

Ba Phút đầu tiên

Tác giả: Suu Tầm

Thể loại: Khoa Học

Website: <http://motsach.info>

Date: 13-October-2012

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 cám 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. 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 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 nơtron 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 mỷ 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 Ginevơ 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 mặt 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 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 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 phần 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 (lớp 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: đầu 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 lượng vàng còn dễ kiếm hơn một lượng 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 Wilczek 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 - vôn, 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^{10} 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 đã 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 tác 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 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 nhiễu 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 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 khổng 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.