độ sáng biểu kiến của một ngôi sao tùy thuộc vào hai yếu tố: nó phát ra bao nhiêu ánh sáng, và nó cách chúng ta bao xa. Đối với những ngôi sao ở gần, chúng ta có thể đo độ sáng biểu kiến của chúng và khoảng cách của chúng, và do đó chúng ta có thể suy ra độ sáng đích thực của chúng. Ngược lại, nếu chúng ta biết độ sáng của các ngôi sao trong những thiên hà khác, chúng ta có thể tính ra khoảng cách của chúng bằng cách đo độ sáng biểu kiến của chúng. Hubble đã ghi nhận rằng một số loại ngôi sao luôn luôn có cùng một độ sáng khi chúng đủ gần để chúng ta đo, do đó, ông lý luận, nếu chúng ta tìm thấy những ngôi sao như vậy trong một thiên hà khác, chúng ta có thể giả định rằng chúng có cùng độ sáng – và do đó đo được khoảng cách tới thiên hà đó. Nếu chúng ta có thể làm như vậy đối với một số ngôi sao trong cùng thiên hà, và những tính toán của chúng ta luôn luôn cho cùng một khoảng cách, chúng ta có thể khá tin tưởng vào sự ước tính của mình.

Theo phương pháp này, Edwin Hubble đã tính ra những khoảng cách tới chín thiên hà khác nhau. Chúng ta biết rằng thiên hà của chúng ta chỉ là một trong số vài trăm ngàn triệu thiên hà có thể nhìn thấy bằng cách sử dụng các viễn vọng kính tối tân, mỗi thiên hà chính nó lại chứa vài trăm ngàn triệu ngôi sao. Hình 3.1 cho thấy hình ảnh của một thiên hà xoắn ốc tương tự như những gì chúng ta nghĩ phải giống như thiên hà của chúng ta đối với người sống trong một thiên hà khác. Chúng ta sống trong một thiên hà chiều ngang vào khoảng một trăm ngàn năm ánh sáng và đang quay một cách chậm chạp; các ngôi sao trong các cánh tay tròn ốc quay quanh trung tâm của nó khoảng một vòng mỗi vài trăm triệu năm. Mặt trời của chúng ta cũng chỉ là một ngôi sao bình thường, cỡ trung bình, màu vàng, nằm gần mép trong của một trong những cánh tay tròn ốc. Với những khám phá này, chúng ta đã tiến được một quãng đường dài kể từ thời Aristotle và Ptolemy, khi chúng ta nghĩ rằng trái đất là trung tâm của vũ trụ!

Những ngôi sao ở xa đến độ đối với chúng ta chúng có vẻ như chỉ là những chấm sáng. Chúng ta không thể nhìn thấy cỡ hoặc hình thể của chúng. Vậy thì làm sao chúng ta có thể phân biệt những loại ngôi sao khác nhau? Đối

với đa số lớn lao các ngôi sao, chỉ có một đặc tính chính mà chúng ta có thể quan sát được: màu sắc ánh sáng của chúng. Newton đã khám phá rằng nếu ánh sáng từ mặt trời đi qua một khối thủy tinh hình tam giác, gọi là lăng kính, nó sẽ phân giải thành những màu thành phần (quang phổ của nó) như trong một cầu vồng. Bằng cách nhắm một viễn vọng kính vào một ngôi sao riêng rẽ hoặc thiên hà, người ta có thể quan sát một cách tương tự quang phổ của ánh sáng từ ngôi sao hay thiên hà đó. Những ngôi sao khác nhau có quang phổ khác nhau, nhưng độ sáng tương đối của những màu khác nhau thì luôn luôn đúng như những gì mà người ta sẽ trông đợi tìm thấy trong ánh sáng phát ra bởi bất cứ vật thể nóng đỏ phát sáng nào. (Thật vậy, ánh sáng phát ra bởi bất cứ vật thể mờ đục nào nóng đỏ phát sáng cũng có một quang phổ đặc trưng chỉ tùy thuộc vào nhiệt độ của nó – nhiệt phổ. Điều này có nghĩa là chúng ta có thể phân biệt nhiệt độ của ngôi sao nhờ quang phổ của nó.) Hơn nữa, chúng ta thấy rằng một số màu đặc biệt không có ở những quang phổ của các ngôi sao, và những màu thiếu này có thể thay đổi giữa ngôi sao này với ngôi sao khác. Bởi vì chúng ta biết rằng mỗi nguyên tố hóa học hấp thụ một bộ đặc trưng các màu sắc rất đặc biệt, bằng cách so sánh những màu sắc bị thiếu vắng trong quang phổ của một ngôi sao, chúng ta có thể xác định các nguyên tố hóa học nào hiện diện ở bầu khí quyển của ngôi sao đó.

Vào thập niên 1920, khi các nhà thiên văn bắt đầu quan sát quang phổ của các ngôi sao trong những thiên hà khác, họ khám phá hiện tượng lạ thường nhất: có cùng những bộ đặc trưng các màu bị thiếu vắng như đối với những ngôi sao trong chính thiên hà của chúng ta, nhưng chúng tất cả đều được chuyển với cùng số lượng tương đối về phía đầu đỏ của quang phổ. Để hiểu hàm ý của sự kiện này, trước hết chúng ta phải hiểu hiệu ứng Doppler. Như chúng ta đã thấy, ánh sáng nhìn thấy được bao gồm những dao động, hay sóng, trong điện từ trường. Tần số (hay số sóng mỗi giây) của ánh sáng cực kỳ cao, từ bốn đến bảy trăm triệu triệu sóng mỗi giây. Những tần số khác nhau của ánh sáng khiến mắt người nhìn thấy những màu khác nhau, với những tần số thấp nhất hiện ra ở đầu đỏ của quang phổ và những tần số cao nhất ở đầu xanh. Bây giờ hãy tưởng tượng một nguồn sáng cách chúng ta một khoảng cách không đổi, như một ngôi sao, phát ra những sóng ánh sáng ở một tần số không đổi. Hiển nhiên tần số của những sóng mà chúng ta nhận được sẽ giống tần số mà chúng phát ra (trọng trường của thiên hà sẽ không đủ lớn để có một hậu quả đáng kể). Giả sử rằng bây giờ nguồn sáng bắt đầu di chuyển về phía chúng ta. Khi nguồn sáng phát ra đỉnh sóng kế tiếp nó sẽ ở gần chúng ta hơn, do đó thời gian mà đỉnh sóng cần để đạt tới chúng ta sẽ ít hơn là khi ngôi sao đứng yên. Điều này có nghĩa là thời gian giữa hai đỉnh

sóng tới chúng ta nhỏ hơn, và do đó con số các sóng chúng ta nhận được mỗi giây (tức tần số) cao hơn so với khi ngôi sao đứng yên. Cũng vậy, nếu nguồn sáng di chuyển ra xa chúng ta, tần số các sóng chúng ta nhận được sẽ thấp hơn. Do đó trong trường hợp ánh sáng, điều này có nghĩa là những ngôi sao di chuyển ra xa chúng ta sẽ có các quang phổ của chúng chuyển về phía đầu đỏ của quang phổ và những ngôi sao di chuyển về phía chúng ta sẽ có quang phổ của chúng chuyển về đầu xanh. Mối liên hệ này giữa tần số và tốc độ, gọi là hiệu ứng Doppler, là một kinh nghiệm hàng ngày. Hãy nghe tiếng xe chạy qua trên đường: khi chiếc xe tiến gần tới, tiếng máy xe của nó ở một âm vực cao (phù hợp với một tần số cao của sóng âm thanh), và khi nó chạy qua và đi xa, âm thanh của nó ở một âm vực thấp. Động thái của ánh sáng hoặc sóng vô tuyến cũng tương tự như thế. Thật vậy, cảnh sát lợi dụng hiệu ứng Doppler để đo tốc độ xe hơi bằng cách đo tần số của các xung sóng vô tuyến dội từ chúng trở lại.

Trong những năm sau khi khám phá bằng chứng của ông về sự hiện hữu của những thiên hà khác, Hubble đã bỏ ra thời gian để phân loại khoảng cách của chúng và quan sát các quang phổ của chúng. Vào lúc đó hầu hết mọi người đều cho rằng các thiên hà di chuyển vòng quanh hầu như tình cờ, và do đó người ta trông đợi tìm thấy quang phổ chuyển hướng xanh cũng nhiều như quang phổ chuyển hướng đỏ. Do đó quả là một điều ngạc nhiên khi thấy rằng hầu hết các thiên hà có vẻ chuyển về phía đỏ: gần như tất cả đều di chuyển ra xa chúng ta! Điều ngạc nhiên hơn nữa là kết luận mà Hubble công bố vào năm 1929: ngay cả cỡ của sự chuyển hướng về phía đỏ của một thiên hà cũng không phải là tình cờ, mà tỉ lệ thuận với khoảng cách của thiên hà đối với chúng ta. Hoặc, nói một cách khác, thiên hà càng ở xa, nó càng di chuyển ra xa nhanh hơn! Và điều đó có nghĩa là vũ trụ có thể không ở trạng thái tĩnh, như mọi người trước đây đã tưởng, nhưng thực ra đang bành trướng; khoảng cách giữa các thiên hà khác nhau đang gia tăng thường trực.

Phát hiện rằng vũ trụ đang bành trướng là một trong những cuộc cách mạng trí tuệ vĩ đại nhất của thế kỷ 20. Bây giờ nghĩ lại, thật dễ dàng tự hỏi tại sao không có ai trước kia đã nghĩ tới chuyện đó. Newton, và những người khác, chắc hẳn đã nhận thấy rằng một vũ trụ tĩnh chẳng bao lâu sẽ bắt đầu co rút lại dưới ảnh hưởng của trọng lực. Nhưng thay vào đó giả sử vũ trụ đang bành trướng. Nếu nó bành trướng một cách khá chậm chạp, lực hấp dẫn sẽ khiến cuối cùng nó ngưng bành trướng và rồi khởi sự co rút. Tuy nhiên, nếu nó bành trướng ở một nhịp độ lớn hơn một nhịp độ tới hạn nào đó, hấp lực sẽ không bao giờ đủ mạnh để chặn đứng nó lại, và vũ trụ sẽ tiếp tục bành trướng mãi mãi. Điều này cũng hơi giống như những gì xảy ra khi khai hỏa

một hỏa tiễn từ mặt đất lên phía trên. Nếu nó có một tốc độ tương đối chậm, trọng lực cuối cùng sẽ hãm hỏa tiễn lại và nó sẽ khởi sự rơi xuống. Mặt khác, nếu hỏa tiễn có một tốc độ lớn hơn một tốc độ tới hạn* nào đó (khoảng 7 dặm mỗi giây), trọng lực sẽ không đủ mạnh để kéo nó lại, do đó nó sẽ cứ đi xa khỏi trái đất mãi mãi. Động thái này của vũ trụ lẽ ra đã có thể tiên đoán từ thuyết hấp dẫn của Newton ở bất cứ lúc nào trong thế kỷ mười chín, mười tám, hoặc ngay cả vào cuối thế kỷ mười bảy. Vậy mà niềm tin vào một vũ trụ tĩnh vẫn mạnh đến độ nó tồn tại cho mãi tới đầu thế kỷ hai mươi. Ngay cả Einstein, khi hình thành thuyết tương đối tổng quát vào năm 1915, vẫn tin chắc rằng vũ trụ phải ở trạng thái tĩnh đến độ ông đã cải tiến lý thuyết của ông để làm cho điều này có thể được, khi đưa một cái gọi là hằng số vũ trụ vào các phương trình của ông. Einstein đã đưa ra một lực "phản trọng lực" mới, không giống như các lực khác, đã không tới từ bất cứ nguồn đặc biệt nào, nhưng được xây dựng vào chính cấu tạo của không-thời gian. Ông đã nói rằng không-thời gian có một khuynh hướng nội tại để bành trướng, và điều này có thể được thực hiện để cân bằng sự hấp dẫn của mọi vật chất trong vũ trụ, do đó đưa tới một vũ trụ tĩnh. Chỉ có một người, hình như vậy, muôn thừa nhận giá trị bề ngoài của thuyết tương đối tổng quát, và trong khi Einstein và những vật lý gia khác tìm cách tránh sự tiên đoán một vũ trụ không ở trạng thái tĩnh, nhà vật lý kiêm toán học gia người Nga Alexander Friedmann lại khởi sự giải thích nó.

Friedmann đưa ra hai giả định rất đơn giản về vũ trụ: rằng vũ trụ trông giống như nhau ở mọi hướng mà chúng ta nhìn, và rằng điều này cũng sẽ đúng nếu chúng ta quan sát vũ trụ từ bất cứ nơi nào khác. Từ hai ý tưởng này, Friedmann đã chứng tỏ rằng chúng ta không nên trông mong vũ trụ ở trạng thái tĩnh. Thật vậy, trong năm 1922, vài năm trước cuộc khám phá của Edwin Hubble, Friedmann đã tiên đoán đúng như những gì Hubble đã tìm thấy!

Giả thuyết rằng vũ trụ trông như nhau ở mọi hướng thoạt tiên có vẻ không đúng. Chẳng hạn, như chúng ta đã thấy, những ngôi sao khác trong thiên hà của chúng ta hình thành một dải ánh sáng rõ rệt bắc ngang bầu trời ban đêm, gọi là Dải Ngân Hà. Nhưng nếu chúng ta nhìn vào những thiên hà ở xa, có vẻ như ít nhiều chúng có cùng con số. Do đó vũ trụ quả hình như giống nhau ở mọi hướng, với điều kiện người ta quan sát nó trên một tầm mức lớn so với khoảng cách giữa các thiên hà, và bỏ qua những khác biệt ở tầm mức nhỏ. Trong một thời gian dài, điều này đủ để biện minh cho giả định của Friedmann – như là một lượng định gần đúng với vũ trụ thực tế. Nhưng gần đây hơn, một tình cờ may mắn đã khám phá ra sự kiện rằng giả định của

Friedman quả thật là một sự mô tả vũ trụ của chúng ta chính xác một cách đáng kinh ngạc.

Năm 1965, hai vật lý gia người Mỹ ở các phòng thí nghiệm Bell Telephone ở New Jersey, Arno Penzias và Robert Wilson, đã thử nghiệm một máy dò sóng cực ngắn rất nhạy. (Các sóng cực ngắn cũng giống như sóng ánh sáng, nhưng với một tần số ở mức chỉ khoảng mười ngàn triệu sóng mỗi giây.) Penzias và Wilson đã lưu ý khi họ thấy rằng máy dò của họ thu được nhiều nhiễu âm hơn bình thường. Nhiễu âm có vẻ như không tới từ bất cứ phương hướng đặc biệt nào. Đầu tiên họ đã khám phá ra phân chim trong máy dò của họ và đã kiểm tra để tìm những trục trặc có thể có khác, nhưng rồi loại bỏ những khả năng này. Họ biết rằng bất cứ nhiễu âm nào tới từ bên trong bầu khí quyển cũng sẽ mạnh hơn khi máy dò không hướng thẳng lên trên, bởi vì tia sáng đi qua nhiều không khí hơn khi nhận được từ gần chân trời so với khi tới từ ngay trên đỉnh đầu. Nhiễu âm bất thường này giống nhau dù máy dò hướng về phía nào, do đó nó phải tới từ bên ngoài bầu khí quyển. Nó cũng không đổi dù ngày hay đêm và trong suốt cả năm, mặc dù trái đất quay quanh trục của nó và quay quanh mặt trời. Điều này chứng tỏ bức xạ phải tới từ ngoài Thái Dương Hệ, và ngay cả từ bên ngoài thiên hà, nếu không nó sẽ thay đổi khi chuyển động của trái đất làm máy dò chuyển tới các hướng khác. Thật vậy, chúng ta biết rằng bức xạ đã phải di chuyển tới chúng ta xuyên qua hầu hết vũ trụ có thể quan sát được, và bởi vì nó hình như không thay đổi ở mọi hướng khác nhau, vũ trụ cũng phải giống như vậy ở mọi hướng, nếu như trên một tầm cỡ lớn. Chúng ta bây giờ biết rằng dù chúng ta nhìn về hướng nào, nhiễu âm cũng không thay đổi quá một phần mười ngàn – do đó Penzias và Wilson đã tình cờ tìm được một sự xác nhận khá chính xác giả định thứ nhất của Friedmann.

Gần như đồng thời, hai vật lý gia người Mỹ tại trường đại học Princeton ở gần đó, Bob Dicke và Jim Peebles, cũng đang chú ý tới những sóng cực ngắn. Họ đang nghiên cứu một đề xuất, được đưa ra bởi George Gamow (từng là một học trò của Alexander Friedmann), rằng vũ trụ thuở đầu phải rất nóng và dày đặc, sáng trắng. Dicke và Peebles lý luận rằng chúng ta vẫn có thể nhìn tia sáng của vũ trụ thuở ban đầu, bởi vì ánh sáng từ những phần rất xa xôi của nó mãi bây giờ mới tới chúng ta. Tuy nhiên, sự bành trướng của vũ trụ có nghĩa là ánh sáng này phải chuyển đỏ nhiều đến độ đối với chúng ta nó hiện ra như bức xạ cực ngắn. Dicke và Peebles đang sửa soạn tìm kiếm sự bức xạ này thì Penzias và Wilson nghe nói về công việc của họ và biết rằng họ đã tìm được nó. Nhờ chuyện này, Penzias và Wilson đã được

tặng giải Nobel trong năm 1978 (có vẻ hơi bất công đối với Dicke và Peebles, đây là chưa kể Gamow!)

Bây giờ thoát nhìn, bằng chứng rằng vũ trụ trông như nhau dù chúng ta nhìn về hướng nào có vẻ ngụ ý có một cái gì đặc biệt về vị trí của chúng ta trong vũ trụ. Đặc biệt, có vẻ rằng nếu chúng ta thấy mọi thiên hà khác đang di chuyển ra xa chúng ta, như vậy chúng ta phải ở trung tâm của vũ trụ. Tuy nhiên, có một sự giải thích khác: vũ trụ có thể cũng nhìn như nhau ở mọi hướng khi được nhìn từ một thiên hà khác. Điều này, như chúng ta đã thấy, là giả định thứ nhì của Friedmann. Chúng ta không có bằng chứng khoa học để bênh vực, hay chống đối giả định này. Chúng ta tin nó căn cứ vào sự khiêm tốn: thật là bất thường nếu vũ trụ nhìn như nhau trong mọi hướng chung quanh chúng ta, mà không phải chung quanh những điểm khác trong vũ trụ! Trong mô hình của Friedmann, mọi thiên hà đang di chuyển rời xa nhau. Tình trạng hơi giống như một quả bóng với một số các chấm được vẽ trên đó đang được bơm lên. Khi quả bóng phồng lên, khoảng cách giữa bất cứ hai chấm nào cũng tăng lên, nhưng không có chấm nào có thể được nói là trung tâm của sự trương nở. Hơn nữa hai chấm càng nằm xa nhau, chúng di chuyển xa nhau càng nhanh. Tương tự, trong mô hình của Friedmann tốc độ mà bất cứ hai thiên hà nào di chuyển xa nhau cũng tỉ lệ thuận với khoảng cách giữa chúng với nhau. Do đó nó đã tiên đoán rằng sự chuyển dịch về phía màu đỏ của một thiên hà phải tỉ lệ thuận với khoảng cách của nó với chúng ta, đúng như Hubble đã tìm thấy. Mặc dù sự thành công của mô hình của ông và sự tiên đoán của ông về những quan sát của Hubble, công trình của Friedmann vẫn không được nhiều người biết tới ở Tây phương cho tới khi những mô hình tương tự được khám phá năm 1935 bởi vật lý gia người Mỹ Howard Robertson và toán học gia người Anh Arthur Walker, để đáp lại sự khám phá của Hubble về sự bành trướng đồng đều của vũ trụ.

Mặc dù Friedmann chỉ tìm thấy một mô hình, thực ra có ba loại mô hình theo như hai giả định căn bản của ông. Trong loại thứ nhất (mà Friedmann đã tìm thấy) vũ trụ đang giãn nở đủ chậm chạp để lực hấp dẫn giữa hai thiên hà khác nhau khiến sự bành trướng chậm lại và cuối cùng ngừng hẳn. Các thiên hà khi đó sẽ di chuyển về phía nhau và vũ trụ co rút lại. Hình 3.2 cho thấy khoảng cách giữa hai thiên hà lân cận thay đổi như thế nào khi thời gian tăng lên. Nó bắt đầu ở số không, tăng lên một mức tối đa, và rồi giảm tới số không một lần nữa. Trong giải đáp loại thứ nhì, vũ trụ đang bành trướng nhanh chóng đến độ lực hấp dẫn không thể hãm nó lại, mặc dù nó có làm chậm lại một chút. Hình 3.3 cho thấy sự tách ly giữa các thiên hà lân cận trong mô hình này. Nó bắt đầu từ số không và cuối cùng các thiên hà di

chuyển xa nhau với một tốc độ đều đặn. Cuối cùng, có một loại giải đáp thứ ba, trong đó vũ trụ bành trướng chỉ đủ nhanh để tránh suy sụp trở lại. Trong trường hợp này sự tách ly, được trình bày trong hình 3.4, cũng bắt đầu ở số không và gia tăng mãi mãi. Tuy nhiên, tốc độ mà các thiên hà di chuyển xa nhau càng ngày càng giảm đi, mặc dù nó không bao giờ đạt tới số không.

Một đặc tính đáng chú ý của loại mô hình thứ nhất của Friedmann là trong đó vũ trụ không phải là vô hạn về không gian, nhưng không gian cũng không có biên giới nào cả. Trọng lực mạnh đến độ không gian bị uốn cong thành hình tròn trên chính nó, khiến nó hơi giống như bề mặt của trái đất. Nếu người ta cứ đi mãi theo một hướng nào đó trên mặt đất, người ta sẽ không bao giờ gặp một cản trở nào không thể vượt qua được hoặc rơi xuống rìa, nhưng cuối cùng sẽ trở lại nơi khởi hành. Trong mô hình thứ nhất của Friedmann, không gian giống như vậy, nhưng với ba chiều thay vì hai chiều như bề mặt trái đất. Chiều thứ tư, thời gian, cũng có tính cách hữu hạn, nhưng nó giống như một dòng kẻ với hai đầu hoặc giới hạn, một khởi thủy và một chung cuộc. Sau này chúng ta sẽ thấy rằng khi người ta phối hợp thuyết tương đối tổng quát với nguyên tắc bất định của cơ học lượng tử, có thể cả không gian và thời gian sẽ hữu hạn mà không có bờ hoặc biên giới.

Quan niệm rằng người ta có thể đi thẳng vòng quanh vũ trụ và cuối cùng trở lại nơi người ta khởi hành là chuyện khoa học giả tưởng hấp dẫn, nhưng nó không có ý nghĩa thực tế, bởi vì nó có thể chứng tỏ rằng vũ trụ sẽ lại suy sụp thành cỡ số không trước khi người ta có thể đi vòng quanh. Bạn cần di chuyển nhanh hơn ánh sáng để cuối cùng tới nơi mà bạn đã khởi hành trước khi vũ trụ đi tới một chung cuộc – và điều đó không được phép!

Trong loại mô hình thứ nhất của Friedmann, nó bành trướng và suy sụp trở lại, không gian tự uốn cong vào phía trong, giống như bề mặt của trái đất. Do đó nó có tầm mức giới hạn. Trong loại mô hình thứ hai, nó bành trướng mãi mãi, không gian uốn cong theo chiều ngược lại, như bề mặt của một cái yên ngựa. Do đó trong trường hợp này không gian là vô hạn. Cuối cùng, trong loại mô hình thứ ba của Friedmann, với mức độ bành trướng chỉ ở mức cần thiết, không gian phẳng (và do đó cũng vô hạn).

Nhưng mô hình nào của Friedmann mô tả vũ trụ của chúng ta? Liệu vũ trụ cuối cùng sẽ ngưng bành trướng và khởi sự co rút hay nó sẽ bành trướng mãi mãi? Để trả lời câu hỏi này chúng ta cần phải biết mức độ bành trướng hiện nay của vũ trụ và mật độ trung bình hiện nay của nó. Nếu mật độ của nó nhỏ hơn một giá trị tới hạn nào đó, xác định bởi nhịp độ bành trướng, lực hấp

dẫn sẽ quá yếu để ngưng việc bành trướng. Nếu mật độ lớn hơn giá trị tới hạn, trọng lực sẽ ngưng sự bành trướng ở một thời điểm nào đó trong tương lai và khiến vũ trụ sụp đổ trở lại.

Chúng ta có thể xác định nhịp bành trướng hiện nay bằng cách đo các tốc độ mà những thiên hà khác đang di chuyển ra xa khỏi chúng ta, bằng cách dùng hiệu ứng Doppler. Điều này có thể được thực hiện một cách rất chính xác. Tuy nhiên, những khoảng cách tới các thiên hà không được biết rõ lắm bởi vì chúng ta chỉ có thể đo chúng một cách gián tiếp. Do đó tất cả những gì chúng ta biết là vũ trụ đang bành trướng khoảng từ 5% đến 10% mỗi ngàn năm. Tuy nhiên, sự không chắc chắn của chúng ta về mật độ trung bình hiện nay của vũ trụ còn lớn lao hơn. Nếu chúng ta cộng thêm các khối lượng của mọi ngôi sao mà chúng ta có thể nhìn thấy trong thiên hà của chúng ta và những thiên hà khác, tổng số kém khoảng một phần trăm khối lượng cần thiết để chặn đứng việc bành trướng của vũ trụ, dù đối với sự ước lượng thấp nhất về nhịp độ bành trướng. Tuy nhiên, thiên hà của chúng ta và các thiên hà khác phải chứa một lượng lớn "chất tối" ("dark matter") mà chúng ta không thể nhìn một cách trực tiếp, nhưng chúng ta biết nó hiện diện bởi vì ảnh hưởng về lực hấp dẫn của nó đối với các quỹ đạo của các ngôi sao trong các thiên hà. Hơn nữa, hầu hết các thiên hà đều tụ lại thành chùm, và chúng ta có thể lý luận tương tự là còn có sự hiện diện của nhiều chất tối nằm xen giữa các thiên hà trong những chùm này do các hậu quả của nó đối với sự chuyển động của các thiên hà. Khi chúng ta cộng thêm tất cả chất tối này, chúng ta vẫn chỉ được vào khoảng một phần mười số lượng cần thiết để hãm sự bành trướng. Tuy nhiên, chúng ta không thể loại trừ khả năng rằng có thể có một hình thức vật chất nào khác, được phân bố hầu như đồng đều trong khắp vũ trụ, mà chúng ta chưa khám phá ra được và nó có thể nâng mật độ trung bình của vũ trụ lên tới một giá trị tới hạn cần thiết để hãm sự bành trướng. Do đó bằng chứng hiện nay cho thấy rằng vũ trụ sẽ có thể bành trướng mãi mãi, nhưng tất cả những gì mà chúng ta có thể thực sự quả quyết là ngay cả nếu vũ trụ sẽ sụp đổ trở lại, nó sẽ không xảy ra ít nhất mười ngàn triệu năm nữa, bởi vì nó đã bành trướng trong ít nhất thời gian dài như vậy. Điều này không nên gây lo lắng cho chúng ta một cách quá đáng: vào lúc đó, trừ phi chúng ta đã di cư ra ngoài Thái Dương Hệ, nhân loại khi đó đã chết dần mòn từ lâu, bị tiêu diệt cùng với mặt trời của chúng ta!

Mọi giải đáp của Friedmann có đặc điểm là ở vào một lúc nào đó trong quá khứ (giữa mười và hai mươi ngàn triệu năm về trước) khoảng cách giữa những thiên hà lân cận phải là số không. Vào lúc đó, lúc mà chúng ta gọi là vụ nổ lớn, mật độ của vũ trụ và độ cong của không-thời gian đã lớn vô hạn.

Bởi vì toán học không thể thực sự đảm đương những con số vô hạn, điều này có nghĩa là thuyết tương đối tổng quát (mà các giải đáp của Friedmann căn cứ vào đó) tiên đoán rằng có một điểm trong vũ trụ nơi lý thuyết tự nó đổ vỡ. Một điểm như vậy là một thí dụ của điều mà những nhà toán học gọi là một nhất thể (singularity). Thật vậy, mọi lý thuyết khoa học của chúng ta được hình thành trên sự giả định rằng không-thời gian trơn tru và gần như phẳng, do đó những thuyết này tan vỡ ở lúc nhất thể nổ lớn, nơi độ cong của không-thời gian là vô tận. Điều này có nghĩa là cho dù có những biến cố trước vụ nổ lớn, người ta không thể dùng chúng để xác định những gì đã xảy ra sau đó, bởi vì khả năng tiên đoán sẽ sụp đổ vào lúc nổ lớn. Do đó, nếu chúng ta chỉ biết những gì đã xảy ra kể từ vụ nổ lớn, chúng ta không thể xác định được những gì xảy ra trước đó. Đối với chúng ta, những biến cố trước vụ nổ lớn có thể không có hậu quả gì, do đó chúng không đóng vai trò gì trong mô hình khoa học của vũ trụ. Do đó, chúng ta phải loại chúng ra khỏi mô hình và nói rằng thời gian đã có một khởi đầu vào lúc vụ nổ lớn.

Nhiều người không thích ý tưởng thời gian có một khởi đầu, có thể vì nó có vẻ như có sự can thiệp của thần linh. (Giáo Hội Thiên Chúa Giáo La-Mã, mặt khác, đã chụp lấy mô hình nổ lớn và trong năm 1951 đã chính thức tuyên bố nó như là phù hợp với Thánh Kinh.) Do đó có một số cố gắng để tránh kết luận rằng đã có một vụ nổ lớn. Đề nghị được sự ủng hộ rộng rãi nhất đã được gọi là thuyết trạng ổn cố (steady state theory). Nó đã được đưa ra vào năm 1948 bởi hai người tị nạn từ nước Áo bị Quốc Xã chiếm đóng, Hermann Bondi và Thomas Gold, cùng với một người Anh, Fred Hoyle, người đã làm việc với họ trong việc phát triển radar trong thời chiến tranh. Ý tưởng này cho rằng khi các thiên hà di chuyển rời xa nhau, những thiên hà mới đã liên tục hình thành ở những khoảng cách ở giữa, từ vật chất mới liên tục được tạo ra. Vũ trụ do đó sẽ trông có vẻ như cũ ở mọi lúc cũng như ở mọi điểm của không gian. Thuyết trạng thái ổn cố đòi hỏi một sự cải tiến thuyết tương đối tổng quát để cho phép sự tạo ra liên tục vật chất, nhưng nhịp độ chậm chạp (khoảng một phần tư mỗi kilômét khối mỗi năm) để cho nó không trái ngược với thực nghiệm. Lý thuyết này đã là một lý thuyết khoa học tốt, theo cái nghĩa đã được mô tả trong chương 1: nó giản dị và nó thực hiện những tiên đoán rõ rệt có thể được chứng thực bởi sự quan sát. Một trong những tiên đoán này là con số các thiên hà hoặc những vật thể tương tự trong bất cứ khối không gian được lựa chọn nào cũng giống nhau dù chúng ta nhìn vào vũ trụ bất cứ lúc nào và từ nơi nào. Vào cuối thập niên 1950 và đầu thập niên 1960, một cuộc khảo sát các nguồn sóng vô tuyến từ ngoại tầng không gian đã được thực hiện tại Cambridge bởi một nhóm các nhà thiên văn cầm đầu bởi Martin Ryle (người đã làm việc với Bondi, Gold,

và Hoyle về radar trong chiến tranh). Toán Cambridge đã chứng tỏ rằng hầu hết các nguồn sóng vô tuyến này phải nằm bên ngoài thiên hà của chúng ta (quả thật nhiều trong số những nguồn đó có thể được nhận diện với các thiên hà khác) và còn chứng tỏ rằng có nhiều nguồn yếu hơn là những nguồn mạnh. Họ đã giải thích những nguồn yếu như là những nguồn ở xa hơn, và những nguồn mạnh hơn thì ở gần hơn. Rồi hình như có những nguồn ít thấy hơn ở mỗi đơn vị khối không gian đối với những nguồn ở gần so với những nguồn ở xa. Điều này có thể có nghĩa là chúng ta ở trung tâm của một vùng rộng lớn trong vũ trụ trong đó các nguồn ít hơn là tại những nơi khác. Nói cách khác, nó có thể có nghĩa rằng những nguồn trong quá khứ đã nhiều hơn, vào lúc những sóng vô tuyến khởi đầu cuộc hành trình đi tới chúng ta, so với bây giờ. Cách giải thích nào cũng mâu thuẫn với những tiên đoán của thuyết trạng thái ổn cố. Hơn nữa, sự khám phá ra bức xạ sóng cực ngắn bởi Penzias và Wilson năm 1965 cũng cho thấy rằng vũ trụ phải đậm đặc hơn nhiều trong quá khứ. Vì vậy, thuyết trạng thái ổn cố phải bị loại bỏ.

Một cố gắng khác để tránh kết luận rằng phải có một vụ nổ lớn, và do đó một khởi điểm về thời gian, đã được thực hiện vào năm 1963 bởi hai khoa học gia người Nga, Evgenii Lifshitz và Isaac Khalatnikov. Họ đề xướng rằng vụ nổ lớn có thể chỉ là một đặc điểm của các mô hình của Friedmann mà thôi, nó chẳng qua chỉ là những dự đoán gần đúng đối với vũ trụ thật sự. Có lẽ, trong tất cả các mô hình gần giống như vũ trụ thực tế, chỉ có mô hình của Friedmann là chứa đựng một nhất thể nổ lớn. Trong các mô hình của Friedmann, các thiên hà đang di chuyển rời xa nhau – do đó không có gì ngạc nhiên nếu vào một thời điểm nào đó trong quá khứ tất cả chúng đều ở cùng một chỗ. Tuy nhiên, trong vũ trụ thực tế, các thiên hà không phải chỉ di chuyển rời xa nhau theo đường thẳng – chúng còn có những tốc độ nhỏ theo chiều ngang. Do đó trong thực tế chúng không cần từng tụ lại một chỗ, chỉ là rất gần nhau. Có thể như vậy, sự bành trướng của vũ trụ hiện nay không phải do một nhất thể nổ lớn, mà từ một giai đoạn co rút trước đây; khi vũ trụ đã suy sụp các phần tử trong đó có thể không đụng tất cả vào nhau, mà đã bay qua và rời xa nhau, tạo ra sự bành trướng của vũ trụ hiện tại. Như vậy thì tại sao chúng ta biết được vũ trụ thực tế này phải bắt đầu từ vụ bùng nổ lớn hay không? Những gì Lifshitz và Khalatnikov đã làm là nghiên cứu các mô hình của vũ trụ gần giống như những mô hình của Friedmann, nhưng có lưu ý tới những bất thường và những tốc độ bất kỳ của các thiên hà trong vũ trụ thật. Họ đã chứng tỏ rằng những mô hình như vậy có thể đã bắt đầu bằng một vụ nổ lớn, mặc dù các thiên hà không còn luôn luôn di chuyển rời xa nhau một cách trực tiếp nữa, nhưng họ cho rằng điều này cũng chỉ có thể xảy ra trong một số mô hình ngoại lệ trong đó các mô hình tất cả đều di chuyển theo

đường thẳng. Họ đã lý luận rằng bởi vì các mô hình kiểu Friedmann trong đó không có một nhất thể nổ lớn nhiều hơn là các mô hình có một nhất thể nổ lớn, cho nên chúng ta phải kết luận rằng trong thực tế không có một vụ nổ lớn. Tuy nhiên, sau này họ nhận thấy rằng có một loại mô hình kiểu Friedmann tổng quát hơn nhiều mà không có những nhất thể, và trong đó những thiên hà đã không phải di chuyển theo một cách đặc biệt nào. Do đó năm 1970 họ đã rút lại những lập luận của họ.

Công trình của Lifshitz và Khalatnikov có giá trị bởi vì nó cho thấy rằng vũ trụ có thể đã có một nhất thể, một vụ nổ lớn, nếu thuyết tương đối tổng quát là đúng. Tuy nhiên, nó đã không giải quyết câu hỏi quan trọng: Thuyết tương đối tổng quát có tiên đoán rằng vũ trụ của chúng ta phải đã có một vụ nổ lớn, một khởi đầu về thời gian hay không? Câu trả lời cho điều này phát xuất từ một phương pháp hoàn toàn khác được đưa ra bởi một toán học gia kiêm vật lý gia người Anh, Roger Penrose, vào năm 1965. Sử dụng đường lối mà hình nón ánh sáng phản ứng trong thuyết tương đối tổng quát cùng với sự kiện rằng trọng lực luôn luôn thu hút, ông đã chứng tỏ rằng một ngôi sao khi suy sụp bởi chính trọng lực của nó sẽ bị giam hãm trong một vùng có bề mặt co rút lại thành cỡ số không. Và, bởi vì bề mặt của vùng đó co lại thành số không, thể tích của nó cũng phải co lại. Mọi vật chất trong ngôi sao sẽ bị ép lại thành một vùng có thể tích bằng không, do đó mật độ của vật chất và độ cong của không-thời gian trở nên vô hạn. Nói khác đi, người ta có một nhất thể chứa đựng bên trong một vùng không-thời gian được biết như là một hố đen.

Nhìn thoáng qua, kết quả của Penrose chỉ áp dụng cho các ngôi sao; nó không có gì để nói về câu hỏi liệu toàn thể vũ trụ có một nhất thể nổ lớn trong quá khứ hay không. Tuy nhiên, vào lúc Penrose đưa ra định lý của ông, tôi là một sinh viên nghiên cứu đang khao khát tìm một vấn đề để hoàn tất luận án tiến sĩ của tôi. Hai năm trước khi tôi được chẩn đoán là bị mắc chứng bệnh ALS, thường được gọi là bệnh Lou Gehrig, hay bệnh về thần kinh vận động, và được cho biết chỉ còn sống được một hay hai năm nữa thôi. Trong tình huống này, xem ra không cần thiết phải ra công sức soạn cho cái học vị tiến sĩ của tôi -- Tôi đã không trông đợi sống lâu như thế. Nhưng hai năm đã qua đi mà tôi không đến nổi nào. Thật vậy, mọi chuyện khá tốt đẹp cho tôi, và tôi đã đính hôn với một cô gái rất dễ thương, Jane Wilde. Nhưng để đi đến chỗ kết hôn, tôi cần phải có một việc làm, và để có được việc làm, tôi cần phải có học vị tiến sĩ.

Năm 1965, tôi đọc về định lý của Penrose rằng bất cứ vật thể nào bị dẫn lực làm sụp đổ cuối cùng cũng phải hình thành một nhất thể. Tôi ý thức rất nhanh rằng nếu người ta đảo ngược phương hướng thời gian trong định lý của Penrose, để cho sự co rút biến thành bành trướng, những điều kiện trong định lý của ông vẫn có giá trị, với điều kiện vũ trụ tương đối giống một mô hình của Friedmann trên xích độ lớn vào lúc này. Định lý Penrose đã chứng tỏ rằng bất cứ ngôi sao sụp đổ nào cũng phải chấm dứt ở dạng nhất thể; lý luận thời gian đảo ngược cho thấy rằng bất cứ vũ trụ nào bành trướng theo kiểu Friedmann cũng phải đã bắt đầu với dạng nhất thể. Vì những lý do kỹ thuật, định lý của Penrose đòi hỏi rằng vũ trụ phải vô hạn về không gian. Do đó thực sự tôi có thể sử dụng nó để chứng minh rằng chỉ có một nhất thể nếu vũ trụ đã bành trướng đủ nhanh để tránh sụp đổ một lần nữa (bởi vì chỉ những mô hình Friedmann đó là vô hạn về không gian).

Trong mấy năm sau, tôi đã phát triển kỹ thuật toán học mới để loại bỏ điều này và những điều kiện kỹ thuật khác từ các định lý đã chứng tỏ rằng các nhất thể phải xảy ra. Kết quả sau cùng là một luận văn hợp tác giữa Penrose và tôi năm 1970. Luận văn này cuối cùng đã chứng minh được rằng đã phải có một nhất thể nổ lớn chỉ với điều kiện rằng thuyết tương đối tổng quát là đúng và vũ trụ chứa nhiều vật chất như chúng ta quan sát. Đã có nhiều chống báng đối với công trình của chúng tôi, một phần từ những người Nga bởi vì lòng tin vào thuyết Mác Xít của họ đặt vào thuyết định mệnh khoa học, và một phần từ những người cảm thấy rằng trọn ý tưởng về các nhất thể không chấp nhận được và làm hại cái đẹp của lý thuyết của Einstein. Tuy nhiên, người ta không thể thực sự tranh cãi với một định lý toán học. Do đó cuối cùng công trình của chúng tôi đã được chấp nhận rộng rãi và ngày nay gần như ai cũng cho rằng vũ trụ đã khởi sự với một nhất thể nổ lớn. Có thể điều trớ trêu là, sau khi đã thay đổi quan điểm của tôi, hiện giờ tôi đang có thuyết phục các vật lý gia khác rằng quả thật không có nhất thể vào lúc khởi đầu vũ trụ – như chúng ta sau này sẽ thấy, nó có thể biến mất một khi các hiệu ứng lượng tử được xét tới.

Trong chương này chúng ta đã thấy, làm thế nào, trong chưa đầy nửa thế kỷ, quan niệm của con người về vũ trụ, được hình thành từ bao nhiêu ngàn năm nay, đã biến đổi. Sự khám phá của Hubble rằng vũ trụ đang bành trướng, và nhận thức về sự vô nghĩa của hành tinh chúng ta trong vũ trụ bao la, mới chỉ là điểm bắt đầu. Với bằng chứng thực nghiệm và lý thuyết chồng chất, ngày càng trở nên hiển nhiên rằng vũ trụ phải đã có một khởi điểm về thời gian, cho tới năm 1970 điều này cuối cùng đã được chứng minh bởi Penrose và chính tôi, trên căn bản thuyết tương đối tổng quát của Einstein. Bằng chứng

đó cho thấy rằng thuyết tương đối tổng quát chỉ là lý thuyết chưa hoàn chỉnh: nó không thể cho chúng ta biết vũ trụ đã khởi đầu như thế nào, bởi vì nó tiên đoán rằng mọi lý thuyết vật lý, kể cả chính nó, sụp đổ vào lúc khởi đầu của vũ trụ. Tuy nhiên, thuyết tương đối tổng quát chỉ là một lý thuyết từng phần, do đó những gì mà các định lý nhất thể thực sự chứng minh là đã phải có một thời điểm trong chính vũ trụ thời khởi thủy khi vũ trụ thật nhỏ, đến độ người ta không còn có thể bỏ qua những hiệu ứng có tầm mức nhỏ của lý thuyết từng phần lớn lao kia của thế kỷ hai mươi, là cơ học lượng tử. Vào đầu thập niên 1970, khi đó, chúng tôi đã bị buộc phải chuyển cuộc nghiên cứu của chúng tôi để tìm hiểu vũ trụ từ lý thuyết của chúng tôi về cái cực kỳ lớn sang lý thuyết của chúng tôi về cái cực kỳ nhỏ. Lý thuyết đó, cơ học lượng tử, sẽ được mô tả tiếp theo đây, trước khi chúng ta quay sang những cố gắng để kết hợp hai lý thuyết từng phần thành một lý thuyết lượng tử hấp dẫn duy nhất.

---o0o---

CHƯƠNG 4 - NGUYÊN TẮC BẤT ĐỊNH

Sự thành công của các lý thuyết khoa học, đặc biệt là thuyết hấp lực của Newton, đã khiến khoa học gia Pháp Pierre-Simon Laplace vào đầu thế kỷ mười chín lý luận rằng vũ trụ hoàn toàn có tính cách định mệnh. Laplace đã cho rằng phải có một bộ các định luật khoa học cho phép chúng ta tiên đoán mọi chuyện sẽ xảy ra trong vũ trụ, chỉ cần chúng ta biết toàn thể trạng thái của vũ trụ vào một thời điểm. Thí dụ, nếu chúng ta biết các vị trí và tốc độ của mặt trời và các hành tinh ở một thời điểm, chúng ta sẽ có thể sử dụng các định luật của Newton để tính toán trạng thái của Thái Dương Hệ ở bất cứ thời điểm nào khác. Thuyết Định Mệnh có vẻ khá hiển nhiên trong trường hợp này, nhưng Laplace đã đi xa hơn để giả định rằng có những định luật tương tự chi phối mọi chuyện khác, kể cả cách ứng xử của con người.

Thuyết định mệnh khoa học đã bị nhiều người chống đối mạnh mẽ, những người cảm thấy rằng nó phản lại sự tự do của Thượng Đế để can thiệp vào thế giới, nhưng nó vẫn là giả thuyết căn bản của khoa học cho tới những năm đầu của thế kỷ 20. Một trong những dấu hiệu đầu tiên cho thấy niềm tin này cần phải bỏ đi đã xảy ra khi những tính toán bởi các khoa học gia người Anh, Lord Rayleigh và Sir James Jeans, cho rằng một vật thể nóng, như một ngôi sao, phải phát ra năng lượng vào lúc đó, một vật thể nóng phải phát ra những sóng điện từ (như các sóng vô tuyến, ánh sáng nhìn thấy được, hoặc các tia X) bằng nhau ở mọi tần số. Thí dụ, một vật thể nóng phải phát ra

cùng một năng lượng về sóng với những tần số trong khoảng từ một đến hai triệu triệu sóng một giây cũng như đối với những sóng trong khoảng từ hai đến ba triệu triệu sóng một giây. Và bởi vì con số sóng một giây không bị giới hạn, điều này sẽ có nghĩa rằng tổng số năng lượng phát ra sẽ vô hạn.

Để tránh kết quả hiển nhiên đáng tức cười này, khoa học gia người Đức Max Planck năm 1900 cho rằng ánh sáng, tia X, và các sóng khác không thể được phát ra ở một nhịp độ tùy ý, mà chỉ trong những chỗ chứa nào đó mà ông gọi là lượng tử. Hơn nữa, mỗi lượng tử có một số năng lượng nào đó sẽ càng lớn nếu tần số sóng càng cao, do đó ở một tần số đủ cao việc phát năng lượng của một lượng tử duy nhất sẽ đòi hỏi nhiều năng lượng hơn là được cung cấp. Như vậy sự phát xạ ở những tần số cao sẽ bị giảm bớt, và do đó nhịp độ mà vật thể mất năng lượng sẽ có giới hạn.

Giả thuyết lượng tử cũng đã giải thích rất tốt nhịp độ phát xạ từ những vật thể nóng được quan sát, nhưng những hàm ý đối với thuyết định mệnh đã không thành hình cho tới năm 1926, khi một khoa học gia Đức khác, Werner Heisenberg, hình thành nguyên tắc bất định nổi tiếng của ông. Để tiên đoán vị trí tương lai và tốc độ của một hạt, người ta phải có thể đo vị trí và tốc độ hiện tại của nó một cách chính xác. Phương cách hiển nhiên để thực hiện điều này là chiếu ánh sáng vào hạt. Một vài trong số những sóng ánh sáng sẽ bị phân tán bởi hạt và điều này sẽ chỉ ra vị trí của nó. Tuy nhiên, người ta sẽ không thể xác định được vị trí của hạt chính xác hơn là khoảng cách giữa những đỉnh sóng của ánh sáng, do đó người ta cần sử dụng ánh sáng có độ dài sóng ngắn để đo vị trí của hạt một cách chính xác. Bây giờ, theo giả thuyết lượng tử của Planck, người ta không thể sử dụng một lượng ánh sáng nhỏ một cách tùy tiện; người ta phải sử dụng ít nhất một lượng tử. Lượng tử này sẽ gây rối hạt và thay đổi tốc độ của nó theo một cách không thể tiên đoán được. Hơn nữa, người ta càng đo được vị trí một cách chính xác, độ dài sóng của ánh sáng mà người ta cần tới càng phải nhỏ, và do đó năng lượng của một lượng tử duy nhất càng cao. Do đó tốc độ của hạt sẽ bị gây rối bởi một lượng lớn hơn. Nói khác đi, bạn càng cố đo vị trí của hạt một cách chính xác hơn, tốc độ của nó mà bạn có thể đo càng kém chính xác hơn, và ngược lại. Heisenberg đã chứng minh rằng sự bất định về vị trí của hạt nhân với sự bất định về tốc độ của nó nhân với khối lượng của hạt không thể nào nhỏ hơn một lượng nào đó, được biết như là hằng số Planck. Hơn nữa, giới hạn này không phụ thuộc vào phương cách trong đó người ta cố đo vị trí hay tốc độ của hạt, hoặc phụ thuộc vào loại hạt: nguyên tắc bất định của Heisenberg là một tính chất căn bản, không thể tránh được của thế giới.

Nguyên tắc bất định đã có những hàm ý sâu xa đối với đường lối mà chúng ta nhìn thế giới. Ngay cả sau hơn năm mươi năm chúng đã không được hoàn toàn chấp nhận bởi nhiều triết gia, và vẫn còn là đề tài của nhiều cuộc tranh luận. Nguyên tắc bất định báo hiệu một kết cuộc cho giấc mơ của Laplace về một lý thuyết khoa học, một mô hình của vũ trụ sẽ hoàn toàn có tính cách định mệnh: người ta chắc chắn không thể tiên đoán những biến cố tương lai một cách chính xác nếu người ta không thể đo đạc ngay cả trạng thái hiện tại của vũ trụ một cách chính xác! Chúng ta vẫn có thể tưởng tượng rằng có một bộ các định luật để xác định các biến cố một cách hoàn toàn đối với một kẻ siêu nhiên nào đó, người có thể quan sát trạng thái hiện tại của vũ trụ mà không gây xáo động cho nó. Tuy nhiên, với tư cách những con người có sinh tử bình thường, những mô hình vũ trụ như vậy không khiến chúng ta quan tâm cho lắm. Có thể tốt hơn nên sử dụng nguyên tắc kinh tế được gọi là "lưỡi dao cạo của Occam" và cắt đi mọi đặc tính của lý thuyết không thể quan sát được. Phương pháp này đã đưa Heisenberg, Erwin Schrodinger, và Paul Dirac trong thập niên 1920 tái hình thành cơ học vào một lý thuyết mới gọi là cơ học lượng tử, căn cứ vào nguyên tắc bất định. Trong lý thuyết này các hạt không còn có các vị trí và tốc độ riêng rẽ, được xác định rõ khiến không thể quan sát được. Thay vào đó, chúng có một trạng thái lượng tử, là một phối hợp của vị trí và tốc độ.

Nói chung, cơ học lượng tử không tiên đoán một kết quả xác định duy nhất cho một cuộc quan sát. Thay vào đó, nó tiên đoán một số những kết quả có thể khác nhau và cho chúng ta biết mỗi kết quả này có thể giống như cái gì. Nghĩa là, nếu người ta cũng thực hiện sự đo đạc đó đối với một con số lớn các hệ thống tương tự, mỗi hệ thống đã khởi đầu theo cùng một cách, người ta sẽ thấy rằng kết quả của sự đo đạc sẽ là A trong một số trường hợp, B trong một số trường hợp khác, và cứ thế. Người ta có thể tiên đoán con số gần đúng số lần mà kết quả sẽ là A hoặc B, nhưng người ta không thể tiên đoán kết quả đặc biệt nào cho một lần đo riêng biệt. Cơ học lượng tử do đó đưa vào khoa học một yếu tố không thể tránh được về sự bất khả tiên đoán hoặc sự tình cờ. Einstein đã chống đối mạnh mẽ điều này, mặc dù vai trò quan trọng mà ông đã đóng trong việc phát triển những ý tưởng này. Einstein đã được tặng giải Nobel về sự đóng góp của ông cho thuyết lượng tử. Tuy nhiên, Einstein không hề chấp nhận rằng vũ trụ bị chi phối bởi sự tình cờ: những cảm nghĩ của ông đã được tóm tắt trong lời tuyên bố nổi tiếng của ông "Thượng Đế không chơi súc sắc."*

Tuy nhiên, hầu hết các khoa học gia khác, đã muốn chấp nhận cơ học lượng tử bởi vì nó phù hợp hoàn hảo với thực nghiệm. Thật vậy, nó đã là một lý

thuyết thành công rực rỡ và làm căn bản cho hầu như mọi khoa học và kỹ thuật mới. Nó chi phối động thái của các bóng bán dẫn transistor và các mạch tổng hợp, là những thành phần chính yếu của các dụng cụ điện tử như máy truyền hình và máy điện toán, và cũng là căn bản cho hóa học và sinh học hiện đại. Các lãnh vực duy nhất của khoa vật lý trong đó cơ học lượng tử chưa được hội nhập một cách thích hợp là hấp lực và cơ cấu vũ trụ trên tầm mức lớn.

Mặc dù ánh sáng được tạo thành bởi các sóng, giả thuyết lượng tử của Planck cho chúng ta biết rằng trên vài phương diện, nó cư xử như thể nó hợp thành bởi các hạt: nó chỉ có thể được phát ra hoặc hấp thụ trong những gói, hay lượng tử. Cũng vậy, nguyên tắc bất định của Heisenberg ngụ ý rằng các hạt trên vài phương diện cư xử như các sóng: chúng không có một vị trí nhất định nhưng được "phát tán" với một sự phân bố xác suất nào đó. Lý thuyết cơ học lượng tử được căn cứ vào một loại toán học hoàn toàn mới không còn mô tả thế giới thực tế bằng các hạt và các sóng; nó chỉ là những sự quan sát về cái thế giới có thể được mô tả theo những điều kiện đó. Do đó có một lưỡng tính giữa các sóng và các hạt trong cơ học lượng tử: vì một số mục đích sẽ tiện lợi khi nghĩ tới các hạt như các sóng và vì một số mục đích khác sẽ tiện lợi khi nghĩ tới các sóng như các hạt. Một hậu quả quan trọng của điều này là người ta có thể quan sát cái được gọi là sự giao thoa giữa hai bộ sóng hoặc hạt. Điều đó có nghĩa là, các đỉnh của một bộ sóng có thể trùng với các chỗ lõm của bộ sóng kia. Hai bộ sóng như vậy triệt tiêu lẫn nhau, thay vì hợp lại thành một sóng mạnh hơn như người ta có thể trông đợi (H. 4.1). Một thí dụ quen thuộc của sự giao thoa trong trường hợp của ánh sáng là các màu sắc thường được thấy ở những bọt xà phòng. Những màu này phát sinh bởi sự phản chiếu ánh sáng từ hai mặt của lớp màng mỏng của nước làm thành bọt. Ánh sáng trắng bao gồm các sóng ánh sáng của tất các các độ dài sóng, hoặc màu, khác nhau. Đối với một số độ dài sóng, đỉnh của các sóng phản chiếu từ một mặt của lớp màng xà phòng trùng với chỗ lõm phản chiếu từ mặt kia. Các màu tương ứng với những độ dài sóng này bị thiếu từ ánh sáng phản chiếu, do đó nó có vẻ có màu sắc.

Sự giao thoa cũng có thể xảy ra đối với các hạt, bởi vì sự lưỡng tính theo cơ học lượng tử. Một thí dụ nổi tiếng là thực nghiệm được gọi là "hai khe hở" (H. 4.2). Hãy xét một tấm chắn với hai khe hẹp nằm song song trên đó. Ở một mặt của tấm chắn người ta đặt một nguồn ánh sáng của một màu đặc biệt nào đó (nghĩa là, có độ dài sóng đặc biệt). Phần lớn ánh sáng sẽ đụng vào tấm chắn, nhưng một số nhỏ sẽ đi qua các khe hở. Bây giờ giả thử người ta đặt một tấm màn ở phía bên kia của tấm chắn. Mọi điểm của tấm màn sẽ nhận được những sóng từ hai khe hở. Tuy nhiên, nói chung, khoảng cách

ánh sáng sẽ phải di chuyển từ nguồn tới tấm màn qua hai khe hở sẽ khác biệt. Điều này sẽ có nghĩa là các sóng từ các khe hở sẽ không đồng bộ với nhau khi chúng tới tấm màn: ở vài chỗ các sóng sẽ triệt tiêu lẫn nhau, và ở những chỗ khác chúng sẽ tăng cường lẫn nhau. Kết quả là có một mẫu đặc biệt gồm những vệt sáng và vệt tối.

Điều đáng kể là người ta nhận được những loại vệt như vậy nếu người ta thay thế nguồn ánh sáng bởi một nguồn hạt, như các điện tử với một tốc độ xác định (điều này có nghĩa là những sóng tương ứng có một độ dài xác định). Nó có vẻ bất thường hơn bởi vì nếu người ta chỉ có một khe hở, người ta không nhận được vệt nào cả, chỉ là một sự phân bố đồng đều các điện tử trên khắp tấm màn. Do đó người ta có thể nghĩ rằng mở một khe hở khác sẽ gia tăng số lượng các điện tử đập vào mọi điểm của tấm màn, nhưng, bởi vì sự giao thoa, nó thực sự giảm con số điện tử ở một vài chỗ. Nếu các điện tử được gửi qua các khe hở mỗi lần một điện tử, người ta sẽ trông đợi mỗi điện tử sẽ đi qua khe hở này hay khe hở kia, và như vậy phản ứng như thể khe hở mà nó đi qua chỉ là một khe hở duy nhất □ cho ta một sự phân bố đồng đều trên tấm màn. Tuy nhiên, trên thực tế, ngay cả khi người ta chỉ gửi đi mỗi lần một điện tử, các vệt vẫn hiện ra. Mỗi điện tử, như vậy, phải đã đi qua cả hai khe hở cùng một lúc!

Hiện tượng giao thoa giữa các hạt đã đóng vai trò quan trọng đối với sự hiểu biết của chúng ta về cấu trúc của các nguyên tử, là những đơn vị căn bản của hóa học và sinh học và là những viên gạch xây dựng mà từ đó chúng ta, và mọi vật chung quanh chúng ta, được tạo thành. Vào đầu thế kỷ 20, người ta đã nghĩ rằng các nguyên tử hơi giống như những hành tinh quay chung quanh mặt trời, với những điện tử (các hạt có điện tích âm) quay chung quanh một nhân ở giữa, mang điện tích dương. Sự hấp dẫn giữa các điện tích dương và điện tích âm được coi như đã giữ cho các điện tử trên các quỹ đạo của chúng giống như lực hấp dẫn giữa mặt trời và các hành tinh giữ cho các hành tinh nằm trên các quỹ đạo của chúng. Điều rắc rối với điều này là những định luật về cơ học và điện học, trước khi có cơ học lượng tử, đã tiên đoán rằng các điện tử sẽ mất năng lượng và do đó rơi theo đường xoắn ốc vào phía trong cho tới khi chạm vào nhân. Điều này sẽ có nghĩa là nguyên tử, và do đó mọi vật chất, sẽ phải nhanh chóng sụp đổ thành một trạng thái thật đậm đặc. Một giải đáp từng phần cho vấn nạn này đã được tìm ra bởi khoa học gia người Đan Mạch Niels Bohr vào năm 1913. Ông đã cho rằng có thể là các điện tử đã không thể quay ở bất cứ khoảng cách nào tới nhân ở giữa nhưng chỉ ở những khoảng cách đặc biệt nào đó. Nếu người ta cũng giả định rằng chỉ một hoặc hai điện tử có thể quay ở bất cứ khoảng cách nào

trong số những khoảng cách này, điều này sẽ giải quyết vấn đề sụp đổ của nguyên tử, bởi vì các điện tử không thể quay xoắn ốc ở bất cứ khoảng cách nào xa hơn là mục đích để tránh các quỹ đạo bằng các khoảng cách và năng lượng tối thiểu.

Mô hình này đã giải thích khá thỏa đáng cơ cấu của nguyên tử đơn giản nhất là kinh khí, chỉ có một điện tử quay quanh nhân. Nhưng điều không rõ ràng là làm sao người ta phải mở rộng nó cho những nguyên tử phức tạp hơn. Hơn nữa, ý tưởng về một bộ có giới hạn các quỹ đạo được phép có vẻ rất độc đoán. Lý thuyết mới về cơ học lượng tử đã giải quyết được khó khăn này. Nó cho thấy rằng một điện tử quay chung quanh nhân có thể được nghĩ như một sóng, với một độ dài sóng tùy thuộc vào tốc độ của nó. Đối với một số quỹ đạo, độ dài của quỹ đạo sẽ tương ứng với một số nguyên vẹn (ngược lại với một phân số) độ dài sóng của điện tử. Đối với những quỹ đạo này đỉnh sóng sẽ ở cùng vị trí mỗi vòng quay, để các sóng sẽ cộng lại: các quỹ đạo này sẽ tương ứng với những quỹ đạo được phép của Bohr. Tuy nhiên, đối với những quỹ đạo có độ dài không phải là một số nguyên vẹn của các độ dài sóng, mỗi đỉnh sóng cuối cùng sẽ bị triệt tiêu bởi một sóng lỡ khi các điện tử quay tròn: các quỹ đạo này sẽ không được phép.

Một cách tốt đẹp để nhìn sự lưỡng tính sóng/hạt là cách được gọi là tổng số lịch sử được đưa ra bởi khoa học gia người Mỹ Richard Feynman. Trong phương pháp này hạt không được giả định là có một lịch sử hay đường đi duy nhất trong không-thời gian, như nó được giả định trong một lý thuyết cổ điển, phi lượng tử. Thay vào đó, nó được giả định là đi từ A đến B theo bất cứ đường đi có thể nào. Với mỗi đường đi có một cặp các con số: một số biểu thị cỡ của một sóng và số kia biểu thị vị trí trong chu kỳ (nghĩa là nó đang ở một đỉnh hay một đáy). Xác xuất để đi từ A đến B được tìm bằng cách cộng các sóng cho mọi đường đi. Nói chung, nếu người ta so sánh một bộ những đường đi lân cận nhau, những giai đoạn hay vị trí trong chu kỳ sẽ khác nhau rất lớn. Điều này có nghĩa là các sóng liên kết với những đường đi này sẽ hầu như triệt tiêu hoàn toàn lẫn nhau. Tuy nhiên, đối với vài bộ những đường đi nằm gần nhau, giai đoạn sẽ không thay đổi nhiều giữa các đường đi. Các sóng cho những đường đi này sẽ không triệt tiêu lẫn nhau. Những đường đi như vậy tương ứng với các quỹ đạo được phép của Bohr.

Với những ý tưởng này, trong hình thức toán học cụ thể, nó tương đối dễ tính toán những quỹ đạo được phép ở những nguyên tử phức tạp hơn và ngay cả ở những phân tử, được tạo thành bởi một số nguyên tử được kết hợp với nhau bởi các điện tử trong những quỹ đạo quay quanh nhiều nhân. Bởi vì

cơ cấu của các phân tử và những phản ứng của chúng với nhau làm nền tảng cho toàn thể hóa học và sinh học, cơ học lượng tử cho phép chúng ta trên nguyên tắc tiên đoán được gần như mọi điều chúng ta nhìn thấy chung quanh chúng ta, bên trong các giới hạn được đặt ra bởi nguyên tắc bất định (Tuy nhiên, trong thực hành, những sự tính toán cần thiết cho các hệ thống chứa nhiều hơn là một ít điện tử tỏ ra phức tạp đến độ chúng ta không thể làm được.)

Thuyết tương đối tổng quát của Einstein có vẻ chi phối cơ cấu vũ trụ trên tầm mức lớn. Đó là cái được gọi là một lý thuyết cổ điển; nghĩa là, nó không tính tới nguyên tắc bất định của cơ học lượng tử, như đáng lẽ nó phải kể tới để phù hợp với những lý thuyết khác. Lý do khiến điều này không đưa tới sự trái ngược nào với sự quan sát là mọi trường trọng lực mà bình thường chúng ta trải qua đều rất yếu. Tuy nhiên, các định lý về nhất thể được thảo luận trước đây cho thấy rằng trường trọng lực phải trở nên rất mạnh trong ít nhất hai trường hợp, các hố đen và vụ nổ lớn. Trong những trường mạnh như vậy các hiệu ứng của cơ học lượng tử phải quan trọng. Như vậy, trong một ý nghĩa, thuyết tương đối tổng quát cổ điển, bằng cách tiên đoán những điểm có mật độ lớn vô hạn, tiên đoán sự sụp đổ của chính nó, đúng như cơ học cổ điển (tức là phi lượng tử) tiên đoán sự suy sụp của chính nó bằng cách cho rằng các nguyên tử phải suy sụp tới mật độ vô hạn. Chúng ta chưa có một lý thuyết hoàn toàn phù hợp để thống nhất thuyết tương đối tổng quát và cơ học lượng tử, nhưng chúng ta biết một số đặc điểm mà nó phải có. Các hậu quả mà những đặc tính này phải có đối với các hố đen và vụ nổ lớn sẽ được mô tả trong những chương sau. Tuy nhiên, vào lúc này, chúng ta sẽ quay sang những cố gắng mới đây để tổng hợp sự hiểu biết của chúng ta về những lực khác của thiên nhiên thành một lý thuyết lượng tử thống nhất, duy nhất.

---o0o---

CHƯƠNG 5 - NHỮNG HẠT CƠ BẢN VÀ CÁC LỰC THIÊN NHIÊN

Aristotle tin rằng mọi vật chất trong vũ trụ được tạo thành bởi bốn thành phần căn bản là đất, không khí, lửa, và nước. Những thành phần này bị tác động bởi hai lực: hấp lực, là khuynh hướng khiến đất và nước chìm xuống, và phù lực, là khuynh hướng khiến không khí và lửa bay lên. Sự phân chia

các thành phần của vũ trụ thành vật chất và các lực vẫn còn được sử dụng ngày nay.

Aristotle tin rằng vật chất có tính cách liên tục, nghĩa là, người ta có thể chia một mẫu vật chất thành những mẫu càng ngày càng nhỏ hơn mà không có một giới hạn nào: người ta không bao giờ đi tới một hạt vật chất mà không thể phân chia được nữa. Tuy nhiên, một vài người Hy Lạp, như Democritus, cho rằng vật chất tự nó là hạt và rằng mọi vật được tạo thành bởi những con số lớn lao các loại nguyên tử khác nhau. (Trong tiếng Hy Lạp chữ nguyên tử có nghĩa là "không thể phân chia.") Trong bao nhiêu thế kỷ, sự tranh luận tiếp tục mà không có bằng chứng thực sự nào ở mọi phe, nhưng năm 1803 nhà hóa học kiêm vật lý người Anh, John Dalton, đã vạch ra rằng sự kiện các chất tổng hợp hóa học luôn luôn kết hợp theo những tỉ lệ nào đó có thể được giải thích bằng cách gom những nguyên tử lại để làm thành những đơn vị gọi là phân tử. Tuy nhiên, cuộc tranh luận giữa hai trường phái tư tưởng đã không được giải quyết dứt khoát nghiêng về những người theo thuyết nguyên tử cho tới những năm đầu của thế kỷ 20. Một trong những công trình quan trọng về bằng chứng vật lý đã được cung cấp bởi Einstein. Trong một tài liệu được viết vào năm 1905, một vài tuần trước khi có tài liệu nổi tiếng về thuyết tương đối đặc biệt, Einstein đã vạch ra rằng điều được gọi là chuyển động Brown – chuyển động không đều, bất kỳ của những hạt bụi nhỏ lơ lửng trong một chất lỏng – có thể được giải thích như hậu quả của các nguyên tử của chất lỏng đụng chạm với các hạt bụi.

Vào lúc này đã có những nghi ngờ rằng những nguyên tử này rốt cuộc không phải là không phân chia được. Vài năm trước đó, J. J. Thomson, một giáo sư vật lý của trường Trinity College, Cambridge, đã chứng minh sự hiện hữu của một hạt vật chất, gọi là điện tử, có một khối lượng chưa tới một phần ngàn khối lượng của nguyên tử nhẹ nhất. Ông đã sử dụng một thiết bị hơi giống như một đèn hình TV ngày này: một sợi kim loại nóng đỏ phát ra các điện tử, và bởi vì những điện tử này có một điện tích âm, một điện trường có thể được sử dụng để gia tốc chúng về phía một tấm màn phủ lưu huỳnh. Khi chúng chạm vào màn, những chớp sáng đã được phát ra. Chẳng bao lâu người ta nhận thức rằng những điện tử này phải xuất phát từ bên trong chính các nguyên tử, và trong năm 1911 vật lý gia người Anh Ernest Rutherford cuối cùng đã chứng tỏ rằng những nguyên tử vật chất quả thật có một cơ cấu bên trong: chúng được cấu tạo bởi một cái nhân cực kỳ nhỏ bé, mang điện dương, quay chung quanh nhân là một số các điện tử. Ông đã suy luận ra điều này bằng cách phân tích đường lối trong đó các hạt α , là những hạt

mang điện tích dương phát ra bởi các nguyên tử có tính phát xạ, bị lệch đi khi chúng chạm vào các nguyên tử.

Lúc đầu người ta đã nghĩ rằng nhân của nguyên tử được cấu tạo bởi các điện tử và những con số khác nhau các hạt mang điện tích dương gọi là proton (chất tử), gốc tiếng Hy Lạp có nghĩa là "đầu tiên," bởi vì người ta tin rằng nó phải là đơn vị căn bản từ đó vật chất được cấu tạo. Tuy nhiên, trong năm 1932 một đồng nghiệp của Rutherford ở Cambridge, James Chadwick, khám phá ra rằng nguyên tử chứa một hạt khác, gọi là trung hòa tử, hầu như có cùng khối lượng với một proton nhưng không mang điện tích. Chadwick đã nhận được giải Nobel nhờ khám phá của ông, và được bầu làm viện trưởng Phân Khoa Gonville & Caius của Đại Học Cambridge (đây là phân khoa mà hiện nay tôi là một thành viên). Sau này ông đã từ chức viện trưởng vì những bất đồng ý kiến với các thành viên. Hội đó đã có những tranh cãi gay gắt trong phân khoa kể từ khi một nhóm các thành viên trẻ hồi hương sau Đệ Nhị Thế Chiến đã bỏ phiếu loại trừ nhiều thành viên ra khỏi những chức vụ trong phân khoa mà họ đã giữ từ lâu. Điều này xảy ra trước thời của tôi; tôi gia nhập phân khoa năm 1965 vào lúc sắp chấm dứt cuộc tranh chấp cay đắng, khi những bất đồng ý kiến đã buộc một viện trưởng được giải Nobel khác, Sir Nevill Mott, phải từ chức.

Cho tới hai mươi năm về trước, người ta đã nghĩ rằng các proton và trung hòa tử là những hạt "cơ bản," nhưng những thực nghiệm trong đó các proton được cho đụng chạm với với proton khác hoặc với các âm điện tử ở tốc độ cao cho thấy rằng thực ra chúng được cấu tạo bởi những hạt nhỏ hơn nữa. Những hạt này được gọi là quark bởi nhà vật lý Murray Gell-Mann của trường Caltech, người đã đoạt giải Nobel năm 1969 do công trình nghiên cứu của ông về những hạt này. Nguồn gốc của cái tên này là một câu trích dẫn khó hiểu từ tác phẩm của James Joyce: "Three quarks for Muster Mark!" Chữ quark đúng ra phải được phát âm giống như chữ "quart" (nhưng tận cùng bằng chữ k thay vì chữ t), nhưng người ta thường phát âm chữ này cùng một vần với chữ "lark."

Có một số những thay đổi khác nhau về các quark, người ta nghĩ có ít nhất sáu "mùi vị" mà chúng ta gọi là lên, xuống, kỳ lạ, mê hoặc, đáy, và đỉnh. Mỗi vị có ba "màu" là đỏ, xanh lá cây và xanh dương. (Cũng nên nhấn mạnh rằng những từ ngữ này chỉ là những cái "nhãn hiệu": các quark nhỏ hơn nhiều so với độ dài sóng của ánh sáng nhìn thấy được và do đó không có màu nào cả trong ý nghĩa thông thường. Chỉ vì các nhà vật lý hiện đại dường như có nhiều phương cách giàu tưởng tượng hơn để đặt tên cho những hạt và

những hiện tượng mới – họ không còn tự giới hạn vào tiếng Hy Lạp!) Một proton hoặc trung hòa tử được cấu tạo bởi 3 quark, mỗi quark có một màu. Một proton chứa hai quark lên và một quark xuống; một trung hòa tử chứa hai xuống và một lên. Chúng ta có thể tạo ra những hạt được cấu tạo bởi những quark kia (kỳ lạ, mê hoặc, đày, và đỉnh), nhưng những hạt này có một khối lượng lớn hơn nhiều và sẽ hủy hoại rất nhanh thành các proton và các trung hòa tử.

Hiện chúng ta biết rằng cả các nguyên tử lẫn các proton và các trung hòa tử bên trong các nguyên tử đều có thể phân chia được. Do đó câu hỏi là: Cái gì thật sự là những hạt cơ bản, những viên gạch xây dựng căn bản từ đó mọi vật được cấu tạo? Bởi vì độ dài sóng của ánh sáng lớn hơn nhiều so với cỡ của một nguyên tử, chúng ta không thể hy vọng sẽ "nhìn" vào những thành phần của một nguyên tử theo cách thông thường. Chúng ta cần sử dụng một cái gì đó với một độ dài sóng nhỏ hơn nhiều. Như chúng ta đã thấy trong chương vừa rồi, cơ học lượng tử cho chúng ta biết rằng mọi hạt thực ra là những sóng, và rằng năng lượng của một hạt càng cao, độ dài sóng của sóng tương ứng càng nhỏ. Do đó câu trả lời tốt nhất mà chúng ta có thể đưa ra cho câu hỏi của chúng ta tùy thuộc vào chuyện chúng ta có trong tay một năng lượng hạt cao đến mức nào, bởi vì điều này quyết định chuyện một chiều dài nhỏ tới mức nào để chúng ta có thể nhìn. Các năng lượng hạt thường được đo bằng các đơn vị gọi là electron volt (điện tử thái). (Trong các thí nghiệm của Thomson với các điện tử, chúng ta đã thấy rằng ông sử dụng một điện trường để gia tốc các điện tử. Năng lượng mà một điện tử (electron) nhận được từ một điện trường 1 volt được gọi là một electron volt.) Trong thế kỷ 19, khi những năng lượng hạt duy nhất mà người ta biết cách sử dụng là những năng lượng thấp chừng một vài electron volt phát ra bởi những phản ứng hóa học như sự cháy. Người ta đã nghĩ rằng nguyên tử là đơn vị nhỏ nhất. Trong thí nghiệm của Rutherford, các hạt α có năng lượng hàng triệu electron volt. Mới đây hơn, chúng ta đã biết cách sử dụng các điện tử trường để khiến cho các hạt có những năng lượng lúc đầu hàng triệu và rồi hàng ngàn triệu electron volt. Và do đó chúng ta biết rằng những hạt từng được cho là "cơ bản" hai mươi năm về trước thực ra được làm thành bởi những hạt nhỏ hơn. Liệu có thể những hạt này, khi chúng ta đạt tới những năng lượng còn cao hơn nữa, rồi ra cũng được thấy là được cấu tạo bởi những hạt còn nhỏ hơn nữa? Điều này đương nhiên có thể, nhưng chúng ta quả thật có vài lý do về lý thuyết để tin rằng chúng ta có, hoặc rất gần đạt tới, một sự hiểu biết về những viên gạch xây dựng tối hậu của thiên nhiên.

Sử dụng sự lưỡng tính sóng/hạt được thảo luận trong chương vừa rồi, mọi vật trong vũ trụ, kể cả ánh sáng và trọng lực, có thể được mô tả bằng các hạt. Những hạt này có một đặc tính gọi là số quay. Một cách dễ nghĩ về số quay là tưởng tượng những hạt như những con quay bông vụ nhỏ quay quanh một trục. Tuy nhiên, điều này có thể gây hiểu lầm, bởi vì cơ học lượng tử cho chúng ta biết rằng các hạt không có một trục được xác định rõ. Những gì số quay của một hạt thực sự cho ta biết là hạt trông giống như cái gì từ những hướng khác nhau. Một hạt có số quay 0 giống như một cái châm: nó trông giống nhau từ mọi hướng (H. 5.1-i). Mặt khác, một hạt có số quay 1 giống như một mũi tên: nó trông khác nhau từ những hướng khác (H. 5.1-ii). Chỉ khi người ta quay tròn nó trọn một vòng (360 độ) hạt mới trông giống. Một hạt có số quay 2 giống như một mũi tên có hai đầu (H. 5.1-iii): nó trông giống nhau nếu người ta quay tròn nó nửa vòng (180 độ). Tương tự, những hạt có số quay cao hơn trông giống nhau nếu người ta quay chúng theo những phân số của một vòng trọn vẹn. Tất cả điều này có vẻ khá dễ hiểu, nhưng sự kiện quan trọng là có những hạt không trông giống nhau nếu người ta quay chúng đúng một vòng: bạn phải quay chúng đủ hai vòng! Những hạt như vậy được gọi là có số quay 1/2.

Mọi hạt đã được biết trong vũ trụ có thể được phân chia thành hai nhóm: những hạt có số quay 1/2, làm thành vật chất trong vũ trụ, và những hạt có số quay 0, 1, và 2, như chúng ta sẽ thấy, gây ra các lực giữa những hạt vật chất. Những hạt vật chất tuân theo điều được gọi là nguyên tắc loại trừ của Pauli. Nguyên tắc này được khám phá vào năm 1925 bởi một vật lý gia người Áo, Wolfgang Pauli -- nhờ đó ông đã nhận được giải Nobel trong năm 1945. Ông là vật lý gia lý thuyết tiêu biểu: người ta đồn về ông rằng ngay sự có mặt của ông trong thành phố cũng làm cho các thực nghiệm trở thành sai lạc! Nguyên tắc loại trừ của Pauli nói rằng hai hạt tương tự không thể hiện hữu ở cùng trạng thái, nghĩa là, chúng không thể cùng có vị trí và tốc độ, bên trong các giới hạn theo nguyên tắc bất định. Nguyên tắc loại trừ rất quan trọng bởi vì nó giải thích tại sao các hạt vật chất không co rút lại thành một trạng thái có mật độ rất cao dưới ảnh hưởng của các lực gây ra bởi các hạt có số quay 0, 1, và 2: nếu các hạt vật chất gần như có cùng vị trí, chúng phải có những tốc độ khác nhau, có nghĩa là chúng sẽ không duy trì lâu ở cùng vị trí. Nếu thế giới đã được tạo ra mà không có nguyên tắc loại trừ, các quark sẽ không làm thành các proton, trung hòa tử riêng biệt. Những hạt này, cùng với các điện tử, cũng sẽ không hợp thành các nguyên tử được xác định rõ. Chúng sẽ đều suy sụp để thành một món "súp" khá đồng nhất, đậm đặc.

Một sự hiểu biết đúng đắn về các điện tử và những hạt có số quay $1/2$ khác đã không đạt được cho tới năm 1928, khi một lý thuyết được đưa ra bởi Paul Dirac, người sau này đã được bầu vào chức vụ Giáo Sư Toán Học Hàm Lucasian tại Đại Học Cambridge (chức vụ mà Newton từng giữ và hiện tôi đang giữ). Lý thuyết của Dirac là loại lý thuyết đầu tiên phù hợp với cả cơ học lượng tử lẫn thuyết tương đối đặc biệt. Nó giải thích trên phương diện toán học tại sao điện tử đã có số quay $1/2$, nghĩa là, tại sao nó đã không trông giống nhau nếu bạn chỉ quay nó một vòng, nhưng nó trông như cũ nếu bạn quay nó đủ hai vòng. Nó cũng tiên đoán rằng điện tử phải có một đồng bạn: một phản điện tử, hay positron (dương điện tử). Sự khám phá ra phản điện tử vào năm 1932 đã xác nhận thuyết của Dirac và đưa tới việc ông được tặng giải Nobel về vật lý năm 1933. Hiện giờ chúng ta biết rằng mọi hạt đều có một phản hạt, nếu hợp lại chúng triệt tiêu lẫn nhau. (Trong trường hợp những hạt mang lực, các phản hạt cũng chính là những hạt.) Có thể có những phản thế giới và phản con người trọn vẹn được cấu tạo bởi các phản hạt. Tuy nhiên, nếu bạn có gặp phản ngã của bạn, đừng bắt tay! Cả hai sẽ biến mất trong chớp mắt. Vấn đề tại sao có vẻ có nhiều hạt như vậy so với các phản hạt chung quanh chúng ta là điều vô cùng quan trọng, và tôi sẽ trở lại vấn đề này vào cuối chương.

Trong cơ học lượng tử, các lực hoặc các tương tác giữa các hạt vật chất tất cả đều được coi như được mang bởi những hạt có số quay là số nguyên -- 0, 1, hoặc 2. Điều phát sinh là một hạt vật chất, như một điện tử hoặc một quark, phóng ra một hạt mang lực. Sức giật lùi do sự phóng đi này thay đổi tốc độ của hạt vật chất. Hạt mang lực sau đó va chạm với một hạt vật chất khác và bị hấp thụ. Sự va chạm thay đổi tốc độ của hạt thứ nhì, như thể đã có một lực giữa hai hạt vật chất.

Đó là một tính chất quan trọng của các hạt mang lực khiến chúng không tuân theo nguyên tắc loại trừ. Điều này có nghĩa là không có giới hạn đối với con số có thể được trao đổi, và do đó chúng không thể làm phát sinh một lực mạnh. Tuy nhiên, nếu các hạt mang lực có một khối lượng cao, sẽ khó sản xuất và trao đổi chúng đối với những khoảng cách lớn. Như vậy các lực mà chúng mang sẽ chỉ có một tầm ngắn. Mặt khác, nếu các hạt mang lực không có khối lượng của chính nó, các lực sẽ có tầm xa. Các hạt mang lực được trao đổi giữa những hạt vật chất được coi như những hạt ảo bởi vì, không như những hạt "thật" chúng không thể được phát hiện trực tiếp bởi các dụng cụ phát hiện hạt. Tuy nhiên, chúng ta biết chúng hiện hữu, chúng quả thật có một hiệu ứng có thể đo được: chúng làm phát sinh những lực giữa những hạt vật chất. Các hạt có số quay 0, 1, hoặc 2 cũng hiện hữu trong vài trường hợp

như những hạt thật, khi chúng có thể được phát hiện trực tiếp. Khi đó đối với chúng ta chúng có vẻ như là cái mà một vật lý gia cổ điển sẽ gọi là sóng, như sóng ánh sáng hoặc sóng trọng lực. Đôi khi chúng có thể được phát ra khi các hạt vật chất tương tác với nhau bằng cách trao đổi các hạt ảo mang lực. (Chẳng hạn, lực đẩy về điện giữa hai điện tử là do sự trao đổi giữa hai quang tử ảo, nó không bao giờ có thể được phát hiện trực tiếp; nhưng nếu một điện tử di chuyển ngang một điện tử khác, những quang tử thật có thể được phát ra, mà chúng ta phát hiện như những sóng ánh sáng.)

Những hạt mang lực có thể được xếp vào bốn loại tùy theo sức mạnh của lực mà chúng mang và những hạt mà chúng tương tác. Cũng nên nhấn mạnh rằng sự phân chia thành bốn loại chỉ có tính cách nhân tạo, thuận tiện để xây dựng các lý thuyết từng phần, nhưng nó có thể không phù hợp với bất cứ lý thuyết nào đi xa hơn. Cuối cùng, hầu hết các vật lý gia hy vọng tìm ra một lý thuyết thống nhất sẽ giải thích cả bốn loại lực như những hình thức khác nhau của một lực duy nhất. Thật vậy, nhiều người sẽ nói đây là mục tiêu chính của vật lý học ngày nay. Mới đây, người ta đã thành công trong những cố gắng để thống nhất ba trong số bốn loại lực -- và tôi sẽ mô tả những cố gắng đó trong chương này. Vấn đề thống nhất loại lực còn lại là trọng lực chúng ta sẽ đề lại sau.

Loại thứ nhất là trọng lực. Loại lực này có tính cách phổ quát, nghĩa là, mọi hạt đều chịu ảnh hưởng của lực hấp dẫn, tùy theo khối lượng hay năng lượng của nó. Trọng lực là lực yếu nhất trong bốn loại lực; nó yếu đến độ chúng ta sẽ không nhận thấy nó nếu không nhờ hai tính chất đặc biệt mà nó có: nó có thể tác động trên những khoảng cách lớn, và nó luôn luôn thu hút. Điều này có nghĩa là những lực hấp dẫn rất yếu giữa những hạt riêng rẽ ở hai vật thể lớn, như trái đất và mặt trời, có thể cộng tất cả lại để sinh ra một lực đáng kể. Ba lực kia thì hoặc là có tầm ngắn, hoặc đôi khi hút đôi khi đẩy, do đó chúng có khuynh hướng triệt tiêu lẫn nhau. Trong cách nhìn của cơ học lượng tử đối với trọng trường, lực giữa hai hạt vật chất được hình dung như mang bởi một hạt có số quay 2 được gọi là graviton. Hạt này không có khối lượng riêng của nó, do đó lực nó mang có tầm xa. Trọng lực giữa mặt trời và trái đất được cho là gây ra sự trao đổi các graviton giữa những hạt làm thành hai vật thể này. Mặc dù những hạt được trao đổi là ảo, chúng chắc chắn có sinh ra một hiệu ứng có thể đo được -- chúng làm trái đất quay chung quanh mặt trời! Những graviton thật làm thành cái mà các vật lý gia cổ điển sẽ gọi là sóng trọng lực, chúng rất yếu -- và do đó khó được phát hiện đến độ chúng chưa bao giờ được quan sát.

Loại kế tiếp là lực điện từ, tương tác với những hạt mang điện tích như điện tử và quark, nhưng không tương tác với những hạt không mang điện như các graviton. Nó mạnh hơn nhiều so với trọng lực: lực điện từ giữa hai điện tử lớn hơn vào khoảng một triệu triệu triệu triệu triệu triệu (số 1 với bốn mươi hai số 0 phía sau) lần so với trọng lực. Tuy nhiên, có hai loại điện tích, dương và âm. Lực giữa hai điện tích dương thì đẩy nhau, cũng như lực giữa hai điện tích âm, nhưng lực là một lực hút giữa một điện tích dương và một điện tích âm. Một vật thể lớn, như trái đất hoặc mặt trời, chứa những con số gần bằng nhau các điện tích dương và điện tích âm. Do đó các lực hút và đẩy giữa những hạt riêng biệt gần như triệt tiêu lẫn nhau, và có rất ít lực điện từ thuần. Tuy nhiên, trên những tầm mức nhỏ của các nguyên tử và các phân tử, các lực điện từ vượt trội lên. Sự hấp dẫn điện từ giữa các điện tử mang điện tích âm và các proton ở trong nhân mang điện tích dương khiến các điện tử quay chung quanh nhân của nguyên tử, giống như sự hấp dẫn của trọng lực khiến trái đất quay chung quanh mặt trời. Sự hấp dẫn về điện từ được hình dung như gây ra bởi sự trao đổi với con số lớn các hạt ảo không có khối lượng có số quay 1 gọi là các quang tử (photon). Một lần nữa, các quang tử được trao đổi là những hạt ảo. Tuy nhiên, khi một điện tử thay đổi từ một quỹ đạo cho phép tới một quỹ đạo khác gần với nhân hơn, năng lượng được phóng thích và một quang tử thật được phát ra -- có thể được quan sát như ánh sáng mà mắt người nhìn thấy được, nếu nó có độ dài sóng thích hợp, hoặc bởi một dụng cụ phát hiện quang tử như phim chụp ảnh. Cũng vậy, nếu một quang tử thật va chạm với một nguyên tử, nó có thể đẩy một điện tử từ một quỹ đạo gần nhân tới một quỹ đạo xa hơn. Hiện tượng này tiêu thụ hết năng lượng của quang tử, do đó nó bị hấp thụ.

Loại thứ ba được gọi là "lực hạt nhân yếu," chịu trách nhiệm về sự phát xạ và tác động lên mọi hạt vật chất có số quay $1/2$, nhưng không tác động lên các hạt có số quay 0, 1, hoặc 2, như các quang tử và graviton. Lực hạt nhân yếu đã không được biết rõ cho tới năm 1967, khi Abdus Salam tại trường Imperial College, Luân Đôn, và Steven Weinberg tại Harvard đều đưa ra các lý thuyết kết hợp sự tương tác này với lực điện từ, giống như Maxwell đã kết hợp điện và từ khoảng một trăm năm trước. Họ cho rằng cộng thêm với quang tử, có ba hạt có số quay 1 khác, được biết một cách tập thể như là các hạt boson (pha sắc tử), mang lực yếu. Những hạt này được gọi là W^+ (đọc là W cộng), W^- (đọc là W trừ), và Z^0 (đọc là W không), và mỗi boson có một khối lượng khoảng 100 GeV (GeV viết tắt của giga electron volt, hay một ngàn triệu electron volt). Thuyết Weinberg-Salam chứng tỏ một đặc tính được biết như là sự phá vỡ cân đối tức thì. Điều này có nghĩa là những gì có vẻ như một số những hạt hoàn toàn khác nhau ở năng lượng thấp thực ra tất

cả đều thuộc về một loại hạt, chỉ là ở những trạng thái khác nhau. Ở năng lượng cao tất cả những hạt này tác động tương tự nhau. Hiệu quả hơi giống như trái banh ru-lét trên một bàn quay ru-lét. Ở các năng lượng cao (khi bàn quay quay nhanh) trái banh xử sự chính yếu chỉ theo một cách -- nó quay tròn, quay tròn. Nhưng khi bàn quay chậm lại, năng lượng của trái banh giảm, và cuối cùng trái banh rơi vào một trong 37 lỗ trên bàn quay. Nói cách khác, ở các năng lượng thấp có 37 tình huống khác nhau trong đó trái banh có thể có. Nếu, vì lý do nào đó, chúng ta chỉ có thể quan sát trái banh ở các năng lượng thấp, khi đó chúng ta sẽ nghĩ rằng có 37 loại banh khác nhau!

Trong lý thuyết Weinberg-Salam, ở những năng lượng lớn hơn 100 GeV, ba hạt mới và quang tử sẽ phản ứng một cách tương tự. Nhưng ở những năng lượng hạt thấp hơn xảy ra trong hầu hết các tình huống bình thường, sự đối xứng này giữa các hạt sẽ bị phá vỡ, W^+ , W^- , và Z ? sẽ nhận được những khối lượng lớn, khiến những lực mà chúng mang có một tầm rất ngắn. Vào thời Salam và Weinberg đưa ra lý thuyết của họ, ít có ai tin họ, và những máy gia tốc hạt đã không đủ mạnh để đạt tới những năng lượng tới 100 GeV cần thiết để sinh ra những hạt thật là W^+ , W^- , hoặc Z ?. Tuy nhiên, trong khoảng mười năm kế tiếp, những tiên đoán khác của lý thuyết ở các năng lượng thấp hơn đã phù hợp với thực nghiệm đến độ trong năm 1979, Salam và Weinberg đã được tặng giải Nobel vật lý, cùng với Sheldon Glashow, cũng ở Harvard, người đã đề xuất những lý thuyết thống nhất tương tự về các lực điện từ và hạt nhân yếu. Ủy ban Nobel đã tránh được sự bối rối là đã phạm sai lầm nhờ sự khám phá trong năm 1983 tại Trung Tâm Nghiên Cứu Hạt Nhân Âu Châu (CERN, Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire) về 3 đồng bạn khổng lồ của quang tử, với những khối lượng và những đặc tính khác được tiên đoán đúng. Carlo Rubbia, người cầm đầu toán vài trăm vật lý gia thực hiện vụ khám phá, đã nhận được giải Nobel năm 1984, cùng với Simon van der Meer, kỹ sư tại CERN người đã phát triển hệ thống chứa phản vật chất đã được sử dụng. (Thật khó mà ghi được một thành tích trong ngành vật lý thực nghiệm ngày nay trừ phi bạn đã thuộc những người đứng hàng đầu!)

Loại thứ tư là "lực hạt nhân mạnh," giữ các quark lại với nhau trong proton (chất tử) và trung hòa tử, và giữ các proton và trung hòa tử với nhau trong nhân của một nguyên tử. Người ta tin rằng lực này được mang bởi một hạt có số quay 1 khác, gọi là gluon, chỉ tương tác với chính nó và với các quark. Lực hạt nhân mạnh có một đặc tính kỳ lạ gọi là giam giữ: nó luôn luôn kết hợp các hạt với nhau thành những tổ hợp không có màu. Người ta không thể có một quark duy nhất đứng riêng rẽ bởi vì nó sẽ có một màu (đỏ, xanh lá

cây, hoặc xanh dương). Thay vào đó, một quark màu đỏ phải kết hợp với một quark màu xanh lá cây và một quark màu xanh dương bởi một "sợi dây" các gluon (đỏ + xanh lá cây + xanh dương = trắng). Một bộ ba như vậy hợp thành một proton hoặc một trung hòa tử. Một khả dĩ khác là một cặp gồm có một quark và một phản quark (đỏ + phản đỏ, hoặc xanh lá cây + phản xanh lá cây, hoặc xanh dương + phản xanh dương = trắng). Những tổ hợp như vậy làm thành những hạt được biết như là những meson (giới tử), là những hạt không bền bởi vì quark và phản quark có thể triệt tiêu lẫn nhau, tạo ra những điện tử và những hạt khác. Tương tự, sự giam hãm ngăn cản người ta có một gluon duy nhất đứng riêng rẽ, bởi vì các gluon cũng có màu. Thay vào đó, người ta có thể có một tập hợp những gluon có các màu cộng lại thành màu trắng. Một tập hợp như vậy từ một hạt không bền gọi là một glueball (trái banh keo).

Sự kiện rằng sự giam hãm ngăn cản người ta quan sát một quark hoặc gluon riêng rẽ có vẻ khiến toàn thể ý niệm về quark và gluon như những hạt phần nào có tính cách siêu hình. Tuy nhiên, có một tính chất khác của lực hạt nhân mạnh, được gọi là tự do tiệm cận, làm cho ý niệm về các quark và gluon được xác định rõ rệt. Ở những năng lượng bình thường, lực hạt nhân mạnh quả thật mạnh, và nó kết hợp các quark với nhau thật chặt. Tuy nhiên, những thí nghiệm với những máy gia tốc hạt lớn cho thấy rằng ở những năng lượng cao lực mạnh trở nên yếu hơn nhiều, và các quark và gluon phản ứng hầu như giống các hạt tự do. Hình 5.2 cho thấy một bức ảnh về một vụ va chạm giữa một proton năng lượng cao và phản proton. Vài quark hầu như tự do được sinh ra và phát sinh những "tia" đường đi như được thấy trong hình.

Thành công của sự thống nhất các lực điện từ và lực hạt nhân yếu đã đưa tới một số các cố gắng để phối hợp hai lực này với lực hạt nhân mạnh thành cái được gọi là một lý thuyết thống nhất lớn (grand unified theory, hay GUT). Cái tên này hơi phóng đại: các lý thuyết rút từ đó ra không phải đều lớn như thế, chúng cũng không phải hoàn toàn thống nhất, vì chúng không bao gồm trọng lực. Chúng cũng không phải thực sự hoàn toàn, bởi vì chúng chứa một số các thông số có các giá trị không thể tiên đoán được từ lý thuyết mà phải được lựa chọn để thích hợp với thực nghiệm. Tuy nhiên, chúng có thể là một bước tiến tới một lý thuyết thống nhất đầy đủ, hoàn toàn. Ý niệm căn bản của GUT như sau: như được đề cập ở trên, lực hạt nhân mạnh trở nên yếu hơn ở các năng lượng cao. Mặt khác, các lực điện từ và yếu không phải không tiệm cận, trở nên mạnh hơn ở các năng lượng cao. Ở một năng lượng thật cao nào đó, được gọi là năng lượng thống nhất lớn, ba lực này sẽ có cùng sức mạnh và do đó chỉ là những phương diện khác nhau của một lực

duy nhất. Thuyết thống nhất lớn cũng tiên đoán rằng ở mức năng lượng này, những hạt vật chất có số quay 1/2 khác nhau, như các quark và các điện tử, cũng sẽ đều giống nhau về căn bản, như vậy là đạt được một sự thống nhất khác.

Trị giá của năng lượng thống nhất lớn không được biết tới nhiều, nhưng nó có thể phải ít nhất một ngàn triệu triệu GeV. Thế hệ hiện nay của các máy gia tốc hạt có thể làm va chạm các hạt ở các mức năng lượng khoảng một trăm GeV, và các máy đang được dự trù sẽ nâng tới vài ngàn GeV. Nhưng một máy đủ mạnh để gia tốc các hạt tới năng lượng thống nhất lớn sẽ phải lớn bằng Thái Dương Hệ -- và khó có thể được tài trợ trong không khí kinh tế hiện nay. Do đó không thể nào thí nghiệm các lý thuyết thống nhất lớn trực tiếp trong phòng thí nghiệm. Tuy nhiên, cũng như trong trường hợp lý thuyết thống nhất điện từ và yếu, có những hậu quả ở mức năng lượng thấp của lý thuyết có thể thí nghiệm được.

Điều đáng lưu ý nhất của những hậu quả này là sự tiên đoán rằng các proton, làm thành phần lớn khối lượng của vật chất bình thường, có thể tức thì phân rã thành những hạt nhẹ hơn như các phản điện tử. Lý do khiến điều này có thể xảy ra là ở năng lượng thống nhất lớn không có sự khác biệt chính yếu giữa một quark và một phản điện tử. Ba quark bên trong một proton bình thường không có đủ năng lượng để biến thành các phản điện tử, nhưng trong trường hợp rất hiếm hoi một trong số chúng có thể nhận được đủ năng lượng để thực hiện việc chuyển tiếp bởi vì nguyên tắc bất định có nghĩa rằng năng lượng của các quark bên trong proton không thể hoàn toàn cố định. Proton khi đó sẽ suy đồi. Xác suất để một quark nhận thêm đủ năng lượng thấp đến độ người ta có thể phải chờ đợi ít nhất một triệu triệu triệu triệu năm (số 1 theo sau bởi ba mươi số không). Thời gian này dài hơn nhiều so với thời gian từ vụ nổ lớn, chỉ vào khoảng 10 ngàn triệu năm (số 1 theo sau bởi mười số không). Do đó người ta có thể nghĩ rằng sự khả dĩ xảy ra sự phân rã proton tức thì không thể được thử bằng thực nghiệm. Tuy nhiên, người ta có thể gia tăng các cơ may phát hiện một sự phân rã bằng cách quan sát một số lượng lớn vật chất chứa một con số rất lớn các proton. (Nếu, chẳng hạn, người ta quan sát một số proton bằng 1 theo sau bởi 31 số không trong thời gian một năm, người ta sẽ hy vọng, theo thuyết thống nhất lớn đơn giản nhất, sẽ quan sát được hơn một proton phân rã.)

Một số những thí nghiệm như vậy đã được thực hiện, nhưng không có thí nghiệm nào cho bằng chứng rõ rệt là proton hoặc trung hòa tử phân rã. Một thí nghiệm đã sử dụng tám ngàn tấn nước và được thực hiện ở mỏ muối

Morton ở Ohio (để tránh những sự kiện khác phát sinh, gây ra bởi những tia vũ trụ, có thể bị làm vởi sự phân rã proton). Bởi vì không có sự phân rã proton tức thì nào đã được quan sát trong thí nghiệm, người ta có thể tính toán rằng đời sống có thể của proton phải lớn hơn mười triệu triệu triệu triệu năm (số 1 với ba mươi số không). Thời gian này dài hơn đời sống tiên đoán bởi lý thuyết thống nhất lớn đơn giản nhất, nhưng có những lý thuyết phức tạp hơn trong đó đời sống tiên đoán dài hơn. Tuy vậy những thí nghiệm tinh vi hơn liên quan tới những lượng vật chất lớn lao hơn sẽ cần tới để thử nghiệm chúng.

Mặc dù rất khó quan sát sự phân rã proton tức khắc, có thể rằng chính sự hiện hữu của chúng ta là một hậu quả của tiến trình đảo ngược, sự sản xuất các proton, hay giản dị hơn, các quark, từ một tình trạng sơ khởi trong đó không có nhiều quark hơn phản quark, là phương cách tự nhiên nhất để tưởng tượng vũ trụ ra đời. Vật chất trên trái đất được cấu tạo chính yếu bởi các proton và trung hòa tử, chính những hạt này lại được cấu tạo bởi các quark. Không có các phản proton hoặc phản trung hòa tử, được làm thành từ các phản quark, trừ một số ít mà các vật lý gia sản xuất trong những máy gia tốc hạt cỡ lớn. Chúng ta có bằng chứng từ các tia vũ trụ rằng điều đó cũng đúng đối với mọi vật chất trong thiên hà của chúng ta: không có các phản proton hoặc phản trung hòa tử ngoài một số nhỏ được sản xuất như những cặp hạt/phản hạt trong những va chạm ở năng lượng cao. Nếu có những vùng rộng lớn gồm phản vật chất trong thiên hà của chúng ta, chúng ta sẽ trông đợi quan sát được những số lượng lớn sự phát xạ từ những biên giới giữa những vùng vật chất và phản vật chất, nơi nhiều hạt sẽ va chạm với những phản hạt của chúng, triệt tiêu lẫn nhau và phát ra những bức xạ năng lượng cao.

Chúng ta không có bằng chứng trực tiếp là liệu vật chất ở những thiên hà khác có được cấu tạo bởi các proton và trung hòa tử hoặc phản proton và phản trung hòa tử hay không, nhưng nó phải là loại này hay loại kia: không thể có một hỗn hợp trong một thiên hà duy nhất bởi vì trong trường hợp đó chúng ta sẽ lại quan sát được nhiều sự phát xạ và diệt trừ lẫn nhau. Do đó chúng ta tin rằng mọi thiên hà bao gồm những quark thay vì phản quark; có vẻ không thể có vài thiên hà bao gồm vật chất và một ít phản vật chất.

Vậy thì tại sao có nhiều quark như vậy so với phản quark? Tại sao mỗi loại không có những con số đồng đều? Chắc chắn may mắn cho chúng ta là những con số không bằng nhau bởi vì, nếu chúng giống nhau, gần như tất cả các quark và phản quark sẽ triệt tiêu lẫn nhau trong vũ trụ thời đầu và để lại

một vũ trụ đầy những bức xạ mà khó có vật chất nào. Khi đó sẽ không có các thiên hà, các ngôi sao, hoặc những hành tinh trên đó đời sống con người có thể phát triển. May mắn thay, các lý thuyết thống nhất lớn có thể cung cấp một sự giải thích về chuyện tại sao vũ trụ hiện nay phải chứa nhiều quark hơn là phản quark, cho dù nó đã khởi đầu với những con số bằng nhau. Như chúng ta đã thấy, các thuyết thống nhất lớn cho phép các quark biến thành các phản điện tử ở năng lượng cao. Chúng cũng cho phép những tiến trình đảo ngược, phản quark biến thành điện tử, và các điện tử và phản điện tử biến thành phản quark và quark. Có một lúc ngay đúng lúc khởi thủy vũ trụ khi nhiệt độ nóng đến độ các năng lượng hạt sẽ đủ cao để những biến đổi này diễn ra. Nhưng tại sao lại đưa tới nhiều quark hơn là phản quark? Lý do là những định luật vật lý không hoàn toàn giống nhau đối với các hạt và phản hạt.

Cho tới năm 1956 người ta tin rằng các định luật vật lý tuân theo mỗi trong ba sự đối xứng riêng biệt gọi là C, P, và T. Sự đối xứng C có nghĩa là các định luật giống nhau đối với các hạt và phản hạt. Đối xứng P có nghĩa các định luật giống nhau đối với bất cứ tình trạng nào mà hình ảnh phản chiếu của nó (hình ảnh phản chiếu của một hạt quay theo chiều phải là một hình ảnh quay theo chiều trái). Đối xứng T có nghĩa là nếu bạn đảo ngược chiều chuyển động của tất cả các hạt và phản hạt, hệ thống sẽ trở lại tình trạng lúc đầu, nói cách khác, các định luật giống nhau trong các chiều đi tới và đi lui của thời gian.

Năm 1956 hai vật lý gia người Mỹ, Lý Chánh Đạo (Lee Tsung-Dao) và Dương Chân Ninh (Yang Chen Ning), cho rằng lực yếu thực ra không tuân theo đối xứng P. Nói cách khác, lực yếu sẽ làm cho vũ trụ phát triển theo một hướng khác với chiều hướng trong đó hình ảnh phản chiếu của vũ trụ sẽ phát triển. Cũng trong năm đó, một đồng nghiệp, Chien-Shiung Wu, đã chứng tỏ sự tiên đoán của họ là đúng. Bà đã thực hiện điều này bằng cách xếp hàng các nhân của các nguyên tử phóng xạ trong một từ trường, để chúng tất cả đều quay theo một hướng, và đã chứng tỏ rằng các điện tử đã được phát ra theo một chiều này nhiều hơn theo chiều kia. Năm sau, Lee và Yang đã nhận được giải Nobel nhờ ý tưởng của họ. Người ta cũng đã thấy rằng lực yếu không tuân theo đối xứng C. Nghĩa là, nó sẽ làm cho một vũ trụ gồm những phản hạt cư xử khác so với vũ trụ của chúng ta. Tuy nhiên, có vẻ như lực yếu quả thật tuân theo đối xứng tổng hợp CP. Nghĩa là, vũ trụ sẽ phát triển giống như hình ảnh phản chiếu của nó nếu, thêm vào đó, mọi hạt đều được bọc bằng những phản hạt của chúng! Tuy nhiên, trong năm 1964, thêm hai người Mỹ, J. W. Cronin và Val Fitch, đã khám phá rằng trong sự

phân rã một số hạt gọi là K-meson, ngay cả đối xứng CP cũng không được tuân theo. Năm 1980 Cronin và Fitch đã nhận được giải Nobel cho công trình của họ. (Nhiều giải đã được ban thưởng vì chứng tỏ rằng vũ trụ không phải đơn giản như chúng ta có thể đã nghĩ!)

Có một định lý toán học nói rằng bất cứ lý thuyết nào tuân theo cơ học lượng tử và thuyết tương đối cũng phải luôn luôn tuân theo sự đối xứng tổng hợp CPT. Nói khác đi, vũ trụ sẽ phải phản ứng như nhau nếu người ta thay thế các hạt bằng các phản hạt, dùng hình ảnh phản chiếu, và cũng đảo ngược chiều thời gian. Nhưng Cronin và Fitch đã chứng tỏ rằng nếu người ta thay thế các hạt bằng các phản hạt và dùng hình ảnh phản chiếu, nhưng không đảo ngược chiều thời gian, khi đó vũ trụ không phản ứng như cũ. Các định luật vật lý, do đó, phải thay đổi nếu người ta đảo ngược chiều thời gian -- chúng không tuân theo đối xứng T.

Đương nhiên vũ trụ sơ khai không tuân theo đối xứng T: khi thời gian tiến tới thì vũ trụ bành trướng -- nếu nó chạy ngược chiều thì vũ trụ sẽ co rút. Và bởi vì có những lực không tuân theo đối xứng T, ta suy ra rằng khi vũ trụ bành trướng, những lực này có thể khiến các phản điện tử biến thành quark nhiều hơn các điện tử biến thành phản-quark. Sau đó, khi vũ trụ bành trướng và nguội lại, các phản-quark sẽ triệt tiêu với các quark, nhưng bởi vì sẽ có nhiều quark hơn phản-quark, sẽ còn một lượng nhỏ các quark dư lại. Chính các quark này tạo thành vật chất mà chúng ta thấy ngày nay và từ đó chính chúng ta được tạo thành. Như vậy chính sự hiện hữu của chúng ta có thể được coi như một sự xác nhận của các thuyết thống nhất lớn, mặc dù chỉ là một sự xác nhận về giá trị; những bất trắc là người ta không thể tiên đoán những con số các quark còn lại sau khi có sự triệt tiêu, hoặc ngay cả đến việc tiên đoán liệu sẽ còn lại các quark hay phản-quark. (Tuy nhiên, nếu đã có một sự thặng dư các phản quark, chúng ta chỉ việc gọi các phản-quark là quark, và các quark là phản-quark.)

Các lý thuyết thống nhất lớn không bao gồm lực hấp dẫn. Điều này không quan trọng lắm, bởi vì trọng lực là một lực yếu đến độ các ảnh hưởng của nó có thể thường được bỏ qua khi chúng ta bàn tới những hạt cơ bản hoặc nguyên tử. Tuy nhiên, sự kiện nó vừa có tầm xa vừa luôn luôn thu hút có nghĩa rằng các ảnh hưởng của nó cộng cả lại. Do đó đối với một con số đủ lớn các hạt vật chất, trọng lực có thể vượt trội hơn mọi lực khác. Đây là lý do tại sao chính trọng lực là cái quyết định sự tiến hóa của vũ trụ. Ngay cả đối với những vật cỡ các ngôi sao, lực hấp dẫn của trọng lực có thể thắng được mọi lực khác và khiến ngôi sao bị suy sụp. Công trình của tôi trong

thập niên 1970 chú trọng vào các hố đen có thể phát sinh từ sự suy sụp tinh tú như vậy và các trọng trường mạnh xung quanh chúng. Chính điều này đã đưa tới những chỉ dẫn đầu tiên về chuyện các thuyết cơ học lượng tử và thuyết tương đối có thể ảnh hưởng lẫn nhau như thế nào -- một cái nhìn sơ qua về sự phác họa của một thuyết hấp dẫn lượng tử trong tương lai.

---o0o---

CHƯƠNG 6 - HỐ ĐEN

Thuật ngữ "hố đen" (black hole) xuất hiện cách đây không lâu. Nó được khoa học gia người Mỹ John Wheeler đặt ra năm 1969 để miêu tả hình ảnh về một ý tưởng đã có ít nhất là hai trăm năm trước đó, vào thời có hai lý thuyết về ánh sáng: một lý thuyết – mà Newton tin tưởng – cho rằng ánh sáng là do các hạt tạo thành; một lý thuyết khác cho rằng ánh sáng do các sóng tạo thành. Ngày nay chúng ta biết rằng thật sự cả hai lý thuyết đều đúng. Theo lưỡng tính sóng/hạt của cơ học lượng tử, ánh sáng có thể vừa được coi là sóng vừa là hạt. Với thuyết nói rằng ánh sáng được tạo bởi các sóng thì người ta không rõ nó phản ứng với hấp lực như thế nào. Nhưng nếu ánh sáng tạo bởi các hạt thì người ta có thể dự liệu nó bị ảnh hưởng bởi hấp lực giống như những viên đạn súng đại bác, những hỏa tiễn, và những hành tinh. Lúc đầu người ta cho rằng các hạt của ánh sáng di chuyển với tốc độ nhanh vô tận, do đó hấp lực không thể khiến nó đi chậm lại; nhưng khám phá của Roemer rằng ánh sáng di chuyển với một tốc độ giới hạn có nghĩa là hấp lực phải có một ảnh hưởng quan trọng.

Năm 1783, John Michell, một giáo sư Đại Học Cambridge, dựa trên giả thuyết này để viết một luận văn đăng trong tập san Philosophical Transactions of the Royal Society of London (Những Trao Đổi Triết Học của Học Hội Hoàng Gia Luân Đôn), trong đó ông vạch ra rằng một ngôi sao có chất lượng đủ lớn và đủ chặt chẽ sẽ có một trường hấp lực mạnh đến nỗi ánh sáng không thể thoát ra được: bất cứ luồng ánh sáng nào phát ra từ bề mặt của ngôi sao đó sẽ bị hấp lực của nó kéo lui trước khi ánh sáng có thể đi xa. Michell cho rằng có một số lớn những ngôi sao loại đó. Tuy chúng ta không thể nhìn thấy chúng, vì ánh sáng từ chúng chiếu ra không thể đi tới trái đất, nhưng chúng ta vẫn có thể cảm thấy hấp lực của chúng. Những vật thể như vậy được gọi là "hố đen," vì chữ này mô tả đúng: những khoảng trống đen trong không gian. Mấy năm sau, khoa học gia Pháp Hầu Tước de Laplace cũng nêu ra ý kiến tương tự, có vẻ không dính dáng tới Michell. Có

điều thú vị là Laplace chỉ đem ý kiến này vào ấn bản thứ nhất và thứ nhì của cuốn sách *The System of the World*, và gạt nó đi trong những ấn bản sau này; có lẽ ông nghĩ rằng đó là một ý tưởng điên rồ. (Và lại, thuyết coi ánh sáng do hạt tạo nên đã trở thành thất sủng trong thế kỷ 19; có vẻ như mọi sự đều có thể giải thích bằng thuyết luồng sóng, và theo thuyết luồng sóng, người ta không biết rõ nó có chịu ảnh hưởng của hấp lực hay không.)

Thật ra, bởi vì vận tốc của ánh sáng là cố định, nếu coi nó giống như những viên đạn đại bác thì không phù hợp. (Một viên đạn đại bác bắn lên không trung từ mặt đất sẽ bị hấp lực khiến nó đi chậm lại, rồi cuối cùng nó ngừng lại và rơi xuống mặt đất; nhưng một quang tử (photon) thì phải tiếp tục phóng lên không trung với một vận tốc cố định. Vậy thì hấp lực kiểu Newton có thể ảnh hưởng tới ánh sáng như thế nào?) Mãi cho tới khi Einstein đề ra thuyết tương đối tổng quát năm 1915 thì người ta mới có một lý thuyết nhất quán về vấn đề hấp lực ảnh hưởng đối với ánh sáng như thế nào. Và thậm chí tới lúc đó cũng vẫn còn phải chờ một thời gian dài người ta mới hiểu những hàm ý của thuyết đó đối với những ngôi sao có chất lượng lớn lao.

Để hiểu một hố đen làm thế nào hình thành, trước tiên chúng ta cần phải hiểu chu kỳ đời sống của một ngôi sao. Một ngôi sao được hình thành khi một lượng khí (phần lớn là khinh khí) lớn lao bắt đầu bị hấp lực tự thân khiến nó co rút lại. Trong khi co rút, các nguyên tử ở thể khí đụng chạm vào nhau càng lúc càng thường xuyên hơn và với vận tốc càng nhanh hơn – lúc đó chất khí nóng lên. Sau cùng, chất khí sẽ nóng tới độ khi các nguyên tử khinh khí đụng nhau chúng không còn nảy ra nữa, mà trái lại chúng kết hợp với nhau để trở thành những nguyên tử helium. Sức nóng phát ra từ phản ứng này – giống như một vụ nổ bom khinh khí có kiểm soát – là điều khiến cho ngôi sao chiếu sáng. Sức nóng gia tăng này cũng làm tăng thêm sức ép của chất khí cho tới khi nó đủ mạnh để quân bình với hấp lực, và chất khí ngừng co rút. Điều này gần giống như một cái bong bóng: Có sự quân bình giữa sức ép của không khí bên trong quả bóng (sức này cố gắng làm cho quả bóng phồng lớn hơn), và sức căng của cao-su (sức này cố gắng làm cho quả bóng nhỏ hơn). Các ngôi sao sẽ ở tình trạng ổn định như vậy trong một thời gian lâu dài, khi sức nóng từ những phản ứng hạt nhân quân bình với hấp lực. Nhưng cuối cùng ngôi sao sẽ đốt hết khinh khí và các nhiên liệu hạt nhân khác. Một điều nghịch lý là một ngôi sao khởi sự với khối lượng nhiên liệu càng cao thì nó lại càng mau hết nhiên liệu. Điều này là vì khi ngôi sao càng có khối lượng lớn thì nó càng cần phải nóng hơn để có thể quân bình với hấp lực của nó. Và khi càng nóng thì nó càng mau đốt hết nhiên liệu.

Mặt trời của chúng ta có đủ nhiên liệu cho khoảng năm ngàn triệu năm nữa, nhưng các ngôi sao có khối lượng lớn hơn mặt trời có thể đốt hết nhiên liệu chỉ trong khoảng một trăm triệu năm, thật là quá ngắn ngủi so với tuổi của vũ trụ. Khi một ngôi sao đốt hết nhiên liệu, nó bắt đầu nguội dần và do đó nó co rút lại. Chỉ mãi tới cuối thập niên 1920 người ta mới hiểu điều gì sẽ xảy ra cho một ngôi sao ở giai đoạn đó.

Năm 1928, một sinh viên bậc cử nhân người Ấn Độ, Subrahmanyan Chandrasekhar, đi tàu thủy sang Anh Quốc để theo học tại Đại Học Cambridge với nhà thiên văn Anh Sir Arthur Eddington, một chuyên gia về thuyết tương đối tổng quát. (Theo người ta thuật lại, trong đầu thập niên 1920 một ký giả báo Eddington rằng ông ta nghe nói trên thế giới chỉ có ba người hiểu được tương đối luận tổng quát. Eddington ngẫm nghĩ một lát rồi trả lời: "Tôi đang cố gắng nghĩ xem người thứ ba là ai.") Trong cuộc hành trình từ Ấn Độ, Chandrasekhar tìm hiểu xem một ngôi sao có thể lớn tới mức nào mà vẫn còn tự chống đỡ đối với hấp lực của chính nó, sau khi đã đốt hết nhiên liệu. Sự thể như thế này: Khi ngôi sao trở thành nhỏ, những hạt vật chất sập lại rất gần nhau, và theo nguyên tắc loại trừ của Pauli thì chúng phải có những vận tốc rất khác nhau. Điều này khiến chúng di chuyển xa rời nhau và do đó khiến cho ngôi sao bành trướng. Vì vậy một ngôi sao có thể tự duy trì ở một bán kính cố định nhờ sự quân bình giữa hấp lực và sức đẩy phát xuất từ nguyên tắc loại trừ, cũng giống như thời kỳ đầu sau khi hình thành hấp lực được quân bình bởi sức nóng.

Tuy nhiên, Chandrasekhar nhận thấy có một giới hạn đối với sức đẩy mà nguyên tắc loại trừ có thể cung cấp. Theo thuyết tương đối thì sự khác biệt tối đa trong vận tốc của những hạt vật chất trong ngôi sao chỉ có giới hạn, đó là vận tốc của ánh sáng. Điều này có nghĩa rằng khi ngôi sao có tỷ trọng đủ nặng thì sức đẩy do nguyên tắc loại trừ sẽ yếu hơn hấp lực. Chandrasekhar tính toán rằng một ngôi sao nguội có khối lượng lớn hơn 1.5 khối lượng mặt trời thì nó sẽ không thể chống đỡ với trọng lực của chính nó. (Khối lượng này ngày nay được coi là "giới hạn Chandrasekhar"). Một khám phá tương tự cũng đã được khoa học gia Nga Lev Davidovich Landau tìm ra vào khoảng cùng một thời gian với Chandrasekhar.

Điều này có những hàm ý quan trọng đối với số phận tối hậu của những ngôi sao có khối lượng lớn. Nếu một ngôi sao có khối lượng nhỏ hơn giới hạn Chandrasekhar, nó có thể ngừng co rút rồi cuối cùng có thể trở thành một "bach tiểu tinh" ("white dwarf") với bán kính vài ngàn dặm và mật độ nặng hàng trăm tấn mỗi phân khối Anh. Một bach tiểu tinh được chống đỡ bởi sức

đây, theo nguyên tắc loại trừ, giữa các điện tử trong vật chất của nó. Chúng ta quan sát được một số lớn những ngôi sao thuộc loại bạch tiểu tinh này. Một trong những khám phá đầu tiên là một ngôi sao quay xung quanh sao Sirius (sao Thiên Lang) – ngôi sao sáng nhất trong bầu trời ban đêm.

Landau vạch ra rằng còn có một trạng thái chung cuộc có thể xảy ra cho một ngôi sao cũng có khối lượng giới hạn vào khoảng một hay hai lần khối lượng mặt trời nhưng nhỏ hơn cả một bạch tiểu tinh. Những ngôi sao này sẽ được chống đỡ sức đẩy theo nguyên tắc loại trừ giữa các trung hòa tử và các proton, thay vì giữa các điện tử. Vì vậy chúng được gọi là "trung tử tinh" (neutron star). Chúng có bán kính chỉ vào khoảng mười dặm và có mật độ hàng trăm triệu tấn mỗi phân khối Anh. Khi các khoa học gia lần đầu ước đoán sự hiện hữu của trung tử tinh thì họ không có cách nào để quan sát chúng. Mãi về sau này người ta mới có thể dò tìm ra chúng.

Mặt khác, những ngôi sao có khối lượng cao hơn giới hạn Chandrasekhar gặp phải một vấn đề lớn khi chúng tiêu thụ gần hết nhiên liệu. Trong một số trường hợp chúng có thể bùng nổ hoặc xoay xở để liệng bỏ bớt vật chất để giảm bớt khối lượng xuống dưới mức giới hạn và nhờ vậy chúng tránh khỏi bị trọng lực làm sụp đổ, nhưng khó có thể tin rằng điều này luôn luôn xảy ra, dù ngôi sao lớn tới mức nào. Làm sao ngôi sao biết được rằng nó cần phải mất bớt sức nặng? Dù nếu mỗi ngôi sao đều xoay xở để mất bớt khối lượng hầu tránh sụp đổ, điều gì sẽ xảy ra nếu bạn bồi thêm khối lượng vào một bạch tiểu tinh hoặc một trung tử tinh để khiến nó nặng hơn giới hạn Chandrasekhar? Liệu nó có co sụp tới mật độ vô hạn không? Hàm ý này đã khiến cho Eddington sững sốt, và ông không tin vào kết quả của Chandrasekhar. Eddington cho rằng một ngôi sao không thể nào co sụp thành một cái chấm.

Đây là quan điểm của đa số khoa học gia: Chính Einstein đã viết một luận văn trong đó ông nói rằng các ngôi sao không thể nào co rút thành số không. Sự chống đối của các khoa học gia khác, nhất là từ Eddington, vị thầy cũ của ông, khiến cho Chandrasekhar từ bỏ con đường nghiên cứu đó và quay sang nghiên cứu những vấn đề thiên văn khác, như sự chuyển động của các chòm sao. Tuy nhiên, khi ông được tặng giải Nobel năm 1983 thì ít nhất cũng phần nào dành cho công việc nghiên cứu lúc trước về khối lượng giới hạn của các ngôi sao ngụy.

Chandrasekhar đã cho thấy rằng nguyên tắc loại trừ không thể chặn đứng sự co sụp của một ngôi sao có khối lượng lớn hơn giới hạn Chandrasekhar,

nhưng căn cứ vào thuyết tương đối tổng quát thì điều gì sẽ xảy ra cho một ngôi sao như vậy? Vấn đề này được một khoa học gia Mỹ trẻ tuổi là Robert Oppenheimer lý giải lần đầu năm 1939. Tuy nhiên, kết quả của ông ngụ ý rằng vào thời đó không có viễn vọng kính nào có thể quan sát được những hệ quả của những ngôi sao loại đó. Tới khi xảy ra Đệ Nhị Thế Chiến, Oppenheimer bận rộn với chương trình nghiên cứu bom nguyên tử. Sau chiến tranh vấn đề co sụp vì hấp lực của các ngôi sao đã bị bỏ quên, vì đa số các khoa học gia bị thu hút bởi những vấn đề thuộc địa hạt nguyên tử và hạch tâm của nó. Tuy nhiên, trong thập niên 1960, sự quan tâm về những vấn đề vĩ mô của thiên văn học và vũ trụ luận đã được làm hồi sinh bởi một số lớn những quan sát thiên văn nhờ áp dụng những kỹ thuật tân tiến. Tới lúc đó, khảo cứu của Oppenheimer được nhiều người tái khám phá và khai triển thêm.

Bức tranh từ công cuộc khảo cứu của Oppenheimer mà ngày nay chúng ta có là như sau: Trường hấp lực của ngôi sao làm thay đổi những đường đi của các tia sáng trong không-thời gian, so với những con đường mà đáng lẽ chúng đi nếu không có sự hiện diện của ngôi sao đó. Những hình nón ánh sáng – cho thấy những đường đi trong không gian và thời gian nhờ những tia sáng phát ra từ đỉnh hình nón – bị uốn cong vào phía trong gần bề mặt của ngôi sao. Điều này có thể nhận thấy qua hiện tượng ánh sáng uốn cong khi phát ra từ những ngôi sao ở xa mà chúng ta quan sát trong khi có nhật thực. Khi ngôi sao co rút, trường hấp lực tại bề mặt của nó trở thành mạnh hơn và những hình nón ánh sáng bị uốn cong nhiều hơn vào phía trong. Điều này khiến cho ánh sáng từ ngôi sao càng khó thoát ra từ ngôi sao, và ánh sáng có vẻ mờ hơn và đỏ hơn đối với một quan sát viên từ xa. Sau cùng khi ngôi sao đã co rút tới một bán kính giới hạn nào đó, trường hấp lực tại bề mặt trở thành mạnh đến nỗi những hình nón ánh sáng bị uốn cong vào phía trong nhiều tới độ ánh sáng không còn có thể thoát ra được (H. 6.1). Theo thuyết tương đối, không có cái gì có thể đi nhanh hơn ánh sáng. Do đó, nếu ánh sáng không thể thoát ra thì không một cái gì khác có thể thoát ra; mọi thứ đều bị trường hấp lực kéo ngược trở lại. Vì vậy chúng ta có một tập hợp những biến cố, một vùng của không-thời gian, từ nơi đó ánh sáng hoặc bất cứ vật gì đều không thể thoát ra để đạt tới người quan sát từ xa. Cái vùng này bây giờ chúng ta gọi là một hố đen. Ranh giới của nó được gọi là chân trời biên cố và nó trùng hợp với những đường đi của các tia sáng không thể thoát ra khỏi hố đen.

Để hiểu bạn sẽ trông thấy những gì nếu bạn có thể quan sát một ngôi sao co rút để tạo thành một hố đen, bạn cần phải nhớ rằng trong thuyết tương đối

không có thời gian tuyệt đối. Mỗi quan sát viên có sự đo lường thời gian riêng của họ. Thời gian của một người nào đó trên một ngôi sao sẽ khác với thời gian của một người ở cách xa ngôi sao, do ảnh hưởng trường hấp lực của ngôi sao. Giả thử có một phi hành gia liều lĩnh đứng trên bề mặt ngôi sao đang co rút, và người này cũng di chuyển theo sự co rút vào phía trong cùng với ngôi sao. Phi hành gia này gửi đi một tín hiệu bằng tia sáng mỗi giây đồng hồ – căn cứ vào chiếc đồng hồ đeo tay của ông ta – cho chiếc phi thuyền của ông đang bay xung quanh ngôi sao. Ở thời điểm nào đó trên chiếc đồng hồ, chẳng hạn đúng 11:00 giờ, ngôi sao sẽ co rút tới dưới bán kính giới hạn – nơi mà trường hấp lực trở thành mạnh đến nỗi không một vật gì có thể thoát ra – và tín hiệu của ông không thể đạt tới phi thuyền. Khi gần tới 11:00 giờ các bạn của ông trên phi thuyền nhìn xuống sẽ thấy những khoảng cách thời gian giữa những tín hiệu phát xuất từ phi hành gia dưới ngôi sao càng lúc càng dài hơn, nhưng hiệu ứng này trước 10 giờ 59 phút 59 giây rất nhỏ. Họ chỉ cần chờ lâu hơn một giây một chút giữa hai tín hiệu của phi hành gia gửi đi lúc 10:59:58 và lúc 10:59:59, theo đồng hồ của ông; nhưng họ sẽ phải chờ đợi thời gian vô hạn cho tín hiệu gửi đi lúc 11:00 giờ. Những sóng ánh sáng phát ra từ bề mặt ngôi sao giữa lúc 10:59:59 và 11:00 giờ, theo đồng hồ của phi hành gia, sẽ lan rộng trên một khoảng thời gian vô hạn, như được nhìn thấy từ phi thuyền. Khoảng cách thời gian giữa lúc phi thuyền nhận được hai tín hiệu liên tiếp sẽ càng lúc càng dài hơn, vì vậy ánh sáng từ ngôi sao càng lúc càng thấy đỏ hơn và mờ hơn. Sau cùng, ngôi sao trở thành tối đến nỗi những người trên phi thuyền không còn có thể trông thấy nó nữa: tất cả những gì còn lại chỉ là một hố đen trong không gian. Tuy nhiên, ngôi sao đó tiếp tục gây ra một hấp lực như cũ đối với phi thuyền, trong khi nó tiếp tục bay quanh hố đen.

Nhưng diễn tiến này không hoàn toàn hiện thực, vì có những vấn đề sau đây. Hấp lực càng yếu hơn khi một vật càng cách xa ngôi sao hơn, vì vậy hấp lực trên hai chân của phi hành gia liều lĩnh luôn luôn mạnh hơn hấp lực trên đầu ông. Sự khác biệt về hấp lực này sẽ kéo dài nhà phi hành của chúng ta giống như sợi bún hoặc xé ông ra từng mảnh trước khi ngôi sao co rút tới bán kính giới hạn, nơi mà chân trời biến cố thành hình! Tuy nhiên, người ta tin rằng có những thiên thể rất lớn hơn thế trong vũ trụ – như những vùng trung tâm của các thiên hà – cũng có thể trải qua sự co rút hấp lực để tạo thành những hố đen; một phi hành gia trên những thiên thể đó sẽ không bị xé từng mảnh trước khi hố đen thành hình. Thật ra, phi hành gia sẽ không cảm thấy điều gì đặc biệt khi ông đạt tới bán kính giới hạn, và có thể vượt qua điểm bất phản hồi mà không nhận thấy gì khác thường. Tuy nhiên, chỉ trong vài giờ đồng

hồ, khi vùng đó tiếp tục co rút, sự khác biệt về hấp lực trên đầu và trên chân ông sẽ trở thành mạnh đến nỗi nó lại xé ông thành từng mảnh.

Cuộc nghiên cứu mà Roger Penrose và tôi đã thi hành giữa năm 1965 và năm 1970 cho thấy rằng theo thuyết tương đối tổng quát thì trong hố đen phải có một điểm kỳ dị (singularity) có mật độ vô hạn và độ cong không-thời gian vô hạn. Điều này giống như vụ nổ lớn khi bắt đầu có thời gian, nhưng đây là sự tận cùng của thời gian đối với thiên thể co sụp và phi hành gia. Ở điểm kỳ dị này những định luật khoa học và khả năng dự đoán tương lai của chúng ta sẽ mất hiệu quả. Tuy nhiên, bất cứ quan sát viên nào ở ngoài hố đen sẽ vẫn còn có thể dự đoán được, bởi vì ánh sáng và bất cứ tín hiệu nào khác vẫn còn đạt tới ông từ điểm kỳ dị.

Sự kiện đáng kể này khiến Roger Penrose đề xuất giả thuyết "vũ trụ kiểm duyệt" mà chúng ta có thể nói là "Thượng Đế rất ghét một điểm kỳ dị trần trụi." Nói cách khác, những điểm kỳ dị do sự co sụp hấp lực tạo thành chỉ xảy ra trong những nơi như các hố đen, nơi mà chúng được chân trời biến cố che đậy để bên ngoài khỏi nhìn thấy chúng. Nói cho đúng, điều sau đây được coi là "giả thuyết vũ trụ kiểm duyệt yếu": nó bảo vệ các quan sát viên ở bên ngoài hố đen khỏi chịu những hậu quả của sự mất hiệu lực dự đoán xảy ra tại điểm kỳ dị, nhưng nó chẳng làm gì cả để giúp nhà phi hành xấu số bị rơi vào hố.

Có một số giải đáp của những phương trình thuộc thuyết tương đối tổng quát mà trong đó phi hành gia của chúng ta có thể nhìn thấy một điểm kỳ dị trần trụi: ông có thể tránh khỏi bị đụng vào điểm kỳ dị và rơi vào một "hố trùng" ("wormhole") và đi vào một vùng khác trong vũ trụ. Điều này sẽ cống hiến những khả thể lớn lao để du hành trong vũ trụ và trong thời gian, nhưng chẳng may những giải đáp này có vẻ không vững chắc; một xáo trộn nhỏ nhất, chẳng hạn như sự hiện diện của một phi hành gia, có thể làm chúng thay đổi và khiến cho phi hành gia không thể nhìn thấy điểm kỳ dị trước khi ông đụng vào nó và thời gian của ông ta chấm dứt. Nói cách khác, điểm kỳ dị luôn luôn nằm trong tương lai của ông ta và không bao giờ nằm trong quá khứ của ông ta. Theo lối giải thích của "giả thuyết vũ trụ kiểm duyệt mạnh" trong một giải đáp hiện thực, những điểm kỳ dị luôn luôn nằm hoàn toàn trong tương lai (như những điểm kỳ dị do sự co sụp hấp lực tạo thành) hoặc hoàn toàn trong quá khứ (như vụ nổ lớn). Người ta hy vọng rằng một trong những giả thuyết kiểm duyệt có thể đứng vững, vì gần tới những điểm kỳ dị phi hành gia có thể đi vào quá khứ. Đây là điều hứng thú đối với các nhà văn viết truyện khoa học giả tưởng, nhưng nó có nghĩa rằng cuộc đời của bất cứ

ai cũng không bao giờ được an toàn: Một kẻ nào đó có thể đi vào quá khứ để giết cha hay mẹ bạn trước khi bạn được thụ thai!

Chân trời biến cố – ranh giới của vùng không-thời gian mà từ đó không có vật gì có thể thoát ra – xử sự giống như một cái màng một chiều vây phủ xung quanh hố đen: các vật thể, chẳng hạn như các phi hành gia bất cẩn, có thể rơi qua chân trời biến cố và lọt vào hố đen, nhưng không vật nào có thể thoát ra khỏi hố đen qua chân trời biến cố. (Hãy nhớ rằng chân trời biến cố là con đường trong không thời gian của ánh sáng cố gắng thoát ra khỏi hố đen, nhưng không có vật gì có thể đi nhanh hơn ánh sáng). Người ta có thể nói về chân trời biến cố giống như thi hào Dante nói về chuyện đi vào địa ngục: "Ai vào đây thì hết mọi hy vọng." Bất cứ vật gì hoặc bất cứ ai rơi qua chân trời biến cố sẽ mau chóng tiến vào vùng mật độ vô hạn và sự tận cùng của thời gian.

Thuyết tương đối tổng quát dự đoán rằng các vật nặng đang di chuyển sẽ phát ra những sóng hấp lực trong đường cong của không gian di chuyển ở vận tốc của ánh sáng. Những sóng hấp lực này giống như sóng ánh sáng, là những gợn sóng của điện-từ trường, nhưng người ta khó dò tìm ra chúng hơn. Giống như ánh sáng, chúng đem năng lượng ra khỏi những vật thể phát ra chúng. Vì vậy người ta trông đợi một hệ thống gồm những thiên thể có khối lượng lớn cuối cùng sẽ ngừng lại ở một nơi, vì năng lượng trong bất cứ sự chuyển động nào sẽ bị những sóng hấp lực lấy đi khi chúng phát xuất. (Gần giống như liêng một cái nút chai bằng vỏ cây xuống nước: lúc đầu nó trôi lên ngụp xuống nhiều lần, nhưng vì các gợn sóng lấy đi năng lượng của nó, cuối cùng cái nút chai đứng im một chỗ). Thí dụ sự chuyển động của trái đất trên quỹ đạo của nó xung quanh mặt trời tạo nên những sóng hấp lực. Ảnh hưởng của sự thất thoát năng lượng sẽ làm thay đổi quỹ đạo của trái đất khiến nó dần dần xấp lại gần mặt trời hơn, cuối cùng sẽ đụng vào mặt trời và đứng im. Mức năng lượng bị thất thoát trong trường hợp của trái đất và mặt trời rất thấp – chỉ đủ để chạy một cái máy sưởi điện nhỏ bé. Điều này có nghĩa là phải tới một ngàn triệu triệu triệu năm nữa thì trái đất mới đụng vào mặt trời, vì vậy bây giờ chẳng có gì phải lo về chuyện này! Sự thay đổi nơi quỹ đạo của trái đất quá chậm để có thể quan sát được, nhưng loại hiệu ứng này trong mấy năm qua đã được các nhà thiên văn nhận thấy xảy ra trong hệ thống thiên thể gọi là PSR 1913 + 16 (PSR là chữ viết tắt của "pulsar", một loại trung tử tinh đặc biệt phát ra những xung sóng vô tuyến đều đặn). Hệ thống này gồm có hai trung tử tinh quay xung quanh lẫn nhau, và năng lượng mà chúng thất thoát vì phát ra những sóng hấp lực đang khiến chúng xấp lại gần nhau theo đường xoáy tròn ốc.

Trong thời gian một ngôi sao co sụp vì hấp lực để trở thành một hố đen, những chuyển động của nó sẽ nhanh hơn nhiều, vì vậy tốc độ thất thoát năng lượng cũng cao hơn nhiều. Do đó, chẳng bao lâu sau nó sẽ đứng im. Trạng thái cuối cùng này sẽ như thế nào? Người ta có thể cho rằng nó sẽ tùy thuộc vào tất cả những đặc tính phức tạp của ngôi sao mà từ đó nó hình thành – không phải chỉ tùy thuộc vào khối lượng và tốc độ chuyển động mà còn tùy thuộc vào những mật độ khác biệt ở những phần khác nhau của ngôi sao, và những sự vận chuyển phức tạp của các thứ khí bên trong ngôi sao. Và nếu các hố đen cũng khác nhau như những thiên thể đã co sụp để tạo thành chúng thì người ta rất khó đưa ra những dự đoán về các hố đen một cách tổng quát.

Tuy nhiên, năm 1967, việc khảo cứu các hố đen đã được nhà khoa học Gia Nã Đại Werner Israel – sinh tại Berlin, lớn lên ở Nam Phi và lấy bằng tiến sĩ ở Ái Nhĩ Lan – cách mạng hóa. Israel cho thấy rằng, theo thuyết tương đối tổng quát, các hố đen nào không quay tròn phải có hình thái rất đơn giản; chúng có hình cầu hoàn hảo, tầm cỡ của chúng chỉ tùy thuộc vào khối lượng của chúng, và bất cứ hai hố đen nào có khối lượng bằng nhau thì giống y hệt nhau. Sự thật, chúng có thể được mô tả bằng một giải đáp đặc biệt theo những phương trình của Einstein mà người ta đã biết từ năm 1917, do Karl Schwarzschild tìm ra ít lâu sau khi có thuyết tương đối tổng quát. Lúc ban đầu nhiều người – kể cả chính Israel – lý luận rằng vì các hố đen phải là những khối hình cầu hoàn hảo, cho nên một hố đen chỉ có thể hình thành từ sự co sụp của một vật thể có hình cầu hoàn hảo. Vì vậy, bất cứ ngôi sao thực tế nào – chúng không bao giờ có hình cầu hoàn hảo – chỉ có thể co sụp thành một điểm kỳ dị trần trụi.

Tuy nhiên, có một cách giải thích khác theo kết quả của Israel mà Roger Penrose và John Wheeler đưa ra. Họ lý luận rằng những chuyển động nhanh liên quan tới sự co sụp của một ngôi sao có nghĩa rằng những sóng hấp lực mà nó phát ra sẽ khiến cho nó có hình cầu tròn hơn, và tới lúc nó đứng lại ở trạng thái bất động thì nó sẽ trở thành một hình cầu hoàn hảo. Theo quan điểm này, bất cứ ngôi sao nào không quay tròn, dù hình thù và cấu trúc bên trong của nó phức tạp tới đâu chẳng nữa, nó cũng sẽ có chung kết là một hố đen hình cầu hoàn hảo sau khi co sụp vì hấp lực, và tầm cỡ lớn hay nhỏ sẽ chỉ tùy thuộc vào khối lượng của nó. Những tính toán về sau đã hỗ trợ cho quan điểm này, và chẳng bao lâu sau nó được mọi người tiếp nhận.

Kết quả của Israel chỉ được áp dụng cho trường hợp của những hố đen hình thành từ những thiên thể không xoay tròn. Năm 1963, Roy Kerr, người Tân

Tây Lan, tìm ra một tập hợp những giải đáp cho những phương trình của thuyết tương đối tổng quát để mô tả những hố đen xoay tròn. Những hố đen "loại Kerr" này xoay tròn ở một tốc độ cố định, tầm cỡ và hình thù của chúng chỉ tùy thuộc vào khối lượng và tốc độ xoay tròn của chúng. Nếu sự xoay tròn của nó là số không thì hố đen có hình cầu hoàn hảo và giải đáp giống y hệt như giải đáp của Schwarzschild. Nếu sự xoay tròn không phải là số không thì hố đen phình ra ở xích đạo của nó (giống như trái đất hoặc mặt trời phình ra do sức xoay tròn), và nếu nó xoay càng nhanh thì nó càng phình lớn. Vì vậy, để nói rộng kết quả của Israel để bao gồm cả những thiên thể xoay tròn, người ta phỏng đoán rằng bất cứ thiên thể nào xoay tròn mà co sụp để tạo thành một hố đen thì cuối cùng sẽ ổn định ở trạng thái đứng một chỗ như giải đáp của Israel mô tả.

Năm 1970, Brandon Carter, một đồng sự và bạn sinh viên nghiên cứu của tôi Đại Học Cambridge, thi hành bước đầu tiên để chứng minh điều phỏng đoán này. Ông cho thấy rằng nếu một hố đen xoay tròn có trục đối xứng – giống như một con quay bông vụ – thì tầm cỡ và hình thù của nó sẽ chỉ tùy thuộc vào khối lượng và tốc độ xoay của nó. Cuối cùng, năm 1973, David Robinson của trường Kings College ở Luân Đôn đã dùng những kết quả của Carter và của tôi để cho thấy rằng sự phỏng đoán này là đúng: một hố đen như vậy phải là giải đáp kiểu Kerr. Vì vậy sau khi co sụp do hấp lực một hố đen phải ổn định trong một trạng thái mà nó có thể xoay tròn, nhưng không phát ra những xung động. Hơn nữa, tầm cỡ và hình dạng của nó sẽ chỉ tùy thuộc vào khối lượng và tốc độ xoay tròn của nó, và không tùy thuộc vào thiên thể đã co sụp để tạo nên nó. Kết quả này ghi nhớ qua câu ngạn ngữ: "Một hố đen không có lông" ("A black hole has no hair"). Định lý "không lông" có tầm trọng yếu thực tế lớn, bởi vì nó rất hạn chế các loại hố đen có thể hiện hữu. Vì vậy người ta có thể tạo những mô hình chi tiết của những vật thể có thể chứa đựng những hố đen và so sánh những dự đoán về những mô hình đó với những điều quan sát. Nó cũng có nghĩa rằng một số lớn những tin tức về thiên thể đã co sụp phải bị mất khi một hố đen được hình thành, bởi vì sau đó tất cả những gì mà chúng ta có thể đo lường về thiên thể đó là khối lượng và tốc độ xoay của nó. Trong chương sau chúng ta sẽ thấy ý nghĩa đáng kể của điều này.

Hố đen là một trong những trường hợp khá hiếm trong lịch sử khoa học mà một lý thuyết được khai triển một cách chi tiết như là một mô hình toán học, trước khi có chứng cứ qua quan sát cho thấy lý thuyết đó đúng. Thật ra, điều này trước đây thường là luận cứ của những người bác bỏ sự hiện hữu của hố đen: làm sao người ta có thể tin vào những vật thể mà chúng có độc nhất của

chúng là những tính toán dựa vào thuyết tương đối tổng quát mơ hồ? Tuy nhiên, năm 1963, Maarten Schmidt, một nhà thiên văn tại Đài Thiên Văn Palomar ở California, đo sự chuyển dịch về phía đỏ của một thiên thể giống như ngôi sao có ánh sáng mờ theo chiều hướng của một nguồn sóng vô tuyến gọi là 3C273 (có nghĩa là nguồn số 273 trong cuốn danh mục thứ ba của Đại Học Cambridge ghi những nguồn vô tuyến). Ông thấy rằng sự chuyển đỏ này quá lớn để có thể gây ra bởi một trường hấp lực: Nếu nó là một chuyển đỏ thì thiên thể đó phải có khối lượng thật lớn và ở gần chúng ta đến nỗi nó phải làm xáo động quỹ đạo của các hành tinh trong Thái Dương Hệ. Sự kiện này hàm ý rằng chuyển đỏ thật ra gây ra bởi sự bành trướng của vũ trụ và điều này có nghĩa rằng thiên thể đó ở rất xa chúng ta. Và khi mà chúng ta có thể trông thấy nó ở xa như vậy thì thiên thể đó phải rất sáng, nghĩa là nó phải phát ra năng lượng lớn lao. Cơ chế duy nhất mà người ta có thể nghĩ rằng nó sản xuất ra những lượng năng lượng lớn như vậy phải là sự co sụp của cả một khu trung tâm của một thiên hà, chứ không phải chỉ là một ngôi sao mà thôi. Một số những thiên thể khác cùng thuộc loại "hầu như sao" – "quasi-stellar" hay "quasar" – đã được tìm thấy, chúng đều có những chuyển đỏ rất lớn. Nhưng chúng đều ở quá xa nên quá khó quan sát để có thể cung cấp chứng cứ xác định những hố đen.

Một kịch lệ nữa về sự hiện hữu của những hố đen xảy ra năm 1967, qua sự khám phá bởi một sinh viên nghiên cứu tại Đại Học Cambridge, Jocelyn Bell, về những thiên thể trong vũ trụ phát ra những xung sóng vô tuyến đều đặn. Lúc đầu Bell và người giám sát của bà, Antony Hewish, tưởng rằng có thể họ đã liên lạc được với một nền văn minh xa lạ trong thiên hà! Tôi còn nhớ rằng tại một cuộc hội thảo để công bố khám phá này họ đã gọi bốn nguồn đầu tiên mà họ tìm thấy là "LGM 1-4" – LGM là chữ viết tắt của "Little Green Men" ("Tiểu Lục Nhân" – ám chỉ những người thuộc nền văn minh xa lạ). Tuy nhiên, cuối cùng họ và mọi người khác đành phải kết luận một cách kém lãng mạn rằng những vật thể này – được gọi là những "pulsars" (những tinh tú xung động) – thật ra là những trung tử tinh xoay tròn phát ra những xung sóng vô tuyến gây ra bởi sự tương tác phức tạp giữa những từ trường và vật chất xung quanh chúng. Đây là một tin xấu đối với các nhà văn viết truyện thám hiểm không gian, nhưng là một tin rất lạc quan đối với một số nhỏ trong chúng tôi, gồm những người tin vào sự hiện hữu của những hố đen ở thời đó: nó là chứng cứ xác thực đầu tiên về sự hiện hữu của các trung tử tinh. Một trung tử tinh có đường bán kính khoảng mười dặm, nghĩa là chỉ lớn hơn vài lần bán kính giới hạn mà một ngôi sao biến thành một hố đen. Nếu một ngôi sao co sụp tới mức nhỏ bé như vậy thì

người ta có quyền trông mong rằng những ngôi sao khác cũng có thể co sụp tới cỡ nhỏ hơn để trở thành hố đen.

Làm sao chúng ta có thể hi vọng dò tìm một hố đen, khi mà nó không phát ra ánh sáng? Việc này gần giống như tìm kiếm một con mèo đen trong kho chứa than đá. May thay, có một cách. Như John Michell năm 1783 vạch ra trong luận văn có tính cách khai phá của ông, một hố đen vẫn còn tạo hấp lực lên những thiên thể ở gần nó. Các nhà thiên văn đã quan sát nhiều hệ thống trong đó hai tinh tú chạy quanh nhau, hấp dẫn nhau bởi hấp lực. Họ cũng quan sát những hệ thống trong đó họ chỉ nhìn thấy một tinh tú đang quay xung quanh một thiên thể khác mà họ không nhìn thấy. Người ta không thể kết luận ngay tức khắc rằng thiên thể không nhìn thấy đó là một hố đen: có thể nó chỉ là một ngôi sao có ánh sáng quá mờ nên không thể nhìn thấy. Tuy nhiên, một số hệ thống này, như hệ thống tên là Cygnus X-1 (H. 6.2), cũng là những nguồn tia phóng xạ X rất mạnh. Cách giải thích tốt nhất cho hiện tượng này là vật chất đã bị thổi ra khỏi bề mặt của ngôi sao có thể trông thấy. Khi vật chất rơi về phía ngôi sao không trông thấy, nó đi theo đường xoáy ốc (gần giống như nước thoát ra từ bồn tắm), và nó trở thành rất nóng, phát ra những tia X (H. 6.3). Để cơ chế này tác động, thiên thể không trông thấy phải rất nhỏ, như một bạch tiểu tinh, một trung tử tinh, hay một hố đen. Suy ra từ quỹ đạo của ngôi sao có thể trông thấy, người ta xác định được khối lượng tối thiểu mà thiên thể không trông thấy phải có. Trong trường hợp của Cygnus X-1, khối lượng tối thiểu này là khoảng sáu lần lớn hơn khối lượng mặt trời; và theo giới hạn Chandrasekhar thì thiên thể không trông thấy đó có khối lượng quá lớn để có thể là một bạch tiểu tinh. Nó cũng quá lớn để có thể là một trung tử tinh. Cho nên có vẻ như nó phải là một hố đen.

Có những mô hình khác để giải thích Cygnus X-1 mà không bao gồm một hố đen, nhưng tất cả những cách giải thích hầu như quá xa vời. Một hố đen có vẻ là cách giải thích thực sự tự nhiên duy nhất hợp với những quan sát. Bất kể điều này, tôi đã cá với Kip Thorne thuộc học viện California Institute of Technology rằng thật ra Cygnus X-1 không chứa một hố đen! Đối với tôi đây là một hình thức bảo hiểm. Tôi đã công phu nghiên cứu về những hố đen, và tất cả sẽ thành uổng phí nếu hóa ra các hố đen không hiện hữu. Nhưng trong trường hợp đó tôi sẽ được an ủi nhờ thắng vụ cá cược mà tôi sẽ được hưởng bốn năm mua dài hạn tạp chí Private Eye. Nếu các hố đen thực sự hiện hữu, Kip sẽ được hưởng một năm mua dài hạn tạp chí Penthouse. Khi chúng tôi giao hẹn đánh cá vào năm 1975, chúng tôi tin chắc 80% rằng

Cygnus là một hố đen. Đến nay, tôi có thể nói rằng chúng tôi tin chắc khoảng 95%, nhưng kết quả vụ cá cược chưa thể coi là ngã ngũ.

Ngày nay chúng ta cũng có chứng cứ cho vài hố đen khác trong những hệ thống giống như Cygnus X-1 trong thiên hà của chúng ta và trong hai thiên hà lân cận tên là Magellanic Clouds. Tuy nhiên, con số những hố đen hầu như chắc chắn phải cao hơn nhiều; trong lịch sử lâu dài của vũ trụ, nhiều ngôi sao phải đốt hết tất cả nhiên liệu hạch tâm của chúng và phải co sụp. Con số những hố đen có thể nhiều hơn cả con số những ngôi sao mà chúng ta có thể trông thấy – mà chỉ riêng trong thiên hà của chúng ta có khoảng một trăm ngàn triệu. Hấp lực gia trọng của một số lớn hố đen như vậy có thể giải thích tại sao thiên hà của chúng ta xoay với tốc độ hiện thời: khối lượng của những ngôi sao khả kiến không đủ để làm nó xoay nhanh như vậy. Chúng ta cũng có chứng cứ rằng có một hố đen lớn hơn nhiều – với khối lượng khoảng một trăm ngàn lần khối lượng mặt trời – tại trung tâm thiên hà của chúng ta. Những ngôi sao tiến đến quá gần hố đen này sẽ bị xâu xé thành từng mảnh bởi sự sai biệt của hấp lực tác động lên phía gần và phía xa của chúng. Những mảnh vụn của chúng và chất khí bay ra từ các ngôi sao khác sẽ rơi về phía hố đen. Giống như trong trường hợp của Cygnus X-1, chất khí sẽ xoáy theo đường tròn ốc về phía hố đen và sẽ nóng lên, tuy rằng không nóng nhiều như trong trường hợp đó. Nó sẽ không đủ nóng để phát ra những tia X, nhưng đủ để giải thích về nguồn gốc rất chặt chẽ của những sóng vô tuyến và những tia hồng ngoại tuyến mà chúng ta đã thấy tại trung tâm thiên hà.

Người ta cho rằng tại trung tâm của những quasars có những hố đen lớn hơn nữa, với khối lượng khoảng một trăm triệu lần khối lượng mặt trời. Vật chất rơi vào một hố đen có khối lượng cực kỳ lớn như vậy sẽ cung cấp nguồn năng lực duy nhất đủ mạnh để giải thích số năng lượng lớn lao mà những vật thể này phát ra. Khi vật chất rơi theo đường tròn ốc vào hố đen, nó sẽ khiến cho hố đen quay theo cùng chiều với nó, khiến nó phát triển một từ trường gần giống như từ trường của trái đất. Những hạt có năng lượng rất cao sẽ được phát ra ở gần hố đen bởi vật chất rơi xuống. Từ trường sẽ mạnh tới độ nó có thể quy tụ những hạt này thành những luồng bắn ra ngoài, dọc theo trục quay của hố đen, nghĩa là theo những chiều của bắc cực và nam cực của hố đen. Thật sự là người ta đã quan sát những luồng như vậy trong một số thiên hà và quasar.

Người ta cũng có thể xét tới khả năng có những hố đen với khối lượng nhỏ hơn mặt trời nhiều. Những hố đen như vậy không thể được hình thành bởi sự

co sụp hấp lực, vì khối lượng của chúng ở dưới giới hạn Chandrasekhar: Các ngôi sao có khối lượng nhỏ như vậy có thể tự chống đỡ đối với hấp lực, ngay cả khi chúng đã tiêu thụ hết năng lượng hạch tâm. Những hố đen có khối lượng nhỏ chỉ có thể hình thành nếu vật chất của chúng bị nén chặt tới mật độ lớn lao bởi những sức ép ngoại tại rất lớn. Những điều kiện như vậy có thể xảy ra trong một trái bom khinh khí rất lớn: nhà vật lý John Wheeler đã tính toán rằng nếu lấy tất cả nước nặng (D2O) trong tất cả các đại dương trên thế giới, người ta có thể tạo một trái bom khinh khí có sức ép mạnh đến nỗi nó nén vật chất bên trong thành một hố đen. (Dĩ nhiên là chẳng còn người nào sống sót để mà quan sát hiện tượng đó!) Một khả thể thực tế hơn là những hố đen có khối lượng nhỏ như vậy có thể đã được hình thành trong nhiệt độ và sức ép thật cao của vũ trụ ở thời rất sơ khai. Những hố đen chỉ có thể hình thành nếu vũ trụ thời sơ khai đã không trộn trù và không đồng nhất một cách hoàn hảo, vì chỉ một vùng nhỏ có mật độ cao hơn trung bình mới có thể bị nén chặt theo cách này để biến thành hố đen. Nhưng chúng ta biết rằng phải có những bất bình thường, vì nếu không có những nơi bất thường thì vật chất trong vũ trụ ngày nay phải được phân phối một cách hoàn toàn đồng nhất, thay vì tụ tập thành những tinh tú và thiên hà.

Những nơi bất thường – tạo nên tinh tú và thiên hà – có dẫn tới sự hình thành một số đáng kể những hố đen "ban đầu" hay không thì tùy thuộc vào những điều kiện trong vũ trụ thuở sơ khai. Vì vậy, nếu chúng ta có thể xác định ngày nay có bao nhiêu hố đen ban đầu thì chúng ta sẽ biết được nhiều điều về những giai đoạn rất sớm của vũ trụ. Những hố đen ban đầu có khối lượng nặng hơn một ngàn triệu tấn (tương đương với khối lượng của một hòn núi lớn) chỉ có thể dò tìm được nhờ ảnh hưởng hấp lực của chúng đối với vật chất khác có thể trông thấy được, hoặc đối với sự bành trướng của vũ trụ. Tuy nhiên, như chúng ta sẽ thấy trong chương sau, các hố đen chẳng phải thực sự đen tối: chúng chiếu sáng như một vật thể nóng, và chúng càng nhỏ thì lại càng chiếu sáng hơn. Vì vậy, có điều nghịch lý là các hố đen càng nhỏ thì có thể càng dễ tìm thấy hơn những hố đen lớn!

---o0o---

CHƯƠNG 7 - HỐ ĐEN KHÔNG ĐEN LẮM

Trước năm 1970, cuộc nghiên cứu của tôi về thuyết tương đối tổng quát đã tập trung vào vấn đề phải chăng có một nhất thể bùng nổ lớn. Tuy nhiên, một buổi tối trong tháng 11 năm đó, ít ngày sau khi con gái tôi, Lucy, ra đời, tôi bắt đầu suy nghĩ về những hố đen trong lúc tôi lên giường đi ngủ. Sự tàn

phé khiến tôi phải hành động chậm chạp, vì vậy tôi có nhiều thì giờ để suy nghĩ. Lúc bấy giờ không có một định nghĩa chính xác nào về những điểm trong không-thời gian nằm bên trong một hố đen và những điểm nào nằm bên ngoài nó. Tôi đã thảo luận với Roger Penrose về ý kiến định nghĩa một hố đen như là một tập hợp những biến cố mà từ đó không vật gì có thể thoát ra tới một khoảng cách xa – định nghĩa này ngày nay đã được chấp nhận một cách rộng rãi. Điều đó có nghĩa rằng ranh giới của hố đen, tức chân trời biến cố, được hình thành bởi những đường đi trong không-thời gian của các tia sáng không thể thoát ra khỏi hố đen, vĩnh viễn lảng vảng trên mép bờ (H. 7.1). Điều này gần giống như một người chạy trốn cảnh sát rượt đuổi và chỉ có thể chạy trước một bước chứ không thể chạy cách xa hơn!

Bỗng nhiên tôi ý thức rằng đường đi của những tia sáng này có thể không bao giờ tiến về phía nhau. Nếu chúng tiến về phía nhau thì cuối cùng chúng phải gặp nhau. Điều đó cũng giống như bạn đụng vào một người nào khác đang chạy trốn cảnh sát ngược chiều với bạn – rốt cuộc cả hai đều bị bắt! (Hoặc trong trường hợp này là cả hai đều rơi vào hố đen.) Nhưng nếu những tia sáng này bị hố đen nuốt chửng thì chúng không thể nằm trên ranh giới của hố đen. Vì vậy đường đi của tia sáng trong chân trời biến cố phải luôn luôn di chuyển song song với nhau, hoặc rời xa nhau. Một cách khác để thấy điều này là chân trời biến cố, ranh giới của hố đen, giống như mép bờ của một bóng đen – bóng đen sự tận số gần kề. Nếu nhìn vào bóng đen tạo nên bởi một nguồn từ rất xa, chẳng hạn như mặt trời, bạn sẽ thấy rằng những tia sáng trong mép bờ không tiến về phía nhau.

Nếu những tia sáng tạo thành chân trời biến cố – ranh giới của hố đen – không bao giờ có thể tiến về phía nhau thì diện tích của chân trời biến cố luôn luôn giữ nguyên hoặc gia tăng với thời gian chứ không bao giờ có thể giảm bớt – vì nếu giảm bớt thì có nghĩa rằng ít ra một số tia sáng trong ranh giới phải tiến về phía nhau. Thật ra, diện tích đó sẽ gia tăng mỗi khi vật chất hoặc phóng xạ rơi vào hố đen (H. 7.2). Hoặc khi nào hai hố đen đụng vào nhau và hòa nhập thành một hố đen đơn độc, diện tích chân trời biến cố của hố đen tận cùng đó sẽ lớn hơn hoặc bằng tổng số của những diện tích chân trời biến cố của hai hố đen nguyên thủy (H. 7.3). Đặc tính bất giảm này của diện tích chân trời biến cố đặt ra một sự hạn chế quan trọng đối với hành vi của hố đen có thể xảy ra. Khám phá này khiến tôi bị kích động đến nỗi đêm hôm đó tôi chẳng ngủ được nhiều. Hôm sau tôi gọi điện thoại cho Roger Penrose. Anh ấy đồng ý với tôi. Tôi nghĩ rằng thật ra anh ấy đã biết về đặc tính này của diện tích chân trời biến cố. Tuy nhiên, anh ấy đã dùng một định nghĩa hơi khác về hố đen. Anh ấy không nhận ra rằng những ranh giới của

hố đen theo hai định nghĩa đều giống nhau, do đó những diện tích của chúng cũng giống nhau, miễn rằng hố đen đã ổn định ở trạng thái mà nó không còn thay đổi với thời gian.

Hành vi bất giảm của diện tích hố đen khiến người ta dễ liên tưởng tới hành vi của lượng vật lý gọi là "entropy" dùng để đo lường mức độ vô trật tự của một hệ thống. Kinh nghiệm thông thường cho chúng ta thấy rằng sự vô trật tự có khuynh hướng gia tăng nếu không có sự can thiệp nào từ bên ngoài. (Hãy đình chỉ những việc tu bổ nhà cửa thì bạn sẽ thấy ngay điều này!) Người ta có thể tạo trật tự từ vô trật tự (thí dụ bạn có thể sơn nhà), nhưng điều này đòi hỏi tới sự tiêu hao sinh lực hoặc năng lượng, và do đó làm giảm số năng lượng trật tự có sẵn.

Quan niệm này được mô tả chính xác qua định luật thứ nhì của môn nhiệt động học (thermodynamics). Định luật này nói rằng entropy của một hệ thống biệt lập luôn luôn gia tăng, và rằng khi hai hệ thống liên kết với nhau, entropy của hệ thống phối hợp này sẽ lớn hơn tổng số của những entropies của các hệ thống đơn độc. Thí dụ, hãy xét một hệ thống gồm những phân tử khí trong một cái hộp. Các phân tử có thể được coi như những viên bi-a không ngừng đụng vào nhau và nảy ra khỏi các vách của cái hộp. Nhiệt độ của khí càng cao thì các phân tử di chuyển càng nhanh hơn, và do đó chúng càng đụng vào vách hộp thường xuyên hơn và mạnh hơn, vì vậy chúng tạo áp lực hướng ngoại mạnh hơn lên vách hộp. Giả thử rằng lúc đầu tất cả các phân tử bị nhốt ở phía bên trái của hộp bởi một bức vách ngăn cách. Nếu sau đó người ta tháo gỡ bức vách ngăn cách, các phân tử sẽ có khuynh hướng lan tràn khắp nơi và chiếm cứ cả hai bên hộp. Vào lúc nào đó sau này, do tình cờ, tất cả các phân tử đều nằm ở bên phải hoặc trở về bên trái, nhưng khả thể lớn lao hơn phải xảy ra là con số các phân tử sẽ hầu như đồng đều trong cả hai bên hộp. Một trạng thái như vậy thì kém trật tự hơn – hoặc vô trật tự hơn – trạng thái nguyên thủy trong đó tất cả các phân tử đều nằm ở bên trái. Vì vậy người ta nói rằng entropy của khí trong hộp đã gia tăng. Tương tự như vậy, giả thử người ta bắt đầu với hai cái hộp, một cái đựng các phân tử dưỡng khí và cái kia đựng các phân tử khí nitơ. Nếu người ta nối liền hai cái hộp với nhau và tháo gỡ vách ngăn cách, các phân tử dưỡng khí và các phân tử nitơ sẽ bắt hòa trộn lẫn nhau. Một lúc sau, trạng thái có nhiều khả năng xảy ra nhất là sự hòa trộn khá đồng đều của các phân tử dưỡng khí và nitơ trong khắp hai hộp. Trạng thái này ít trật tự hơn, do đó có nhiều entropy hơn, trạng thái ban đầu của hai cái hộp riêng rẽ.

Định luật thứ nhì của nhiệt động học có một địa vị khác với địa vị của những định luật khoa học khác, chẳng hạn như định luật về hấp lực của Newton, vì nó không luôn luôn đứng vững mà chỉ đúng trong đại đa số trường hợp. Khả năng của tất cả phân tử khí trong cái hộp đầu tiên của chúng ta đều nằm trong nửa hộp, ở một lúc nào đó về sau này, có tỉ lệ là một trên hàng triệu triệu (1/triệu triệu) nhưng có thể xảy ra. Tuy nhiên, nếu người ta có một hố đen, dường như có một cách vi phạm định luật thứ nhì dễ dàng hơn: chỉ cần liêng một số vật chất có nhiều entropy, chẳng hạn như một hộp khí, xuống hố đen. Tổng số entropy của vật chất bên ngoài hố đen sẽ giảm thiểu. Đương nhiên người ta vẫn có thể nói rằng tổng số entropy, kể cả entropy bên trong hố đen, không giảm bớt – nhưng vì không có cách nào để nhìn vào bên trong hố đen, chúng ta không thể thấy vật chất trong đó có bao nhiêu entropy. Nếu hố đen có đặc tính nào đó để người quan sát bên ngoài có thể biết được entropy của nó, và entropy này sẽ gia tăng mỗi khi vật chất mang entropy rơi xuống hố đen, thì thật là tốt. Theo sau khám phá, được mô tả trên đây, rằng diện tích của chân trời biến cố gia tăng mỗi khi vật chất rơi vào một hố đen, một sinh viên nghiên cứu tại Đại Học Princeton tên là Jacob Bekenstein đã đưa ra ý kiến rằng diện tích của chân trời biến cố là sự đo lường entropy của hố đen. Khi vật chất mang entropy rơi vào một hố đen, diện tích của chân trời biến cố sẽ gia tăng, do đó tổng số entropy của vật chất bên ngoài hố đen và diện tích của các chân trời sẽ không bao giờ giảm thiểu.

Ý kiến này có vẻ ngăn cản sự vi phạm định luật thứ nhì của nhiệt động học trong đa số tình huống. Tuy nhiên, nó có một khuyết điểm không thể chấp nhận. Nếu một hố đen có entropy thì nó cũng phải có một nhiệt độ. Nhưng một vật thể với một nhiệt độ nào đó phải phát ra bức xạ ở một tốc độ nào đó. Qua kinh nghiệm thông thường chúng ta thấy rằng nếu đốt nóng một cây sắt gấp than trong lò sưởi thì nó sẽ nóng đỏ lên và phát ra bức xạ; tuy nhiên, những vật thể ở nhiệt độ thấp hơn cũng phát ra bức xạ; chúng ta thường không nhận ra điều này là vì số lượng bức xạ của chúng tương đối nhỏ. Bức xạ này cần phải có để khỏi vi phạm định luật thứ nhì của nhiệt động học. Cho nên các hố đen phải phát ra bức xạ. Nhưng theo như chính định nghĩa của chúng thì hố đen được coi là những vật thể không phát ra bất cứ thứ gì. Vì vậy có vẻ như diện tích của chân trời biến cố của một hố đen không thể được coi là entropy của nó. Năm 1972 tôi viết một luận văn cùng với Brandon Carter và một đồng sự người Mỹ, Jim Bardeen, trong đó chúng tôi vạch ra rằng tuy có nhiều điểm tương đồng giữa entropy và diện tích của chân trời biến cố, nhưng vẫn có điều nan giải triệt tiêu này. Tôi phải nhìn nhận rằng khi viết luận văn này tôi đã bị thúc đẩy một phần bởi sự bực bội đối với Bekenstein, người mà tôi cảm thấy đã sử dụng sai phạm pháp của tôi

về sự gia tăng diện tích của chân trời biến cố. Tuy nhiên, sau cùng thì hóa ra anh ấy nói đúng trên căn bản, dù rằng trên một phương diện mà anh ấy đã không dự liệu.

Vào tháng 9 năm 1973, khi tôi đang thăm viếng Mạc Tu Khoa, tôi thảo luận về hố đen với hai chuyên gia hàng đầu của Liên Xô, Yakov Zeldovich và Alexander Starobinsky. Họ thuyết phục tôi rằng, theo nguyên lý bất định trong cơ học lượng tử, các hố đen quay tròn phải sanh ra và phát ra những hạt. Tôi tin những lý luận của họ trên những cơ sở vật lý, nhưng tôi không thích đường lối toán học mà họ dùng để tính toán bức xạ. Cho nên tôi bắt tay vào việc hoạch định một phương pháp xử lý toán học tốt hơn, mà tôi đã mô tả tại một cuộc hội thảo không chính thức ở Đại Học Oxford vào cuối tháng 11 năm 1973. Lúc bấy giờ tôi chưa thi hành những tính toán để tìm ra mức độ bức xạ là bao nhiêu. Tôi trông mong tìm thấy bức xạ mà Zeldovich và Starobinsky đã tiên đoán từ những hố đen. Tuy nhiên, khi thi hành việc tính toán, tôi vừa ngạc nhiên vừa bức bối khi tìm ra rằng ngay cả những hố đen không quay tròn hiển nhiên cũng phải sanh ra và phát ra những hạt ở một tốc độ bất biến.

Ban đầu tôi nghĩ rằng sự bức xạ này cho thấy một trong những xấp xỉ gần đúng (approximations) mà tôi đã sử dụng là vô hiệu. Tôi e ngại rằng nếu Bekenstein phát hiện điều này thì anh ấy sẽ dùng nó như là một biện luận bổ túc để hỗ trợ những ý kiến của mình về entropy của hố đen – mà tôi vẫn thấy không ưa. Tuy nhiên, khi tôi càng nghĩ về nó thì những xấp xỉ gần đúng càng có vẻ xác thực. Nhưng sau cùng tôi tin rằng sự bức xạ có thật là bởi vì cái phổ của những hạt bị bức xạ giống hệt như cái phổ bức xạ của một vật thể nóng, và rằng hố đen phát ra những hạt ở tốc độ chính xác để khỏi vi phạm định luật thứ nhì của nhiệt động học. Kể từ đó những tính toán đã được những người khác lập lại bằng một số những hình thức khác nhau. Tất cả đều xác xác nhận rằng một hố đen phải phát ra những hạt và bức xạ, giống như nó là một vật thể nóng với một nhiệt độ chỉ tùy thuộc vào khối lượng của hố đen: khối lượng càng cao thì nhiệt độ càng thấp.

Làm sao một hố đen lại có vẻ như phát ra những hạt khi chúng ta biết rằng không có thứ gì có thể vượt thoát ra từ bên trong chân trời biến cố? Câu trả lời, theo thuyết lượng tử cho chúng ta biết, là các hạt không phát ra từ bên trong hố đen mà từ khoảng không gian "trống rỗng" ngay bên ngoài chân trời biến cố của hố đen! Chúng ta có thể hiểu điều này theo cách sau đây: Cái mà chúng ta nghĩ tới như là không gian "trống rỗng" không thể hoàn toàn trống rỗng, vì điều đó sẽ có nghĩa rằng tất cả các trường – như trường

hấp lực và trường điện từ – phải đúng là số 0. Tuy nhiên, trị số của một trường và tốc độ biến đổi của nó với thời gian giống như vị trí và vận tốc của một hạt: nguyên lý bất định hàm ý rằng khi người ta biết càng chính xác hơn về những lượng này thì người ta lại biết càng thiếu chính xác hơn về lượng khác. Vì vậy trong không gian trống rỗng trường không thể được ấn định ở đúng số 0, vì khi đó nó sẽ có cả một trị số chính xác (số 0) và một tốc độ biến đổi chính xác (cũng là số 0). Phải có một số lượng bất định tối thiểu nào đó, hoặc những thăng giáng lượng tử, trong trị số của trường. Người ta có thể coi những thăng giáng này như là những đôi hạt của ánh sáng hoặc hấp lực cùng xuất hiện ở thời khắc nào đó, rồi lìa khỏi nhau, và rồi lại tái hợp và tiêu diệt lẫn nhau. Những hạt này là những hạt ảo giống như những hạt mang hấp lực của mặt trời: không giống như những hạt thật, người ta không thể trực tiếp quan sát chúng bằng một máy dò hạt. Tuy nhiên, những hiệu ứng gián tiếp của chúng, chẳng hạn như những biến đổi nhỏ trong năng lượng của những quỹ đạo điện tử trong các nguyên tử, có thể đo lường được và phù hợp với những tiên đoán lý thuyết tới độ chính xác đáng kể. Nguyên lý bất định cũng tiên đoán rằng sẽ có những đôi hạt vật chất ảo tương tự, như những điện tử hoặc những quark. Tuy nhiên, trong trường hợp này một thành viên của đôi sẽ là một hạt và thành viên kia là một phản hạt (những phản hạt của ánh sáng và hấp lực đều giống như những hạt).

Vì năng lượng không thể sanh ra từ hư không, cho nên một trong hai thành viên của một đôi hạt/phản hạt sẽ có năng lượng dương, và thành viên kia có năng lượng âm. Cái có năng lượng âm phải chịu số phận là hạt ảo có đời sống ngắn ngủi, vì hạt thực luôn luôn có năng lượng dương trong những tình huống bình thường. Cho nên nó đi tìm bạn của nó và tiêu diệt nhau. Tuy nhiên, một hạt thực ở gần một vật thể có khối lượng lớn sẽ có ít năng lượng hơn là nếu nó ở xa, vì nó phải tốn năng lượng để đối kháng với hấp lực của vật thể. Bình thường, năng lượng của hạt vẫn còn là dương, nhưng trường hấp lực bên trong một hố đen mạnh đến nỗi ngay cả một hạt thực cũng có thể có năng lượng âm. Vì vậy, nếu một hố đen hiện diện, hạt ảo mang năng lượng âm có thể rơi vào hố đen và trở thành một hạt thực hoặc phản hạt. Trong trường hợp này nó không cần phải cùng hủy diệt với bạn của nó. Người bạn bị bỏ rơi của nó cũng có thể rơi vào hố đen. Hoặc, vì có năng lượng dương, người bạn này cũng có thể vượt thoát khỏi vùng lân cận của hố đen như là một hạt thực hoặc phản hạt (H. 7.4). Đối với một người quan sát từ xa, nó có vẻ như được phát ra từ hố đen. Hố đen càng nhỏ thì hạt có năng lượng âm sẽ phải đi khoảng cách càng ngắn, trước khi nó trở thành một hạt thực, và do đó tốc độ bức xạ và nhiệt độ biểu kiến của hố đen càng lớn.

Năng lượng dương của bức xạ phát ra sẽ được quân bình bởi những hạt mang năng lượng âm rơi vào hố đen. Theo phương trình $E = mc^2$ (với E là năng lượng, m là khối lượng, và c là tốc độ ánh sáng), năng lượng tỉ lệ thuận với khối lượng. Cho nên khi năng lượng âm chảy vào hố đen nó làm giảm khối lượng của hố đen. Khi hố đen bị mất khối lượng, diện tích chân trời biến cố của nó trở thành nhỏ hơn, nhưng sự sút giảm trong entropy của hố đen được bù đắp nhiều hơn bởi entropy của bức xạ phát ra, cho nên định luật thứ nhì không bị vi phạm.

Và lại, khối lượng của hố đen càng nhỏ thì nhiệt độ của nó càng cao. Vì vậy khi hố đen tổn thất khối lượng, nhiệt độ và tốc độ bức xạ của nó gia tăng, do đó nó tổn thất khối lượng càng nhanh hơn. Người ta không rõ điều gì xảy ra khi khối lượng của hố đen trở thành cực kỳ nhỏ, nhưng điều hợp lý nhất để phỏng đoán là nó sẽ hoàn toàn biến mất trong một bùng nổ bức xạ cuối cùng thật là khủng khiếp, tương đương với sự phát nổ của hàng triệu trái bom kinh khí.

Một hố đen với khối lượng vài lần lớn hơn khối lượng mặt trời sẽ có một nhiệt độ chỉ là một phần mười triệu độ trên số không tuyệt đối. Nhiệt độ này thấp hơn rất nhiều so với nhiệt độ của bức xạ vi ba tràn ngập trong vũ trụ (khoảng 2.70 trên số không tuyệt đối), vì vậy các hố đen loại này phát ra bức xạ ít hơn bức xạ mà chúng thu hút. Nếu vũ trụ sẽ mãi mãi tiếp tục bành trướng, nhiệt độ của bức xạ vi ba sẽ tới lúc giảm xuống mức thấp hơn nhiệt độ của một hố đen loại này, lúc đó nó sẽ bắt đầu tổn thất khối lượng. Nhưng ngay cả lúc đó nhiệt độ của nó sẽ thấp đến nỗi phải cần một thời gian khoảng một triệu triệu triệu triệu triệu triệu triệu triệu triệu năm (số 1 với 66 số không theo sau) để hoàn toàn bay hơi tan biến. Thời gian này dài hơn tuổi của vũ trụ rất nhiều – tuổi của vũ trụ chỉ vào khoảng từ mười tới hai mươi ngàn triệu năm (số 1 hoặc số 2 với 10 số không theo sau).

Mặt khác, như đã đề cập trong Chương 6, có thể có những hố đen nguyên thủy, với khối lượng nhỏ hơn nhiều, được tạo bởi sự co sụp của những nơi bất thường trong những giai đoạn rất sớm của vũ trụ. Những hố đen như vậy có nhiệt độ cao hơn nhiều và phát ra bức xạ ở tốc độ nhanh hơn nhiều. Một hố đen nguyên thủy với khối lượng ban đầu vào khoảng một ngàn triệu tấn có sanh mệnh hầu như bằng tuổi của vũ trụ. Những hố đen nguyên thủy với khối lượng ban đầu nhỏ hơn con số này thì đã hoàn toàn bay hơi hết rồi, nhưng những hố đen nào có khối lượng lớn hơn một chút thì vẫn còn đang phát ra bức xạ gồm những tia X và tia gamma. Những tia X và tia gamma này giống như những sóng ánh sáng, nhưng với độ dài sóng ngắn hơn nhiều.

Những hố loại này hầu như không xứng đáng với tính từ "đen": thật ra chúng là những thiên thể nóng trắng và phát ra năng lượng ở tốc độ khoảng mười ngàn megawatt.

Một hố đen loại này có thể điều động được mười nhà máy sản xuất điện cỡ lớn, nếu chúng ta có thể khai thác được năng lực của nó. Tuy nhiên, điều này rất khó: hố đen có khối lượng của một hòn núi bị nén chặt thành nhỏ hơn một phần triệu triệu của một inch, bằng cỡ hạt nhân của một nguyên tử! Nếu bạn có một hố đen như vậy trên mặt địa cầu, sẽ không có cách nào để cản nó khỏi xuyên qua vỏ trái đất và rơi vào trung tâm trái đất. Nó sẽ chạy lên chạy xuống qua vỏ trái đất nhiều lần rồi cuối cùng nằm yên tại trung tâm. Vì vậy nơi duy nhất để đặt một hố đen như vậy, để có thể sử dụng năng lượng mà nó phát ra, phải là trên quỹ đạo vòng quanh trái đất – và biện pháp duy nhất để có thể đưa nó lên quỹ đạo phải là hấp dẫn nó lên đó bằng cách kéo một khối lượng lớn chạy phía trước nó, giống như một củ cà-rốt phía trước một con lừa. Đề nghị này có vẻ không thực tiễn, ít ra là trong tương lai gần.

Nhưng, dù chúng ta không thể khai thác năng lực phát ra từ những hố đen nguyên thủy này, chúng ta có những cơ hội để quan sát chúng hay không? Chúng ta có thể tìm kiếm những tia gamma mà những hố đen nguyên thủy phát ra trong phần lớn thời gian mà chúng tồn tại. Tuy bức xạ từ đa số những hố đen này rất yếu, vì chúng ở rất xa, nhưng tổng số bức xạ từ toàn thể của chúng có thể dò tìm được. Chúng ta quan sát được một bối cảnh gồm các tia gamma: Hình 7.5 cho thấy cường độ quan sát khác biệt ở những tần số khác nhau (số sóng mỗi giây). Tuy nhiên, bối cảnh này rất có thể phát xuất từ những quá trình nào đó không phải là những hố đen nguyên thủy. Đường cong vẽ bằng chấm trong hình 7.5 cho thấy cường độ thay đổi tùy theo tần số của tia gamma phát ra bởi những hố đen nguyên thủy, nếu có trung bình 300 hố đen trong một vùng không gian của một khối lập phương rộng một năm ánh sáng. Vì vậy, có thể nói rằng những quan sát bối cảnh tia gamma không cung cấp cho chúng ta chứng cứ xác thực nào về sự hiện hữu của những hố đen nguyên thủy, nhưng chúng cho chúng biết rằng số hố đen nguyên thủy trung bình không thể nhiều hơn 300 trong mỗi vùng không gian hình lập phương rộng một năm ánh sáng trong vũ trụ. Giới hạn này có nghĩa rằng những hố đen nguyên thủy chỉ chiếm một phần triệu của toàn thể vật chất trong vũ trụ là nhiều nhất.

Vì những hố đen nguyên thủy hiếm như vậy, cho nên khó có thể có một hố đen ở đủ gần trái đất để chúng ta quan sát được nó như là một nguồn tia gamma riêng biệt. Nhưng vì hấp lực thu hút các hố đen nguyên thủy về phía

bất cứ vật chất nào, cho nên chúng thường hiện hữu nhiều hơn ở trong và xung quanh các thiên hà. Vì vậy, dù bối cảnh tia gamma cho chúng ta biết rằng không thể có nhiều hơn 300 hố đen nguyên thủy trong mỗi khối lập phương không gian rộng trung bình một năm ánh sáng, nó không cho chúng ta biết gì về mật độ của những hố đen nguyên thủy có thể hiện hữu trong thiên hà của chúng ta. Giả sử những hố đen nguyên thủy trong thiên hà của chúng ta cao gấp một triệu lần con số đó thì hố đen gần chúng ta nhất chỉ cách trái đất khoảng một ngàn triệu kilômét, tức là có khoảng cách tương đương với khoảng cách từ trái đất tới Diêm Vương Tinh (Pluto), hành tinh xa nhất mà chúng ta biết. Ở khoảng cách này nó vẫn còn khó tìm ra bức xạ đều đặn của một hố đen, dù nếu năng lực của nó là mười ngàn megawatt. Để quan sát một hố đen nguyên thủy người ta phải dò tìm vài lượng tử tia gamma đến từ cùng một hướng trong vòng một thời gian hợp lý, chẳng hạn một tuần lễ. Nếu không, chúng có thể chỉ là thành phần của bối cảnh. Nhưng nguyên lý lượng tử của Planck cho chúng ta biết rằng mỗi lượng tử tia gamma có một năng lượng rất cao, vì các tia gamma có một tần số rất cao, vì vậy không cần tới nhiều lượng tử để phóng ra cả mười ngàn megawatt. Và để quan sát những lượng tử ít ỏi này từ khoảng cách của Diêm Vương Tinh người ta cần phải có một máy dò tia gamma lớn hơn bất cứ máy nào đã được thiết lập cho tới nay. Hơn nữa, máy dò sẽ phải đặt trên ngoại tầng không gian, vì tia gamma không thể xuyên qua bầu khí quyển.

Đương nhiên, nếu một hố đen ở gần trái đất như Diêm Vương Tinh đến lúc tận số và bùng nổ thì có thể dễ dàng dò tìm được bức xạ cuối cùng phát ra khi nổ. Nhưng nếu hố đen đã phát ra bức xạ trong thời gian mười hoặc hai mươi năm qua, rất khó có thể xảy ra chuyện nó sẽ kết liễu cuộc đời trong vòng ít năm sắp tới, thay vì đã bùng nổ vài triệu năm trong quá khứ hoặc sẽ bùng nổ vài triệu năm trong tương lai! Vì vậy, để có một cơ hội hợp lý được dịp trông thấy một vụ bùng nổ như vậy trước khi ngân quỹ tài trợ cho cuộc nghiên cứu của bạn hết thời hạn, bạn cần phải tìm cách nào để phát hiện bất cứ những vụ nổ nào có khoảng cách trong vòng khoảng một năm ánh sáng. Bạn vẫn cần phải có một máy dò tìm tia gamma thật lớn để quan sát vài lượng tử tia gamma từ vụ nổ. Tuy nhiên, trong trường hợp này, không cần thiết phải xác định rằng tất cả các lượng tử tìm thấy đều đến từ cùng một phương hướng: chúng ta chỉ cần nhận thấy chúng đều đến cách nhau một khoảng thời gian ngắn là đủ để tin tưởng một cách hợp lý rằng chúng đến từ cùng một vụ bùng nổ.

Một cái máy dò tìm tia gamma có khả năng tìm thấy những hố đen nguyên thủy là trọn bầu khí quyển của trái đất. (Dù sao chẳng nữa, chúng ta không

thể nào chế tạo được một cái máy dò lớn hơn thế!) Khi một lượng tử tia gamma có năng lượng cao đập vào các nguyên tử trong bầu khí quyển của chúng ta, nó tạo ra những cặp điện tử và dương điện tử (positron, cũng gọi là antielectron – phản điện tử). Khi những cặp hạt tử này đập vào các nguyên tử khác chúng lại tạo thêm những cặp điện tử và dương điện tử khác, điều này tạo thành một trận mưa điện tử. Kết quả sanh ra một hình thức ánh sáng gọi là bức xạ Cerenkov (Cerenkov radiation). Vì thế người ta có thể dò tìm những phóng xạ tia gamma bằng cách tìm những lần chớp ánh sáng trong bầu trời ban đêm. Đương nhiên có một số những hiện tượng khác, chẳng hạn như những lần chớp do các luồng điện gây ra và những phản chiếu của ánh sáng mặt trời dội xuống từ những vệ tinh đang quay tròn và những mảnh vụn trên quỹ đạo, đều có thể phát ra những tia chớp trong bầu trời. Người ta có thể phân biệt những lần chớp do tia gamma gây ra với những hiện tượng kể trên bằng cách quan sát các lần chớp cùng một lúc tại hai hoặc vài địa điểm cách xa nhau. Một cuộc tìm kiếm như vậy đã được thi hành bởi hai khoa học gia Ái Nhĩ Lan, Neil Porter và Trevor Weekes, sử dụng những viễn vọng kính trong tiểu bang Arizona. Họ đã tìm thấy một số lần chớp nhưng không có cái nào có thể xác nhận là những bức xạ tia gamma đến từ các hố đen nguyên thủy.

Dù nếu việc tìm kiếm những hố đen nguyên thủy không có kết quả gì, có vẻ là như vậy, nó sẽ vẫn còn cho chúng ta tin tức quan trọng về những thời kỳ rất sớm của vũ trụ. Nếu vũ trụ ở thời kỳ sớm từng là hỗn loạn hoặc vô quy tắc, hoặc nếu áp lực của vật chất rất thấp, thì người ta trông mong nó sản xuất nhiều hố đen nguyên thủy hơn giới hạn đặt ra bởi những quan sát của chúng ta về bối cảnh tia gamma. Chỉ trong trường hợp vũ trụ thời ban sơ đã rất trơn tru và đồng nhất, với áp lực cao, thì người ta mới có thể giải thích sự vắng mặt của những con số hố đen nguyên thủy có thể quan sát được.

Ý tưởng về bức xạ từ những hố đen là thí dụ đầu tiên về một dự kiến tùy thuộc vào một phương thức thiết yếu về cả những lý thuyết vĩ đại của thế kỷ 20: thuyết tương đối tổng quát và cơ học lượng tử. Nó đã gây ra nhiều chống đối lúc đầu vì nó làm xáo trộn quan điểm đương thời: "Làm sao một hố đen lại có thể phát ra bất cứ cái gì?" Lần đầu khi tôi tuyên bố kết quả từ những tính toán của tôi tại một hội nghị ở Phòng Thí Nghiệm Rutherford-Appleton gần Oxford, mọi người đều hoài nghi. Vào lúc kết thúc bài diễn thuyết của tôi, vị chủ tịch của buổi hội thảo, John G. Taylor của trường King's College, Luân Đôn, bảo rằng tất cả những điều tôi nói đều vô nghĩa. Thậm chí ông viết một bài luận văn để nói như vậy. Tuy nhiên, cuối cùng đa số những người đó, kể cả John Taylor, đã đi tới kết luận rằng các hố đen phải

bức xạ như những vật thể nóng nếu những ý tưởng khác của chúng ta về thuyết tương đối tổng quát và cơ học lượng tử là đúng. Vì thế, tuy rằng chúng ta chưa tìm được một hố đen nguyên thủy, nhiều người đồng ý rằng nếu chúng ta tìm thấy thì nó phải phát ra nhiều tia gamma và tia X.

Sự hiện hữu của bức xạ từ những hố đen có vẻ ngụ ý rằng sự co sụp do hấp lực chưa phải là tình trạng chung cuộc và bất khả đảo ngược như trước đây chúng ta đã nghĩ. Nếu một phi hành gia rơi vào một hố đen, khối lượng của nó sẽ gia tăng, nhưng cuối cùng năng lượng tương đương với khối lượng gia tăng đó sẽ quay trở về vũ trụ trong hình thức của bức xạ. Như vậy, có thể nói rằng nhà phi hành sẽ được "tái biên chế." Tuy nhiên, đây là một loại bất tử ngắn ngủi đáng thương, vì bất cứ quan niệm cá nhân nào về thời gian đối với nhà phi hành hầu như chắc chắn sẽ chấm dứt khi họ bị xé vụn bên trong hố đen! Ngay cả những loại hạt mà cuối cùng hố đen phát ra cũng sẽ khác với những hạt trong nguyên tử cấu tạo thành nhà phi hành: đặc trưng duy nhất của nhà phi hành còn sót lại là khối lượng hoặc năng lượng của họ.

Những xấp xỉ mà tôi dùng để tính sự xạ từ những hố đen sẽ rất thích hợp khi hố đen có một khối lượng lớn hơn một phần nhỏ của một gram. Tuy nhiên, chúng sẽ tan rã vào lúc kết thúc cuộc đời của hố đen khi khối lượng của nó trở thành rất nhỏ. Kết quả hợp lý nhất có vẻ là hố đen sẽ biến mất, ít ra là từ vùng của chúng ta trong vũ trụ, đem theo với nó nhà phi hành và bất cứ điểm kỳ dị nào có thể hiện hữu bên trong nó, nếu một điểm kỳ dị thực sự hiện hữu. Đây là dấu hiệu đầu tiên bảo rằng cơ học lượng tử có thể trừ khử những điểm kỳ dị mà thuyết tương đối tổng quát đã tiên đoán. Tuy nhiên, những phương pháp mà tôi và những người khác đã sử dụng trong năm 1974 không thể trả lời những câu hỏi như: liệu các điểm kỳ dị có xuất hiện trong hấp lực lượng tử hay không. Vì vậy, từ năm 1975 trở đi tôi bắt đầu khai triển một đường lối mạnh hơn để xét tới hấp lực lượng tử căn cứ vào ý kiến của Richard Feynman về một tổng thể của lịch sử. Những câu trả lời mà đường lối này đề xướng đối với nguồn gốc và chung cuộc của vũ trụ và những gì chứa trong đó, như các phi hành gia, sẽ được mô tả trong hai chương sau đây. Chúng ta sẽ thấy rằng tuy nguyên tắc bất định đặt những giới hạn đối với sự chính xác của tất cả những tiên đoán của chúng ta, nhưng đồng thời nó có thể trừ khử sự bất khả tiên đoán cơ bản xảy ra tại một điểm kỳ dị không-thời gian.

CHƯƠNG 8 - NGUỒN GỐC VÀ VẬN MỆNH CỦA VŨ TRỤ

Thuyết tương đối tổng quát của Einstein, riêng nó, tiên đoán rằng không-thời gian đã khởi đầu ở điểm kỳ dị nổ lớn (big bang singularity) và sẽ đi tới một chung cuộc hoặc ở điểm kỳ dị sụp đổ lớn (nếu toàn thể vũ trụ lại sụp đổ), hoặc ở một điểm kỳ dị bên trong một hố đen (nếu riêng một khu vực nào đó, như một ngôi sao, sụp đổ). Bất cứ vật chất nào rơi vào hố cũng sẽ bị hủy diệt ở điểm kỳ dị, và chỉ còn hiệu ứng hấp lực của khối lượng của nó là tiếp tục được cảm nhận từ bên ngoài. Mặt khác, khi xét tới cả các hiệu ứng lượng tử, có vẻ như khối lượng hoặc năng lượng của vật chất cuối cùng sẽ được trả lại cho phần còn lại của vũ trụ, và rằng cái hố đen, cùng với bất cứ điểm kỳ dị nào bên trong nó, sẽ bốc hơi và cuối cùng biến mất. Có thể cơ học lượng tử có một hậu quả giống nhau về những điểm kỳ dị nổ lớn và điểm kỳ dị sụp đổ lớn hay không? Điều gì thực sự xảy ra ngay ở những giai đoạn đầu hoặc cuối của vũ trụ, khi các trường hấp lực mạnh đến độ các hậu quả lượng tử không thể bị bỏ qua? Vũ trụ quả thực có một khởi thủy hoặc một chung cuộc hay không? Và nếu có, chúng giống như cái gì?

Trong suốt thập niên 1970, tôi chủ yếu nghiên cứu các hố đen, nhưng vào năm 1981 sự lưu tâm của tôi vào những vấn đề nguồn gốc và số phận của vũ trụ lại thức dậy khi tôi tham dự một hội nghị về vũ trụ học được tổ chức bởi các tu sĩ Dòng Jesuit ở Vatican. Giáo Hội Thiên Chúa đã phạm một sai lầm lớn đối với Galileo khi họ cố áp đặt luật lệ lên một vấn đề khoa học, khi tuyên bố rằng mặt trời xoay quanh trái đất. Ngày nay, hàng thế kỷ sau, họ đã quyết định mời một số các chuyên viên tới để cố vấn về vũ trụ học. Vào cuối cuộc hội nghị, những người tham dự đã được diện kiến với giáo hoàng. Ngài nói với chúng tôi rằng không có gì trở ngại khi nghiên cứu sự tiến hóa của vũ trụ sau vụ nổ lớn, nhưng chúng tôi không nên tìm hiểu chính vụ nổ lớn bởi vì đó là lúc Sáng Thế và vì vậy đó là công việc của Thượng Đế. Tới lúc đó tôi lấy làm mừng vì ngài đã không biết cái đề tài nói chuyện mà tôi mới đưa ra tại cuộc hội nghị -- có thể rằng không-thời gian hữu hạn nhưng không có biên giới, có nghĩa rằng nó không có khởi đầu, không có lúc Sáng Thế. Tôi không muốn cùng chung số phận với Galileo, người mà tôi cảm thấy rất gần gũi, một phần vì sự trùng hợp là tôi đã sinh ra đúng 300 năm sau cái chết của ông.

Để giải thích những ý tưởng mà tôi và những người khác đã nghĩ về chuyện cơ học lượng tử có thể ảnh hưởng tới nguồn gốc và vận mệnh của vũ trụ như thế nào, trước hết cần phải hiểu lịch sử của vũ trụ theo như nhiều người đã chấp nhận, theo những gì được biết như là "mô hình nổ lớn nóng." Mô hình

này cho rằng vũ trụ được mô tả bởi một mô hình Friedmann, ngược trở lại vụ nổ lớn. Trong những mô hình như vậy, người ta thấy rằng khi vũ trụ bành trướng, bất cứ vật chất hay sự bức xạ nào trong đó sẽ nguội đi. (Khi vũ trụ lớn gấp đôi, nhiệt độ của nó giảm đi một nửa.) Bởi vì nhiệt độ chỉ là một số đo của năng lượng trung bình -- hay tốc độ -- của các hạt, sự kiện vũ trụ nguội đi này sẽ có một ảnh hưởng lớn lao đối với vật chất trong đó. Ở các nhiệt độ thật cao, các hạt sẽ quay tròn nhanh đến độ chúng có thể thoát được bất cứ sự thu hút nào về phía nhau bởi các lực hạt nhân hoặc điện từ, nhưng khi chúng nguội lại người ta sẽ nghĩ rằng những hạt thu hút lẫn nhau bắt đầu tụ lại với nhau. Hơn nữa, ngay cả những loại hạt hiện hữu trong vũ trụ cũng phụ thuộc vào nhiệt độ. Ở những nhiệt độ đủ cao, những hạt mang nhiều năng lượng đến độ mỗi khi chúng va chạm, nhiều cặp hạt/phản hạt khác nhau sẽ được tạo ra -- và mặc dù một vài trong số những hạt này sẽ biến đi khi đụng vào các phản hạt, chúng sẽ được tạo ra nhanh hơn là chúng có thể biến mất. Tuy nhiên, ở những nhiệt độ thấp hơn, khi các hạt va chạm có ít năng lượng hơn, những cặp hạt/phản hạt sẽ được tạo ra chậm hơn -- và sự biến đi sẽ trở thành nhanh hơn sự sản xuất.

Tại chính vụ nổ lớn, người ta nghĩ vũ trụ phải có cỡ số không, và do đó phải nóng vô hạn. Nhưng khi vũ trụ bành trướng, nhiệt độ của sự phát xạ giảm đi. Một giây sau vụ nổ lớn, nó sẽ giảm còn khoảng mười ngàn triệu độ. Nhiệt độ này vào khoảng một ngàn lần nhiệt độ tại trung tâm của mặt trời, nhưng các nhiệt độ cao như vậy đạt được trong những vụ nổ bom khinh khí. Vào lúc này vũ trụ sẽ phải chứa phần lớn là các quang tử, điện tử, và neutrino (những hạt cực kỳ nhẹ chỉ chịu ảnh hưởng bởi lực yếu và hấp lực) và các phản hạt của chúng, cùng với một số proton (chất tử) và trung hòa tử. Khi vũ trụ tiếp tục bành trướng và nhiệt độ tiếp tục hạ, nhịp độ mà các cặp điện tử/phản điện tử được tạo ra trong những vụ va chạm sẽ hạ xuống dưới nhịp độ mà chúng bị hủy diệt do triệt tiêu lẫn nhau. Do đó hầu hết các điện tử và phản điện tử sẽ tiêu diệt lẫn nhau để sản xuất ra các quang tử, chỉ để lại một ít điện tử. Tuy nhiên các neutrino (trung vi tử) và phản neutrino sẽ không triệt tiêu nhau, bởi vì những hạt này chỉ tương tác với nhau và với những hạt khác một cách rất yếu. Do đó chúng vẫn còn tồn tại cho tới ngày nay. Nếu chúng ta có thể quan sát chúng, đây sẽ là một kiểm nghiệm tốt cho hình ảnh của vũ trụ ở giai đoạn đầu nóng đỏ này. Đáng tiếc là năng lượng của chúng ngày nay quá yếu để chúng ta có thể quan sát chúng một cách trực tiếp. Tuy nhiên, nếu các neutrino không phải là không có khối lượng, mà có một khối lượng nhỏ, như được đề xướng bởi một thí nghiệm không được xác nhận của người Nga thực hiện vào năm 1981, chúng ta có thể phát hiện chúng một cách gián tiếp: chúng có thể là một hình thức "chất tối," như đã được đề cập

trước đây, với hấp lực đủ để làm ngưng sự bành trướng của vũ trụ và khiến vũ trụ lại sụp đổ.

Khoảng một trăm giây sau vụ nổ lớn, nhiệt độ sẽ hạ còn một ngàn triệu độ, bằng nhiệt độ bên trong những ngôi sao nóng nhất. Ở nhiệt độ này các quang tử và trung hòa tử sẽ không còn đủ năng lượng để thoát sự hấp dẫn của những lực hạt nhân mạnh, và sẽ bắt đầu kết hợp với nhau để sinh ra các nhân của các nguyên tử deuterium (khinh khí nặng), chứa một proton và một trung hòa tử. Nhân deuterium sau đó sẽ kết hợp thêm các proton và trung hòa tử để làm thành nhân helium, chứa hai proton và hai trung hòa tử, và còn thêm một lượng nhỏ các cặp nguyên tố nặng hơn, là lithium và beryllium. Người ta có thể tính toán rằng trong mô hình nổ lớn nóng, khoảng một phần tư các proton và trung hòa tử sẽ phải chuyển thành các nhân helium, cùng với một lượng nhỏ khinh khí nặng và các nguyên tố khác. Các trung hòa tử còn lại sẽ phân rã thành các proton, là nhân của các nguyên tử khinh khí bình thường.

Hình ảnh một giai đoạn đầu nóng của vũ trụ được đề xướng lần đầu bởi khoa học gia George Gamow trong một tài liệu nổi tiếng được viết năm 1948 với một học trò của ông, Ralph Alpher. Gamow quả đã có óc khôi hài -- ông đã thuyết phục khoa học gia hạt nhân Hans Bethe để thêm tên ông ta vào tài liệu để tên các tác giả trở thành "Alpher, Bethe, Gamow," giống như ba mẫu tự đầu tiên của bảng mẫu tự Hy Lạp, alpha, beta, gamma: đặc biệt thích hợp cho một tài liệu nói về sự khởi đầu của vũ trụ! Trong tài liệu này họ đã đưa ra sự tiên đoán quan trọng là sự bức xạ (dưới hình thức các quang tử) ngay từ những giai đoạn rất nóng lúc đầu của vũ trụ phải vẫn còn phải tồn tại đâu đây ngày nay, nhưng với nhiệt độ của nó giảm chỉ còn vài độ trên không độ tuyệt đối (-273? C). Đây chính là sự bức xạ mà Penzias và Wilson đã tìm ra năm 1965. Vào lúc mà Alpher, Bethe và Gamow viết tài liệu của họ, người ta không biết nhiều về những phản ứng hạt nhân của các proton và trung hòa tử. Những tiên đoán về tỉ lệ các nguyên tố khác nhau trong vũ trụ sơ khai do đó không chính xác mấy, nhưng những tính toán này đã được lập lại theo sự hiểu biết tốt hơn và hiện giờ rất phù hợp với những gì mà chúng ta quan sát. Hơn nữa, rất khó giải thích bằng bất cứ đường lối nào khác tại sao phải có nhiều helium như vậy trong vũ trụ. Do đó chúng ta khá tự tin rằng chúng ta đang có hình ảnh đúng, ít nhất ngược lại khoảng 1 giây đồng hồ sau vụ nổ lớn.

Chỉ trong vòng vài giờ sau vụ nổ lớn, việc sản xuất ra helium và những nguyên tố khác sẽ ngưng lại. Và sau đó, trong khoảng một triệu năm kế tiếp,

vũ trụ vẫn tiếp tục bành trướng, không có gì nhiều xảy ra. Cuối cùng, một khi nhiệt độ đã giảm còn vài ngàn độ, và các điện tử và nhân không còn đủ năng lượng để thắng thế sự thu hút điện tử giữa chúng với nhau, chúng khởi sự kết hợp lại để làm thành các nguyên tử. Tổng thể vũ trụ tiếp tục bành trướng và nguội lại, nhưng ở những khu vực hơi đậm đặc hơn mức trung bình, sự bành trướng sẽ phải chậm lại bởi sự hấp dẫn của trọng lực mạnh hơn nơi khác. Điều này cuối cùng sẽ làm ngưng sự bành trướng tại vài khu vực và khiến chúng khởi sự suy sụp trở lại. Khi chúng suy sụp, sức kéo trọng lực của vật chất bên ngoài những khu vực này có thể khiến chúng khởi sự quay nhẹ. Khi khu vực sụp đổ trở thành nhỏ hơn, nó sẽ quay nhanh hơn -- giống như những người trượt băng quay tròn trên băng nhanh hơn khi họ thu hai cánh tay lại. Cuối cùng, khi khu vực trở thành đủ nhỏ, nó sẽ quay đủ nhanh để cân bằng sức thu hút của trọng lực, và bằng cách này những thiên hà quay hình đĩa đã được sinh ra. Những khu vực khác, không khởi sự quay, sẽ trở thành những vật thể hình bầu dục gọi là những thiên hà hình e-líp. Trong những thiên hà này, khu vực sẽ ngưng suy sụp bởi vì những phần riêng rẽ của thiên hà sẽ quay tròn một cách ổn định chung quanh trung tâm của nó, nhưng thiên hà sẽ không quay toàn thể.

Khi thời gian trôi qua, khinh khí và khí helium trong thiên hà tách ra thành những đám mây nhỏ hơn và co sụp dưới trọng lực của chúng. Khi những đám mây này co rút lại, và những nguyên tử bên trong chúng va chạm với nhau, nhiệt độ của chất khí sẽ tăng lên, cho tới khi cuối cùng nó trở thành đủ nóng để khởi sự các phản ứng tổng hợp hạt nhân. Những phản ứng này sẽ biến đổi khinh khí thành nhiều helium hơn, và sức nóng phát ra sẽ làm tăng áp suất, và do đó làm các đám mây ngưng co rút thêm nữa. Chúng vẫn ổn định trong trạng thái này trong một thời gian dài như những ngôi sao giống mặt trời của chúng ta, khi đốt khinh khí thành helium và phát ra năng lượng dưới hình thức nhiệt và ánh sáng. Những ngôi sao khối lượng lớn hơn sẽ cần phải nóng nhiều hơn để cân bằng hấp lực mạnh hơn của chúng, khiến các phản ứng tổng hợp hạt nhân diễn ra nhanh hơn đến độ chúng sẽ sử dụng hết số khinh khí của chúng chỉ trong vòng một trăm triệu năm. Khi đó chúng co rút lại một chút, và khi chúng nóng thêm, sẽ khởi sự chuyển đổi helium thành những nguyên tố nặng hơn như carbon và dưỡng khí (oxygen). Tuy nhiên, việc này sẽ không thải ra nhiều năng lượng, do đó một cuộc khủng hoảng sẽ xảy ra, như đã được mô tả trong chương nói về các hố đen. Những gì xảy ra tiếp theo thì không hoàn toàn minh bạch, nhưng có thể là những khu vực trung tâm của ngôi sao sẽ sụp đổ tới một trạng thái thật đậm đặc, như một ngôi sao trung hòa tử hoặc hố đen. Những khu vực bên ngoài của ngôi sao đôi khi có thể bị nổ tung trong một vụ nổ mạnh gọi là một vụ nổ

l siêu tân tinh (supernova), sẽ sáng hơn mọi ngôi sao khác trong thiên hà của nó. Một vài trong số những nguyên tố nặng hơn được sinh ra vào lúc gần cuối cuộc đời của một ngôi sao sẽ bị biến trở lại thành khí trong thiên hà, và sẽ cung cấp một vài trong số nguyên liệu để làm thành thế hệ các ngôi sao mới. Mặt trời của chúng ta chứa vào khoảng 2 phần trăm những nguyên tố nặng hơn này bởi vì nó là một ngôi sao ở thế hệ thứ hai hoặc thứ ba, được hình thành khoảng năm ngàn triệu năm về trước từ một đám mây gồm chất khí quay tròn chứa vật chất vương vãi của những vụ nổ siêu tân tinh trước đó. Hầu hết chất khí trong đám tinh vân đó đã làm thành mặt trời hoặc bị thổi bay đi, nhưng một lượng nhỏ các nguyên tố nặng hơn đã tập hợp lại với nhau để làm thành các vật thể hiện giờ quay chung quanh mặt trời với tính cách các hành tinh như trái đất.

Trái đất lúc đầu rất nóng và không có bầu khí quyển. Theo thời gian nó nguội đi và có một bầu khí quyển phát sinh từ sự thoát các chất hơi từ đá. Bầu khí quyển ban đầu này không phải là bầu khí quyển mà chúng ta có thể sống trong đó. Nó không chứa dưỡng khí, mà chứa nhiều các chất khí khác độc hại đối với chúng ta, như chất hydrogen sulfide (chất khí phát ra mùi trứng thối). Tuy nhiên, có những hình thức sơ khai khác của đời sống có thể phát triển dưới những điều kiện này. Người ta cho rằng chúng đã phát triển ở các đại dương, có thể như là kết quả của những sự phối hợp tình cờ các nguyên tử thành những cơ cấu lớn hơn, gọi là các đại phân tử (macromolecule), có khả năng kết hợp các nguyên tử khác trong đại dương thành những cơ cấu tương tự. Chúng tự sinh sôi nảy nở. Trong vài trường hợp sẽ có những làm lẫn trong sự sinh sản. Hầu hết những làm lẫn này trầm trọng đến nỗi phân tử mới không thể tự sinh sản và cuối cùng bị hủy diệt. Tuy nhiên, một ít những làm lẫn này đã sinh ra những đại phân tử mới tốt hơn trong việc tự sinh sản. Do đó chúng đã có một lợi thế và đã có khuynh hướng thay thế các đại phân tử nguyên thủy. Theo đường lối này một tiến trình tiến hóa đã khởi sự, đưa tới sự phát triển các sinh vật tự sinh sản ngày càng phức tạp hơn. Những hình thức sơ khai của đời sống đã tiêu thụ những vật liệu khác nhau, kể cả chất hydrogen sulfide, và thải ra dưỡng khí. Điều này dần dần đã thay đổi bầu khí quyển thành một tổng hợp mà nó có ngày nay và cho phép phát triển những hình thức đời sống cao hơn như cá, loài bò sát, loài có vú, và cuối cùng là loài người.

Hình ảnh này của một vũ trụ khởi đầu thật nóng và nguội dần khi bành trướng phù hợp với mọi bằng chứng quan sát mà chúng ta có ngày nay. Tuy nhiên, còn một số câu hỏi quan trọng chưa được giải đáp:

(1) Tại sao vũ trụ ban đầu lại nóng như thế?

(2) Tại sao vũ trụ lại đồng nhất như vậy, khi xét trên đại quy mô? Tại sao nó trông như nhau tại mọi điểm của không gian và theo mọi hướng? Đặc biệt, tại sao nhiệt độ của bối cảnh bức xạ vi ba lại gần giống nhau như vậy khi chúng ta nhìn về những hướng khác nhau? Điều này hơi giống như hỏi một số các học sinh một câu hỏi khảo thí. Nếu tất cả họ đều cho một câu trả lời đúng như nhau, bạn có thể khá chắc chắn họ thông tin cho nhau. Tuy nhiên, trong mô hình được mô tả ở trên, đã không có thời gian kể từ vụ nổ lớn để ánh sáng từ một khu vực xa tới một khu vực khác, mặc dù các khu vực nằm gần nhau ở vũ trụ sơ khai. Theo thuyết tương đối, nếu ánh sáng không thể đi từ một khu vực này tới một khu vực khác, các thông tin khác cũng không thể truyền đi được. Do đó không có cách nào để các khu vực khác nhau ở vũ trụ sơ khai có thể đạt tới cùng nhiệt độ như nhau, trừ phi vì một lý do nào đó không được giải thích chúng tình cờ khởi đầu với cùng nhiệt độ.

(3) Tại sao vũ trụ khởi đầu với nhịp độ bành trướng gần mức tới hạn như thế, khiến có những mô hình sẽ sụp đổ và có những mô hình tiếp tục bành trướng mãi mãi, để ngay cả bây giờ, mười ngàn triệu năm sau, nó vẫn đang bành trướng với mức độ gần như tới hạn? Nếu nhịp độ bành trướng một giây sau vụ nổ lớn nhỏ hơn dù một phần của một trăm ngàn triệu triệu, vũ trụ đã sụp đổ trở lại trước khi nó đạt tới cỡ hiện nay.

(4) Mặc dù vũ trụ đồng nhất và giống nhau như vậy trên một tầm mức quy mô, nó chứa những bất thường có tính cách khu vực, như các ngôi sao và các thiên hà. Người ta cho rằng những vật thể này đã phát triển từ những khác biệt nhỏ về mật độ của vũ trụ sơ khai ở khu vực này so với khu vực kia. Nguồn gốc của những biến động về mật độ này là gì?

Thuyết tương đối tổng quát, một mình nó, không thể giải thích những đặc điểm này hoặc trả lời những câu hỏi này bởi vì nó tiên đoán rằng vũ trụ đã khởi đầu với mật độ vô hạn ở điểm kỳ dị nổ lớn. Ở tình trạng điểm kỳ dị, thuyết tương đối tổng quát và mọi định luật vật lý khác sẽ sụp đổ: người ta không thể tiên đoán điều gì sẽ phát sinh từ điểm kỳ dị. Như đã được giải thích trước đây, điều này có nghĩa là người ta cũng có thể loại bỏ vụ nổ lớn, và bất cứ biến cố nào trước nó, ra khỏi lý thuyết, bởi vì chúng có thể không có hậu quả nào đối với những gì mà chúng ta quan sát. Không-thời gian có một biên giới -- một sự khởi đầu vào lúc xảy ra vụ nổ lớn.

Khoa học có vẻ đã khám phá một bộ các định luật mà, trong những giới hạn được ấn định bởi nguyên tắc bất định, cho chúng ta biết vũ trụ sẽ phát triển như thế nào theo thời gian, nếu chúng ta biết tình trạng của nó ở bất cứ thời điểm nào. Những định luật này có thể lúc đầu đã được đặt ra bởi Thượng Đế, nhưng hình như từ đó ngài đã để mặc cho vũ trụ tiến hóa theo các định luật và hiện giờ không can thiệp vào. Nhưng ngài đã lựa chọn tình trạng hay hình dạng sơ khai của vũ trụ như thế nào? Những "điều kiện biên giới" vào lúc khởi đầu thời gian là gì?

Có thể trả lời rằng Thượng Đế đã chọn hình dung sơ khởi của vũ trụ vì những lý do mà chúng ta không thể hy vọng hiểu được. Điều này chắc chắn đã nằm trong khả năng của một đấng toàn năng, nhưng nếu ngài đã khởi đầu nó theo một cách không thể hiểu nổi như vậy, tại sao còn để nó tiến hóa theo các định luật mà chúng ta hiểu được? Toàn thể lịch sử của khoa học đã là sự nhận thức dần dần rằng các biến cố không xảy ra một cách tùy tiện, nhưng rằng chúng phản ánh một số trật tự rõ rệt nào đó, có thể hay không thể gây ra bởi thần thánh. Sẽ chỉ là một điều tự nhiên khi giả định rằng trật tự này phải áp dụng không những cho các định luật, mà còn cho những điều kiện tại biên giới của không-thời gian mà tình trạng sơ khai của vũ trụ được ấn định. Có thể có một số lớn các mô hình vũ trụ với những điều kiện sơ khai khác nhau mà tất cả đều tuân theo các định luật. Phải có nguyên tắc nào đó đã lựa chọn một tình trạng sơ khai, và từ đó một mô hình, để mô tả vũ trụ của chúng ta.

Một sự khả dĩ như vậy là những gì được gọi là các điều kiện biên giới hỗn loạn. Những điều kiện này giản dị cho rằng hoặc vũ trụ vô tận về không gian hoặc có vô số vũ trụ tới mức vô tận. Theo các điều kiện biên giới hỗn loạn, xác suất tìm được bất cứ khu vực không gian đặc biệt nào trong bất cứ hình thể nào ngay sau vụ nổ lớn cũng giống như, theo một nghĩa nào đó, xác suất tìm ra nó trong bất cứ hình thể nào khác: tình trạng sơ khai của vũ trụ được lựa chọn thuần túy một cách tình cờ. Điều này sẽ có nghĩa rằng vũ trụ ban đầu có thể đã rất hỗn loạn và bất thường bởi vì có nhiều hình dạng của vũ trụ hỗn loạn hơn và mất trật tự hơn so với những hình dạng trơn tru và trật tự. (Nếu mỗi hình dạng đều có xác suất bằng nhau, có lẽ vũ trụ đã khởi đầu ở một tình trạng hỗn loạn và mất trật tự, giản dị bởi vì có quá nhiều hình dạng như vậy.) Thật khó chấp nhận làm thế nào những điều kiện sơ khởi hỗn loạn như vậy có thể đưa tới một vũ trụ trơn tru và bình thường trên một tầm cỡ quy mô như vũ trụ của chúng ta ngày nay. Người ta cũng sẽ trông đợi những biến động về mật độ trong một mô hình như vậy phải đưa tới việc hình thành những hố đen nguyên thủy nhiều hơn nhiều so với mức tối đa đã được đặt ra bởi những quan sát bối cảnh tia gamma.

Nếu vũ trụ quả thật vô hạn về không gian, hoặc nếu vũ trụ nhiều vô số, có thể sẽ có vài khu vực rộng lớn ở đâu đó đã khởi đầu trong một trạng thái trơn tru và đồng nhất. Nó cũng hơi giống như bầy khí gõ hoai trên các máy đánh chữ -- hầu hết những gì chúng viết ra sẽ đều là rác rưởi, nhưng hi hữu thuần túy do tình cờ chúng đánh ra một trong những bài thơ ngắn của Shakespeare. Tương tự như vậy, trong trường hợp vũ trụ, liệu có thể rằng chúng ta đang sống trong một khu vực chỉ vì tình cờ mà trơn tru và đồng nhất hay không? Mới nhìn qua điều này có vẻ rất khó xảy ra, bởi vì những khu vực trơn tru như vậy sẽ bị tràn ngập bởi những khu vực hỗn loạn và không đều. Tuy nhiên, giả sử rằng chỉ ở những khu vực trơn tru các thiên hà và các ngôi sao mới được hình thành và các điều kiện trở nên thích hợp cho sự phát triển các sinh vật phức tạp tự sinh sản như chúng ta, những sinh vật có khả năng đặt ra câu hỏi: Tại sao vũ trụ lại trơn tru như vậy? Đây là một thí dụ của sự áp dụng điều được gọi là nguyên tắc vị nhân chủng, có thể được diễn tả bằng câu "Chúng ta thấy vũ trụ như ngày nay bởi vì chúng ta hiện hữu."

Có hai phiên bản của nguyên tắc vị nhân chủng, nguyên tắc yếu và nguyên tắc mạnh. Nguyên tắc vị nhân chủng yếu nói rằng trong một vũ trụ lớn hoặc vô hạn về không gian và thời gian, các điều kiện cần thiết cho sự phát triển đời sống thông minh sẽ chỉ đạt được trong một số khu vực giới hạn về không gian và thời gian. Các sinh vật thông minh trong những khu vực này do đó sẽ không bị ngạc nhiên nếu họ quan sát thấy rằng nơi chốn của họ trong vũ trụ thỏa mãn những điều kiện cần thiết cho sự hiện hữu của họ. Nó hơi giống như một người giàu sinh sống trong một khu nhà giàu không nhìn thấy sự nghèo khó nào cả.

Một thí dụ của việc sử dụng nguyên tắc vị nhân chủng yếu là đề "giải thích" tại sao vụ nổ lớn đã xảy ra mười ngàn triệu năm về trước -- nó cần thời gian dài như thế để các sinh vật thông minh tiến hóa. Như đã được giải thích ở trên, một thế hệ ban đầu các ngôi sao trước hết phải hình thành. Những ngôi sao này đã biến đổi một số khinh khí và helium nguyên thủy thành các nguyên tố như carbon và dưỡng khí, từ đó chúng ta được cấu tạo. Các ngôi sao sau đó nổ như những vụ nổ siêu tân tinh, và những mảnh vụn của chúng làm thành những ngôi sao khác và các hành tinh, trong số đó có các ngôi sao và hành tinh của Thái Dương Hệ chúng ta, khoảng năm ngàn triệu năm tuổi. Một hoặc hai ngàn triệu năm đầu của sự hiện hữu của trái đất đã quá nóng cho sự phát triển bất cứ cái gì phức tạp. Khoảng ba ngàn triệu năm còn lại đã âm ỉ tiến trình tiến hóa sinh học, đã từ những sinh vật đơn giản nhất đưa tới những sinh vật có khả năng đo lường thời gian ngược trở lại vụ nổ lớn.

Ít ai tranh cãi về sự hợp lý hoặc ích lợi của nguyên tắc vị nhân chủng yếu. Tuy nhiên, vài người còn đi xa hơn nhiều và đề xuất một loại nguyên tắc vị nhân chủng mạnh. Theo thuyết này, hoặc có nhiều vũ trụ khác nhau hoặc nhiều khu vực khác nhau trong một vũ trụ duy nhất, mỗi khu vực có hình dạng sơ khởi riêng và, có thể, có những bộ định luật khoa học riêng. Trong hầu hết các vũ trụ này những điều kiện sẽ không thích hợp cho sự phát triển các sinh vật phức tạp; chỉ trong một số ít các vũ trụ giống như vũ trụ của chúng ta các sinh vật thông minh mới phát triển và đặt ra câu hỏi: "Tại sao vũ trụ lại như chúng ta nhìn thấy?" Câu trả lời khi đó sẽ đơn giản: Nếu nó khác, chúng ta sẽ không ở đây!

Các định luật khoa học, như chúng ta biết hiện nay, chứa nhiều con số căn bản, như cỡ các điện tích của điện tử và tỉ số các khối lượng của proton và điện tử. Chúng ta không thể, ít ra là vào lúc này, từ lý thuyết tiên đoán được các trị số của những con số này -- chúng ta phải tìm ra chúng bằng sự quan sát. Có thể rằng một ngày nào đó chúng ta sẽ khám phá ra một lý thuyết thống nhất hoàn chỉnh tiên đoán được tất cả những trị số đó, nhưng cũng có thể rằng một vài hoặc tất cả những trị số đó thay đổi từ vũ trụ này với vũ trụ khác hoặc bên trong một vũ trụ duy nhất. Sự kiện đáng chú ý là các trị số của những con số này có vẻ đã được điều chỉnh rất tỉ mỉ để làm cho sự phát triển đời sống có thể xảy ra. Chẳng hạn nếu điện tích của điện tử chỉ khác đi chút ít, các ngôi sao hoặc đã không thể đốt khinh khí và helium, hoặc nếu không chúng đã không nổ. Dĩ nhiên, có thể có những hình thức đời sống thông minh khác, ngay cả các nhà văn viết truyện khoa học giả tưởng cũng không tưởng tượng nổi, không đòi hỏi ánh sáng của một ngôi sao như mặt trời hoặc những nguyên tố hóa học nặng hơn được cấu tạo ở các ngôi sao và bị bắn trở lại vào không gian khi các ngôi sao nổ. Tuy nhiên, có vẻ rõ ràng là có một số tương đối ít các trị số cho các con số cho phép sự phát triển của bất cứ hình thức đời sống thông minh nào. Hầu hết các bộ trị số sẽ đưa tới những vũ trụ mà trong đó, mặc dù chúng có thể rất đẹp, sẽ không chứa sinh vật để chiêm ngưỡng cái đẹp đó. Người ta có thể coi đây như là bằng chứng của một mục tiêu thần thánh trong sự Sáng Thế và sự lựa chọn những định luật khoa học hoặc như sự hỗ trợ cho nguyên tắc vị nhân chủng mạnh.

Có một số những phản đối mà người ta có thể nêu lên đối với nguyên tắc vị nhân chủng mạnh như một sự giải thích trạng thái của vũ trụ đã được quan sát. Trước hết, theo ý nghĩa nào mà tất cả những vũ trụ khác nhau này có thể được nói là hiện hữu? Nếu chúng thực sự tách biệt với nhau, những gì xảy ra trong một vũ trụ khác có thể không có những hậu quả khả dĩ quan sát được trong vũ trụ của chúng ta. Do đó chúng ta phải sử dụng nguyên tắc tiết kiệm

và loại chúng khỏi lý thuyết. Nếu, mặt khác, chúng chỉ là những khu vực khác nhau của một vũ trụ duy nhất, các định luật khoa học sẽ như nhau trong mỗi khu vực, bởi vì nếu không người ta không thể di chuyển liên tục từ một khu vực này sang một khu vực khác. Trong trường hợp này, sự khác biệt duy nhất giữa các khu vực sẽ là hình dạng sơ khởi của chúng và do đó nguyên tắc vị nhân chủng mạnh sẽ giảm xuống thành nguyên tắc yếu.

Một sự phản đối thứ nhì đối với nguyên tắc vị nhân chủng mạnh là nó chống lại ngọn triều của toàn thể lịch sử khoa học. Chúng ta đã tiến triển từ các môn vũ trụ học của Ptolemy và những người đi trước ông, coi trái đất là trung tâm, qua vũ trụ học của Copernicus và Galileo, coi mặt trời là trung tâm, tới hình ảnh thời nay trong đó trái đất là một hành tinh cỡ trung bình quay chung quanh một ngôi sao cỡ trung bình ở ngoài ven của một thiên hà xoắn ốc bình thường, chính thiên hà này cũng chỉ là một trong khoảng một triệu triệu thiên hà trong vũ trụ có thể quan sát được. Vậy mà nguyên tắc vị nhân chủng mạnh nói rằng toàn thể kiến trúc rộng lớn này hiện hữu giản dị để phục vụ chúng ta. Điều này thật khó mà tin được. Thái Dương Hệ này chắc chắn là một tiền đề cho sự hiện hữu của chúng ta, và người ta có thể nói rộng điều này cho toàn thể thiên hà của chúng ta để cho phép một thế hệ các ngôi sao trước đây tạo ra những nguyên tố nặng hơn. Nhưng có vẻ không có nhu cầu nào cho tất cả những thiên hà khác, cũng như để cho vũ trụ đồng nhất và tương tự ở mọi hướng trên một tầm mức lớn.

Người ta sẽ cảm thấy hài lòng hơn về nguyên tắc vị nhân chủng, ít ra là ở thể yếu, nếu người ta có thể chứng tỏ rằng một số các hình dạng sơ khởi khác nhau gán cho vũ trụ sẽ phải tiến hóa để sản xuất một vũ trụ như cái vũ trụ mà chúng ta quan sát. Nếu trường hợp này đúng, một vũ trụ phát triển từ một loại những điều kiện sơ khởi tình cờ nào đó sẽ phải chứa đựng một số khu vực trơ trụi và đồng đều và thích hợp cho sự tiến hóa của đời sống thông minh. Mặt khác, nếu tình trạng sơ khởi của vũ trụ phải được lựa chọn một cách hết sức thận trọng để đưa tới cái giống như những gì chúng ta nhìn thấy chung quanh chúng ta, vũ trụ sẽ khó chứa đựng bất cứ khu vực nào trong đó đời sống sẽ xuất hiện. Trong mô hình nổ lớn nóng được mô tả ở trên, không có đủ thời gian ở vũ trụ ban đầu để nhiệt truyền từ khu vực này sang khu vực khác. Điều này có nghĩa trạng thái ban đầu của vũ trụ sẽ phải có nhiệt độ đúng y như nhau ở mọi nơi để giải thích sự kiện rằng nền sóng ngắn có cùng nhiệt độ ở mọi hướng mà chúng ta nhìn. Nhịp độ bành trướng ban đầu cũng sẽ phải được lựa chọn thật chính xác để nhịp độ bành trướng sẽ gắn sát với nhịp độ tới hạn cần thiết để tránh suy sụp trở lại. Điều này có nghĩa là trạng thái sơ khởi của vũ trụ quả thật đã phải được lựa chọn thật cẩn

thận nếu mô hình nổ lớn nóng là đúng từ lúc khởi thủy của thời gian. Sẽ rất khó giải thích tại sao vũ trụ đã phải bắt đầu đúng như vậy, trừ phi đó là hành động của một Thượng Đế muốn tạo ra những sinh vật như chúng ta.

Trong một cố gắng để tìm ra một mô hình vũ trụ trong đó nhiều hình dạng sơ khởi khác nhau có thể đã tiến hóa tới tình trạng như vũ trụ hiện nay, một khoa học gia tại Viện Kỹ Thuật Học Massachusetts (MIT), Alan Guth, đã cho rằng vũ trụ ban đầu có thể đã trải qua một thời kỳ bành trướng rất nhanh. Sự bành trướng này được gọi là "lạm phát," nghĩa là có một lúc vũ trụ đã bành trướng theo một nhịp độ ngày càng tăng thay vì nhịp độ giảm dần như ngày nay. Theo Guth, bán kính của vũ trụ đã gia tăng gấp một triệu triệu triệu triệu (số 1 với ba mươi số không theo sau) lần chỉ trong vòng một phần nhỏ của một giây.

Guth cho rằng vũ trụ đã khởi đầu từ vụ nổ lớn trong một tình trạng rất nóng, nhưng hơi hỗn loạn. Những nhiệt độ cao này có nghĩa rằng các hạt trong vũ trụ đã di chuyển rất nhanh và đã có các năng lượng cao. Như chúng ta đã thảo luận trước đây, người ta sẽ trông đợi rằng ở những nhiệt độ cao như vậy các lực hạt nhân mạnh và yếu và lực điện từ sẽ thống nhất tất cả với nhau thành một lực duy nhất. Khi vũ trụ bành trướng, nó sẽ nguội lại, và các năng lượng hạt sẽ giảm đi. Cuối cùng sẽ có điều được gọi là một sự chuyển tiếp pha (phase transition) và sự đối xứng giữa các lực sẽ bị phá vỡ: lực mạnh sẽ trở nên khác với các lực yếu và điện từ. Một thí dụ thông thường của một sự chuyển tiếp pha là sự đông đá của nước khi bạn làm nguội nó đi. Nước lỏng có tính cách đối xứng, giống nhau ở mọi điểm và mọi hướng. Tuy nhiên, khi các tinh thể nước đá hình thành, chúng sẽ có những vị trí xác định và sẽ được sắp xếp theo một hướng nào đó. Điều này phá vỡ sự đối xứng của nước.

Trong trường hợp nước, nếu người ta cẩn thận, người ta có thể làm "siêu lạnh" nó, nghĩa là, người ta có thể giảm nhiệt độ xuống dưới điểm đông đá (0o C) mà không làm đông đá. Guth cho rằng vũ trụ có thể đã cư xử theo một đường lối tương tự: nhiệt độ có thể hạ xuống dưới trị số tới hạn mà sự đối xứng giữa các lực không bị phá vỡ. Nếu điều này xảy ra, vũ trụ sẽ ở trong một trạng thái không bền, với nhiều năng lượng hơn là nếu sự đối xứng đã bị phá vỡ. Năng lượng phụ trội đặc biệt này có thể được chứng tỏ là có một hậu quả phản trọng lực: nó sẽ phản ứng giống như hằng số vũ trụ mà Einstein đã đưa vào thuyết tương đối tổng quát khi ông cố xây dựng một mô hình tĩnh cho vũ trụ. Bởi vì vũ trụ đang bành trướng giống như trong một mô hình nổ lớn nóng, tác dụng đẩy của hằng số vũ trụ này do đó đã làm cho vũ

trụ bành trướng với một nhịp độ ngày càng tăng. Ngay cả trong những khu vực có nhiều hạt vật chất hơn mức trung bình, sức hấp dẫn trọng lực của vật chất sẽ bị đè bẹp bởi sức đẩy của tác dụng hằng số vũ trụ. Do đó những khu vực này cũng sẽ bành trướng một cách quá lạm phát. Khi chúng bành trướng và các hạt vật chất trở nên càng xa nhau, sẽ còn một vũ trụ bành trướng khó còn chứa đựng hạt nào mà vẫn còn ở trong tình trạng siêu lạnh. Bất cứ sự bất thường nào trong vũ trụ sẽ giản dị trở nên trơn tru do sự bành trướng, giống như những vết nhăn trên một quả bóng trở nên nhăn nhui khi người ta thổi phồng nó lên. Do đó tình trạng trơn tru và đồng đều của vũ trụ có thể đã tiên hóa từ nhiều tình trạng sơ khởi không đồng đều khác nhau.

Trong một vũ trụ như vậy, trong đó sự bành trướng được gia tốc bởi hằng số vũ trụ thay vì chậm lại bởi hấp dẫn trọng lực của vật chất, sẽ có đủ thời gian để ánh sáng di chuyển từ một khu vực này sang một khu vực khác trong vũ trụ sơ khai. Điều này có thể cung cấp một giải đáp cho vấn đề, được nêu lên trước đây, là tại sao những khu vực khác nhau trong vũ trụ ban đầu đã có cùng các tính chất. Hơn nữa, nhịp độ bành trướng của vũ trụ sẽ tự động trở thành rất gần với nhịp độ tới hạn định đoạt bởi mật độ năng lượng của vũ trụ. Điều này do đó có thể giải thích tại sao nhịp độ bành trướng vẫn còn gần với nhịp độ tới hạn, mà không phải giả định rằng nhịp bành trướng ban đầu của vũ trụ đã được lựa chọn thật cẩn thận.

Ý niệm lạm phát có thể cũng giải thích được tại sao có nhiều vật chất trong vũ trụ như vậy. Có vào khoảng mười triệu triệu triệu triệu triệu triệu triệu triệu triệu triệu (số 1 với 80 số không theo sau) hạt ở trong khu vực vũ trụ mà chúng ta có thể quan sát. Chúng tất cả đã từ đâu đến? Câu trả lời là, trong thuyết lượng tử, các hạt có thể được tạo ra từ năng lượng dưới hình thức những cặp hạt/phản hạt. Nhưng điều đó lại đặt ra vấn đề năng lượng từ đâu mà ra. Câu trả lời là năng lượng tổng cộng của vũ trụ vừa đúng bằng số không. Vật chất trong vũ trụ được cấu tạo bởi năng lượng dương. Tuy nhiên, vật chất tất cả đều tự hấp dẫn bởi trọng lực. Hai mẫu vật chất nằm gần nhau có ít năng lượng hơn là cũng hai mẫu đó nằm cách xa nhau, bởi vì người ta phải tốn năng lượng để tách rời chúng chống lại hấp lực kéo chúng lại gần nhau. Như vậy, theo một nghĩa nào đó, trọng trường có năng lượng âm. Trong trường hợp một vũ trụ gần như đồng đều trong không gian, người ta có thể chứng tỏ rằng năng lượng hấp dẫn âm này vừa đúng triệt tiêu năng lượng dương biểu hiện bởi vật chất. Do đó năng lượng tổng cộng của vũ trụ là số không.

Mà hai lần số không cũng là số không. Như vậy vũ trụ có thể tăng gấp đôi số năng lượng vật chất dương và cũng tăng gấp đôi năng lượng hấp dẫn âm mà không vi phạm sự bảo tồn năng lượng. Điều này không xảy ra trong sự bành trướng bình thường của vũ trụ trong đó mật độ năng lượng của vật chất giảm đi khi vũ trụ trở nên lớn hơn. Tuy nhiên, nó xảy ra trong sự bành trướng quá lạm phát bởi vì mật độ năng lượng của tình trạng siêu lạnh vẫn không đổi trong khi vũ trụ bành trướng: khi vũ trụ lớn gấp đôi, năng lượng vật chất dương và năng lượng hấp dẫn âm cả hai đều tăng gấp đôi, do đó năng lượng tổng cộng vẫn bằng 0. Trong giai đoạn quá lạm phát, vũ trụ gia tăng độ lớn bởi một lượng rất lớn. Do đó số năng lượng tổng cộng để làm ra các hạt trở nên rất lớn.

Vũ trụ ngày nay không bành trướng theo kiểu quá lạm. Như vậy phải có một cơ chế nào đó đã loại trừ hằng số vũ trụ rất lớn và do đó thay đổi nhịp độ bành trướng từ nhanh dần thành chậm dần bởi hấp lực, như chúng ta có ngày nay. Trong sự bành trướng quá lạm phát người ta có thể trông đợi rằng cuối cùng sự đối xứng giữa các lực sẽ bị phá vỡ, giống như nước siêu lạnh cuối cùng luôn luôn đông lại. Năng lượng phụ trội của tình trạng đối xứng không bị phá vỡ khi đó sẽ được giải phóng và sẽ làm nóng trở lại vũ trụ tới một nhiệt độ chỉ dưới nhiệt độ tới hạn cho sự đối xứng giữa các lực. Vũ trụ khi đó sẽ tiếp tục bành trướng và nguội lại giống như mô hình nổ lớn nóng, nhưng bây giờ sẽ có một sự giải thích tại sao vũ trụ lại bành trướng ở đúng nhịp độ tới hạn và tại sao các khu vực khác nhau lại có cùng nhiệt độ.

Trong đề xuất sơ khởi của Guth sự chuyển tiếp pha được coi như xảy ra bất ngờ, hơi giống như sự xuất hiện của các tinh thể nước đá trong nước thật lạnh. Ông đã cho rằng các "bong bóng" của giai đoạn mới của sự đối xứng bị phá vỡ đã hình thành trong giai đoạn trước, giống như những bong bóng hơi nước bị bao quanh bởi nước sôi. Những bong bóng được cho là sẽ bành trướng và kết hợp với nhau cho tới khi toàn thể vũ trụ ở trong giai đoạn mới. Điều trực trặc là, như tôi và vài người khác đã vạch ra, vũ trụ đã bành trướng nhanh đến độ đủ cho các bong bóng lớn lên với tốc độ ánh sáng, chúng sẽ di chuyển rời xa nhau và do đó không thể kết hợp được. Vũ trụ sẽ ở trong một tình trạng không đồng đều, với vài khu vực vẫn còn có sự đối xứng giữa những lực khác nhau. Một mô hình vũ trụ như vậy sẽ không phù hợp với những gì mà chúng ta thấy.

Vào tháng Mười năm 1981, tôi đã đi Moscow để tham dự một hội nghị về hấp lực lượng tử, Sau hội nghị tôi đã tổ chức một cuộc hội thảo về mô hình lạm phát và những vấn nạn của nó tại Viện Thiên Văn Sternberg. Trước đó,

tôi đã nhờ người khác đọc giùm những bài viết của tôi, bởi vì hầu hết mọi người không hiểu được giọng nói của tôi. Nhưng đã không có thì giờ để sửa soạn cuộc hội thảo này, do đó tôi đã tự đọc, với một trong số những sinh viên tốt nghiệp của tôi nhắc lại lời tôi nói. Cách đó rất tốt, và đã giúp tôi tiếp xúc được nhiều hơn với thính giả của tôi. Trong đám thính giả có một người Nga trẻ tuổi, Andrei Linde, thuộc Viện Lebedev ở Moscow. Ông nói sự khó khăn về chuyện các bong bóng không thể kết hợp với nhau có thể tránh được nếu các bong bóng lớn đến độ khu vực vũ trụ của chúng ta tất cả đều được chứa đựng bên trong một bong bóng duy nhất. Để điều này xảy ra, sự thay đổi từ tình trạng đối xứng tới tình trạng đối xứng bị phá vỡ phải đã diễn ra rất chậm chạp bên trong bong bóng, nhưng điều này hầu như có thể xảy ra theo các lý thuyết thống nhất lớn. Ý kiến của Linde về một sự phá vỡ chậm sự đối xứng tỏ ra rất tốt, nhưng sau đó tôi nhận thấy rằng những bong bóng của ông ta sẽ phải lớn hơn cỡ của vũ trụ lúc đó! Tôi đã chứng tỏ rằng đúng ra sự đối xứng sẽ sụp đổ tại mọi nơi cùng một lúc, thay vì chỉ bên trong các bong bóng. Điều này sẽ đưa tới một vũ trụ đồng nhất, như chúng ta quan sát. Tôi đã rất hứng khởi bởi ý tưởng này và đã thảo luận nó với một trong những sinh viên của tôi, Ian Moss. Tuy nhiên, với tư cách một người bạn của Linde, tôi đã hơi bối rối, khi sau đó tôi nhận được một luận văn của ông, do một đặc san khoa học gửi tới, và hỏi liệu có thích hợp để đăng hay không. Tôi đã trả lời rằng có khuyết điểm này về chuyện các bong bóng lớn hơn vũ trụ, nhưng ý niệm căn bản về một phá vỡ chậm của sự đối xứng là điều rất tốt. Tôi đã khuyến cáo là cứ đăng nguyên văn tài liệu bởi vì Linde sẽ cần vài tháng để sửa lại, vì bất cứ cái gì ông gửi cho Tây phương cũng phải qua cơ quan kiểm duyệt của Xô Viết, vốn không chuyên môn lắm và cũng không nhanh nhẹn đối với các tài liệu khoa học. Thay vào đó, tôi đã viết một tài liệu ngắn cùng với Ian Moss cũng trong đặc san này trong đó chúng tôi đã vạch ra vấn nạn này về bong bóng và cho thấy nó có thể được giải quyết như thế nào.

Một ngày sau khi từ Moscow trở về, tôi khởi hành đi Philadelphia, nơi tôi sẽ nhận một huy chương do Viện Franklin trao tặng. Cô thư ký của tôi, Judy Fella, đã dùng sự khả ái để thuyết phục hãng hàng không British Airways cho nàng và tôi hai chỗ ngồi miễn phí trên một chuyến máy bay Concord như là một hành động quảng cáo. Tuy nhiên, trên đường tới phi trường tôi bị một trận mưa lớn gây chậm trễ và đã bị lỡ chuyến bay. Dù sao, cuối cùng tôi cũng đã tới được Philadelphia để nhận huy chương. Rồi tôi được yêu cầu tổ chức một buổi hội thảo về vũ trụ lạm phát tại trường Đại Học Drexel ở Philadelphia. Tôi đã nói về những vấn nạn của vũ trụ lạm phát, giống như đã nói ở Moscow.

Một ý tưởng rất giống với ý tưởng của Linde đã được đưa ra một cách độc lập một vài tháng sau bởi Paul Steinhardt và Andreas Albrecht thuộc trường đại học Pennsylvania. Họ hiện giờ được coi như cùng với Linde có công nghĩ ra cái được gọi là "mô hình lạm phát mới," căn cứ vào ý tưởng về một phá vỡ chậm của sự đối xứng. (Mô hình lạm phát cũ là đề xuất nguyên thủy của Guth về sự phá vỡ đối xứng nhanh với sự hình thành các bong bóng.)

Mô hình lạm phát mới là một cố gắng tốt để giải thích tại sao vũ trụ lại như ngày nay. Tuy nhiên, tôi và vài người khác đã chứng tỏ rằng, ít nhất trong hình thức nguyên thủy, nó đã tiên đoán những biến đổi lớn lao hơn nhiều về nhiệt độ của bối cảnh bức xạ vi ba so với kết quả được quan sát. Công trình sau này cũng đã đặt ra sự ngờ vực về chuyện liệu có thể có một chuyển tiếp pha ở chính vũ trụ ban đầu hay không. Theo quan điểm cá nhân của tôi, mô hình lạm phát mới hiện giờ là một lý thuyết khoa học đã chết, mặc dù nhiều người có vẻ như đã không nghe nói về cái chết của nó và vẫn còn đang viết tài liệu như thể nó sống được. Một mô hình tốt hơn, được gọi là mô hình lạm phát hỗn loạn, đã được đưa ra bởi Linde năm 1983. Trong mô hình này không có chuyển tiếp pha hoặc siêu lạnh. Thay vào đó, có một trường số quay 0, mà, bởi vì những biến đổi lượng tử, sẽ có những trị số lớn ở vài khu vực của vũ trụ ban đầu. Năng lượng của trường ở những khu vực đó sẽ phản ứng như một hằng số vũ trụ. Nó sẽ có một hiệu ứng hấp lực đẩy, và do đó làm cho những khu vực đó bành trướng theo lối lạm phát. Khi chúng bành trướng, năng lượng của trường bên trong chúng sẽ từ từ giảm bớt cho tới khi sự bành trướng lạm phát thay đổi sang một sự bành trướng như trong mô hình nổ lớn nóng. Một trong số những khu vực này sẽ trở thành những gì mà hiện nay chúng ta thấy với tính cách vũ trụ có thể quan sát được. Mô hình này có tất cả những ưu điểm của những mô hình lạm phát trước đây, nhưng nó không tùy thuộc vào một chuyển tiếp pha khó tin, và hơn nữa nó có thể cho một tầm cỡ vừa phải cho những biến đổi về nhiệt độ của bối cảnh bức xạ vi ba vốn phù hợp với sự quan sát.

Công trình về các mô hình lạm phát đã chứng tỏ rằng tình trạng hiện giờ của vũ trụ có thể đã nổi lên từ một con số khá lớn các hình dạng sơ khởi khác nhau. Điều này rất quan trọng, bởi vì nó chứng tỏ rằng tình trạng ban đầu của phần vũ trụ mà chúng ta đang sống đã không được lựa chọn với sự thận trọng lớn lao. Do đó chúng ta có thể, nếu chúng ta muốn, sử dụng nguyên tắc vị nhân chủng yếu để giải thích tại sao vũ trụ trông giống như hiện nay. Tuy nhiên, nó không thể là trường hợp cho rằng mọi hình dạng ban đầu sẽ đưa tới một vũ trụ giống như vũ trụ chúng ta quan sát. Người ta có thể chứng tỏ điều này bằng cách xem xét một tình trạng rất khác đối với vũ trụ hiện

thời, thí dụ, một tình trạng rất xô bồ và bất thường. Người ta có thể sử dụng những định luật khoa học để quay vũ trụ ngược thời gian để xác định hình dạng của nó vào những lúc đầu. Theo những định lý về điểm kỳ dị của thuyết tương đối tổng quát cổ điển, cũng vẫn có một điểm kỳ dị nổ lớn. Nếu bạn khiến cho một vũ trụ như vậy tiến hóa theo thời gian, theo các định luật khoa học, cuối cùng bạn sẽ có một tình trạng xô bồ và bất thường mà bạn đã khởi đầu. Như vậy đã phải có những hình dạng ban đầu không đưa tới một vũ trụ như chúng ta thấy ngày nay. Do đó ngay cả mô hình lạm phát cũng không cho chúng ta biết tại sao hình dạng sơ khởi đã không phát sinh ra cái khác biệt nhiều với những gì chúng ta quan sát. Chúng ta có phải quay trở lại nguyên tác vị nhân chủng để tìm một sự giải thích hay không? Phải chăng tất cả chỉ là một tình cờ may mắn? Điều đó sẽ có vẻ là một ý kiến đáng thất vọng, một sự phủ định mọi hy vọng của chúng ta để hiểu biết về trật tự tiềm ẩn của vũ trụ.

Để tiên đoán việc vũ trụ đã phải khởi đầu như thế nào, người ta cần những định luật có giá trị ở lúc khởi đầu thời gian. Nếu thuyết tương đối tổng quát cổ điển là đúng, những định lý điểm kỳ dị mà Roger Penrose và tôi đã chứng minh cho thấy rằng sự khởi đầu của thời gian sẽ phải ở một điểm mật độ vô hạn và độ cong không-thời gian vô hạn. Mọi định luật khoa học đã biết sẽ sụp đổ ở một điểm như vậy. Người ta có thể giả thử rằng có những định luật mới có giá trị ở những điểm kỳ dị, nhưng sẽ rất khó khăn để hình thành những định luật như vậy tại những điểm bất bình thường như vậy, và chúng ta sẽ không có sự hướng dẫn từ những quan sát để xem những định luật đó có thể như thế nào. Tuy nhiên, những gì các định lý điểm kỳ dị thực sự cho thấy là trường hấp lực trở thành mạnh đến độ các hiệu quả hấp lực lượng tử trở thành quan trọng: lý thuyết cổ điển không còn là một mô tả tốt về vũ trụ. Do đó người ta phải sử dụng một thuyết trọng lực lượng tử để thảo luận chính những giai đoạn đầu của vũ trụ. Như chúng ta sẽ thấy, những định luật khoa học thông thường có thể có giá trị ở mọi nơi trong thuyết lượng tử, kể cả lúc khởi đầu thời gian: không cần phải đề xuất những định luật mới cho các điểm kỳ dị, bởi vì không cần có bất cứ điểm kỳ dị nào trong thuyết lượng tử.

Chúng ta chưa có một lý thuyết trọn vẹn và phù hợp để tổng hợp cơ học lượng tử và hấp lực. Tuy nhiên, chúng ta khá chắc chắn về vài đặc tính mà một thuyết thống nhất như vậy phải có. Một đặc điểm là nó phải hội nhập ý kiến của Feynman để hình thành thuyết lượng tử liên quan đến suốt lịch sử vũ trụ. Theo phương pháp này, một hạt không phải chỉ có một lịch sử duy nhất, như trong một lý thuyết cổ điển. Thay vào đó, nó được coi như đi theo

mọi con đường có thể có trong không-thời gian, và với mỗi lịch sử trong số các lịch sử này, có liên kết một cặp số, một số chỉ cỡ của một sóng và số kia chỉ vị trí của nó trong chu kỳ (pha) của nó. Xác suất để hạt đó đi qua một điểm đặc biệt nào đó được tìm thấy bằng cách cộng các sóng kết hợp với mọi lịch sử có thể đi qua điểm đó. Tuy nhiên, khi người ta thực sự cố thực hiện những tổng số này, người ta gặp phải những khó khăn kỹ thuật trầm trọng. Cách duy nhất để tránh những khó khăn này là đi theo sự chỉ dẫn đặc biệt: Người ta phải cộng tất cả những sóng cho các lịch sử hạt không nằm trong thời gian "thực" mà bạn và tôi trải qua nhưng xảy ra trong cái được gọi là thời gian tưởng tượng. Thời gian tưởng tượng có thể nghe như khoa học giả tưởng nhưng thực ra nó là một ý niệm toán học được định nghĩa rõ ràng. Nếu chúng ta lấy bất cứ con số bình thường nào (hay số "thực") và nhân với chính nó, kết quả là một số dương. (Thí dụ, 2 nhân với 2 là 4, nhưng -2 nhân với -2 cũng là 4). Tuy nhiên, có những con số đặc biệt (gọi là ảo) cho những số âm khi được nhân bởi chính nó. (Số được gọi là i , khi nhân với chính nó, cho ta -1 , $2i$ nhân với chính nó cho ta -4 , và cứ thế.) Để tránh những khó khăn kỹ thuật với tổng số lịch sử của Feynman, người ta phải dùng thời gian tưởng tượng. Nghĩa là, vì các mục đích tính toán người ta phải dùng các số ảo để đo thời gian, thay vì các số thật. Điều này có một hậu quả đáng chú ý về không-thời gian: sự phân biệt giữa thời gian và không gian biến mất hoàn toàn. Một không-thời gian trong đó những biến cố có những trị giá ảo về tọa độ thời gian được gọi là thuộc hình học Euclide, gọi theo tên của nhà toán học Hy Lạp Euclide, người đã lập ra sự nghiên cứu hình học của các bề mặt hai chiều. Những gì mà hiện giờ chúng ta gọi là không thời gian theo hình học Euclide rất tương tự ngoại trừ nó có bốn chiều thay vì hai chiều. Trong không-thời gian Euclide không có sự khác biệt giữa chiều thời gian và các chiều không gian. Mặt khác, trong không-thời gian thực, trong đó các biến cố được gán cho những trị số thực, bình thường về tọa độ thời gian, rất dễ nhìn ra sự khác biệt -- hướng thời gian ở mọi điểm nằm bên trong hình nón ánh sáng, và các chiều không gian nằm bên ngoài. Trong bất cứ trường hợp nào, nói về cơ học lượng tử thường ngày, chúng ta có thể coi việc chúng ta sử dụng thời gian tưởng tượng và không-thời gian Euclide như chỉ là một công cụ toán học (hay mảnh lối) để tính toán những giải đáp về không-thời gian thực.

Một đặc điểm thứ nhì mà chúng ta nghĩ phải nằm trong bất cứ lịch sử tối hậu nào là ý tưởng của Einstein cho rằng trường hấp lực được biểu diễn bởi không-thời gian cong: những hạt cố đi theo cái gần gũi nhất với một con đường thẳng trong một không gian cong, nhưng bởi vì không-thời gian không phẳng, những đường đi của chúng có vẻ bị cong, như thể bị uốn cong

bởi một trường hấp lực. Khi chúng ta áp dụng tổng số lịch sử của Feynman cho quan điểm của Einstein về hấp lực, sự tương tự về lịch sử của một hạt hiện giờ là một không-thời gian cong hoàn toàn biểu hiện lịch sử của toàn thể vũ trụ. Để tránh những khó khăn kỹ thuật trong việc tính toán thực sự tổng số lịch sử, những không-thời gian cong này phải được coi như thuộc hình học Euclide. Nghĩa là, thời gian là ảo và không thể phân biệt được với những chiều trong không gian. Để tính toán xác suất tìm ra một không-thời gian thực với một đặc tính chắc chắn nào đó, như nhìn giống nhau tại mọi điểm và theo mọi hướng, người ta cộng tất cả những sóng kết hợp với mọi lịch sử có đặc điểm đó.

Trong thuyết tương đối tổng quát cổ điển, có nhiều không-thời gian cong khác nhau, mỗi cái tương ứng với một tình trạng sơ khởi khác nhau của vũ trụ. Nếu chúng ta biết tình trạng sơ khởi của vũ trụ, chúng ta sẽ biết trọn lịch sử của nó. Tương tự, trong thuyết hấp lực lượng tử, có nhiều tình trạng lượng tử có thể có cho vũ trụ. Một lần nữa, nếu chúng ta biết các không-thời gian cong theo hình học Euclide trong tổng số lịch sử phản ứng ở những thời gian ban đầu, chúng ta sẽ biết tình trạng lượng tử của vũ trụ.

Trong thuyết hấp lực cổ điển, căn cứ vào không-thời gian thực, chỉ có hai cách mà vũ trụ có thể phản ứng: hoặc nó đã tồn tại trong một thời gian vô tận, hoặc nếu không thì nó đã có một khởi đầu tại một điểm kỳ dị ở một thời điểm nhất định nào đó trong quá khứ. Trong thuyết hấp lực lượng tử, mặt khác, một khả dĩ thứ ba nổi lên. Bởi vì người ta sử dụng không-thời gian Euclide, trong đó chiều thời gian có cùng căn bản như các chiều trong không gian, không-thời gian có thể hữu hạn mà vẫn không có những điểm kỳ dị để hình thành một biên giới hoặc bờ. Không-thời gian sẽ giống như bề mặt của trái đất, chỉ khác là có thêm hai chiều nữa. Bề mặt của trái đất là hữu hạn nhưng nó không có một biên giới hoặc bờ: nếu bạn khởi đi về hướng mặt trời lặn, bạn không rơi ra ngoài bờ hoặc gặp một điểm kỳ dị. (Tôi biết, bởi vì tôi đã đi vòng quanh thế giới!)

Nếu không-thời gian Euclide rút ngắn lại tới thời gian tưởng tượng vô hạn, hoặc khởi đầu tại một điểm kỳ dị trong thời gian tưởng tượng, chúng ta cũng có cùng vấn nạn như trong lý thuyết cổ điển khi muốn định rõ tình trạng sơ khởi của vũ trụ: chỉ có Trời mới biết vũ trụ đã bắt đầu như thế nào, nhưng chúng ta không thể đưa ra bất cứ lý do nào để cho rằng nó đã khởi sự bằng cách này thay vì bằng cách kia. Mặt khác, thuyết hấp lực lượng tử đã mở ra một sự khả dĩ mới, trong đó sẽ không có biên giới cho không-thời gian và do đó sẽ không cần định rõ phản ứng tại biên giới. Sẽ không có các điểm kỳ dị

tại đó các định luật khoa học sụp đổ và không có bờ không-thời gian tại đó người ta sẽ phải kêu gọi Thượng Đế hoặc một định luật mới nào đó để đặt ra những điều kiện biên giới cho không-thời gian. Người ta có thể nói: "Điều kiện biên giới của vũ trụ là nó không có biên giới nào cả." Vũ trụ sẽ hoàn toàn tự chứa đựng và không bị ảnh hưởng bởi bất cứ cái gì bên ngoài nó. Nó không được tạo ra cũng không bị hủy diệt. Nó chỉ HIỆN HỮU.

Chính tại cuộc hội thảo ở Vatican như đã được đề cập ở trên, tôi đã đưa ra đầu tiên ý kiến rằng có thể thời gian và không gian cùng nhau làm thành một bề mặt hữu hạn về tâm cỡ nhưng đã không có biên giới hoặc bờ bên nào. Tuy nhiên, tài liệu của tôi hơi thiên về toán học, do đó những hàm ý của nó về vai trò của Thượng Đế trong sự sáng tạo ra vũ trụ lúc đó đã không được thừa nhận rộng rãi. Vào thời gian cuộc hội thảo Vatican, tôi đã không biết làm thế nào để đưa ý niệm "không biên giới" vào việc thực hiện những tiên đoán về vũ trụ. Tuy nhiên, tôi đã trải qua mùa hè sau đó tại trường đại học Santa Barbara của California. Tại đó, một người bạn và cũng là đồng nghiệp của tôi, Jim Hartle, đã nghiên cứu cùng với tôi những điều kiện mà vũ trụ phải thỏa mãn nếu không-thời gian không có giới hạn. Khi tôi trở về Cambridge, tôi đã tiếp tục công việc này với hai trong số những nghiên cứu sinh của tôi, Julian Luttrell và Jonathan Halliwell.

Tôi cũng muốn nhấn mạnh rằng ý tưởng thời gian và không gian phải hữu hạn mà không có biên giới chỉ là một đề nghị: nó không thể được suy ra từ một nguyên tắc nào khác. Giống như bất cứ lý thuyết khoa học nào khác, nó có thể lúc đầu được đưa ra vì những lý do thẩm mỹ hoặc siêu hình, nhưng sự thử thách thực sự là liệu nó có khiến những tiên đoán phù hợp với sự quan sát hay không. Tuy nhiên, điều này rất khó xác định trong trường hợp hấp lực lượng tử, vì hai lý do. Trước hết, như sẽ được giải thích trong chương kế tiếp, chúng ta chưa biết chắc chắn đúng ra lý thuyết nào phối hợp một cách thành công thuyết tương đối tổng quát và cơ học lượng tử, mặc dù chúng ta biết hầu như rất nhiều về hình thức mà một lý thuyết như vậy phải có. Thứ nhì, bất cứ mô hình nào mô tả chi tiết toàn thể vũ trụ cũng sẽ quá phức tạp về phương diện toán học để chúng ta có thể tính toán đúng những tiên đoán. Do đó người ta phải thực hiện những giả thiết và ước lượng được đơn giản hóa -- và ngay cả khi đó, vấn đề rút ra những tiên đoán vẫn còn là một vấn đề khó khăn.

Mỗi lịch sử trong tổng cộng lịch sử sẽ mô tả không phải chỉ không-thời gian mà cả mọi thứ trong đó, kể cả bất cứ sinh vật phức tạp nào như con người, là sinh vật có thể quan sát lịch sử của vũ trụ. Điều này có thể cung cấp một sự

biện minh khác cho nguyên tắc vị nhân chủng, bởi vì nếu mọi lịch sử đều có thể xảy ra, thì chừng nào chúng ta hiện hữu trong một trong số những lịch sử đó, chúng ta có thể sử dụng nguyên tắc vị nhân chủng để giải thích tại sao vũ trụ lại được thấy như tình trạng của nó hiện nay. Ý nghĩa nào là đúng để có thể được gán cho những lịch sử khác, trong đó chúng ta không hiện hữu, là điều không rõ ràng. Tuy nhiên, quan điểm này về thuyết hấp lực lượng tử sẽ hài lòng hơn nhiều, nếu người ta có thể chứng tỏ rằng, dùng tổng số lịch sử, vũ trụ của chúng ta không phải chỉ là một trong những lịch sử có thể xảy ra nhưng là một trong những lịch sử có thể xảy ra nhất. Để làm điều này, chúng ta phải thực hiện việc cộng các lịch sử có thể xảy ra cho mọi không-thời gian Euclide không có biên giới.

Theo đề xuất không biên giới, người ta biết rằng cơ hội để vũ trụ được coi như đi theo hầu hết các lịch sử có thể xảy ra không đáng kể, nhưng có một nhóm đặc biệt các lịch sử có cơ hội xảy ra nhiều hơn các nhóm khác. Những lịch sử này có thể được hình dung như giống bề mặt của trái đất, với khoảng cách từ Bắc Cực đại diện thời gian tương tượng và cỡ của một vòng tròn cách một khoảng cố định từ Bắc Cực đại diện cỡ không gian của vũ trụ. Vũ trụ khởi đầu tại Bắc Cực như một điểm duy nhất. Khi người ta di chuyển về phía nam, các vòng tròn vĩ tuyến ở khoảng cách cố định từ Bắc Cực trở nên lớn hơn, tương ứng với vũ trụ bành trướng với thời gian tương tượng (Hình 8.1). Vũ trụ sẽ đạt tới một cỡ tối đa ở đường xích đạo và sẽ thu rút lại với thời gian tương tượng tăng lên tới một điểm duy nhất ở Nam Cực. Mặc dù vũ trụ sẽ có cỡ bằng 0 tại các cực Bắc và Nam, những điểm này sẽ không phải là các điểm kỳ dị. Các định luật khoa học sẽ có giá trị tại những điểm đó, cũng như chúng có giá trị tại Bắc và Nam Cực trên trái đất.

Tuy nhiên, lịch sử của vũ trụ ở thời gian thực, trông sẽ rất khác. Ở vào khoảng mười hoặc hai mươi ngàn triệu năm về trước, nó sẽ có một cỡ tối thiểu, bằng với bán kính tối đa của lịch sử trong thời gian tương tượng. Ở những thời gian thực sau này, vũ trụ sẽ bành trướng như mô hình lạm phát hỗn loạn đề xuất bởi Linde (nhưng bây giờ người ta sẽ không phải giả sử rằng vũ trụ đã được tạo ra bằng cách nào đó trong tình trạng thích hợp). Vũ trụ sẽ bành trướng tới một cỡ rất lớn và cuối cùng nó sẽ suy sụp trở lại thành cái giống như một điểm kỳ dị trong thời gian thực. Như vậy, theo một ý nghĩa nào đó, tất cả chúng ta vẫn đi tới tận thế, dù cho chúng ta tránh xa các hố đen. Chỉ trong trường hợp chúng ta có thể hình dung vũ trụ theo thời gian tương tượng thì mới không có những điểm kỳ dị.

Nếu vũ trụ thực sự ở trong một tình trạng lượng tử như vậy, sẽ không có các điểm kỳ dị trong lịch sử của vũ trụ trong thời gian tưởng tượng. Do đó có vẻ rằng công trình mới đây hơn của tôi đã hoàn toàn phủ nhận các kết quả của công trình trước đây của tôi về các điểm kỳ dị. Nhưng, như nói ở trên, tầm quan trọng thực sự của các định lý điểm kỳ dị là chúng đã chứng tỏ rằng trường hấp lực phải trở nên mạnh đến độ các hậu quả hấp lực lượng tử không thể bị bỏ qua. Điều này do đó lại đưa tới ý niệm rằng vũ trụ có thể hữu hạn trong thời gian tưởng tượng nhưng không có các biên giới hoặc các điểm kỳ dị. Tuy nhiên, khi người ta quay trở lại thời gian thực trong đó chúng ta sinh sống, có vẻ vẫn sẽ có những điểm kỳ dị. Nhà du hành vũ trụ bất hạnh nào rơi vào một hố đen vẫn sẽ đi tới một kết cuộc khó chịu, chỉ khi nào ông ta sống trong thời gian tưởng tượng mới không gặp các điểm kỳ dị.

Điều này có thể gợi ý rằng cái được gọi là thời gian tưởng tượng thực ra là thời gian thực, và rằng điều mà chúng ta gọi là thời gian thực chỉ là một ảo ảnh của những tưởng tượng của chúng ta. Trong thời gian thực, vũ trụ có một khởi đầu và một kết cuộc ở các điểm kỳ dị để hình thành một biên giới cho không-thời gian và tại đó các định luật khoa học sụp đổ. Nhưng trong thời gian tưởng tượng, không có những điểm kỳ dị hoặc biên giới. Như vậy có thể những gì chúng ta gọi là thời gian tưởng tượng thực ra có căn bản hơn, và cái mà chúng ta gọi là thực chỉ là một ý niệm mà chúng ta tạo ra để giúp chúng ta mô tả những gì mà chúng ta nghĩ giống vũ trụ. Nhưng theo phương pháp mà tôi đã mô tả trong chương 1, một lý thuyết khoa học chỉ là một mô hình toán học mà chúng ta tạo ra để mô tả những quan sát của chúng ta: nó chỉ hiện hữu trong trí của chúng ta. Do đó thật là vô nghĩa khi hỏi: Cái nào là thật, thời gian "thật" hay thời gian "ảo"? Điều đòu giản dị chỉ là một vấn đề cái nào mô tả có ích hơn.

Người ta cũng có thể sử dụng tổng số các lịch sử, cùng với đề xuất không biên giới, để tìm ra những tính chất nào của vũ trụ có thể cùng xảy ra. Thí dụ, người ta có thể tính toán xác suất mà vũ trụ bành trướng gần như cùng nhịp độ ở mọi hướng khác nhau tại một thời điểm mà mật độ của vũ trụ có trị số hiện nay. Trong những mô hình được đơn giản hóa từng được quan sát cho tới nay, xác suất này hóa ra rất cao; nghĩa là, điều kiện không biên giới như đã được đề xuất đưa tới sự tiên đoán rằng rất có thể nhịp độ bành trướng hiện nay của vũ trụ hầu như giống nhau ở mọi hướng. Điều này phù hợp với những quan sát bức xạ nền sóng ngắn, chứng tỏ rằng nó có cường độ hầu như giống hệt nhau ở mọi hướng. Nếu vũ trụ đã bành trướng nhanh hơn ở vài hướng so với những hướng khác, cường độ của bức xạ ở những hướng đó sẽ bị giảm đi bởi một chuyển dịch thêm về phía đỏ.

Những tiên toán thêm về điều kiện không biên giới hiện đang được nghiên cứu. Một vấn đề đặc biệt đáng chú ý là tầm cỡ của những phần tử rời bỏ mật độ đồng đều trong vũ trụ ban đầu đã đưa đến sự hình thành những thiên hà đầu tiên, rồi những ngôi sao, và cuối cùng là con người chúng ta. Nguyên tắc bất định ngụ ý rằng vũ trụ ban đầu không thể đã hoàn toàn đồng đều bởi vì phải có vài sự bất trắc hoặc biến động về các vị trí và tốc độ của các hạt. Sử dụng điều kiện không biên giới, chúng ta thấy rằng vũ trụ thực ra đã khởi đầu với sự không đồng đều tối thiểu có thể được cho phép bởi nguyên tắc bất định. Vũ trụ khi đó sẽ trải qua một thời kỳ bành trướng nhanh, như trong các mô hình lạm phát. Trong thời kỳ này, những sự không đồng đều ban đầu sẽ được củng cố cho tới khi chúng đủ lớn để giải thích nguồn gốc của những cơ cấu mà chúng ta quan sát chung quanh chúng ta. Trong một vũ trụ bành trướng trong đó mật độ của vật chất thay đổi đôi chút ở nơi này so với nơi khác, hấp lực đã khiến những khu vực đậm đặc hơn bành trướng chậm lại và khởi sự co rút. Điều này sẽ đưa tới sự hình thành các thiên hà, các ngôi sao, và cuối cùng ngay cả những sinh vật nhỏ nhoi như chúng ta. Do đó mọi cơ cấu phức tạp mà chúng ta thấy trong vũ trụ có thể được giải thích bởi điều kiện không biên giới cho vũ trụ cùng với nguyên tắc bất trắc của cơ học lượng tử.

Ý tưởng rằng không gian và thời gian có thể hình thành một bề mặt kín mà không có biên giới cũng có những hàm ý sâu xa cho vai trò của Thượng Đế trong công việc của vũ trụ. Với sự thành công của những lý thuyết khoa học trong việc mô tả các biến cố, hầu hết mọi người đã đi tới tin tưởng rằng Thượng Đế cho phép vũ trụ tiến hóa theo một bộ các định luật và không can thiệp vào vũ trụ để phá vỡ những định luật này. Tuy nhiên, các định luật không cho chúng ta biết vũ trụ phải giống như cái gì khi nó bắt đầu -- nó vẫn còn tùy thuộc vào Thượng Đế để lên dây thiều và lựa chọn cách khởi đầu. Chừng nào mà vũ trụ còn có một khởi đầu, chúng ta còn có thể giả định nó có một đấng sáng tạo. Nhưng nếu vũ trụ thực sự tự chứa, không có biên giới hoặc bờ bến, nó sẽ không có khởi đầu cũng như không có kết cuộc: nó giản dị hiện hữu. Như vậy thì đâu có nơi nào dành cho một đấng sáng thế?

---o0o---

CHƯƠNG 9 - MŨI TÊN THỜI GIAN

Như chúng ta đã thấy ở những chương trước, quan điểm của chúng ta về bản chất thời gian từ trước tới nay đã biến hóa ra sao. Mãi cho đến đầu thế kỷ này, người ta vẫn còn tin vào một thời gian tuyệt đối. Nghĩa là, mỗi biến cố

có thể được gán cho một con số gọi là "thời gian" và mọi đồng hồ tốt đều đồng ý về khoảng thời gian giữa hai biến cố. Tuy nhiên, sự khám phá ra rằng tốc độ của ánh sáng có vẻ như nhau đối với mọi quan sát viên, bất kể người đó di chuyển ra sao, đã đưa tới thuyết tương đối -- và trong thuyết đó người ta đã phải từ bỏ ý niệm rằng có một thời gian tuyệt đối duy nhất. Thay vào đó, mỗi quan sát viên sẽ có số đo riêng về thời gian như được ghi nhận bởi một chiếc đồng hồ mà người đó mang theo: những đồng hồ mang bởi những quan sát viên khác nhau sẽ không nhất thiết đồng ý với nhau. Do đó thời gian đã trở thành một ý niệm có tính cách cá nhân hơn, tương đối với quan sát viên đo đạc nó.

Khi cố gắng thống nhất hấp lực với cơ học lượng tử, người ta đã phải đưa vào ý niệm thời gian "tưởng tượng." Thời gian tưởng tượng không thể phân biệt được từ những hướng trong không gian. Nếu người ta có thể đi về hướng bắc, người ta có thể quay trở lại và hướng về phía nam; cũng vậy, nếu người ta có thể đi tới trong thời gian tưởng tượng, người ta phải có thể quay lại và đi ngược trở lại. Điều này có nghĩa có thể không có sự khác biệt quan trọng nào giữa những chiều đi tới và đi lui của thời gian tưởng tượng. Mặt khác, khi người ta nhìn vào thời gian "thật," có một sự khác biệt rất lớn giữa các chiều đi tới và đi lui, như chúng ta đều biết. Sự khác biệt này giữa quá khứ và tương lai từ đâu mà ra? Tại sao chúng ta nhớ quá khứ mà không nhớ tương lai?

Các định luật khoa học không phân biệt giữa quá khứ và tương lai. Nói rõ hơn, như đã được giải thích trước đây, các định luật khoa học không thay đổi theo sự phối hợp các hoạt động (hay đối xứng) được biết như là C, P, và T. (C có nghĩa là đối hạt thành phản hạt, P có nghĩa lấy hình phản chiếu, để trái và phải đổi cho nhau. Và T có nghĩa đảo ngược chiều chuyển động của mọi hạt: hậu quả, cho chuyển động chạy ngược trở lại.) Những định luật khoa học chi phối phản ứng của vật chất dưới mọi tình huống bình thường sẽ không thay đổi dưới sự phối hợp của hai tác dụng C và P. Nói khác đi, đời sống sẽ vẫn như vậy đối với các cư dân của một hành tinh khác, những người vừa là những hình ảnh phản chiếu của chúng ta vừa được cấu tạo bởi phản vật chất, thay vì vật chất.

Nếu các định luật khoa học không thay đổi bởi sự phối hợp của các tác dụng C và P, và cũng bởi sự phối hợp C, P, và T, chúng cũng phải không thay đổi dưới một mình tác dụng T. Tuy nhiên có một khác biệt lớn giữa những chiều đi tới và chiều đi lui của thời gian thực trong đời sống bình thường. Hãy tưởng tượng một ly nước rơi từ trên bàn xuống và vỡ thành những mảnh vụn

trên sàn nhà. Nếu bạn quay phim sự kiện này, bạn có thể dễ dàng nói nó đang đi tới hay đi lui. Nếu bạn cho quay ngược lại bạn sẽ thấy các mảnh vụn bỗng nhiên gom trở lại từ sàn nhà và nhảy trở lại để thành một ly đầy trên bàn. Bạn có thể nói rằng đoạn phim chạy ngược lại bởi vì chuyện này không bao giờ thấy trong đời sống bình thường. Nếu không, những nhà chế tạo đồ gốm sẽ phải đẹp tiệt.

Sự giải thích thường được đưa ra về chuyện tại sao chúng ta không thấy những chiếc ly vỡ tự gom lại từ sàn nhà và nhảy trở lên bàn là nó bị ngăn cản bởi định luật thứ nhì về nhiệt động học. Định luật này nói rằng trong mọi hệ thống khép kín, sự mất trật tự luôn luôn gia tăng theo thời gian. Nói khác đi, đó là một hình thức của định luật Murphy: Mọi chuyện luôn luôn có khuynh hướng xấu đi! Một chiếc ly nguyên vẹn trên bàn là một tình trạng trật tự cao, nhưng một chiếc ly vỡ trên sàn nhà là một tình trạng mất trật tự. Người ta có thể sẵn sàng đi từ chiếc ly trên bàn trong quá khứ tới chiếc ly vỡ trên sàn nhà trong tương lai, nhưng không thể đi ngược lại.

Sự gia tăng tính vô trật tự theo thời gian là một thí dụ của điều được gọi là một mũi tên thời gian, một điều giúp phân biệt quá khứ với tương lai, khiến cho thời gian có một chiều hướng. Có ít nhất ba mũi tên thời gian khác nhau. Trước hết, có một mũi tên thời gian về nhiệt động học, là hướng thời gian trong đó sự mất trật tự gia tăng. Rồi, có một mũi tên thời gian về tâm lý học. Đây là chiều trong đó chúng ta cảm thấy thời gian trôi qua, chiều trong đó chúng ta nhớ quá khứ chứ không phải tương lai. Cuối cùng, có mũi tên thời gian về vũ trụ học. Đây là chiều thời gian trong đó vũ trụ đang bành trướng thay vì co rút.

Trong chương này, chúng ta sẽ lý luận rằng điều kiện không biên giới cho vũ trụ, cùng với nguyên tắc vị nhân chủng yếu, có thể giải thích tại sao tất cả ba mũi tên đều chỉ về một hướng -- và hơn nữa, tại sao một mũi tên thời gian được xác định rõ phải hiện hữu. Tôi sẽ lý luận rằng mũi tên tâm lý được xác định bởi mũi tên nhiệt động học, và rằng hai mũi tên này cần phải luôn luôn chỉ về một hướng. Nếu người ta chấp nhận điều kiện không biên giới cho vũ trụ, chúng ta sẽ thấy rằng phải có những mũi tên thời gian về nhiệt động học và vũ trụ học được xác định rõ, nhưng chúng sẽ không hướng về cùng một hướng đối với toàn thể lịch sử của vũ trụ. Tuy nhiên, tôi sẽ lý luận rằng đó chỉ khi nào chúng cùng hướng về một chiều thì các điều kiện mới thích hợp cho sự phát triển của các sinh vật thông minh, những kẻ có thể đặt ra câu hỏi: Tại sao sự mất trật tự gia tăng theo cùng hướng thời gian mà trong đó vũ trụ bành trướng?

Tôi sẽ thảo luận trước hết về mũi tên thời gian nhiệt động học. Định luật thứ nhì về nhiệt động học phát sinh từ sự kiện rằng luôn luôn có nhiều tình trạng mất trật tự so với các tình trạng trật tự. Thí dụ, hãy xét các mảnh của một bộ ráp hình trong một chiếc hộp. Có một, và chỉ một, cách sắp xếp trong đó các mảnh làm thành một bức hình hoàn toàn. Mặt khác, có một con số rất lớn cách xếp trong đó những mảnh bị mất trật tự và không làm thành một bức hình.

Giả thử một hệ thống khởi sự trong một tình trạng nào đó của một số nhỏ những tình trạng trật tự. Khi thời gian trôi qua, hệ thống sẽ tiến hóa theo các định luật khoa học và các tình trạng của nó sẽ thay đổi. Ở một thời gian về sau, hệ thống sẽ nhiều khả năng ở trong một tình trạng mất trật tự hơn là trong một tình trạng trật tự bởi vì có nhiều tình trạng mất trật tự hơn. Như vậy sự mất trật tự sẽ có khuynh hướng gia tăng theo thời gian nếu hệ thống tuân theo một điều kiện trật tự cao lúc đầu.

Giả sử các mảnh của bộ ráp hình khởi sự trong một chiếc hộp theo sự sắp xếp trật tự trong đó chúng làm thành một bức hình. Nếu bạn lắc chiếc hộp, các mảnh sẽ làm thành một sự xếp đặt khác. Sự sắp xếp này sẽ có thể là một sự sắp xếp mất trật tự trong đó các mảnh không làm thành một bức hình đúng, giản dị chỉ vì có quá nhiều những sự sắp xếp mất trật tự khác. Vài nhóm mảnh vẫn có thể làm thành những phần của bức hình, nhưng bạn càng lắc chiếc hộp, những nhóm này càng có thể sẽ vỡ ra và những mảnh sẽ ở trong một tình trạng hoàn toàn lộn xộn trong đó chúng không làm thành hình thù nào cả. Do đó sự mất trật tự của những mảnh có thể sẽ gia tăng theo thời gian nếu các mảnh tuân theo điều kiện ban đầu mà chúng khởi sự trong một điều kiện trật tự cao.

Tuy nhiên, giả thử Thượng Đế đã quyết định rằng vũ trụ phải kết thúc trong một tình trạng trật tự cao nhưng nó đã khởi đầu ở trong tình trạng nào là điều không quan trọng. Ở những thời gian ban đầu vũ trụ có thể ở trong một tình trạng mất trật tự. Điều này có nghĩa sự mất trật tự sẽ giảm đi theo thời gian. Bạn sẽ thấy những mảnh ly tụ gom lại và nhảy lên bàn. Tuy nhiên, bất cứ những kẻ người trần mắt thịt nào đã quan sát những chiếc ly phải sống trong một vũ trụ trong đó sự mất trật tự giảm đi theo thời gian. Tôi sẽ lý luận rằng những con người như vậy sẽ có một mũi tên thời gian về tâm lý đi theo chiều ngược. Nghĩa là, họ sẽ nhớ các biến cố ở tương lai, và không nhớ những biến cố trong quá khứ của họ. Khi chiếc ly bị vỡ, họ sẽ nhớ lúc nó đang ở trên bàn, nhưng khi nó ở trên bàn, họ sẽ không nhớ lúc nó đang ở trên sàn nhà.

Hơi khó nói chuyện về ký ức của con người bởi vì chúng ta không biết chi tiết bộ óc hoạt động như thế nào. Tuy nhiên, chúng ta quả có biết mọi chuyện về những ký ức máy điện toán hoạt động ra sao. Do đó tôi sẽ thảo luận mũi tên thời gian tâm lý đối với máy điện toán. Tôi nghĩ cũng hợp lý khi giả thử rằng mũi tên đối với các máy điện toán cũng giống mũi tên đối với con người. Nếu không giống, người ta có thể ăn đứt trên thị chứng khoán bằng cách có một máy điện toán có thể nhớ giá cả của ngày mai!

Một ký ức điện toán trên căn bản là một dụng cụ chứa các phần tử có thể hiện hữu ở một trong hai tình trạng. Một thí dụ giản dị là một bàn tính của người Trung Hoa. Trong hình thức giản dị nhất của nó, bàn tính này bao gồm một số những sợi dây kềm, trên mỗi sợi dây là một hạt có thể được đặt ở một trong hai vị trí. Trước khi một khoản được ghi nhận trong ký ức của một máy điện toán, bộ nhớ ở trong một tình trạng mất trật tự, với những xác suất bằng nhau đối với hai tình trạng có thể xảy ra. (Các hạt của bàn tính nằm rải rác bất kỳ trên những sợi dây kềm của bàn tính.) Sau khi ký ức tương tác với hệ thống để được nhớ, nó sẽ nhất định phải ở trong một tình trạng này hay tình trạng kia, tùy theo tình trạng của hệ thống. (Mỗi hạt bàn tính sẽ hoặc nằm ở bên trái hoặc nằm ở bên phải của sợi dây bàn tính.) Do đó ký ức đã chuyển từ một tình trạng mất trật tự sang một tình trạng trật tự. Tuy nhiên, để bảo đảm rằng ký ức ở trong tình trạng đúng, cần phải sử dụng một số năng lượng nào đó (để di chuyển hạt hoặc để cung cấp điện cho máy điện toán, thí dụ vậy). Năng lượng này được phân tán như nhiệt, và gia tăng lượng mất trật tự trong vũ trụ. Người ta có thể chứng tỏ rằng sự gia tăng mất trật tự này luôn luôn lớn hơn sự gia tăng về trật tự của chính ký ức. Do đó nhiệt bị thổi đi bởi chiếc quạt mát của máy điện toán có nghĩa rằng khi một máy điện toán ghi nhận một điều trong ký ức, lượng mất trật tự tổng cộng trong vũ trụ sẽ tăng lên. Chiều thời gian trong đó một máy điện toán nhớ quá khứ cũng giống như chiều trong đó sự mất trật tự gia tăng.

Ý thức chủ quan của chúng ta về chiều thời gian, tức chiều thời gian về tâm lý, do đó được xác định bên trong bộ óc của chúng ta bởi mũi tên thời gian nhiệt động học. Cũng như một máy điện toán, chúng ta phải nhớ mọi chuyện theo trật tự trong đó sự mất trật tự gia tăng. Điều này làm cho định luật thứ nhì của nhiệt động học hầu như ít quan trọng. Sự mất trật tự gia tăng theo thời gian bởi vì chúng ta đo thời gian theo chiều trong đó sự mất trật tự gia tăng. Bạn không thể đoán cách nào tốt hơn!

Nhưng tại sao mũi tên thời gian nhiệt động học lại hiện hữu? Hoặc, nói cách khác, tại sao vũ trụ phải ở trong một tình trạng trật tự cao ở một đầu của thời

gian, đầu mà chúng ta gọi là quá khứ? Tại sao nó không ở trong một tình trạng lúc nào cũng hoàn toàn mất trật tự? Và chẳng, điều này có vẻ như dễ xảy ra hơn. Và tại sao mũi tên thời gian trong đó sự mất trật tự gia tăng giống như chiều trong đó vũ trụ bành trướng?

Trong thuyết tương đối tổng quát cổ điển người ta có thể tiên đoán vũ trụ đã khởi đầu như thế nào bởi vì mọi định luật khoa học đã biết sẽ sụp đổ ở nhất thể nổ lớn. Vũ trụ có thể đã khởi đầu trong một tình trạng rất trơn tru và trật tự. Điều này sẽ đưa tới những mũi tên thời gian nhiệt động học và vũ trụ học được xác định rõ, như chúng ta quan sát. Nhưng nó cũng có thể đã khởi đầu trong một tình trạng hỗn độn và mất trật tự. Trong trường hợp đó, vũ trụ đã ở trong một tình trạng hoàn toàn mất trật tự, do đó sự mất trật tự không thể gia tăng theo thời gian. Nó hoặc sẽ giữ nguyên không đổi, trong trường hợp này sẽ không có mũi tên thời gian nhiệt động học được xác định rõ, hoặc nó sẽ giảm đi, trong trường hợp này mũi tên thời gian nhiệt động học sẽ hướng theo chiều ngược lại với mũi tên vũ trụ học. Không có trường hợp nào trong những sự khả dĩ này phù hợp với những gì chúng ta quan sát. Tuy nhiên, như chúng ta đã thấy, thuyết tương đối tổng quát cổ điển tiên đoán sự xuống dốc của chính nó. Khi độ cong không-thời gian trở thành lớn, các hậu quả hấp lực lượng tử sẽ trở nên quan trọng và lý thuyết cổ điển sẽ không còn là một sự mô tả tốt về vũ trụ. Người ta phải sử dụng thuyết hấp lực lượng tử để hiểu vũ trụ đã bắt đầu như thế nào.

Trong thuyết hấp lực lượng tử, như chúng ta đã thấy trong chương vừa rồi, để định rõ tình trạng của vũ trụ người ta vẫn phải nói những lịch sử có thể của vũ trụ sẽ phản ứng ra sao tại biên giới của không-thời gian trong quá khứ. Người ta chỉ có thể tránh sự khó khăn phải mô tả những gì chúng ta không biết và không thể biết nếu những lịch sử thỏa mãn điều kiện không biên giới: chúng hữu hạn về độ lớn nhưng không có biên giới, bờ, hoặc các nhất thể. Trong trường hợp đó, sự khởi đầu của thời gian sẽ là một thời điểm không-thời gian bình thường và vũ trụ đã phải bắt đầu sự bành trướng của nó trong một tình trạng rất trơn tru và trật tự. Nó đã không thể hoàn toàn đồng đều, bởi vì điều đó sẽ vi phạm nguyên tắc bất định của thuyết lượng tử. Phải có những biến động nhỏ về mật độ và tốc độ của các hạt. Tuy nhiên, điều kiện không biên giới ngụ ý rằng những biến động này đã nhỏ hết cỡ có thể được, phù hợp với nguyên tắc bất định.

Vũ trụ đã phải khởi đầu với một thời kỳ bành trướng gấp bội hay "lạm phát" trong đó nó đã gia tăng về cỡ bởi một bội số nhân rất lớn. Trong sự bành trướng này, những biến động về mật độ lúc đầu đã duy trì ở mức nhỏ, nhưng

về sau đã bắt đầu phát triển. Những vùng trong đó mật độ hơi cao hơn mức trung bình thì sự bành trướng bị giảm tốc độ bởi sự thu hút trọng lực của khối lượng phụ trội. Cuối cùng, những vùng như vậy sẽ ngưng bành trướng và co sụp để hình thành những thiên hà, các ngôi sao, và những sinh vật như chúng ta. Vũ trụ đã khởi sự trong một tình trạng trơn tru và trật tự, và sẽ trở thành hỗn độn và mất trật tự theo thời gian. Điều này giải thích sự hiện hữu của mũi tên thời gian nhiệt động học.

Nhưng những gì sẽ xảy ra nếu và khi vũ trụ ngưng bành trướng và khởi sự co rút? Liệu mũi tên nhiệt động học có đổi chiều và sự mất trật tự bắt đầu giảm theo thời gian hay không? Điều này sẽ đưa tới mọi loại khả dĩ giống như khoa học giả tưởng đối với những người sống sót từ giai đoạn bành trướng sang giai đoạn co rút. Liệu họ có nhìn thấy những chiếc ly vỡ tự gom lại từ sàn nhà và nhảy trở lên bàn hay không? Liệu họ có thể nhớ giá cả của ngày mai và làm giàu trên thị trường chứng khoán hay không? Có vẻ như nặng đầu óc học giả khi lo lắng về những gì sẽ xảy ra khi vũ trụ co sụp trở lại, trong khi nó sẽ không bắt đầu co rút trong ít nhất mười ngàn triệu năm nữa. Nhưng có một phương cách nhanh chóng hơn để tìm ra những gì sẽ xảy ra: nhảy vào một hố đen. Sự sụp đổ của một ngôi sao để làm thành một hố đen hơi giống những giai đoạn cuối của sự co sụp của toàn thể vũ trụ. Do đó nếu sự mất trật tự phải giảm đi trong giai đoạn co rút của vũ trụ, người ta có thể cũng trông đợi nó sẽ giảm đi bên trong một hố đen. Do đó có lẽ một nhà du hành vũ trụ rơi vào một hố đen sẽ có thể làm ra tiền tại bàn đánh bạc roulette bằng cách nhớ nơi trái banh đã đi trước khi đặt tiền. (Tuy nhiên, điều bất hạnh là ông ta sẽ không có thì giờ chơi trước khi biến thành mì sợi. Ông ta cũng không thể cho chúng ta biết về sự đảo ngược mũi tên nhiệt động học, hoặc ngay cả việc gửi tiền thắng vào ngân hàng, bởi vì ông ta sẽ bị mắc kẹt phía sau chân trời biến cố của cái hố đen.)

Lúc đầu, tôi đã tin rằng sự mất trật tự sẽ giảm đi khi vũ trụ co sụp trở lại. Lý do là tôi đã nghĩ rằng vũ trụ phải trở lại một tình trạng êm ả và trật tự khi nó trở nên nhỏ lại lần nữa. Điều này có nghĩa giai đoạn co rút sẽ giống như sự đảo ngược thời gian của giai đoạn bành trướng. Những người ở trong giai đoạn co rút sẽ sống cuộc đời của họ ngược chiều: họ sẽ chết trước khi họ sinh ra và trở nên trẻ hơn khi vũ trụ co rút.

Ý tưởng này có vẻ hấp dẫn bởi vì nó sẽ có nghĩa một sự đối xứng đẹp đẽ giữa các giai đoạn bành trướng và co rút. Tuy nhiên, người ta không thể chấp nhận riêng ý tưởng này, độc lập với những ý tưởng khác về vũ trụ. Vấn đề là: Nó có bao hàm bởi điều kiện không biên giới hay không, hay nó có

mâu thuẫn với điều kiện đó hay không? Như tôi đã nói, lúc đầu tôi đã nghĩ rằng điều kiện không biên giới quả thật ngụ ý rằng sự mất trật tự sẽ giảm đi trong giai đoạn co rút. Tôi đã bị đưa đến sai lầm một phần bởi sự so sánh với bề mặt trái đất. Nếu người ta coi sự khởi đầu của vũ trụ tương ứng với Bắc Cực, khi đó kết cuộc của vũ trụ phải tương tự với sự khởi đầu, giống như Nam Cực tương tự như Bắc Cực. Tuy nhiên, Bắc Cực và Nam Cực tương ứng với sự khởi đầu và kết cuộc trong thời gian tương tượng. Sự khởi đầu và kết cuộc trong thời gian thực có thể rất khác nhau. Tôi cũng đã bị lầm lẫn bởi công việc mà tôi đã làm trên một mô hình vũ trụ giản dị trong đó giai đoạn co sụp trông giống như sự đảo ngược thời gian của giai đoạn bành trướng. Tuy nhiên, một đồng nghiệp của tôi, Don Page, ở trường đại học Pennsylvania, đã vạch ra rằng điều kiện không biên giới đã không đòi hỏi giai đoạn co rút nhất thiết phải là sự đảo ngược thời gian của giai đoạn bành trướng. Hơn nữa, một trong những sinh viên của tôi, Raymond Laflamme, đã thấy rằng trong một mô hình hơi phức tạp hơn, sự co sụp của vũ trụ rất khác sự bành trướng. Tôi nhận ra rằng mình đã phạm một sai lầm: điều kiện không biên giới ngụ ý rằng sự mất trật tự thật ra tiếp tục gia tăng trong giai đoạn co rút. Các mũi tên thời gian nhiệt động và tâm lý sẽ không đảo ngược khi vũ trụ bắt đầu co rút trở lại hoặc bên trong các hố đen.

Bạn sẽ làm gì khi bạn thấy bạn đã phạm một sai lầm như thế? Một số người không đòi nào công nhận rằng họ sai và tiếp tục tìm kiếm những lý luận mới, và thường không ăn khớp với nhau để bênh vực trường hợp của họ -- như Eddington đã làm khi chống đối lý thuyết hố đen. Những người khác thì bảo rằng họ không hề ủng hộ quan điểm sai hoặc, nếu họ đã ủng hộ, đó chỉ là để chứng tỏ nó không phù hợp. Đối với tôi có vẻ như tốt hơn và đỡ hiểu lầm hơn nếu người ta công nhận bằng tài liệu in rằng họ đã lầm. Một thí dụ tốt của chuyện này là Einstein, người đã gọi hằng số vũ trụ mà ông đã đưa ra khi ông cố tạo một mô hình tĩnh của vũ trụ, là sai lầm lớn nhất trong đời ông.

Để trở lại mũi tên thời gian, vẫn còn câu hỏi: Tại sao chúng ta quan sát thấy rằng những mũi tên nhiệt động và vũ trụ cùng chỉ về cùng một hướng? Hoặc nói một cách khác, tại sao sự mất trật tự gia tăng cùng một hướng thời gian như hướng trong đó vũ trụ bành trướng? Nếu người ta tin rằng vũ trụ sẽ bành trướng và rồi co rút trở lại, như đề xuất không biên giới có vẻ bao hàm, điều này trở thành một câu hỏi tại sao chúng ta phải ở trong giai đoạn bành trướng thay vì giai đoạn co rút.

Người ta có thể trả lời câu hỏi này trên căn bản nguyên tắc vị nhân chủng yếu. Các điều kiện trong giai đoạn co rút sẽ không thích hợp cho sự hiện hữu của các sinh vật thông minh, những kẻ có thể đặt ra câu hỏi. Tại sao sự mất trật tự gia tăng cùng chiều thời gian như chiều trong đó vũ trụ bành trướng? Sự lạm phát trong những giai đoạn đầu của vũ trụ, như đề xuất không biên giới tiên đoán, có nghĩa rằng vũ trụ phải đang bành trướng ở nhịp độ sát với nhịp độ tới hạn, vừa đủ để tránh sự co sụp trở lại, và do đó sẽ không co sụp trở lại trong một thời gian rất dài. Tới lúc đó mọi ngôi sao đã cháy rụi và các proton và trung hòa tử của chúng có thể đã thoái hóa thành những hạt nhẹ hơn và bức xạ. Vũ trụ sẽ ở trong một tình trạng hầu như hoàn toàn mất trật tự. Sẽ không có mũi tên thời gian nhiệt động mạnh. Sự mất trật tự không thể gia tăng nhiều bởi vì vũ trụ đã ở trong một tình trạng hoàn toàn mất trật tự rồi. Tuy nhiên, một mũi tên nhiệt động mạnh cần thiết để đời sống thông minh hoạt động. Để sống còn, nhân loại phải tiêu thụ thực phẩm, là một hình thức năng lượng trật tự, và biến đổi nó thành nhiệt, là một hình thức năng lượng mất trật tự. Như vậy đời sống thông minh không thể tồn tại trong giai đoạn vũ trụ co rút. Đây là sự giải thích tại sao chúng ta quan sát thấy rằng những mũi tên thời gian nhiệt động và vũ trụ chỉ về cùng một hướng. Không phải sự bành trướng của vũ trụ làm cho sự mất trật tự gia tăng. Đúng ra là điều kiện không biên giới khiến sự mất trật tự gia tăng và các điều kiện trở thành thích hợp cho đời sống thông minh chỉ ở trong giai đoạn bành trướng.

Để tổng kết, các định luật khoa học không phân biệt giữa những chiều đi tới và đi lui của thời gian. Tuy nhiên, có ít nhất ba mũi tên thời gian quả thật phân biệt quá khứ với tương lai. Đó là mũi tên nhiệt động, chiều thời gian trong đó sự mất trật tự gia tăng; mũi tên tâm lý, chiều thời gian trong đó chúng ta nhớ quá khứ chứ không phải tương lai; và mũi tên vũ trụ, chiều thời gian trong đó vũ trụ bành trướng thay vì co rút. Tôi đã chứng tỏ rằng mũi tên tâm lý chính yếu cũng giống như mũi tên nhiệt động, do đó cả hai luôn luôn chỉ về cùng một hướng. Đề xuất không biên giới cho vũ trụ tiên đoán sự hiện hữu của một mũi tên thời gian nhiệt động được xác định rõ bởi vì vũ trụ phải khởi đầu trong một tình trạng trơn tru và trật tự. Và lý do mà chúng ta quan sát thấy mũi tên nhiệt động này phù hợp với mũi tên vũ trụ là các sinh vật thông minh chỉ có thể hiện hữu trong giai đoạn bành trướng. Giai đoạn co rút sẽ không thích hợp bởi vì nó không có mũi tên thời gian nhiệt động mạnh.

Sự tiến bộ của nhân loại trong việc hiểu biết vũ trụ đã xác lập một góc trật tự nhỏ trong một vũ trụ ngày càng mất trật tự. Nếu bạn nhớ mọi chữ trong quyển sách này, ký ức của bạn sẽ ghi nhận khoảng hai triệu mẫu thông tin:

trật tự trong bộ óc của bạn sẽ gia tăng khoảng hai triệu đơn vị. Tuy nhiên, trong khi bạn đọc cuốn sách này, bạn sẽ chuyển đổi ít nhất một ngàn calories về năng lượng trật tự, dưới hình thức thực phẩm, thành năng lượng mất trật tự, dưới hình thức nhiệt mà bạn mất đi vào không khí chung quanh bạn bởi sự truyền nhiệt và mồ hôi. Điều này sẽ gia tăng sự mất trật tự của vũ trụ vào khoảng hai mươi triệu triệu triệu triệu đơn vị -- hay khoảng mười triệu triệu triệu lần sự gia tăng về trật tự trong bộ não của bạn -- và đó là nói nếu bạn nhớ mọi điều trong quyển sách này. Trong chương sau tôi sẽ cố gắng gia tăng trật tự trong khu vực của chúng ta xa thêm một chút bằng cách giải thích làm thế nào người ta đang cố kết hợp những lý thuyết từng phần mà tôi đã mô tả để hình thành một lý thuyết thống nhất hoàn chỉnh để bao gồm mọi thứ trong vũ trụ.

---o0o---

CHƯƠNG 10 - THỐNG NHẤT VẬT LÝ HỌC

Như đã được giải thích trong chương đầu tiên, rất khó xây dựng một lý thuyết thống nhất hoàn chỉnh cho mọi thứ trong vũ trụ. Cho nên thay vào đó chúng ta đã tiến dần bằng cách tìm những lý thuyết từng phần mô tả một dãy những biến cố có giới hạn và bằng cách bỏ qua những hậu quả khác hoặc ước lượng chúng bằng một số những con số. (Môn hóa học chẳng hạn, cho phép chúng ta tính toán sự tương tác của các nguyên tử, mà không biết cấu trúc bên trong hạt nhân của một nguyên tử.) Tuy nhiên, cuối cùng, người ta sẽ hy vọng tìm ra một lý thuyết thống nhất, phù hợp và hoàn chỉnh sẽ bao gồm tất cả những lý thuyết từng phần này như những sự ước lượng, và không cần phải được điều chỉnh cho phù hợp với các dữ kiện bằng cách chọn các trị số của một số các con số bắt buộc trong lý thuyết. Cuộc tìm kiếm một lý thuyết như vậy được biết như là "sự thống nhất của vật lý học." Einstein đã bỏ ra phần lớn những năm cuối đời của ông để tìm kiếm một lý thuyết thống nhất mà không thành công, nhưng thời gian lúc đó chưa chín mùi: đã có những lý thuyết từng phần cho các hấp lực và lực điện từ, nhưng rất ít điều được biết về các lực hạt nhân. Hơn nữa, Einstein đã không chịu tin vào thực tế của cơ học lượng tử, bất kể vai trò quan trọng mà ông đã đóng góp trong việc phát triển của môn này. Tuy nhiên, có vẻ như nguyên tắc bất định là một đặc tính căn bản của vũ trụ mà chúng ta sống bên trong. Một lý thuyết thống nhất thành công do đó nhất thiết phải hội nhập nguyên tắc này.

Như tôi sẽ mô tả, viễn ảnh tìm ra một lý thuyết như vậy hiện có vẻ tốt đẹp hơn nhiều bởi vì ngày nay chúng ta hiểu biết nhiều hơn về vũ trụ. Nhưng

chúng ta phải đề phòng sự tự tin quá lớn -- chúng ta đã có những tin tưởng sai lầm trước kia rồi! Vào đầu thế kỷ này, chẳng hạn, người ta đã nghĩ rằng mọi chuyện có thể được giải thích theo các đặc tính của vật chất liên tục, như sự đàn hồi và sự dẫn nhiệt. Sự khám phá ra cấu trúc nguyên tử và nguyên tắc bất định đã đưa tới một sự kết thúc dứt khoát cho điều đó. Rồi một lần nữa, trong năm 1928, nhà vật lý đã chiếm giải Nobel là Max Born đã nói với một nhóm các khách viếng thăm trường đại học Göttingen, "Vật lý học, như chúng ta biết, sẽ kết thúc trong vòng sáu tháng." Sự tự tin của ông đã được căn cứ vào sự khám phá mới bởi Dirac về phương trình chi phối điện tử. Người ta đã nghĩ rằng một phương trình tương tự sẽ chi phối proton, là loại hạt duy nhất khác được biết lúc đó, và điều đó sẽ là kết cuộc của vật lý lý thuyết. Tuy nhiên, sự khám phá ra trung hòa tử và các lực hạt nhân cũng đã đánh gục điều đó. Tuy nói vậy, tôi vẫn tin rằng có những lý do để lạc quan một cách thận trọng rằng chúng ta hiện có thể gần đến đoạn cuối của cuộc tìm kiếm những định luật tối hậu của vũ trụ.

Trong những chương trước tôi đã mô tả thuyết tương đối tổng quát, lý thuyết từng phần về hấp lực, và những lý thuyết từng phần chi phối các lực yếu, lực mạnh và lực điện từ. Ba loại lực này có thể được kết hợp vào điều được gọi là những lý thuyết thống nhất lớn, hay GUT (Grand Unified Theories). Những lý thuyết này không hoàn hảo cho lắm bởi vì chúng không bao gồm hấp lực và bởi vì chúng chứa một số những số lượng, như các khối lượng tương đối của những hạt khác nhau, không thể tiên đoán được từ lý thuyết nhưng phải được lựa chọn để thích hợp với những quan sát. Khó khăn chính trong việc tìm ra một lý thuyết thống nhất hấp lực với các lực khác nằm ở chỗ thuyết tương đối tổng quát là một lý thuyết "cổ điển," nghĩa là, nó không hội nhập nguyên tắc bất định của cơ học lượng tử. Mặt khác, các lý thuyết từng phần khác trên căn bản phụ thuộc vào cơ học lượng tử. Do đó, một bước đầu cần thiết là phải kết hợp thuyết tương đối tổng quát với nguyên tắc bất định. Như chúng ta đã thấy, điều này có thể sinh ra vài hậu quả đáng kể, như các hố đen không phải đen, và vũ trụ không có điểm kỳ dị nào cả, mà hoàn toàn tự chứa và không có biên giới. Rắc rối là, như đã được giải thích trong chương 7, nguyên tắc bất định có nghĩa rằng ngay cả không gian "trống rỗng" cũng chứa đầy những cặp hạt và phản hạt ảo. Những cặp này sẽ có một số năng lượng nhất định và, do đó, theo phương trình nổi tiếng của Einstein $E = mc^2$, chúng sẽ có một số khối lượng nhất định. Hấp lực của chúng như vậy sẽ uốn cong vũ trụ thành cỡ nhỏ vô hạn.

Hơi tương tự, những vô hạn có vẻ vô lý xảy ra trong những lý thuyết từng phần khác, nhưng trong tất cả những trường hợp này những vô hạn có thể bị

triệt tiêu bởi một tiến trình gọi là tái bình thường hóa. Điều này liên quan đến việc triệt tiêu những vô hạn bằng cách đưa vào những vô hạn khác. Mặc dù kỹ thuật này hơi mơ hồ về toán học, nó hình như có hiệu quả trong thực tế, và đã được sử dụng với những lý thuyết này để thực hiện những tiên đoán phù hợp với những quan sát với một mức độ chính xác phi thường. Tuy nhiên, sự tái bình thường hóa quả thật có một nhược điểm nghiêm trọng từ quan điểm cố tìm kiếm một lý thuyết hoàn toàn, bởi vì nó có nghĩa những trị số thực của các khối lượng và sức mạnh của các lực không thể được tiên đoán từ lý thuyết, mà phải được lựa chọn để thích hợp với những quan sát.

Trong khi cố gắng hội nhập nguyên tắc bất định vào thuyết tương đối tổng quát, người ta chỉ có hai số lượng có thể được điều chỉnh: sức mạnh của trọng lực và trị số của hằng số vũ trụ. Nhưng sự điều chỉnh những số lượng này không đủ để loại trừ mọi vô hạn. Do đó người ta có một lý thuyết có vẻ tiên đoán rằng một vài số lượng, như độ cong của không-thời gian, thực ra là vô hạn, tuy những vô hạn này có thể được quan sát và đo đạc để hoàn toàn hữu hạn! Khó khăn trong việc kết hợp thuyết tương đối tổng quát với nguyên tắc bất định đã có lúc bị nghi ngờ, nhưng cuối cùng đã được xác nhận bằng những tính toán chi tiết vào năm 1972. Bốn năm sau, một giải pháp có thể, được gọi là "siêu hấp lực," đã được đề nghị. Ý tưởng là kết hợp hạt có số quay 2 gọi là các hạt hấp lực (graviton), mang hấp lực, với vài hạt mới khác có số quay $3/2$, 1, $1/2$, và 0. Trong một ý nghĩa, tất cả những hạt này khi đó có thể được coi như những khía cạnh khác nhau của cùng "siêu hạt," do đó thống nhất các hạt vật chất với số quay $1/2$ và $3/2$ với những hạt mang lực có số quay 0, 1, và 2. Những cặp hạt/phản hạt ảo có số quay $1/2$ và $3/2$ sẽ có năng lượng âm, và do đó sẽ có khuynh hướng triệt tiêu năng lượng dương của các cặp hạt ảo có số quay 2, 1, và 0. Điều này sẽ khiến những vô hạn triệt tiêu, nhưng người ta nghi rằng vài vô hạn có thể còn tồn tại. Tuy nhiên, những tính toán cần thiết để biết liệu có bất cứ vô hạn nào còn lại mà không bị triệt tiêu hay không đã mất thì giờ và khó khăn đến nỗi không ai sẵn sàng thực hiện. Ngay cả với một máy điện toán, người ta ước tính sẽ cần ít nhất 4 năm, và nhiều rủi ro là người ta sẽ phạm ít nhất một sai lầm, có thể nhiều hơn. Do đó người ta sẽ chỉ biết câu trả lời đúng hay không nếu có người khác lập lại sự tính toán và nhận được cùng câu trả lời, và điều đó hình như rất khó xảy ra!

Bất kể những khó khăn này, và sự kiện rằng các hạt trong các lý thuyết siêu hấp lực đã không có vẻ phù hợp với những hạt đã quan sát được, hầu hết các khoa học gia tin rằng siêu hấp lực có thể là câu trả lời đúng cho vấn đề thống nhất vật lý học. Có vẻ đó là phương cách tốt nhất để thống nhất hấp lực với

các lực khác. Tuy nhiên, trong năm 1984 có một thay đổi quan điểm đáng kể thiên về cái được gọi là những lý thuyết dây. Trong những lý thuyết này các vật thể căn bản không phải là các hạt, chiếm một điểm duy nhất trong không gian, mà là những cái có một chiều dài mà không có chiều khác, giống như một mẫu dây mỏng vô hạn. Những sợi dây này có thể có hai đầu (được gọi là dây mở) hoặc chúng có thể nối với nhau thành những vòng kín (dây kín) (Hình 10.1 và 10.2). Một hạt chiếm một điểm trong không gian tại mỗi điểm thời gian. Do đó lịch sử của nó có thể được biểu diễn bởi một đường trong không-thời gian ("đường thế giới"). Một dây, mặt khác, chiếm một đường trong không gian tại mỗi thời điểm. Do đó lịch sử của nó trong không-thời gian là một bề mặt hai chiều gọi là phiến thế giới. (Bất cứ điểm nào trên một phiến thế giới như vậy cũng có thể được mô tả bằng hai con số, một số chỉ thời gian và số kia chỉ vị trí của điểm trên sợi dây). Phiến thế giới của một sợi dây mở là một dải; các bờ của nó tượng trưng những con đường qua không-thời gian của những đầu của sợi dây (Hình 10.1). Phiến thế giới của một sợi dây đóng là một ống hình trụ (Hình 10.2); một đường cắt qua ống là một vòng tròn, tượng trưng vị trí của sợi dây tại một thời điểm đặc biệt.

Hai mẫu dây có thể nối với nhau để làm thành một sợi dây duy nhất; trong trường hợp những sợi dây mở chúng giản dị nối tại các đầu dây (Hình 10.3), trong khi trong trường hợp các dây kín nó giống hai ống quần (Hình 10.4). Tương tự, một mẫu dây duy nhất có thể chia thành hai sợi. Trong các lý thuyết dây, những gì trước kia được nghĩ như các hạt bây giờ được hình dung như các sóng di chuyển dọc sợi dây, giống như sóng trên một sợi dây điều đang rung. Sự phát ra hoặc hấp thụ của một hạt bởi một hạt khác tương ứng với sự phân chia hoặc nối với nhau của các sợi dây. Thí dụ, hấp lực của mặt trời tác động lên trái đất được hình dung trong các lý thuyết hạt như gây ra bởi sự phát ra một hạt graviton bởi một hạt ở mặt trời và sự hấp thụ của nó bởi một hạt ở trái đất (Hình 10.5). Trong lý thuyết dây, tiến trình này tương ứng với một ống hình chữ H (Hình 10.6). (Lý thuyết dây hơi giống công việc đặt ống nước, theo một cách nhìn). Hai bên chiều thẳng đứng của chữ H tương ứng với những hạt ở mặt trời và trái đất và ống nối nằm ngang tương ứng với hạt graviton di chuyển giữa chúng.

Lý thuyết dây có một lịch sử kỳ lạ. Nó đầu tiên được nghĩ ra vào cuối thập niên 1960 trong một cố gắng để tìm ra một lý thuyết để mô tả lực mạnh. Ý kiến là các hạt như proton và trung hòa tử có thể được coi như những sóng trên một sợi dây. Các lực mạnh giữa những hạt sẽ tương ứng với những mẫu dây đi giữa những khúc dây khác, như trong một màng nhện. Để lý thuyết này cho trị số đã quan sát được của lực mạnh giữa những hạt, các dây phải

giống như những vòng dây thun với một sức kéo khoảng 10 tấn. Trong năm 1974 Joel I Scherk ở Paris và John Schwarz thuộc Viện Kỹ Thuật California đã xuất bản một tài liệu trong đó họ chứng minh rằng lý thuyết dây có thể mô tả hấp lực, nhưng chỉ trong trường hợp sức căng trong sợi dây mạnh hơn rất nhiều, khoảng một ngàn triệu triệu triệu triệu triệu tấn (số 1 với 39 số không theo sau). Những tiên đoán của lý thuyết dây sẽ giống như những tiên đoán của thuyết tương đối tổng quát, trên những cỡ chiều dài bình thường, nhưng chúng sẽ khác ở những khoảng cách rất nhỏ, dưới một phần ngàn triệu triệu triệu triệu triệu của một centimét (một centimét chia cho số 1 với 33 số không theo sau). Tuy nhiên, công trình của họ đã không được chú ý nhiều, bởi vì cũng đúng khoảng thời gian đó hầu hết mọi người đã bác bỏ lý thuyết dây nguyên thủy của lực mạnh để thiên về lý thuyết căn cứ vào các quark và gluon, có vẻ phù hợp hơn nhiều với những quan sát. Scherk đã chết trong trường hợp bi thảm (ông bị bệnh tiểu đường và đã bị hôn mê khi không có ai ở gần để chích cho ông một mũi thuốc insulin). Do đó Schwarz bị bỏ lại một mình hầu như là người duy nhất ủng hộ thuyết dây, nhưng hiện giờ trị số của sức căng dây được đề nghị cao hơn nhiều.

Trong năm 1984 sự chú ý về các dây bồng sóng lại, có vẻ như vì hai lý do. Một là người ta không thực sự tiến bộ nhiều theo chiều hướng chứng tỏ rằng siêu hấp lực là hữu hạn hoặc có thể giải thích các loại hạt mà chúng ta quan sát. Lý do kia là việc xuất bản một tài liệu của John Schwarz và Mike Green ở trường Queen Mary College ở Luân Đôn, chứng minh rằng thuyết dây có thể giải thích sự hiện hữu của các hạt có một đặc tính nội tại là thuận bên trái, giống như vài trong số những hạt mà chúng ta quan sát. Dù với lý do nào, nhiều người chẳng bao lâu khởi sự nghiên cứu về lý thuyết dây và một phiên bản mới đã được phát triển, cái được gọi là thuyết dây dị biệt, có vẻ như có thể giải thích các loại hạt mà chúng ta quan sát.

Các lý thuyết dây cũng đưa tới những vô hạn, nhưng người ta cho rằng chúng sẽ triệt tiêu tất cả trong những phiên bản như thuyết dây dị biệt (mặc dù điều này chưa được biết chắc chắn). Tuy nhiên, các lý thuyết dây, có một khó khăn lớn lao hơn: chúng hình như chỉ phù hợp nếu không-thời gian hoặc có mười hoặc có hai mươi sáu chiều, thay vì bốn chiều bình thường! Dĩ nhiên những chiều không-thời gian phụ trội là một chuyện thông thường của khoa học giả tưởng; thật vậy, chúng hầu như là một sự cần thiết, bởi vì nếu không chuyện thuyết tương đối cho rằng người ta không thể du hành nhanh hơn ánh sáng có nghĩa rằng di chuyển giữa các ngôi sao và các thiên hà sẽ mất quá nhiều thì giờ. Ý tưởng của khoa học giả tưởng là có lẽ người ta có thể dùng một con đường tắt qua một chiều cao hơn. Người ta có thể hình

dung điều này như sau. Hãy tưởng tượng rằng không gian mà chúng ta đang sống chỉ có hai chiều và bị cong như bề mặt của một vòng neo tàu hoặc hình vành khuyên (Hình 10.7). Nếu bạn ở một phía của bờ trong của vành và bạn muốn đi tới một điểm nằm phía bên kia, bạn sẽ phải đi quanh bờ trong của vành. Tuy nhiên, nếu bạn có thể di chuyển trong chiều thứ ba, bạn có thể đi tắt thẳng qua bên kia.

Tại sao chúng ta đã không nhận thấy tất cả những chiều phụ trội này, nếu chúng thực sự có mặt? Tại sao chúng ta chỉ nhìn thấy ba chiều không gian và một chiều thời gian? Đề nghị để giải đáp là những chiều kia bị uốn cong lại thành một không gian cỡ rất nhỏ, một cái gì đó như một phần triệu triệu triệu triệu của một inch. Nó quá nhỏ đến độ chúng ta không nhận thấy nó, chúng ta chỉ nhìn thấy một chiều thời gian và ba chiều không gian, trong đó không-thời gian hơi phẳng. Nó như bề mặt của một trái cam: nếu bạn nhìn thật gần, nó cong và nhăn nheo, nhưng nếu bạn nhìn nó từ xa, bạn không nhìn thấy những chỗ lồi lõm và nó có vẻ nhẵn nhụi. Do đó với không-thời gian: trên một cỡ thật nhỏ, nó có mười chiều và rất cong, nhưng ở những cỡ lớn hơn bạn không nhìn thấy độ cong hoặc những chiều phụ trội. Nếu hình ảnh này là đúng, nó có nghĩa là tin buồn cho những nhà du hành không gian tương lai: những chiều phụ trội sẽ quá nhỏ để cho phép một phi thuyền không gian đi qua. Tuy nhiên, nó nêu lên một vấn nạn lớn khác. Tại sao một số, mà không phải tất cả, các chiều lại cong lại thành một trái banh nhỏ? Giả sử, trong một vũ trụ rất sơ khai mọi chiều đã rất cong. Tại sao một chiều thời gian và ba chiều không gian đã phẳng lại, trong khi những chiều kia vẫn cong vòng?

Một câu trả lời có thể có là nguyên tắc vị nhân chủng. Hai chiều không gian hình như không đủ để cho phép phát triển những sinh vật phức tạp như chúng ta. Thí dụ, những động vật hai chiều sống trên một trái đất một chiều sẽ phải bò lên nhau để vượt qua nhau. Nếu một sinh vật hai chiều ăn cái gì đó nó có thể không tiêu hóa hoàn toàn, nó sẽ phải đưa ngược trở lên những đồ còn sót lại theo cùng con đường nó đã nuốt vào, bởi vì nếu có một đường đi qua cơ thể của nó, con đường sẽ chia sinh vật này ra làm hai nửa rời nhau, sinh vật hai chiều của chúng ta sẽ rã ra (Hình 10.8). Tương tự, thật khó mà thấy bằng cách nào có thể có sự lưu thông của máu trong một sinh vật hai chiều.

Cũng sẽ có những vấn nạn với không gian có quá ba chiều. Hấp lực giữa hai vật thể sẽ giảm nhanh hơn theo khoảng cách so với trong không gian ba chiều. (Trong ba chiều, hấp lực giảm còn 1/4 nếu tăng gấp đôi khoảng cách.

Trong bốn chiều, nó sẽ giảm còn $1/8$, trong năm chiều còn $1/16$, và cứ thế.) Ý nghĩa của điều này là những quỹ đạo của các hành tinh, như trái đất, quanh mặt trời sẽ không ổn định: sự quấy rối nhỏ nhất từ một quỹ đạo tròn (như gây ra bởi sức hút trọng lực của những hành tinh khác) sẽ khiến trái đất xoáy ra xa hoặc đâm vào mặt trời. Chúng ta hoặc sẽ lạnh băng hoặc bị cháy tiêu. Thật vậy, phản ứng như vậy của trọng lực với khoảng cách ở các không gian quá bốn chiều có nghĩa là mặt trời không thể tồn tại trong một trạng thái ổn định với trọng lực cân bằng áp lực. Nó hoặc sẽ rã ra hoặc sẽ suy sụp để tạo thành một hố đen. Trong bất cứ trường hợp nào, nó sẽ không ích lợi gì như một nguồn phát nhiệt và ánh sáng cho đời sống trên Trái Đất. Trên một tầm mức nhỏ hơn, các lực điện khiến các điện tử quay chung quanh nhân trong một nguyên tử sẽ xử sự giống như các hấp lực. Do đó các điện tử sẽ hoặc từ nguyên tử thoát đi hết hoặc sẽ xoáy vào nhân. Trong bất cứ trường hợp nào, người ta không thể có các nguyên tử như chúng ta biết.

Như vậy có vẻ rõ ràng đời sống, ít nhất như chúng ta biết, chỉ có thể tồn tại trong những vùng không-thời gian trong đó một chiều thời gian và ba chiều không gian không bị uốn cong nhỏ lại. Điều này sẽ có nghĩa người ta có thể cầu cứu tới nguyên tắc vị nhân chủng yếu, với điều kiện người ta có thể chứng tỏ rằng thuyết dây quả thật ít ra cho phép có những vùng vũ trụ như vậy -- và có vẻ như thuyết dây cho phép. Rất có thể có những vùng khác của vũ trụ, hay những vũ trụ khác (dù cái đó có nghĩa là gì), trong đó mọi chiều đều cong nhỏ lại hoặc trong đó hơn bốn chiều gần như phẳng, nhưng sẽ không có các sinh vật thông minh ở những vùng như vậy để quan sát con số khác nhau của những chiều thật sự.

Ngoài vấn đề số chiều mà không-thời gian có vẻ có, lý thuyết dây vẫn có nhiều vấn đề khác phải được giải quyết trước khi nó có thể được tuyên bố như thuyết thống nhất tối hậu của vật lý. Chúng ta chưa biết liệu mọi vô hạn có triệt tiêu lẫn nhau hết hay không, hay làm thế nào để liên kết chính xác các sóng trên sợi dây với các loại hạt đặc biệt mà chúng ta quan sát. Tuy nhiên, có thể rằng những giải đáp cho những câu hỏi này sẽ được tìm ra trong những năm tới đây, và rằng trước cuối thế kỷ 20 chúng ta sẽ biết liệu lý thuyết dây có thật là lý thuyết thống nhất của vật lý mà từ lâu người ta tìm kiếm hay không.

Nhưng liệu thật sự có thể có một thuyết thống nhất như vậy hay không? Hoặc chúng ta chỉ đuổi theo một ảo ảnh? Có thể có ba điều khả dĩ:

1) Thật sự có một lý thuyết thống nhất hoàn chỉnh, mà một ngày nào đó chúng ta sẽ khám phá ra nếu chúng ta đủ tinh khôn.

2) Không có lý thuyết tối hậu nào của vũ trụ, chỉ là một chuỗi vô tận các lý thuyết mô tả vũ trụ ngày càng chính xác hơn.

3) Không có lý thuyết của vũ trụ; các biến cố không thể được tiên đoán vượt xa hơn một mức độ nào đó mà xảy ra một cách tình cờ và độc đoán.

Vài người sẽ bênh vực cho điều khả dĩ thứ ba với lý luận rằng nếu có một bộ hoàn chỉnh các định luật, điều đó sẽ cản trở tự do của Thượng Đế để đổi ý và can thiệp vào thế giới. Nó hơi giống như điều mâu thuẫn cũ: Thượng Đế có thể làm ra một tảng đá nặng đến độ Ngài không thể nhấc lên nổi hay không? Nhưng ý tưởng rằng Thượng Đế có thể muốn đổi ý là một thí dụ của sự nguy hiểm, đã được vạch ra bởi St. Augustine, khi tưởng tượng Thượng Đế như một sinh vật hiện hữu trong thời gian: thời gian là một đặc điểm chỉ có ở vũ trụ mà Thượng Đế tạo ra. Giả sử Thượng Đế đã biết những gì người dự tính khi thành lập ra nó!

Với sự ra đời của cơ học lượng tử, chúng ta đã đi tới việc thừa nhận rằng các biến cố không thể được tiên đoán với sự chính xác hoàn toàn nhưng rằng luôn luôn có một mức độ bất trắc nào đó. Nếu người ta muốn, người ta có thể cho sự tình cờ này là do sự can thiệp của Thượng Đế, nhưng đó sẽ là một loại can thiệp rất lạ thường: không có bằng chứng nào là nó được hướng dẫn tới mục đích nào. Thật vậy, nếu nó đã được hướng dẫn, theo định nghĩa nó sẽ không còn là tình cờ nữa. Ở thời đại tân tiến, chúng ta đã loại bỏ điều khả dĩ thứ ba ở trên một cách hiệu quả bằng cách tái định nghĩa mục tiêu của khoa học: mục đích của chúng ta là hình thành một bộ các định luật cho phép chúng ta tiên đoán các biến cố chỉ tới giới hạn đặt ra bởi nguyên tắc bất định.

Điều khả dĩ thứ nhì, rằng có một chuỗi vô hạn các lý thuyết ngày càng tinh vi hơn, phù hợp với mọi kinh nghiệm của chúng ta cho tới ngày nay. Trong nhiều dịp chúng ta đã gia tăng độ chính xác những đo đạc của chúng ta hoặc thực hiện một lớp các quan sát mới, chỉ để khám phá những hiện tượng mới đã không được tiên đoán bởi lý thuyết hiện hữu, và để xét tới những hiện tượng này chúng ta đã phải phát triển một lý thuyết tiến bộ hơn. Do đó sẽ rất không có gì đáng ngạc nhiên nếu thế hệ hiện nay của các lý thuyết thống nhất lớn là sai lầm khi cho rằng trên căn bản không có gì mới sẽ xảy ra giữa năng lượng thống nhất điện yếu vào khoảng 100 GeV và năng lượng thống

nhất lớn vào khoảng một ngàn triệu triệu GeV. Chúng ta có thể thực sự trông đợi tìm ra nhiều lớp mới về cấu trúc căn bản hơn là các quark và điện tử mà hiện giờ chúng ta coi như các hạt "căn bản."

Tuy nhiên, hình như hấp lực có thể cung cấp một giới hạn cho chuỗi "hộp bên trong hộp" này. Nếu người ta có một hạt với một năng lượng trên mức được gọi là năng lượng Planck, 10 triệu triệu triệu GeV (số 1 theo sau bởi mười tám số 0), khối lượng của nó sẽ tập trung đến độ nó sẽ tự tách rời khỏi phần còn lại của vũ trụ và hình thành một hố đen nhỏ. Như vậy hình như quả thật chuỗi lý thuyết ngày càng tinh vi phải có giới hạn nào đó khi chúng ta tiến tới những năng lượng ngày càng cao, để cho phải có một lý thuyết vũ trụ tối hậu nào đó. Dĩ nhiên, năng lượng Planck là một con đường dài từ năng lượng khoảng một trăm GeV, là năng lượng lớn nhất mà chúng ta có thể sản xuất trong phòng thí nghiệm ngày nay. Chúng ta sẽ không nổi cách biệt đó bằng các máy gia tốc hạt trong tương lai có thể nhìn thấy được! Tuy nhiên, chính những giai đoạn sơ khai của vũ trụ là một khung cảnh mà những năng lượng như vậy đã phải xảy ra. Tôi nghĩ có một cơ may rằng việc nghiên cứu vũ trụ sơ khai và những đòi hỏi về sự phù hợp toán học sẽ đưa chúng ta tới một lý thuyết thống nhất hoàn chỉnh trong vòng cuộc đời của một vài người trong chúng ta hiện đang sống ngày nay, luôn luôn giả sử chúng ta không làm nổ tung chúng ta trước.

Sẽ có nghĩa gì nếu chúng ta quả đã khám phá được thuyết tối hậu của vũ trụ? Như đã được giải thích ở Chương 1, chúng ta không bao giờ có thể chắc chắn rằng mình thực sự đã tìm ra lý thuyết đúng, bởi vì các lý thuyết không thể chứng minh được. Nhưng nếu lý thuyết phù hợp về toán học và luôn luôn cho những tiên đoán phù hợp với những quan sát, chúng ta có thể tin tưởng một cách hợp lý rằng đó là lý thuyết đúng. Nó sẽ đưa tới sự kết thúc một chương dài và đầy thăng lợi trong lịch sử tranh đấu trí tuệ của nhân loại để hiểu biết vũ trụ. Nhưng nó cũng sẽ cách mạng hóa sự hiểu biết của người thường về các định luật chi phối vũ trụ. Vào thời Newton một người có học thức có thể có một sự hiểu biết về toàn thể kiến thức con người, ít ra về đại cương. Nhưng kể từ đó, nhịp độ phát triển của khoa học đã làm cho điều này trở thành không thể được. Bởi vì các lý thuyết luôn luôn thay đổi để bao gồm những quan sát mới, chúng không bao giờ được tiêu hóa hoặc đơn giản hóa một cách thích hợp để người thường có thể hiểu được chúng. Bạn phải là một chuyên viên, và ngay cả khi đó, bạn chỉ có thể hy vọng nắm được một phần nhỏ của các lý thuyết khoa học. Hơn nữa, nhịp độ tiến bộ nhanh đến độ những gì người ta học được tại trường luôn luôn hơi lỗi thời. Chỉ một số ít người có thể bắt kịp biên cương mở rộng nhanh chóng của kiến thức, và họ

phải dành trọn thì giờ và chuyên chú vào một lãnh vực nhỏ. Phần còn lại của người dân ít có ý kiến về những tiến bộ đang được thực hiện hoặc sự kích động mà chúng tạo ra. Bảy mươi năm về trước, nếu Eddington nói đúng, chỉ có hai người hiểu thuyết tương đối tổng quát. Ngày nay hàng chục ngàn những người tốt nghiệp đại học có thể hiểu rõ, và nhiều triệu người ít nhất quen thuộc với ý tưởng này. Nếu một lý thuyết thống nhất hoàn chỉnh được khám phá, sẽ chỉ là một vấn đề thời gian trước khi nó được tiêu hóa và đơn giản hóa giống như vậy và được dạy tại các trường học, ít nhất về đại cương. Khi đó tất cả chúng ta có thể có một ít hiểu biết về các định luật chi phối vũ trụ và chịu trách nhiệm về sự hiện hữu của chúng ta.

Cho dù chúng ta khám phá được một lý thuyết thống nhất hoàn chỉnh, nó sẽ không có nghĩa rằng chúng ta sẽ có thể tiên toán được các biến cố nói chung, vì hai lý do. Lý do thứ nhất là sự giới hạn mà nguyên tắc bất định của cơ học lượng tử đặt ra cho khả năng tiên đoán của chúng ta. Không có gì chúng ta có thể làm được để tránh điều đó. Tuy nhiên, trên thực tế, giới hạn thứ nhất này ít chặt chẽ hơn giới hạn thứ nhì. Nó phát sinh từ sự kiện rằng chúng ta đã không thể giải được các phương trình của lý thuyết một cách chính xác, ngoại trừ trong những tình huống rất đơn giản. (Chúng ta không thể giải đúng ngay cả sự chuyển động của ba vật thể trong thuyết hấp lực của Newton, và sự khó khăn gia tăng với con số vật thể và sự phức tạp của lý thuyết.) Chúng ta đã biết các định luật chi phối cách xử sự của vật chất dưới mọi tình huống ngoại trừ những tình huống cực đoan nhất. Đặc biệt, chúng ta biết các định luật căn bản làm nền móng cho hóa học và sinh học. Tuy nhiên chắc chắn chúng ta chưa giải những môn này xuống tới địa vị của những bài toán đã được giải đáp, chúng ta cũng ít thành công trong việc tiên đoán động thái của con người bằng các phương trình toán học! Do đó dù chúng ta tìm được một bộ định luật căn bản hoàn chỉnh, trong những năm tới đây vẫn có những nhiệm vụ thách đố trí tuệ trong việc phát triển những phương pháp ước lượng tốt hơn, để chúng ta có thể thực hiện những tiên đoán có ích về các hậu quả có thể xảy ra trong những tình huống phức tạp và thực tế. Một lý thuyết thống nhất phù hợp, hoàn chỉnh chỉ là bước đầu: mục tiêu của chúng ta là một sự hiểu biết toàn diện các biến cố chung quanh chúng ta, và sự hiện hữu của chính chúng ta.

---o0o---

CHƯƠNG 10 - KẾT LUẬN

Chúng ta thấy mình ở trong một thế giới đầy những thắc mắc. Chúng ta muốn giải thích những gì chúng ta nhìn thấy chung quanh chúng ta và đặt câu hỏi: Bản chất của vũ trụ là gì? chỗ đứng của chúng ta trong đó là gì và nó và chúng ta từ đâu mà tới? Tại sao nó lại như thế?

Để cố trả lời những câu hỏi này chúng ta chấp nhận một "hình ảnh thế giới" nào đó. Cũng như một cái tháp vô tận gồm những con rùa chống đỡ trái đất đẹp là một hình ảnh như vậy, lý thuyết về những sợi dây siêu đẳng cũng thế. Cả hai đều là những thuyết về vũ trụ, mặc dù thuyết sau có tính cách toán học và chính xác hơn nhiều so với thuyết trước. Cả hai thuyết đều thiếu chứng cứ do quan sát: không ai từng nhìn thấy một con rùa không lồ với trái đất nằm trên lưng, nhưng rồi cũng không ai thấy một sợi dây siêu đẳng. Tuy nhiên, thuyết con rùa không phải là một thuyết khoa học tốt bởi vì nó tiên đoán rằng người ta phải có thể rơi khỏi bờ của thế giới. Điều này đã không thấy phù hợp với kinh nghiệm, ngoại trừ nó biến thành sự giải thích về những người coi như đã biến mất trong Tam Giác Bermuda!

Những cố gắng về mặt lý thuyết ban đầu để mô tả và giải thích vũ trụ liên quan đến ý tưởng rằng các biến cố và hiện tượng thiên nhiên bị kiểm soát bởi những thần linh có những cảm xúc của con người và hành động theo một bản chất rất giống con người và không thể tiên đoán được. Những thần linh này nằm ở những vật thiên nhiên, như sông và núi, kể cả các vật thể vũ trụ, giống như mặt trời và mặt trăng. Người ta phải làm hài lòng và tìm ân huệ của những thần linh này để bảo đảm sự màu mỡ của đất đai và sự quay vòng của mùa. Tuy nhiên, dần dần, người ta phải nhận thấy rằng có những sự đều đặn nào đó: mặt trời luôn luôn mọc ở hướng đông và lặn ở hướng tây, dù có dang vật cứng tể nào cho thần mặt trời hay không. Hơn nữa, mặt trời, mặt trăng, và các hành tinh đi theo những con đường rõ rệt ngang bầu trời, có thể được tiên đoán với sự chính xác đáng kể. Mặt trời và mặt trăng có thể vẫn còn là thần linh, nhưng chúng là những thần linh chịu tuân theo những định luật chặt chẽ, có vẻ như không có ngoại lệ nào, nếu người ta bỏ qua những câu chuyện như câu chuyện mặt trời ngừng lại vì Joshua.

Lúc đầu, những sự đều đặn và định luật này chỉ hiển nhiên trong thiên văn học và một vài tình huống khác. Tuy nhiên, khi nền văn minh phát triển, và đặc biệt trong 300 năm vừa qua, càng ngày những sự đều đặn và các định luật càng được khám phá thêm. Sự thành công của những định luật này đã khiến Laplace vào đầu thế kỷ 19 đưa ra thuyết định mệnh khoa học, nghĩa là,

ông cho rằng sẽ có một bộ các định luật quyết định sự tiến hóa của vũ trụ một cách chính xác, xét về hình dạng của nó tại một thời điểm.

Thuyết định mệnh của Laplace không đầy đủ trên hai phương diện. Nó đã không cho biết các định luật đã được lựa chọn như thế nào và nó đã không định rõ hình dạng ban đầu của vũ trụ. Những điều này đã được dành cho Thượng Đế. Thượng Đế sẽ lựa chọn cách vũ trụ khởi đầu và những định luật nào nó tuân theo, nhưng sẽ không can thiệp vào vũ trụ một khi nó đã khởi đầu. Hậu quả là, Thượng Đế đã bị giới hạn ở những lãnh vực mà khoa học thời thế kỷ 19 đã không hiểu.

Hiện giờ chúng ta biết rằng hy vọng của Laplace về thuyết định mệnh không thể thành hình, ít ra theo các điều kiện mà ông đã hình dung. Nguyên tắc bất định của cơ học lượng tử ngụ ý rằng vài cặp số lượng, như vị trí và tốc độ của một hạt, không thể tiên đoán cả hai với sự chính xác hoàn toàn.

Cơ học lượng tử đối phó với tình trạng này qua một lớp các lý thuyết lượng tử trong đó các hạt không có những vị trí và tốc độ được xác định rõ rệt mà được biểu diễn bởi một sóng. Những lý thuyết lượng tử này có tính cách định mệnh theo ý nghĩa rằng chúng đưa ra những định luật cho sự tiến hóa của sóng theo thời gian. Như vậy nếu người ta biết sóng tại một thời điểm, người ta có thể tính toán nó ở bất cứ thời điểm nào khác. Yếu tố tình cờ, không thể tiên đoán được chỉ du nhập khi chúng ta cố giải thích sóng theo vị trí và tốc độ của các hạt. Nhưng có lẽ đó là sự lầm lẫn của chúng ta: có thể không có các vị trí và tốc độ của hạt, mà chỉ có các sóng. Chỉ vì chúng ta cố đưa các sóng vào những ý tưởng đã được áp dụng từ trước về các vị trí và tốc độ. Sự không ăn khớp do đó là nguyên nhân đưa đến sự bất khả tiên toán thấy rõ.

Thật vậy, chúng ta đã định nghĩa lại nhiệm vụ của khoa học như là sự khám phá các định luật sẽ cho phép chúng ta tiên đoán các biến cố tới các giới hạn được đặt ra bởi nguyên tắc bất định. Tuy nhiên, câu hỏi vẫn còn đó: Như thế nào hoặc tại sao các định luật và tình trạng sơ khởi của vũ trụ đã được lựa chọn?

Trong cuốn sách này tôi đã dành ưu thế đặc biệt cho các định luật chi phối hấp lực, bởi vì chính hấp lực là cái hình thành cơ cấu tầm mức lớn của vũ trụ, mặc dù nó là lực yếu nhất trong số bốn loại lực. Các định luật về hấp lực không phù hợp với quan điểm được duy trì mãi cho tới gần đây rằng vũ trụ không thay đổi theo thời gian: sự kiện rằng hấp lực luôn luôn thu hút ngụ ý

rằng vũ trụ phải hoặc đang bành trướng hoặc đang co rút. Theo thuyết tương đối tổng quát, phải có một tình trạng mật độ vô hạn trong quá khứ, vụ nổ lớn, là một sự khởi đầu có hiệu quả về thời gian. Tương tự, nếu toàn thể vũ trụ co sụp trở lại, phải có một tình trạng mật độ vô hạn khác trong tương lai, vụ đổ vỡ lớn, sẽ là một kết cuộc về thời gian. Cho dù toàn thể vũ trụ không co sụp trở lại, sẽ có những điểm kỳ dị tại những vùng nhỏ co sụp để hình thành các lỗ đen. Những điểm kỳ dị này sẽ là một kết cuộc về thời gian đối với bất cứ ai rơi vào lỗ đen. Tại vụ nổ lớn và những điểm kỳ dị khác, mọi định luật sẽ sụp đổ, do có Thượng Đế vẫn còn hoàn toàn tự do để lựa chọn những gì đã xảy ra và vũ trụ đã bắt đầu như thế nào.

Khi chúng ta kết hợp cơ học lượng tử với thuyết tương đối tổng quát, hình như có một sự khả dĩ mới đã không xuất hiện trước đây: rằng không gian và thời gian cùng nhau có thể hình thành một không gian bốn chiều hữu hạn mà không có các điểm kỳ dị hoặc biên giới, giống như bề mặt của trái đất nhưng với nhiều chiều hơn. Hình như ý tưởng này có thể giải thích nhiều trong số những đặc điểm đã được quan sát của vũ trụ, như sự đồng đều của nó trên tầm mức lớn và cả những thất thoát với tầm mức nhỏ hơn từ sự đồng nhất, như các thiên hà, các ngôi sao, và ngay cả nhân loại. Nó còn liên quan đến mũi tên thời gian mà chúng ta quan sát. Nhưng nếu vũ trụ hoàn toàn tự chứa đựng, mà không có các điểm kỳ dị hoặc biên giới, và hoàn toàn được mô tả bởi một thuyết thống nhất, điều đó có những hàm ý sâu xa về vai trò của Thượng Đế với tính cách Đấng Sáng Tạo.

Einstein có lần đã đặt câu hỏi: "Thượng Đế có bao nhiêu lựa chọn trong việc xây dựng vũ trụ?" Nếu ý kiến không biên giới là đúng, Thượng Đế không có tự do nào trong việc lựa chọn những điều kiện sơ khởi. Dĩ nhiên Thượng Đế vẫn có tự do để lựa chọn những định luật mà vũ trụ tuân theo. Tuy nhiên, điều này có thể không thực sự là một lựa chọn; rất có thể chỉ có một lựa chọn, hoặc một số nhỏ, các lý thuyết thống nhất hoàn chỉnh, như lý thuyết dây dị biệt, tự phù hợp và cho phép sự hiện hữu của các cơ cấu phức tạp như con người, sinh vật có thể khảo sát những định luật của vũ trụ và đặt câu hỏi về bản chất của Thượng Đế.

Cho dù chỉ có thể có một lý thuyết thống nhất, đó cũng chỉ là một bộ các quy luật và các phương trình. Điều gì gây ra những phương trình và tạo một vũ trụ để chúng mô tả? Phương pháp thường lệ của khoa học trong việc xây dựng một mô hình toán học không thể trả lời những câu hỏi tại sao phải có một vũ trụ để mô hình mô tả. Tại sao vũ trụ lại làm cho mọi người thắc mắc về sự hiện hữu? Thuyết thống nhất có đủ sức thuyết phục để đem lại sự tồn

tại của chính nó hay không? Hay liệu có cần một đấng sáng tạo hay không, và, nếu như vậy, đấng sáng tạo có ảnh hưởng nào khác đối với vũ trụ hay không? Và ai tạo ra đấng sáng tạo?

Cho tới bây giờ, hầu hết các khoa học gia còn quá bận rộn với sự phát triển các lý thuyết mới mô tả vũ trụ là gì nên chưa đặt câu hỏi tại sao. Mặt khác, những người làm công việc đặt ra câu hỏi tại sao, các triết gia, đã không thể bắt kịp đà tiến bộ của những lý thuyết khoa học. Trong thế kỷ 18, các triết gia đã coi toàn thể kiến thức của nhân loại, kể cả khoa học, như lãnh vực của họ và thảo luận những câu hỏi như: Vũ trụ đã có một khởi đầu hay không? Tuy nhiên, trong các thế kỷ 19 và 20, khoa học đã trở nên có tính cách quá kỹ thuật và toán học đối với các triết gia, hoặc bất cứ ai khác trừ một số các chuyên gia. Các triết gia đã giảm tầm mức những câu hỏi của họ nhiều đến độ Wittgenstein, triết gia nổi tiếng nhất của thế kỷ này, đã phải nói "Nhiệm vụ chính yếu còn lại cho triết học là phân tích ngôn ngữ." Quả là một tuột dốc từ truyền thống vĩ đại của triết học từ Aristotle đến Kant!

Tuy nhiên, nếu chúng ta khám phá được một lý thuyết hoàn chỉnh, rồi ra nó phải có thể hiểu được trên nguyên tắc rộng rãi bởi tất cả mọi người, không phải chỉ một vài khoa học gia. Rồi tất cả chúng ta, những triết gia, khoa học gia, và cả những người bình thường, sẽ có thể tham gia vào cuộc thảo luận câu hỏi tại sao chúng ta và vũ trụ lại hiện hữu như thế. Nếu chúng ta tìm được câu trả lời cho điều đó, đây sẽ là một chiến thắng tối hậu cho lý luận của con người -- bởi vì khi đó chúng ta sẽ biết được ý nghĩa của Thượng Đế...

---o0o---

THUẬT NGỮ DÙNG TRONG SÁCH **(Theo thứ tự abc của từ ngữ Anh văn trong ngoặc)**

Độ không tuyệt đối (absolute zero): Ôn độ thấp nhất có thể đạt đến, ở ôn độ này vật chất không chứa nhiệt năng.

Độ gia tốc (acceleration): Tốc xuất mà tốc độ của một vật thay đổi.

Nguyên lý vị nhân chủng (anthropic principle): Chúng ta thấy vũ trụ ở dạng này là vì nếu nó khác thì chúng ta đã không có mặt ở đây để quan sát nó.

Phản hạt (antiparticle): Mỗi loại hạt vật chất (matter particle) đều có một phản hạt. Khi một hạt đụng chạm với phản hạt của nó thì chúng hủy diệt lẫn nhau, chỉ lưu lại năng lượng.

Nguyên tử (atom): Đơn vị cơ bản của vật chất thông thường, cấu tạo bởi một cái nhân thật nhỏ (trong nhân bao gồm những proton và trung hòa tử), với các điện tử chuyển động xung quanh nhân này.

Bùng nổ lớn (big bang): Điểm kỳ dị vào lúc mở đầu vũ trụ.

Co sụp lớn (big crunch): Điểm kỳ dị vào lúc kết thúc vũ trụ.

Hố đen (black hole): Một khu vực trong không-thời gian mà từ đó không vật gì, kể cả ánh sáng, có thể thoát ra, vì hấp lực tại đây quá mạnh.

Giới hạn Chandrasekhar (Chandrasekhar limit): Khối lượng tối đa khả hữu của một tinh tú nguội lạnh (cold star) ổn định, nếu vượt quá khối lượng này tinh tú phải co sụp thành một hố đen.

Bảo tồn năng lượng (conservation of energy): Định luật khoa học nói rằng năng lượng (hoặc khối lượng tương đương của nó) không thể được tạo ra hoặc hủy diệt.

Tọa độ (coordinates): Những con số chỉ định vị trí của một điểm trong không-thời gian.

Hằng số vũ trụ (cosmological constant): Một phương pháp toán học mà Einstein đã dùng để khiến không-thời gian có khuynh hướng bành trướng cố hữu.

Vũ trụ luận (cosmology): Môn học nghiên cứu toàn thể vũ trụ.

Điện tích (electric charge): Đặc tính của một hạt khiến nó đẩy xa (hoặc hấp dẫn) những hạt khác có điện tích giống như nó (hoặc tương phản với nó).

Lực điện từ (electromagnetic force): Lực phát ra giữa những hạt có điện tích, lực này có sức mạnh thứ nhì trong bốn lực cơ bản.

Điện tử (electron): Một hạt có điện tích âm chạy quanh nhân của một nguyên tử.

Năng lượng thống nhất điện yếu (electroweak unification energy): Năng lượng (khoảng 100 GeV) mà khi vượt trên giới hạn này thì sự khác biệt giữa lực điện từ và lực yếu sẽ biến mất.

Hạt cơ bản (elementary particle): Một hạt không thể phân chia được nữa.

Biến cố (event): Một điểm trong không-thời gian được ấn định bởi không gian và thời gian của nó.

Chân trời biến cố (event horizon): Biên giới của một hố đen.

Nguyên lý loại trừ (exclusion principle): Hai hạt có vòng quay $\frac{1}{2}$ giống hệt nhau không thể vừa có cùng vị trí vừa có cùng tốc độ (trong giới hạn do nguyên lý bất định đặt ra).

Trường (field): Cái gì đó hiện hữu trong khắp không-thời gian, trái với một hạt chỉ hiện hữu tại một điểm ở thời gian nào đó.

Tần số (frequency): Tổng số chu kỳ của một làn sóng trong một giây đồng hồ.

Tia gamma (gamma ray): Những sóng điện từ có độ dài rất ngắn, phát sinh từ sự suy biến phóng xạ hoặc bởi những đụng chạm giữa các hạt cơ bản.

Tương đối tổng quát (general relativity): Lý thuyết của Einstein đặt căn bản trên điều tin tưởng rằng các định luật khoa học đều giống nhau đối với mọi người quan sát, bất kể họ chuyển động như thế nào. Thuyết này giải thích hấp lực theo dạng cong của không-thời gian bốn chiều.

Trắc địa tuyến (geodesic): Con đường ngắn nhất (hoặc dài nhất) giữa hai điểm.

Năng lượng đại thống nhất (grand unification energy): Người ta tin rằng ở trên năng lượng này lực điện từ, lực yếu và lực mạnh trở thành bất khả phân biệt.

Thuyết đại thống nhất (GUT - grand unified theory): Lý thuyết thống nhất lực điện từ, lực mạnh và lực yếu.

Thời gian tưởng tượng (imaginary time): Thời gian đo bằng những con số tưởng tượng.

Hình nón ánh sáng (light cone): Một bề mặt trong không-thời gian đánh dấu những chiều hướng mà các tia sáng có thể đi qua một biến cố.

Giây ánh sáng (hoặc năm ánh sáng): Khoảng cách mà ánh sáng di chuyển trong một giây (hoặc một năm).

Từ trường (magnetic field): Trường của từ lực, ngày nay đã được hợp nhất với điện lực thành lực điện từ.

Khối lượng (mass): Số lượng của vật chất trong một vật thể; quán tính của vật thể, hoặc sự kháng cự của vật thể đối với độ gia tốc.

Bức xạ nền cảnh sóng ngắn (microwave background radiation): Bức xạ từ sự rục rịch của vũ trụ nóng trong thời kỳ sơ khai, ngày nay nó đã chuyển đổi nhiều tới độ chúng ta không nhận thấy nó là ánh sáng mà là những sóng ngắn (những sóng vô tuyến có độ dài vài centimét).

Điểm kỳ dị trần truồng (naked singularity): Một điểm kỳ dị trong không-thời gian không có hố đen vây quanh.

Neutrino (trung vi tử): Một hạt cơ bản cực nhẹ (có thể không có khối lượng) chỉ chịu ảnh hưởng của lực yếu và hấp lực.

Trung hòa tử (neutron): Một hạt không có điện tích, rất giống proton, bao gồm khoảng một nửa những hạt trong nhân của đa số nguyên tử.

Trung tử tinh (neutron star): Một tinh tú nguội lạnh được chống đỡ bởi lực đẩy giữa các trung hòa tử theo nguyên lý loại trừ.

Điều kiện vô biên giới (no boundary condition): Ý kiến cho rằng vũ trụ là hữu hạn nhưng không có biên giới (trong thời gian tưởng tượng).

Tụ biến hạt nhân (nuclear fusion): Tiến trình trong đó hai hạt nhân đụng nhau và kết hợp thành một hạt nhân nặng hơn.

Hạt nhân (nucleus): Phần trung tâm của một nguyên tử, chỉ gồm có những protons và trung hòa tử, được giữ dính vào nhau bởi lực mạnh.

Máy gia tốc hạt (particle accelerator): Một loại máy sử dụng điện từ có thể gia tăng tốc độ những hạt có điện tích đang chuyển động, khiến chúng có thêm năng lượng.

Pha (phase): Đối với một sóng, vị trí trong chu kỳ của nó ở một thời gian đặc biệt: sự đo lường sóng để biết nó ở đỉnh, ở đáy, hay ở điểm nào đó giữa đỉnh và đáy.

Quang tử (photon): Một lượng tử của ánh sáng.

Nguyên lý lượng tử của Planck (Planck's quantum principle): Ý kiến cho rằng ánh sáng (hoặc bất cứ những sóng cổ điển nào) chỉ có thể được phát ra hoặc thu hút trong những lượng tử cố định, và năng lượng của chúng có tỷ lệ thuận với tần số của chúng.

Phản điện tử (positron, dương điện tử): Phản hạt (có điện tích dương) của điện tử.

Hố đen ban đầu, hay nguyên thủy (primordial black hole): Loại hố đen được cấu tạo trong thời kỳ sơ khai của vũ trụ.

Tỷ lệ thuận, tỷ lệ nghịch (proportional, inversely proportional): "X có tỷ lệ thuận với Y" nghĩa là khi Y được nhân lên bởi bất cứ con số nào thì X cũng tăng lên như vậy. "X có tỷ lệ nghịch với Y" nghĩa là khi Y được nhân lên bởi bất cứ con số nào thì Y được chia ra bởi con số đó.

Proton: Hạt có điện tích dương bao gồm khoảng một nửa tổng số hạt trong đa cố nguyên tử.

Lượng tử (quantum): Đơn vị không thể phân chia trong đó sóng có thể phát xạ hoặc hấp thụ.

Cơ học lượng tử (quantum mechanics): Lý thuyết được khai triển từ nguyên lý lượng tử của Max Planck và nguyên lý bất định của Werner Heisenberg.

Quark: Một hạt cơ bản cảm thụ lực mạnh. Mỗi proton và trung hòa tử được cấu tạo bởi 3 quark.

Radar: Hệ thống dùng sóng vô tuyến xung động để dò tìm vị trí của những vật thể bằng cách đo lường thời gian mà một xung cần đến để đạt tới vật thể và phản chiếu lại.

Tán phóng xạ (radioactivity): Sự tan vỡ tự động của một loại hạt nhân nguyên tử để trở thành một loại hạt nhân nguyên tử khác.

Chuyển đỏ (red shift): Sự chuyển đổi sang màu đỏ của ánh sáng từ một tinh tú đang di chuyển càng lúc càng xa trái đất hơn.

Điểm kỳ dị (singularity): Một điểm trong không-thời gian ở đó dạng cong của không-thời gian trở thành vô hạn.

Định đề điểm kỳ dị (singularity theorem): Định đề nói rằng một điểm kỳ dị phải hiện hữu trong những tình huống nào đó – đặc biệt là vũ trụ cần phải bắt đầu từ một điểm kỳ dị.

Không-thời gian (space-time): Không gian bốn chiều mà các điểm của nó là những biến cố.

Chiều không gian (spatial dimension): Bất cứ chiều nào giống như không gian của ba chiều trong không-thời gian – nghĩa là bất cứ chiều nào, ngoại trừ chiều thời gian.

Tương đối đặc biệt (special relativity): Lý thuyết của Einstein đặt căn bản trên điều tin tưởng rằng các định luật khoa học đều giống nhau đối với mọi người quan sát, bất kể tốc độ di chuyển của họ.

Phổ (spectrum): Có nhiều loại phổ, thí dụ như sự phân chia của một sóng điện từ thành những tần số của nó.

Quay (spin): Một đặc tánh nội tại của những hạt cơ bản, liên hệ tới (nhưng không giống hệt) quan niệm thông thường của chúng ta về động tác quay.

Trạng thái ổn cố (stationary state): Trạng thái không thay đổi với thời gian: một khối hình cầu quay ở một vận tốc cố định được coi là ổn cố vì trông nó giống nhau ở bất cứ thời khắc nào, tuy rằng nó không bất động.

Lực mạnh (strong force): Lực mạnh nhất trong bốn lực cơ bản, với tầm xa ngắn nhất trong số bốn lực. Nó giữ cho các quark dính vào nhau bên trong các proton và trung hòa tử, và giữ cho các proton và trung hòa tử dính vào nhau để tạo thành nguyên tử.

Nguyên tắc bất định: Người ta không bao giờ có thể biết chính xác cả vị trí lẫn vận tốc của một hạt cùng một lúc; khi càng biết chính xác hơn về điều này thì càng biết ít chính xác hơn về điều kia.

Hạt ảo (virtual particle): Trong cơ học lượng tử, một hạt mà người ta không bao giờ có thể dò tìm một cách trực tiếp, nhưng sự hiện hữu của nó có những hiệu ứng có thể đo lường được.

Độ dài sóng (wavelength): Khoảng cách giữa hai đỉnh hoặc hai đáy kế cận nhau của sóng.

Lưỡng tính sóng/hạt (wave/particle duality): Khái niệm trong cơ học lượng tử nói rằng không có sự khác biệt giữa các sóng và các hạt; đôi khi các hạt có hành vi giống như sóng, và đôi khi các sóng có hành vi giống như hạt.

Lực yếu (weak force): Lực yếu thứ nhì trong số bốn lực cơ bản, với tầm xa rất ngắn. Lực này ảnh hưởng tới tất cả các hạt vật chất, nhưng không ảnh hưởng tới các hạt mang kèm lực.

Trọng lượng (weight): Lực tác động lên một vật thể bởi trường hấp lực. Lực này có tỷ lệ thuận với khối lượng của vật thể, nhưng không giống hết khối lượng.

Bạch tiểu tinh (white dwarf): Một tinh tú nguội lạnh được chống đỡ bởi lực đẩy giữa các điện tử theo nguyên lý loại trừ.

---o0o---
HẾT