

REVISED AND UPDATED FOR THE 21ST CENTURY

"Science writing at its best."—Martin Gardner, *New York Review of Books*

THE FIRST THREE MINUTES

A MODERN VIEW *of*
the ORIGIN *of the* UNIVERSE

STEVEN WEINBERG

Winner of the Nobel Prize for Physics

Ba phút đầu tiên - Một cách nhìn hiện đại về nguồn gốc vũ trụ

Steven Weinberg

Ebook miễn phí tại : www.Sachvui.Com

Giới Thiệu

Lời tựa của Steven Weinberg

Mở đầu: Người không lồ và con bò cái

II: Sự giãn nở của vũ trụ

III - Phong bức xạ cực ngắn vũ trụ

IV - Một "toa" cho vũ trụ nóng

V - Ba phút đầu tiên

VI - Vài trang lịch sử khoa học

VII - Phần trăm giây đầu tiên

VIII - Phần kết: Viễn cảnh trước mắt

Giới Thiệu

Cuốn sách này nói về những phút đầu tiên của sự hình thành vũ trụ, theo thuyết vũ trụ học hiện đại nhất gọi là thuyết “mô hình chuẩn”. Nó xuất phát từ thuyết “Vụ nổ lớn” của các nhà bác học Lemaitre và Gamow, nhưng được hiện đại hóa, chính xác hóa sau sự khám phá ra phổ bức xạ vũ trụ cực ngắn ở nhiệt độ 3 kenvin (khoảng âm 270 độ C) vào năm 1964 - 1965.

Đây là công lao trực tiếp của hai nhà bác học Mỹ Penzias và Wilson, và họ đã được giải thưởng Nobel năm 1978 về sự khám phá cực kỳ quan trọng này. Nhưng, như cuốn sách này nêu rõ, đó cũng là công lao của một tập thể khá lớn các nhà khoa học trong mấy chục năm trời, trong hàng trăm phòng thí nghiệm, đài quan sát thiên văn, nhóm nghiên cứu lý thuyết, đã đóng góp cho thuyết “Vụ nổ lớn” có được dạng “chuẩn” được nhiều người công nhận như hiện nay.

Bản thân tác giả, Steven Weinberg, một thành viên của Viện hàn lâm khoa học Mỹ, một nhà bác học nổi tiếng có nhiều cống hiến cho vật lý lý thuyết, vật lý hạt cơ bản, lý thuyết trường, dù không phải trực tiếp là một nhà vũ trụ học, nhưng gián tiếp đã tham gia vào cuộc đấu tranh cho “mô hình chuẩn” này. Năm 1979 Weinberg đã được giải Nobel về vật lý cùng với hai nhà bác học khác do sự đóng góp của ông vào việc tìm ra thuyết thống nhất hai tương tác: tương tác yếu và tương tác điện từ.

Cuốn sách này được xuất bản bằng tiếng Việt lần đầu năm 1981. Từ đó đến nay cuốn sách đã được tái bản nhiều lần ở nước ngoài, song vẫn không hề có sửa đổi gì do tính kinh điển của nó. Theo yêu cầu của đông đảo bạn đọc yêu thích khoa học, chúng tôi xin trân trọng giới thiệu bản in “Ba phút đầu tiên - Một cách nhìn hiện đại về nguồn gốc vũ trụ” của Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.

Lời tựa của Steven Weinberg

Sách này được viết ra từ một cuộc nói chuyện của tôi trong lễ khánh thành Trung tâm khoa học của các sinh viên năm cuối ở Harvard tháng 11 năm 1973. Một người bạn chung, Daniel Bell, đã kể lại cho ông Erwin Glikes, chủ tịch và giám đốc công ty xuất bản “Sách cơ bản” nghe về cuộc nói chuyện đó, và Glikes đã giục tôi biến nó thành một cuốn sách.

Đầu tiên tôi không thật say mê với ý đó lắm. Tuy rằng thỉnh thoảng tôi có tiến hành những cuộc nghiên cứu nhỏ về vũ trụ học, công việc của tôi dính líu nhiều hơn đến vật lý của những cái rất bé nhỏ, lý thuyết hạt cơ bản. Ngoài ra, vật lý hạt cơ bản đã tỏ ra sinh động một cách lạ lùng trong những năm cuối đây, và tôi đã tốn quá nhiều thời gian không phục vụ nó, khi viết những bài báo không chuyên môn cho những tạp chí này nọ. Tôi đã rất muốn trở về làm việc toàn bộ thời giờ ở chỗ sinh sống tự nhiên của tôi, là Tạp chí vật lý.

Tuy nhiên, tôi đã thấy là không thể ngừng suy nghĩ về những cuốn sách kể về vũ trụ sơ khai. Có gì hấp dẫn hơn là vấn đề “Phát minh trời đất”? Ngoài ra, trong vũ trụ sơ khai, đặc biệt trong phần trăm giây đầu tiên, các vấn đề về lý thuyết hạt cơ bản gắn chặt với các vấn đề về vũ trụ học. Và trước hết, bây giờ là một thời điểm tốt để viết về vũ trụ sơ khai. Đúng trong thập niên vừa qua, một lý thuyết chi tiết về quá trình diễn biến của các sự kiện trong vũ trụ sơ khai đã được công nhận rộng rãi dưới tên “mô hình chuẩn”.

Thật là một điều tuyệt vời khi ta kể được về vũ trụ sau giây đầu tiên, hoặc năm đầu tiên. Đối với một nhà vật lý, điều đáng phấn khởi là có thể kể về các sự việc với những con số, là có thể nói rằng ở thời điểm nào đó nhiệt độ, mật độ hay hợp phân hóa học của vũ trụ đạt được những trị số này nọ. Thật ra ta không hoàn toàn thật chắc về mọi vấn đề này, nhưng cũng đáng phấn khởi là bây giờ ta có thể nói về các vấn đề này với một chút tin tưởng nào đó. Sự phấn khởi này là cái mà tôi muốn đưa đến cho bạn đọc.

Tốt hơn hết là tôi phải nói sách này dành cho những bạn đọc nào. **Tôi đã viết cho bạn đọc sẵn sàng theo dõi vài lập luận chi tiết nhưng không phải thật am hiểu toán học hoặc vật lý**. Mặc dầu tôi phải đưa vào một số ý tưởng khoa học khá phức tạp, song không có môn toán học nào được dùng trong sách này ngoài số học mà bạn đọc không cần biết nhiều, thậm chí biết

trước gì về vật lý hoặc thiên văn. Tôi đã cố gắng thận trọng định nghĩa các danh từ khoa học khi dùng chúng lần đầu, thêm vào đây tôi đã cung cấp một bảng từ vựng về các danh từ vật lý và thiên văn. Ở đâu có thể được, tôi đã viết các con số bằng chữ (như: một trăm nghìn triệu) mà không dùng cách ghi khoa học tiện lợi hơn: 10 mũ 11.

Tuy nhiên, như vậy không phải có nghĩa là tôi đã cố viết một cuốn sách dễ hiểu. Khi một nhà luật học viết cho những bạn đọc bình thường, ông ta giả thiết rằng họ không biết tiếng Pháp về luật hoặc đạo luật “chống thừa hưởng suốt đời”, nhưng ông ta, không phải vì vậy mà suy nghĩ tệ hơn về họ, và ông không “hạ cố” đến họ. Tôi muốn nói ngược lại: tôi hình dung bạn đọc như một luật sư già khá tinh khôn, ông ta không nói ngôn ngữ của tôi, nhưng dù sao cũng mong đợi nghe vài lập luận có tính thuyết phục trước khi có ý kiến cá nhân.

Đối với bạn đọc muốn thấy thực sự vài phép toán làm cơ sở cho các lập luận của cuốn sách này, tôi đã soạn “Phụ trương toán học” liền sau cuốn sách. Trình độ toán học dùng ở đây làm cho các chú thích này có thể hiểu được đối với bất cứ ai có trình độ năm cuối đại học về một khoa học vật lý hoặc toán học nào đó. May thay, các tính toán quan trọng nhất trong vũ trụ học lại có phần nào đơn giản: chỉ có ở chỗ này chỗ nọ các điểm tinh tế hơn của thuyết tương đối rộng hoặc của vật lý hạt nhân mới được dùng chút ít. Những bạn đọc muốn tiếp tục hiểu vấn đề này ở một trình độ cao hơn sẽ tìm được nhiều giáo trình trình độ cao (kể cả của tôi) ghi ở mục “Gợi ý đọc thêm”.

Tôi cũng phải nói rõ đối tượng của cuốn sách. Đó chắc không phải là một cuốn sách nói về mọi khía cạnh của vũ trụ học. Có một phần “cổ điển” của vấn đề, nói nhiều nhất về cấu trúc của vũ trụ hiện nay ở quy mô lớn: cuộc tranh luận về bản chất ngoài thiên hà của các tinh vân xoắn ốc; sự khám phá ra các dịch chuyển đỏ của các thiên hà xa và sự phụ thuộc của các dịch chuyển đó vào khoảng cách; các mô hình vũ trụ học theo thuyết tương đối rộng của Einstein, de Sitter, Lemaitre và Friedmann; và v. v... Phần này của vũ trụ học đã được mô tả rất hay ở một số sách xuất sắc, và tôi không có ý thuật lại đầy đủ một lần nữa về phần này ở đây. Cuốn sách này nói về vũ trụ sơ khai, và đặc biệt về sự hiểu biết mới về vũ trụ sơ khai dấy lên từ khi khám phá ra phông xạ cực ngắn vũ trụ năm 1965.

Cố nhiên, thuyết vũ trụ giãn nở là một thành phần quan trọng trong cách nhìn của ta hiện nay về vũ trụ sơ khai, cho nên ở chương II, tôi đã buộc phải giới thiệu ngắn gọn về các khía cạnh “cổ điển” của vũ trụ học. Tôi tin rằng chương đó đã cung cấp một cơ sở thích hợp, dù là cho bạn đọc không quen biết vũ trụ học để hiểu các phát triển gần đây trong thuyết về vũ trụ sơ khai

mà phần còn lại của cuốn sách bàn đến. Tuy nhiên, bạn đọc muốn một sự giới thiệu đầy đủ những phần cổ hơn của vũ trụ học thì xin xem các sách ghi trong “Gợi ý đọc thêm”.

Mặt khác, tôi đã không tìm ra được một bản tường thuật lịch sử nào có hệ thống về các phát triển gần đây của vũ trụ học. Do đó tôi đã buộc phải đi sâu hơn một chút, đặc biệt về một vấn đề hấp dẫn là tại sao không có sự tìm kiếm nào về phong bức xạ cực ngắn của vũ trụ nhiều năm trước 1965. (Điều này được thảo luận ở chương VI). Như vậy không phải để nói rằng tôi coi sách này là một cuốn lịch sử có tính chất dứt điểm về các phát triển đó - tôi rất tôn trọng sự cố gắng tìm hiểu và sự chú ý đến các chi tiết cần thiết trong lịch sử khoa học nên không thể có một ảo tưởng nào về việc này. Trái lại, tôi sẽ hạnh phúc nếu một nhà sử học và khoa học thật sự nào đó sẽ dùng sách này như một điểm xuất phát và viết một cuốn lịch sử đầy đủ về ba mươi năm cuối đây của các nghiên cứu vũ trụ học.

Tôi hết sức cảm ơn Erwin Glikes và Farrell Phillips của công ty “Sách cơ bản” về các gợi ý có giá trị của hai ông trong khi chuẩn bị bản thảo này để xuất bản. Tôi cũng đã được giúp nhiều hơn là tôi có thể nói ra khi viết cuốn sách này, bởi vì những gợi ý thân thiện của các bạn đồng nghiệp của tôi về vật lý và thiên văn. Tôi muốn đặc biệt cảm ơn Ralph Alpher, Bernard Burke, Robert Dicke, George Field, Gary Feinberg, William Fowler, Robert Herman, Fred Hoyle, Jim Peebles, Arno Penzias, Bill Press, Ed Purcell và Robert Wagoner về việc các ông bạn tâm đọc và phát biểu về các phần của cuốn sách. Tôi cũng cảm ơn Isaac Asimov, I. Bernard Cohen, Martha Liller và Phillips Morrison vì đã cho thông tin về một loạt vấn đề đặc biệt. Tôi đặc biệt biết ơn Nigel Calder vì đã đọc suốt bản thảo đầu tiên, và đã cho những lời bình luận xác đáng. Tôi không thể hy vọng rằng cuốn sách này bây giờ hoàn toàn không có những chỗ sai hoặc tối nghĩa, nhưng tôi chắc là nó rõ và chính xác hơn nhiều so với trường hợp nếu nó không được sự giúp đỡ rộng lượng mà tôi đã may mắn nhận được.

Steven Weinberg

Cambridge, Massachusetts

Tháng 7/1976

Mở đầu: Người khổng lồ và con bò cái

Nguồn gốc vũ trụ được giải thích trong sách “Edda trẻ”, một sưu tập truyện thần thoại mà nhà tộc trưởng Aislen Snorri Sturleson đã sưu tầm vào khoảng năm 1220. Thừa sơ khai - sách của Edda viết - không có gì cả. “Không tìm thấy đất, phía trên cũng không có trời, chỉ có một khoảng trống lớn kinh khủng, và không đâu có cỏ”. Phía bắc và phía nam của khoảng không trống rỗng là những vùng của giá rét và lửa, Niflheim và Muspelheim. Sức nóng từ vùng Muspelheim làm tan các khối băng giá của Niflheim và từ các hạt nước một người khổng lồ xuất hiện, Ymer. Thế thì Ymer ăn gì? Hình như trong truyện cũng có một con bò cái tên là Audhumla. Thế thì nó ăn gì? Không sao, cũng có một ít muối, v. v...và v. v...

Tôi không muốn làm méch lòng những ai có thiện cảm tôn giáo, kể cả có thiện cảm với tín ngưỡng Viking (Viking: tên gọi những tên cướp biển Scandinavia thuở xưa (ND).), nhưng tôi cho rằng cũng đúng khi nói rằng câu chuyện trên không cho chúng ta một hình ảnh thỏa mãn lắm về nguồn gốc vũ trụ. Dù bỏ qua mọi điều hết sức trái với những chuyện dĩ nhiên, thông thường, câu chuyện này vẫn làm nảy sinh những câu hỏi nhiều bằng những vấn đề nó giải đáp, mỗi sự giải đáp lại dẫn đến một điều phức tạp mới cho các điều kiện ban đầu.

Chúng ta không thể chỉ mỉm cười khi nghe chuyện Edda và khước từ toàn bộ sự suy đoán về nguồn gốc vũ trụ, lòng ham muốn tìm hiểu lịch sử vũ trụ kể từ buổi sơ khai của nó thực không gì ngăn cản được. Từ lúc khoa học hiện đại bắt đầu, ở những thế kỷ 16 và 17, các nhà vật lý, thiên văn đã nhiều lần trở về nguồn gốc vũ trụ.

Tuy nhiên, quanh một loại nghiên cứu như vậy luôn luôn phảng phất những điều tai tiếng. Tôi nhớ lại lúc tôi còn là một sinh viên và khi đó tự bắt đầu nghiên cứu khoa học (về những vấn đề khác) trong những năm 1950, nghiên cứu về vũ trụ sơ khai bị nhiều người coi không phải là một công việc mà một nhà khoa học đứng đắn phải để nhiều thời giờ vào đấy. Sự đánh giá như vậy cũng không phải vô căn cứ. **Trong suốt phần lớn lịch sử vật lý học, thiên văn học hiện đại, rõ ràng là đã không có một cơ sở quan sát và lý thuyết vững vàng để dựa vào đấy người ta có thể xây dựng một lịch sử vũ trụ sơ khai.**

Bây giờ, đúng trong 10 năm qua, điều đó đã thay đổi. Một thuyết vũ trụ

sơ khai đã được công nhận rộng rãi đến mức các nhà thiên văn thường gọi nó là “mô hình chuẩn”. Nó một phần nào giống cái mà đôi khi được gọi là thuyết “vụ nổ lớn”, nhưng được bổ sung một toa (ở đây chúng tôi dịch “recipe” là “toa” để giữ đúng cách nói hóm hỉnh của tác giả. Còn có thể dịch là “công thức” hoặc “đơn” (ND).) rõ ràng hơn rất nhiều về các thành phần của vũ trụ. Thuyết về vũ trụ sơ khai này là đề tài cuốn sách của chúng ta.

Để thấy được ta sẽ đi tới đâu, có thể cần bắt đầu với một đoạn tóm tắt lịch sử vũ trụ sơ khai như được hiểu trong “mô hình chuẩn” hiện nay. Đây chỉ là một sự lướt qua ngắn gọn - các chương tiếp theo sẽ giải thích các chi tiết của lịch sử này và các lý do khiến ta tin vào nó phần nào.

Lúc đầu đã xảy ra một vụ nổ. Không phải một vụ nổ như thường xảy ra trên trái đất, bắt đầu từ một trung tâm nhất định và lan truyền ra các vùng xung quanh mỗi lúc một xa, mà là một vụ nổ xảy ra đồng thời ở bất cứ điểm nào, lấp đầy toàn bộ không gian ngay từ đầu, trong đó mỗi hạt vật chất đều rời xa các hạt khác. “Toàn bộ không gian” ở đây có thể hiểu hoặc là toàn bộ không gian của một vũ trụ vô hạn hoặc của một vũ trụ hữu hạn, nó tự khép kín như bề mặt một hình cầu. Cả hai khả năng đều không phải dễ hiểu, nhưng việc đó không cản trở gì ta; trong vũ trụ sơ khai, việc không gian là hữu hạn hay vô hạn hầu như không quan trọng.

Sau khoảng 1/100 giây, thời gian sớm nhất mà ta có thể tường thuật với một trăm nghìn triệu (10 mũ 11) độ bách phân (Trong sách, tác giả dùng khi thì độ bách phân cho dễ hiểu, khi thì độ Kelvin. Thực ra, phải dùng đơn vị “kenvin” thay độ bách phân hoặc độ Kelvin (ND).). Như vậy là nóng hơn nhiều so với ở trung tâm của một vì sao nóng nhất, nóng đến nỗi thực ra không có thành phần nào của vật chất bình thường, phân tử, nguyên tử hoặc dù là hạt nhân của nguyên tử có thể bám vào nhau được. Thay vào đó, vật chất rời xa nhau trong vụ nổ này gồm có những loại hạt cơ bản khác nhau, các hạt này là đối tượng nghiên cứu của vật lý hạt nhân năng lượng cao hiện đại.

Chúng ta sẽ gặp những hạt đó nhiều lần trong sách này - hiện giờ chỉ cần gọi tên các hạt có mặt nhiều nhất trong vũ trụ sơ khai, và trong các chương III và IV sẽ có những giải thích chi tiết hơn. Một loại hạt rất phổ biến lúc đó là electron, hạt mang điện âm chạy trong các dây dẫn điện và tạo nên các lớp vỏ của mọi nguyên tử và phân tử trong vũ trụ hiện nay. Một loại hạt khác cũng có rất nhiều trong các buổi sơ khai là pozitron, một loại hạt mang điện dương cùng một khối lượng như electron. Trong vũ trụ hiện nay pozitron chỉ được tìm thấy trong các phòng thí nghiệm năng lượng cao, trong một vài kiểu phóng xạ và trong những hiện tượng thiên văn cực mạnh như các tia vũ trụ và sao siêu mới, nhưng trong vũ trụ sơ khai, số lượng pozitron đúng bằng

số lượng electron. Ngoài electron và pozitron lúc đó còn có những loại neutrino, số lượng cũng gần bằng như vậy, những hạt “ma” mang khối lượng và điện tích bằng không. Cuối cùng, vũ trụ lúc đó chứa đầy ánh sáng. Không được xem xét ánh sáng tách rời với các hạt. Thuyết lượng tử cho ta biết rằng ánh sáng gồm những hạt khối lượng bằng không, điện tích bằng không, gọi là photon. (Mỗi lần một nguyên tử trong dây tóc bóng đèn điện chuyển từ một trạng thái năng lượng cao đến một trạng thái năng lượng thấp hơn thì một photon được phát ra). Số photon được phát ra từ một bóng điện nhiều đến nỗi chúng dường như là nhập với nhau thành một luồng ánh sáng liên tục, nhưng một tế bào quang điện có thể đếm từng photon một. Mỗi photon mang một lượng năng lượng và xung lượng xác định, phụ thuộc vào bước sóng ánh sáng. Để mô tả ánh sáng đã tràn ngập vũ trụ sơ khai, chúng ta có thể nói rằng số lượng và năng lượng trung bình của các photon lúc đó xấp xỉ bằng số lượng và năng lượng trung bình của các electron, pozitron hoặc neutrino.

Các hạt đó - electron, pozitron, neutrino, photon - đã được tạo nên một cách liên tục từ năng lượng thuần túy và rồi sau những khoảnh khắc tồn tại lại bị hủy diệt. Như vậy, số lượng của chúng không phải là đã được định ngay từ đầu, mà thay vào đó được cố định bằng sự cân bằng- giữa các quá trình sinh và hủy. Từ sự cân bằng này ta có thể suy ra rằng mật độ thứ xúp (Chúng tôi dịch “cosmic soup” là xúp vũ trụ (một món “hầu lốn” vũ trụ) để giữ cách nói hóm hỉnh của tác giả (ND).) vũ trụ đó ở nhiệt độ một trăm nghìn triệu độ, lớn gấp khoảng bốn nghìn triệu lần mật độ của nước. Lúc đó cũng có pha một số ít hạt nặng hơn, các proton và neutron, mà trong thế giới hiện nay là những thành phần của các hạt nhân nguyên tử. (Proton mang điện tích dương, neutron nặng hơn một ít và trung hòa về điện). Tỷ lệ lúc đó vào khoảng một proton và một neutron trên mỗi nghìn triệu electron hoặc pozitron hoặc neutrino hoặc photon. **Con số đó - một nghìn triệu photon trên mỗi hạt nhân - là con số quyết định cần phải rút ra từ quan sát để tạo ra mô hình chuẩn của vũ trụ. Sự phát hiện ra phong bức xạ vũ trụ được thảo luận ở chương III thực ra là một phép đo con số đó.**

Khi vụ nổ tiếp tục thì nhiệt độ hạ xuống tới ba mươi nghìn triệu (3. 10 mũ 10) độ C sau khoảng một phần mười giây; mười nghìn triệu độ sau một giây và ba nghìn triệu độ sau 14 giây. Như vậy đủ lạnh để electron và pozitron bắt đầu bị hủy với nhau nhanh hơn là có thể được tái sinh từ photon và neutrino. Năng lượng được giải phóng trong sự hủy vật chất tạm thời làm giảm tốc độ lạnh dần của vũ trụ, nhưng nhiệt độ tiếp tục giảm, cuối cùng đi đến một nghìn triệu độ sau ba phút đầu tiên. Lúc đó đủ lạnh để photon và neutron bắt đầu tạo thành các hạt nhân phức tạp, bắt đầu là hạt nhân của hydro nặng (hay đoteri) nó gồm một proton và một neutron. Mật độ lúc đó

hãy còn khá cao (hơi nhỏ hơn mật độ của nước), cho nên các hạt nhân nhẹ đó có thể hợp lại với nhau một cách nhanh chóng thành hạt nhân nhẹ bền nhất, hạt nhân của heli, gồm hai photon và hai neutron.

Sau ba phút đầu tiên, vũ trụ gồm chủ yếu ánh sáng, neutrino và phản neutrino. Lúc đó vẫn còn chút ít chất hạt nhân, gồm có khoảng 73 % hydro và 27 % heli và một số, cũng ít như vậy, electron còn lại từ quá trình hủy electron và positron. Vật chất đó tiếp tục rời xa nhau, càng ngày càng lạnh hơn, loãng hơn. Mãi lâu sau, sau một vài trăm nghìn năm mới bắt đầu đủ lạnh để cho electron kết hợp với hạt nhân thành nguyên tử hydro và heli. Chất khí được hình thành sẽ bắt đầu, dưới ảnh hưởng của lực hấp dẫn, tạo nên những khối kết mà sau này sẽ ngưng tụ lại, tạo ra các thiên hà và các ngôi sao của vũ trụ hiện nay. Tuy nhiên, những thành phần mà các ngôi sao dùng để bắt đầu đời sống của chúng cũng chỉ là những thành phần được tạo ra trong ba phút đầu tiên.

Mô hình chuẩn được phác họa ra trên đây không phải là thuyết thỏa mãn nhất mà ta có thể tưởng tượng được về nguồn gốc vũ trụ. Cũng như trong sách “Edda trẻ” có một sự mơ hồ đáng lo ngại về chính lúc bắt đầu, về phần giây đầu tiên - hoặc hơn kém một ít.

Ngoài ra việc cần quy định các điều kiện ban đầu, đặc biệt tỷ lệ một nghìn triệu photon trên một hạt nhân cũng không được tự nhiên lắm. Chúng ta thích một sự thuyết trình có logic chặt chẽ hơn.

Ví dụ một thuyết khác có vẻ hấp dẫn về mặt triết học hơn nhiều, là mô hình trạng thái dừng. Trong thuyết được Herman Bondi, Thomas Gold (dưới một dạng hơi khác) và Fred Hoyle đưa ra trong những năm cuối của thập niên 40 này, vũ trụ đã luôn luôn tồn tại như hiện nay. Khi nó giãn ra, vật chất “mới” được tạo thành một cách liên tục để lấp các khoảng trống giữa các thiên hà. Có thể là mọi câu hỏi về việc tại sao vũ trụ là như thế này có thể được giải đáp trong thuyết này bằng cách chỉ ra rằng nó như thế đó vì đây là cách duy nhất để nó luôn luôn là không đổi. Vấn đề vũ trụ sơ khai bị loại trừ: không có vũ trụ sơ khai.

Vậy thì tại sao chúng ta lại đi đến “mô hình chuẩn”? Và tại sao nó đã thay thế các thuyết khác như “mô hình trạng thái dừng”? Đây là một điểm đáng khâm phục về tính khách quan của vật lý thiên văn hiện đại, rằng sự nhất trí đã đạt được này không phải do những sự thay đổi thiên về triết học hoặc do ảnh hưởng của những “ông quan” của vật lý thiên văn mà là do áp lực của những số liệu thực nghiệm.

Hai chương tiếp theo đây sẽ mô tả hai sự kiện lớn mà các quan sát thiên văn đã cung cấp, chúng đã dẫn ta đến “mô hình chuẩn” - các phát hiện về sự

lùi xa của các thiên hà ở xa xăm và về một phong bức xạ yếu chứa đầy trong vũ trụ. Đây là một câu chuyện phong phú cho các nhà nghiên cứu lịch sử khoa học, nó chứa đầy những bước đi ban đầu sai lệch, những dịp may đã bị bỏ lỡ, những định kiến lý thuyết và vai trò của những nhân vật quan trọng.

Sau sự trình bày sơ lược đó về vũ trụ học quan sát, tôi sẽ cố gắng sắp xếp các số liệu lại với nhau để có một bức tranh nhất quán về các điều kiện vật lý trong vũ trụ sơ khai. Như vậy ta có thể quay lại ba phút đầu tiên với nhiều chi tiết hơn. Cách trình bày theo nghệ thuật điện ảnh có vẻ thích hợp: cảnh này tiếp theo cảnh khác, chúng ta sẽ quan sát vũ trụ giãn nở và lạnh dần. Chúng ta cũng có thể thử nhìn một chút vào một thời đại mà hiện nay vẫn bao phủ bởi một bức màn bí mật - cái phần trăm giây đầu tiên và cái gì đã xảy ra trước đó.

Chúng ta có thể hoàn toàn tin chắc vào mô hình chuẩn không? Những phát hiện mới nào đó có thể đánh đổ nó và thay bằng một thuyết “nguồn gốc vũ trụ” khác nào đó, kể cả làm sống lại mô hình trạng thái dừng hay không? Cũng có thể. Tôi không thể chối rằng tôi có một cảm giác không thật khi viết về ba phút đầu tiên, như thể là tôi đã biết chắc về câu chuyện tôi muốn nói.

Tuy nhiên, dù phải bị thay thế, mô hình chuẩn sẽ được coi là đã đóng một vai trò có giá trị lớn trong lịch sử của vũ trụ học. Hiện nay người ta đã coi trọng (tuy rằng mới chỉ mười năm gần đây thôi) việc thử nghiệm các ý tưởng lý thuyết trong vật lý hoặc vật lý thiên văn bằng cách rút ra các hệ quả của chúng theo mô hình chuẩn. Hiện nay người ta thường dùng mô hình chuẩn như một cơ sở lý thuyết để biện hộ cho những chương trình quan sát thiên văn. Như vậy, mô hình chuẩn cho một ngôn ngữ chung cần thiết, cho phép các nhà lý thuyết và quan sát đánh giá được công việc của nhau. Nếu một ngày nào đó mô hình chuẩn bị thay thế bởi một lý thuyết tốt hơn, đó có thể là do những quan sát hay xuất phát từ mô hình chuẩn.

Trong chương cuối, tôi sẽ nói một đoạn ngắn về tương lai vũ trụ. Nó có thể giãn nở mãi mãi, ngày càng lạnh hơn, trống rỗng hơn và “chết” hơn. Ngược lại, nó có thể co hẹp lại, làm cho các thiên hà, các ngôi sao và hạt nhân nguyên tử nổ tung và trở về các hợp phần của nó. Tất cả các vấn đề chúng ta gặp khi chúng ta muốn hiểu ba phút lúc đó sẽ xuất hiện trở lại khi ta muốn tiên đoán các sự kiện sẽ xảy ra trong ba phút cuối.

II: Sự giãn nở của vũ trụ

Nhìn vào bầu trời ban đêm, ta có cảm giác mạnh mẽ về một vũ trụ không biến động. Thực ra, những đám mây bay qua mặt trăng, bầu trời xoay quanh sao Bắc đẩu và sau những khoảng thời gian dài hơn thì mặt trăng cũng khi tròn khi khuyết, và mặt trăng cũng như các hành tinh đều chuyển động trên phỏng các vì sao. Nhưng chúng ta biết đây chỉ là hiện tượng cục bộ, do các chuyển động trong thái dương hệ của chúng ta gây ra. Ngoài các hành tinh ra, các ngôi sao dường như đứng yên.

Cố nhiên, sao cũng chuyển động với những tốc độ đạt vài trăm kilômet mỗi giây, như vậy trong một năm, một ngôi sao chuyển động nhanh có thể đi mười nghìn triệu kilômet. Đây là một khoảng một nghìn lần nhỏ hơn khoảng cách đến những ngôi sao dù là gần nhất, cho nên vị trí biểu kiến của chúng trên bầu trời thay đổi rất chậm. (Ví dụ ngôi sao chuyển động tương đối nhanh, gọi là Barnard ở cách ta một khoảng chừng 56 triệu triệu kilômet. Nó chuyển động qua đường nhìn với tốc độ 89 km/s hoặc 2,8 nghìn triệu kilômet mỗi năm, kết quả là vị trí biểu kiến của nó thay đổi một góc bằng 0,0029 độ trong một năm). Các nhà thiên văn gọi sự thay đổi vị trí biểu kiến của những ngôi sao gần trên bầu trời là “chuyển động riêng”.

Vị trí biểu kiến trên bầu trời của những ngôi sao xa hơn thay đổi chậm đến mức chuyển động riêng của chúng không thể phát hiện được thậm chí bằng sự quan sát kiên nhẫn nhất . Ở đây chúng ta sẽ thấy rằng cái cảm giác không biến động này là sai lầm. Các quan sát mà chúng ta thảo luận trong chương này cho thấy là vũ trụ ở trong một trạng thái nổ dữ dội, trong đó các đảo sao lớn gọi là các thiên hà đang rời xa nhau với những tốc độ gần bằng tốc độ ánh sáng. Sau này chúng ta có thể ngoại suy sự nổ đó lùi về thời gian để kết luận rằng tất cả các thiên hà chắc đã phải gần nhau hơn nhiều ở cùng một lúc trong quá khứ - gần nhau đến mức mà thực ra không có thiên hà nào hoặc vì sao nào hoặc kể cả nguyên tử hay hạt nhân nguyên tử nào có thể tồn tại riêng biệt. Đó là kỷ nguyên mà chúng ta gọi là “vũ trụ sơ khai”, đối tượng nghiên cứu của cuốn sách này.

Sự hiểu biết của chúng ta về sự giãn nở của vũ trụ hoàn toàn dựa trên sự kiện là các nhà thiên văn có khả năng đo chuyển động của một vật thể sáng theo hướng trực tiếp *đọc theo* đường nhìn chính xác hơn rất nhiều so với khi đo chuyển động đó theo những hướng vuông góc với đường nhìn . Kỹ thuật đo dùng một tính chất quen thuộc của mọi chuyển

động sóng, gọi là hiệu ứng Doppler. Khi ta quan sát một sóng âm hoặc sóng ánh sáng từ một nguồn bất động, thời gian giữa các đỉnh sóng khi chúng đến được thiết bị quan sát của ta cũng đúng là thời gian giữa các đỉnh sóng khi chúng rời khỏi nguồn. Mặt khác, nếu nguồn chuyển động tách khỏi chúng ta thì thời gian giữa các lần tới của những đỉnh sóng liên tiếp lớn hơn thời gian giữa những lúc chúng rời khỏi nguồn, vì mỗi đỉnh sau khi tới chỗ ta phải đi một quãng đường dài hơn một chút so với đỉnh trước. Thời gian giữa các đỉnh chính bằng bước sóng chia cho tốc độ của sóng, như vậy một sóng phát ra bởi một nguồn chuyển động ra xa khỏi ta sẽ hình như có một bước sóng dài hơn so với khi nguồn đứng yên. (Cụ thể độ tăng tỷ đối của bước sóng bằng tỉ số giữa tốc độ nguồn sóng và tốc độ của sóng, như được chỉ ra trong chú thích toán học 1). Cũng như vậy, nếu nguồn chuyển động về phía ta, thời gian giữa những lần xuất hiện của hai đỉnh sóng giảm đi bởi vì mỗi đỉnh sóng kế tiếp đi một quãng đường ngắn hơn và sóng hình như có một bước sóng ngắn hơn. Điều này giống như thể một người bán hàng lưu động muốn gửi thư về nhà một cách đều đặn, mỗi tuần một lần suốt trong chuyến đi của mình: khi người đó đi xa nhà, mỗi thư tiếp sau sẽ phải đi một khoảng cách xa hơn thư trước, cho nên các bức thư của người đó sẽ đến cách nhau hơn một tuần; trên đường trở về, mỗi thư tiếp sau sẽ đi một khoảng cách ngắn hơn nên các bức thư đến cách nhau chưa đầy một tuần.

Hiện nay rất dễ quan sát hiệu ứng Doppler trên sóng âm. Chỉ cần đứng bên đường cái và nhận xét rằng động cơ của một xe ô tô chạy nhanh phát ra âm thanh cao hơn (nghĩa là có bước sóng ngắn hơn) khi chiếc ô tô lao về phía ta so với khi chiếc ô tô chạy khỏi ta. Hiệu ứng này được Johann Christian Doppler, giáo sư toán học trường Realschule ở Praha nêu ra lần đầu tiên cho cả sóng âm và sóng ánh sáng năm 1842. Hiệu ứng Doppler cho sóng âm được nhà khí tượng học Hà Lan Buys - Ballot thử nghiệm trong một thí nghiệm hấp dẫn vào năm 1845 - ông dùng một dàn nhạc kèn đặt trên một toa xe lửa mui trần phóng nhanh qua vùng nông thôn Hà Lan gần Utrecht làm nguồn âm thanh di động. Doppler cho rằng hiệu ứng của ông có thể cắt nghĩa màu sắc khác nhau của các vì sao. Ánh sáng của các vì sao chuyển động rời xa quả đất phải dịch chuyển về phía những bước sóng dài hơn, và do ánh sáng đỏ có bước sóng dài hơn bước sóng trung bình của ánh sáng thấy được, nên một ngôi sao như vậy sẽ hiện ra đỏ hơn bình thường. Cũng như vậy, ánh sáng từ các vì sao chuyển động về phía quả đất sẽ dịch chuyển về phía bước sóng ngắn hơn, do đó vì sao được nhìn xanh hơn bình thường.

Không lâu sau đó Buys - Ballot và một số người khác đã chỉ ra rằng hiệu ứng Doppler về căn bản không dính líu gì đến màu sắc một ngôi sao - đúng là ánh sáng xanh từ một ngôi sao đi xa quả đất bị dịch về phía đỏ, nhưng đồng thời một phần của ánh sáng tử ngoại, thường không thấy được

của vì sao, lại dịch chuyển về phía xanh của phổ thấy được, do đó màu sắc toàn bộ không thay đổi. Các sao có màu sắc khác nhau chủ yếu vì chúng có bề mặt nhiệt độ khác nhau.

Tuy nhiên, hiệu ứng Doppler bắt đầu có một tầm quan trọng to lớn trong thiên văn học vào năm 1868, khi nó được áp dụng cho việc nghiên cứu những vạch phổ cá biệt. Nhiều năm trước đó nhà quang học Joseph Fraunhofer ở Muynkhen đã phát hiện ra, trong những năm từ 1814 đến 1815, rằng khi ánh sáng mặt trời đi qua một khe hẹp và sau đó đi qua một lăng kính thủy tinh thì phổ màu sắc hiện ra có hàng trăm vạch tối, mỗi vạch đều là hình ảnh cái khe hẹp. (Một vài vạch này đã được William Hyde Wollaston nhận thấy trước đây nữa kia, năm 1802, nhưng lúc đó không được nghiên cứu kỹ lưỡng). Các vạch tối luôn luôn được thấy tại các màu sắc cố định. Những vạch phổ tối này cũng được Fraunhofer tìm thấy ở những vị trí như vậy trên quang phổ của mặt trăng và các sao sáng hơn. Người ta hiểu khá sớm rằng những vạch tối này được tạo ra bởi sự hấp thụ chọn lọc ánh sáng có những bước sóng xác định nào đó, khi ánh sáng đi từ bề mặt nóng của một vì sao qua khí quyển bên ngoài lạnh hơn của nó. Mỗi một vạch là do sự hấp thụ ánh sáng của một nguyên tố hóa học xác định, như vậy người ta có thể biết rằng các nguyên tố trên mặt trời như natri, sắt, magie, canxi và crom cũng là những nguyên tố tìm thấy trên quả đất. (Hiện nay chúng ta biết rằng bước sóng của các vạch tối đúng là những bước sóng mà một photon có bước sóng đó sẽ có đúng năng lượng đủ để nâng nguyên tử từ trạng thái năng lượng thấp nhất lên một trong những trạng thái kích thích của nó).

Năm 1868 William Huggins đã có thể chỉ ra rằng các vạch tối trên phổ của một vài vì sao sáng chói hơn hơi dịch chuyển về phía đỏ hoặc phía xanh so với vị trí bình thường của chúng trên phổ của mặt trời. Ông đã giải thích đúng đắn sự kiện này như sự dịch chuyển Doppler do sự chuyển động của vì sao ra xa khỏi quả đất hoặc về phía quả đất gây ra. Ví dụ, bước sóng của mỗi vạch tối trên phổ của sao Capella dài hơn bước sóng của vạch tối tương ứng trên phổ mặt trời 0,01 %. Sự dịch chuyển về phía đỏ này chứng tỏ Capella đang rời xa ta với một tốc độ bằng 0,01 % tốc độ ánh sáng hoặc 30 kilômet mỗi giây. Hiệu ứng Doppler được áp dụng trong những thập niên sau đó để khám phá vận tốc của những tai lửa của mặt trời, của các sao đôi và của các vạch sao Thổ.

Phép đo các vận tốc bằng quan sát các dịch chuyển Doppler là một kỹ thuật rất chính xác, bởi vì bước sóng của các vạch phổ có thể đo được với một độ chính xác cao; tìm những bước sóng cho trong các bảng số với tám con số có ý nghĩa không phải là chuyện hiếm. Ngoài ra, kỹ thuật này vẫn giữ được độ chính xác dù khoảng cách tới nguồn sáng là bao nhiêu, miễn là

nguồn đủ ánh sáng để có thể nhận ra các vạch phổ trên bức xạ của bầu trời ban đêm.

Chính nhờ sử dụng hiệu ứng Doppler mà ta biết những giá trị đặc trưng của vận tốc các sao đã nhắc đến ở đầu chương này. Hiệu ứng Doppler cũng cho ta cách tìm khoảng cách đến các ngôi sao gần; nếu chúng ta phỏng đoán được một chút gì đó về hướng chuyển động của một vì sao, thì dịch chuyển Doppler cho ta vận tốc của nó theo phương ngang cũng như theo phương dọc đường nhìn của chúng ta, do đó việc đo chuyển động biểu kiến của vì sao ngang qua thiên cầu sẽ cho ta hay nó cách xa ta khoảng bao nhiêu. Nhưng hiệu ứng Doppler chỉ bắt đầu cho các kết quả có tầm quan trọng về mặt vũ trụ học khi các nhà thiên văn bắt đầu nghiên cứu phổ của những thiên thể ở xa hơn các vì sao thấy được rất nhiều. Tôi sẽ kể một ít về việc khám phá ra các thiên thể đó, rồi quay lại hiệu ứng Doppler.

Chúng ta sẽ bắt đầu chương này bằng sự nhìn ngược lên bầu trời đêm. Thêm vào mặt trăng, hành tinh và các vì sao, còn có hai loại thiên thể nhìn được khác còn quan trọng hơn về mặt vũ trụ học mà đáng lẽ tôi đã phải nhắc đến.

Một trong hai thiên thể này dễ thấy và sáng đến mức đôi khi còn nhìn thấy được trên bầu trời mờ sáng của một thành phố ban đêm. Đó là một dải sáng vượn dài thành một vành tròn lớn bao quanh bầu trời và từ nghìn xưa đã được gọi là Ngân hà. Năm 1750 nhà chế dụng cụ người Anh Thomas Wright cho ra một cuốn sách xuất sắc, *Thuyết nguồn gốc* hay *Giả thuyết mới về vũ trụ*, trong đó ông gợi ý rằng các vì sao nằm trong một phiến dẹt, “phiến đá mài”, có bề dày hữu hạn, nhưng vượn ra rất xa theo mọi hướng của bề mặt phiến. **Hệ mặt trời nằm trong phiến dẹt này, cho nên tự nhiên khi ta nhìn từ quả đất dọc theo mặt phẳng phiến ta thấy sáng hơn khi nhìn theo bất kỳ hướng nào khác. Đây là cái ta gọi là Ngân hà.**

Thuyết của Wright đã được xác nhận từ lâu. Hiện nay người ta cho rằng Ngân hà là một cái đĩa sao dẹt có đường kính khoảng tám mươi nghìn năm ánh sáng và chiều dày vào khoảng sáu nghìn năm ánh sáng. Nó cũng có một quầng sao hình cầu với bán kính gần một trăm nghìn năm ánh sáng. Tổng khối lượng thường được ước tính khoảng 100 nghìn triệu lần khối lượng mặt trời, nhưng một số nhà thiên văn cho rằng quầng sao mở rộng có thể có khối lượng lớn hơn nhiều. Hệ mặt trời ở cách tâm của đĩa vào khoảng ba mươi nghìn năm ánh sáng và hơi “dịch về phía bắc” mặt phẳng tâm của đĩa. Đĩa quay, với những tốc độ đạt tới khoảng 250 km/s và chia ra những nhánh xoắn ốc khổng lồ. Đại thể, nếu ra có thể nhìn từ ngoài vào thì đó sẽ là một quang cảnh vĩ đại! Toàn bộ hệ thống này hiện nay thường được gọi là Thiên hà hoặc, với một cách nhìn rộng hơn, “thiên hà của chúng ta”.

Một nét khác của bầu trời ban đêm, đáng quan tâm về mặt vũ trụ học, kém rõ ràng hơn nhiều so với ngân hà. Trong chòm sao Andromeda (Tiên nữ) có một đám mờ không dễ thấy lắm nhưng cũng nhìn thấy rõ trong đêm đẹp trời nếu ta biết cần tìm nó ở chỗ nào. Tài liệu nhắc đến nó đầu tiên có thể là sự ghi chép về nó trong *Sách về các vì sao cố định*, do nhà thiên văn Ba Tư Abdurrahman Al - Sufi viết năm 964 trước Công nguyên. Ông đã mô tả mô tả nó như một “đám mây nhỏ”. Sau khi có các kính thiên văn, người ta đã khám phá ra càng ngày càng nhiều những thiên thể rộng lớn như vậy và các nhà thiên văn các thế kỷ 17 và 18 đã thấy các thiên thể đó trong khi đi tìm những thiên thể mà họ cho là thực sự hấp dẫn, là các sao chổi. Để có một danh mục tiện lợi về các thiên thể không phải quan sát đến khi tìm sao chổi, năm 1781 Charles Messier đã xuất bản một catalô nổi tiếng, các tinh vân và các chòm sao. Cho đến nay các nhà thiên văn vẫn còn nhắc đến 103 thiên thể trong catalô đó theo các số hiệu Messier của chúng - thí dụ tinh vân Tiên nữ là M31, tinh vân con Cua (Crab) là M1, v.v ...

Ngay ở thời Messier, người ta đã rõ rằng các thiên thể rộng lớn đó không phải là như nhau. Vài cái rõ ràng là những chòm sao như Nhóm thất tinh (M45). Những cái khác là những đám mây khí phát sáng hình thù không đều đặn, thường có màu sắc, và thường liên kết với một hoặc vài vì sao, như Đại tinh vân trong chòm Thần nông (M42). Ngày nay chúng ta biết rằng những vật thể thuộc cả hai loại đó đều ở trong thiên hà của chúng ta, và chúng ta không cần để ý đến chúng nhiều hơn nữa ở đây. Tuy nhiên khoảng một phần ba các vật thể trong catalô của Messier là những tinh vân trắng có dạng elip khá đều đặn, trong đó cái nổi nhất là tinh vân Tiên nữ (M31). Khi các kính thiên văn được cải tiến, thêm hàng nghìn tinh vân đã được phát hiện và vào khoảng cuối thế kỷ 19, nhiều nhánh xoắn ốc đã được tìm thấy, kể cả M31 và M33. Tuy nhiên, những kính thiên văn tốt nhất của thế kỷ 18 và 19 đã không thể phân biệt được những vì sao riêng lẻ trong các tinh vân hình elip hoặc xoắn ốc, và bản chất của chúng vẫn còn chưa rõ.

Hình như Immanuel Kant là người đầu tiên đã cho rằng một số các tinh vân này là những thiên hà như thiên hà của chúng ta. Với được thuyết của Wright về ngân hà, năm 1755 Kant đã giả thiết trong cuốn sách “*Lịch sử tự nhiên toàn năng và thuyết về trời đất*” của ông rằng các tinh vân “hoặc, đúng hơn, một loại tinh vân nào đó” thực ra là những đĩa sao tròn có dạng và kích thước giống thiên hà của chúng ta. Chúng được nhìn như là có dạng elip bởi vì đa số chúng được nhìn nghiêng và cố nhiên là mờ nhạt vì chúng ở quá xa.

Ý tưởng về một vũ trụ chứa đầy những thiên hà giống như thiên hà của chúng ta đã được nhiều người dù không phải là tất cả công nhận vào đầu thế kỷ 19. Tuy nhiên, còn một khả năng nữa là các tinh vân elip và

xoắn ốc này có thể chỉ là những đám mây ở trong thiên hà của chúng ta như nhiều vật thể khác trong catalô của Messier. Một nguyên nhân lớn gây lầm lẫn là sự quan sát những ngôi sao bùng nổ trong một vài tinh vân xoắn ốc. Nếu các tinh vân này quả là các thiên hà độc lập, và vì chúng ở quá xa nên ta không phân biệt nổi những sao riêng biệt thì các vụ nổ phải có một sức nổ mạnh kinh khủng để cho chúng còn sáng ở một khoảng cách xa như vậy. Về điều này, tôi không thể không trích dẫn một đoạn văn ở thế kỷ 19. Viết năm 1893, nhà viết về lịch sử thiên văn người Anh Agnes Mary Clerke đã lưu ý rằng:

Tinh vân nổi tiếng Andromada (Tiên nữ) và tinh vân xoắn ốc lớn ở chòm Canes Venatici là những tinh vân đáng chú ý hơn trong những tinh vân cho một phổ liên tục; và theo một tỷ lệ chung, sự phát quang của mọi tinh vân có dáng dấp những chòm sao hiện lên mờ mờ vì ở quá xa, là thuộc cùng một loại. Tuy nhiên nếu từ đó kết luận rằng chúng quả thực là những tập hợp của những vật thể như mặt trời thì quả là quá vội. Kết luận này càng tỏ rõ thiếu căn cứ do các vụ bùng nổ ở hai vì sao xảy ra cách nhau một phần tư thế kỷ. Bởi vì chắc chắn rằng dù tinh vân xa mấy đi nữa thì các ngôi sao cũng cách xa chúng ta như vậy; do đó, nếu những hạt thành phần của tinh vân là những mặt trời thì những thiên thể vô cùng to lớn mà ở đó cái ánh sáng lờ mờ của chúng gần như đã tiêu tán (mà chúng ta thấy), phải, như ông Protor đã chỉ ra, ở một thang độ lớn mà trí tưởng tượng con người không dám nghĩ đến.

Hiện nay chúng ta biết rằng những vụ bùng nổ sao đó quả thực là “ở một thang độ lớn mà trí tưởng tượng con người không dám nghĩ đến”. Chúng là những sao siêu mới, những vụ nổ trong đó một ngôi sao có độ trung gần bằng cả một thiên hà. Nhưng điều này cũng chưa được biết đến vào năm 1893.

Vấn đề bản chất các tinh vân xoắn ốc và elip không thể giải quyết được nếu không có một phương pháp đáng tin cậy để xác định khoảng cách tới chúng. Một chuẩn đề so sánh như vậy cuối cùng đã được khám phá ra sau khi hoàn thành việc xây dựng kính thiên văn 100 inch (Inch: đơn vị đo chiều dài của Anh bằng 2,54 cm (ND).) trên núi Wilson gần Los Angeles. Năm 1928 Edwin Hubble lần đầu tiên đã có thể phân giải được tinh vân tiên nữ thành những vì sao riêng lẻ. Ông thấy rằng những nhánh xoắn ốc của nó gồm một số ít ngôi sao sáng đối ánh với cùng kiểu biến thiên tuần hoàn độ trung như thường thấy đối với một loại sao trong thiên hà của chúng ta, gọi là xepheit. Lý do về tầm quan trọng của việc này là ở chỗ vào khoảng chục năm về trước, công trình của Henrietta Swan Leavitt và Harlow Shapley ở đài thiên văn trường đại học Harvard đã cho một hệ thức chặt chẽ giữa các

chu kỳ biến thiên quan sát được của các xepheit với các độ trung tuyệt đối của chúng. (Độ trung tuyệt đối là năng lượng phát ra toàn phần mà một thiên thể phát ra theo mọi hướng. Độ trung biểu kiến là năng lượng bức xạ mà ta nhận được trên mỗi centimet vuông mặt kính thiên văn của chúng ta. Chính độ trung biểu kiến, chứ không phải độ trung tuyệt đối là cái quy định độ chói chủ quan của các thiên thể. Cố nhiên độ trung biểu kiến phụ thuộc không những vào độ trung tuyệt đối mà còn vào khoảng cách; như vậy, biết cả độ trung tuyệt đối và độ trung biểu kiến của một thiên thể, ta có thể suy ra khoảng cách của nó).

Hubble khi quan sát độ trung biểu kiến của các xepheit trong tinh vân Tiên nữ, và ước tính độ trung tuyệt đối của các chu kỳ của chúng, đã có thể tính ngay khoảng cách tới tinh vân Tiên nữ, bằng cách dùng quy tắc đơn giản rằng độ trung biểu kiến tỷ lệ với độ trung tuyệt đối và tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách. Ông kết luận rằng tinh vân Tiên nữ cách ta 900.000 năm ánh sáng, hoặc là mười lần xa hơn khoảng cách từ trái đất đến vật thể xa nhất trong thiên hà chúng ta. Hiện nay một số tính toán lại về hệ thức giữa chu kỳ xepheit và độ trung do Walter Baade và những người khác tiến hành đã tăng khoảng cách của tinh vân Tiên nữ đến hơn hai triệu năm ánh sáng, **nhưng kết luận đã rõ ràng vào năm 1923: tinh vân Tiên nữ và hàng nghìn tinh vân tương tự là những thiên hà như thiên hà của chúng ta chứa đầy vũ trụ tới những khoảng cách rất xa theo mọi phía .**

Ngay trước khi bản chất “ngoài thiên hà” của các tinh vân được kết luận, các nhà thiên văn đã có khả năng đồng nhất các vạch trong phổ của chúng với những vạch quen thuộc trên các phổ nguyên tử thông thường. Tuy nhiên, trong thập niên 1910 - 1920, Vesto Melvin Slipher ở đài thiên văn Lowell đã khám phá ra rằng các vạch phổ của nhiều tinh vân bị dịch chuyển nhẹ về phía đỏ hoặc về phía xanh. Các dịch chuyển này đã được giải thích ngay là do hiệu ứng Doppler, chúng cho thấy là các tinh vân đang chuyển động rời xa hoặc tiến gần đến quả đất. Ví dụ, tinh vân Tiên nữ được khám phá ra là chuyển động về phía quả đất với tốc độ khoảng 300 km/s, trong khi chùm thiên hà xa hơn nằm trong chòm Thất nữ được coi là chuyển động rời xa trái đất với tốc độ khoảng 1000 km/s.

Lúc đầu tiên người ta cho rằng các vận tốc này có thể chỉ là những vận tốc tương đối, phản ánh chuyển động của hệ mặt trời của chúng ta về một số thiên hà nào đó và rời xa một số nào đó khác. Tuy nhiên, sự giải thích này đã không đứng vững được khi ngày càng có nhiều dịch chuyển vạch phổ lớn hơn được khám phá ra, tất cả đều về phía đỏ của quang phổ. Hầu như ngoài một số ít vật láng giềng gần như tinh vân Tiên nữ, các thiên hà khác thường tản ra khỏi thiên hà của chúng ta. Cố nhiên điều này không có nghĩa là các

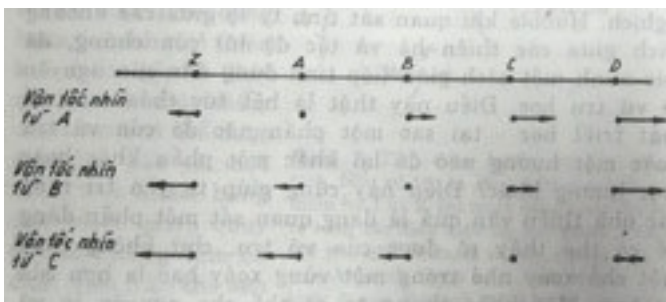
thiên hà của chúng ta có một vị trí trung tâm đặc biệt nào đó. Ngược lại, hình như vũ trụ đang trải qua một sự bùng nổ trong đó mỗi một thiên hà đều chạy ra xa khỏi thiên hà khác.

Cách giải thích này đã được công nhận một cách phổ biến sau năm 1929, khi Hubble báo tin là ông đã khám phá rằng các dịch chuyển đỏ của các thiên hà tăng lên gần như tỷ lệ với khoảng cách đến chúng ta. Tầm quan trọng của sự quan sát này là ở chỗ nó đúng là cái mà ta có thể đoán trước được theo bức tranh đơn giản nhất có thể có được về một sự vận chuyển vật chất trong một vũ trụ đang bùng nổ.

Chúng ta có thể chờ đợi một cách trực giác rằng bất cứ lúc nào vũ trụ cũng phải được nhìn thấy giống nhau bởi những nhà quan sát trong mọi thiên hà điển hình, và dù họ nhìn về hướng nào. (Ở đây và sau này tôi dùng từ “điển hình” để chỉ các thiên hà không có một chuyển động riêng lớn nào mà chỉ tham gia trong sự trôi giạt vũ trụ chung của mọi thiên hà). Giả thuyết này tự nhiên đến nỗi (ít nhất từ thời Copernicus) nó đã được nhà vật lý thiên văn Anh Edward Arthur Milne gọi là nguyên lý vũ trụ học.

Khi áp dụng cho chính các thiên hà, nguyên lý vũ trụ học đòi hỏi rằng một người quan sát trong một thiên hà điển hình phải thấy tất cả các thiên hà khác chuyển động với một giản đồ vận tốc như nhau, bất kể người quan sát ở trong thiên hà điển hình nào. Có một hệ quả toán học trực tiếp của nguyên lý nói rằng: vận tốc tương đối của bất kỳ hai thiên hà cũng đều phải tỷ lệ với khoảng cách giữa chúng đúng như Hubble đã tìm ra.

Muốn thấy rõ điều này ta hãy xét ba thiên hà điển hình A, B, C, nằm trên một đường thẳng (xem hình 1). Giả thiết rằng khoảng cách giữa A và B bằng khoảng cách giữa B và C. Dù vận tốc của B nhìn từ A là bao nhiêu đi nữa, thì nguyên lý vũ trụ học đòi hỏi rằng C phải có vận tốc như vậy so với B. Nhưng khi ấy lưu ý rằng C xa A gấp đôi so với xa B, cùng chuyển động so với A nhanh gấp đôi so với B. Chúng ta có thể thêm nhiều thiên hà vào chuỗi của chúng ta song bao giờ kết quả cũng vẫn là vận tốc lùi xa của mỗi thiên hà so với bất cứ thiên hà nào khác đều tỷ lệ với khoảng cách giữa chúng.

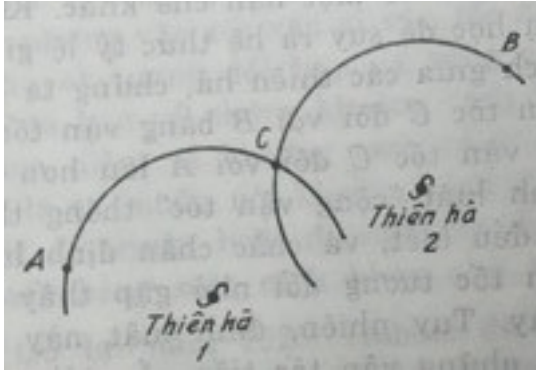


Hình 1. Tính đồng tính và định luật Hubble.

Hình 1. Tính đồng tính và định luật Hubble. Ta vẽ ra một sợi dây trên đó có các thiên hà cách xa nhau: Z, A, B, C ..., với những vận tốc đo từ A hoặc B hoặc C được chỉ ra bằng độ dài và hướng của các mũi tên kèm theo. Nguyên lý đồng tính đòi hỏi rằng vận tốc của C nhìn từ B là bằng vận tốc của B nhìn từ A. Cộng hai vận tốc đó cho ta vận tốc của C nhìn từ A, được đánh dấu bởi một mũi tên dài gấp đôi. Tiếp tục theo cách này, chúng ta có thể điền kín toàn bộ giản đồ vận tốc như trên. Như ta có thể thấy, vận tốc tuân theo định luật Hubble; vận tốc của một thiên hà bất kỳ nhìn từ một thiên hà khác là tỷ lệ với khoảng cách giữa chúng. Đó là giản đồ vận tốc duy nhất phù hợp với nguyên lý đồng tính.

Như thường xảy ra trong khoa học, lập luận đó có thể dùng cả theo chiều thuận lẫn chiều nghịch. Hubble khi quan sát tính tỷ lệ giữa các khoảng cách giữa các thiên hà và tốc độ lùi của chúng, đã xác minh một cách gián tiếp tính đúng đắn của nguyên lý vũ trụ học. Điều này thật là hết sức thỏa mãn về mặt triết học - tại sao một phần nào đó của vũ trụ hoặc một hướng nào đó lại khác một phần khác hoặc một hướng khác? Điều này cũng giúp ta yên trí rằng các nhà thiên văn quả là đang quan sát một phần đáng kể có thể thấy rõ được của vũ trụ, chứ không phải một chỗ xoáy nhỏ trong một vùng xoáy bao la hơn của vũ trụ. Mặt khác chúng ta có thể cho nguyên lý vũ trụ học là đúng, dựa theo những lý lẽ theo cách suy diễn, và suy ra hệ thức tỷ lệ giữa khoảng cách và vận tốc như đã làm ở đoạn trên. Bằng cách này, nhờ phép đo khá dễ các dịch chuyển Doppler, chúng ta có thể đo khoảng cách nhiều vật thể rất xa từ vận tốc của chúng.

Nguyên lý vũ trụ học còn có một sự ủng hộ khác về mặt quan sát ngoài việc đo các dịch chuyển Doppler. Sau khi để ý đầy đủ đến những biến dạng do thiên hà của chúng ta và chòm thiên hà lỏng lẻo bên cạnh trong chòm sao Thất nữ gây ra, vũ trụ có vẻ xem ra đẳng hướng một cách đặc biệt; nghĩa là nó có vẻ giống như nhau theo mọi hướng. (Điều này lại được chỉ rõ một cách có sức thuyết phục hơn nữa bằng phong bức xạ cực ngắn thảo luận ở chương sau). Nhưng ngay từ thời Copernicus, chúng ta đã học được cách phải cảnh giác khi giả thiết rằng vị trí của loài người có điểm gì đặc biệt đây trong vũ trụ. Vậy nếu vũ trụ là đẳng hướng quanh ta thì nó phải đẳng hướng theo mọi thiên hà điển hình. Tuy nhiên, mỗi một điểm của vũ trụ có thể được đưa đến bất cứ một điểm nào khác, bằng một chuỗi phép quay quanh những tâm cố định (xem hình 2), cho nên nếu vũ trụ là đẳng hướng quanh bất cứ điểm nào, thì nó buộc phải là đồng tính.



Hình 2. Tính đẳng hướng và tính đồng tính.

Hình 2. Tính đẳng hướng và tính đồng tính. Nếu vũ trụ là đẳng hướng tại cả hai thiên hà 1 và 2, thì nó là đồng tính. Để chỉ rõ rằng các điều kiện tại hai điểm A và B tùy ý là như nhau, ta vẽ một đường tròn đi qua A quanh thiên hà 1, một đường tròn khác đi qua B quanh thiên hà 2. Tính đẳng hướng quanh thiên hà 1 đòi hỏi rằng các điều kiện phải là như nhau ở A và C, giao điểm của hai vòng tròn. Cũng vậy, tính đẳng hướng quanh thiên hà 2 đòi hỏi điều kiện phải như nhau ở B và C. Do đó, chúng phải như nhau ở A và B.

Trước khi đi xa hơn, ta phải xem xét một số hạn chế của nguyên lý vũ trụ học. Thứ nhất, rõ ràng nó không đúng ở những quy mô nhỏ - chúng ta ở trong một thiên hà thuộc về một nhóm địa phương nhỏ các thiên hà khác (trong đó có M31 và M33), nhóm này lại ở gần một chùm thiên hà rất lớn trong chòm sao Thất nữ. Thực ra, trong số 33 thiên hà ghi trong catalô Messier thì gần một nửa ở trong một phần nhỏ của bầu trời, chòm thất nữ. Nguyên lý vũ trụ học nếu quả thật là đúng thì chỉ có tác dụng khi chúng ta nhìn vũ trụ ở quy mô ít nhất rộng bằng khoảng cách giữa các chùm thiên hà, nghĩa là vào khoảng một trăm triệu năm ánh sáng.

Còn có một hạn chế khác. Khi dùng nguyên lý vũ trụ học để suy ra hệ thức tỷ lệ giữa vận tốc và khoảng cách giữa các thiên hà, chúng ta đã giả thiết rằng nếu vận tốc C đối với B bằng vận tốc B đối với A thì khi đó vận tốc C đối với A lớn hơn hai lần. Đó chính là định luật “cộng vận tốc” thông thường mà mỗi chúng ta đều biết, và chắc chắn định luật này đúng với các vận tốc tương đối nhỏ thường gặp thấy trong đời sống hàng ngày. Tuy nhiên, định luật này đã bị phá sản đối với những vận tốc tiến gần tới vận tốc ánh sáng (300.000km/s) bởi vì nếu không thì cộng một số vận tốc tương đối, chúng ta có thể đi đến một vận tốc tổng hợp lớn hơn vận tốc ánh sáng mà điều này theo thuyết tương đối hẹp của Einstein là không thể xảy ra. Chẳng hạn, phép cộng vận tốc thông thường nói rằng khi một hành khách trên một máy bay đang chuyển động với tốc độ ba phần tư vận tốc ánh sáng bắn về phía trước một viên đạn với một vận tốc bằng ba phần tư vận tốc ánh sáng thì khi đó vận tốc tương đối của viên đạn so với mặt đất là 1,5 vận tốc ánh

sáng; điều này không thể xảy ra. Thuyết tương đối hẹp tránh vấn đề đó bằng cách thay đổi quy luật cộng vận tốc: vận tốc của C so với A thực ra *nhỏ hơn* một chút so với tổng vận tốc B đối với A và C đối với B, như vậy dù có cộng bao nhiêu lần vận tốc nhỏ hơn vận tốc ánh sáng, chúng ta cũng sẽ không bao giờ thu được vận tốc lớn hơn vận tốc ánh sáng.

Điều này đã không phải là một vấn đề đối với Hubble, và năm 1929, không một thiên hà nào mà ông nghiên cứu ở bất kỳ chỗ nào lại có vận tốc gần bằng vận tốc ánh sáng. Dù sao, khi các nhà vũ trụ học suy nghĩ về những khoảng cách thực lớn đặc trưng cho vũ trụ xét về toàn bộ, họ phải làm việc trong một khung lý thuyết có thể giải quyết được những vận tốc xấp xỉ vận tốc ánh sáng, nghĩa là các thuyết tương đối rộng và hẹp của Einstein. Dĩ nhiên khi ta bàn về những khoảng cách lớn như vậy, thì ngay quan niệm về khoảng cách cũng mơ hồ, và ta phải nói rõ là ta muốn khoảng cách được đo bằng quan sát độ trung, hoặc đường kính, hoặc chuyển động riêng hoặc bằng một cách khác nào đó.

Bây giờ ta hãy trở lại năm 1929: Hubble đã ước tính khoảng cách đến mười tám thiên hà từ độ trung biểu kiến của những ngôi sao sáng nhất của chúng, và so sánh các khoảng cách đó với vận tốc tương ứng của các thiên hà được xác định bằng phổ học từ những dịch chuyển Doppler của chúng. Ông đã kết luận rằng có một hệ thức gần như tuyến tính (nghĩa là sự tỷ lệ thuận) giữa vận tốc và khoảng cách. Thực ra nhìn vào các số liệu của Hubble tôi khá lưỡng lự và tự hỏi làm sao ông có thể đi đến một kết luận như vậy - các vận tốc thiên hà gần như không có liên hệ với khoảng cách của chúng, chỉ có một xu hướng nhẹ của vận tốc là tăng theo khoảng cách. Thực ra chúng ta không thể trông đợi một hệ thức tỷ lệ rõ ràng nào giữa vận tốc và khoảng cách đối với mười tám thiên hà đó - tất cả chúng đều quá gần, không có cái nào ở xa hơn chòm Thất nữ. Thật là khó tránh kết luận rằng, dựa trên hoặc là các lý do đơn giản được phác họa trên đây hoặc là những phát triển lý thuyết có liên quan sẽ được thảo luận dưới đây, Hubble đã biết trước lời giải mà ông cần tìm.

Dù sao đi nữa, vào năm 1931, chứng cứ đã trở nên rõ hơn nhiều, và Hubble đã có thể kiểm tra tính tỷ lệ giữa vận tốc và khoảng cách cho những thiên hà có vận tốc lên đến 20 000 km/s. Với những ước tính khoảng cách có được lúc đó, kết luận là vận tốc tăng vào khoảng 170 km/s ứng với mỗi khoảng cách một triệu năm ánh sáng; như vậy, vận tốc 20.000 km/s có nghĩa là khoảng cách là 120 triệu năm ánh sáng. Con số đó tức độ tăng vận tốc trên khoảng cách, thường được gọi là “hằng số Hubble”. (Nó là một hằng số với nghĩa sự tỷ lệ giữa vận tốc và khoảng cách không thay đổi cho tất cả các thiên hà ở một thời điểm đã cho, nhưng như chúng ta sẽ thấy, hằng số

Hubble thay đổi theo thời gian khi vũ trụ tiến hóa).

Vào năm 1936, trong khi làm việc với nhà quang phổ học Milton Humason, Hubble đã có thể đo khoảng cách và vận tốc của chòm thiên hà Gấu lớn II. Ông ta tìm ra rằng nó lùi xa ta với vận tốc 42.000 km/s (14 % vận tốc ánh sáng). Khoảng cách lúc đó ước khoảng 260 triệu năm ánh sáng, là giới hạn của đài thiên văn trên núi Wilson, và công việc của Hubble phải ngừng lại. Sau chiến tranh, với sự ra đời của những kính thiên văn lớn hơn ở Palomar và núi Hamilton, chương trình của Hubble lại được những nhà thiên văn khác (nhất là Allan Sandage ở Palomar và núi Wilson) tiếp tục và còn tiếp tục cho đến bây giờ.

Kết luận được rút ra một cách tổng quát sau nửa thế kỷ quan sát này là, các thiên hà đang lùi xa khỏi chúng ta với những vận tốc tỷ lệ với khoảng cách ít nhất đối với những vận tốc không quá gần vận tốc ánh sáng . Cố nhiên như đã nói rõ trong khi thảo luận nguyên lý vũ trụ học, việc này không có nghĩa rằng chúng ta đang ở một vị trí được ưu đãi đặc biệt, hoặc không được ưu đãi, nào đó trong vũ trụ; mọi cặp thiên hà đều tách xa nhau với một vận tốc tương đối tỷ lệ với khoảng cách giữa chúng. Sự sửa đổi quan trọng nhất của các kết luận đầu tiên của Hubble là xét lại thang khoảng cách ngoài thiên hà: một phần như là kết quả sự tính lại hệ thức chu kỳ - độ trung của các xêphêit của Leavitt - Shapley mà Walter Baade và những người khác đã tiến hành, khoảng cách đến các thiên hà xa xăm bây giờ được ước lượng khoảng mười lần lớn hơn so với ở thời Hubble . **Như vậy, hằng số Hubble bây giờ được xem chỉ là vào khoảng 15 kilômet mỗi giây mỗi triệu năm ánh sáng.**

Tất cả những cái đó nói gì về nguồn gốc của vũ trụ? Nếu các thiên hà đang tách xa nhau thì đã có một lúc nào đó chúng ở gần nhau hơn. Nói rõ ra, nếu vận tốc của chúng là hằng số, thì thời gian cần cho mỗi cặp thiên hà để đạt khoảng cách hiện nay giữa chúng đúng bằng khoảng cách hiện nay giữa chúng chia cho vận tốc tương đối của chúng. Nhưng với vận tốc tỷ lệ với khoảng cách hiện nay giữa chúng thì thời gian đó là như nhau với mọi cặp thiên hà - một lúc nào đó trong quá khứ, tất cả chúng đã phải ở sát nhau hơn! Nếu hằng số Hubble bằng 15 kilômet mỗi giây mỗi triệu năm ánh sáng thì thời gian từ lúc các thiên hà bắt đầu tách rời nhau phải là một triệu năm ánh sáng chia cho 15 km/s hoặc 20 nghìn triệu năm. Chúng ta sẽ nói về “tuổi” tính theo kiểu này như là “thời gian giãn nở đặc trưng”; nó chỉ là số nghịch đảo của hằng số Hubble. Tuổi thật của vũ trụ thực ra là ít hơn thời gian giãn nở đặc trưng bởi vì, như chúng ta sẽ thấy, các thiên hà chuyển động với vận tốc không phải hằng số, mà đi chậm lại dưới ảnh hưởng của lực hấp dẫn tương hỗ giữa chúng. **Vì vậy, nếu hằng số Hubble là mười lăm kilômet**

mỗi giây mỗi triệu năm ánh sáng thì tuổi của vũ trụ phải ít hơn 20 nghìn triệu năm .

Đôi khi chúng ta tóm tắt tất cả những điều đó bằng cách nói vắn tắt rằng kích thước vũ trụ đang tăng lên. Việc này không có nghĩa là vũ trụ buộc phải có kích thước hữu hạn dù rằng nó cũng có thể có. Ta dùng cách nói này vì ở bất cứ lúc nào đó, khoảng cách giữa bất kỳ cặp thiên hà điển hình nào cũng tăng lên theo một tỷ số như nhau. Trong bất kỳ một khoảng thời gian đủ ngắn nào để cho vận tốc các thiên hà có thể coi là hằng số, độ tăng khoảng cách giữa một cặp thiên hà điển hình sẽ được tính bằng tích của vận tốc tương đối của chúng với thời gian trôi qua, hoặc dùng định luật Hubble, bằng tích của hằng số Hubble, khoảng cách và thời gian. Nhưng lúc đó tỷ số giữa độ tăng khoảng cách và bản thân khoảng cách sẽ được tính bằng hằng số Hubble nhân với thời gian trôi qua, nó là như nhau với mọi cặp thiên hà. Ví dụ, sau một khoảng thời gian vào một phần trăm thời gian giãn nở đặc trưng (số nghịch đảo của hằng số Hubble), khoảng cách của mọi cặp thiên hà điển hình sẽ tăng lên một phần trăm. Lúc đó ta có thể nói một cách thô thiển rằng kích thước vũ trụ đã tăng một phần trăm.

Tôi không muốn gây cảm tưởng rằng mọi người đều nhất trí với cách giải thích này về sự dịch chuyển đỏ. **Thực ra chúng ta không quan sát các thiên hà rời nhanh khỏi chúng ta; tất cả những gì mà chúng ta có thể thấy chắc chắn là các vạch trên phổ của chúng bị dịch chuyển về phía đỏ, tức là về phía bước sóng dài hơn .** Có những nhà thiên văn lỗi lạc nghi ngờ rằng các dịch chuyển đỏ không có liên hệ gì với dịch chuyển Doppler hoặc với sự giãn nở của vũ trụ. Halton Arp ở các phòng thí nghiệm Hale, đã nhấn mạnh đến sự tồn tại của những nhóm thiên hà trên bầu trời, trong đó vài thiên hà có những dịch chuyển đỏ rất khác với những thiên hà khác; nếu những nhóm đó thể hiện những kết tụ vật lý thực của những thiên hà lân cận thì chúng khó mà có thể có những vận tốc quá khác nhau. Ngoài ra, Maarten Schmidt năm 1963 đã khám phá ra rằng một loại vật thể bên ngoài có dạng các sao lại có những dịch chuyển lớn về phía đỏ, trong một số trường hợp trên 300 %! Nếu các “vật chuẩn sao” (quasar) cũng ở xa như các dịch chuyển đỏ của chúng cho thấy thì chúng phải phát ra những lượng năng lượng khổng lồ để có thể sáng như vậy. Cuối cùng không phải dễ xác định hệ thức giữa vận tốc và khoảng cách thật là lớn.

Tuy nhiên, có một cách độc lập để khẳng định rằng các thiên hà đang tách xa nhau như các dịch chuyển đỏ cho thấy. Như ta đã thấy, cách giải thích về các dịch chuyển đỏ đó bao hàm ý nghĩa vũ trụ bắt đầu giãn nở khoảng gần 20 nghìn triệu năm trước đây. Do đó sự khẳng định này có thể đúng nếu ta tìm được một bằng chứng nào khác cho thấy rằng quả thực vũ

trụ có tuổi vào cỡ đó. Thực ra có nhiều lý do để tin rằng thiên hà của chúng ta vào khoảng 10 đến 15 nghìn triệu tuổi. Con số ước lượng đó xuất phát cả từ độ nhiễu tỷ đôi của nhiều đồng vị phóng xạ trong qua đất (đặc biệt là các đồng vị của urani, urani - 235 và urani - 238) và cả từ sự tính toán sự tiến hóa của các vì sao. Chấn chấn không có một quan hệ trực tiếp nào giữa tốc độ phóng xạ hoặc tốc độ tiến hóa của các vì sao và sự dịch chuyển đỏ của các thiên hà xa xăm, như vậy đã có thể tin rằng tuổi vũ trụ suy từ hằng số Hubble có thể thực sự biểu diễn một sự bắt đầu đúng đắn.

Liên quan đến việc này, có điều đáng chú ý về mặt lịch sử nếu nhớ lại rằng trong những năm 1930 và 1940 hằng số Hubble được tin là lớn hơn nhiều, khoảng 170 kilômet mỗi giây mỗi triệu năm ánh sáng. Theo lập luận trước của ta, tuổi vũ trụ khi đó phải là một triệu năm ánh sáng chia cho 170 kilômet mỗi giây, tức là khoảng 2.000 triệu năm, hoặc còn ít hơn nữa nếu chúng ta tính đến sự hãm do hấp dẫn. Nhưng người ta đã biết rõ về các nghiên cứu về phóng xạ của huân tước Rutherford rằng quả đất già hơn thế nhiều; bây giờ người ta cho nó vào khoảng 4.600 triệu tuổi! Quả đất không thể già hơn vũ trụ cho nên các nhà thiên văn buộc phải nghi ngờ rằng liệu dịch chuyển đỏ có thực sự nói được cho chúng ta cái gì về tuổi của vũ trụ hay không. Một vài ý tưởng vũ trụ học khôn khéo nhất trong những năm 1930 và 1940 nảy sinh ra từ nghịch lý biểu kiến đó, có thể bao gồm cả thuyết trạng thái dừng. Có thể rằng việc loại bỏ nghịch lý về tuổi ở trên, bằng cách tăng thang khoảng cách ngoài thiên hà lên mười lần trong những năm 1950, đã là điều kiện tiên quyết chủ yếu đưa đến sự xuất hiện vũ trụ học vụ nổ lớn như một lý thuyết chuẩn.

Bức tranh vũ trụ mà ta đã phác ra ở đây là hình ảnh một “đàn ong thiên hà” đang lia tổ. Cho đến nay, đối với chúng ta, ánh sáng mới chỉ đóng vai trò “sứ giả giữa các vì sao” mang thông tin về khoảng cách và vận tốc của các thiên hà.

Tuy nhiên, các điều kiện trong vũ trụ sơ khai rất khác bây giờ, như chúng ta sẽ thấy, lúc đó chính ánh sáng đã là thành phần chủ yếu của vũ trụ, và vật chất thông thường chỉ đóng vai trò của một sự nhiễm không đáng kể. Cho nên sẽ có ích sau này cho ta nếu ta khẳng định lại xem ta đã biết được cái gì về dịch chuyển đỏ qua sự diễn biến của các sóng ánh sáng trong vũ trụ giãn nở.

Hãy xét một sóng ánh sáng truyền giữa hai thiên hà điển hình. Khoảng cách giữa hai thiên hà bằng thời gian đi của ánh sáng nhân với vận tốc của nó, trong khi đó độ tăng của khoảng cách đó trong thời gian ánh sáng đi bằng thời gian đi của ánh sáng nhân với vận tốc tương đối của các thiên hà. Khi tính độ tăng *tỷ đối* của khoảng cách, ta chia độ tăng khoảng cách cho trị số

trung bình của khoảng cách trong quá trình tăng, và chúng ta thấy rằng thời gian đi của ánh sáng bị triệt tiêu: độ tăng tỷ đối của khoảng cách giữa hai thiên hà đó (và từ đó giữa bất cứ những thiên hà điển hình nào) trong lúc ánh sáng đi đúng là tỷ số của vận tốc tương đối của các thiên hà và vận tốc ánh sáng. Nhưng như ta đã thấy trước đây cũng tỷ số đó cho độ tăng tuyệt đối của bước sóng ánh sáng khi nó lan truyền. **Như vậy, bước sóng của mọi tia sáng đều tăng tỷ lệ với khoảng cách giữa các thiên hà điển hình trong quá trình vũ trụ giãn nở.** Chúng ta có thể nghĩ rằng các đỉnh sóng như bị “kéo” càng ngày càng xa nhau ra do sự giãn nở của vũ trụ. Dù rằng lập luận của chúng ta chỉ thực có hiệu lực đối với những khoảng thời gian truyền ngắn, song bằng cách ghép liền với nhau một loạt các khoảng như vậy ta có thể kết luận rằng nó cũng đúng nói chung. Ví dụ, khi chúng ta nhìn thiên hà 3C 295, và thấy rằng các bước sóng trong phổ của nó lớn hơn các bước sóng trong các bảng chuẩn của ta về bước sóng của phổ là 46 %, ta có thể kết luận rằng vũ trụ hiện nay lớn hơn so với khi ánh sáng rời khỏi 3 C 295 là 46 %.

Cho đến đây ta chỉ nói đến những chuyện mà các nhà vật lý gọi là những vấn đề “động học”, có liên quan đến sự mô tả chuyển động mà không xét các lực chi phối nó. Tuy nhiên, trong nhiều thế kỷ, các nhà vật lý và thiên văn cũng đã thử tìm hiểu động lực học của vũ trụ. Điều này không tránh khỏi dẫn đến việc nghiên cứu vai trò vũ trụ học của lực duy nhất tác động giữa các thiên thể là lực hấp dẫn.

Như có thể chờ đợi, Isaac Newton là người đầu tiên đã suy nghĩ về vấn đề này. Trong một cuộc trao đổi thư từ nổi tiếng với một học giả cổ điển ở Cambridge là Richard Bentley, Newton công nhận rằng nếu vật chất của vũ trụ phân phối đều đặn trong một vùng hữu hạn thì nó rất có xu hướng rơi vào tâm, và “hợp thành một khối cầu lớn ở đó”. Mặt khác, nếu vật chất được rải đều trong một khoảng không vô hạn, thì sẽ không có tâm nào để cho nó rơi vào đấy. Trong trường hợp đó nó có thể kết lại thành một số vô hạn các khối vật chất, rải rác khắp vũ trụ; Newton gợi ý rằng đây rất có thể là nguồn gốc của mặt trời và các vì sao.

Việc khó nghiên cứu động lực học của một môi trường vô hạn đã làm tê liệt khá mạnh những tiến bộ sau đó cho đến khi thuyết tương đối rộng ra đời, và dù sao nó cũng không quan trọng lắm đối với vũ trụ học như người ta tưởng lúc đầu. Chỉ cần nói rằng Einstein dùng lý thuyết toán học đã có về hình học phi Euclide để giải thích hấp dẫn như một hiệu ứng về sự cong của không gian và thời gian. Năm 1917, một năm sau khi hoàn thành thuyết tương đối rộng, Einstein đã cố gắng tìm lời giải cho một phương trình của ông, có thể diễn tả hình học không - thời gian toàn vũ trụ. Suy nghĩ theo các ý niệm vũ trụ học đang phổ biến lúc đó, Einstein đặc biệt tìm một lời giải

nào có thể đồng tính, đẳng hướng, và tiếc thay lại tĩnh. Tuy nhiên, không thể tìm ra một lời giải nào như vậy. Để vạch ra một mô hình khớp với các tiên đề vũ trụ học đó, Einstein đã buộc phải làm phương hại đến các phương trình của ông, bằng cách đưa vào một số hạng, gọi là hằng số vũ trụ học, đã làm cho thuyết nguyên thủy đẹp đẽ trở nên xấu đi, nhưng phải dùng để cân bằng lực hấp dẫn ở những khoảng cách lớn.

Mô hình của Einstein quả thực là tĩnh và không tiên đoán các dịch chuyển đỏ. Cũng trong năm đó, 1917, một lời giải khác của thuyết được sửa đổi của Einstein đã được nhà thiên văn Hà Lan E. de Sitter tìm ra. Dù rằng lời giải này có vẻ tĩnh, và như vậy có thể công nhận được theo các ý tưởng vũ trụ học lúc đó, nó có tính chất đáng chú ý là tiên đoán một sự dịch chuyển đỏ tỷ lệ với khoảng cách! Sự tồn tại của những dịch chuyển đỏ lớn của các tinh vân lúc đó chưa được các nhà thiên văn châu Âu biết đến. Tuy nhiên, vào khoảng cuối chiến tranh thế giới lần thứ nhất, những tin tức về sự quan sát được những dịch chuyển đỏ lớn đã truyền từ Mỹ sang châu Âu, và mô hình của de Sitter lập tức trở thành nổi tiếng. Thực ra năm 1922 khi nhà thiên văn Anh Arthur Eddington viết giáo trình toàn diện đầu tiên về thuyết tương đối rộng, ông đã phân tích các số liệu dịch chuyển đỏ hiện có theo mô hình de Sitter. Bản thân Hubble nói rằng chính mô hình của de Sitter đã làm cho các nhà thiên văn thấy tầm quan trọng của một sự phụ thuộc của dịch chuyển đỏ vào khoảng cách, và mô hình đó có thể đã ở trong trí óc của ông khi ông khám phá ra tính tỷ lệ giữa dịch chuyển đỏ với khoảng cách vào năm 1929.

Hiện nay sự nhấn mạnh như vậy vào mô hình de Sitter hầu như không thích hợp. Một mặt nó quả không phải là một mô hình tĩnh chút nào, nó có lẽ chỉ tĩnh do đưa các tọa độ không gian vào một cách đặc biệt, nhưng khoảng cách giữa những người quan sát “điển hình” trong mô hình thực sự tăng theo thời gian và chính sự lùi xa nhau tổng quát đó đã sinh ra sự dịch chuyển đỏ. Ngoài ra lý do làm dịch chuyển đỏ trở thành tỷ lệ với khoảng cách trong một hình de Sitter chính là mô hình này thỏa mãn nguyên lý vũ trụ học, nhưng như ta đã thấy, ta chờ đợi một tỷ lệ giữa vận tốc tương đối và khoảng cách trong mọi thuyết thỏa mãn nguyên lý này.

Dù sao, việc phát hiện sự lùi xa của các thiên hà xa xăm chẳng mấy chốc làm người ta chú ý đến các mô hình vũ trụ học đồng tính và đẳng hướng nhưng không phải tĩnh. Khi đó không cần đến “hằng số vũ trụ học” trong các phương trình trường hấp dẫn, và Einstein đã tỏ ra tiếc rằng ông đã từng đưa sự thay đổi đó vào các phương trình ban đầu của ông. Năm 1922 lời giải tổng quát đồng tính và đẳng hướng của các phương trình ban đầu của Einstein đã được nhà bác học Nga Alexandre Fridmann tìm ra. Chính các mô

hình Fridmann này, căn cứ trên các phương trình trường ban đầu của Einstein, chứ không phải các mô hình de Sitter hoặc Einstein đã cung cấp cơ sở toán học cho đa số những thuyết vũ trụ học hiện đại.

Các mô hình Fridmann thuộc vào hai loại rất khác nhau. Nếu mật độ trung bình của vật chất vũ trụ nhỏ hơn hoặc bằng một giá trị tới hạn nào đó, vũ trụ phải vô hạn về không gian. Trong trường hợp này, sự nở hiện nay của vũ trụ sẽ tiếp diễn mãi mãi. Mặt khác, nếu mật độ của vũ trụ lớn hơn giá trị tới hạn đó, thì khi đó trường hấp dẫn sinh ra bởi vật chất làm cho vũ trụ cong lên trong bản thân nó, nó là hữu hạn dù rằng không có biên, như bề mặt của một hình cầu. (Nghĩa là, nếu chúng ta bắt đầu du hành theo một đường thẳng, ta sẽ không đi đến một biên nào của vũ trụ mà chỉ quay về chỗ xuất phát). Trong trường hợp này các trường hấp dẫn rất đủ mạnh để có thể làm ngừng sự giãn nở của vũ trụ, như vậy cũng có thể có lúc nó sẽ “nổ vào” để trở lại một mật độ lớn vô hạn. Mật độ tới hạn tỷ lệ với bình phương của hằng số Hubble; với trị số được chấp nhận hiện nay một cách rộng rãi của hằng số đó là 15 kilômet mỗi giây mỗi triệu năm ánh sáng, mật độ tới hạn bằng 5×10^{-27} gam mỗi centimet khối hoặc khoảng ba nguyên tử hydro trong mỗi nghìn lít không gian.

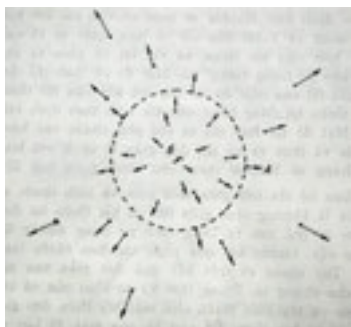
Chuyển động của một thiên hà điển hình nào đó trong các mô hình Fridmann là đúng như chuyển động của một hòn đá ném lên từ mặt đất. Nếu hòn đá được ném lên đủ mạnh hoặc nói cách khác, nếu khối lượng quả đất đủ nhỏ, thì hòn đá sẽ đi chậm dần, nhưng dù sao cũng thoát vào vũ trụ. Điều này ứng với trường hợp mật độ vũ trụ thấp hơn mật độ tới hạn. Mặt khác nếu hòn đá được ném lên với vận tốc không đủ lớn thì nó sẽ lên tới một độ cao tối đa rồi rơi xuống. Điều này cố nhiên ứng với mật độ vũ trụ cao hơn mật độ tới hạn.

Sự tương tự này cho thấy rõ tại sao không thể tìm được những lời giải vũ trụ học tĩnh cho các phương trình Einstein – ta không thể quá ngạc nhiên khi thấy một hòn đá bay khỏi hoặc rơi xuống mặt đất, nhưng ta khó mà thấy được một hòn đá tự treo lơ lửng trên không. Sự tương tự này cũng giúp chúng ta tránh được một sự hiểu lầm thông thường về vũ trụ giãn nở. Các thiên hà tách rời khỏi nhau không phải vì một lực bí mật nào đó đang đẩy chúng ra xa nhau, cũng đúng như hòn đá trong ví dụ của ta không phải bị quả đất đẩy lùi. Mà đúng hơn, các thiên hà tách rời nhau bởi chúng đã bị bắn rời khỏi nhau do một vụ nổ nào đó trong quá khứ.

Vào những năm 1920, điều này không được nhận thức rõ, nhưng nhiều tính chất chi tiết của các mô hình Fridmann có thể tính được một cách định lượng bằng cách dùng sự tương tự này mà không cần đến thuyết tương đối rộng. Để tính chuyển động của một thiên hà điển hình nào đó so với thiên hà

của ta, hãy vẽ một hình cầu với thiên hà của ta ở tâm và với thiên hà đang nghiên cứu trên bề mặt; chuyển động của thiên hà này chính là chuyển động xảy ra nếu khối lượng của vũ trụ chỉ bao gồm vật chất trong hình cầu và không có gì ở ngoài. Điều này cũng giống như thể ta đào một hố sâu, ta sẽ thấy rằng gia tốc trọng lực tới tâm chỉ phụ thuộc vào lượng vật chất ở gần tâm hơn là gần hố của chúng ta, như thể là mặt đất ở ngay chính đáy hố. Kết quả đáng chú ý đó biểu hiện ở một định lý có giá trị trong thuyết hấp dẫn của Einstein và cả Newton, nó chỉ phụ thuộc vào tính đối xứng cầu của hệ nghiên cứu; biến thể tương đối rộng của định lý này được nhà toán học Mỹ G. D. Birkhoff chứng minh vào năm 1923, nhưng ý nghĩa vũ trụ học của nó vài chục năm sau đó vẫn chưa được nhận thức rõ.

Chúng ta có thể dùng định lý này để tính mật độ tới hạn của các mô hình Fridmann (xem hình 3). Khi vẽ một hình cầu của ta ở giữa và một thiên hà xa xăm nào đó ở trên mặt, ta có thể dùng khối lượng các thiên hà trong hình cầu để tính một vận tốc thoát, vận tốc mà một thiên hà ở bề mặt phải có để có bắt đầu thoát đến cõi vô hạn. Người ta thấy rằng vận tốc thoát này tỷ lệ với bán kính hình cầu - hình cầu càng lớn thì vận tốc của thiên hà lại phải càng nhanh để thoát khỏi nó. Nhưng định luật Hubble nói rằng vận tốc thực của một thiên hà trên bề mặt hình cầu cũng tỷ lệ với bán kính hình cầu - khoảng cách kể từ chỗ ta. Như vậy dù vận tốc thoát phụ thuộc vào bán kính, song tỷ số giữa vận tốc thực của thiên hà và vận tốc thoát của nó không phụ thuộc kích thước hình cầu; nó là như nhau cho mọi thiên hà và như nhau dù ta lấy thiên hà nào là tâm hình cầu. Tùy thuộc vào các giá trị của hằng số Hubble và mật độ vũ trụ mà mỗi thiên hà chuyển động theo định luật Hubble sẽ hoặc có vận tốc lớn hơn vận tốc thoát và thoát đến cõi vô hạn, hoặc sẽ có vận tốc thấp hơn vận tốc thoát và rơi lại về phía ta vào một lúc nào đó trong tương lai. Mật độ tới hạn chỉ đơn giản là giá trị của mật độ vũ trụ mà khi vận tốc thoát của mỗi thiên hà đúng bằng vận tốc tính theo định luật Hubble. Mật độ tới hạn chỉ có thể phụ thuộc vào hằng số Hubble và thực ra nó chỉ đơn giản là tỷ lệ với bình phương hằng số Hubble (xem chú thích toán học 2).



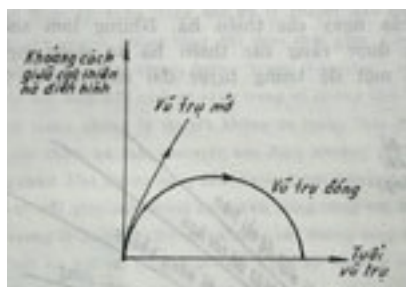
Hình 3. Định lý Birkhoff và sự giãn nở của vũ trụ.

Hình 3. Định lý Birkhoff và sự giãn nở của vũ trụ. Hình vẽ lên một số

thiên hà cũng với các vận tốc của chúng so với một thiên hà G đã cho, được chỉ ra ở đây bằng những mũi tên kèm theo độ dài và hướng thích hợp (theo định luật Hubble, các vận tốc này được coi là tỷ lệ với khoảng cách đến C). Định lý Birkhoff nêu lên rằng: muốn tính vận tốc của thiên hà A so với G chỉ cần tính đến khối lượng chứa trong khối hình cầu quanh G đi qua A (đường đứt nét). Nếu A không quá xa G, trường hấp dẫn của vật chất trong hình cầu sẽ vừa phải, và chuyển động của A có thể tính theo các định luật cơ học của Newton.

Sự liên hệ chi tiết giữa thời gian và kích thước vũ trụ (nghĩa là khoảng cách giữa bất cứ hai thiên hà điển hình nào) có thể tìm ra bằng cách sử dụng những lập luận như vậy, nhưng kết quả phức tạp hơn nhiều (xem hình 4). Tuy nhiên có một kết quả đơn giản sau này rất cần cho chúng ta. Trong thời kỳ sơ khai của vũ trụ, kích thước vũ trụ biến thiên như một lũy thừa đơn giản của thời gian: lũy thừa $2/3$ nếu bỏ qua mật độ bức xạ hoặc lũy thừa $1/2$ nếu mật độ bức xạ vượt mật độ vật chất (xem chú thích toán học 3). Một khía cạnh của các mô hình vũ trụ học Fridmann mà ta không thể hiểu được nếu không dùng thuyết tương đối rộng là mối liên hệ giữa mật độ và hình học - vũ trụ là mở và vô hạn hoặc đóng và hữu hạn tùy theo vận tốc thiên hà lớn hơn hay bé hơn vận tốc thoát.

Một cách để biết vận tốc thiên hà có vượt vận tốc thoát hay không là đo tốc độ đi chậm lại của chúng. Nếu độ giảm tốc đó bé hơn (hoặc lớn hơn) một mức nào đó, thì lúc đó vận tốc thoát bị (hoặc không bị) vượt. Trong thực tế điều này có nghĩa là người ta phải đo độ cong của đồ thị chỉ sự phụ thuộc của dịch chuyển đỏ vào khoảng cách đối với những thiên hà ở xa (xem hình 5). Khi đi từ một vũ trụ hữu hạn có mật độ cao hơn đến một vũ trụ vô hạn có mật độ thấp hơn, độ cong của đường dịch chuyển đỏ phụ thuộc khoảng cách bị làm cho phẳng ra ở những khoảng cách rất lớn. Việc nghiên cứu hình dạng của đường dịch chuyển đỏ - khoảng cách ở những khoảng cách lớn thường được gọi là “chương trình Hubble”.

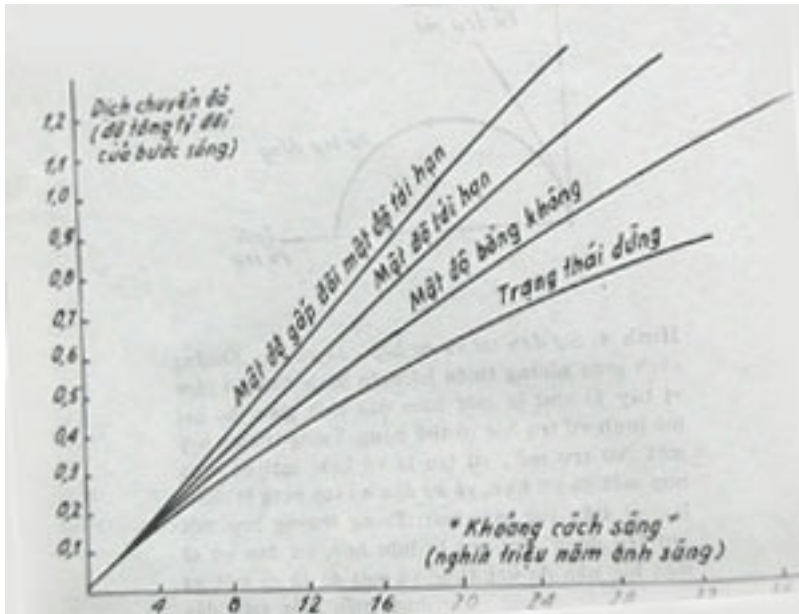


Hình 4. Sự giãn nở và co hẹp của vũ trụ.

Hình 4. Sự giãn nở và co hẹp của vũ trụ. Khoảng cách giữa những thiên hà điển hình được vẽ (đơn vị tùy ý) như là một hàm của thời gian cho hai mô hình vũ trụ học có thể dùng. Trong trường hợp một “vũ trụ mở”, vũ trụ là vô

hạn; mật độ thấp hơn mật độ tới hạn; và sự giãn nở tuy rằng bị chậm lại, sẽ tiếp tục mãi mãi. Trong trường hợp một “vũ trụ đóng”, vũ trụ là hữu hạn, sự giãn nở sẽ một lúc nào đó kết thúc và sau đó sẽ có một sự co lại. Các đường cong được biểu diễn trên đây được tính theo các phương trình trường của Einstein mà không cần một hằng số vũ trụ học cho một vũ trụ chủ yếu là vật chất.

Với một sự cố gắng lớn lao Hubble, Sandage và gần đây một số nhà khoa học khác nữa đã tiến hành chương trình này. Nhưng cho đến nay kết quả vẫn chưa có tính chất kết luận. Cái khó là để ước tính khoảng cách đến những thiên hà xa, người ta có thể dùng những sao đôi ánh kiểu xêpheit hoặc những ngôi sao sáng nhất như là những vật đánh dấu khoảng cách, trái lại, ta phải ước lượng khoảng cách từ độ sáng biểu kiến của ngay các thiên hà. Nhưng làm sao ta có thể biết được rằng các thiên hà ta đang nghiên cứu đều có một độ trung tuyệt đối như nhau? (Nhớ rằng độ trung biểu kiến là năng lượng bức xạ mà ta nhận được ở một đơn vị diện tích kính thiên văn, trong khi độ trung tuyệt đối là năng lượng toàn phần phát ra theo mọi hướng bởi thiên thể; độ trung biểu kiến tỷ lệ với độ trung tuyệt đối và tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách). Có những nguy cơ ghê gớm do hiệu ứng chọn lọc - khi ta nhìn càng xa thì ta có xu hướng chọn những thiên hà có độ trung tuyệt đối càng lớn. Một vấn đề còn tệ hại hơn nữa là sự tiến hóa của các thiên hà. Khi ta nhìn các thiên hà rất xa, chúng ta thấy chúng ở trạng thái hàng nghìn triệu năm trước đây khi các tia sáng bắt đầu cuộc du hành của chúng đến chỗ ta. Nên những thiên hà điển hình lúc đó còn sáng hơn bây giờ, ta sẽ ước lượng khoảng cách của chúng thấp hơn thực tế. Một khả năng mà rất gần đây J. P. Ostriker và S. D. Tremaine ở Princeton gợi ý là những thiên hà lớn hơn tiến hóa không phải chỉ là do các ngôi sao cá thể của chúng tiến hóa, mà còn là do chúng nuốt thêm những thiên hà nhỏ lân cận! Sẽ còn lâu ta mới biết chắc rằng ta có một sự hiểu biết định lượng đúng đắn về các loại tiến hóa thiên hà khác nhau đó.



Hình 5. Đồ thị dịch chuyển đỏ phụ thuộc vào khoảng cách.

Hình 5. Đồ thị dịch chuyển đỏ phụ thuộc vào khoảng cách. Dịch chuyển đỏ được vẽ như là một hàm của khoảng cách cho bốn thuyết vũ trụ học khả dĩ (nói chính xác hơn, khoảng cách ở đây là “khoảng cách sáng” - khoảng cách suy ra cho một vật mà ta biết độ trung riêng hoặc tuyệt đối từ những quan sát về độ trung biểu kiến của nó). Các đường có ghi “mật độ gấp đôi mật độ tới hạn”, “mật độ tới hạn” và “mật độ bằng không” được tính trong mô hình Friedmann, sử dụng các phương trình của Einstein cho một vũ trụ chủ yếu là vật chất, không cần một hằng số vũ trụ học; chúng tương ứng lần lượt với một vũ trụ đóng, vừa đủ mở, hoặc mở (xem hình 4). Đường cong ghi “trạng thái dừng” được áp dụng trong bất kỳ lý thuyết nào mà trong đó hình dạng của vũ trụ không thay đổi theo thời gian. Các quan sát hiện nay không phù hợp tốt với đường “trạng thái dừng”, song chúng không cho ta lựa chọn một cách rõ ràng trong số những khả năng khác nhau, bởi vì trong những lý thuyết không có trạng thái dừng sự tiến hóa của các thiên hà làm cho việc xác định khoảng cách trở nên không chắc chắn. Mọi đường cong đều được vẽ với hằng số Hubble lấy bằng 15 km mỗi giây mỗi triệu năm ánh sáng (ứng với thời gian giãn nở đặc trưng là 20 000 triệu năm), song các đường cong có thể được dùng cho bất kỳ giá trị nào khác của hằng số Hubble bằng cách chỉ vẽ lại theo cùng tỉ lệ mọi khoảng cách.

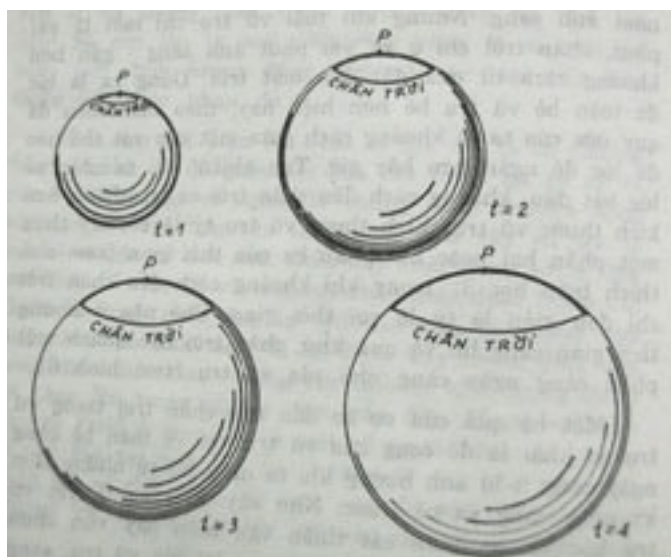
Hiện nay kết luận tốt nhất rút ra từ chương trình Hubble là độ giảm tốc của các thiên hà xa có vẻ rất bé. Như vậy có nghĩa là chúng đang chuyển động với vận tốc cao hơn vận tốc thoát, như vậy vũ trụ là mở và sẽ giãn nở mãi mãi. Điều này khớp đúng với những ước tính về mật độ vũ trụ; vật chất thấy được trong các thiên hà hình như cộng lại chỉ cho mật độ không quá một vài phần trăm mật độ tới hạn. Tuy nhiên điều này cũng chưa chắc lắm. Những ước tính về khối lượng thiên hà tăng lên trong những năm

gần đây. Ngoài ra, như George Field ở Harvard và một số người khác đã gợi ý, có thể tồn tại một loại khí hydro đã ion hoá giữa các thiên hà có thể cung cấp một mật độ vật chất tới hạn của vũ trụ, nhưng cho đến nay vẫn chưa được phát hiện ra.

May thay, không cần đi đến một quyết định dứt khoát về hình học ở quy mô lớn của vũ trụ để rút ra những kết luận về sự bắt đầu của nó. Lý do là vì vũ trụ có một thứ đường chân trời và đường chân trời đó co hẹp lại nhanh chóng khi ta nhìn quay về lúc bắt đầu.

May thay, không cần đi đến một quyết định dứt khoát về hình học ở quy mô lớn của vũ trụ để rút ra những kết luận về sự bắt đầu của nó. Lý do là vì vũ trụ có một thứ đường chân trời và đường chân trời đó co hẹp lại nhanh chóng khi ta nhìn quay về lúc bắt đầu.

Không tín hiệu nào có thể đi nhanh hơn ánh sáng, như vậy ở bất kỳ lúc nào chúng ta cũng chỉ có thể bị ảnh hưởng bởi những sự kiện đủ gần để cho một tia sáng có thời gian đến với ta từ lúc bắt đầu của vũ trụ. Bất cứ sự kiện nào xảy ra ngoài khoảng cách đó cũng không thể ảnh hưởng đến ta - nó ở bên ngoài chân trời. Nếu tuổi của vũ trụ hiện nay là mười nghìn triệu năm, chân trời hiện nay là khoảng cách 30 nghìn triệu năm ánh sáng. Nhưng khi tuổi của vũ trụ mới chỉ là vài phút, chân trời chỉ ở xa vài phút ánh sáng - gần hơn khoảng cách từ quả đất đến mặt trời. Đứng ra là lúc đó toàn bộ vũ trụ bé hơn hiện nay, theo cách hiểu đã quy ước của ta là khoảng cách giữa một cặp vật thể nào đó lúc đó ngắn hơn bây giờ. Tuy nhiên, khi ta nhìn về lúc bắt đầu, khoảng cách đến chân trời co lại nhanh hơn kích thước vũ trụ. Kích thước vũ trụ tỷ lệ với lũy thừa một phần hai hoặc hai phần ba của thời gian (xem chú thích toán học 3), trong khi khoảng cách đến chân trời chỉ đơn giản là tỷ lệ với thời gian. Cho nên ở những thời gian càng lùi về quá khứ, chân trời bao quanh một phần càng ngày càng nhỏ của vũ trụ (xem hình 6).



Hình 6. Những chân trời trong một vũ trụ giãn nở.

Hình 6. Những chân trời trong một vũ trụ giãn nở. Vũ trụ ở đây được vẽ dưới dạng một hình cầu ở bốn thời điểm cách đều nhau. “Chân trời” của một điểm P là khoảng cách mà ngoài đó các tín hiệu ánh sáng không có thời giờ đến P. Phần vũ trụ ở phía trong “chân trời” được vẽ ở đây bằng phần không có vạch vạch của hình cầu. Khoảng cách từ P đến chân trời tăng tỷ lệ với thời gian. Mặt khác “bán kính” của vũ trụ tăng như căn hai của thời gian, ứng với trường hợp của một vũ trụ chủ yếu là bức xạ. Hệ quả là, ở thời kỳ càng xưa thì chân trời bao quanh một phần vũ trụ ngày càng bé.

Một hệ quả của sự co dãn của chân trời trong vũ trụ sơ khai là độ cong của vũ trụ xét về toàn bộ càng ngày càng ít bị ảnh hưởng khi ta nhìn lùi về những thời kỳ ngày càng xa về trước. Như vậy dù rằng thuyết vũ trụ học và sự quan sát thiên văn hiện nay vẫn chưa phát hiện ra kích thước hoặc tương lai của vũ trụ, song chúng đã cho một bức tranh khá rõ ràng về quá khứ của nó.

Các quan sát thảo luận trong chương này đã cho ta một cái nhìn về vũ trụ vừa đơn giản, vừa vĩ đại. Vũ trụ đang giãn nở một cách đồng đều và đẳng hướng - những người quan sát ở mọi thiên hà điển hình ở mọi hướng đều thấy những quá trình chuyển động như nhau. Trong khi vũ trụ giãn nở, bước sóng của các tia sáng giãn ra tỷ lệ thuận với khoảng cách giữa các thiên hà. Sự giãn nở không được xem là do bất cứ loại lực đẩy vũ trụ nào mà là do kết quả những vận tốc còn giữ lại từ một vụ nổ trong quá khứ. Những vận tốc đó ngày càng chậm dần do ảnh hưởng của lực hấp dẫn; sự giảm tốc đó xem ra rất chậm làm nảy sinh giả thuyết rằng mật độ vật chất của vũ trụ là thấp và trường hấp dẫn của nó là quá yếu để có thể làm cho vũ trụ là hữu hạn về mặt không gian hoặc lại có lúc làm đảo ngược sự giãn nở. Các tính toán cho phép ta ngoại suy sự giãn nở của vũ trụ lùi về quá khứ, và phát hiện rằng sự giãn nở của vũ trụ lùi về quá khứ, và phát hiện rằng sự giãn nở chắc đã bắt đầu từ mười nghìn đến hai mươi nghìn triệu năm trước đây.

III - Phong bức xạ cực ngắn vũ trụ

Câu chuyện kể ở chương trước là một câu chuyện khá quen thuộc với các nhà thiên văn của quá khứ. Cả khung cảnh cũng quen thuộc: những ống kính thiên văn lớn thám hiểm bầu trời ban đêm từ những đỉnh núi ở California hoặc Pêru, hoặc một người quan sát bằng mắt thường trong tháp quan sát của mình để “thưởng thức chòm sao con Gấu”. Như tôi đã nhắc đến trong lời tựa, đây là câu chuyện đã được kể đi kể lại nhiều lần trước đây, đôi khi với nhiều chi tiết hơn.

Bây giờ chúng ta đi đến một loại thiên văn học khác, đến một câu chuyện mà cách đây một thập kỷ thôi đã không ai có thể kể ra được. Chúng ta sẽ không bàn đến những quan sát về ánh sáng đã được bức xạ cách đây vài trăm triệu năm từ những thiên hà ít nhiều giống thiên hà ta, mà bàn đến những quan sát về một phong khuếch tán của sóng vô tuyến còn sót lại từ thời điểm gần lúc vũ trụ bắt đầu ra đời. Khung cảnh cũng thay đổi, dời đến các mái nhà các viện vật lý của các trường đại học, đến những khí cầu hoặc tên lửa bay cao hơn bầu khí quyển của quả đất, và đến các cánh đồng ở miền bắc của bang New Jersey.

Năm 1964, phòng thí nghiệm của công ty điện thoại Bell có một ăngten vô tuyến khác thường đặt trên đồi Crawford ở Holmel bang New Jersey. Ăngten này đã được xây dựng để thực hiện liên lạc thông qua vệ tinh “Echo” (Tiếng vọng), nhưng những đặc điểm của nó - một bộ phận phản xạ hình loa kèn 20 foot (foot là đơn vị đo chiều dài Anh bằng 0,3048 mét (ND)) với tiếng ồn cực thấp - làm cho nó thành ra một dụng cụ có khá nhiều triển vọng cho ngành thiên văn vô tuyến. Hai nhà thiên văn vô tuyến Arno A. Penzias và Robert W. Wilson bắt đầu dùng ăngten để đo cường độ sóng vô tuyến do thiên hà của chúng ta phát ra ở những vĩ độ thiên hà cao, nghĩa là ngoài mặt phẳng sông Ngân hà.

Loại đo đạc ấy rất là khó. Các sóng vô tuyến phát ra từ thiên hà của chúng ta, cũng như từ đa số các nguồn thiên văn khác, có thể mô tả tốt nhất như là một loại “tiếng ồn” rất giống tiếng ồn “tĩnh” mà người ta nghe được qua một máy thu thanh trong một buổi trời sấm sét. Tiếng ồn vô tuyến ấy không dễ dàng phân biệt được với tiếng ồn điện không tránh được, sinh ra bởi sự chuyển động hỗn độn của các electron trong cơ cấu của ăngten vô tuyến và các mạch khuếch đại, hoặc là với tiếng ồn vô tuyến mà ăngten bắt được từ bầu khí quyển của quả đất. Vấn đề này không phải thật là nghiêm

trọng khi người ta nghiên cứu một nguồn tiếng ồn vô tuyến tương đối “nhỏ” như là một vì sao hay là một thiên hà xa. Trong trường hợp này, người ta có thể quét chùm ăngten qua lại giữa nguồn và khoảng bầu trời trống rỗng quanh nó; mọi tiếng ồn giả xuất phát từ cơ cấu ăngten, các mạch khuếch đại hoặc là khí quyển của quả đất sẽ là gần như nhau dù ăngten được chĩa vào nguồn hay vào bầu trời quanh nó, như vậy nó sẽ tự triệt tiêu khi cả hai được so sánh với nhau. Tuy nhiên, Penzias và Wilson đã có ý định đo tiếng ồn vô tuyến xuất phát từ bản thân thiên hà của chúng ta - thực ra, từ bản thân bầu trời. Cho nên điều vô cùng quan trọng là nhận biết được bất kỳ tiếng ồn điện nào có thể phát sinh ra trong hệ thu của họ.

Nhiều cuộc thử hệ đó thực ra đã phát hiện một tiếng ồn lớn hơn là đã dự tính một chút, nhưng lúc đó người ta cho rằng sự khác nhau này có thể do tiếng ồn điện trong các mạch khuếch đại thừa ra một chút ít. Để loại trừ các vấn đề như vậy, Penzias và Wilson dùng một dụng cụ gọi là “tải lạnh” - cường độ từ ăngten được so sánh với cường độ sinh ra bởi một nguồn nhân tạo được làm lạnh đến nhiệt độ heli lỏng, khoảng bốn độ trên độ không tuyệt đối. Tiếng ồn điện trong các mạch khuếch đại sẽ là như nhau trong cả hai trường hợp, và do đó sẽ tự triệt tiêu khi so sánh, cho phép đo trực tiếp cường độ từ ăngten đến. Cường độ ăngten đo được bằng cách đó chỉ gồm các đóng góp của cơ cấu ăngten, của khí quyển của quả đất, và của mọi nguồn thiên văn phát ra sóng vô tuyến.

Penzias và Wilson chờ đợi rằng rất ít tiếng ồn điện được phát sinh ra từ trong cơ cấu ăngten. Tuy nhiên, để thử nghiệm giả thiết đó, họ bắt đầu các quan sát của họ ở một bước sóng tương đối ngắn là 7,35 centimet, ở đó tiếng ồn vô tuyến từ thiên hà của chúng ta có thể coi là không đáng kể. Cố nhiên ở bước sóng đó một chút ít tiếng ồn có thể có được từ khí quyển của quả đất chúng ta, nhưng nó phải có một sự liên hệ đặc trưng với hướng đo; nó sẽ tỷ lệ với độ dày của khí quyển theo hướng chỉ của ăngten - ít hơn về phía thiên đỉnh, nhiều hơn về phía chân trời. Người ta chờ đợi rằng, sau khi khử đi một số hạng do khí quyển sinh ra, với sự phụ thuộc vào hướng như đã nói trên, thì sẽ không còn có cường độ ăngten nào còn lại nữa, và việc đó sẽ khẳng định rằng tiếng ồn điện sinh ra trong cơ cấu ăngten quả nhiên là không đáng kể. Lúc đó họ có thể tiếp tục nghiên cứu bản thân thiên hà ở một bước sóng dài hơn khoảng 21 centimet, ở đó tiếng ồn vô tuyến của thiên hà được chờ đợi là đáng kể.

(Cần nói rằng các sóng vô tuyến với các bước sóng như 7,35 centimet và đến một mét, được gọi là “bức xạ cực ngắn”, cũng gọi là bức xạ vi ba). Việc này là do các bước sóng đó ngắn hơn các bước sóng của băng VHF (VHF - very high frequency: tần số rất cao) mà radar dùng trong thời gian đầu của

chiến tranh thế giới lần thứ II).

Một sự ngạc nhiên đã đến với Penzias và Wilson vào mùa xuân năm 1964 là họ đã nhận được một tiếng ồn sóng cực ngắn ở 7,35 centimet khá đáng kể, không phụ thuộc vào hướng. Họ cũng đã tìm ra rằng phon "tĩnh" đó không phụ thuộc vào thời gian trong một ngày, hoặc vào mùa trong năm. Khó mà cho rằng nó có thể đến từ thiên hà của chúng ta; nếu như vậy thì lúc đó thiên hà lớn M31 trong tinh vân Tiên nữ, mà về rất nhiều mặt giống thiên hà của chúng ta, cũng đã có thể bức xạ mạnh ở 7,35 centimet và tiếng ồn sóng cực ngắn đó đã có thể quan sát được. Trước hết, sự thiếu một sự liên quan cho thấy rất rõ rằng các sóng vô tuyến đó, nếu có thật, không phải xuất phát từ Ngân hà, mà từ một thể tích lớn hơn rất nhiều của vũ trụ.

Rõ ràng là đã cần xem lại bản thân ăngten có sinh ra tiếng ồn điện lớn hơn là cái chờ đợi không. Đặc biệt, người ta đã biết rằng một cặp chim bồ câu đã làm tổ tại cổ họng của ăngten. Cặp bồ câu đã bị bắt; gửi về địa điểm Whippany của phòng thí nghiệm Bell, được thả ra; lại được thấy trong ăngten ở Holmdel vài ngày sau; chúng bị bắt lại; rồi cuối cùng chúng phải bỏ cuộc do các biện pháp kiên quyết hơn. Tuy nhiên, trong lúc trú nhờ, đôi bồ câu đã phủ cổ họng ăngten một lớp mà Penzias gọi một cách tế nhị là "chất điện môi trắng", và ở nhiệt độ phòng chất này có thể là nguồn tiếng ồn điện. Đầu năm 1965, người ta đã có thể gỡ cổ họng ăngten ra và lau sạch chất bám đó, nhưng việc này cũng như nhiều cố gắng khác chỉ làm giảm rất ít mức ồn quan sát được. Bí mật vẫn còn nguyên: tiếng ồn sóng cực ngắn này từ đâu đến?

Số liệu duy nhất có trong tay Penzias và Wilson lúc đó là cường độ tiếng ồn vô tuyến mà họ đã quan sát. Khi mô tả cường độ này, họ đã dùng một ngôn ngữ thông thường trong giới các kỹ sư vô tuyến, nhưng trong trường hợp này nó có một ý nghĩa không ngờ đến. Bất cứ vật thể nào ở bất cứ nhiệt độ nào trên độ không tuyệt đối cũng luôn luôn phát ra tiếng ồn vô tuyến do chuyển động nhiệt của các electron trong vật thể gây ra? Trong một hộp có tường không trong suốt, cường độ tiếng ồn vô tuyến ở bất cứ bước sóng nào cho trước cũng chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ của các bức tường - nhiệt độ càng cao thì tiếng ồn càng mạnh. Như vậy, có thể mô tả cường độ tiếng ồn vô tuyến quan sát được ở một bước sóng cho trước theo "nhiệt độ tương đương" - nhiệt độ của các bức tường của một hộp mà trong đó tiếng ồn vô tuyến sẽ có cường độ được quan sát. Cố nhiên một kính thiên văn vô tuyến không phải là một nhiệt kế; nó đo cường độ của các sóng vô tuyến bằng cách ghi lại các dòng điện bé nhỏ mà các sóng đó cảm ứng trong cơ cấu của ăngten. Khi một nhà thiên văn vô tuyến nói rằng ông quan sát tiếng ồn vô tuyến với một nhiệt độ tương đương nào đó thì ông chỉ muốn nói rằng đó là nhiệt độ của

hộp kín mà nếu đặt ăngten vào đó thì nó sẽ sinh ra cường độ tiếng ồn vô tuyến đã quan sát được. Còn ăngten có nằm trong cái hộp đó không thì cố nhiên lại là vấn đề khác.

(Để chặn trước những ý kiến phản đối của các nhà chuyên môn, tôi phải nói thêm rằng các kỹ sư vô tuyến thường mô tả cường độ tiếng ồn vô tuyến theo nhiệt độ ăngten, cái này có hơi khác “nhiệt độ tương đương” - mô tả ở trên. Với bước sóng và cường độ mà Penzias và Wilson đã quan sát thì hai định nghĩa thực ra là tương đương).

Penzias và Wilson phát hiện ra rằng nhiệt độ tương đương của tiếng ồn vô tuyến mà họ nhận được là vào khoảng 3,5 độ trên không tuyệt đối (hay nói chính xác hơn, giữa 2,5 và 4,5 độ trên không tuyệt đối). Nhiệt độ đo trên thang bách phân, nhưng được quy về độ không tuyệt đối chứ không phải về điểm tan của nước đá được ghi bằng “độ Kelvin”. Như vậy, tiếng ồn vô tuyến mà Penzias và Wilson đã quan sát có thể được mô tả như có một “nhiệt độ tương đương 3,5 độ Kelvin”, hoặc viết tắt là 3,5 K. Con số này lớn hơn mong đợi, nhưng vẫn còn rất thấp theo trị số tuyệt đối, cho nên không lấy làm lạ là Penzias và Wilson đã nghiên ngẫm kết quả này một thời gian trước khi công bố nó. Lúc đó chắc chắn không phải ai cũng thấy rõ ngay rằng đó là tiến bộ quan trọng nhất về vũ trụ học từ khi các dịch chuyển đỏ được phát hiện.

Ý nghĩa của tiếng ồn sóng cực ngắn huyền bí đã sớm được giải thích nhờ tác động của “tập thể vô hình” các nhà vật lý thiên văn. Penzias đã tình cờ nói chuyện với một nhà thiên văn vô tuyến quen biết, Bernard Burke ở M. I. T. (Massachusetts Institute of Technology: tên một trường đại học nổi tiếng ở Mỹ, viện công nghệ bang Massachusetts(ND).) về một số vấn đề khác. Nhưng Burke lại vừa mới nghe một bạn đồng nghiệp khác, Ken Turner ở tổ chức Carnegie, kể về một câu chuyện mà Turner, về phần anh ta, lại đã nghe ở Johns Hopkins từ một nhà lý thuyết trẻ tuổi ở Princeton là P. J. E. Peebles. **Trong câu chuyện đó Peebles đã chỉ rõ là phải có một phong tiếng ồn vô tuyến còn lưu lại từ thời vũ trụ sơ khai, với một nhiệt độ tương đương hiện này vào khoảng 10 K.** Burke đã được biết là Penzias đang đo nhiệt độ tiếng ồn vô tuyến bằng ăngten hình loa kèn của các phòng thí nghiệm Bell, do đó anh ta thừa dịp câu chuyện qua điện thoại để hỏi xem các phép đo đã đến đâu rồi. Penzias trả lời rằng các phép đo đang được tiến hành rất tốt, nhưng có một cái gì đó trong kết quả mà ông ta không thể hiểu được. Burke gợi ý cho Penzias rằng có nhà vật lý ở Princeton có thể có một số ý tưởng đáng lưu ý về cái mà ăngten của ông ta đang thu được.

Trong câu chuyện của anh ta, và trong một bài chuẩn bị công bố viết tháng ba năm 1965, Peebles đã xem xét bức xạ có thể tồn tại ở thời vũ trụ sơ

khai. “Bức xạ” cố nhiên là một danh từ tổng quát, bao gồm các sóng điện từ ở mọi bước sóng - không chỉ là sóng vô tuyến mà còn cả ánh sáng hồng ngoại, ánh sáng thấy được, ánh sáng tử ngoại, tia X và bức xạ có bước sóng rất ngắn gọi là các tia gama (xem bảng 2). Không có sự phân biệt rõ rệt; thay đổi bước sóng thì một loại bức xạ này chuyển một cách từ từ thành ra một loại khác. Peebles lưu ý rằng nếu trong mấy phút ngắn ngủi đầu tiên của vũ trụ đã không có một phong bức xạ mạnh mẽ thì các phản ứng nhiệt hạch đã xảy ra nhanh chóng đến mức làm một tỷ lệ lớn khí hydro có mặt lúc đó đã bị “nấu nướng” thành những nguyên tố nặng hơn, trái với sự kiện là khoảng ba phần tư vũ trụ hiện nay lại là hydro. Sự “nấu nướng” hạt nhân nhanh này chỉ có thể được cản lại nếu vũ trụ đã chứa đầy một bức xạ có một nhiệt độ tương đương rất lớn ở những bước sóng rất ngắn, có thể làm nổ được các hạt nhân cũng nhanh như chúng được tạo nên.

Chúng ta sẽ thấy rằng bức xạ đó đã còn lại sau quá trình giãn nở của vũ trụ sau đó, nhưng nhiệt độ tương đương của nó tiếp tục giảm trong khi vũ trụ giãn nở và giảm tỷ lệ nghịch với kích thước vũ trụ (như chúng ta sẽ thấy, việc này căn bản là một hệ quả của sự dịch chuyển đỏ đã thảo luận ở chương II). Do đó vũ trụ hiện nay cũng phải chứa đầy bức xạ, nhưng với một nhiệt độ tương đương nhỏ hơn nhiều so với nhiệt độ ở mấy phút đầu tiên. Peebles đã ước tính rằng, để cho phong bức xạ duy trì được được việc sản xuất ra heli và những nguyên tố nặng hơn trong vài phút đầu tiên nằm trong những giới hạn đã được biết, thì nó phải có cường độ mạnh đến mức nhiệt độ hiện nay của nó còn lại ít nhất là 10 kenvin.

Con số 10 K này đã là hơi cao một tí, và sự tính toán này liền sau đó đã được thay thế bằng những tính toán phức tạp và chính xác hơn do Peebles và một số người khác tiến hành, chúng sẽ được thảo luận ở chương V. Bài chuẩn bị công bố của Peebles thực ra đã không khi nào được công bố dưới hình thức ban đầu của nó. Tuy nhiên, kết luận về căn bản là đúng đắn: từ “độ nhiều” quan sát được hiện nay của hydro, chúng ta có thể suy ra rằng vũ trụ trong vài phút đầu tiên đã chứa một lượng bức xạ lớn lao có thể ngăn cản sự tạo ra quá nhiều nguyên tố nặng, sự giãn nở của vũ trụ từ lúc nào đó đã làm giảm nhiệt độ tương đương của bức xạ xuống vài kenvin, cho nên bây giờ nó thể hiện như một phong tiếng ồn vô tuyến, từ mọi phía đến với ta với cường độ như nhau. Điều này lập tức được coi như sự giải thích tự nhiên về phát hiện của Penzias và Wilson. Như vậy, ăngten ở Holmdel có thể coi như ở trong một cái hộp - cái hộp là cả vũ trụ. Tuy nhiên, nhiệt độ tương đương mà ăngten đã ghi nhận không phải là nhiệt độ của vũ trụ hiện nay mà, đúng hơn, là nhiệt độ mà vũ trụ đã có từ lâu, được hạ thấp tỷ lệ với sự giãn nở mạnh mẽ mà vũ trụ đã phải trải qua từ lúc đó.

Công trình của Peebles chỉ là khâu cuối cùng trong một dãy dài những nghiên cứu vũ trụ học tương tự. Thực ra, trong những năm cuối cùng của thập niên bốn mươi, lý thuyết “vụ nổ lớn” về sự tổng hợp hạt nhân đã được George Gamow và các cộng tác viên của ông Ralpher Alpher và Robert Herman phát triển, và đã được Alpher và Herman dùng năm 1948 để tiên đoán một phong bức xạ với một nhiệt độ hiện nay vào khoảng 5 K. Năm 1964 những tính toán như vậy cũng đã được tiến hành bởi Ya. B. Zeldovich ở Liên Xô (cũ) và độc lập với ông Fred Hoyle và R. J. Tayler ở Anh. Công trình đầu tiên này lúc đầu chưa được các nhóm ở các phòng thí nghiệm Bell và Princeton biết đến, và nó không có một ảnh hưởng nào đến sự khám phá ra phong bức xạ, cho nên chúng ta có thể chờ đến chương năm mới đi sâu nghiên cứu nó một cách chi tiết. Chúng ta cũng sẽ xem xét ở chương VI câu hỏi khá hiếm hóc về mặt lịch sử là tại sao trong các công trình lý thuyết sớm đó, không có cái nào đã dẫn đến một sự tìm kiếm phong sóng cực ngắn vũ trụ.

Tính toán năm 1965 của Peebles đã được gợi ý lên bởi các ý tưởng của một nhà vật lý thực nghiệm lão thành Robert H. Dicke ở Princeton. (Ngoài những cái khác, Dicke đã phát minh ra một số kỹ thuật sóng cực ngắn chủ chốt mà các nhà thiên văn vô tuyến hiện dùng). Một lúc nào đó vào năm 1964 Dicke đã bắt đầu tự hỏi liệu có thể còn có một bức xạ quan sát được nào đó rơi rớt lại từ một giai đoạn nóng và có mật độ cao trước đây của lịch sử vũ trụ hay không. Các suy luận của Dicke đã căn cứ trên lý thuyết vũ trụ “dao động” mà chúng ta sẽ quay trở lại ở chương cuối của sách này. Rõ ràng ông ta không có hy vọng rõ rệt về nhiệt độ của bức xạ đó, song ông nhận thức rõ một điểm chủ yếu mà đó là cái đáng tìm. Dicke gợi ý cho P. G. Roll và D. T. Wilkinson là họ nên bố trí một sự tìm kiếm một phong bức xạ cực ngắn, và họ bắt đầu dựng một “ăngten tiếng ồn thấp” nhỏ ở phòng thí nghiệm Palmer ở Princeton. (Không cần dùng một kính thiên văn vô tuyến lớn cho mục đích này, vì bức xạ từ mọi phía đến, như vậy không có lợi gì nếu có một chùm bức xạ phát từ ăngten được điều tiêu chặt chẽ hơn).

Trước khi Dicke, Roll và Wilkinson có thể kết thúc các phép đo của họ, Dicke nhận được một lần gọi điện thoại của Penzias, ông này đã vừa nghe đến công trình của Peebles do Burke mách. Họ quyết định sẽ công bố hai thư bạn đồng nghiệp trong *Tạp chí vật lý thiên văn* trong đó Penzias và Wilson sẽ công bố các quan sát của họ, còn Dicke, Peeble, Roll và Wilkingson sẽ cắt nghĩa sự giải thích theo vũ trụ học. Penzias và Wilson, lúc đó còn rất thận trọng, đặt cho bài báo của mình đầu đề khiêm tốn “Một phép đo về nhiệt độ thừa của ăngten ở 4080 magahec. (Tần số mà ăngten đã được hiệu chỉnh là 4080 triệu chu kỳ mỗi giây, ứng với bước sóng 7,35 centimet). Họ thông báo một cách bình dị là “Các phép đo nhiệt độ thực sự của tiếng ồn từ thiên

đỉnh... đã cho một trị số khoảng 3,5 K, cao hơn là trị số chờ đợi”, và họ đã tránh mọi sự đề cập đến vũ trụ học, trừ khi để lưu ý rằng: “Một sự giải thích có thể chấp nhận cho nhiệt độ tiếng ồn thừa đã quan sát là sự giải thích mà Dicke, Peeble, Roll và Wilkingson đã đưa ra trong một thư bạn đọc đăng trong số này”.

Bức xạ cực ngắn mà Penzias và Wilson đã khám phá ra có thực là còn sót lại từ lúc bắt đầu của vũ trụ không? Trước khi chúng ta tiếp tục xét đến thí nghiệm đã được tiến hành từ 1965 để giải đáp câu hỏi này, chúng ta cần phải tự hỏi trước hết chúng ta chờ đợi gì về mặt lý thuyết đây: các tính chất chung của bức xạ phải chứa đựng trong vũ trụ là gì nếu các ý tưởng vũ trụ học hiện hành là đúng đắn? Câu hỏi này dẫn chúng ta đến việc xét xem cái gì đã xảy ra đối với một bức xạ khi vũ trụ giãn nở - không những chỉ ở giai đoạn tổng hợp hạt nhân, sau ba phút đầu tiên, mà còn cả trong những khoảng thời gian dài đằng dặc đã trôi qua từ lúc đó.

Ở đây việc bỏ cách mô tả cổ điển về bức xạ như sóng điện từ mà cho đến nay chúng ta vẫn dùng và, thay vào đó, dùng quan điểm “lượng tử” hiện đại hơn, cho rằng bức xạ gồm những hạt gọi là photon, sẽ rất là có ích. Một sóng ánh sáng bình thường chứa một số cực kỳ lớn photon chuyển động cùng với nhau, nhưng nếu chúng ta định đo năng lượng mà đoàn sóng mang theo một cách chính xác, chúng ta sẽ thấy rằng nó luôn luôn là một bội số nào đó của một lượng nhất định, mà chúng ta coi là năng lượng của một photon đơn lẻ. Như chúng ta sẽ thấy, năng lượng photon thường rất bé. Cho nên trong nhiều áp dụng thực tiễn một sóng điện từ hầu như không có một năng lượng nào. Tuy nhiên, trong tương tác của bức xạ với nguyên tử hoặc hạt nhân nguyên tử, mỗi lần thường cần một photon, và khi nghiên cứu những quá trình đó ta cần dùng cách mô tả theo photon hơn là theo sóng. Photon có khối lượng bằng không và điện tích bằng không, nhưng mặc dù vậy, chúng là những hạt thực - mỗi một photon mang một năng lượng và một xung lượng xác định, hơn nữa còn có một spin xác định quanh hướng chuyển động của nó.

Việc gì xảy ra cho một photon nếu nó đi xuyên qua vũ trụ? Không gì xảy ra, đối với vũ trụ hiện nay. Ánh sáng từ những vật thể xa khoảng 10.000 triệu năm ánh sáng hình như đến với ta rất trôi chảy. Như vậy, dù có nhiều vật chất trong khoảng không giữa các thiên hà thì nó cũng đủ trong suốt để cho các photon có thể đi suốt trong một phần khá lớn của tuổi vũ trụ mà không bị tán xạ hoặc hấp thụ.

Tuy nhiên, các dịch chuyển đỏ của các thiên hà xa xăm nói với ta rằng vũ trụ đang giãn nở, như vậy các thành phần của nó đã có lúc phải được nén chặt hơn bây giờ. Nhiệt độ của một chất lưu thường tăng lên khi chất lưu bị nén, như vậy ta cũng có thể suy luận rằng vật chất của vũ trụ trong quá khứ

đã nóng hơn nhiều. Thực ra chúng ta tin rằng đã có một lúc mà chúng ta sẽ thấy rằng đã kéo dài trong 700 000 năm đầu của vũ trụ, các thành phần của vũ trụ đã nóng và có mật độ cao đến mức chúng đã không thể kết tụ lại thành những ngôi sao và những thiên hà và kể cả các nguyên tử cũng bị phá vỡ ra thành các hạt nhân và electron hợp phần của chúng.

Trong những điều kiện không thuận lợi như vậy, một photon không thể đi suốt những khoảng cách mênh mông mà không bị cản trở, như trong vũ trụ hiện nay. Một photon lúc đó sẽ gặp trên đường đi của nó một số rất lớn electron tự do, chúng có thể dễ dàng tán xạ hoặc hấp thụ photon đó. Nếu photon bị một electron tán xạ, nó thường sẽ hoặc mất đi một phần năng lượng cho electron đó hoặc nhận được một ít năng lượng của electron, việc này tùy thuộc vào lúc đầu photon có nhiều hay ít năng lượng hơn electron. “Thời gian tự do trung bình” mà photon có thể đi xuyên trước khi nó bị hấp thụ hay bị thay đổi về năng lượng một cách đáng kể đã phải là rất ngắn, ngắn hơn nhiều so với thời gian giãn nở đặc trưng của vũ trụ. Thời gian trung bình tương ứng của các hạt khác, các electron và các hạt nhân nguyên tử, lại còn phải ngắn hơn nữa. Như vậy, mặc dầu theo một ý nghĩa nào đó, vũ trụ đã giãn nở rất nhanh lúc đầu, đối với một photon hoặc electron hoặc hạt nhân đơn lẻ thì sự giãn nở đã có nhiều thời gian, đủ cho mỗi hạt bị tán xạ hoặc hấp thụ được bức xạ lại nhiều lần trong khi vũ trụ giãn nở.

Mọi hệ kiểu này, trong đó những hạt đơn lẻ có thời giờ để trải qua nhiều tương tác sẽ đi đến một trạng thái cân bằng. Số các hạt với những tính chất (vị trí, năng lượng, vận tốc, spin, v. v ...) ở trong một khoảng trị số nào đó sẽ đứng lại ở một giá trị sao cho mỗi giây số hạt bị bật ra khỏi khoảng trị số đó bằng số hạt được đưa vào khoảng đó. Như vậy, các tính chất của một hệ như vậy sẽ không được xác định bằng bất kỳ điều kiện ban đầu nào, mà đúng hơn xác định bởi yêu cầu là sự cân bằng được duy trì. Cố nhiên, “sự cân bằng” ở đây không có nghĩa là các hạt bị đóng cứng lại - mỗi hạt thường xuyên bị các hạt láng giềng của nó thúc vào. Nói khác đi, sự cân bằng có tính thống kê - việc các hạt được phân bố về vị trí, năng lượng, v. v... là cái không thay đổi, hoặc thay đổi chậm.

Cân bằng kiểu thống kê đó thường được gọi là “cân bằng nhiệt”, vì một trạng thái cân bằng như vậy luôn luôn được đặc trưng bởi một nhiệt độ xác định, nó phải đồng đều trong suốt hệ. Thực ra, nói cho chặt chẽ, chỉ có ở trong trạng thái cân bằng nhiệt thì nhiệt độ mới được định nghĩa một cách chính xác. Ngành vật lý lý thuyết mạnh mẽ và sâu sắc được gọi là “cơ học thống kê” cho ta một công cụ toán học để tính các tính chất của mọi hệ ở cân bằng nhiệt.

Con đường dẫn đến cân bằng nhiệt gần giống như phương thức cơ cấu

giá cả tự điều chỉnh trong kinh tế học cổ điển. Nếu cầu vượt cung, giá cả hàng hóa sẽ tăng lên làm giảm cầu thực tế và khuyến khích sản xuất. Nếu cung vượt cầu, giá cả sẽ hạ xuống, làm tăng “cầu” thực tế và làm nản lòng sản xuất. Trong cả hai trường hợp cung và cầu sẽ đi đến cân bằng. Cũng như vậy nếu có quá nhiều hay quá ít hạt với năng lượng, vận tốc, v. v... ở trong một khoảng trị số đặc biệt nào đó, thì xác suất mà chúng rời bỏ khoảng đó sẽ là lớn hơn hay bé hơn xác suất mà chúng đi vào cho đến khi cân bằng được thiết lập.

Cố nhiên, cơ cấu giá cả không phải lúc nào cũng diễn ra như là trong kinh tế học cổ điển, nhưng ngay cả về việc này, sự tương tự vẫn còn có giá trị - nhiều hệ vật lý trong thế giới thực ở rất xa trạng thái cân bằng nhiệt. Ở trung tâm các ngôi sao có sự cân bằng nhiệt hầu như hoàn hảo, cho nên chúng ta có thể phỏng đoán được các điều kiện ở đây với một độ tin cậy khá khá, nhưng không ở đâu trên quả đất có cân bằng nhiệt, cho nên ta không thể chắc là ngày mai có mưa hay không. Vũ trụ đã không lúc nào ở trạng thái cân bằng nhiệt hoàn hảo, bởi vì dù sao nó cũng đang giãn nở. Tuy nhiên, trong thời kỳ đầu khi tốc độ tán xạ hoặc hấp thụ của các hạt đơn lẻ đã là nhanh hơn nhiều lần tốc độ giãn nở của vũ trụ, thì vũ trụ có thể coi như là tiến hóa “chậm” từ một trạng thái cân bằng nhiệt này đến một trạng thái cân bằng nhiệt khác gần như hoàn hảo.

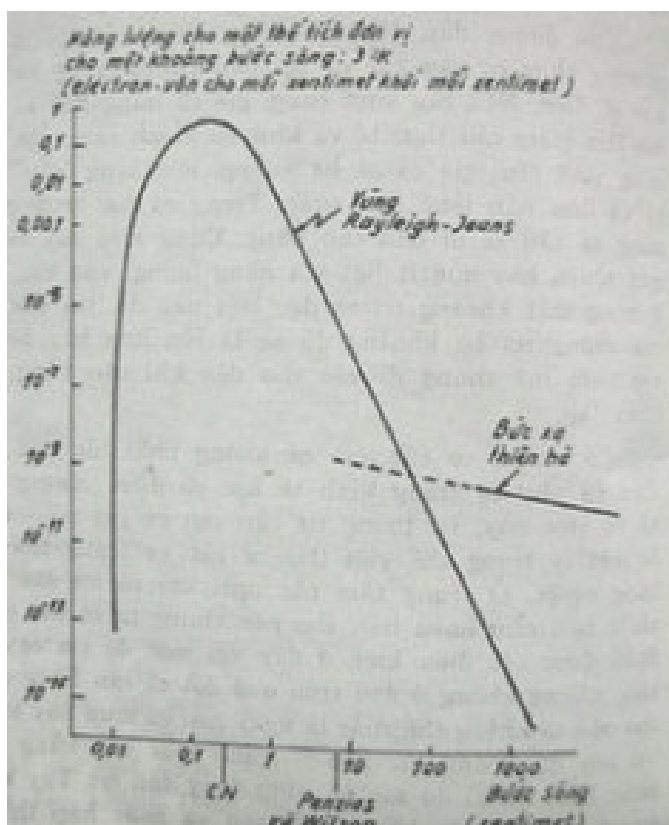
Điều rất cần cho lập luận của cuốn sách này là vũ trụ đã một lần nào đó trải qua một trạng thái cân bằng nhiệt. Theo các kết luận của cơ học thống kê, các tính chất của mọi hệ ở trạng thái cân bằng nhiệt đều hoàn toàn được xác định mỗi khi ta đã cho nhiệt độ của hệ và mật độ của một số ít đại lượng được bảo toàn (mà ta sẽ nói nhiều hơn trong chương sau). Như vậy, vũ trụ chỉ còn giữ lại một ký ức rất hạn chế về các điều kiện ban đầu của nó. Việc này là đáng tiếc, nếu cái chúng ta muốn là dựng lại các điều kiện ngay lúc ban đầu, nhưng nó cũng được bù bằng việc chúng ta có thể suy ra sự diễn biến của các sự kiện từ lúc ban đầu mà không cần quá nhiều giả thuyết tùy tiện.

Chúng ta đã thấy rằng bức xạ cực ngắn mà Penzias và Wilson khám phá ra được coi như còn sót lại từ lúc mà vũ trụ ở trong một trạng thái cân bằng nhiệt. Vì vậy, để thấy được những tính chất gì ta có thể mong đợi về phong bức xạ cực ngắn được quan sát, ta phải tự hỏi: Các tính chất chung của bức xạ trong cân bằng nhiệt với vật chất là gì?

Tình cờ mà đây chính là câu hỏi mà về lịch sử đã làm xuất hiện lý thuyết lượng tử và cách giải thích bức xạ theo photon. Trong những năm 1890 người ta đã biết rằng những tính chất của bức xạ trong trạng thái cân bằng nhiệt với vận tốc chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ. Nói rõ hơn, lượng năng lượng

trong đơn vị thể tích trong một bước xạ như vậy trong bất cứ khoảng bước sóng nào cho trước được cho bằng một công thức vạn năng, chỉ bao gồm có bước sóng và nhiệt độ. Công thức đó cũng cho lượng bức xạ ở trong một cái hộp có vách mờ đục, như vậy một nhà thiên văn vô tuyến có thể dùng công thức này mô tả cường độ tiếng ồn vô tuyến mà ông quan sát theo một “nhiệt độ tương đương”. Về căn bản, công thức đó cũng cho lượng bức xạ phát ra mỗi giây và trên mỗi centimet vuông ở một bước sóng nào đó từ một bề mặt hấp thụ hoàn toàn, cho nên bức xạ loại đó thường được gọi là “bức xạ vật đen”. Nghĩa là, bức xạ vật đen được đặc trưng bởi một phân bố năng lượng xác định theo bước sóng, được cho bởi một công thức vạn năng chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ. Vấn đề nóng bỏng nhất đối với các nhà vật lý lý thuyết những năm 1890 là tìm ra được công thức đó.

Công thức đúng đắn cho bức xạ vật đen được Ludwig Planck tìm ra trong những tuần cuối của thế kỷ 19.



Hình 7. Phân bố Planck

Hình 7. Phân bố Planck : Mật độ năng lượng trên mỗi khoảng bước sóng đơn vị được vẽ là một hàm của bước sóng, đối với bức xạ vật đen, có nhiệt độ là 3 K. (Đối với một nhiệt độ lớn hơn 3 K là f lần, thì chỉ cần rút ngắn bước sóng $1/f$ lần và tăng mật độ năng lượng lên f mũ 5 lần). Đoạn thẳng của đường biểu diễn ở bên phải được mô tả gần đúng bằng “phân bố Rayleigh – Jeans” đơn giản hơn; một đường với độ dốc như vậy được chờ đợi với một nhóm trường hợp rộng rãi ngoài trường hợp bức xạ vật đen. Đoạn đi xuống

rất dốc về phía trái là so bản chất lượng tử của bức xạ, và là một nét đặc thù của bức xạ vật đen. Đoạn đường có ghi “bức xạ thiên hà” chỉ rõ cường độ tiếng ồn vô tuyến từ thiên hà chúng ta sinh ra. (Các mũi tên chỉ rõ bước sóng của phép đo ban đầu của Penzias và Wilson, và nước sóng tại đó một nhiệt độ bức xạ có thể rút ra từ những kết quả do sự hấp thụ bởi trạng thái kích thích quay đầu tiên của xian trong không gian giữa các sao).

Dạng chính xác của kết quả của Planck được chỉ ra ở hình 7, vẽ cho nhiệt độ đặc biệt 3 K của tiếng ồn sóng cực ngắn vũ trụ được quan sát. Công thức Planck có thể tóm tắt một cách định tính như sau: Trong một hộp chứa đầy bức xạ vật đen, năng lượng ở một khoảng bước sóng nào đó tăng vọt lên mạnh mẽ theo bước sóng đạt một cực đại và sau đó lại giảm xuống đột ngột. “Phân bố Planck” này là phân bố vạn năng, không phụ thuộc vào bản chất của vật chất mà bức xạ tương tác, mà chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ của nó. Như hiện nay thường dùng danh từ “bức xạ vật đen” chỉ mọi bức xạ trong đó sự phân bố năng lượng theo bước sóng khớp với công thức Planck dù bức xạ có thực được phát ra bởi một vật đen hay không. Như vậy, ít nhất suốt trong khoảng một triệu năm đầu tiên, khi bức xạ và vật chất ở trạng thái cân bằng nhiệt, vũ trụ chắc đã chứa đầy bức xạ vật đen với một nhiệt độ bằng nhiệt độ của các thành phần vật chất trong vũ trụ.

Tầm quan trọng của sự tính toán của Planck đã đi xa hơn vấn đề bức xạ vật đen. Vì rằng trong đó ông đã đưa ra ý tưởng mới rằng, năng lượng gồm những phần riêng biệt, hay những “lượng tử”. Lúc đầu Planck chỉ xét đến sự lượng tử hóa năng lượng của vật chất ở cân bằng với bức xạ, nhưng một ít năm sau đó Einstein giả thiết rằng bản thân bức xạ cũng gồm những lượng tử, sau này gọi là photon. Các phát triển đó dẫn đến, trong những năm 1920, một trong những cuộc cách mạng về nhận thức lớn trong lịch sử khoa học, sự thay thế cơ học cổ điển bởi một ngôn ngữ hoàn toàn mới, ngôn ngữ của cơ học lượng tử.

Chúng ta không có khả năng đi quá xa vào cơ học lượng tử trong cuốn sách này. Tuy nhiên, sẽ có ích cho ta, khi tìm hiểu biểu diễn của bức xạ trong một vũ trụ giãn nở nếu ta xét xem sự mô tả bức xạ theo photon dẫn đến các nét lớn của phân bố Planck như thế nào.

Lý do để cho mật độ năng lượng của bức xạ vật đen giảm xuống khi bước sóng thật lớn là rất đơn giản: khó mà đặt gọn ghẽ bức xạ trong một thể tích nào mà kích thước bé hơn bước sóng. Việc này có thể (và đã được) hiểu mà không cần thuyết lượng tử, chỉ trên cơ sở thuyết sóng của bức xạ, cổ hơn.

Mặt khác, sự giảm mật độ năng lượng của bức xạ vật đen ở những bước sóng rất ngắn không thể giải thích được trong một sự mô tả không lượng tử

về bức xạ. Một hệ quả quen thuộc của cơ học thống kê là ở một nhiệt độ nào đó đã cho, rất khó mà sản sinh ra được một loại hạt hoặc sóng hoặc kích thích khác mà năng lượng lớn hơn một lượng xác định nào đó, tỷ lệ với nhiệt độ. Tuy nhiên, nếu những sóng con của bức xạ có thể có những năng lượng bé tùy ý thì lúc đó sẽ không có gì hạn chế được tổng lượng bức xạ vật đen ở những bước sóng thật ngắn. Không những điều này mâu thuẫn với thực nghiệm - mà nó còn dẫn đến kết quả tai họa là năng lượng toàn phần của bức xạ vật đen là vô hạn! Con đường thoát duy nhất là cho rằng năng lượng gồm những phần hay những "lượng tử" với lượng năng lượng trong mỗi phần tăng lên khi bước sóng giảm, vì vậy ở một nhiệt độ nào đó đã cho, sẽ có rất ít bức xạ ở các bước sóng ngắn mà với chúng các phần có năng lượng lớn. Trong cách phát biểu cuối cùng của giả thiết do Einstein đã đề ra đó, năng lượng của bất kỳ photon nào cũng tỷ lệ nghịch với bước sóng, ở một nhiệt độ đã cho nào đó, bức xạ vật đen sẽ chứa rất ít photon có một năng lượng quá lớn, và do đó rất ít photon có một bước sóng quá ngắn, như vậy cắt nghĩa được sự giảm mạnh của phân bố Planck ở những bước sóng ngắn.

Nói cho rõ hơn, năng lượng của một photon với một bước sóng một centimet là 0,000124 electron - vôn, và lớn hơn, một cách tỷ lệ, ở những bước sóng ngắn hơn. Electron - vôn là một đơn vị năng lượng tiện lợi, bằng năng lượng thu nhận được bởi một electron khi chuyển động qua một độ sụt thế là một vôn. Ví dụ, một đèn pin 1,5 vôn bình thường tiêu hao 1,5 electron - vôn cho mỗi electron mà nó phóng ra qua dây tóc của bóng đèn. Theo định luật Einstein, năng lượng của một photon ở bước sóng cực ngắn 7,35 centimet mà Penzias và Wilson đã điều hưởng ăngten của họ là 0,000124 electron - vôn chia cho 7,35 của 0,000017 electron - vôn. Mặt khác một photon điển hình ở một vùng ánh sáng thấy được sẽ có một bước sóng khoảng một phần hai mươi nghìn centimet (5×10^{-5} m), như vậy năng lượng của nó sẽ là 0,000124 electron - vôn nhân với 20.000, hoặc khoảng 2,5 eV. Trong cả hai trường hợp, năng lượng của một photon là rất bé tính theo thang vĩ mô, đây là lý do tại sao các photon hình như nhập vào nhau thành những luồng bức xạ liên tục.

Nhân tiện nói thêm, năng lượng trong các phản ứng hóa học thường là vào cỡ một electron - vôn mỗi nguyên tử hoặc mỗi electron. Ví dụ, để bứt một electron khỏi một nguyên tử hydro cần khoảng 13,6 electron - vôn, nhưng đó là một sự kiện hóa học mãnh liệt. Sự kiện photon trong ánh sáng mặt trời cũng có những năng lượng khoảng một electron - vôn là vô cùng quan trọng đối với chúng ta; đó là cái cho phép các photon đó tạo ra các phản ứng hóa học tối cần cho cuộc sống, như là sự quang hợp. Các năng lượng phản ứng hạt nhân thường vào cỡ một triệu electron - vôn mỗi hạt nhân nguyên tử, đó là lý do tại sao một pound (Pound: đơn vị khối lượng

Anh bằng 0, 454 kg (ND).) plutoni có năng lượng nổ của khoảng một triệu pound thuốc nổ TNT.

Cách mô tả bằng photon cho phép ta hiểu dễ dàng các tính chất định tính chủ yếu của bức xạ vật đen. Trước hết, những nguyên lý của cơ học thống kê cho ta biết rằng năng lượng của photon điển hình tỷ lệ với nhiệt độ, trong khi định luật Einstein cho ta biết rằng bước sóng nào của photon đều tỷ lệ nghịch với năng lượng photon. Từ đó, kết hợp cả hai định luật lại với nhau, bước sóng điển hình của photon trong bức xạ vật đen là tỷ lệ nghịch với nhiệt độ. Nói một cách định lượng, bước sóng điển hình mà gần đó đa số năng lượng của bức xạ vật đen được tập trung là 0, 29 cm ở nhiệt độ 1 K, và ở nhiệt độ cao hơn thì nhỏ hơn, một cách tỷ lệ.

Chẳng hạn một vật không trong suốt ở một nhiệt độ “phòng” bình thường 300 K (bằng 27 độ C) sẽ phát ra bức xạ vật đen với một bước sóng điển hình bằng 0,29 cm chia cho 300, nghĩa là khoảng một phần nghìn centimet. Đó là vào khoảng của bức xạ hồng ngoại và là một bước sóng quá dài mà mắt ta không trông thấy. Mặt khác, bề mặt của mặt trời ở một nhiệt độ khoảng 5800 K, và kết quả là ánh sáng mà nó phát ra sẽ mạnh nhất ở bước sóng khoảng 0,29 cm chia cho 5800, nghĩa là khoảng năm phần một trăm nghìn centimet (5×10 mũ âm 5 cm) hoặc tương đương, khoảng năm nghìn angstrom. (Một angstrom là một phần trăm triệu hoặc 10 mũ âm 8 xentimet). Như đã nói, đó là vào giữa khoảng bước sóng mà mắt ta có thể nhìn được, mà chúng ta gọi là bước sóng “thấy được”. Sự kiện các bước sóng quá ngắn cắt nghĩa vì sao mãi cho đến đầu thế kỷ thứ 19 ánh sáng mới được khám phá ra là có bản chất sóng; chỉ khi nào chúng ta quan sát ánh sáng đi qua những lỗ thật là bé thì ta mới có thể để ý đến những hiện tượng đặc trưng cho sự truyền sóng như hiện tượng nhiễu xạ.

Chúng ta cũng đã thấy rằng sự giảm mật độ năng lượng của bức xạ vật đen ở những bước sóng dài là do khó đặt bức xạ vào trong một thể tích mà kích thước nhỏ hơn bước sóng. Thực ra, khoảng cách trung bình giữa các photon trong bức xạ vật đen gần bằng bước sóng điển hình của photon. Nhưng chúng ta cũng đã thấy rằng bước sóng điển hình đó tỷ lệ nghịch với nhiệt độ, như vậy khoảng cách trung bình giữa các photon cũng tỷ lệ nghịch với nhiệt độ. Số vật thể mọi loại trong một thể tích nhất định tỷ lệ nghịch với lập phương của khoảng cách trung bình của chúng, do đó trong bức xạ vật đen, định luật là *số photon trong một thể tích cho trước tỷ lệ nghịch với lập phương nhiệt độ*.

Chúng ta có thể kết hợp những thông tin đó để rút ra một vài kết luận về lượng năng lượng trong bức xạ vật đen. Năng lượng mỗi lít, hoặc “mật độ năng lượng”, chỉ đơn giản là số photon mỗi lít nhân với năng lượng trung

bình của mỗi photon. Nhưng chúng ta đã thấy rằng số photon mỗi lít tỷ lệ với lập phương nhiệt độ trong khi năng lượng trung bình của photon chỉ đơn giản là tỷ lệ với nhiệt độ. Từ đó năng lượng mỗi lít trong bức xạ vật đen là tỷ lệ với lập phương nhiệt độ nhân với nhiệt độ, hoặc nói cách khác tỷ lệ với lũy thừa bốn nhiệt độ. Nói một cách định lượng, mật độ năng lượng của bức xạ vật đen là 4,72 electron - vôn mỗi lít ở nhiệt độ 1 K, 47.200 electron - vôn mỗi lít ở nhiệt độ 10 K, v. v... (Đây là định luật Stefan - Boltzmann). Nếu tiếng ồn sóng cực ngắn mà Penzias và Wilson đã khám phá được quả thực là bức xạ vật đen với nhiệt độ 3 K, thì mật độ năng lượng của nó phải là 4,72 electron - vôn mỗi lít nhân với ba mũ bốn, hoặc khoảng 380 electron - vôn mỗi lít. Khi nhiệt độ là một nghìn lần lớn hơn, thì mật độ năng lượng đã là một triệu (10 mũ 12) lần lớn hơn.

Bây giờ chúng ta có thể trở về nguồn gốc của bức xạ cực ngắn “tàn dư”. Chúng ta thấy rằng đã phải có một lúc vũ trụ nóng và có mật độ cao đến mức các nguyên tử đã bị phân tách ra thành các hạt nhân và các electron của chúng và sự tán xạ các photon bởi các electron tự do đã duy trì một cân bằng nhiệt giữa vật chất và bức xạ.

Thời gian trôi đi, vũ trụ giãn nở và lạnh đi đến lúc đạt một nhiệt độ (khoảng 3000 K) đủ lạnh để cho phép các hạt nhân và electron kết hợp thành nguyên tử. (Trong các sách về vật lý thiên văn, việc này thường được gọi là “sự tái hợp”, một danh từ đặc biệt không thích hợp, vì ở lúc ta đang xét thì các hạt nhân và electron trong lịch sử trước đó của vũ trụ chưa bao giờ được ghép thành nguyên tử!). Sự mất đi đột ngột các electron tự do làm gián đoạn sự tiếp xúc nhiệt giữa bức xạ và vật chất và bức xạ sau đó tiếp tục giãn nở một cách tự do.

Khi việc đó xảy ra, năng lượng trong trường hợp bức xạ ở những bước sóng khác nhau được quy định bởi các điều kiện cân bằng nhiệt, và do đó được cho bởi công thức vật đen của Planck ứng với một nhiệt độ bằng nhiệt độ của vật chất, khoảng 3000 K. Đặc biệt, bước sóng photon điển hình đã phải vào khoảng một micromet (một phần mười nghìn centimet, hoặc 10 000 angstrom) và khoảng cách trung bình giữa các photon đã vào cỡ bước sóng điển hình đó.

Việc gì đã xảy ra với các photon từ đó? Các photon riêng lẻ đã không được sinh ra hoặc hủy đi, do đó khoảng cách trung bình giữa các photon chỉ đơn giản tăng lên tỷ lệ với kích thước của vũ trụ, nghĩa là tỷ lệ với khoảng cách trung bình giữa các thiên hà điển hình. **Nhưng chúng ta đã thấy trong chương trước rằng tác dụng của dịch chuyển đỏ vũ trụ học là “kéo dài” bước sóng của mọi tia sáng trong khi vũ trụ giãn nở; như vậy, các bước sóng của mỗi một photon riêng lẻ cũng đơn giản tăng tỷ lệ với kích**

thước của vũ trụ. Do đó, các photon sẽ ở cách xa nhau một bước sóng điển hình đúng như đối với bức xạ vật đen. Quả thật, cứ tiếp tục lập luận đó một cách định lượng, người ta có thể chỉ rõ rằng bức xạ chứa đầy trong vũ trụ có thể tiếp tục được mô tả một cách chính xác bằng công thức vật đen của Planck, trong quá trình vũ trụ giãn nở, dù rằng bức xạ đó không còn ở trạng thái cân bằng nhiệt với vật chất nữa (xem chú thích toán học 4). Kết quả duy nhất của sự giãn nở là làm tăng bước sóng photon điển hình tỷ lệ với kích thước của vũ trụ. Nhiệt độ của bức xạ vật đen tỷ lệ nghịch với bước sóng điển hình, như vậy nó sẽ giảm trong khi vũ trụ giãn nở một cách tỷ lệ nghịch với kích thước của vũ trụ.

Chẳng hạn, Penzias và Wilson đã tìm thấy rằng cường độ của phong bức xạ cực ngắn mà họ đã phát hiện ứng với một nhiệt độ vào khoảng 3 K. Đó là con số có thể chờ đợi nếu vũ trụ đã nở ra gấp 1000 lần so với lúc nhiệt độ đã còn đủ cao (3000 K) để giữ vật chất và bức xạ ở cân bằng nhiệt. Nếu cách giải thích đó là đúng, thì phong vô tuyến 3 K là tín hiệu cổ xưa nhất mà các nhà thiên văn nhận được, vì nó đã được phát ra trước cả ánh sáng từ các thiên hà xa xăm nhất mà ta có thể nhìn thấy rất lâu.

Nhưng Penzias và Wilson đã đo cường độ của phong vô tuyến vũ trụ chỉ ở bước sóng 7,35 centimet mà thôi. Rõ ràng rất cần xét gấp để xem phải chăng sự phân bố năng lượng bức xạ theo bước sóng có được mô tả bằng công thức Planck về vật đen như người ta có thể mong đợi nếu quả thật nó là bức xạ tàn dư đã dịch chuyển về phía đỏ còn sót lại từ một thời kỳ nào đó mà vật chất và bức xạ của vũ trụ ở cân bằng nhiệt. Nếu như vậy thì “nhiệt độ tương đương” tính bằng cách làm khớp cường độ tiếng ồn vô tuyến quan sát được với công thức Planck phải có một giá trị như nhau ở mọi bước sóng 7,35 centimet mà Penzias và Wilson đã nghiên cứu.

Như ta đã thấy, ngay lúc Penzias và Wilson tiến hành sự khám phá của họ, đã có một cố gắng khác đang tiến hành ở New Jersey để phát hiện ra một phong bức xạ cực ngắn vũ trụ. Liên sau hai bản công bố đầu tiên của các nhóm ở các phòng thí nghiệm Bell và Princeton, Roll và Wilkinson đã loan báo kết quả riêng của họ: nhiệt độ tương đương của phong bức xạ ở bước sóng 3,2 centimet là ở giữa 2,5 và 3,5 K. Nghĩa là, với sai số của thí nghiệm, cường độ của phong vũ trụ ở bước sóng 3,2 centimet lớn hơn so với ở 7,35 centimet theo đúng tỷ lệ mà người ta có thể chờ đợi nếu bức xạ được mô tả bằng công thức Planck!

Từ 1965, cường độ của bức xạ tàn dư cực ngắn đã được các nhà thiên văn vô tuyến đo ở hơn một tá bước sóng từ 7,35 centimet đến 0,33 centimet. Mỗi phép đo này đều khớp với một phân bố năng lượng theo bước sóng của Planck, với một nhiệt độ giữa 2,7 K và 3 K.

Tuy nhiên, trước khi kết luận ngay rằng đó chính là bức xạ vật đen, ta phải nhớ rằng bước sóng “điển hình” mà ở đó phân bố Planck đạt cực đại, là 0,29 centimet. Như vậy tất cả các phép đo sóng cực ngắn đó đã được tiến hành ở về phía bước sóng dài của cực đại trên phân bố Planck. Nhưng ta đã thấy rằng độ tăng mật độ năng lượng khi bước sóng giảm ở phần này của phổ đúng là do khó đặt những bước sóng dài vào trong những thể tích nhỏ, và việc đó cũng sẽ xảy ra với một loạt lớn những trường bức xạ, kể cả bức xạ đã không được sản sinh ra trong điều kiện cân bằng nhiệt (các nhà thiên văn vô tuyến gọi phần này của phổ là vùng Rayleigh - Jeans, vì nó được Rayleigh và James Jeans phân tích đầu tiên). Để xác minh việc ta quả thật gặp bức xạ vật đen, cần phải vượt qua điểm cực đại trên phân bố Planck đến vùng bước sóng ngắn, và kiểm tra mật độ năng lượng có thực giảm khi bước sóng giảm, như thuyết lượng tử tiên đoán hay không. Với các bước sóng ngắn hơn 0,1 centimet, thực ra chúng ta đã ở ngoài phạm vi hoạt động của các nhà thiên văn đo sóng vô tuyến hay sóng cực ngắn, và rơi vào một ngành mới hơn là thiên văn hồng ngoại.

Tiếc thay bầu khí quyển của hành tinh chúng ta, hầu như trong suốt đối với các bước sóng trên 0,3 centimet, trở nên càng mờ đục đối với những bước sóng càng ngắn. Hình như khó có một đài thiên văn vô tuyến nào đặt trên mặt đất, dù xây cất trên núi cao, mà có thể đo thông bức xạ vũ trụ ở những bước sóng ngắn hơn 0,3 centimet.

Cũng khá lạ lùng là thông bức xạ đã được đo ở những bước sóng ngắn hơn khá lâu trước bất cứ công trình thiên văn nào nói ở chương này, và là do một nhà thiên văn quang học chứ không phải là một nhà thiên văn vô tuyến hay hồng ngoại! Trong chòm sao Ophiuchus (“Người mang rắn” hoặc “Xà phu”) có một đám mây khí giữa các ngôi sao, tình cờ nằm giữa quả đất và một ngôi sao nóng, song không có gì khác đáng để ý, Oph. Phổ của Oph có nhiều vạch đen không bình thường, chúng nói lên rằng đám khí đó hấp thụ ánh sáng ở nhiều bước sóng ngắn. Chúng là các bước sóng mà ở đó photon có đúng các năng lượng cần để cảm ứng những sự chuyển trong các phân tử của đám mây khí, từ những trạng thái năng lượng thấp đến những trạng thái có năng lượng cao hơn. (Các phân tử, cũng như nguyên tử, chỉ tồn tại ở những trạng thái gián đoạn hay có năng lượng được “lượng tử hóa”). Như vậy, bằng cách quan sát các bước sóng mà ở đó xuất hiện các vạch đen, có thể suy ra một cái gì đó về bản chất các phân tử này, và về các trạng thái của chúng.

Một trong những vạch hấp thụ trong phổ của Oph là ở bước sóng 3875 angstrom (38,75 phần triệu centimet), nó cho thấy trong đám mây giữa các ngôi sao tồn tại một phân tử, gọi là xian (CN), gồm một nguyên tử cacbon và

một nguyên tử nitơ. Nói một cách chặt chẽ, xian (CN) phải được gọi là một “gốc”, nghĩa là trong những điều kiện bình thường nó kết hợp nhanh chóng với những nguyên tử khác để tạo thành những phân tử bền hơn như chất độc axit xianhydric (HCN). Trong khoảng không giữa các vì sao, CN rất là bền).

Năm 1941, W. S. Adams và A. McKellar khám phá ra rằng vạch hấp thụ này thực ra là bị tách ra, gồm có ba thành phần với bước sóng 3874,608 angstrom, 3875,763 angstrom và 3873,998 angstrom. Bước sóng hấp thụ đầu ứng với sự chuyển động trong đó phân tử xian được nâng từ trạng thái năng lượng thấp nhất của nó (“trạng thái cơ bản”) lên một trạng thái dao động và được mong đợi cũng sẽ được tạo ra ngay khi xian ở nhiệt độ không. Tuy nhiên, hai vạch kia chỉ có thể được tạo nên bởi những sự chuyển động trong đó phân tử được nâng lên từ một trạng thái *quay* ở sát ngay trên trạng thái cơ bản đến nhiều trạng thái dao động khác. Như vậy, một tỷ lệ khá lớn của các phân tử xian trong đám mây nằm giữa các ngôi sao phải ở trạng thái quay đó. Bằng cách sử dụng hiệu năng lượng biết được giữa trạng thái cơ bản và trạng thái quay và các cường độ tỷ đối quan sát được của các vạch hấp thụ khác nhau, McKellar đã có thể nâng phân tử xian lên trạng thái quay.

Lúc đó không có lý do nào để liên hệ nhiều loạn bí mật đó với nguồn gốc vũ trụ, và việc này không được chú ý đến nhiều. Tuy nhiên, sau sự khám phá ra **phông bức xạ vũ trụ ở 3 K năm 1965**, người ta đã nhận thức được (George Field, E. S. Shklovsky và N. J. Woolf) rằng chính nó là **nhiều loạn quan sát được năm 1941**, nó đã làm quay các phân tử xian trong các đám mây Ophiuchus . Bước sóng của các photon bức xạ vật đen cần để tạo ra sự quay đó là 0,263 centimet, ngắn hơn bất cứ bước sóng nào mà ngành thiên văn vô tuyến có cơ sở đặt trên mặt đất có thể quan sát được, nhưng vẫn chưa đủ ngắn để thử nghiệm sự giảm nhanh bước sóng dưới 0,1 cm được chờ đợi cho một sự phân bố Plack ở 3 K.

Kể từ lúc đó đã có một sự tìm kiếm những vạch hấp thụ khác do sự kích thích các phân tử xian ở những trạng thái quay khác nhau. Quan sát năm 1974 về sự hấp thụ do trạng thái quay thứ hai của xian giữa các vì sao đã cho phép ước tính cường độ bức xạ ở bước sóng 0,132 centimet cũng ứng với nhiệt độ khoảng 3 K. Tuy nhiên, những quan sát như vậy cho đến đây mới chỉ cho những giới hạn trên về mật độ năng lượng bức xạ ở những bước sóng ngắn hơn 0,1 centimet. **Các kết quả đó thật là đáng phấn khởi, bởi vì chúng chỉ rõ rằng mật độ năng lượng bức xạ đúng là bắt đầu giảm nhanh chóng ở một bước sóng nào đó chung quanh 0,1 centimet, như người ta mong đợi nếu đó là bức xạ vật đen .** Tuy nhiên, những giới hạn trên này không cho phép ta kiểm tra rằng đó chính thật là bức xạ vật đen, hoặc xác định một nhiệt độ bức xạ chính xác.

Chỉ có thể giải quyết được vấn đề này bằng cách đưa một thiết bị thu hồng ngoại vượt ra khỏi khí quyển quả đất, hoặc bằng một khí cầu, hoặc bằng một tên lửa . Các thí nghiệm đó là vô cùng khó khăn và lúc đầu cho những kết quả mâu thuẫn nhau, khi thì khuyến khích những người ủng hộ mô hình vũ trụ học chuẩn, khi thì khuyến khích những người chống lại mô hình đó. Một nhóm sử dụng tên lửa ở Cornell đã tìm thấy nhiều bức xạ ở những bước sóng ngắn hơn là theo phân bố vật đen của Planck, trong khi đó một nhóm sử dụng khí cầu ở M. I. T. nhận được những kết quả phù hợp đại khái với những kết quả được chờ đợi đối với bức xạ vật đen. Cả hai nhóm tiếp tục công việc của họ và vào năm 1972 cả hai đều thông báo kết quả, chứng tỏ có một phân bố đen với một nhiệt độ gần 3 K. Năm 1976 một nhóm sử dụng khí cầu ở Berkeley cũng công nhận rằng mật độ năng lượng bức xạ tiếp tục hạ thấp đối với những bước sóng ngắn trong khoảng từ 0,25 centimet đến 0,06 centimet theo tính toán mong đợi đối với nhiệt độ 3 K, xê xích 0,1 K. Hiện nay hầu như có thể kết luận rằng phong bức xạ vũ trụ quả thực là bức xạ vật đen, với nhiệt độ gần 3 K.

Ở đây bạn đọc có thể tự hỏi tại sao vấn đề này không thể được kết luận bằng một cách đơn giản là đặt một thiết bị hồng ngoại trong một vệ tinh nhân tạo của quả đất lúc nào cũng sẵn sàng tiến hành những phép đo chính xác ở thật cao bên ngoài khí quyển của quả đất. Tôi không thật chắc tại sao việc này lại không thể làm được. Lý do thường đưa ra là để đo được nhiệt độ bức xạ thấp như 3 K, cần làm lạnh thiết bị bằng heli lỏng (một “tải lạnh”) và vấn đề mang một thiết bị làm lạnh như vậy trên một vệ tinh nhân tạo của quả đất chưa được giải quyết tốt về mặt kỹ thuật. Tuy nhiên, người ta đã không thể suy nghĩ được rằng những nghiên cứu “thực vũ trụ” như vậy xứng đáng được chia một phần lớn hơn ngân quỹ nghiên cứu vũ trụ.

Tầm quan trọng của việc tiến hành những quan sát ở bên ngoài khí quyển của quả đất lại càng được thấy rõ hơn khi ta xét phân bố phong bức xạ vũ trụ theo hướng cũng như theo bước sóng. Mọi quan sát cho đến đây phù hợp với một phong bức xạ hoàn toàn đẳng hướng, nghĩa là không phụ thuộc vào hướng. Như đã nói ở chương trên, đó là một trong những bằng chứng mạnh nhất bên vực cho nguyên lý vũ trụ học. Tuy nhiên, rất khó mà phân biệt được một sự phụ thuộc vào hướng có thể có được của bản thân phong bức xạ vũ trụ với một sự phụ thuộc vào hướng chỉ do tác động của khí quyển quả đất; quả thực trong các phép đo nhiệt độ phong bức xạ, phong bức xạ được phân biệt với bức xạ khí quyển quả đất bằng cách cho rằng nó là đẳng hướng.

Điều làm cho sự phụ thuộc hướng của phong bức xạ cực ngắn thành ra một vấn đề nghiên cứu hấp dẫn như vậy là cường độ bức xạ này

không được coi là hoàn toàn đẳng hướng . Có thể có những thăng giáng của cường độ với những thay đổi nhỏ về hướng, phát sinh ra bởi sự “không thật tròn trĩnh” của vũ trụ hoặc vào lúc bức xạ được phát ra hoặc từ lúc đó. Chẳng hạn, các thiên hà trong những thời kỳ tạo thành đầu tiên có thể hiện ra như những vết nóng trên bầu trời, với một nhiệt độ vật đen cao hơn trung bình một chút, lan rộng khoảng trên nửa phút cung. Thêm vào đó hầu như chắc chắn có một biến thiên nhỏ nhẹ của cường độ bức xạ quanh khắp bầu trời, gây ra bởi sự chuyển động của quả đất xuyên qua vũ trụ. Quả đất đi quanh mặt trời với tốc độ 30 kilômet mỗi giây, và hệ mặt trời được kéo theo sự quay của thiên hà của chúng ta với một tốc độ khoảng 250 kilômet mỗi giây. Không ai biết rõ vận tốc của thiên hà chúng ta so với sự phân bố các thiên hà điển hình trong vũ trụ, nhưng có thể cho rằng nó chuyển động vài trăm kilômet mỗi giây theo một hướng nào đó. Nếu, chẳng hạn, ta giả thiết rằng quả đất chuyển động với một vận tốc 300 kilômet mỗi giây so với vật chất của vũ trụ, và từ đó so với photon bức xạ, thì bước sóng của bức xạ đi đến ta ngược chiều hoặc cùng chiều chuyển động của quả đất phải tương ứng giảm hoặc tăng theo tỷ lệ giữa 300 kilômet mỗi giây và vận tốc ánh sáng, hoặc 0,1 phần trăm. **Như vậy, nhiệt độ bức xạ tăng tương đương phải biến thiên nhẹ theo hướng, nó vào khoảng 0,1 phần trăm cao hơn trung bình theo hướng ngược chiều chuyển động của quả đất và vào khoảng 0,1 phần trăm thấp hơn trung bình theo hướng cùng chiều chuyển động của quả đất** .

Trong những năm cuối gần đây giới hạn trên tốt nhất về một sự phụ thuộc vào hướng nào đó của nhiệt độ bức xạ tương đương là đúng vào khoảng 0,1 phần trăm, như vậy, chúng ta đang ở trong tình trạng khổ sở là có thể phân nào nhưng không hoàn toàn đo được vận tốc chuyển động của quả đất xuyên qua vũ trụ. Không thể giải quyết được vấn đề này cho đến khi các phép đo được tiến hành từ những vệ tinh bay quanh quả đất. (Khi chữa lần cuối cùng sách này, tôi đã nhận được bản tin tức số 1 về vệ tinh thám hiểm photon vũ trụ của John Mather ở N. A. S. A (“Cơ quan quốc gia nghiên cứu về vũ trụ và hàng không” của Mỹ (ND)). Nó thông báo sự bổ nhiệm một đội gồm sáu nhà khoa học dưới sự lãnh đạo của Rainier Weiss ở M. I. T., để nghiên cứu một phép đo khả dĩ về photon bức xạ cực ngắn và hồng ngoại từ khoảng không vũ trụ. Chúc họ thành công!).

Chúng ta đã nói rằng photon bức xạ cực ngắn vũ trụ cho một bằng chứng mạnh mẽ rằng đã có lúc bức xạ và vật chất của vũ trụ ở trong một trạng thái cân bằng nhiệt. Tuy nhiên, chúng ta vẫn chưa kết luận gì sâu sắc về mặt vũ trụ học từ trị số quan sát được của nhiệt độ bức xạ tương đương, 3 K. Thực ra, nhiệt độ bức xạ này cho phép ta xác định con số trọng yếu nhất mà chúng ta cần để theo dõi lịch sử của ba phút đầu tiên.

Như ta đã thấy, ở bất kỳ nhiệt độ nào đã cho trước số photon trong một đơn vị thể tích là tỷ lệ nghịch với lập phương bước sóng điển hình, và do đó tỷ lệ thuận với lập phương nhiệt độ. Với một nhiệt độ chính xác là 1 K sẽ có 20282,9 photon mỗi lít do đó phong bức xạ 3 K chứa khoảng 550000 photon mỗi lít. Tuy nhiên, mật độ của các hạt nhân (notron và proton) trong vũ trụ hiện nay là ở đâu đây giữa 6 và 0,03 hạt mỗi nghìn lít. (Giới hạn trên là gấp đôi mật độ tới hạn thảo luận ở chương II; giới hạn dưới là một số phỏng đoán thấp về mật độ hiện quan sát được ở các thiên hà nhìn thấy). Như vậy, tùy theo giá trị thực của mật độ hạt, có vào khoảng giữa 100 triệu và 20 nghìn triệu photon đối với mỗi hạt nhân trong vũ trụ hiện nay.

Hơn nữa, tỷ lệ to lớn này của photon trên hạt nhân đã gần như là hằng số trong một thời gian rất dài. Suốt trong thời kỳ mà bức xạ đã giãn nở tự do (từ khi nhiệt độ tụt xuống dưới khoảng 3000 K), các photon của phong và các hạt nhân đã không được sinh ra mà cũng không bị hủy đi, cho nên tỷ lệ giữa chúng đương nhiên vẫn không đổi. Ta sẽ thấy trong chương sau rằng tỷ lệ đó gần như không đổi, ngay cả trước đó, khi mà những photon riêng lẻ được hình thành và bị hủy đi.

Đó là kết luận định lượng quan trọng nhất có thể rút ra từ những phép đo về phong bức xạ cực ngắn - nhìn ngược lại về quá khứ xa xăm nhất của quả đất, đã có tỷ lệ từ 100 triệu đến 20.000 triệu photon trên mỗi notron hoặc proton. Để cho khỏi lập lờ một cách không cần thiết, tôi sẽ lấy tròn con số này trong các lập luận sau, và giả thiết (để minh họa) rằng bây giờ có và trước kia đã có đúng 1000 triệu photon cho mỗi hạt nhân, trong các phần trung bình của vũ trụ.

Một hệ quả rất quan trọng của kết luận này là sự tách vật chất thành các thiên hà và các vì sao đã chưa thể bắt đầu được cho đến khi nhiệt độ vũ trụ hạ xuống đến mức các electron có thể bị bắt để tạo thành các nguyên tử. Để cho lực hấp dẫn có thể tạo ra sự kết khối vật chất thành những mảng riêng lẻ mà Newton đã hình dung, thì lực hấp dẫn phải thắng áp suất của vật chất và bức xạ liên kết. Lực hấp dẫn ở trong mỗi khối mới hình thành tăng theo kích thước của khối, trong khi áp suất không phụ thuộc vào kích thước; do đó ở mỗi áp suất và mật độ cho trước, có một khối lượng tối thiểu có thể gây ra sự “kết khối” do hấp dẫn. Khối lượng này được gọi là “khối lượng Jeans”, bởi vì nó được James Jeans đưa vào đầu tiên trong các thuyết về sự hình thành các ngôi sao năm 1902. Khối lượng Jeans lại tỷ lệ với lũy thừa $3/2$ của áp suất (xem chú thích toán học 5). Đúng trước khi các electron bắt đầu bị bắt để tạo các nguyên tử, ở một nhiệt độ khoảng 3000 K, áp suất của bức xạ rất là to lớn, và khối lượng Jeans do đó lớn một cách tương ứng, khoảng một triệu lần lớn hơn khối lượng của một thiên hà lớn.

Không có thiên hà nào và cũng chẳng có chòm thiên hà nào đủ lớn để được hình thành lúc đó. Tuy nhiên, một thời gian ngắn sau đó các electron kết hợp với các hạt nhân để tạo thành nguyên tử; khi những electron tự do mất đi, vũ trụ trở thành trong suốt đối với bức xạ; và như vậy áp suất bức xạ trở thành vô hiệu. Ở một nhiệt độ và mật độ cho trước, áp suất của vật chất hoặc bức xạ chỉ đơn giản là tỷ lệ với số hạt hoặc photon, như vậy khi áp suất bức xạ trở thành vô hiệu thì áp suất hiệu dụng toàn phần tụt xuống khoảng một nghìn triệu lần. Khối lượng Jeans giảm xuống một nghìn triệu mũ “ba phân hai” lần, thành khoảng một phần triệu khối lượng của một thiên hà. Từ lúc đó về sau, áp suất vật chất tự nó quá yếu nên không thể chống lại sự kết khối của vật chất thành các thiên hà mà ta thấy trên bầu trời.

Điều này vẫn chưa nói lên rằng chúng ta thực sự hiểu các thiên hà được hình thành như thế nào. Lý thuyết về sự hình thành các thiên hà là một trong những bài toán hóc búa nhất của vật lý thiên văn, một bài toán mà hiện nay hình như còn lâu mới giải được. Nhưng đó lại là chuyện khác. Đối với ta, điều quan trọng là trong vũ trụ sơ khai, ở những nhiệt độ trên khoảng 3000 K, vũ trụ không phải bao gồm các thiên hà và các vì sao mà ta thấy trên bầu trời hiện nay, mà chỉ là một thứ xúp vật chất và bức xạ đã được ion hóa và không phân biệt được.

Một hệ quả quan trọng khác của tỷ lệ lớn photon trên hạt hạt nhân là chắc đã có lúc, tương đối không xa trong quá khứ, mà năng lượng bức xạ đã là lớn hơn năng lượng chứa trong vật chất vũ trụ. Năng lượng chứa trong khối lượng của một hạt nhân, được cho bởi công thức Einstein $E = mc^2$, vào khoảng 939 triệu electron - vôn. Năng lượng trung bình của một photon trong bức xạ vật đen ở 3 K là nhỏ hơn nhiều, khoảng 0,0007 electron - vôn, do đó dù rằng với 1000 triệu photon mỗi neutron hoặc proton, đa số năng lượng của vũ trụ hiện nay là dưới dạng vật chất chứ không phải bức xạ. Tuy nhiên, xưa kia nhiệt độ cao hơn, cho nên năng lượng của mỗi photon cao hơn, trong khi năng lượng trong một neutron hoặc photon luôn luôn không đổi. Với 1000 triệu photon cho mỗi hạt nhân, để cho năng lượng bức xạ vượt qua năng lượng vật chất, chỉ cần năng lượng trung bình của một photon vật đen lớn hơn khoảng một phần nghìn triệu năng lượng của khối lượng một hạt nhân, hoặc khoảng một electron - vôn. Đây là trường hợp nhiệt độ lúc vào khoảng 1300 lần lớn hơn bây giờ, nghĩa là vào khoảng 4000 K. Nhiệt độ đó đánh dấu sự chuyển tiếp giữa một “thời đại bức xạ ngự trị”, trong đó phần lớn năng lượng của vũ trụ ở dưới dạng bức xạ, và “thời đại vật chất ngự trị” hiện nay, trong đó phần lớn năng lượng nằm trong khối lượng của các hạt hạt nhân.

Thật là đáng ngạc nhiên rằng sự chuyển tiếp giữa một vũ trụ bức xạ ngự

trị đến một vũ trụ vật chất ngưng tụ đã xảy ra đúng khoảng lúc mà các phần của vũ trụ trở nên trong suốt cho bức xạ ở vào khoảng 3000 K. Không ai biết thật rõ tại sao nó phải là như vậy, dù rằng đã có những gợi ý hấp dẫn. Ta cũng không biết rõ sự chuyển tiếp nào xảy ra đầu tiên: nếu lúc đó có 10.000 triệu photon cho mỗi hạt hạt nhân thì bức xạ đã tiếp tục thắng vật chất cho đến khi nhiệt độ hạ xuống 400 K, mãi lâu sau khi các phần của vũ trụ trở nên trong suốt.

Các sự không chắc chắn này sẽ không có ảnh hưởng đến câu chuyện của chúng ta về vũ trụ sơ khai. Điều quan trọng đối với chúng ta là ở bất cứ lúc nào lâu trước khi các phần của vũ trụ trở thành trong suốt, vũ trụ đã có thể xem như chủ yếu bao gồm bức xạ, chỉ “nhiễm” một chút ít vật chất. Mật độ năng lượng to lớn của bức xạ trong vũ trụ sơ khai bị mất đi do sự dịch chuyển của bước sóng của các photon về phía đỏ trong khi vũ trụ giãn nở, làm cho sự nhiễm hạt hạt nhân và electron lớn lên, tạo nên các vì sao và các tảng đá và các sinh vật lớn của vũ trụ hiện nay.

IV - Một "toa" cho vũ trụ nóng

Các quan sát thảo luận trong hai chương vừa qua đã phát hiện ra rằng vũ trụ đang giãn nở, và nó chứa đầy một phong bức xạ ở khắp mọi nơi, hiện nay ở nhiệt độ khoảng 3 K. Bức xạ đó có vẻ là còn rơi rớt lại từ một thời kỳ là vũ trụ quả thực là “đục”, khi nó vào khoảng 1000 lần bé hơn và nóng hơn hiện nay. (Luôn luôn nhớ là khi ta nói rằng vũ trụ 1000 lần bé hơn hiện nay, ta đơn giản chỉ muốn nói rằng khoảng cách giữa bất cứ cặp hạt điển hình nào cho trước lúc đó cũng là 1000 lần bé hơn hiện nay). Để xem như một sự chuẩn bị cuối cùng cho câu chuyện “Ba phút đầu tiên” của ta, ta phải nhìn lại những thời kỳ còn xưa hơn, khi vũ trụ còn bé hơn và nóng hơn nữa kia, bằng cách sử dụng nhãn quan lý thuyết, chứ không phải những kính thiên văn quang học hay vô tuyến để xem xét các điều kiện vật lý ngự trị lúc đó.

Vào cuối chương III, ta lưu ý rằng khi vũ trụ bé hơn hiện nay 1000 lần, và các phần vật chất của nó sắp thành trong suốt cho bức xạ thì vũ trụ cũng chuyển từ thời kỳ bức xạ ngự trị sang thời kỳ vật chất ngự trị hiện nay. Trong thời kỳ bức xạ ngự trị, không những chỉ có số lượng to lớn photon cho mỗi hạt nhân như số hiện có ngày nay, mà năng lượng của các photon riêng lẻ đã đủ cao để cho phần lớn năng lượng của vũ trụ ở dưới dạng bức xạ, chứ không phải dạng khối lượng. (Nhớ rằng photon là những hạt hoặc “lượng tử” mà từ đó, theo thuyết lượng tử, ánh sáng được hợp thành). Do đó, có thể là một sự gần đúng khá tốt nếu xem vũ trụ trong thời kỳ đó như thể chỉ chứa bức xạ mà thôi, căn bản không có vật chất.

Một sự nhận xét quan trọng phải được đưa trong khi phát biểu kết luận này. **Ta sẽ thấy trong chương này rằng thời kỳ bức xạ đơn thuần chỉ bắt đầu sau vài phút đầu tiên, khi nhiệt độ hạ xuống dưới vài nghìn triệu độ Kelvin. Ở những thời kỳ trước đó, vật chất đã là quan trọng, nhưng vật chất ở dưới một dạng rất khác dạng hiện nay của vũ trụ.** Tuy nhiên, trước khi chúng ta nhìn lại một quá khứ xa như vậy, trước tiên ta hãy xét vấn đề thời kỳ bức xạ thực sự, từ vài phút đầu tiên cho đến vài trăm nghìn năm sau khi vật chất lại trở thành quan trọng hơn bức xạ.

Để theo dõi lịch sử vũ trụ trong thời kỳ đó, tất cả những cái gì chúng ta cần biết là mọi vật như thế nào ở một thời điểm bất kỳ cho trước. Hoặc nói cách khác, trong khi vũ trụ giãn nở, nhiệt độ liên hệ với kích thước của vũ trụ như thế nào?

Sẽ dễ trả lời câu hỏi này nếu có thể coi bức xạ là được giãn nở tự do. Bước sóng của mỗi photon đơn giản bị kéo dài (do sự dịch chuyển đỏ) tỷ lệ với kích thước của vũ trụ, trong khi vũ trụ giãn nở. Hơn nữa, ta đã thấy ở chương trên rằng bước sóng trung bình của bức xạ vật đen tỷ lệ nghịch với nhiệt độ của nó. Như vậy nhiệt độ phải giảm tỷ lệ nghịch với kích thước của vũ trụ như hiện nay đang xảy ra.

May thay cho nhà vũ trụ học lý thuyết, mối liên hệ đơn giản đó cũng đúng ngay khi bức xạ đã không giãn nở tự do - những va chạm nhanh giữa photon và một số đối tượng nhỏ electron và hạt nhân làm đục các thành phần của vũ trụ suốt trong thời kỳ bức xạ ngự trị. Trong khi một photon chuyển động tự do giữa các lần va chạm, bước sóng của nó phải tăng tỷ lệ với kích thước của vũ trụ, và đã có nhiều photon cho mỗi hạt đến mức các va chạm quả đã buộc nhiệt độ của vật chất phải đi theo nhiệt độ của bức xạ, chứ không phải ngược lại. Như vậy, chẳng hạn, vũ trụ bé hơn hiện nay mười nghìn lần, thì nhiệt độ sẽ phải cao hơn hiện nay một cách tỷ lệ, hoặc khoảng 3000 K. Điều này càng đúng trong thời kỳ “bức xạ ngự trị” thực sự.

Cuối cùng, khi ta nhìn càng xa về quá khứ của lịch sử vũ trụ thì ta sẽ gặp thời điểm mà nhiệt độ cao đến mức các va chạm giữa các photon với nhau có thể tạo ra các hạt vật chất từ năng lượng đơn thuần. Chúng ta sẽ thấy rằng các hạt được tạo thành như vậy từ năng lượng bức xạ đơn thuần trong mấy phút đầu tiên cũng quan trọng như bức xạ, cả trong việc quy định tốc độ của các phản ứng hạt nhân cũng như trong việc quy định tốc độ giãn nở của bản thân vũ trụ. Do đó, để theo dõi các biến cố trong những thời kỳ thực sự sơ khai nhất, ta cần phải biết vũ trụ phải nóng đến mức nào để tạo nên những số lượng lớn hạt vật chất từ năng lượng bức xạ, và bao nhiêu hạt đã được tạo nên như vậy.

Quá trình làm cho vật chất được tạo nên từ bức xạ có thể dễ hiểu nhất theo bức tranh lượng tử về ánh sáng. Hai lượng tử bức xạ, hoặc photon, có thể va chạm và biến mất, toàn bộ năng lượng và xung lượng của chúng tạo nên hai hạt vật chất hoặc nhiều hơn. (Quá trình này thực sự được quan sát một cách gián tiếp trong những phòng thí nghiệm vật lý hạt nhân năng lượng cao hiện nay). Tuy nhiên, thuyết tương đối hẹp của Einstein nói rằng một hạt vật chất dù là ở trạng thái tĩnh cũng sẽ cũng sẽ có một “năng lượng nghỉ” nào đó, cho bởi công thức nổi tiếng $E = mc^2$. (ở đây c là vận tốc ánh sáng. Đây là nguồn gốc của năng lượng được giải phóng trong các phản ứng hạt nhân, trong đó một phần khối lượng của các hạt nhân nguyên tử bị hủy). Từ đó, để cho hai photon tạo nên hai hạt vật chất có khối lượng m trong một va chạm trực diện, năng lượng của mỗi photon ít nhất phải bằng năng lượng nghỉ mc^2 của mỗi hạt. Phản ứng vẫn xảy ra nếu năng lượng của

các photon riêng lẻ lớn hơn mc^2 ; năng lượng đôi sẽ chỉ cho các hạt năng lượng vật chất một vận tốc cao. Tuy nhiên, những hạt có khối lượng m không thể được tạo nên trong các va chạm của hai photon nếu năng lượng của chúng thấp hơn mc^2 , vì khi đó không đủ năng lượng để tạo nên dù là khối lượng của các hạt đó.

Cố nhiên, để xét hiệu lực của bức xạ trong việc tạo nên các hạt vật chất, ta phải biết năng lượng đặc trưng của các photon riêng lẻ trong trường bức xạ. Năng lượng này có thể được ước tính khá đúng, đủ cho mục đích của ta, bằng cách đơn giản: để tìm ra năng lượng đặc trưng của photon, chỉ cần nhân nhiệt độ của bức xạ với một hằng số cơ bản của cơ học thống kê, gọi là hằng số Boltzmann. (Ludwig Boltzmann cùng với Willard Gibbs người Mỹ là những người sáng tạo nên cơ học thống kê hiện đại. Việc ông tự tử năm 1906 được coi ít nhất một phần là do sự chông đoi có tính chất triết học đối với công trình của ông, nhưng tất cả các tranh luận này đã kết thúc từ lâu). Giá trị của hằng số Boltzmann là 0,00008617 electron - vôn mỗi độ Kelvin. Chẳng hạn ở nhiệt độ 3000 K, khi các phân của vũ trụ bắt đầu trở nên trong suốt, năng lượng đặc trưng của mỗi photon là vào khoảng 300 K nhân với hằng số Boltzmann hoặc 0,26 electron - vôn. Nhớ rằng một electron - vôn là năng lượng mà một electron thu được khi chuyển động qua một hiệu điện thế một vôn. Năng lượng của các phản ứng thông thường vào cỡ một electron - vôn mỗi nguyên tử; đây là lý do tại sao bức xạ ở trên 3000 K là đủ nóng để giữ cho một tỷ lệ khá lớn electron khỏi bị bắn vào các nguyên tử.

Chúng ta đã thấy là để tạo nên hạt vật chất có khối lượng m trong các va chạm giữa các photon, năng lượng đặc trưng của photon phải ít nhất bằng năng lượng mc^2 của các hạt ở trạng thái nghỉ. Do năng lượng đặc trưng của photon là nhiệt độ nhân với hằng số Boltzmann, nên nhiệt độ của bức xạ phải ít nhất là vào cỡ năng lượng nghỉ mc^2 chia cho hằng số Boltzmann. Như vậy là với mỗi loại hạt vật chất có một “nhiệt độ ngưỡng” tính ra bằng năng lượng nghỉ mc^2 chia cho hằng số Boltzmann, nó phải đạt được trước khi hạt loại đó có thể tạo nên từ năng lượng bức xạ.

Chẳng hạn, hạt vật chất nhẹ nhất được biết đến là electron e^- và pôzitron e^+ . Pôzitron là phản hạt của electron - nghĩa là nó có điện tích ngược dấu (dương chứ không phải âm) nhưng cùng khối lượng và spin. Khi một pôzitron va chạm với một electron, các điện tích có thể bị hủy, còn năng lượng trong khối lượng của hai hạt hiện ra dưới dạng bức xạ đơn thuần. Việc này cố nhiên là lý do tại sao pôzitron hiếm như vậy trong đời sống thông thường - chúng không thể sống lâu lắm trước khi tìm được và bị hủy diệt. (Pôzitron được khám phá ra năm 1932 trong tia vũ trụ). Quá trình hủy cũng có thể diễn ra ngược lại - hai photon với năng lượng vừa đủ có thể va chạm

và tạo nên một cặp electron - pôzitron, năng lượng của các photon đã được chuyển thành khối lượng của electron và pôzitron.

Để cho hai photon có thể tạo nên một electron và một pôzitron trong một va chạm trực diện, năng lượng của mỗi photon phải vượt “năng lượng nghỉ” mc^2 trong khối lượng của một electron hoặc một pôzitron. Năng lượng đó là 0,511003 triệu electron - vôn. Để tìm ra nhiệt độ ngưỡng mà ở đó photon có nhiều xác suất có năng lượng đó, ta chia năng lượng cho hằng số Boltzmann (0,00008 617 electron - vôn mỗi độ Kelvin) và tìm ra một nhiệt độ ngưỡng là 6 nghìn triệu độ Kelvin (6×10^9 K). Ở bất kỳ nhiệt độ nào cao hơn, electron và pôzitron cũng phải được tạo nên một cách dễ dàng trong những va chạm giữa các photon với nhau, và do đó chắc đã phải tồn tại với số lượng rất lớn.

(Nhân tiện nói thêm, nhiệt độ ngưỡng 6×10^9 K mà ta đã suy ra để cho electron và pôzitron được tạo nên từ bức xạ lớn hơn rất nhiều so với bất cứ nhiệt độ nào mà ta thường gặp trong vũ trụ hiện nay. Ngay cả trung tâm mặt trời cũng chỉ ở một nhiệt độ khoảng 15 triệu độ. Đó là lý do tại sao ta không thấy electron và pôzitron xuất hiện từ không gian trống rỗng mỗi khi ánh sáng trói lên).

Những nhận xét tương tự cũng đúng cho mỗi loại hạt. Đây là một quy luật cơ bản của vật lý học hiện đại: ứng với mỗi loại hạt trong tự nhiên đều có một “phản hạt” tương ứng, với đúng khối lượng và spin đó, nhưng với điện tích ngược dấu. Ngoại lệ duy nhất là đối với những hạt hoàn toàn trung hòa nào đó, như là bản thân photon, mà ta có thể coi là phản hạt của chính chúng. Liên hệ giữa hạt và phản hạt là hai chiều: pôzitron là phản hạt của electron và electron là phản hạt của pôzitron. Cho đủ năng lượng luôn luôn có thể tạo nên mọi loại cặp hạt - phản hạt trong va chạm của những cặp photon.

(Sự tồn tại của phản hạt là một hệ quả toán học trực tiếp của các nguyên lý của cơ học lượng tử và của lý thuyết tương đối hẹp của Einstein. Sự tồn tại phản electron đã được suy ra đầu tiên từ lý thuyết bởi Paul Adrian Maurice Dirac vào năm 1930. Vì không muốn đưa vào lý thuyết của mình một hạt chưa biết đến, ông đã đồng nhất hóa phản electron với hạt mang điện dương duy nhất được biết lúc đó là proton. Sự khám phá ra pôzitron năm 1932 đã xác nhận thuyết về các phản hạt của electron, nó có phản hạt riêng của nó, phản proton, được khám phá ra tại Berkeley trong những năm 1950).

Những hạt loại nhẹ nhất tiếp theo sau electron và pôzitron là muon hoặc μ^- , một loại electron nặng không bền, và phản hạt của nó, μ^+ . Cũng giống như đối với electron và pôzitron, μ^- và μ^+ có điện tích ngược dấu nhưng khối lượng bằng nhau, và có thể được tạo nên trong những va chạm giữa các

photon với nhau. μ^- và μ^+ đều có một năng lượng nghỉ mc^2 bằng 105,6596 triệu electron và chia cho hằng số Boltzmann, nhiệt độ ngưỡng tương ứng là 1,2 triệu triệu độ ($1,2 \times 10^{12}$ K). Những nhiệt độ ngưỡng tương ứng với những hạt khác được ghi ở bảng 1. Xem kỹ bảng này ta có thể nói loại hạt nào có nhiều ở những thời kỳ khác nhau trong lịch sử vũ trụ; chúng chính là các hạt mà nhiệt độ ngưỡng thấp hơn nhiệt độ của vũ trụ lúc đó.

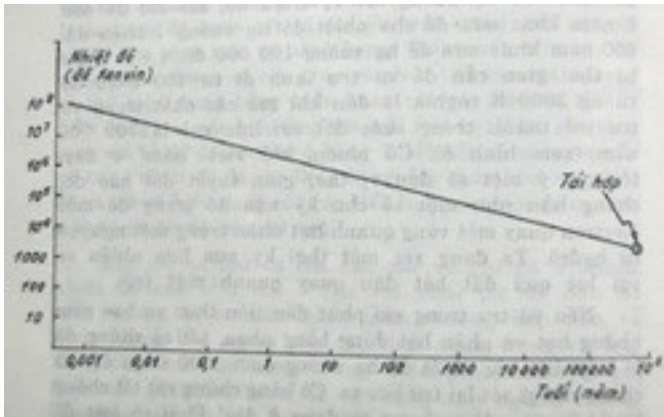
Có bao nhiêu hạt vật chất đó thực sự đã tồn tại ở những nhiệt độ trên nhiệt độ ngưỡng? Ở điều kiện nhiệt độ và mật độ cao ngự trị trong vũ trụ sơ khai, số hạt được suy từ điều kiện cơ bản của cân bằng nhiệt: số hạt phải đủ lớn để cho số bị hủy mỗi giây đúng bằng số được tạo nên. (Nghĩa là cầu bằng cung). Xác suất hủy một cặp hạt - phản hạt nào đó đã cho thành ra hai photon là xấp xỉ bằng xác suất mà một cặp photon nào đó đã cho có cùng năng lượng tạo thành chính hạt và phản hạt này. Do đó điều kiện cân bằng nhiệt đòi hỏi số hạt mỗi loại, mà nhiệt độ ngưỡng ở dưới nhiệt độ thực sự lúc đó, phải xấp xỉ bằng số photon. Nếu có ít hạt hơn photon, chúng sẽ được tạo nên nhanh hơn là bị hủy diệt và số lượng chúng sẽ tăng lên, nếu có nhiều hạt hơn photon, chúng sẽ bị hủy diệt nhanh hơn là được tạo nên, và số lượng chúng sẽ giảm. Chẳng hạn ở những nhiệt độ trên nhiệt độ ngưỡng 6.000 triệu độ, số electron và pôzitron phải xấp xỉ bằng số photon và những lúc đó có thể xem vũ trụ như bao gồm chủ yếu photon, electron và pôzitron, chứ không chỉ có photon.

Tuy nhiên, ở những nhiệt độ ở trên độ ngưỡng, một hạt vật chất diễn biến rất giống một photon. Năng lượng trung bình của nó là xấp xỉ bằng nhiệt độ nhân với hằng số Boltzmann, cho nên trên nhiệt độ ngưỡng năng lượng trung bình của nó lớn hơn nhiều so với năng lượng trong khối lượng của hạt, và khối lượng có thể được bỏ qua. Trong những điều kiện như vậy, áp suất và mật độ năng lượng do những hạt vật chất thuộc một loại nào đó đóng góp chỉ là tỷ lệ với lũy thừa bốn của nhiệt độ, đúng như đối với photon. **Như vậy, ta có thể suy nghĩ về vũ trụ ở một thời gian nào đó như là bao gồm một số kiểu “bức xạ”, một kiểu cho mỗi loại hạt mà nhiệt độ ngưỡng ở dưới nhiệt độ vũ trụ lúc đó.** Đặc biệt, mật độ năng lượng của vũ trụ bất cứ lúc nào đúng tỷ lệ với lũy thừa bốn của nhiệt độ và số loại hạt mà nhiệt độ ngưỡng ở dưới nhiệt độ vũ trụ học lúc đó. Những điều kiện loại đó, với những nhiệt độ cao đến nỗi những cặp hạt - phản hạt là nhiều như proton trong cân bằng nhiệt, không tồn tại bất cứ ở đâu trong vũ trụ hiện nay, trừ có thể ở nhân các vì sao đang bùng nổ. Tuy nhiên ta đã đủ tin tưởng ở kiến thức của ta về cơ học thống kê để yên trí mà xây dựng những thuyết về những cái đã phải xảy ra trong những điều kiện lạ lùng như vậy trong vũ trụ sơ khai.

Nói cho chính xác, ta phải nhớ rằng một phản hạt như pôzitron (e^+) được

kê như là một loại riêng biệt. Các hạt như photon và electron cũng tồn tại ở hai trạng thái khác nhau về spin, chúng có thể coi như những loại riêng biệt. Cuối cùng, những hạt như electron (nhưng không phải photon) tuân theo một định luật đặc biệt, “nguyên lý loại trừ Pauli”, cấm hai hạt ở một trạng thái như nhau; luật này làm giảm một cách có hiệu quả sự đóng góp của chúng vào mật độ năng lượng toàn phần tới 7/8 lần. (Chính nguyên lý loại trừ đã ngăn tất cả các electron trong một nguyên tử rơi vào cùng một vỏ năng lượng thấp nhất; như vậy nó chịu trách nhiệm về cấu trúc vỏ phức tạp của các nguyên tử thể hiện trong bảng tuần hoàn của các nguyên tố). Số hiệu dụng của các kiểu ứng với mỗi loại hạt được ghi song song với nhiệt độ ngưỡng ở bảng 1. Mật độ năng lượng của vũ trụ ở nhiệt độ đã cho là tỷ lệ với lũy thừa bốn của nhiệt độ và với số *hiệu dụng* của các kiểu hạt mà nhiệt độ ngưỡng ở dưới nhiệt độ của vũ trụ.

Bây giờ ta thử tự hỏi khi nào vũ trụ đã ở những nhiệt độ cao như thế? Cái chi phối tốc độ giãn nở của vũ trụ là sự cân bằng giữa trường hấp dẫn và xung lượng bên ngoài của các chất chứa trong vũ trụ. Và chính mật độ năng lượng toàn phần của photon, electron, pôzitron, v. v... là cái cung cấp nguồn trường hấp dẫn của vũ trụ ở các thời kỳ sơ khai. Ta đã thấy rằng mật độ năng lượng của vũ trụ chỉ phụ thuộc chủ yếu vào nhiệt độ, nên nhiệt độ vũ trụ có thể được dùng như một loại đồng hồ ngày càng lạnh đi chứ không phải kêu tích tắc trong khi vũ trụ giãn nở. Nói rõ hơn, có thể chứng minh rằng thời gian cần để mật độ năng lượng của vũ trụ giảm từ một trị số này đến một trị số khác là tỷ lệ với hiệu các số nghịch đảo của căn hai của các mật độ năng lượng (xem chú thích toán học 3). Nhưng ta đã thấy rằng mật độ năng lượng tỷ lệ với lũy thừa bốn của nhiệt độ và với số loại hạt có nhiệt độ ngưỡng thấp hơn nhiệt độ hiện hành. Do đó, cho đến khi nhiệt độ không đi qua những giá trị “ngưỡng” nào đó, *thời gian cần cho vũ trụ để lạnh đi từ một nhiệt độ này đến một nhiệt độ khác là tỷ lệ với hiệu của các nghịch đảo của bình phương của những nhiệt độ đó*. Chẳng hạn, nếu ta bắt đầu từ một nhiệt độ 100 triệu độ (rất thấp dưới nhiệt độ ngưỡng của electron) và tìm ra rằng cần 0,06 năm (hoặc 22 ngày) để nhiệt độ hạ xuống tới 10 triệu độ, thì lúc đó cần 6 năm khác nữa để cho nhiệt độ hạ xuống 1 triệu độ, 600 năm khác nữa để hạ xuống 100 000 độ, v. v... Toàn bộ thời gian cần để vũ trụ lạnh đi từ 100 triệu độ xuống 3000 K (nghĩa là đến khi mà các chất trong vũ trụ trở thành trong suốt đối với bức xạ) là 700 000 năm (xem hình 8). Cố nhiên, khi viết “năm” ở đây, tôi ngụ ý một số đơn vị thời gian tuyệt đối nào đó, chẳng hạn như một số chu kỳ nào đó trong đó một electron quay một vòng quanh hạt nhân trong một nguyên tử hydro. Ta đang xét một thời kỳ xưa hơn nhiều so với lúc quả đất bắt đầu quay quanh mặt trời.



Hình 8. Kỳ nguyên bức xạ chiếm ưu thế.

Hình 8. Kỳ nguyên bức xạ chiếm ưu thế. Nhiệt độ của vũ trụ được vẽ phụ thuộc vào thời gian, đối với thời kỳ từ ngày cuối sự tổng hợp hạt nhân đến khi tái hợp các hạt nhân và electron thành nguyên tử.

Nếu vũ trụ trong vài phút đầu tiên thực sự bao gồm những hạt và phản hạt đúng bằng nhau, tất cả chúng đã bị hủy diệt khi nhiệt độ hạ xuống dưới 1000 triệu độ, và chẳng còn gì sót lại trừ bức xạ. Có bằng chứng rất tốt chống lại khả năng đó - chúng ta đang ở đây! Phải có một độ dôi nào đó của số electron so với số pôzitron, của số proton so với số phản proton, và của số neutron so với số phản neutron để cho còn cái gì đó sót lại sau khi hạt và phản hạt hủy nhau để cung cấp vật chất cho vũ trụ hiện nay. Cho đến đây trong chương này tôi đã ngụ ý không nói đến số vật chất tương đối ít còn sót lại này. Đó là một sự gần đúng khá tốt nếu tất cả những gì ta muốn là tính mật độ năng lượng hoặc tốc độ giãn nở của vũ trụ sơ khai; ta đã thấy trong chương trước rằng mật độ năng lượng của các hạt hạt nhân chỉ so được với mật độ năng lượng bức xạ khi vũ trụ đã lạnh đến khoảng 4000 K. Tuy nhiên, sự ít ỏi của số electron và hạt hạt nhân còn sót lại đáng được ta chú ý đặc biệt, bởi vì chúng là những thành phần chính của vũ trụ hiện nay và nói riêng, của tác giả và bạn đọc.

Một khi ta đã công nhận khả năng có một độ dôi vật chất so với phản vật chất trong vài phút đầu tiên, ta đã đặt vấn đề một danh sách chi tiết về những thành phần trong vũ trụ sơ khai. Có đúng hàng trăm cái gọi là hạt cơ bản trên danh sách mà phòng thí nghiệm Lawrence ở Berkeley xuất bản 6 tháng một. Có phải là ta phải tính số lượng của mỗi một loại hạt này không? Và tại sao dừng lại ở hạt cơ bản? Có phải là ta phải tính số lượng của từng loại nguyên tử, phân tử, muối và tiêu? Trong trường hợp đó, chúng ta có thể kết luận một cách chính đáng rằng vũ trụ là quá phức tạp và quá thất thường không đáng để cho ta tìm hiểu.

May thay, vũ trụ không đến nỗi phức tạp quá như vậy. Để thấy cách có thể viết một toa (* Toa là bảng kê các vị thuốc mà người bệnh cần dùng,

hoặc các chất hoá được cần để bào chế nên một chất hoá được nào đó, và các công thức pha chế nó) cho các thành phần của nó, cần suy nghĩ thêm một chút về điều kiện cân bằng nhiệt là gì. Tôi đã nhấn mạnh tầm quan trọng của việc vũ trụ đã trải qua một trạng thái cân bằng nhiệt - chính nó cho phép ta nói một cách tin tưởng như vậy về các thành phần của vũ trụ ở mỗi lúc. Sự thảo luận của ta cho đến chương này là một loạt áp dụng các tính chất quen biết của vật chất và bức xạ trong cân bằng nhiệt.

Khi các va chạm hoặc quá trình khác dẫn một hệ vật lý đến một trạng thái cân bằng nhiệt, luôn luôn có một số đại lượng mà trị số không thay đổi. Một trong các “đại lượng được bảo toàn” đó là năng lượng toàn phần; mặc dầu va chạm có thể chuyển năng lượng từ hạt này sang hạt khác, chúng không bao giờ thay đổi năng lượng toàn phần của các hạt tham gia va chạm. Với mỗi luật bảo toàn đó, có một đại lượng mà ta phải nói rõ trước khi ta có thể vạch ra các tính chất của một hệ ở cân bằng nhiệt - rõ ràng là nếu một đại lượng nào đó không thay đổi khi một hệ tiến đến bằng nhiệt, thì trị số của nó không thể suy ra được từ các điều kiện của cân bằng, mà đã phải được chỉ rõ trước đó. Việc thật là đáng chú ý trong một hệ ở cân bằng nhiệt là tất cả các tính chất của nó được xác định một cách duy nhất mỗi khi ta nói rõ trị số của các đại lượng được bảo toàn. **Vũ trụ đã đi qua một trạng thái cân bằng nhiệt, cho nên để cho một toa đầy đủ về các thành phần của vũ trụ ở các thời kỳ sơ khai, tất cả những gì ta cần là biết được những đại lượng vật lý nào được bảo toàn trong khi vũ trụ giãn nở, và giá trị của các đại lượng đó.**

Thông thường, thay cho việc cho năng lượng toàn phần của một hệ ở cân bằng nhiệt, ta cho nhiệt độ. Với loại hệ ta xét nhiều nhất cho đến nay, chỉ bao gồm bức xạ và những số hạt và phản hạt bằng nhau, nhiệt độ là tất cả những gì cần được cho trước để tìm ra các tính chất cân bằng của hệ. Nhưng thường thường ngoài năng lượng còn có những đại lượng được bảo toàn khác và cần cho mật độ của mỗi đại lượng.

Chẳng hạn trong một cốc nước ở nhiệt độ phòng, có những phản ứng liên tục trong đó một phân tử nước bị vỡ ra thành một ion hydro (một proton trần, hạt nhân của hydro với electron đã bị tước đi) và một ion hydroxin (một nguyên tử oxy liên kết với một nguyên tử hydro, và một electron đôi) hoặc trong đó các ion hydro và hydroxin hợp lại để tạo nên phân tử nước. Chú ý rằng trong mỗi phản ứng như vậy, sự mất đi một phân tử nước làm xuất hiện một ion hydro và ngược lại, trong khi những ion hydro và hydroxin luôn luôn xuất hiện hoặc biến đi cùng nhau. Như vậy, các đại lượng được bảo toàn là tổng số phân tử nước cộng với số ion hydro, và số ion hydro trừ đi số ion hydroxin. (Cố nhiên, còn có những đại lượng được bảo toàn khác, như

tổng số phân tử nước cộng với các ion hydroxin, nhưng đây chỉ là những tổ hợp đơn giản của hai đại lượng cơ bản được bảo toàn. (Những tính chất của cốc nước của ta có thể được xác định hoàn toàn nếu ta nói rằng nhiệt độ là 300 K (nhiệt độ phòng trên thang Kelvin), rằng mật độ phân tử nước cộng với các ion hydro là $3,3 \times 10^{22}$ phân tử hoặc ion mỗi cm khối (đại thể ứng với nước ở áp suất mặt biển), và rằng mật độ của ion hydro trừ ion hydroxin bằng không (ứng với điện tích thực bằng không). Chẳng hạn, trong những điều kiện đó, có một ion hydro cho mỗi mười triệu phân tử nước (10^7) - người ta nói rằng độ pH của nước là 7. Chú ý rằng ta không cần phải nói việc này trong toa của chúng ta viết cho cốc nước: ta suy ra tỷ lệ ion hydro từ những quy luật cân bằng nhiệt. Mặt khác, ta không thể suy ra mật độ của các đại lượng được bảo toàn từ những điều kiện cân bằng nhiệt - chẳng hạn ta có thể làm cho mật độ phân tử nước cộng với ion hydro lớn hơn hoặc bé hơn $3,3 \times 10^{22}$ phân tử mỗi cm khối một ít, bằng cách nâng hoặc hạ áp suất - như vậy ta phải nói rõ về chúng để biết trong cốc ta có gì.

Ví dụ này cũng giúp ta hiểu ý nghĩa xê dịch của cái mà ta gọi là đại lượng "bảo toàn". Chẳng hạn nếu nước của ta ở một nhiệt độ hàng triệu độ, như ở trong lòng một ngôi sao, khi đó rất dễ cho các phân tử của ion bị phân ly và cho các nguyên tử hợp thành mất electron của chúng. Những đại lượng được bảo toàn lúc đó là số electron và các hạt nhân oxy và hydro. Mật độ của phân tử nước cộng với nguyên tử hydroxin trong những điều kiện đó phải được tính toán từ các định luật của cơ học thống kê chứ không phải là cho trước; cố nhiên kết quả là mật độ đó rất bé nhỏ. (Trong địa ngục hiếm có tuyệt). Thực ra những phản ứng hạt nhân có xảy ra trong những điều kiện đó, cho nên ngay số hạt nhân mỗi loại cũng không tuyệt đối cố định, nhưng các số lượng đó thay đổi chậm đến mức một ngôi sao có thể coi là tiến hóa một cách dần dần từ trạng thái cân bằng này đến trạng thái cân bằng khác.

Cuối cùng, ở những nhiệt độ nhiều nghìn triệu độ trong vũ trụ sơ khai, ngay cả các hạt nhân nguyên tử cũng phân ly nhanh chóng ra các thành phần của chúng, proton và neutron. Những phản ứng xảy ra nhanh chóng đến nỗi vật chất và phản vật chất có thể tạo nên từ năng lượng đơn thuần hoặc bị hủy diệt lại.

Trong những điều kiện đó, các đại lượng được bảo toàn không phải là những số hạt thuộc một loại riêng nào đó. Trái lại, các định luật bảo toàn thích hợp rút xuống một con số bé mà (theo sự hiểu biết hiện nay của chúng ta) trong mọi điều kiện khả dĩ vẫn còn được tôn trọng. Người ta tin có đúng ba đại lượng được bảo toàn mà mật độ phải được nói rõ trong toa của ta về vũ trụ sơ khai:

1. Điện tích . Ta có thể tạo ra hoặc hủy diệt những cặp hạt với điện tích

bằng nhau nhưng trái dấu, nhưng điện tích toàn phần không bao giờ thay đổi. (Ta có thể chắc chắn về luật bảo toàn này hơn bất kỳ luật bảo toàn nào khác, bởi vì nếu điện tích không được bảo toàn thì thuyết Maxwell về điện và từ hiện nay được công nhận sẽ không còn có ý nghĩa gì nữa).

2. Số baryon . “Baryon” là một danh từ chung bao hàm các hạt nhân, proton và neutron, cùng với những hạt không bền nặng hơn một tí, gọi là hyperon. Baryon và phản baryon có thể được tạo ra và hủy đi từng cặp, và baryon có thể phân rã thành ra những baryon khác, như trong “phân rã beta” của một hạt nhân phóng xạ trong đó một neutron biến thành một proton hoặc ngược lại. Tuy nhiên, tổng số baryon trừ số các phản baryon (phản proton, phản neutron, phản hyperon) không bao giờ thay đổi. Do đó chúng ta gán một “số baryon” bằng +1 cho proton, neutron và các baryon, và một “số baryon” bằng -1 cho những phản hạt tương ứng; khi đó luật là số baryon toàn phần không bao giờ thay đổi. Số baryon có vẻ như không có một ý nghĩa động lực học nào như điện tích; theo ta biết hiện nay, số baryon chẳng tạo ra được gì giống điện trường hoặc từ trường. Số baryon là một phương pháp kế toán - ý nghĩa của nó hoàn toàn là ở chỗ nó được bảo toàn.

3. Số lepton . “Lepton” là những hạt nhẹ mang điện âm, electron và muon cộng với một hạt trung hòa điện có khối lượng bằng không gọi là neutrino và những phản hạt của chúng, pozitron, phản muon và phản neutrino. Mặc dầu có khối lượng và điện tích bằng không, neutrino không phải là những hạt có tính chất hư cấu hơn photon. Chúng mang năng lượng và xung lượng như mọi hạt khác. Luật bảo toàn số lepton là một luật “kế toán” khác - tổng số các lepton trừ đi tổng số các phản lepton không khi nào thay đổi. (Năm 1962 nhiều thí nghiệm với những chùm neutrino đã phát hiện rằng ít nhất có hai loại neutrino, một loại “thuộc electron”, và một loại “thuộc muon”, và hai loại số lepton: số lepton thuộc electron là tổng số các electron cộng với các neutrino thuộc electron trừ đi số các phản hạt của chúng, trong khi số lepton thuộc muon là tổng số các muon cộng với các neutrino thuộc muon trừ số các phản hạt của chúng. Cả hai xem ra được bảo toàn một cách tuyệt đối, nhưng ta cũng không biết thật chắc chắn về điều này).

Một ví dụ tốt về sự đúng đắn của luật này là sự phân rã phóng xạ của một neutron n thành một proton p , một electron e^- , và một phản neutrino (thuộc electron). Các giá trị của điện tích, số baryon, và số lepton của mỗi hạt là như sau:

	n	\rightarrow	p	$+$	e^-	$+$	$\bar{\nu}_e$
Điện tích	0		1		-1		0
Số baryon	+1		+1		0		0
Số lepton	0		0		+1		-1

Bạn đọc có thể dễ dàng kiểm tra rằng tổng các giá trị của bất cứ đại lượng được bảo toàn nào của những hạt ở trạng thái cuối cùng bằng giá trị của đại lượng đó ở neutron ban đầu. Đây là cái mà ta gọi là sự việc “các đại lượng đó được bảo toàn”. Các luật bảo toàn rất quan trọng vì chúng cho chúng ta biết rằng một số lớn phản ứng không thể xảy ra, chẳng hạn như quá trình phân rã bị cấm trong đó một neutron phân rã thành một proton và nhiều hơn một phản neutrino.

Như vậy, để hoàn thiện toa cho các thành phần của vận tốc ở bất cứ thời gian nào, ta phải nói rõ điện tích, số baryon và số lepton cho mỗi đơn vị thể tích cũng như nhiệt độ lúc đó. Các luật bảo toàn cho ta biết rằng trong một thể tích nào đó cũng giãn nở với vũ trụ, trị số của các đại lượng này được giữ nguyên. Như vậy, điện tích, số baryon và số lepton trong mỗi đơn vị thể tích chỉ biến thiên theo số đảo của lập phương kích thước vũ trụ. Nhưng số photon trong mỗi đơn vị thể tích cũng biến thiên theo số đảo của lập phương kích thước vũ trụ. (Ta đã thấy trong chương ba rằng số photon trong mỗi đơn vị thể tích tỷ lệ với lập phương nhiệt độ, trong khi đó, như ta đã lưu ý ở đầu chương này, nhiệt độ biến thiên theo số đảo của kích thước của vũ trụ). Do đó, điện tích, số baryon và số lepton trên mỗi photon được giữ nguyên, và toa của chúng ta có thể được đưa ra một lần cho mãi mãi bằng cách ghi rõ giá trị của các đại lượng được bảo toàn như một số tỷ lệ với số photon.

(Nói chặt chẽ ra, đại lượng biến thiên như số đảo của lập phương kích thước của vũ trụ không phải là số photon trên mỗi đơn vị thể tích mà là entropi trên mỗi đơn vị thể tích. Entropi là một đại lượng cơ bản của cơ học thống kê, có liên hệ với độ hỗn độn của một hệ vật lý. Ngoài một thừa số quy ước bằng số, entropi được cho với một gần đúng khá tốt như là tổng tất cả các hạt ở cân bằng nhiệt, hạt vật chất cũng như photon, với những loại hạt khác nhau mang các đặc trưng ghi ở bảng một. Các hằng số mà chúng ta thực sự phải dùng để đặc trưng vũ trụ của chúng ta là các tỷ số giữa điện tích và entropi, số baryon và entropi, số lepton và entropi. Tuy nhiên, dù ở nhiệt độ rất cao, số hạt vật chất nhiều nhất cũng cùng bậc độ lớn như số photon, do đó ta sẽ không sai lầm lắm nếu dùng số photon thay cho entropi để làm một chuẩn so sánh).

Để ước lượng điện tích vũ trụ trên mỗi photon. Với sự hiểu biết hiện nay của ta, mật độ trung bình của điện tích là bằng không trong khắp vũ trụ. Nếu mặt trời và quả đất có một điện tích dương lớn hơn điện tích âm (hoặc ngược

lại) chỉ khoảng một phần triệu triệu triệu triệu triệu triệu (10 mũ 36), lực đẩy điện giữa chúng sẽ phải lớn hơn lực hấp dẫn. Nếu vũ trụ là hữu hạn và đóng, ta còn có thể đưa nhận xét đó lên thành một định lý: Điện tích toàn phần của vũ trụ phải bằng không, vì nếu không như vậy thì các đường lực điện sẽ cuốn quanh quanh vũ trụ, tạo nên một trường điện vô hạn. Nhưng dù vũ trụ là mở hay đóng, có thể nói một cách chắc chắn rằng điện tích vũ trụ trên mỗi photon là không đáng kể.

Số baryon trên mỗi photon cũng dễ ước lượng. Những baryon bền duy nhất là những hạt hạt nhân, proton và neutron, và phản hạt của chúng, phản proton và phản neutron. (Neutron tự do thực ra là không bền, có thời gian sống trung bình là 15,3 phút, nhưng các lực hạt nhân làm cho neutron trở nên tuyệt đối bền trong các hạt nhân nguyên tử của vật chất thông thường). Ngoài ra, như ta biết, hiện nay không có một lượng phản vật chất đáng kể nào trong vũ trụ. (Ta sẽ nói nhiều hơn về điều này ở những phần sau). Do đó, số baryon của bất kỳ phần nào của vũ trụ hiện nay về căn bản bằng số hạt hạt nhân. Trong chương trước ta thấy rằng hiện nay có một hạt nhân cho mỗi 1000 triệu photon trong phong bức xạ cực ngắn (con số chính xác chưa được rõ), như vậy số baryon trên mỗi photon là vào khoảng một phần nghìn triệu (10 mũ -9).

Đó thực là một kết luận đáng chú ý. Để thấy được các hệ quả của nó, ta hãy xét một lúc trong quá khứ khi nhiệt độ ở trên mười triệu triệu độ (10 mũ 13 K), nhiệt độ ngưỡng đối với neutron và proton. Lúc đó vũ trụ chắc được chứa nhiều hạt và phản hạt, nhiều vào khoảng như photon. Nhưng số baryon là hiệu giữa các số hạt và phản hạt hạt nhân. Nếu hiệu đó là 1000 triệu lần nhỏ hơn số photon, và do đó cũng vào khoảng 1000 triệu lần bé hơn tổng số hạt hạt nhân, thì khi đó số hạt hạt nhân sẽ chỉ phải lớn hơn số phản hạt là một phần nghìn triệu. Theo cách nhìn đó, khi vũ trụ nguội xuống dưới nhiệt độ ngưỡng của các hạt hạt nhân, các phản hạt đều bị hủy với các hạt tương ứng, để lại một số ít còn thừa như là một phần dư mà lúc nào đây đã trở thành thế giới của chúng ta.

Sự xuất hiện trong vũ trụ học một con số thuần túy nhỏ bằng một phần nghìn triệu đã làm cho một vài nhà lý thuyết cho rằng con số đó thực sự bằng không - nghĩa là vũ trụ thực ra chứa đựng một lượng vật chất và phản vật chất ngang nhau. Khi đó việc số baryon trên mỗi photon có vẻ bằng một phần mười nghìn triệu phải được giải thích bằng cách giả thiết rằng một lúc nào đó trước khi nhiệt độ vũ trụ hạ xuống dưới nhiệt độ ngưỡng đối với các hạt hạt nhân, đã xảy ra sự tách vũ trụ ra thành những vùng khác nhau, một số vùng có một độ dôi nhỏ (một vài phần nghìn triệu) của vật chất so với phản vật chất, và một số vùng khác có một độ dôi nhỏ của phản vật chất so với vật

chất. Sau khi nhiệt độ hạ xuống và tất cả các cặp vật chất - phản vật chất có thể hủy được đều đã bị hủy, vũ trụ còn lại bao gồm những vùng chỉ có vật chất và những vùng chỉ có phản vật chất. Cái phiền của ý tưởng này là chưa ai thấy được những dấu hiệu về những lượng phản vật chất đáng kể ở bất cứ đâu trong vũ trụ. Các tia chúng ta đi tới những lớp khí quyển cao của quả đất chúng ta được coi là xuất phát một phần từ những vùng ở xa trong thiên hà của chúng ta và có thể một phần từ ngoài thiên hà của chúng ta. Các tia vũ trụ đại bộ phận là vật chất chứ không phải phản vật chất - thật ra cho đến nay chưa ai đã quan sát được một phản photon hoặc một phản hạt nhân trong các tia vũ trụ. Ngoài ra, ta không thể quan sát được các photon có thể tạo nên từ sự hủy của vật chất và phản vật chất ở quy mô vũ trụ.

Một khả năng khác là mật độ photon (hoặc nói đúng hơn, mật độ entropi) đã không được giữ tỷ lệ với số đảo của lập phương kích thước của vũ trụ. Điều này có thể xảy ra nếu đã có một loại sai khác nào đó so với trạng thái cân bằng nhiệt, một loại ma sát hoặc độ nhớt có thể đốt nóng vũ trụ và tạo nên những photon dôi ra.

Trong trường hợp này, số baryon trên mỗi photon có thể bắt đầu từ một giá trị kha khá, có thể vào khoảng một, và từ đó tụt xuống giá trị thấp nhất hiện nay do có nhiều photon hơn được tạo nên. Cái khó là chưa ai có thể đưa ra một cơ chế chi tiết nào đó về quá trình tạo ra các photon thừa đó. Cách đây vài năm tôi đã thử tìm, nhưng đã thất bại hoàn toàn.

Sau này, tôi sẽ không nói đến tất cả những khả năng “không chuẩn” này, và sẽ đơn giản cho rằng số baryon trên mỗi photon là: khoảng một phần nghìn triệu.

Về mật độ số lepton vũ trụ thì sao? Việc vũ trụ không có điện tích nói cho ta hay trực tiếp rằng hiện nay có đúng một electron mang điện tích âm cho mỗi proton mang điện dương. Khoảng 87 % hạt hạt nhân trong vũ trụ hiện nay là proton, như vậy số electron gần bằng tổng số hạt hạt nhân. Nếu electron là những lepton duy nhất trong vũ trụ hiện nay, thì ta có thể kết luận ngay là số lepton cho mỗi photon là đồ đồng bằng số baryon cho mỗi photon.

Tuy nhiên, có một loại hạt bên khác ngoài electron và pôzitron, mang một số lepton không bằng không: neutrino và phản hạt của nó, phản neutrino, là những hạt không khối lượng trung hòa về điện, như photon, nhưng có số lepton lần lượt là +1 và - 1. Như vậy, để xác định mật độ số lepton của vũ trụ hiện nay, ta cần biết một ít gì đó về các mật độ neutrino và phản neutrino.

Tiếc thay, rất khó thu được thông tin đó. Neutrino giống electron ở chỗ nó không chịu ảnh hưởng của lực hạt nhân mạnh giữ các photon và notron

bên trong hạt nhân nguyên tử (thỉnh thoảng tôi dùng chữ neutrino để chỉ neutrino hoặc phản neutrino). Tuy nhiên, khác electron, nó trung hòa về điện, do vậy cũng không chịu ảnh hưởng của các lực điện và từ, những lực giữ electron ở lại trong nguyên tử. Thực ra, neutrino không chịu ảnh hưởng gì nhiều lắm của bất kỳ loại lực nào. Chúng hưởng ứng cũng như bất kỳ vật nào khác trong vũ trụ với lực hấp dẫn, và chúng cũng nhạy với lực yếu chịu trách nhiệm về các quá trình phóng xạ như là sự phân rã neutron đã nhắc đến trước đây, nhưng các lực đó chỉ gây nên một tương tác yếu với vật chất bình thường. Ví dụ thường được đưa ra để chỉ rõ neutrino tương tác yếu như thế nào là, để có một cơ hội đáng kể để chặn đứng hoặc tán xạ một neutrino cho trước nào đó được tạo nên trong quá trình phóng xạ nào đó ta phải đặt một tấm chì dày tới nhiều năm ánh sáng trên đường đi của nó. Mặt trời bức xạ neutrino một cách liên tục, chúng được tạo nên khi proton biến thành neutron trong các phản ứng hạt nhân trong lòng mặt trời; các neutrino đó xuyên qua người ta từ trên xuống ban ngày và từ dưới lên vào ban đêm, khi mặt trời ở bên phía kia của quả đất, vì quả đất hoàn toàn trong suốt đối với chúng. Neutrino được Wolfgang Pauli giả thiết từ lâu trước khi chúng được quan sát, như một cách để làm cân bằng năng lượng trong một quá trình như là sự phân rã neutron. Mãi đến cuối những năm 1950 người ta mới có thể phát hiện được neutrino và phản neutrino một cách trực tiếp, bằng cách tạo nên trong các lò phản ứng hạt nhân hoặc những máy gia tốc hạt những lượng lớn đến mức vài trăm hạt thực sự đã dừng lại ở trong các thiết bị phát hiện.

Do khả năng tương tác cực yếu đó nên dễ hiểu rằng có những lượng lớn neutrino và phản neutrino có thể chứa đầy vũ trụ quanh ta, song chúng ta không hề có một gợi ý nào về sự có mặt của chúng . Có thể đặt một vài giới hạn trên thô thiển về số neutrino và phản neutrino: Nếu có những hạt đó quá nhiều thì khi đó những quá trình phân rã hạt nhân yếu nào đó có thể bị ảnh hưởng chút ít, và thêm vào đây sự giãn nở vũ trụ có thể giảm tốc nhanh hơn là được quan sát. Tuy nhiên, các giới hạn trên đó không làm mất đi khả năng có nhiều neutrino và (hoặc) phản neutrino như photon, và với những năng lượng tương tự .

Dù có những ý kiến như vậy, các nhà vũ trụ học vẫn thường cho rằng số lepton (số các electron, muon và neutrino, trừ đi số các phản hạt tương ứng) trên mỗi photon là bé, bé hơn một nhiều. Đó là hoàn toàn trên cơ sở tính tương tự - số baryon trên mỗi photon là bé, vậy tại sao số lepton trên mỗi photon lại không bé? Đó là một trong những giả thiết ít chắc chắn nhất trong “mô hình chuẩn”, nhưng may thay dù nó là sai thì bức tranh tổng quát mà chúng ta suy ra cũng chỉ thay đổi ở vài chi tiết mà thôi.

Tất nhiên trên nhiệt độ ngưỡng đối với electron có rất nhiều lepton và

phản lepton - số electron và pôzitron gần bằng số photon. Dù vậy, trong những điều kiện đó, vũ trụ nóng và có mật độ lớn đến mức cả các neutrino “ma” cũng đạt được cân bằng nhiệt, cho nên cũng có một số neutrino và phản neutrino gần bằng số photon. Trong mô hình chuẩn, ta giả thiết là số lepton, hiệu giữa số lượng lepton và phản lepton, là và đã là bé hơn số lượng photon. Trước đây có thể có một độ dôi nhỏ của lepton so với phản lepton, như độ dôi nhỏ của baryon so với phản baryon đã nói đến ở trên, độ dôi đó đã còn lại cho đến ngày nay. Ngoài ra, neutrino và phản neutrino tương tác yếu đến nỗi một số lớn chúng có thể thoát khỏi sự hủy, trong trường hợp đó bây giờ có thể có những khối lượng neutrino và phản neutrino gần bằng nhau, so sánh được với số lượng photon. Ta sẽ thấy trong chương sau rằng chúng là điều mà người ta tin tưởng, nhưng trong một tương lai gần hầu như không có một cơ hội nhỏ bé nhất nào để quan sát được con số to lớn neutrino và phản neutrino xung quanh ta.

Như vậy, đây là một toa của chúng ta cho các thành phần của vũ trụ sơ khai. Lấy một điện tích cho mỗi photon bằng 0, một số baryon cho mỗi photon bằng một phần nghìn triệu và một số lepton cho mỗi photon không chắc lắm nhưng bé. Lấy nhiệt độ ở bất kỳ thời gian nào lớn hơn nhiệt độ 3 K của phong bức xạ hiện nay theo tỷ lệ giữa kích thước hiện nay của vũ trụ và kích thước lúc đó. Khuấy đều, sao cho các phân bố chi tiết của những hạt thuộc các loại khác nhau được xác định bởi những yêu cầu của cân bằng nhiệt. Đặt vào trong một vũ trụ giãn nở, với một tốc độ giãn nở được quy định bởi trường hấp dẫn do môi trường đó sinh ra. Sau một thời gian chờ đợi đủ lâu, “bát thuốc” này sẽ trở thành vũ trụ hiện nay của ta.

V - Ba phút đầu tiên

Bây giờ chúng ta đã sẵn sàng để theo dõi quá trình tiến hóa của vũ trụ qua ba phút đầu tiên của nó. Lúc đầu các biến cố vận động nhanh hơn sau đó nhiều, cho nên ta không có lợi nếu chỉ ra những hình ảnh cách đều nhau về thời gian như một phim ảnh bình thường. Thay vào đó, tôi sẽ điều chỉnh tốc độ của cuộn phim của ta theo nhiệt độ hạ dần của vũ trụ, ngưng máy quay để chụp một cảnh mỗi khi nhiệt độ hạ xuống khoảng ba lần.

Tiếc thay tôi không thể bắt đầu cuộn phim lúc thời gian bằng không và nhiệt độ vô cùng lớn. Trên một nhiệt độ ngưỡng 15 nghìn triệu độ Kelvin (15.10 mũ 12 K), vũ trụ đã chứa đầy những số lượng lớn hạt gọi là mêzon pi, chúng nặng khoảng một phần bảy một hạt hạt nhân (xem bảng 1). Khác với electron, pôzitron, muon và neutrino, các mêzon pi tương tác rất mạnh với nhau và với các hạt hạt nhân - thực ra, sự trao đổi liên tục các mêzon pi giữa các hạt hạt nhân chịu trách nhiệm về phần lớn lực hút giữa các hạt nhân nguyên tử lại với nhau. Sự có mặt của những số lớn hạt tương tác mạnh như vậy làm cho việc tính toán biến diễn của vật chất ở nhiệt độ siêu cao là cực kỳ khó khăn, cho nên để tránh những bài toán khó như vậy, tôi sẽ bắt đầu câu chuyện trong chương này ở một phần trăm giây sau lúc bắt đầu, khi nhiệt độ đã lạnh đi chỉ còn một trăm nghìn triệu độ Kelvin mà thôi, chắc chắn dưới nhiệt độ ngưỡng đối với mêzon pi, muon và tất cả các hạt nặng hơn. Ở chương bảy tôi sẽ nói một ít về sự suy nghĩ của các nhà vật lý lý thuyết về chuyện gì có thể xảy ra gần thời điểm bắt đầu hơn thế nữa.

Với những quy ước như vậy, ta hãy bắt đầu cuộn phim của ta.

Cảnh một . Nhiệt độ của vũ trụ là 100 000 triệu độ Kelvin (10 mũ 11 K). Việc mô tả vũ trụ đơn giản và dễ dàng hơn là bất cứ lúc nào sau này. Nó chứa đầy một thứ súp hỗn độn của vật chất và bức xạ, mỗi hạt của nó va chạm rất nhanh với những hạt khác. Như vậy, mặc dù giãn nở nhanh, vũ trụ ở trong một trạng thái cân bằng nhiệt gần như hoàn hảo. Các thành phần của vũ trụ vì vậy được quy định bởi các luật của cơ học thống kê, và không phụ thuộc vào cái đã xảy ra trước cảnh một. Tất cả những cái chúng ta cần biết là nhiệt độ ở 10 mũ 11 K và các đại lượng được bảo toàn - điện tích, số baryon, số lepton - tất cả đều rất bé hoặc bằng 0.

Những hạt có nhiều lúc đó là những hạt mà nhiệt độ ngưỡng ở dưới 11 mũ 11 K; đó là electron và phản hạt của nó, pôzitron, và cố nhiên là những

hạt không khối lượng photon, neutrino và phản neutrino (một lần nữa xem bảng 1). Vũ trụ có mật độ cao đến mức các neutrino có thể du hành hàng năm xuyên qua những tường bằng chì mà không bị tán xạ, được giữ trong cân bằng nhiệt với electron, pôzitron và photon bằng những va chạm nhanh với chúng và giữa chúng với nhau. (Tôi lại sẽ thỉnh thoảng chỉ dùng từ “neutrino”) để chỉ neutrino và phản neutrino).

Một sự đơn giản hóa khác - nhiệt độ 10^{11} K là cao hơn nhiều so với nhiệt độ ngưỡng cho electron và pôzitron. Kết quả là những hạt đó, cũng như photon và neutrino, biến đổi đúng như nhiều loại bức xạ khác nhau khác. Mật độ năng lượng của những loại bức xạ khác nhau đó là bao nhiêu? Theo bảng 1, electron, pôzitron cùng nhau đóng góp $7/4$ năng lượng như photon và các neutrino và phản neutrino đóng góp bằng các electron và pôzitron, vì vậy năng lượng toàn phần lớn hơn mật độ năng lượng tính cho bức xạ điện từ ở nhiệt độ đó, là

$$7/4 + 7/4 + 1 = 9/2 \text{ lần}$$

Định luật Stefan - Boltzmann (xem chương III) cho mật độ năng lượng của bức xạ điện từ ở nhiệt độ 10^{11} K bằng $4,72 \times 10^{44}$ electron-vôn mỗi lít, cho nên mật độ năng lượng toàn phần của vũ trụ ở nhiệt độ đó là $9/2$ lần lớn hơn, hoặc 21×10^{44} electron-vôn mỗi lít. Giá trị này tương đương với một mật độ khối lượng là 3,8 nghìn triệu kilogam mỗi lít, hoặc 3,8 nghìn triệu lần mật độ của nước trong điều kiện bình thường trên quả đất. (Khi tôi nói một năng lượng nào đó tương đương với một khối lượng nào đó, tất nhiên tôi muốn nói rằng đó là năng lượng có thể được giải phóng theo công thức Einstein, $E = mc^2$ nếu khối lượng được chuyển hoàn toàn thành năng lượng). Nếu núi Everest được làm bằng vật chất có mật độ như vậy, thì lực hấp dẫn của nó sẽ phá hủy trái đất.

Vũ trụ trong cảnh một giãn nở và nguội đi nhanh chóng. Tốc độ giãn nở được quy định bằng điều kiện là mỗi phần nhỏ của vũ trụ đều chuyển động đúng với vận tốc thoát khỏi bất kỳ tâm tùy ý nào. Với mật độ to lớn trong cảnh một, vật tốc thoát cũng lớn tương ứng - thời gian đặc trưng cho sự giãn nở vũ trụ là vào khoảng 0,02 giây (xem chú thích toán học 3). “Thời gian giãn nở đặc trưng” có thể được định nghĩa thô thiển là một trăm lần khoảng thời gian cho kích thước vũ trụ tăng 1 %. Nói chính xác hơn, thời gian giãn nở đặc trưng ở bất kỳ lúc nào cũng là nghịch đảo của “hằng số” Hubble lúc đó. Như đã lưu ý ở chương II, tuổi vũ trụ luôn bé hơn thời gian giãn nở đặc trưng, bởi vì lực hấp dẫn hãm bớt sự giãn nở một cách liên tục).

Có một số ít hạt hạt nhân vào lúc cảnh một, khoảng một proton hoặc notron cho mỗi nghìn triệu photon hoặc electron hoặc neutrino. Để có thể

khi cần tiên đoán độ nhiều của các nguyên tố hóa học tạo nên trong vũ trụ sơ khai, ta cũng cần biết các tỷ lệ tương đối của proton và neutron. Neutron nặng hơn proton và hiệu khối lượng giữa chúng tương đương với năng lượng 1,293 triệu electron - vôn. Tuy nhiên năng lượng đặc trưng của electron, pôzitron, v. v... ở một nhiệt độ 10^{11} K là lớn hơn nhiều, khoảng mười triệu electron - vôn (hằng số Boltzmann nhân với nhiệt độ). Như vậy, những va chạm giữa neutron hoặc proton với những electron, pôzitron v.v... nhiều hơn nhiều, sẽ tạo nên những sự chuyển nhanh từ proton qua neutron và ngược lại. Các phản ứng quan trọng nhất là

Phản neutrino cộng proton cho pôzitron cộng neutron

(và ngược lại)

Neutrino cộng neutron cho electron cộng proton

(và ngược lại)

Với giả thiết rằng số lepton và điện tích toàn phần cho mỗi photon là rất bé, số neutrino và phản neutrino sẽ bằng nhau, cũng như số pôzitron và electron, cho nên các sự chuyển từ proton đến neutron cũng nhanh như các sự chuyển từ neutron đến proton. (Sự phân rã phóng xạ của neutron có thể được bỏ qua ở đây vì nó diễn ra khoảng mười lăm phút, mà ta hiện đang xét khoảng thời gian hàng phần trăm giây). Như vậy, sự cân bằng đòi hỏi số proton và neutron gần bằng nhau ở cảnh một. Những hạt nhân đó chưa liên kết lại để thành các hạt nhân; năng lượng cần để phá vỡ một hạt nhân điển hình một cách hoàn toàn chỉ là 6 đến 8 triệu electron - vôn cho mỗi hạt nhân; nó bé hơn các năng lượng nhiệt đặc trưng ở 10^{11} K, do đó những hạt nhân phức tạp bị phá hủy cũng nhanh chóng như chúng hình thành.

Tự nhiên nảy ra câu hỏi: vũ trụ trong những thời kỳ sơ khai nhất lớn như thế nào. Tiếc thay chúng ta không biết được, và chúng ta cũng không chắc lắm rằng câu hỏi đó có một ý nghĩa nào đó. Như đã nói ở chương II vũ trụ hiện nay cũng có thể là vô hạn, trong trường hợp đó nó cũng đã là vô hạn trong thời gian của cảnh một và sẽ luôn luôn là vô hạn. Mặt khác, có thể là hiện nay vũ trụ có một chu vi hữu hạn, đôi khi được ước lượng khoảng 125 nghìn triệu năm ánh sáng. (Chu vi là khoảng cách mà ta phải đi theo một đường thẳng cho đến khi trở về chỗ cũ. Số ước lượng đó dựa trên giá trị hiện nay của hằng số Hubble, với giả thiết rằng mật độ vũ trụ gấp đôi giá trị "tới hạn" của nó). Do nhiệt độ của vũ trụ hạ xuống tỷ lệ nghịch với kích thước của nó, chu vi của vũ trụ ở thời kỳ cảnh một bé hơn bây giờ theo tỷ lệ của nhiệt độ lúc đó (10^{11} K) và nhiệt độ bây giờ (3 K); điều này cho ta một chu vi ở cảnh một khoảng bốn năm ánh sáng. Không có chi tiết nào của sự

tiên hóa vũ trụ trong vài phút đầu tiên phải phụ thuộc vào việc chu vi của vũ trụ lúc đó là vô hạn hoặc chỉ bằng vài năm ánh sáng.

Cảnh hai . Nhiệt độ của vũ trụ là ba mươi nghìn triệu độ Kelvin (3×10^7 K). Từ cảnh một, 0,11 giây đã trôi qua. Không có gì thay đổi một cách định tính -thành phần của vũ trụ vẫn chủ yếu là electron, neutrino, phản neutrino và photon, tất cả đều ở cân bằng nhiệt và tất cả ở xa trên nhiệt độ ngưỡng của chúng. Từ đó mật độ năng lượng quả là giảm như lũy thừa bốn của nhiệt độ, đến vào khoảng ba mươi triệu lần mật độ năng lượng chứa đựng trong khối lượng nghỉ của nước bình thường. Tốc độ giãn nở giảm như bình phương nhiệt độ, do đó thời gian giãn nở đặc trưng của vũ trụ bây giờ đã kéo dài trong khoảng 0,2 giây. Số nhỏ hạt nhân vẫn chưa liên kết thành các hạt nhân, nhưng vì nhiệt độ hạ thấp, bây giờ các neutron nặng hơn biến thành proton nhẹ hơn một cách dễ dàng hơn nhiều so với ngược lại. Sự cân bằng hạt nhân do đó đã bị lệch thành 38 % neutron và 62 % proton.

Cảnh ba. Nhiệt độ của vũ trụ là mười nghìn triệu độ Kelvin (10^7 K). Từ cảnh một, 1,09 giây đã trôi qua. Trong thời gian đó mật độ và nhiệt độ ngày càng hạ thấp đã làm tăng thời gian sống tự do trung bình của neutrino và phản neutrino lên đến mức mà chúng bắt đầu diễn biến như những hạt tự do không còn ở cân bằng nhiệt với electron, pôzitron và photon. Từ đây, chúng sẽ không còn đóng vai trò gì quan trọng trong câu chuyện của ta, trừ việc năng lượng của chúng vẫn tiếp tục cung cấp một phần cho nguồn trường hấp dẫn của vũ trụ. Không có gì thay đổi lớn khi neutrino thoát ra khỏi cân bằng nhiệt. (Trước sự “đứt liên kết” đó, những bước sóng neutrino điển hình là tỷ lệ nghịch với nhiệt độ, và do nhiệt độ giảm tỷ lệ nghịch với kích thước vũ trụ, những bước sóng neutrino tăng tỷ lệ thuận với kích thước vũ trụ. Sau sự đứt liên kết neutrino, các neutrino sẽ giãn nở tự do, nhưng dịch chuyển đỏ chung sẽ kéo dài những bước sóng của chúng một cách tỷ lệ thuận với kích thước vũ trụ. Nhân tiện nói thêm, điều này chỉ rõ rằng việc xác định thời điểm chính xác của sự đứt liên kết neutrino là không quan trọng lắm, như vậy cũng rất tốt, bởi vì nó phụ thuộc vào những chi tiết của thuyết về tương tác của neutrino hiện nay vẫn chưa được rõ ràng lắm.).

Mật độ năng lượng toàn phần nhỏ hơn so với trong cảnh trước một số lần bằng lũy thừa bậc bốn của tỷ số giữa các nhiệt độ, như vậy bây giờ nó tương đương với một mật độ khối lượng 380 nghìn tấn mật độ của nước. Thời gian giãn nở đặc trưng của vũ trụ đã tăng lên một cách tương ứng đến khoảng 2 giây. Nhiệt độ bây giờ chỉ gấp đôi nhiệt độ ngưỡng của electron và pôzitron, cho nên chúng bắt đầu bị hủy diệt nhanh hơn là được tái tạo nên từ bức xạ.

Bây giờ hãy còn quá nóng để cho proton và neutron có thể liên kết thành các hạt nhân nguyên tử trong một thời gian đáng kể nào đó. Nhiệt độ hạ

xuống bây giờ cho phép sự cân bằng proton - neutron bị lệch thành 24 % neutron và 76 % proton.

Cảnh bốn . Nhiệt độ vũ trụ bây giờ là ba nghìn triệu độ Kelvin (3×10^9 K) . Từ cảnh một, 13,82 giây đã trôi qua. Bây giờ chúng ta đang ở dưới nhiệt độ ngưỡng cho electron và pôzitron, cho nên chúng bắt đầu biến mất nhanh chóng khỏi các thành phần chính của vũ trụ. Năng lượng thoát ra trong sự hủy chúng đã làm giảm tốc độ lạnh xuống của vũ trụ, cho nên các neutrino không nhận được gì từ nhiệt thừa này, bây giờ là lạnh hơn electron, pôzitron và photon khoảng 8 %. Từ đây, khi chúng ta nói về nhiệt độ của vũ trụ, ta chỉ có ý nói về nhiệt độ của photon. Khi electron và pôzitron mất đi nhanh chóng, mật độ năng lượng của vũ trụ bây giờ bé hơn một chút so với khi nó hạ xuống một cách đơn giản như lũy thừa bậc bốn của nhiệt độ.

Bây giờ đã đủ lạnh để cho một số hạt nhân bền như heli (He mũ 4) hình thành, nhưng việc đó không xảy ra tức khắc. Lý do là vì vũ trụ đang giãn nở nhanh đến mức các hạt nhân chỉ có thể hình thành sau một loạt phản ứng nhanh giữa hai hạt. Chẳng hạn, một proton và một neutron có thể tạo nên một hạt nhân hydro nặng, hoặc đơteri, với xung lượng và năng lượng đôi được một photon mang đi. Hạt nhân đơteri lúc đó có thể va chạm với một neutron hoặc một proton tạo nên hoặc một hạt nhân của đồng vị nhẹ, heli ba (He mũ 3), gồm hai proton và một neutron, hoặc đồng vị nặng nhất của hydro, gọi là triti (H mũ 3), gồm một proton và hai neutron. Cuối cùng, heli ba có thể va chạm với một neutron, và triti có thể va chạm với một proton, trong hai trường hợp tạo nên một hạt nhân heli thông thường (He mũ 4), gồm hai proton và hai neutron. Nhưng để cho dãy phản ứng này xảy ra, cần bắt đầu với bước đầu tiên, sự tạo ra đơteri.

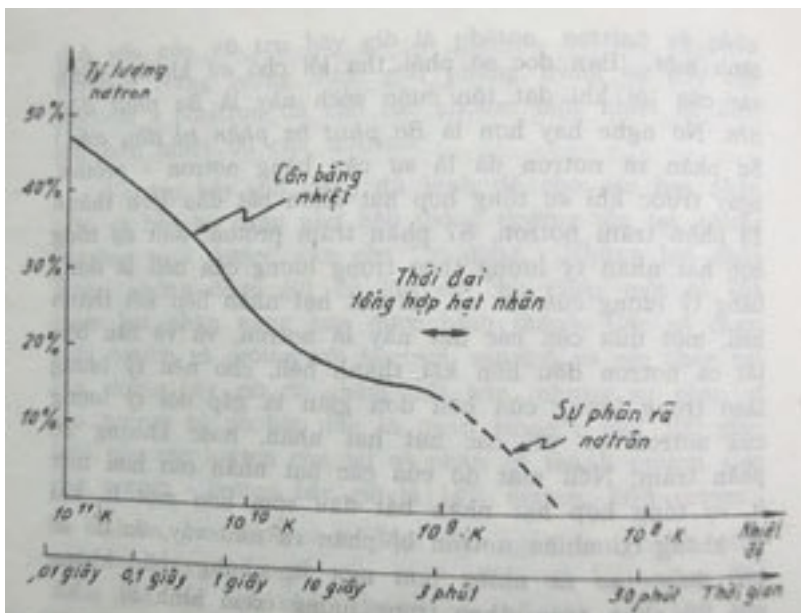
Nhưng heli thông thường là một hạt nhân được liên kết mạnh, cho nên như tôi đã nói, nó có thể tồn tại ở nhiệt độ của cảnh thứ ba. Tuy nhiên, triti và heli ba liên kết kém mạnh hơn nhiều và đơteri lại liên kết cực kỳ yếu. (Để phá vỡ một hạt nhân đơteri, chỉ cần một phần chín năng lượng so với năng lượng để bứt một hạt nhân duy nhất khỏi hạt heli). Ở nhiệt độ 10^9 K của cảnh bốn, các hạt nhân đơteri bị nổ tung liền ngay sau khi chúng được tạo nên, như vậy các hạt nhân nặng hơn khó mà được tạo thành. Neutron vẫn được biến thành proton, tuy rằng chậm hơn nhiều so với trước; trạng thái cân bằng bây giờ là 17 % neutron và 83 % proton.

Cảnh năm . Nhiệt độ của vũ trụ bây giờ là một nghìn triệu độ Kelvin (10^9 K), chỉ vào khoảng 70 lần nóng hơn tâm mặt trời. Từ cảnh một, ba phút hai giây đã trôi qua. Electron và pôzitron phần lớn đã mất đi, và thành phần chủ yếu của vũ trụ bây giờ là photon, neutrino và phản neutrino. Năng lượng được giải phóng trong sự hủy của electron - pôzitron đã cho các

photon một nhiệt độ 35 % cao hơn nhiệt độ của neutrino.

Vũ trụ bây giờ cũng đủ lạnh để cho các hạt nhân triti và hêli ba cũng như hêli thông thường tồn tại, nhưng “chướng ngại đơtêri” vẫn còn tác động: Những hạt nhân đơtêri không được giữ đủ lâu để cho phép một số khả quan hạt nhân nặng hơn được hình thành. Các va chạm giữa notron và proton với electron, neutrino và các phản hạt của chúng bây giờ đã chấm dứt hẳn, nhưng sự phân rã của notron tự do bắt đầu là quan trọng; mỗi 100 giây, 10 % của các notron còn lại sẽ phân rã thành proton. Cán cân notron - proton bây giờ là 14 % notron, 86 % proton.

Muộn hơn một chút. Một lúc ngắn sau cảnh năm, một sự kiện đột ngột xảy ra: nhiệt độ hạ xuống đến điểm mà các hạt nhân đơtêri có thể tồn tại. Một khi chướng ngại đơtêri không còn nữa, những hạt nhân nặng hơn có thể được tạo nên rất nhanh chóng bởi dãy các phản ứng hai hạt được mô tả trong cảnh bốn. Tuy nhiên, những hạt nhân nặng hơn hêli không được tạo nên vì những chướng ngại khác: không có hạt nhân bền với năm hoặc tám hạt hạt nhân. Do đó, khi nhiệt độ vừa đạt điểm mà đơtêri có thể được tạo thành, hầu hết những notron còn lại đều tức khắc được “nấu nướng” thành những hạt nhân hêli. Nhiệt độ chính xác tại đó quá trình này xảy ra phụ thuộc chút ít vào số lượng hạt hạt nhân cho mỗi photon, bởi vì một mật độ hạt lớn sẽ làm cho sự hình thành các hạt nhân dễ dàng hơn một ít. (Đó là lý do tại sao tôi đã gọi thời điểm đó một cách không chính xác là “muộn hơn một chút” sau cảnh năm.) Với một nghìn triệu photon cho một hạt hạt nhân, sự tổng hợp hạt nhân sẽ bắt đầu ở nhiệt độ chín trăm triệu độ Kelvin ($0,9 \times 10^9$). Lúc đó 3 phút 46 giây đã trôi qua từ cảnh một. (*Bạn đọc sẽ phải tha lỗi cho sự không chính xác của tôi khi đặt tên cuốn sách này là ba phút đầu tiên. Nó nghe hay hơn là ba phút ba phần tư đầu tiên.*) Sự phân rã notron đã là sự cân bằng notron - proton, ngay trước khi sự tổng hợp hạt nhân bắt đầu lệch thành 13 phần trăm notron, 87 phần trăm proton. Sau sự tổng hợp hạt nhân tỷ lượng theo trọng lượng của hêli là đúng bằng tỷ lượng của tất cả các hạt hạt nhân liên kết thành hêli, một nửa của các hạt này là notron, và về căn bản tất cả notron đều liên kết thành hêli, cho nên tỷ lượng theo trọng lượng của hêli đơn giản là gấp đôi tỷ lượng của notron so với các hạt hạt nhân, hoặc khoảng 26 phần trăm. Nếu mật độ của các hạt hạt nhân cao hơn một ít, sự tổng hợp hạt nhân bắt đầu sớm hơn một ít, khi đó không có nhiều notron bị phân rã như vậy, do đó số hêli được tạo ra nhiều hơn một ít, nhưng chắc không quá 28 phần trăm theo trọng lượng (xem hình 9).



Hình 9 - Đồ thị chỉ sự dịch chuyển của cân bằng neutron - proton:

Hình 9 - Đồ thị chỉ sự dịch chuyển của cân bằng neutron - proton: Tỷ lượng các neutron trên tất cả các hạt nhân được vẽ như là một hàm của cả nhiệt độ và thời gian. Phần đường cong có ghi “cân bằng nhiệt” mô tả thời kỳ trong đó các mật độ và nhiệt độ cao đến mức cân bằng nhiệt được giữ vững giữa tất cả các hạt; tỷ lượng neutron ở đây có thể được tính từ hiệu khối lượng neutron - proton bằng cách sử dụng các quy luật của cơ học thống kê. Phần đường cong có ghi “phân rã neutron” mô tả thời kỳ trong đó mọi quá trình biến đổi neutron - proton đã kết thúc, trừ sự phân rã phóng xạ của neutron tự do. Phần giữa của đường cong phụ thuộc vào những tính toán chi tiết về các xác suất chuyển của các tương tác yếu. Phần đứt nét của đường cong chỉ rõ cái gì sẽ xảy ra nếu các hạt nhân bằng cách nào đấy bị ngăn chặn không hình thành. Thực ra, ở một thời điểm đầu đầy trong thời kỳ chỉ dẫn bằng mũi tên ghi “thời đại tổng hợp hạt nhân”, neutron được ghép nhanh thành những hạt nhân heli và tỷ lệ neutron - proton được cố định ở trị số mà nó có lúc đó. Đường biểu diễn này cũng có thể dùng để ước tính tỷ lượng (theo trọng lượng) của heli được sinh ra theo vũ trụ học: với bất kỳ trị số nhiệt độ nào hoặc thời điểm nào cho trước của sự tổng hợp hạt nhân, nó đúng gấp đôi tỷ lượng neutron lúc đó.

Bây giờ ta đã đạt và vượt thời gian biểu được đặt ra trước, nhưng để thấy rõ hơn cái gì đã được hoàn thành, ta hãy nhìn lại lần cuối cùng vũ trụ sau khi nhiệt độ bị hạ xuống một lần nữa.

Cảnh sáu. Nhiệt độ vũ trụ bây giờ là 300 triệu độ Kelvin (3×10^8 K). Từ cảnh một, 34 phút và 40 giây đã trôi qua. Electron và pôzitron bây giờ đã bị hủy hoàn toàn trừ một số ít (một phần 1000 triệu) electron thừa ra để cân bằng điện tích của các proton. Năng lượng giải phóng trong sự hủy đó

bây giờ đã cho các photon một nhiệt độ thường xuyên 40,1 phần trăm cao hơn nhiệt độ các neutron (xem chú thích toán học 6). Mật độ năng lượng của vũ trụ bây giờ tương đương với một mật độ khối lượng 9,9 phần trăm mật độ của nước; trong đó 31 % là dưới dạng neutrino và phản neutrino, và 69 phần trăm dưới dạng photon. Mật độ năng lượng này cho vũ trụ một thời gian giãn nở đặc trưng khoảng một giờ mười lăm phút. Các quá trình hạt nhân đã ngừng - các hạt nhân bây giờ phần lớn hoặc tự liên kết thành các hạt nhân heli hoặc là proton tự do (hạt nhân hydro) với khoảng từ 22 đến 28 % heli theo trọng lượng. Có một electron cho mỗi proton tự do hoặc liên kết, nhưng vũ trụ vẫn còn quá nóng nên các nguyên tử *bền* không thể tồn tại được.

Vũ trụ sẽ tiếp tục giãn nở và nguội dần, nhưng sẽ không có gì đáng chú ý lắm xảy ra trong 700.000 năm. Lúc đó nhiệt độ sẽ hạ xuống mức electron và hạt nhân có thể tạo thành những nguyên tử bền: sự thiếu electron tự do sẽ làm cho các thành phần của vũ trụ trong suốt đối với bức xạ; và sự tách vật chất và bức xạ sẽ cho phép vật chất bắt đầu tạo thành các thiên hà và các vì sao. Sau một thời gian khoảng 10.000 triệu năm nữa, những sinh vật sẽ bắt đầu dựng lại câu chuyện này.

Bản kể lại về vũ trụ sơ khai này có một quan hệ có thể kiểm tra ngay được bằng quan sát: vật liệu còn lại từ 3 phút đầu tiên, lúc đầu đã tạo nên các vì sao, gồm từ 22 đến 28 phần trăm heli với tất cả các phần còn lại hầu như là hydro. Như ta đã thấy, kết quả này phụ thuộc vào việc cho rằng có một tỷ số rất lớn của photon trên hạt nhân mà tỷ số này lại căn cứ trên nhiệt độ 3 K đo được của phổ bức xạ cực ngắn vũ trụ hiện nay. Tính toán đầu tiên về sự tạo nên heli theo vũ trụ học dùng đến nhiệt độ bức xạ đo được đã được P. J. E. Peebles ở Princeton tiến hành năm 1965, một thời gian ngắn sau sự khám phá ra phổ bức xạ cực ngắn bởi Penzias và Wilson. Một kết quả tương tự được rút ra một cách độc lập và gần như một lúc trong một tính toán phức tạp hơn bởi Robert Wagoner, William Fowler và Fred Hoyle. Kết quả đó là một thắng lợi vang dội của mô hình chuẩn, vì lúc đó có những ước tính độc lập cho rằng mặt trời và các vì sao khác bắt đầu đời sống của chúng chủ yếu như là những khối hydro, với khoảng 20 đến 30 phần trăm heli.

Cố nhiên, trên quả đất có hết sức ít heli, nhưng đó chính là do nguyên tố heli nhẹ và trơ về hóa học đến mức đa số chúng đã thoát khỏi quả đất nhiều năm trước đây. Những ước tính về độ nhiều ban đầu của heli trong vũ trụ là dựa trên những so sánh các tính toán chi tiết về sự tiến hóa của các vì sao, với những phân tích thống kê các tính chất quan sát được của các vì sao, cộng với sự quan sát trực tiếp các vạch heli trong quang phổ của các vì sao nóng và của vật chất giữa các vì sao. Thực ra, như tên của nó chỉ rõ, heli lần đầu tiên được ghi nhận là một nguyên tố trong những nguyên tố quang phổ

của khí quyển mặt trời, do J. Norman Lockyer tiến hành năm 1868.

Trong những năm 1960 đầu tiên, một số ít nhà thiên văn đã lưu ý rằng độ nhiều của heli không những lớn trong thiên hà, mà còn không biến thiên từ chỗ này đến chỗ khác mạnh như độ nhiều của những nguyên tố nặng hơn. Việc này cố nhiên đúng là cái ta có thể chờ đợi nếu các nguyên tố nặng được tạo ra trong các vì sao, nhưng heli được tạo ra trong vũ trụ sơ khai, trước khi bất cứ ngôi sao nào được tạo ra. Hãy còn một sự không chắc chắn và khác nhau lớn trong những ước lượng về độ nhiều hạt nhân nhưng bằng chứng chắc chắn về độ nhiều ban đầu từ 20 đến 30 phần trăm của heli là đủ mạnh để khuyến khích những người bên vực mô hình chuẩn.

Thêm vào số lượng lớn heli được tạo ra sau ba phút đầu tiên, cũng còn có một chút ít hạt nhân nhẹ hơn, chủ yếu là đơteri (hydro với một neutron dôi) và đồng vị nhẹ của heli He mũ 3, nó đã thoát khỏi sự hợp nhất thành hạt nhân heli thông thường. (Các độ nhiều của chúng được tính lần đầu tiên năm 1967 trong bài báo của Wagoner, Fowler và Hoyle.) Không như độ nhiều của heli, độ nhiều của đơteri phụ thuộc nhiều vào mật độ hạt nhân trong quá trình tổng hợp hạt nhân: với mật độ cao hơn, các phản ứng hạt nhân xảy ra nhanh hơn, do đó hầu như tất cả đơteri phải bị biến đổi thành heli. Nói rõ hơn, đây là các trị số độ nhiều (theo trọng lượng) của đơteri được tạo ra trong vũ trụ sơ khai, mà Wagoner đã cho, đối với ba trị số có thể có của tỷ số giữa proton và hạt nhân:

Photon/hạt nhân	Độ nhiều của đơteri (phần triệu)
100 triệu	0,000 08
1000 triệu	16
10 000 triệu	600

Rõ ràng là nếu có thể xác định được độ nhiều lúc đầu tiên của đơteri trước khi bắt đầu hình thành các ngôi sao, ta có thể tính chính xác tỷ số photon trên hạt nhân; biết được nhiệt độ bức xạ hiện nay là 3 K, thì ta từ đó có thể tính được giá trị chính xác cho mật độ khối lượng hạt nhân hiện nay của vũ trụ, và phán đoán thử xem nó là mở hay đóng.

Tiếc thay rất khó xác định được độ nhiều đơteri lúc ban đầu thực sự. Trị số cổ điển của độ nhiều theo trọng lượng của đơteri trong nước trên quả đất là 150 phần triệu. (Đơteri là chất sẽ được dùng là nhiên liệu cho các lò phản ứng nhiệt hạch, nếu các phản ứng nhiệt hạch một ngày nào đó được diễn khiển một cách thích hợp). Tuy nhiên, đó là một con số đã bị sai lệch đi; sự việc các nguyên tử đơteri nặng gấp đôi nguyên tử hydro làm cho một phần

lớn chúng có thể liên kết thành phân tử nước nặng (HDO), thành ra một tỷ lệ đơteri bé hơn so với hydro đã có thể thoát khỏi trường hấp dẫn của quả đất. Mặt khác, quang phổ học chỉ ra rằng trên bề mặt mặt trời độ nhiều của đơteri rất nhỏ, nhỏ hơn bốn phần triệu. Đó cũng là một con số đã bị sai lệch - đơteri trong những vùng ngoài của mặt trời có thể bị hủy bằng cách kết hợp với hydro để tạo thành đồng vị nhẹ của heli, He mũ 3.

Sự hiểu biết của chúng ta về độ nhiều của đơteri trong vũ trụ đã có cơ sở vững chắc hơn ở các quan sát tử ngoại vào năm 1973 nhờ vệ tinh nhân tạo của quả đất Copernicus. Các nguyên tử đơteri, như những nguyên tử hydro, có thể hấp thụ ánh sáng tử ngoại ở một số bước sóng xác định ứng với những sự chuyển trong đó nguyên tử được kích thích từ trạng thái năng lượng thấp nhất đến một trạng thái cao hơn nào đó. Các bước sóng đó phụ thuộc nhẹ vào khối lượng của hạt nhân nguyên tử, cho nên phổ tử ngoại của một ngôi sao mà ánh sáng đến với chúng ta qua một hỗn hợp hydro và đơteri nằm giữa các vì sao sẽ có một số vạch hấp thụ tối, mỗi vạch tách thành hai thành phần, một do hydro, một do đơteri. Độ tối tỷ đối của các cặp thành phần của vạch hấp thụ bất kỳ khi đó cho trực tiếp độ nhiều tỷ đối của hydro và đơteri trong đám mây giữa các vì sao. Tiếc thay, khí quyển của quả đất làm cho việc tiến hành nghiên cứu thiên văn tử ngoại từ một trạm trên mặt đất rất khó khăn. Vệ tinh Copernicus mang một phổ kế tử ngoại dùng để nghiên cứu các vạch hấp thụ trên phổ của sao nóng beta của chòm sao Centaurus; từ các cường độ tỷ đối của chúng, người ta thấy rằng môi trường giữa ta và beta Centaurus chứa khoảng 20 phần triệu (theo trọng lượng) đơteri. Những quan sát gần đây hơn về những vạch hấp thụ tử ngoại trên phổ của những ngôi sao nóng khác cho những kết quả tương tự.

Nếu tỷ số 20 phần triệu này thực sự được tạo nên trong vũ trụ sơ khai, thì khi đó đã phải có (và hiện nay có) đúng khoảng 1100 triệu photon cho mỗi hạt hạt nhân (xem ở bảng trên). Ở nhiệt độ bức xạ vũ trụ hiện nay 3 K, có 550.000 photon mỗi lít, vậy hiện nay phải có khoảng 500 hạt hạt nhân mỗi triệu lít. Số này là hết sức bé nhỏ so với mật độ tối thiểu cho một vũ trụ đóng mà, như ta thấy ở chương II, là vào khoảng 3000 hạt hạt nhân cho mỗi triệu lít. **Kết luận như vậy sẽ phải là: vũ trụ là mở; nghĩa là các thiên hà đang chuyển động với vận tốc trên vận tốc thoát, và vũ trụ sẽ dẫn nở mãi mãi.** Nếu một phần nào chất giữa các vì sao đã được sản ra trong các ngôi sao có xu hướng phá hủy đơteri (như trên mặt trời), thì lúc đó độ nhiều đơteri đã được tạo ra theo vũ trụ học còn phải lớn hơn con số 20 phần triệu mà vệ tinh Copernicus đã tìm ra, như vậy mật độ của các hạt hạt nhân còn phải ít hơn 500 hạt mỗi triệu lít, làm cho kết luận rằng ta sống trong một vũ trụ mở dẫn nở mãi mãi, được đáng tin tưởng hơn nữa.

Tôi phải nói rằng bản thân tôi thấy cách lập luận đó có cái gì đó không thuyết phục lắm. Đôtêri không giống như hêli, dù độ nhiều của nó có vẻ là cao hơn là có thể mong đợi ở một vũ trụ đóng có mật độ tương đối cao, đôtêri còn là hết sức hiếm về trị số tuyệt đối. Ta có thể tưởng tượng rằng chất đôtêri thừa này được sản ra trong các hiện tượng thiên văn “gần đây” – các ngôi sao siêu mới, tia vũ trụ, có thể kể cả những đối tượng chuẩn sao (quaza). Đó không phải là trường hợp của hêli; độ nhiều 20 – 30 phần trăm của hêli không thể được tạo nên mới gần đây mà không có những lượng khổng lồ bức xạ được giải phóng mà ta không quan sát được. Có người cho rằng tỷ số 20 phần triệu đôtêri mà vệ tinh Copernicus tìm ra đã không thể được sản sinh ra theo bất cứ cơ chế vật lý thiên văn nào mà không đồng thời sản ra những lượng lớn một cách quá đáng những nguyên tố nhẹ hiếm khác : liti, berili và bo. Tuy nhiên, tôi không biết tại sao ta sẽ luôn luôn chắc rằng số ít đôtêri đó đã không được sản ra bởi một cơ chế phi vũ trụ học mà hiện nay chưa ai nghĩ đến.

Còn có một cái sót lại của vũ trụ sơ khai, nó tồn tại ở khắp quanh ta, nhưng dường như không thể quan sát được. Ta đã thấy trong cảnh ba rằng neutrino đã biến đổi như những hạt tự do từ lúc nhiệt độ vũ trụ hạ xuống dưới khoảng 10.000 triệu độ Kelvin. Trong thời gian đó những bước sóng của neutrino quả là đã dẫn dài tỷ lệ với kích thước của vũ trụ ; số lượng và sự phân bố năng lượng của neutrino do đó đã duy trì như là ở cân bằng nhiệt, song với một nhiệt độ đã giảm tỷ lệ nghịch với kích thước của vũ trụ. Đó cũng gần đúng là cái đã xảy ra đối với photon trong thời gian đó mặc dầu photon ở cân bằng nhiệt lâu hơn nhiều so với neutrino. Từ đó, nhiệt độ neutrino hiện nay phải đồ đồng bằng nhiệt độ photon hiện nay. Như vậy có khoảng 1000 triệu neutrino và phản neutrino cho mỗi hạt nhân trong vũ trụ.

Có thể nói chính xác hơn nhiều về điểm này. Một lúc không lâu sau khi vũ trụ trở thành trong suốt đối với neutrino, các electron và pôzitron bắt đầu huỷ nhau, nung nóng các photon chứ không phải các neutrino. Kết quả là nhiệt độ neutrino hiện nay phải *bé hơn* nhiệt độ của photon hiện nay một ít. Khá dễ dàng mà tính rằng nhiệt độ neutrino thấp hơn nhiệt độ của photon theo tỷ lệ căn ba của $4/11$, hoặc 71,48 phần trăm lần. Neutrino và phản hạt neutrino lúc đó đóng góp 45,42 phần trăm năng lượng cho vũ trụ so với photon. (Xem chú thích toán học 6.) Mặc dù tôi đã không nói rõ ra như vậy, mỗi khi tôi nhắc đến thời gian dẫn nở vũ trụ trước đây, tôi đã tính đến mật độ năng lượng neutrino dôi ra này.

Một sự thừa nhận khả dĩ đột ngột mô hình chuẩn của vũ trụ sơ khai khai sẽ là sự khám phá ra phong neutrino này . Ta có một tiên đoán chắc

chấn về nhiệt độ của nó; nó là 71,38 phần trăm của nhiệt độ photon, hoặc là khoảng 2 K. Sự không chắc chắn duy nhất về mặt lý thuyết về số lượng và sự phân bố năng lượng của neutrino là ở vấn đề mật độ số lepton có bé như ta giả thiết trước đây không. (Nhớ rằng số lepton là số các neutrino và các lepton khác trừ đi số các phản hạt neutrino và các phản lepton khác.) Nếu mật độ số lepton bé như mật độ số baryon, thì số lượng neutrino và phản neutrino sẽ bằng nhau, bằng một phần nghìn triệu. Mặt khác, nếu mật độ số lepton so sánh được với mật độ số photon thì sẽ có một sự “suy biến”, một sự dôi neutrino (hoặc phản neutrino) khá lớn và một sự thiếu hụt phản neutrino (hoặc neutrino). Một sự suy biến như vậy sẽ làm xê dịch cân bằng neutrino - photon trong ba phút đầu, và do đó sẽ làm thay đổi số lượng hêli và đơtêri sản ra theo vũ trụ học. Sự quan sát phong vũ trụ 2 K của neutrino và phản neutrino sẽ quyết định ngay vấn đề vũ trụ có một số lepton lớn hay không, nhưng điều quan trọng hơn nhiều là nó sẽ chứng tỏ rằng mô hình chuẩn của vũ trụ sơ khai quả thực là đúng đắn.

Than ôi, neutrino tương tác với vật chất thông thường yếu đến mức chưa ai nghĩ ra phương pháp nào để quan sát một phong neutrino vũ trụ 2 K. Đó thực là một vấn đề hóc búa : có khoảng một nghìn triệu neutrino và phản neutrino cho mỗi hạt hạt nhân, nhưng cho đến nay chưa ai biết cách phát hiện ra chúng ! Có thể một ngày nào đó sẽ có người tìm ra cách đó.

Khi theo dõi tường thuật về ba phút đầu này, bạn đọc có thể cảm nhận một tinh thần khoa học quá đáng. Có thể là đúng như vậy. Tuy nhiên, tôi không tin rằng tiến bộ khoa học luôn luôn được đẩy mạnh tốt nhất bằng cách có một thái độ quá rộng rãi trong việc tiếp thu cái mới. Nhiều khi cần quên những sự nghi ngờ của mình và theo dõi xem cái hệ quả của giả thuyết của ta có thể dẫn đến đâu : việc lớn không phải là tránh những định kiến lý thuyết, mà phải có những định kiến đúng đắn. Và bao giờ cũng vậy, sự kiểm tra một định kiến lý thuyết nào đó là ở chỗ nó dẫn đến đâu. Mô hình chuẩn của vũ trụ sơ khai đã đạt được vài thắng lợi, và nó cung cấp một khung lý thuyết phù hợp cho những chương trình thực nghiệm sắp đến. Việc này không có nghĩa là nó đúng nhưng có nghĩa là nó xứng đáng được xem xét nghiêm túc.

Tuy nhiên có một sự không chắc chắn lớn lơ lửng như một đám mây đen trên mô hình chuẩn . Cơ sở mà mọi tính toán nói đến trong chương này là nguyên lý vũ trụ học, sự cho rằng vũ trụ là đồng tính và đẳng hướng. (Ta hiểu “đồng tính” là : vũ trụ tỏ ra không đổi đối với mọi người quan sát được mang theo sự giãn nở tổng quát của vũ trụ, dù người quan sát đó ở vị trí nào; ta hiểu “đẳng hướng” là vũ trụ tỏ ra không đổi theo mọi hướng đối với một người quan sát như vậy). Ta biết từ những quan sát trực tiếp rằng phong bức xạ cực ngắn vũ trụ là đẳng hướng ở mức độ cao chung quanh ta, và từ đó

ta suy ra rằng vũ trụ là đẳng hướng và đồng tính ở mức độ cao ngay từ lúc bức xạ hết cân bằng với vật chất, ở một nhiệt độ khoảng 3000 K. Tuy nhiên, ta không có một bằng chứng nào rằng nguyên lý vũ trụ học đã đúng đắn trong những thời kỳ trước kia .

Có thể vũ trụ lúc đầu là rất không đồng tính và không đẳng hướng, nhưng sau đó đã “bớt gồ ghề” đi bởi các lực ma sát mà những phần của vũ trụ dần nở tác động lên nhau. Một mô hình “người san bằng” như vậy đã đặc biệt được Charles Misner ở trường đại học Maryland bênh vực. Cũng có thể rằng nhiệt được tạo ra bởi sự đồng tính hoá và sự đẳng hướng hoá nhờ ma sát của vũ trụ là nguyên nhân đưa đến tỷ lệ to lớn như hiện nay của photon trên hạt nhân là 1000 triệu trên một. Tuy nhiên theo sự hiểu biết cố gắng nhất của tôi, không ai có thể nói được tại sao vũ trụ có một độ không đồng tính và dị hướng riêng lúc đầu nào đó, và không ai biết cách tính toán nhiệt lượng được tạo ra bởi sự “san bằng” vũ trụ.

Theo tôi, lời giải đáp thích hợp cho những điểm không chắc chắn như vậy không phải là (như một số nhà vũ trụ học có thể muốn) loại bỏ mô hình chuẩn, mà là xem xét nó thật nghiêm túc và tính toán các hệ quả của nó đến cùng, dù chỉ là với hy vọng tìm được một mâu thuẫn nào đó với quan sát. Vẫn chưa rõ rằng tính không đẳng hướng và tính không đồng tính lớn ban đầu có ảnh hưởng lớn đến câu chuyện kể trong chương này hay không. Có thể là vũ trụ đã được san bằng đi trong vài giây đầu tiên; trong trường hợp đó sự tạo ra hêli và đơtêri theo vũ trụ học có thể được tính toán như thể nguyên lý vũ trụ học luôn luôn đúng đắn. Mặc dầu tính không đẳng hướng và tính không đồng tính của vũ trụ vẫn còn lại sau thời kỳ tổng hợp hêli, sự tạo ra hêli và đơtêri trong mọi khối dẫn nở một cách đồng đều chỉ phải phụ thuộc vào tốc độ dẫn nở ở trong khối đó, và có thể không khác lắm so với sự tạo ra được tính toán trong mô hình chuẩn. Cũng có thể là toàn bộ vũ trụ mà ta có thể thấy khi nhìn lại về trước, đến thời kỳ tổng hợp hạt nhân, chỉ là một khối đồng tính và đẳng hướng nằm trong một vũ trụ lớn hơn không đồng tính và không đẳng hướng.

Tính không chắc chắn của nguyên lý vũ trụ học trở thành thực sự quan trọng khi ta nhìn lại thừa bắt đầu chính công hoặc nhìn về sau cho đến khi vũ trụ kết thúc. Tôi sẽ tiếp tục dựa vào nguyên lý này trong phần lớn hai chương sau cùng. Tuy nhiên, phải luôn công nhận rằng những mô hình vũ trụ đơn giản của ta chỉ có thể mô tả một phần nhỏ của vũ trụ, hoặc một phần hạn chế lịch sử của nó.

VI - Vài trang lịch sử khoa học

Ta hãy tạm ngừng xét lịch sử của vũ trụ sơ khai, và nói về lịch sử ba thập niên cuối của nghiên cứu vũ trụ học. Ở đây tôi muốn đặc biệt xem xét một vấn đề lịch sử mà tôi cho là vừa khó hiểu vừa hấp dẫn. Sự phát hiện ra phong bức xạ cực ngắn vũ trụ trong năm 1965 là một trong những khám phá khoa học quan trọng nhất của thế kỷ 20. Vì sao nó đã phải ra đời một cách ngẫu nhiên? Hoặc nói cách khác tại sao không có sự tìm hiểu hệ thống nào về bức xạ này trong nhiều năm trước 1965?

Như ta thấy trong chương trước, giá trị đo được hiện nay của nhiệt độ phong bức xạ và mật độ khối lượng của vũ trụ cho phép ta tiên đoán các độ nhiều vũ trụ của các nguyên tố nhẹ, nó hình như khớp tốt với quan sát. Nhiều năm trước 1965 người ta đáng lẽ ra có thể tiến hành tính toán ngược lại, tiên đoán một phong bức xạ cực ngắn vũ trụ, và được bắt đầu tìm kiếm nó từ các độ nhiều vũ trụ quan sát được hiện nay, vào khoảng 20 - 30 phần trăm heli và 70 - 80 phần trăm hydro, có thể suy ra rằng sự tổng hợp hạt nhân đã phải bắt đầu lúc tỷ lượng neutron của các hạt hạt nhân hạ xuống 10 - 15 phần trăm. (Nhớ rằng độ nhiều theo trọng lượng của heli hiện nay là đúng gấp đôi tỷ lượng neutron ở thời kỳ tổng hợp hạt nhân). Giá trị này của tỉ lượng neutron đạt được khi vũ trụ ở nhiệt độ 1000 triệu độ Kelvin (10 mũ 9 K). Điều kiện tổng hợp hạt nhân bắt đầu lúc đó có thể cho phép người ta ước tính sơ bộ mật độ hạt nhân ở nhiệt độ 10 mũ 9 K, trong khi mật độ photon ở nhiệt độ đó có thể tính được từ những tính chất biết được của bức xạ vật đen. Từ đó, tỷ số giữa số lượng photon và hạt hạt nhân lúc đó cũng có thể biết được. Nhưng tỷ số đó không thay đổi, vì vậy nó cũng có thể được biết đúng như vậy ở thời kỳ hiện nay. Như vậy từ những quan sát mật độ hạt hạt nhân hiện nay, người ta có thể tiên đoán mật độ photon hiện nay, và suy ra sự tồn tại của một phong bức xạ cực ngắn vũ trụ với nhiệt độ hiện nay vào khoảng từ 1 K đến 10 K. Nếu lịch sử khoa học đã là đơn giản và rõ ràng như lịch sử vũ trụ, một người nào đó đã có thể đưa ra một tiên đoán theo các hướng đó trong những năm 1940 hoặc 1950; và sự tiên đoán đó đã có thể khởi xướng một sự tìm kiếm phong bức xạ trong hàng ngũ các nhà thiên văn vô tuyến. Nhưng đó hoàn toàn không phải là việc đã xảy ra.

Thực ra, một tiên đoán theo khá gần những hướng trên đã được đưa ra vào năm 1948, nhưng lúc đó hoặc sau đó, nó đã không dẫn đến một sự tìm kiếm bức xạ. Trong những năm cuối của thập niên 40, thuyết vũ trụ học “vụ

nổ lớn” đã được George Gamov và những người cộng tác của ông là Ralph Alpher và Robert Herman khảo sát kỹ. Họ cho rằng vũ trụ bắt đầu như là những neutron đơn thuần, và các neutron này sau đó bắt đầu chuyển thành photon qua quá trình phân rã phóng xạ quen biết trong đó một neutron ngẫu nhiên biến thành một proton, một electron, và một phản neutrino. Một lúc nào đó trong quá trình giãn nở, vũ trụ trở thành đủ lạnh để cho các nguyên tố nặng có thể tạo nên từ neutron và proton bằng một loạt nhanh các sự bắt neutron. Alpher và Herman tìm ra rằng để khớp với các độ nhiễu quan sát được hiện nay của những nguyên tố nhẹ cần giả thiết một tỷ số photon trên hạt nhân vào khoảng 1000 triệu. Dùng những ước lượng về mật độ hạt nhân vũ trụ hiện nay họ đã có thể tiên đoán sự tồn tại của một phong bức xạ còn sót lại từ vũ trụ sơ khai, với một nhiệt độ hiện nay là 5 K!

Các tính toán ban đầu của Alpher, Herman và Gamov không được đúng đắn trong mọi chi tiết. Như ta thấy trong chương trên, vũ trụ có lẽ bắt đầu với những số lượng bằng nhau về neutron và proton chứ không phải với neutron đơn thuần. Ngoài ra, sự chuyển từ neutron thành proton (và ngược lại) xảy ra chủ yếu qua sự va chạm với electron, pôzitron, neutrino và phản neutrino, chứ không phải là do sự phân rã phóng xạ của neutron. Các điểm đó đã được nêu lên vào năm 1950 bởi C. Hayashi và vào năm 1953 Alpher và Herman (cùng với J. W. Follin trẻ) đã sửa lại mô hình của họ và tiến hành một sự tính toán cơ bản đúng đắn về sự cân bằng xê dịch neutron - proton. Đó thực ra là sự phân tích hoàn toàn hiện đại đầu tiên về lịch sử của vũ trụ sơ khai.

Tuy nhiên, năm 1948 hoặc năm 1953 không ai bố trí để tìm bức xạ cực ngắn đã tiên đoán. Thực ra, nhiều năm trước 1965 các nhà vật lý thiên văn thường không biết rằng trong các mô hình “vụ nổ lớn”, các độ nhiễu của hydro và hêli đòi hỏi trong vũ trụ hiện nay tồn tại một phong bức xạ vũ trụ quả thực có thể quan sát được. Ở đây các nhà vật lý thiên văn nói chung không biết đến sự tiên đoán của Alpher và Herman, là không đáng ngạc nhiên lắm: một hai thông báo có thể chìm đi trong biển cả thông tin khoa học. Cái khó hiểu hơn là vấn đề suốt trên quá trình 10 năm sau không một ai khác theo đuổi một hướng lập luận như vậy. Tất cả các vấn đề lý thuyết đều có sẵn. Chỉ cho đến 1964 thì các tính toán về sự tổng hợp hạt nhân trong một mô hình “vụ nổ lớn” mới được bắt đầu lại, do Ya. B. Zeldovich ở Nga, Hoyle và R. J. Tayler ở Anh và Peebles ở Mỹ tiến hành, cả ba nhóm làm việc độc lập với nhau. Tuy nhiên, lúc đó Penzias và Wilson đã bắt đầu các quan sát của họ ở Holmdel, và đã phát hiện ra phong sóng cực ngắn mà không có sự kích thích và gợi ý nào của các nhà vũ trụ học lý thuyết.

Cũng rất lạ rằng những người thực có biết về sự tiên đoán của Alpher và

Herman hình như không nhân mạnh đến nó lắm. Chính Alpher, Follin và Herman trong báo cáo năm 1953 của họ đã để lại vấn đề tổng hợp hạt nhân cho những “nghiên cứu tương lai”, như vậy họ không có khả năng tính toán lại nhiệt độ mong đợi của phong bức xạ cực ngắn trên cơ sở mô hình được cải tiến của họ. (Mà họ cũng không nhắc đến sự tiên đoán trước đây của họ rằng họ chờ đợi một phong bức xạ 5 K. Họ thông báo về những tính toán nào đó về sự tổng hợp hạt nhân ở một cuộc họp của hội vật lý Mỹ năm 1953 nhưng cả ba chuyên qua các phòng thí nghiệm khác nhau và công trình không được viết lại dưới một dạng cuối cùng.) Nhiều năm sau, trong một bức thư viết cho Penzias sau sự phát hiện ra phong bức xạ cực ngắn, Gamov đã chỉ ra rằng trong một bài báo của ông năm 1953, đăng trong “các biên bản của viện hàn lâm hoàng gia Đan Mạch”, ông đã tiên đoán một phong bức xạ với nhiệt độ 7 K, đại thể là một bậc độ lớn đúng đắn. Tuy nhiên một sự nhìn qua bài báo năm 1953 đó cho thấy rằng tiên đoán của Gamov dựa trên một lập luận toán học sai lầm liên quan đến tuổi của vũ trụ, chứ không dựa trên thuyết của chính ông về tổng hợp hạt nhân.

Có thể lập luận rằng các độ nhiều trong vũ trụ của các nguyên tố nhẹ không được biết rõ trong những năm 1950 và đầu những năm 1960 để rút ra những kết luận gì dứt khoát về nhiệt độ của phong bức xạ. Đúng là ngay hiện nay ta cũng không thật chắc là có một độ nhiều của heli trong vũ trụ khoảng 20 - 3 phần trăm. Tuy nhiên điều quan trọng là người ta tin từ nhiều năm trước 1960 rằng đa số khối lượng của vũ trụ là ở dưới dạng hydro. (Chẳng hạn, một sự thăm dò năm 1956 do Hans Sues và Harold Urey tiến hành cho một độ nhiều hydro là 75 phần trăm theo trọng lượng). Mà hydro *không phải* được tạo ra trong các ngôi sao - nó là nhiên liệu nguyên thủy mà từ đó các ngôi sao có được năng lượng bằng cách tạo nên những nguyên tố nặng hơn. Việc này tự nó cũng đủ nói lên rằng đã phải có một tỷ lệ lớn photon trên hạt hạt nhân để có thể cản trở sự nung nấu tất cả hydro thành ra heli và những nguyên tố nặng hơn trong vũ trụ sơ khai.

Người ta có thể hỏi thực ra khi nào đã có thể, về mặt kỹ thuật, quan sát một phong bức xạ đẳng hướng ở 3K. Khó mà nói chính xác về việc này, nhưng các bạn đồng nghiệp thực nghiệm của tôi nói với tôi rằng sự quan sát đã có thể tiến hành lâu trước 1965, có thể vào giữa những năm 1950 và ngay có thể giữa những năm 1940. Năm 1946, một nhóm ở phòng thí nghiệm bức xạ của M.I T., dưới sự lãnh đạo của chính Robert Dicke đã có thể đặt một giới hạn trên cho những phong bức xạ đẳng hướng bất kỳ ngoài trái đất: nhiệt độ tương đương ít hơn 20 K ở những bước sóng 1,00, 1,25 và 1,50 centimet. Phép đo này là một sản phẩm phụ của những nghiên cứu về sự hấp thụ do khí quyển, và chắc không phải là một phần của một chương trình của vũ trụ học quan sát. (Thực ra, Dicke thông báo cho tôi rằng khi anh ta bắt

đầu tìm hiểu về một phong bức xạ cực ngắn vũ trụ có thể có được, anh ta đã quên giới hạn trên 20 K về nhiệt độ phong mà chính anh ta đã tìm được hai thập niên về trước!).

Đối với tôi, hình như không phải thật là quan trọng về mặt lịch sử nếu nêu rõ lúc mà sự khám phá phong sóng cực ngắn đẳng hướng 3 K đã trở thành có thể được. Điều quan trọng là các nhà thiên văn vô tuyến không biết là họ phải làm thử! Ngược lại hãy xét đến lịch sử về neutrino. Khi nó được Pauli giả thiết lần đầu năm 1932, rõ ràng là không có bóng dáng một dịp may nào để quan sát nó trong bất cứ một thí nghiệm nào lúc đó có thể làm được. Tuy nhiên, sự phát hiện neutrino còn ở trong trí óc của nhà vật lý như mục tiêu thách thức và khi các lò phản ứng hạt nhân có thể dùng cho những mục đích như vậy trong những năm 1950, neutrino đã được tìm kiếm và được tìm thấy. Sự khác nhau lại còn rõ rệt hơn trong trường hợp phản proton. Sau khi pôzitron đã được khám phá trong các tia vũ trụ năm 1932, các nhà lý thuyết thường mong đợi rằng proton cũng như electron phải có một phản hạt. Trong những năm 1930, đã không có cơ hội nào tạo ra phản proton với các cyclotron có được lúc đó, nhưng các nhà vật lý vẫn biết đến vấn đề này, và trong những năm 1950, một nhà máy gia tốc (Bevatron ở Berkeley) đã được xây dựng đặc biệt để có đủ năng lượng có thể tạo ra phản proton. Không có gì giống như vật đã xảy ra trong trường hợp phong bức xạ cực ngắn vũ trụ, cho đến lúc Dicke và các cộng tác viên của anh ta bắt tay vào việc phát hiện ra nó năm 1964. Ngay cho đến lúc đó, nhóm Princeton cũng không được biết đến công trình của Gamov, Alpher và Herman trước đó hơn một thập niên!

Thế thì cái gì đã trục trặc? Ở đây có thể nêu ra ba lý do đáng chú ý. Tại sao tầm quan trọng của sự tìm kiếm một phong bức xạ cực ngắn trong vũ trụ ở 3 K nói chung đã không được đánh giá đúng trong những năm 1950 và đầu những năm 1960?

Trước hết, phải hiểu rằng Gamov, Alpher và Herman và Follin, và những người khác đã làm việc trong bối cảnh của một thuyết vũ trụ học rộng lớn. Trong thuyết “vụ nổ lớn” của họ, về căn bản tất cả các hạt nhân phức tạp chứ không phải chỉ có heli, đã được giả thiết được tạo nên trong vũ trụ sơ khai, bằng một quá trình bắt nhanh neutron. Tuy nhiên, tuy thuyết này đoán trước một cách đúng đắn tỷ số các độ nhiều của vài nguyên tố nặng, nó bị bối rối khi muốn cắt nghĩa tại sao lại có thể có nguyên tố nặng được! Như đã nêu, không có hạt nhân bền với 5 hoặc 8 hạt nhân, do đó không thể tạo ra hạt nhân nặng hơn heli bằng cách bắt neutron hoặc proton vào các hạt nhân heli (He mũ 4) hoặc bằng cách “đúc” lại từng cặp hạt nhân heli. (Sự cản trở này lần đầu tiên đã được Enrico Fermi và Anthony Turkevich lưu ý). Do khó

khăn đó dễ thấy tại sao các nhà lý thuyết cũng không ham muốn ngay cả việc nghĩ đến một tính toán một cách nghiêm túc việc tạo ra heli trong thuyết này.

Thuyết vũ trụ học về sự tổng hợp các nguyên tố càng mất nhiều cơ sở hơn khi những cải tiến đã được đưa vào một thuyết khác, trong đó các nguyên tố được tổng hợp trong các vì sao. Năm 1952, E. E. Salpeter chỉ ra rằng những “chỗ hồng” của các hạt nhân với 5 hoặc 8 hạt nhân có thể được lấp trong tâm các ngôi sao giàu heli mật độ cao: các va chạm giữa hai hạt nhân heli tạo ra một hạt nhân berili không bền (Be mũ 8), và trong những điều kiện mật độ cao như vậy hạt nhân berili có thể va đập vào một hạt nhân heli khác trước khi nó phân rã tạo ra một hạt nhân cacbon bền (C mũ 12). (Mật độ vũ trụ ở thời kỳ tổng hợp hạt nhân theo vũ trụ học là quá thấp để cho quá trình này xảy ra lúc đó.) Năm 1957 xuất hiện một bài báo nổi tiếng của Geoffrey và Margaret Burbidge, Fowler và Hoyle, trong đó chỉ rõ rằng các nguyên tố nặng có thể được tạo nên trong các vì sao, đặc biệt trong các vụ nổ như những sao siêu mới, trong những thời kỳ có luồng neutron cường độ cao. Nhưng ngay trước năm 1950 trong các nhà vật lý thiên văn có một khuynh hướng mạnh mẽ tin rằng mọi nguyên tố trừ hydro đều được sản ra trong các vì sao. Hoyle đã lưu ý tới rằng đó có thể là kết quả của cố gắng mà các nhà thiên văn đã phải trải qua trong những thập niên đầu tiên của thế kỷ này để hiểu nguồn gốc của năng lượng sản sinh ra trong các vì sao. Vào năm 1940 công trình của Hans Bethe và những người khác đã chỉ rõ rằng quá trình then chốt là sự tổng hợp bốn hạt nhân hydro thành một hạt nhân heli, và trong những năm 1940 và 1950 bức tranh đó đã dẫn đến những tiến bộ trong sự hiểu biết về sự tiến hóa các vì sao. Như Hoyle nói, sau thành tựu đó nhiều nhà vật lý thiên văn cho rằng sẽ không lành mạnh nếu nghi ngờ rằng sao là nơi hình thành các nguyên tố.

Nhưng thuyết tổng hợp hạt nhân ở các vì sao cũng có những vấn đề của nó. Khó mà thấy được bằng cách nào mà các ngôi sao có thể tạo ra một cái gì giống như một độ nhiều 25 - 30 phần trăm của heli - thực ra năng lượng được giải thoát ra trong sự tổng hợp đó phải lớn hơn nhiều so với năng lượng mà sao có thể bức xạ ra suốt trong đời của nó. Thuyết vũ trụ học vất bỏ năng lượng đó rất hay: nó đơn giản bị mất đi trong sự dịch chuyển đỏ chung. Năm 1964, Hoyle và R. J. Tayler đã chỉ ra rằng độ nhiều lớn của heli trong vũ trụ hiện nay không thể được tạo ra trong các vì sao thông thường được, và họ tiến hành một sự tính toán về lượng heli có thể được tạo ra trong những thời kỳ đầu của một “vụ nổ lớn”, và nhận được một độ nhiều 36 % theo trọng lượng. Cũng khá lạ là họ cố định lúc tổng hợp hạt nhân có thể xảy ra ở một nhiệt độ có phần nào tùy tiện là 5000 triệu độ Kelvin, mặc dù sự kiện là giả thiết này phụ thuộc vào giá trị chọn cho một thông số lúc đó chưa được biết, tỷ số giữa photon và các hạt nhân. Nếu họ đã dùng tính toán của họ để

ước lượng tỷ số này từ độ nhiễu quan sát được của heli, họ đã có thể tiên đoán một phong bức xạ cực ngắn hiện nay với một nhiệt độ đại thể có bậc độ lớn đúng đắn. Dù sao, rất đáng ngạc nhiên là Hoyle, một trong những người đề xướng ra thuyết trạng thái dừng, đã ủng hộ đi theo hướng suy nghĩ này, và công nhận rằng nó cung cấp bằng chứng cho một cái gì giống như mô hình “vụ nổ lớn”.

Hiện nay nói chung người ta tin rằng sự tổng hợp hạt nhân xảy ra cả theo cách vũ trụ học tiên đoán lẫn trong các vì sao; heli và có thể một vài hạt nhân nhẹ khác được tổng hợp trong vũ trụ sơ khai, trong khi các vì sao chịu trách nhiệm về mọi cái khác. Thuyết vụ nổ lớn về tổng hợp hạt nhân, vì đã có “ôm đồm” quá nhiều, đã mất cái vẻ đáng tin cậy mà nó thực ra xứng đáng được coi như là một thuyết về tổng hợp heli.

Hai là, đây là một ví dụ kinh điển về sự gián đoạn thông tin giữa các nhà lý thuyết và thực nghiệm. Đa số các nhà lý thuyết đã không bao giờ nhận thức rõ rằng một phong bức xạ 3 K đẳng hướng có thể được khám phá ra một lúc nào đó. Trong một bức thư gửi cho Peebles đề ngày 23 - 6 - 1967, Gamov giải thích rằng ông ta hoặc Alpher hay Herman đã không ai cho rằng có thể khám phá ra bức xạ sót lại từ “vụ nổ lớn”, vì trong thời kỳ nghiên cứu về vũ trụ học, thiên văn vô tuyến còn đang ở thời kỳ sơ sinh. (Alpher và Herman, tuy nhiên, thông báo cho tôi rằng thực ra họ đã tìm hiểu khả năng quan sát phong bức xạ vũ trụ với những chuyên gia về radar ở trường đại học Johns Hopkins, phòng thí nghiệm nghiên cứu thủy quân, và ở viện tiêu chuẩn quốc gia, nhưng được trả lời rằng một nhiệt độ phong bức xạ 5 K hoặc 10 K là quá thấp để có thể được phát hiện với các kỹ thuật hiện hành). Mặt khác, vài nhà vật lý thiên văn Liên Xô (cũ) hình như có nhận thức rằng một phong bức xạ cực ngắn có thể được phát hiện, nhưng đã lạc đường bởi ngôn ngữ dùng trong các tạp chí kỹ thuật Mỹ. Năm 1964, Ya. B. Zeldovich viết một bài báo trong đó ông đã tiến hành một sự tính toán đúng đắn về độ nhiễu của heli trong vũ trụ cho hai giá trị có thể của nhiệt độ bức xạ hiện nay, và nhấn mạnh một cách đúng đắn rằng các đại lượng đó có liên hệ với nhau bởi vì số photon cho mỗi hạt nhân (hoặc entropi cho mỗi hạt nhân) không thay đổi theo thời gian. Tuy nhiên ông có vẻ như bị lạc đường bởi việc sử dụng danh từ “nhiệt độ bầu trời” trong một bài báo của E. A. Ohm viết năm 1961 trong *Tạp chí kỹ thuật của hệ thống Bell* để kết luận rằng nhiệt độ bức xạ đo được phải nhỏ hơn 1 K. (Ăngten mà Ohm đã dùng là bộ phản xạ hình loa kèn 20 fut mà sau đó Penzias và Wilson đã dùng để khám phá ra phong sóng cực ngắn). Việc này cùng với một số ước lượng có hơi thấp về độ nhiễu của heli vũ trụ đã dẫn Zeldovich đến việc định bỏ ý tưởng về một vũ trụ sơ khai nóng.

Cố nhiên, trong lúc luồng thông tin chạy một cách rất dõ từ các nhà thực nghiệm đến các nhà lý thuyết, nó cũng chạy rất dõ từ các nhà lý thuyết đến các nhà thực nghiệm, Penzias và Wilson chưa bao giờ nghe đến sự tiên đoán của Alpher và Herman khi họ bắt tay và việc thử ăngten của họ năm 1964.

Thứ ba, và tôi cho rằng là quan trọng nhất, thuyết vụ nổ lớn không dẫn đến một sự tìm kiếm phong sóng cực ngắn 3 K bởi vì các nhà vật lý cảm thấy vô cùng khó khăn khi nghĩ tới bất cứ một thuyết nào về vũ trụ sơ khai một cách nghiêm chỉnh. (Tôi nói đây là một phần vì nhớ lại thái độ của ngay bản thân tôi trước 1965). Mỗi một khó khăn nêu trên đây đều đã có thể vượt qua bằng một sự cố gắng nhỏ. Tuy nhiên ba phút đầu tiên quá xa chúng ta về thời gian, các điều kiện về nhiệt độ và mật độ lạ lùng, đến nỗi ta cảm thấy không thoải mái lắm khi ứng dụng các lý thuyết của cơ học thống kê và vật lý hạt nhân bình thường của chúng ta.

Đây là một tình trạng trong vật lý - sai lầm của chúng ta không phải là ta đã coi các thuyết của chúng ta quá nghiêm chỉnh, mà là vì chúng ta không coi chúng đủ nghiêm chỉnh. Thường khó nhận thức rằng các con số và phương trình mà ta đang sử dụng có cái gì đó liên quan với thế giới thực. Tệ hơn nữa, nhiều khi dường như có một sự nhất trí chung rằng một số hiện tượng nào đó không phải là những vấn đề xứng đáng được coi trọng. Gamov, Alpher và Herman xứng đáng có một uy tín lớn lao, trước hết, vì đã muốn nghiên cứu một cách nghiêm chỉnh vũ trụ sơ khai, vì đã tính toán được cái mà các quy luật vật lý đã được biết có thể nói được về ba phút đầu tiên. Tuy vậy, họ cũng đã không đi bước cuối, thuyết phục các nhà thiên văn vô tuyến rằng họ phải đi tìm một phong bức xạ cực ngắn. Việc quan trọng nhất mà sự phát hiện cuối cùng về phong bức xạ ở 3 K năm 1965 hoàn thành là đã buộc tất cả chúng ta xem xét ý tưởng rằng đã có một vũ trụ sơ khai một cách nghiêm chỉnh.

Tôi đã nói khá dài về dịp may bị vỡ hụi này bởi vì theo tôi nó là loại lịch sử khoa học soi sáng cho chúng ta nhiều nhất. Dễ hiểu rằng nhiều nhà viết lịch sử khoa học nói về những thắng lợi của nó, về những phát hiện lừng danh, những suy luận hoặc về những bước nhảy thần kỳ của một Newton hoặc một Einstein. Nhưng tôi không nghĩ rằng thực ra có thể hiểu các thắng lợi của khoa học nếu không hiểu được nó *khó* ra sao - ta dễ bị đi lạc đường như thế nào, việc biết được ở một lúc nào đó điều tiếp theo phải làm là gì, khó khăn như thế nào.

VII - Phần trăm giây đầu tiên

Câu chuyện của ta về ba phút đầu tiên ở chương V không thể bắt đầu vào thời điểm bắt đầu của vũ trụ. Thay vào đó ta bắt đầu ở “cảnh một” khi nhiệt độ vũ trụ đã nguội xuống một trăm nghìn triệu độ Kelvin, và những hạt có mặt lúc đó với số lượng lớn chỉ là photon, electron, neutrino và những phản hạt tương ứng của chúng. Nếu chúng quả thực là những loại hạt duy nhất trong tự nhiên, thì có lẽ có thể ngoại suy sự dẫn nở vũ trụ lùi về quá khứ và cho rằng đã phải có một lúc bắt đầu thực sự, một trạng thái nhiệt độ và mật độ vô cùng lớn, xảy ra 0,0108 giây trước cảnh một của chúng ta.

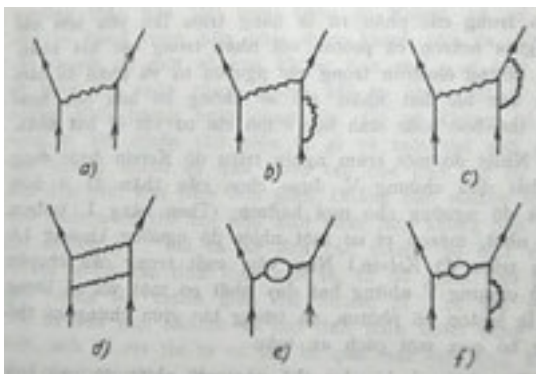
Tuy nhiên có nhiều loại hạt khác mà vật lý thiên văn hiện đại biết: muon, meson pi, proton, neutron, v. v... Khi ta nhìn lùi về những thời gian ngày càng xa, ta gặp những nhiệt độ và mật độ cao đến mức tất cả các hạt đó có thể có mặt với số lượng lớn ở cân bằng nhiệt và tất cả ở một trạng thái tương tác liên tục. Vì những lý do mà tôi mong sẽ làm sáng tỏ, ta quả là vẫn không biết đủ về vật lý hạt cơ bản để có thể tính toán các tính chất của một hỗn hợp như vậy với một sự tin tưởng nào đáng kể. Như vậy sự kém cỏi của chúng ta về vật lý vi mô như là một bức màn che mắt hướng nhìn của ta về lúc đầu tiên thực sự.

Cố nhiên ta rất muốn nhìn được sau bức màn đó. Sự cảm dỗ đó đặc biệt mạnh đối với những nhà lý thuyết như tôi, làm việc ở lĩnh vực vật lý hạt cơ bản nhiều hơn vật lý thiên văn. Nhiều ý tưởng hấp dẫn trong vật lý các hạt hiện nay có những hệ quả tinh tế đến mức chúng rất khó mà được thử nghiệm trong các phòng thí nghiệm ngày nay, nhưng những hệ quả của chúng sẽ rất sâu sắc khi các ý tưởng này được áp dụng cho vũ trụ rất sơ khai.

Vấn đề đầu tiên mà ta gặp phải khi nhìn lùi về những nhiệt độ trên trăm nghìn triệu độ là do những “tương tác mạnh” của những hạt cơ bản. Những tương tác mạnh là những lực giữ neutron và proton với nhau trong hạt nhân nguyên tử. Chúng không quen thuộc trong đời sống bình thường theo kiểu các lực điện, từ và hấp dẫn bởi vì tầm tác dụng của chúng là hết sức ngắn, khoảng một phần mười triệu centimet (10 mũ âm 13 cm). Kể cả trong các phân tử mà hạt nhân cách nhau thường vào khoảng vài phần trăm triệu centimet (10 mũ âm 8 cm) những tương tác mạnh giữa các hạt nhân khác nhau hầu như không có tác dụng. Tuy nhiên, như tên của chúng chỉ rõ, các tương tác mạnh là rất mạnh. Khi hai proton được đẩy đến đủ gần nhau, tương tác mạnh của chúng khoảng một trăm lần lớn hơn lực đẩy điện, đây là

lý do tại sao các tương tác mạnh có thể giữ vững các hạt nhân nguyên tử chống lại lực đẩy điện của gần một trăm proton. Sự nổ của một bom khinh khí được gây nên bởi sự phân bố lại neutron và proton, nó cho phép chúng liên kết với nhau mạnh mẽ hơn bởi các tương tác mạnh; năng lượng của quả bom đúng là năng lượng thừa do sự phân bố lại đó tạo nên.

Chính sức mạnh của các tương tác mạnh làm cho ta khó giải quyết chúng bằng toán học hơn là những tương tác điện từ. Chẳng hạn khi ta tính xác suất tán xạ của hai electron do lực đẩy điện từ giữa chúng gây nên, ta phải cộng một số vô hạn các đóng góp, mỗi đóng góp ứng với một chuỗi bức xạ và hấp thụ đặc biệt các photon và những cặp electron - pôzitron được mô tả tượng trưng bằng “giản đồ Feynman” giống như các giản đồ ở hình 10.



Hình 10. Vài giản đồ Feynman.

Hình 10. Vài giản đồ Feynman. Ở đây vẽ vài giản đồ Feynman đơn giản cho quá trình tán xạ electron - electron. Những đường thẳng chỉ electron hoặc pôzitron; đường lượn sóng chỉ photon. Mỗi giản đồ chỉ một “đại lượng hằng số” nào đó phụ thuộc vào xung lượng và spin của các electron vào và ra; xác suất của quá trình tán xạ là bình phương của tổng các đại lượng đó, kết hợp với mọi giản đồ Feynman. Phần đóng góp của mỗi giản đồ cho tổng này là tỷ lệ với số nhân số $1/137$ (hằng số cấu trúc tinh tế) được cho bởi số đường photon. Giản đồ a biểu diễn sự trao đổi một electron riêng lẻ và cho đóng góp chính, tỷ lệ với $1/137$. Các giản đồ (b), (c), (d) và (e) biểu diễn mọi kiểu giản đồ hợp thành các hiệu chính “bức xạ” chủ yếu cho (a); tất cả chúng cho đóng góp khoảng $(1/137)$ mũ 2. Giản đồ (f) cho một đóng góp còn bé hơn nữa, tỷ lệ với $(1/137)$ mũ 3.

(Phương pháp tính toán dùng các giản đồ được Richard Feynman, lúc đó ở Cornell vạch ra trong cuối những năm 1940. Nói chặt chẽ ra, xác suất của quá trình tán xạ được cho bằng bình phương của một tổng các đóng góp, mỗi cái ứng với một giản đồ.) Thêm một đường nội tại nữa vào cho một giản đồ bất kỳ sẽ làm giảm phần đóng góp của giản đồ một số lần bằng một thừa số xấp xỉ bằng một hằng số cơ bản của tự nhiên, gọi là “hằng số cấu trúc tinh tế”. Hằng số này rất là bé khoảng $1/137,036$. Những giản đồ phức tạp do đó

cho những đóng góp bé, và ta có thể tính toán xác suất của quá trình tán xạ với mật độ gần đúng thích hợp bằng cách cộng những đóng góp chỉ từ một số ít giản đồ đơn giản. (Đó là lý do tại sao ta tin tưởng rằng ta có thể tiên đoán các phổ nguyên tử với độ chính xác hầu như không giới hạn.) Tuy nhiên, với các tương tác mạnh hằng số đóng vai trò của hằng số cấu trúc tinh tế xấp xỉ bằng một, chứ không phải là $1/137,036$, và những giản đồ phức tạp khi đó cho một đóng góp cũng lớn như những giản đồ đơn giản. Vấn đề này, sự khó tính toán các xác suất cho các quá trình bao hàm tương tác mạnh đã là trở ngại lớn nhất duy nhất cho sự tiến bộ trong vật lý hạt cơ bản trong một phần tư thế kỷ qua.

Không phải mọi quá trình đều bao hàm tương tác mạnh. Những tương tác mạnh chỉ ảnh hưởng đến một loại hạt gọi là “hadron” chúng bao gồm những hạt hạt nhân và các meson pi, và những hạt không bền khác gọi là meson eta, các hyperon lamda, hyperon xich ma, v. v... Những hadron thường là nặng hơn lepton (tên lepton là từ chữ Hy Lạp có nghĩa là nhẹ), **nhưng sự khác nhau thực sự quan trọng giữa chúng là các hadron chịu ảnh hưởng của những tương tác mạnh trong khi các lepton - neutrino, electron, và muon thì không**. Sự việc electron không cảm thấy lực hạt nhân là vô cùng quan trọng - cùng với việc khối lượng của electron rất bé, nó là nguyên nhân gây nên sự kiện là đám mây electron trong một nguyên tử hoặc phân tử là khoảng một trăm nghìn lần lớn hơn hạt nhân nguyên tử và cả sự kiện là các lực hóa học giữ các nguyên tử với nhau trong các phân tử là hàng triệu lần yếu hơn các lực giữa neutron và proton với nhau trong các hạt nhân. Nếu những electron trong các nguyên tử và phân tử cảm thấy các lực hạt nhân, thì sẽ không có hóa học hoặc tinh thể học hoặc sinh học- mà chỉ có vật lý hạt nhân.

Nhiệt độ một trăm nghìn triệu độ Kelvin được dùng để bắt đầu chương V, được chọn cẩn thận để ở dưới nhiệt độ ngưỡng cho mọi hadron. (Theo bảng 1, hadron nhẹ nhất, meson pi có một nhiệt độ ngưỡng khoảng 1,6 triệu triệu độ Kelvin.) Như vậy, suốt trong câu chuyện kể ở chương V những hạt duy nhất có mặt với số lượng lớn là lepton và photon, và tương tác giữa chúng có thể được bỏ qua một cách an toàn.

Ta phải xử lý như thế nào với nhiệt độ cao hơn khi các hadron và phản hadron tồn tại với số lượng lớn? Có hai giải đáp rất khác nhau phản ánh hai trường phái suy nghĩ rất khác nhau về bản chất các hadron.

Theo một trường phái, thực ra không có gì có thể coi như là một hadron “cơ bản”. Mỗi một hadron này cũng cơ bản như mỗi một hadron khác, không chỉ những hadron bền và gần bền như proton và neutron, và không chỉ những hạt không bền vừa phải như meson pi, meson K, meson eta, và các hyperon,

chúng sống đủ lâu để để lại những vết đo được trên những phim ảnh hoặc trong các buồng bọt, mà còn cả những “hạt” hoàn toàn không bền như các meson ro, chúng sống chỉ đủ lâu với một vận tốc gần bằng vận tốc của ánh sáng chúng chỉ có thể vượt qua khoảng một hạt nhân nguyên tử. Thuyết này, nói riêng đã được Geoffrey Chew ở Berkeley phát triển vào cuối những năm 1950 và đầu những năm 1960, và đôi khi được gọi là “nền dân chủ hạt nhân”.

Với một định nghĩa phóng khoáng như vậy về hadron, đúng là có hàng trăm hadron đã được biết mà ngưỡng thấp hơn 100 triệu triệu độ Kelvin, và có thể còn có hàng trăm nữa phải được khám phá ra. Trong vài thuyết còn có một số loại không hạn chế: số loại hạt sẽ tăng lên ngày càng nhanh khi ta khảo sát tỷ mỉ những khối lượng ngày càng lớn. Có vẻ không có hy vọng gì khi muốn thử hiểu tý gì về một thế giới như vậy, nhưng chính sự quá phức tạp của phổ hạt có thể dẫn đến một loại tính đơn giản. Chẳng hạn meson ro là một hadron có thể coi như một phức hợp không bền của hai meson pi; khi ta kể đến các meson ro một cách rõ rệt trong các tính toán của ta, ta đã phần nào tính đến tương tác mạnh giữa các meson pi; có thể rằng nếu ta đưa mọi hadron và các tính toán nhiệt động học một cách rõ rệt thì ta có thể bỏ qua *mọi hiệu ứng* khác của các tương tác mạnh.

Ngoài ra nếu thực có một số không hạn định loại hadron thì khi ta để ngày càng nhiều năng lượng trong một thể tích đã cho, thì năng lượng không làm cho các vận tốc ngẫu nhiên của các hạt tăng lên, mà thay vào đó là cho một số loại hạt có mặt trong thể tích tăng lên. Khi đó nhiệt độ không tăng lên nhanh, khi mật độ năng lượng tăng như điều phải xảy ra nếu số loại hadron đã được cố định. Thực ra, trong những thuyết như vậy, có thể có một nhiệt độ *cực đại*, trị số của nhiệt độ ở đó mật độ năng lượng trở thành vô cùng lớn. Đó sẽ là một giới hạn trên không vượt được về nhiệt độ như độ không tuyệt đối là một giới hạn dưới. Ý tưởng về một nhiệt độ cực đại trong vật lý hadron lúc đầu tiên đó R. Haedorn ở phòng thí nghiệm CERN ở Gionevor đưa ra và sau này được phát triển thêm bởi nhiều nhà vật lý lý thuyết khác bao gồm Kerson Huang ở M.I.T và bản thân tôi. Có cả một ước tính khá chính xác về nhiệt độ cực đại - nó thấp một cách đáng ngạc nhiên, vào khoảng hai triệu triệu độ Kelvin (2×10^{12} K). Nếu ta nhìn mỗi lúc một gần thời điểm bắt đầu, nhiệt độ sẽ lớn lên mỗi lúc một gần trị số cực đại đó và số loại hadron của mặt sẽ mỗi lúc càng phong phú. Tuy nhiên dù trong những điều kiện kỳ lạ đó, cũng sẽ còn một lúc bắt đầu, một thời điểm có mật độ năng lượng vô cùng lớn xấp xỉ vào khoảng một phần trăm giây trước cảnh một ở chương V.

Còn có một trường phái tư tưởng khác theo lối cổ truyền hơn nhiều, gần

trực giác thông thường hơn nhiều so với phái “nền dân chủ hạt nhân”, và theo tôi cũng gần sự thật hơn. Theo trường phái này không phải tất cả các hạt đều như nhau; một số đúng thật là cơ bản, và tất cả các hạt khác chỉ là những phức hợp của những hạt cơ bản.

Những hạt cơ bản được cho là bao gồm proton và tất cả những lepton đã biết, *nhưng không có hạt hadron đã biết nào*. Ngược lại, những hadron được giả thiết là phức hợp của những hạt cơ bản hơn gọi là “quark” (quac).

Biến thể ban đầu của thuyết quark do Murray Gell - Mann và George Zweig, cả hai ở Cal Tech, đưa ra (một cách độc lập). Trí tưởng tượng thơ mộng của các nhà vật lý lý thuyết quả là đã quá phóng túng trong việc đặt tên cho các loại quark khác nhau. Có nhiều kiểu hoặc “mùi” quark khác nhau, chúng được gán tên như là “lên”, “xuống”, “lạ”, và “duyên”. Hơn nữa mỗi “mùi” của quark có ba “màu” phân biệt, mà những nhà vật lý lý thuyết Mỹ thường gọi là đỏ, trắng, xanh. Nhóm nhỏ những nhà vật lý lý thuyết ở Bắc Kinh từ lâu đã ưu dùng một biến thể hơi giống của thuyết quark, nhưng gọi chúng là “straton”, thay cho quark bởi vì những hạt này thể hiện một mức độ (stratum) thực tế sâu hơn những hadron bình thường.

Nếu ý tưởng về quark là đúng, thì khi đó vật lý của vũ trụ lúc thật sơ khai có thể đơn giản hơn là ta tưởng trước đây. Có thể suy ra một cái gì đó về lực giữa các quark từ phân bố theo không gian của chúng bên trong một hạt hạt nhân và sự phân bố đó lại có thể được xác định (nếu mô hình quark là đúng) từ những quan sát về những va chạm năng lượng cao của electron với hạt hạt nhân. Theo hướng đó, cách đây vài năm nhờ một sự cộng tác giữa M.I.T. và trung tâm gia tốc tuyến tính Stanford người ta đã tìm thấy rằng lực giữa các quark hình như biến mất khi các quark rất gần nhau. Việc này gợi ý rằng ở một nhiệt độ nào đó vào khoảng nhiều triệu triệu độ Kelvin, hadron sẽ đơn giản vỡ thành những quark thành phần của chúng, đúng như là nguyên tử vỡ ra thành electron và hạt nhân ở vài nghìn độ, và hạt nhân vỡ ra thành proton và neutron ở vài nghìn triệu độ. **Theo bức tranh đó, trong những thời kỳ thật là sơ khai, vũ trụ có thể nói là bao gồm photon, lepton và phản lepton, quark, phản quark, tất cả chuyển động về căn bản như những hạt tự do, và mỗi loại hạt, do đó, cung cấp đúng một loại bức xạ vật đen nữa. Lúc đó dễ tính toán rằng phải có một thời điểm bắt đầu, một trạng thái có mật độ vô hạn và nhiệt độ vô hạn, khoảng một phần trăm giây trước cảnh một .**

Những ý tưởng phân nào trực giác hơn này gần đây đã được đặt trên một nền tảng toán học vững hơn nhiều. Năm 1973 ba nhà lý thuyết trẻ, Hugh David Politzer ở Harvard, David Gross và Frank Wilczek ở Princeton đã chỉ ra rằng, trong một lớp các lý thuyết trường lượng tử đặc biệt, những lực giữa

các hạt quark thực sự trở nên yếu hơn khi chúng được đẩy gần nhau hơn (lóp các lý thuyết này được gọi là những “lý thuyết hiệu chuẩn không giao hoán” mà bởi những lý do quá chuyên môn nên không thể cắt nghĩa ở đây được). Những lý thuyết này có tính chất “tự do tiệm cận” đáng chú ý: ở những khoảng cách ngắn hoặc năng lượng cao một cách tiệm cận, những hạt quark biểu diễn như những hạt tự do, S. Collins và M. J. Perry ở trường đại học Cambridge cũng đã chỉ rõ rằng trong bất kỳ một thuyết tự do tiệm cận nào, những tính chất của một môi trường ở nhiệt độ và mật độ đủ cao về căn bản là giống như thể môi trường chỉ gồm những hạt tự do. Như vậy, tính tự do tiệm cận của những lý thuyết hiệu chuẩn không giao hoán này đã cung cấp một bằng chứng toán học vững chắc cho bức tranh khoa học thật đơn giản về phần trăm giây đầu tiên - rằng vũ trụ chỉ bao gồm những hạt cơ bản tự do.

Mô hình quark là rất tốt trong một loại ứng dụng rộng rãi. Proton và neutron quả thực biểu diễn như thể chúng bao gồm ba quark, các meson ro biểu diễn như thể chúng bao gồm một quark và một phản quark, v.v... Nhưng mặc dù có thắng lợi đó, mô hình quark đặt ra cho ta một bài toán rất hóc búa: dầu với những năng lượng cao nhất có thể đạt được trong những máy gia tốc hiện nay, người ta không thể phá vỡ một hadron nào thành ra các quark thành phần của nó.

Một sự bất lực đã cô lập quark tự do giống như vậy cũng xuất hiện trong vũ trụ học. Nếu hadron thực sự vỡ ra thành quark tự do trong những điều kiện nhiệt độ cao trong vũ trụ sơ khai, thì người ta có thể chờ đợi một số quark tự do còn sót lại đến nay. Nhà vật lý thiên văn Liên Xô cũ Ya. B. Zeldovich đã ước tính rằng những hạt quark tự do còn sót lại có thể xấp xỉ nhiều như nguyên tử vàng trong vũ trụ hiện nay. Không cần phải nói, vàng không phải là nhiều lắm nhưng một lạng vàng còn dễ kiếm hơn một lạng quark nhiều.

Bài toán hóc búa về sự không tồn tại quark tự do cô lập là một trong những bài toán quan trọng nhất của vật lý lý thuyết hiện nay. Gross và Wilezek và cả bản thân tôi đã giả thiết rằng “tính tự do tiệm cận” cung cấp một cách giải thích có thể có. Nếu sức mạnh của tương tác giữa hai quark bớt đi khi chúng được đẩy đến gần nhau thì nó cũng tăng lên khi chúng bị kéo ra xa nhau. Năng lượng cần để kéo một quark khỏi những quark khác trong một hadron bình thường do đó sẽ tăng khi khoảng cách tăng và hình như một lúc nào đó nó trở thành đủ lớn để tạo nên những cặp quark - phản quác mới từ chân không. Cuối cùng, người ta có không phải nhiều quark tự do mà nhiều hadron thông thường. Việc này hoàn toàn giống như khi ta định dứt một đầu của một sợi dây: nếu bạn kéo rất mạnh sợi dây sẽ đứt, nhưng kết quả cuối cùng là hai sợi dây, mỗi sợi có hai đầu. Các quark trong vũ trụ sơ

khai ở gần nhau đủ để chúng không cảm thấy các lực đó và có thể biểu diễn như những hạt tự do. Tuy nhiên mỗi quark tự do có mặt trong vũ trụ sơ khai, thì khi vũ trụ giãn nở và nguội đi, phải hoặc bị hủy với một phản quark hoặc tìm một nơi an nghỉ ở trong một proton hoặc một neutron.

Như vậy là ta đã nói nhiều về tương tác mạnh, có nhiều vấn đề cần phải được giải quyết nữa nếu ta quay đồng hồ lùi lại lúc bắt đầu thực sự.

Một hệ quả thực sự hết sức hấp dẫn của những lý thuyết hiện đại về hạt cơ bản là vũ trụ có thể đã có thể trải qua một *sự chuyển pha*, như sự đông đặc của nước khi nó lạnh xuống dưới 273 K (= 0 độ C). Sự chuyển pha đó không liên quan tới các tương tác mạnh, mà tới một loại tương tác tầm ngắn khác trong vật lý hạt cơ bản, những tương tác yếu.

Tương tác yếu chịu trách nhiệm về một số quá trình phân rã phóng xạ như sự phân rã của một neutron tự do hoặc nói rộng hơn, về mọi phản ứng bao gồm một neutrino. Như tên gọi chúng cho thấy, những tương tác yếu yếu hơn nhiều so với các tương tác điện từ hoặc tương tác mạnh. Chẳng hạn trong một va chạm giữa một neutrino và một electron ở một năng lượng một triệu electron - volt, lực yếu là khoảng một phần mười triệu (10 mũ âm 7) của lực điện từ giữa hai electron va chạm nhau ở cùng năng lượng đó.

Mặc dù tính yếu của các tương tác yếu, từ lâu người ta đã nghĩ rằng có một liên hệ sâu sắc giữa các lực yếu và điện từ. Một lý thuyết trường thống nhất hai lực đó đã được tôi đưa ra năm 1967 và Abdus Salam đưa ra một cách độc lập năm 1968. Lý thuyết đó tiên đoán một loại tương tác yếu mới, gọi là những dòng trung hòa, mà sự tồn tại đã được khẳng định bằng thực nghiệm năm 1973. Nó lại được sự ủng hộ tiếp theo do sự khám phá bắt đầu từ 1974, của một họ hadron mới. Ý tưởng then chốt trong loại lý thuyết đó là tự nhiên có một độ đối xứng rất cao liên hệ các hạt và các lực khác nhau, nhưng bị lu mờ đi trong các hiện tượng vật lý thông thường. Các lý thuyết trường dùng từ 1973 để mô tả các tương tác mạnh đều thuộc kiểu toán học đó (các lý thuyết hiệu chuẩn không giao hoán) và nhiều nhà vật lý hiện nay tin rằng các lý thuyết hiệu chuẩn đó có thể cung cấp một cơ sở thống nhất để hiểu mọi lực của tự nhiên: yếu, điện từ, mạnh và có thể cả lực hấp dẫn. Quan điểm đó được ủng hộ bởi một tính chất của các lý thuyết hiệu chuẩn đã được Salam và bản thân tôi phỏng đoán nhưng được Gerard 't Hooft chứng minh lần đầu tiên năm 1971: các đóng góp của những giản đồ Feynman phức tạp mặc dù bề ngoài là vô hạn, cho những kết quả hữu hạn đối với xác suất của mọi quá trình vật lý.

Đối với các nghiên cứu vũ trụ sơ khai, điều quan trọng trong các lý thuyết hiệu chuẩn là, như năm 1972 D. A. Kizhnitz và A. D. Linde ở viện vật

lý Lebedev ở Matxcova đã chỉ rõ, các lý thuyết đó đưa ra một sự chuyển pha, một kiểu đông đặc, ở một “nhiệt độ tới hạn” khoảng 3000 triệu triệu độ Kelvin (3×10^6 K). Ở những nhiệt độ dưới nhiệt độ tới hạn vũ trụ là như bây giờ: tương tác yếu đã là yếu và có tầm ngắn. Ở những nhiệt độ trên nhiệt độ tới hạn tính thống nhất cơ bản giữa các tương tác yếu và điện từ là rõ rệt: các tương tác tuân theo cùng loại định luật bình phương nghịch đảo như các tương tác điện từ và có cùng cường độ.

Sự tương tác với một cốc nước đông đặc ở đây có nhiều ý nghĩa. Trên điểm đông đặc nước lỏng tỏ ra có một độ đồng tính cao: xác suất tìm được một phân tử nước ở một điểm ở trong cốc là đúng như ở bất cứ điểm nào khác. Tuy nhiên, khi nước đông đặc, sự đối xứng giữa các điểm khác nhau trong không gian bị mất đi một phần: nước đá tạo ra một mạng tinh thể với những phân tử nước chiếm những vị trí cách nhau đều đặn nhất định và với gần như một xác suất bằng không để tìm ra những phân tử nước ở bất cứ chỗ nào khác. Cũng như vậy khi vũ trụ “đông đặc” với nhiệt độ xuống thấp hơn 3000 triệu triệu độ, một sự đối xứng đã bị mất đi - không phải tính đồng tính không gian của nó, như trong cốc nước đá của ta, mà là sự đối xứng giữa các tương tác yếu và điện từ.

Còn có thể đưa sự tương tự đi xa hơn nữa. Như mọi người biết, khi nước đông lại nó thường không tạo ra một tinh thể nước đá hoàn hảo, mà là một cái gì còn phức tạp hơn nhiều: một trạng thái hỗn độn của các miền (đômen) tinh thể được ngăn cách nhau bởi những sai hỏng tinh thể đủ mọi kiểu. Vũ trụ đã đông lại thành những miền chẳng? Chúng ta đã sống trong một miền mà ở đó tính đối xứng giữa các tương tác yếu và điện từ đã bị phá vỡ theo một cách đặc biệt, và có thể lúc nào đó ta khám phá ra những miền khác hay chẳng?

Cho đến nay trí tưởng tượng của ta đã đưa ta lùi lại một nhiệt độ 3000 triệu triệu độ và ta đã nói đến các tương tác mạnh, yếu và điện từ. Còn về một loại tương tác trọng yếu trong vật lý, các tương tác hấp dẫn thì sao? Lực hấp dẫn cố nhiên đã đóng một vai trò quan trọng trong câu chuyện của chúng ta, vì nó chi phối quan hệ giữa mật độ vũ trụ và tốc độ giãn nở của nó. Tuy nhiên, lực hấp dẫn đã không được thấy là có một tác động nào trên các tính chất nội tại của bất kỳ phần nào của vũ trụ sơ khai. Đó là vì sức yếu hết mức của lực hấp dẫn: chẳng hạn, lực hấp dẫn giữa electron và proton trong một nguyên tử hydro bé hơn lực điện 10 mũ 39 lần.

(Một bằng chứng của sự yếu ớt của lực hấp dẫn trong các quá trình vũ trụ là quá trình sản ra hạt trong các trường hấp dẫn. Leonard Parker ở trường đại học Wisconsin đã nêu ra rằng các hiệu ứng “thủy triều” của trường hấp dẫn của vũ trụ đã đủ lớn ở một thời điểm khoảng một phần triệu triệu triệu triệu

giây(10 mũ âm 24 giây) sau lúc bắt đầu, để tạo ra những cặp hạt - phản hạt từ không gian trống rỗng. Tuy nhiên, lực hấp dẫn ở những nhiệt độ đó cũng đã yếu đến nỗi số các hạt sản ra như vậy đóng góp một cách không đáng kể vào số các hạt đã có mặt trong cân bằng nhiệt).

Dù sao, ít nhất ta có thể tưởng tượng một thời điểm khi các lực hấp dẫn đã mạnh như các tương tác hạt nhân mạnh thảo luận ở trên . Các trường hấp dẫn không những được sinh ra bởi khối lượng các hạt, mà còn bởi mọi dạng năng lượng. Quả đất quay xung quanh mặt trời nhanh hơn một ít so với trường hợp nếu mặt trời không nóng quá như vậy, bởi vì năng lượng trong sức nóng của mặt trời cho thêm một ít vào nguồn lực hấp dẫn của nó. Ở những nhiệt độ siêu cao, năng lượng các hạt ở cân bằng nhiệt có thể trở thành lớn đến mức các lực hấp dẫn giữa chúng trở thành mạnh bằng bất cứ lực nào khác. Ta có thể ước tính rằng trạng thái đó đã đạt được ở một nhiệt độ khoảng 100 triệu triệu triệu triệu độ /(10 mũ 32 K).

Ở nhiệt độ đó, mọi điều kỳ lạ đã có thể xảy ra. Không những các lực hấp dẫn đã mạnh và sự tạo ra hạt do các trường hấp dẫn đã khảm khá - mà ngay ý tưởng về “hạt” có thể đã không có bất cứ ý nghĩa gì. “Chân trời”, khoảng cách mà bên ngoài nó ta không thể nhận được một tín hiệu gì lúc đó có thể gần hơn một bước sóng của một hạt điển hình ở cân bằng nhiệt. Nói một cách không chặt chẽ lắm, lúc đó mỗi hạt có thể là lớn bằng cả vũ trụ quan sát được !

Ta không biết đủ rõ về bản chất lượng tử của lực hấp dẫn dù để suy luận một cách thông minh về lịch sử vũ trụ trước thời điểm đó. Ta có thể ước lượng thô thiển rằng nhiệt độ 10 mũ 32 K đạt được vào khoảng 10 mũ âm 43 giây sau lúc bắt đầu, nhưng không thấy rõ lắm là sự ước lượng đó có ý nghĩa gì không. Nhưng mặc dầu các màn che khác đã được kéo đi, vẫn còn lại một màn che ở một nhiệt độ 10 mũ 32 K, chắn không cho ta nhìn về các thời điểm sơ khai nhất.

Tuy nhiên, không có một sự không chắc chắn nào trong số đó là quan trọng đối với thiên văn học vào năm 1976. Lý do là trong suốt cả giây đầu tiên vũ trụ chắc đã ở một trạng thái cân bằng nhiệt, trong đó số lượng và sự phân bố các hạt, kể cả neutrino, được xác định bởi các định luật của cơ học thống kê, chứ không phải bởi các chi tiết của lịch sử trước đó của chúng.

Hiện nay khi đo độ nhiều của hêli, hoặc của bức xạ cực ngắn, hoặc cả của neutrino, ta đang quan sát tàn dư của một trạng thái cân bằng nhiệt đã kết thúc ngay sau giây đầu tiên. Theo sự hiểu biết của ta hiện nay, không có gì mà ta quan sát hiện nay phụ thuộc vào lịch sử của vũ trụ trước thời điểm đó. (Đặc biệt, không có gì ta quan sát hiện nay phụ thuộc vào việc vũ trụ trước

giây đầu tiên có đẳng hướng và đồng tính hay không, có lẽ, trừ bản thân tỷ số photon trên hạt nhân). Việc này giống như thể một bữa tiệc được chuẩn bị rất cẩn thận - các chất tươi nhất, gia vị chọn cẩn thận nhất, rượu ngon nhất - rồi lại được đặt tất vào một nồi lớn để được đun sôi vài giờ. Khó mà biết được - dù bạn là người sành ăn nhất - bạn đã được dọn món ăn gì.

Có thể có một ngoại lệ. Hiện tượng hấp dẫn, như hiện tượng điện từ, có thể được thể hiện dưới dạng sóng cũng như dưới dạng tác dụng tĩnh qua khoảng cách quen thuộc hơn. Hai electron ở trạng thái nghỉ sẽ đẩy nhau với một lực tĩnh điện phụ thuộc vào khoảng cách giữa chúng, nhưng nếu ta lắc tới lắc lui một electron, thì electron kia sẽ không cảm thấy bất cứ sự thay đổi nào trong lực tác động lên nó cho đến khi có đủ thời gian cho các tin tức về sự thay đổi khoảng cách được mang bởi một sóng điện từ từ hạt này qua hạt khác. Không cần phải nói là các sóng này lan truyền với vận tốc ánh sáng - chúng là ánh sáng, tuy rằng không nhất thiết là ánh sáng thấy được. Cũng như vậy, nếu một người không lồ có ác ý lặn mặt trời qua lại, ta ở trên mặt đất sẽ không cảm thấy ảnh hưởng trước tám phút, thời gian cần cho một sóng đi với vận tốc ánh sáng từ mặt trời đến quả đất. Đây *không phải* là một sóng ánh sáng, một sóng của những trường điện và từ dao động, mà là một sóng hấp dẫn, trong đó sự dao động là ở trường hấp dẫn. Cũng như đối với các sóng điện từ ta gộp chung các sóng hấp dẫn ở mọi bước sóng dưới danh từ “bức xạ hấp dẫn”.

Bức xạ hấp dẫn tương tác với vật chất yếu hơn nhiều so với bức xạ điện từ hoặc cả so với neutrino (vì lý do đó, dù ta tin tưởng có lý vào cơ sở của việc tồn tại bức xạ hấp dẫn, những cố gắng lớn nhất cho đến nay đã không đạt được kết quả là phát hiện sóng hấp dẫn từ bất kỳ nguồn nào). Bức xạ hấp dẫn do đó đã phải từ bỏ cân bằng nhiệt với các thành phần khác của vũ trụ sơ khai - thực ra khi nhiệt độ khoảng 10 mũ âm 32 K. Từ đó nhiệt độ hiệu dụng của bức xạ hấp dẫn quả là đã giảm tỷ lệ nghịch với kích thước của vũ trụ. Đó chính là định luật giảm mà nhiệt độ của các thành phần còn lại của vũ trụ tuân theo trừ sự hủy các cặp quark - phản quark và lepton - phản lepton chứ không phải bức xạ hấp dẫn, đã nung nóng phần còn lại của vũ trụ. Cho nên, vũ trụ hiện nay phải chứa một bức xạ hấp dẫn ở một nhiệt độ gần bằng nhưng bé hơn một tỷ so với nhiệt độ của các neutrino và photon - có thể khoảng 1 K. Sự phát hiện bức xạ đó sẽ là một quan sát trực tiếp thời điểm xưa nhất của lịch sử vũ trụ mà vật lý lý thuyết hiện nay có thể nghĩ đến. Tiếc thay không có một cơ may bé nhất nào để phát hiện một phong bức xạ hấp dẫn 1K trong một tương lai nhìn trước được.

Nhờ một lý thuyết có tính suy đoán cao độ ta có thể ngoại suy lịch sử vũ

trụ trở lùi đến một thời điểm mật độ vô hạn. Nhưng việc này chưa làm cho chúng ta thỏa mãn. Chúng ta tự nhiên muốn biết cái gì đã tồn tại trước lúc đó, trước khi bắt đầu giãn nở và nguội đi.

Một khả năng là đã không lúc nào thực sự có một trạng thái vô hạn. Sự giãn nở hiện nay của vũ trụ có thể đã bắt đầu ở cuối một giai đoạn co lại trước kia, khi mật độ vũ trụ đã đạt được một trị số rất cao nhưng hữu hạn. Tôi sẽ nói một ít về khả năng này trong chương sau.

Tuy nhiên, dù chúng ta không biết rằng nó có thật, thì ít nhất về mặt logic có thể đã có một lúc bắt đầu, và bản thân thời gian không có ý nghĩa gì trước lúc đó. Chúng ta tất cả đều quen với ý nghĩ về một nhiệt độ không tuyệt đối. Không thể làm lạnh bất cứ vật gì dưới âm 273,16 độ C, không phải vì việc này quá khó, hoặc bởi vì chưa ai nghĩ đến một tủ lạnh đủ tài tình mà là bởi vì những nhiệt độ thấp hơn độ không tuyệt đối không có ý nghĩa - ta không thể có ít nhiệt hơn là không có chút nhiệt nào. Cũng như vậy, có lẽ ta phải quen với ý nghĩ một thời gian bằng không tuyệt đối - một thời điểm trong quá khứ mà trước đó về nguyên tắc không thể vạch ra bất cứ chuỗi nhân quả nào. Vấn đề chưa được giải đáp và có thể mãi mãi vẫn không được giải đáp.

Đối với tôi, điều thỏa mãn nhất có được từ các lập luận trên về vũ trụ lúc thật sơ khai là sự tương đương có thể có giữa lịch sử vũ trụ và cơ cấu logic của nó. Tự nhiên ngày nay “phô bày” nhiều hạt và loại tương tác khác nhau. Nhưng mà ta đã học cách nhìn dưới tính đa dạng đó, cố coi các hạt và tương tác khác nhau như là các mặt của một lý thuyết trường hiệu chuẩn thống nhất đơn giản. Vũ trụ hiện nay lạnh đến mức các tính đối xứng giữa những hạt và tương tác khác nhau đã bị lu mờ vì một kiểu đông đặc, chúng không xuất hiện trong những hiện tượng bình thường, mà phải được biểu diễn bằng toán học, trong các lý thuyết trường hiệu chuẩn của chúng ta. Cái mà ta làm bây giờ nhờ toán học đã được làm trong vũ trụ thật sơ khai nhờ nhiệt - các hiện tượng vật lý thể hiện một cách trực tiếp tính đơn giản cơ bản của tự nhiên. Nhưng không một ai có mặt lúc đó để thấy điều này.

VIII - Phần kết: Viễn cảnh trước mắt

Vũ trụ chắc sẽ còn tiếp tục giãn nở một thời gian nữa. Về số phận của nó sau đó, mô hình chuẩn cho một lời tiên đoán mơ hồ: nó phụ thuộc hoàn toàn vào việc mật độ vũ trụ bé hơn hay lớn hơn một giá trị tới hạn nào đó.

Như ta đã thấy ở chương II, nếu mật độ vũ trụ *bé hơn* mật độ tới hạn thì lúc đó vũ trụ là vô hạn và sẽ mãi mãi giãn nở. Con cháu chúng ta, nếu lúc đó có, sẽ thấy những phản ứng nhiệt hạch đi đến kết thúc chậm chậm trong tất cả các vì sao, để lại ở sau những loại tro bụi khác nhau; những sao lùn đen, những sao neutron, có thể cả những lỗ đen. Các hành tinh có thể tiếp tục quay trên quỹ đạo chậm dần đi một ít khi chúng bức xạ sóng hấp dẫn, nhưng không khi nào nghỉ sau một thời gian hữu hạn. Nhiệt độ những phong bức xạ và neutrino vũ trụ sẽ tiếp tục hạ tỷ lệ nghịch với kích thước của vũ trụ, nhưng chúng không thể mất đi; ngay bây giờ ta có thể phát hiện phong bức xạ cực ngắn 3 K.

Mặt khác nếu mật độ vũ trụ *lớn hơn* giá trị tới hạn thì khi đó vũ trụ là hữu hạn và sự giãn nở của nó sẽ một lúc nào đó kết thúc, và được thay bằng một sự co ngày càng mạnh. Nếu chẳng hạn, mật độ vũ trụ gấp đôi giá trị tới hạn của nó và nếu giá trị đang được công nhận hiện nay của hằng số Hubble (15 km mỗi giây cho mỗi triệu năm ánh sáng) là đúng thì khi đó vũ trụ cho đến bây giờ có tuổi là 10000 triệu năm; nó sẽ tiếp tục giãn nở trong 50000 triệu năm nữa và sau đó bắt đầu co lại (xem hình bốn). Sự co đúng là sự giãn nở theo chiều ngược lại: sau 50000 triệu năm, vũ trụ sẽ lấy lại kích thước hiện nay và sau 10000 triệu năm nữa sau đó nó sẽ đến gần một trạng thái kỳ dị có mật độ vô hạn.

Suốt ít nhất là phần đầu của giai đoạn co, các nhà thiên văn (nếu có khi đó) sẽ có thể tiêu khiển bằng sự quan sát cả dịch chuyển đỏ lẫn dịch chuyển xanh. Ánh sáng từ những thiên hà gần chắc đã được bức xạ ở một thời điểm vũ trụ lớn hơn so với khi ánh sáng đó được quan sát, do đó khi nó được quan sát, ánh sáng này sẽ có vẻ như dịch chuyển về phía đầu bước sóng ngắn của phổ, nghĩa là về phía xanh. Mặt khác, ánh sáng từ những vật rất là xa sẽ phải được bức xạ ở một thời kỳ khi vũ trụ đang còn trong những giai đoạn đầu của sự giãn nở của nó, khi vũ trụ còn bé hơn so với khi ánh sáng được quan sát, do đó khi nó được quan sát, ánh sáng đó có vẻ như dịch chuyển về phía các bước sóng dài của phổ, nghĩa là về phía đỏ.

Nhiệt độ của các photon và neutrino vũ trụ sẽ hạ xuống, rồi sau đó tăng lên khi vũ trụ giãn nở rồi co lại, luôn luôn tỷ lệ nghịch với kích thước của vũ trụ. Nếu mật độ vũ trụ hiện nay gấp đôi trị số tới hạn của nó, thì khi đó các tính toán của ta chỉ rõ rằng vũ trụ lúc lớn nhất sẽ đứng gấp đôi bây giờ, như vậy nhiệt độ phông sóng cực ngắn lúc đó sẽ đứng bằng một nửa giá trị 3 K hiện nay, hoặc khoảng 1,5 K. Sau đó vũ trụ bắt đầu co lại và nhiệt độ bắt đầu tăng lên.

Lúc đầu không có báo động gì - trong hàng nghìn triệu năm phông bức xạ sẽ lạnh đến mức cần có một cố gắng lớn mới phát hiện được nó. Tuy nhiên, khi vũ trụ đã co hẹp lại đến một phần trăm kích thước hiện nay, phông bức xạ sẽ bắt đầu ngự trị bầu trời: bầu trời ban đêm sẽ nóng như bầu trời ban ngày hiện nay của chúng ta (300 K). Bảy mươi triệu năm sau đó vũ trụ sẽ co lại mười lần nữa, và con cháu chúng ta (nếu có) sẽ thấy bầu trời sáng một cách không chịu được. Các phân tử trong khí quyển giữa các hành tinh và giữa các sao và trong khoảng không giữa các sao sẽ bắt đầu tách thành những nguyên tử thành phần của chúng, và những nguyên tử sẽ vỡ ra thành những electron tự do và những hạt nhân nguyên tử. Sau bảy trăm nghìn năm nữa nhiệt độ vũ trụ sẽ là 10 triệu độ; khi đó bản thân các vì sao và hành tinh cũng sẽ hòa tan thành một thứ xúp vũ trụ gồm bức xạ, electron, hạt nhân. Sau hai mươi hai ngày nữa nhiệt độ sẽ tăng lên 10 000 triệu độ. Các hạt nhân lúc đó bắt đầu vỡ tung ra thành các proton và neutron thành phần của chúng, phá hủy toàn bộ công trình tổng hợp hạt nhân trong các vì sao và theo vũ trụ học. Một thời gian ngắn sau đó electron và pôzitron sẽ được tạo nên với số lượng lớn những va chạm photon - photon, và phông neutrino và phản neutrino vũ trụ sẽ trở lại cân bằng nhiệt với vũ trụ còn lại.

Ta có thể nào đưa câu chuyện buồn tẻ này suốt cho đến kết thúc, đến một trạng thái mật độ và nhiệt độ vô hạn không? Thời gian có thể nào dừng lại trong khoảng 3 phút sau khi nhiệt độ đạt một nghìn triệu độ không? Rõ ràng ta không thể chắc. Mọi sự không chắc mà ta gặp phải ở chương trước, khi thì khảo sát tỷ mỉ phần trăm giây đầu tiên, sẽ quay lại để làm cho ta băn khoăn khi ta nhìn vào phần trăm giây cuối cùng. Trước hết, toàn bộ vũ trụ đó phải được mô tả theo ngôn ngữ cơ học lượng tử ở những nhiệt độ trên 100 triệu triệu triệu độ (10^{32} K), và không ai có một ý niệm nào về việc gì xảy ra lúc đó. Ngoài ra, nếu vũ trụ không thật đồng tính và đẳng hướng (xem cuối chương V), thì toàn bộ câu chuyện của ta mất hết cả ý nghĩa từ lâu trước khi ta gặp phải những vấn đề của vũ trụ học lượng tử.

Từ các sự không chắc này một số nhà vũ trụ học rút ra một hy vọng nào đó. Có thể là vũ trụ sẽ trải qua một kiểu “nảy bật” vũ trụ và sẽ bắt đầu giãn nở lại. Trong Edda, sau trận cuối cùng giữa các thần và những người khổng

lò ở Rangorak, quả đất bị lửa và nước phá hủy nhưng nước rút lui, các người con của Thor từ địa ngục lại tiến lên mang theo búa của cha và cả thế giới lại bắt đầu một lần nữa. Nhưng nếu vũ trụ quả thực sẽ giãn nở lại, sự giãn nở của nó sẽ chậm dần một lần nữa và sau đó sẽ có một sự co hẹp, kết thúc bằng một Rangorak vũ trụ khác, rồi lại có một lần nảy bật khác nữa, và như vậy tiếp tục mãi mãi.

Nếu đó là tương lai, nó cũng rất có thể là quá khứ của chúng ta. Vũ trụ đang giãn nở hiện nay có thể chỉ là giai đoạn tiếp theo sự co hẹp trước và sự nảy bật vừa qua. (Thật ra, năm 1965, trong thông báo về phong bức xạ cực ngắn vũ trụ, Dicke, Peebles, Roll và Wilkinson cho rằng đã có một thời kỳ giãn nở và co hẹp vũ trụ hoàn toàn trước đây, và họ lập luận rằng vũ trụ đã phải co hẹp đủ để nâng nhiệt độ lên ít nhất là 10000 triệu độ để có thể phá vỡ các nguyên tố nặng tạo nên trong giai đoạn trước). Nhìn lùi về trước, ta có thể tưởng tượng một chương trình không chấm dứt giãn nở mà không có lúc bắt đầu nào.

Một số nhà vũ trụ học bị hấp dẫn về mặt triết học bởi mô hình dao động, đặc biệt vì, như mô hình trạng thái dừng, nó tránh một cách khôn khéo vấn đề “phát sinh trời đất”. Nhưng nó gặp một khó khăn lý thuyết lớn. Trong mỗi chu kỳ tử số photon trên hạt hạt nhân (hoặc, chính xác hơn, entropi cho mỗi hạt hạt nhân) được tăng lên chút ít do một loại ma sát (gọi là “độ nhớt khối”) trong khi vũ trụ giãn nở và co hẹp. Với sự hiểu biết hiện nay của ta, vũ trụ lúc đó sẽ bắt đầu mỗi chu kỳ mới với một tử số photon trên hạt hạt nhân mới, hơi lớn hơn trước. Cho đến nay tử số đó lớn nhưng không phải vô hạn, cho nên khó mà thấy vũ trụ đã trải qua trước đó một số chu kỳ vô hạn như thế nào.

Tuy nhiên, mọi vấn đề đó có thể giải quyết, và dù mô hình vũ trụ học nào đó tỏ ra đúng đắn, thì cũng không làm cho ta an tâm lắm. Đối với con người, gần như khó cản lòng tin rằng chúng ta có một môi liên hệ đặc biệt gì đó với vũ trụ, rằng đời sống loài người không phải chỉ là một kết quả tất nhiên hài hước của một chuỗi tai nạn kéo lui dài đến ba phút đầu tiên, mà rằng chúng ta đã được tạo nên một cách nào đó ngay từ lúc đầu tiên. Trong khi viết điều này tôi đang ở trên một chiếc máy bay cao 30 000 fut, bay trên bầu trời Wyoming từ San Francisco về nhà ở Boston. Phía dưới mặt đất xem ra rất mềm và dễ chịu, có những đám mây mượt mà ở chỗ này chỗ nọ, tuyết nhuộm hồng khi mặt trời mọc, những con đường thẳng tắp trên đất nước từ thành phố này đến thành phố kia. Rất khó nhận ra rằng tất cả những cái đó chỉ là một phần nhỏ bé của một vũ trụ cực kỳ không thân thiện. Lại còn khó nhận thức hơn nữa rằng vũ trụ hiện nay đã tiến hóa từ một điều kiện sơ khai không bình thường một cách không tả nổi và đứng trước một sự hủy diệt

tương lai do lạnh vĩnh viễn hoặc nóng không chịu được. Vũ trụ càng thấy là dễ hiểu bao nhiêu thì lại hình như càng vô nghĩa bấy nhiêu.

Nhưng nếu trong kết quả của nghiên cứu của ta không có điều gì an ủi ta, thì ít nhất cũng có một sự khuây khỏa nào đó ngay trong bản thân việc nghiên cứu. Con người ta, nam hay nữ, không bằng lòng với việc tự an ủi mình với những câu chuyện về các thần và những người khổng lồ, hoặc tập trung suy nghĩ của mình vào những câu chuyện đời sống hàng ngày; họ cũng chế tạo những kính thiên văn, những vệ tinh nhân tạo và những máy gia tốc, và ngồi ở bàn giấy suốt hàng giờ để xử lý ý nghĩa của các số liệu mà họ thu thập được. Sự cố gắng hiểu về vũ trụ là một trong rất ít cái làm cho đời sống con người được nâng lên cao hơn trình độ của một hí kịch, và cho nó một phần nào đáng đẹp của một bi kịch.

(Hết)

Các bảng

Bảng 1. Tính chất của một số hạt cơ bản

Hạt	Ký hiệu	Năng lượng nghỉ (triệu electron-vôn)	Nhiệt độ ngưỡng (nghìn triệu K)	Số hiệu dụng của loại	Thời gian sống trung bình (giây)
Photon	γ	0	0	$1 \times 2 \times 1 = 2$	Bền
Neutrino	$\nu_e, \bar{\nu}_e$	0	0	$2 \times 1 \times 7/8 = 7/4$	Bền
	$\nu_\mu, \bar{\nu}_\mu$	0	0	$2 \times 1 \times 7/8 = 7/4$	Bền
Electron	e^-, e^+	0.5110	5.930	$2 \times 2 \times 7/8 = 7/2$	Bền
Muon	μ^-, μ^+	105.66	1126.2	$2 \times 2 \times 7/8 = 7/2$	2.197×10^{-6}
Meson pi	π^0	134.96	1566.2	$1 \times 1 \times 1 = 1$	0.8×10^{-10}
	π^+, π^-	139.57	1619.7	$2 \times 1 \times 1 = 2$	2.60×10^{-8}
Proton	p, \bar{p}	938.26	10888	$2 \times 2 \times 7/8 = 7/2$	Bền
Neutron	n, \bar{n}	939.55	10903	$2 \times 2 \times 7/8 = 7/2$	920

Tính chất của một số hạt cơ bản. “Năng lượng nghỉ” là năng lượng được giải phóng nếu toàn bộ khối lượng của hạt được chuyển thành năng lượng.

“Nhiệt độ ngưỡng” là năng lượng nghỉ chia cho hằng số Boltzmann; nó là nhiệt độ mà trên đó một hạt có thể tạo nên tự do từ bức xạ nhiệt.

“Số hiệu dụng của loại” cho sự đóng góp tỉ đối của mỗi loại hạt vào năng lượng toàn phần, áp suất và entropi, ở những nhiệt độ rất cao hơn nhiệt độ

ngưỡng. Số đó được viết ra như là tích của ba thừa số: thừa số đầu là 2 hay 1 tùy theo hạt có hoặc không có một phản hạt khác với nó; thừa số thứ hai là số hướng có thể có của spin của hạt, thừa số cuối là 7/8 hay là 1 tùy theo hạt có tuân theo nguyên lý loại trừ Pauli hay không. “Thời gian sống trung bình” là thời gian trung bình mà hạt sống sót trước khi nó chịu một sự phân rã phóng xạ thành những hạt khác.

Bảng 2. Tính chất của vài loại bức xạ

	Bước sóng (xentimet)	Năng lượng photon (electron- vôn)	Nhiệt độ vật đen (độ Kelvin)
Vũ tuyến (cho đến đến số rất cao)	> 10	< 0,00001	< 0,03
Cực ngắn	0,01 đến 10	0,00001 đến 0,01	0,03 đến 30
Hồng ngoại	0,0001 đến 0,01	0,01 đến 1	30 đến 3000
Thấy được	$2 \cdot 10^{-5}$ đến 10^{-4}	1 đến 6	3000 đến 15000
Tử ngoại	10^{-7} đến $2 \cdot 10^{-5}$	6 đến 1000	1000 đến 3000000
Tia X	10^{-9} đến 10^{-7}	1000 đến 100000	$3 \cdot 10^6$ đến $3 \cdot 10^8$
Tia γ	$< 10^{-9}$	> 100000	> $3 \cdot 10^8$

Tính chất của vài loại bức xạ. Mỗi loại bức xạ được đặc trưng bằng một khoảng bước sóng nào đó được cho ở đây theo centimet. Ứng với khoảng bước sóng đó là một khoảng năng lượng photon được cho ở đây theo electron – vôn. Nhiệt độ “vật đen” là nhiệt độ mà ở đó bức xạ vật đen sẽ có đa số năng lượng của nó tập trung gần những bước sóng đã cho; nhiệt độ này được cho ở đây theo độ Kelvin. (Chẳng hạn, bước sóng mà ở đó Penzias và Wilson đã điều hưởng trong sự khám phá phong bức xạ vũ trụ là 7,35 cm, như vậy đó là một bức xạ cực ngắn; năng lượng photon được giải phóng khi một hạt nhân trải qua một sự biến đổi phóng xạ thường là vào khoảng một triệu electron – vôn, như vậy đó là một tia γ ; và bề mặt mặt trời ở nhiệt độ 5800 K, như vậy mặt trời phát ra ánh sáng thấy được). Cố nhiên, các sự phân chia giữa các loại bức xạ không phải là hoàn toàn tách bạch, và không có một sự thoả thuận chung nào về các khoảng bước sóng khác nhau.

Từ vựng

Angstrom một phần trăm triệu xentimet (10 mũ âm 8). Ký hiệu \AA . Kích thước nguyên tử điển hình là vài angstrom. Bước sóng ánh sáng thấy được điển hình là vài nghìn angstrom.

Andromeda (Tinh vân tiên nữ) Thiên hà lớn gần ta nhất. Nó có hình xoắn ốc, chứa khoảng 3×10^{11} khối lượng mặt trời. Ghi là M31 trong

catalô của Messier, và NGC 224 trong “Catalô tổng quát mới”.

Baryon Một loại hạt tương tác mạnh gồm notron, photon và các hadron không bền gọi là hyperon. Số baryon là tổng số baryon có mặt trong một hệ trừ đi tổng số phản baryon.

Bức xạ hồng ngoại Sóng điện từ có bước sóng giữa khoảng 0,0001 cm và 0,01 cm (mười nghìn đến một triệu angstrom), trung gian giữa ánh sáng thấy được và bức xạ cực ngắn. Các vật ở nhiệt độ phòng bức xạ chủ yếu sóng hồng ngoại.

Bức xạ tử ngoại Sóng điện từ với bước sóng từ 10 mũ âm 7 cm đến 2 x 10 mũ 5 cm (10 đến 2000 angstrom), trung gian giữa ánh sáng thấy được và tia X.

Bức xạ cực ngắn Sóng điện từ với bước sóng giữa khoảng 0,01 cm và 10 cm, trung gian giữa bức xạ vô tuyến tần số rất cao và hồng ngoại. Vật ở nhiệt độ vài độ Kelvin bức xạ chủ yếu trong dải sóng cực ngắn.

Bức xạ vật đen Bức xạ với một mật độ năng lượng không đổi trong mỗi khoảng bước sóng, như bức xạ phát ra từ một vật nung nóng hấp thụ hoàn toàn. Bức xạ trong mọi trạng thái cân bằng nhiệt là bức xạ vật đen.

Bước sóng Khoảng cách giữa hai đỉnh sóng. Đối với sóng điện từ có thể định nghĩa bước sóng là khoảng cách giữa hai điểm mà ở đó mọi thành phần của vectơ trường điện hoặc từ có giá trị cực đại.

Cân bằng nhiệt Một trạng thái trong đó hạt đi vào một khoảng vận tốc, spin, v.v... nào đó đúng cân bằng với tỷ số chúng rời khoảng đó. Nếu để không bị nhiễu loạn đến một thời gian đủ lâu, thì bất cứ một hệ vật lý nào một lúc nào đó cũng sẽ đến gần một trạng thái cân bằng nhiệt.

Chân trời Trong vũ trụ học, khoảng cách mà ngoài đó không một tín hiệu ánh sáng nào có thể có cơ hội đến được chỗ ta. Nếu vũ trụ có một tuổi xác định, thì khoảng cách đến chân trời là vào cỡ tuổi đó nhân với vận tốc ánh sáng.

Chuyển động riêng Sự dịch chuyển vị trí các thiên thể trên bầu trời do chuyển động của chúng vuông góc với đường nhìn. Thường đo theo giây cung mỗi năm.

Chuyển pha Sự chuyển đột ngột của một hệ từ một cấu hình này đến một cấu hình khác, thường với một sự thay đổi về đối xứng. Ví dụ: sự nóng chảy, sự sôi, và sự chuyển từ tính dẫn bình thường qua tính siêu dẫn.

Cơ học lượng tử Lý thuyết vật lý cơ bản, phát triển trong những năm 1920 như là sự thay thế cơ học cổ điển. Ở đây sóng và hạt là hai mặt của

cùng một thực thể cơ bản. Hạt liên kết với một sóng cho trước là *lượng tử* của nó. Các trạng thái của những hệ liên kết như nguyên tử hay phân tử chỉ chiếm những mức năng lượng rõ rệt nào đó, năng lượng được xem là bị lượng tử hoá.

Chùm (thiên hà) Thất nữ Một chùm khổng lồ bao gồm trên 1000 thiên hà trong chòm sao Thất nữ. Chùm này chuyển động xa ta với một vận tốc khoảng 1000 km/s; người ta cho rằng nó ở cách ta 60 triệu năm ánh sáng.

Dịch chuyển đỏ Sự dịch chuyển của các vạch phổ về phía các bước sóng dài hơn do hiệu ứng Doppler đối với một nguồn đi xa khỏi ta. Trong vũ trụ học là sự dịch chuyển quan sát được của các vạch phổ của những thiên hà xa về phía bước sóng dài. Khi biểu diễn như một độ tăng tỉ đối của bước sóng, nó được ký hiệu là z .

Dịch chuyển xanh Sự dịch chuyển của các vạch phổ về phía bức sóng ngắn hơn do hiệu ứng Doppler đối với một nguồn đi tới ta.

Đẳng hướng Một tính chất được thừa nhận của vũ trụ, mà đối với một người quan sát bất kỳ nó được xem là giống nhau theo mọi hướng.

Đồng tính Một tính chất được thừa nhận của vũ trụ, mà đối với một người quan sát bất kỳ, ở một thời điểm bất kỳ nó được xem là không đổi.

Độ trung tuyệt đối Năng lượng toàn phần mà một thiên thể bức xạ trong mỗi đơn vị thời gian

Độ trung biểu kiến Năng lượng toàn phần nhận được trong một đơn vị thời gian và trên một đơn vị diện tích từ một thiên thể.

Đơteri Một đồng vị nặng của hydro, H mũ 2. Hạt nhân của nó (đơtêron) gồm một proton và một neutron.

Đường đi (quãng đường) tự do trung bình Khoảng cách trung bình mà một hạt cho trước đi được giữa những va chạm với môi trường trong đó nó chuyển động. Thời gian tự do trung bình là thời gian giữa các va chạm.

Ec Đơn vị năng lượng trong hệ CGS. Động năng của khối lượng của một gam chuyển động với vận tốc 1 cm/s là $1/2$ ec.

Entrôpi Một đại lượng cơ bản trong cơ học thống kê liên quan đến độ hỗn độn của một hệ vật lý. Entrôpi được bảo toàn trong mọi quá trình trong đó cân bằng nhiệt được giữ vững liên tục. Định luật thứ hai của nhiệt động lực học nói rằng entrôpi toàn phần không bao giờ giảm đi trong bất cứ phản ứng nào.

Electron Hạt cơ bản có khối lượng nhẹ nhất. Mọi tính chất hoá học của

nguyên tử và phân tử được xác định bởi các tương tác điện giữa các electron với nhau và với hạt nhân nguyên tử.

Electron – vôn Một đơn vị năng lượng tiện dụng trong vật lý nguyên tử, bằng năng lượng mà một electron thu được khi đi qua một hiệu điện thế một vôn. Bằng $1,60219 \times 10^{-19}$ eV.

Feynman (giản đồ) Các giản đồ tượng trưng những đóng góp khác nhau vào xác suất của một phản ứng hạt cơ bản.

Friedmann (mô hình) Mô hình toán học của cấu trúc không – thời gian của vũ trụ, căn cứ trên thuyết tương đối rộng (không có một hằng số vũ trụ học) và trên nguyên lý vũ trụ học.

Hadron Mọi hạt tham gia vào tương tác mạnh. Hadron được chia ra baryon (như neutron và proton) tuân theo nguyên lý loại trừ Pauli, và meson, không theo nguyên lý này.

Hạt hạt nhân Các hạt, proton và neutron, tìm thấy trong hạt nhân các nguyên tử thông thường. Thường gọi ngắn là nuclon.

Hằng số Boltzmann hằng số cơ bản của cơ học thống kê liên hệ thang nhiệt độ với những đơn vị năng lượng. Thường ký hiệu là k hoặc k_B . Bằng $1,3806 \times 10^{-23}$ eV/Kelvin, hoặc $0,0008617$ electron – vôn cho mỗi độ Kelvin.

Hằng số cấu trúc tinh tế Hằng số cơ bản không thứ nguyên của vật lý nguyên tử và điện động lực học lượng tử, được định nghĩa như bình phương của điện tích electron chia cho tích hằng số Planck và vận tốc ánh sáng. Ký hiệu α . Bằng $1/137,036$.

Hằng số Newton Hằng số cơ bản của các thuyết hấp dẫn của Newton và Einstein, Ký hiệu G . Trong thuyết của Newton, lực hấp dẫn giữa hai vật là G nhân với tích của hai khối lượng chia cho bình phương khoảng cách giữa chúng. Trong đơn vị của hệ mét bằng $6,67 \times 10^{-11}$ m³/kg.s².

Hằng số Planck Hằng số cơ bản của cơ học lượng tử, ký hiệu h . Bằng $6,625 \times 10^{-34}$ J.s. Hằng số này lần đầu tiên được đưa vào lý thuyết bức xạ vật đen của Planck năm 1900. Sau đó nó xuất hiện trong lý thuyết photon của Einstein năm 1905 : năng lượng của một photon bằng h nhân với vận tốc ánh sáng chia cho bước sóng.

Hiện nay người ta thường dùng hằng số h hơn (h gạch), bằng hằng số Planck chia cho 2π .

Hằng số vũ trụ học Một số hạng mà năm 1917 Einstein thêm vào các phương trình hấp dẫn của ông. Một số hạng như vậy sẽ gây ra một lực đẩy ở

những khoảng cách rất xa, và sẽ cần cho một vũ trụ tĩnh để cân bằng lực hút hấp dẫn. Hiện nay không có lý do gì để cho rằng một hằng số vũ trụ học như vậy tồn tại.

Hêli Nguyên tố hoá học nhẹ thứ hai và nhiều thứ hai trong vũ trụ. Có hai đồng vị bền của hêli là He mũ 4 mà hạt nhân có hai proton và hai notron và He mũ 3 mà hạt nhân có hai proton và một notron. Các nguyên tử hêli chứa hai êlectron ngoài hạt nhân.

Hiệu ứng Doppler Sự thay đổi tần số của một tín hiệu, do sự chuyển động tương đối giữa nguồn và nơi nhận tín hiệu.

Hyđrô Nguyên tố hoá học nhẹ nhất và nhiều nhất. Hạt nhân của hyđrô bình thường có một photon duy nhất. Còn hai đồng vị nặng hơn, đơteri và triti. Nguyên tử của mọi loại hyđrô đều gồm một hạt nhân hyđrô và một electron: trong các ion hyđrô dương không có electron.

Ion hyđrôxyn Ion OH^- gồm có một nguyên tử ôxy, một nguyên tử hyđrô, và một electron dôi.

Kelvin Thang nhiệt độ Kelvin, giống như thang bách phân, nhưng với độ không tuyệt đối chứ không phải độ không ứng với điểm tan của nước đá. Điểm này là 273,15 K ở áp suất một atmôtphe.

Khối lượng Jeans Khối lượng bé nhất mà khi đó lực hút hấp dẫn có thể thắng áp suất trong và sinh ra một hệ liên kết bởi lực hấp dẫn. Ký hiệu M_j .

Lepton Mọi loại hạt không tham gia vào các tương tác mạnh, bao gồm electron, muon, và neutrino. Số lepton là tổng các lepton có mặt trong một hệ, trừ tổng các phản lepton.

Luật bảo toàn Một định luật quy định rằng tổng giá trị của một đại lượng nào đó không thay đổi trong mọi phản ứng.

Luật Hubble Hệ thức giữa vận tốc lùi xa của những thiên hà xa vừa phải và khoảng cách tới chúng. Hằng số Hubble là tỷ số vận tốc trên khoảng cách trong hệ thức đó, và ký hiệu H hay H_0 .

Luật Rayleigh – Jeans Hệ thức đơn giản giữa mật độ năng lượng (trên một khoảng bước sóng đơn vị) và bước sóng đúng cho giới hạn bước sóng dài của phân bố Planck. Mật độ năng lượng trong giới hạn đó là tỉ lệ với nghịch đảo của lũy thừa bốn của bước sóng.

Luật Stefan – Boltzmann Hệ thức tỉ lệ thuận giữa mật độ năng lượng trong bức xạ vật đen và lũy thừa bốn của nhiệt độ.

Mật độ Số lượng một đại lượng nào đó trong đơn vị thể tích. *Mật độ*

khối lượng là khối lượng trong đơn vị thể tích; nó thường được đơn giản gọi là “mật độ”. *Mật độ năng lượng* là năng lượng trong đơn vị thể tích: *mật độ số* hoặc *mật độ hạt* là số hạt trong đơn vị thể tích.

Mật độ tới hạn Mật độ khối lượng của vũ trụ thấp nhất hiện nay cần cho sự chấm dứt sự giãn nở của vũ trụ vào một lúc nào đó và sau đó sẽ có một sự co tiếp theo. Vũ trụ là hữu hạn về không gian nếu mật độ vũ trụ vượt mật độ tới hạn.

Meson Một loại tương tác mạnh, bao gồm meson pi, meson K, meson ro, v. v ... với số baryon bằng không;

Meson pi Hadron có khối lượng bé nhất. Có ba loại, một hạt điện tích dương (π^+), phản hạt của nó có điện tích âm (π^-), và một phản hạt trung hoà hơi nhẹ hơn (π^0). Đôi khi gọi là pion.

Meson ro Một trong các hadron hết sức không bền phân rã thành 2 meson pi, với thời gian sống trung bình $4,4 \times 10^{-24}$ giây.

Messier (số) Số trong catalô của một số tinh vân và chòm sao theo cách sắp của Charles Messier. Thường ký hiệu M ... Ví dụ : tinh vân Tiên nữ là M31.

Muon Một hạt cơ bản không bền có điện tích âm, giống như electron nhưng nặng hơn 207 lần. Ký hiệu μ . Đôi khi gọi là meson mu, nhưng không tương tác mạnh như những meson thực.

Năm ánh sáng Đường đi của một tia sáng trong một năm.

Năng lượng nghỉ Năng lượng của một hạt không chuyển động, nó sẽ được giải phóng nếu toàn bộ khối lượng của hạt có thể bị huỷ. Cho bởi công thức Einstein $E = mc^2$.

Nguyên lý loại trừ Pauli Nguyên lý nói rằng không có hai hạt nào cùng một loại có thể ở đúng một trạng thái lượng tử như nhau. Baryon và lepton tuân theo nguyên lý này, nhưng photon hoặc meson thì không.

Nguyên lý vũ trụ học Giả thiết cho rằng vũ trụ là đẳng hướng và đồng tính.

Ngân hà Tên của dải sao đánh dấu mặt phẳng thiên hà của chúng ta. Đôi khi được dùng để gọi thiên hà của chúng ta.

“Nền dân chủ hạt nhân” Thuyết cho rằng mọi hadron đều cơ bản như nhau.

Nhiệt độ ngưỡng Nhiệt độ mà trên nó thì mọi loại hạt nào đó sẽ được tạo ra rất nhiều bởi bức xạ vật đen. Nó bằng khối lượng hạt nhân với bình

phương vận tốc ánh sáng, chia cho hằng số Boltzmann.

Nhiệt độ cực đại Giới hạn trên của nhiệt độ trong vài lý thuyết về tương tác mạnh. Trong các thuyết đó nó được ước tính bằng hai triệu triệu độ Kelvin.

Nhiệt độ tới hạn Nhiệt độ mà ở đó xảy ra một sự chuyển pha.

Neutrino Một hạt trung hoà điện không có khối lượng chỉ tham gia các tương tác yếu và hấp dẫn. Ký hiệu ν . Ít nhất có hai loại neutrino gọi là neutrino thuộc electron (ν_e) và neutrino thuộc ở muon (ν_μ).

Pacsec Đơn vị khoảng cách thiên văn. Được định nghĩa là khoảng cách của một vật mà thị sai (độ dịch chuyển mỗi năm trên bầu trời) là một giây cung. Ký hiệu pc. Bằng $3,0856 \times 10^7$ km hoặc 3,2615 năm ánh sáng. Đơn vị quy ước trong vũ trụ học là một triệu pacsec hoặc megapacsec, ký hiệu Mpc. Hằng số Hubble thường được cho bằng kilômet mỗi giây mỗi megapacsec.

Phân bố Planck Sự phân bố năng lượng ở những bước sóng khác nhau của bức xạ ở cân bằng nhiệt, nghĩa là, cho bức xạ vật đen.

Phản hạt Hạt có cùng khối lượng và spin như ở một hạt khác, nhưng có điện tích, số baryon, số lepton, v. v ... bằng về độ lớn và ngược dấu. Mỗi hạt có một phản hạt tương ứng, trừ vài hạt thực sự trung hoà như photon và meson π^0 , chúng là phản hạt của bản thân chúng. Phản neutrino là phản hạt của neutrino; phản proton là phản hạt của proton, v. v ... Phản vật chất gồm phản proton, phản neutron và phản electron hoặc pôziton.

Photon Trong thuyết lượng tử về bức xạ, hạt ghép với một sóng ánh sáng. Ký hiệu γ

Pôziton Phản hạt của electron, mạng điện dương ký hiệu e^+ .

Proton Hạt mang điện dương tìm thấy cùng với neutron trong các hạt nhân nguyên tử thông thường. Ký hiệu p , hạt nhân hydro là một proton.

Quark Hạt cơ bản giả định coi như là thành phần của mọi hadron. Chưa quan sát được quark cô lập, và có những lý lẽ lý thuyết để cho rằng, mặc dù là có thể có thực theo một ý nghĩa nào đó, quark sẽ không bao giờ được quan sát như những hạt cô lập.

Quaza (những vật chuẩn sao) Một loại thiên thể có một dạng như sao và kích thước góc rất bé, nhưng có dịch chuyển đỏ lớn. Khi chúng là nguồn vô tuyến mạnh gọi là “*nguồn vô tuyến chuẩn sao*”. Bản chất thật của chúng chưa được rõ.

Sóng hấp dẫn Sóng của trường hấp dẫn tương tự như sóng ánh sáng của trường điện từ. Chúng lan truyền với vận tốc bằng vận tốc ánh sáng, 299 792 km/s. Chưa có bằng chứng thực nghiệm được thừa nhận rộng rãi về sóng hấp dẫn nhưng sự tồn tại của chúng là do thuyết tương đối rộng đòi hỏi, và ít ai nghi ngờ sự tồn tại này. Lượng tử bức xạ hấp dẫn tương tự như photon được gọi là *graviton*.

Sao siêu mới Những vụ sao nổ khổng lồ trong đó tất cả ngôi sao, trừ nhân trong, bị nổ tung ra khoảng không gian giữa các vì sao. Một sao siêu mới tạo ra trong một vài ngày nhiều năng lượng như mặt trời bức xạ trong một ngàn triệu năm. Sao siêu mới cuối cùng quan sát được trong thiên hà chúng ta được Kepler (và các nhà thiên văn của các triều đình Trung Quốc và Triều Tiên) nhìn thấy năm 1604 trong chòm sao Ophiuchus, nhưng nguồn vô tuyến Cas A được cho là do một sao siêu mới gần đây hơn.

Spin Một tính chất cơ bản của hạt cơ bản mô tả trạng thái quay của hạt. Theo các định luật của cơ học lượng tử, spin chỉ có thể có những giá trị nhất định bằng một số nguyên hay bán nguyên nhân với hằng số Planck.

Sự tái hợp Sự kết hợp của hạt nhân nguyên tử và electron thành những nguyên tử thông thường trong vũ trụ học, sự tái hợp thường được dùng một cách đặc biệt để chỉ sự tạo thành nguyên tử heli và hydro ở nhiệt độ cỡ 3000 K.

Tần số Diễn tả sự đi qua một điểm cho trước của đỉnh của bất kỳ loại sóng nào. Bằng tốc độ sóng chia cho bước sóng. Tính theo Hz.

Thiên hà Một chùm sao liên kết với nhau bởi lực hấp dẫn, chứa đến 10 mũ 12 khối lượng mặt trời. Các thiên hà thường được xếp loại theo hình dáng : elip, xoắn ốc, xoắn ốc có gạch ngang, hoặc dạng không đều.

Thiên hà điển hình Ở đây dùng để nói về các thiên hà không có vận tốc đặc biệt, và do đó chỉ chuyển động cùng với sự chuyển động chung của vật chất do sự giãn nở vũ trụ gây ra. Một ý nghĩa tương tự được gán cho các từ hạt điển hình và người quan sát điển hình.

Thời gian dẫn nở đặc trưng Nghịch đảo của hằng số Hubble. Vào khoảng 100 lần thời gian vũ trụ dùng để dẫn nở thêm một phần trăm.

Thông số giảm tốc Con số đặc trưng cho tỷ lệ giảm tốc độ của sự lùi của các thiên hà xa.

Thuyết hiệu chuẩn Một loại lý thuyết trường thường được nghiên cứu ráo riết coi như là những lý thuyết khả dĩ về các tương tác yếu, điện từ và mạnh. Những thuyết như vậy là bất biến với một phép biến đổi đối xứng, mà kết quả biến thiên từ điểm này đến điểm kia trong không – thời gian. Danh

từ hiệu chuẩn (gauge) được dùng phần nhiều là do lý do lịch sử.

Tia vũ trụ Hạt mang điện có năng lượng cao từ khoảng không vũ trụ đi vào khí quyển của ta.

Tinh vân Thiên thể rộng lớn, có dạng những đám mây. Một số thiên hà; những cái khác thực sự là những đám mây bụi và khí trong thiên hà chúng ta.

Triti Đồng vị nặng không bền H^3 của hydro. Hạt nhân của nó gồm một photon và hai neutron.

Tự do tiệm cận Tính chất của vài lý thuyết trường về các tương tác mạnh, nói rằng các lực trở thành mỗi lúc càng yếu ở những khoảng cách gần.

Thuyết trạng thái dừng Thuyết vũ trụ học mà Bondi, Gold và Hoyle đã phát triển, trong đó các tính chất trung bình của vũ trụ không khi nào thay đổi với thời gian; vật chất mới nhất được phát sinh ra liên tục để giữ cho mật độ vũ trụ không đổi trong khi vũ trụ giãn nở.

Thuyết tương đối hẹp (thuyết tương đối đặc biệt) Một cách nhìn mới về không gian và thời gian mà Einstein đề ra năm 1905. Như trong cơ học Newton, có một nhóm các phép đổi toán học liên hệ các tọa độ không – thời gian, mà những người quan sát khác nhau dùng, một cách nào đó để cho các định luật của tự nhiên được coi là như nhau đối với những người quan sát đó. Tuy nhiên, trong thuyết tương đối hẹp các biến đổi không – thời gian có tính chất quan trọng là làm cho vận tốc ánh sáng không thay đổi, không phụ thuộc vào vận tốc của người quan sát. Mọi hệ chứa hạt vận tốc gần bằng vận tốc ánh sáng được xem là hệ tương đối tính và phải được nghiên cứu theo các định luật của thuyết tương đối hẹp chứ không theo cơ học Newton.

Thuyết tương đối rộng (thuyết tương đối tổng quát) Lý thuyết về hiện tượng hấp dẫn do Einstein phát triển trong thập niên 1906 – 1916. Theo cách phát biểu của Einstein thì ý tưởng cơ bản của thuyết tương đối rộng là hiện tượng hấp dẫn là một kết quả của sự cong của continuum không – thời gian.

Tương tác mạnh Loại mạnh nhất trong bốn loại tương tác tổng quát giữa các hạt cơ bản. Nó chịu trách nhiệm về các lực hạt nhân giữ các proton và neutron ở lại trong các hạt nhân nguyên tử. Tương tác mạnh ảnh hưởng đến hadrôn chứ lepton và photon thì không.

Tương tác yếu Một trong bốn loại tương tác tổng quát giữa các hạt cơ bản. Với những năng lượng bình thường nó yếu hơn tương tác điện từ hoặc tương tác mạnh nhiều, dù rằng mạnh hơn tương tác hấp dẫn. Nó chịu trách nhiệm về sự phân rã tương đối chậm của những hạt như neutron và muon và

về mọi phản ứng trong đó có neutrino. Ngày nay nhiều người hiểu rằng các tương tác yếu và điện từ và có thể cả các tương tác mạnh là những biểu hiện của một lý thuyết trường hiệu chuẩn thống nhất cơ bản và đơn giản.

Vận tốc ánh sáng Hằng số cơ bản của thuyết tương đối hẹp, bằng 299729 km/s. Ký hiệu c . Mọi hạt có khối lượng bằng không như photon, neutrino, hoặc graviton chuyển động với vận tốc ánh sáng. Các hạt vật chất có vận tốc ánh sáng khi năng lượng của chúng là rất lớn so với năng lượng nghỉ mc^2 trong khối lượng của chúng.

Vũ trụ học “vụ nổ lớn” Thuyết cho rằng vũ trụ bắt đầu từ một thời điểm hữu hạn trong quá khứ, ở một trạng thái có mật độ và áp suất rất lớn.

Xêpheit Những ngôi sao sáng đổi ánh, có một sự liên hệ xác định rõ giữa độ trung tuyệt đối, chu kỳ biến thiên, và màu. Tên là theo tên của ngôi sao ở Xêphei trong chòm sao Xêpheit (“Ông vua”). Được dùng để chỉ khoảng cách của những thiên hà tương đối gần.

Xian Hợp chất hoá học CN, được tạo nên từ cacbon và nitơ. Tìm thấy trong khoảng không giữa các sao do sự hấp thụ ánh sáng nhìn thấy.
