

MỘT THỂ KỶ THUYẾT TƯƠNG ĐỐI TỔNG QUÁT EINSTEIN

TS Võ Văn Thuận

Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam

Cách đây một thế kỷ (vào năm 1916), bài báo công bố Thuyết tương đối tổng quát, hay còn gọi là Thuyết vạn vật hấp dẫn của Albert Einstein được đăng trên Tạp chí Khoa học Annalen Der Physik. Thuyết này ra đời đã làm thay đổi căn bản hiểu biết của con người về vũ trụ, về những hiện tượng khoa học kỳ bí nhất. Từ đó đến nay, đã có rất nhiều nhà khoa học tìm cách kiểm chứng công trình nghiên cứu của Einstein, nhưng chưa một thí nghiệm nào phát hiện hay chứng minh được sai sót hay điểm yếu nào trong Thuyết. Chúng ta hãy thử điểm lại chuỗi sự kiện cách đây 100 năm và đoán xem điều gì có thể xảy ra tiếp theo với học thuyết Einstein.

Tầm nhìn vào vũ trụ bao la

Thuyết tương đối rộng, hay còn gọi là Thuyết tương đối tổng quát (General relativity theory) là kết quả của công trình lý thuyết hình học cong về lực hấp dẫn do nhà vật lý Albert Einstein nghiên cứu từ năm 1907 đến 1915 và được công bố vào năm 1916. Với các nhà nghiên cứu không chỉ riêng trong lĩnh vực vật lý, Thuyết tương đối tổng quát từ khi được công bố đã tạo nên một cuộc cách mạng thực sự trong nhận thức khoa học của nhân loại.

Phương trình hấp dẫn Einstein trong Thuyết tương đối tổng quát có dạng như sau:

$$R_{\alpha\beta} - \frac{1}{2}Rg_{\alpha\beta} = 8\pi T_{\alpha\beta} \quad (1)$$

Trong đó, ở vế bên trái: $R_{\alpha\beta}$ là ten-xơ Ricci và R là đại lượng vô hướng Ricci, chúng đặc trưng cho độ cong của không gian và thời gian; $g_{\alpha\beta}$ là ten-xơ metric không gian - thời gian với các chỉ số α và β từ 1 đến 4. Vế bên phải có ten-xơ năng lượng - xung lượng $T_{\alpha\beta}$. Đây là các đại lượng được biểu diễn trong hình học cong Riemann, khác với hình học

phẳng Euclid mà chúng ta vẫn quen thuộc. Ví dụ, trong không gian - thời gian phẳng thì ten-xơ metric $g_{\alpha\beta}$ không thay đổi, nhưng trong hình học cong thì chúng trở thành các hàm số phụ thuộc vào tọa độ và thời gian. Giống như Định luật Hooke mô tả mức độ biến dạng vật thể rắn phải tỷ lệ với lực gây biến dạng, phương trình hấp dẫn Einstein mô tả sự uốn cong của không gian - thời gian gắn kết nhân quả với nguồn năng lượng của vật chất hiện hữu. Cái triết lý rất sâu xa mà Einstein phát hiện ra đó là sự uốn cong hình học không gian - thời gian và năng lượng - xung lượng không chỉ phụ thuộc nhau, mà chúng chính là biểu hiện hai mặt của một bản ngã. Phương trình (1) viết rất gọn, nhưng nó thực chất là một hệ nhiều phương trình con phi tuyến rất phức tạp, thường chỉ tìm được lời giải trong những điều kiện biên giới hạn cụ thể nhất định. Ngay trong năm 1916, K. Schwarzschild đã tìm được lời giải đầu tiên khi đặt điều kiện đối xứng tâm trong chân không để giản lược bài toán, trong đó ta có thể sử dụng hình học cầu để mô tả cấu trúc không gian vũ trụ. Từ nghiệm này cũng

tìm được điều kiện mật độ vật chất vượt ngưỡng cân bằng giữa lực đẩy ra của nội năng lượng tử với lực trọng trường hút vào, khi đó một vật thể nặng hơn Mặt trời hàng chục lần có thể tự co lại để trở thành lỗ đen. Như vậy, vùng tối đen không hề trống rỗng, mà là vì các chất xung quanh vật thể siêu đặc này đều bị hút vào trong (kể cả các tia ánh sáng), khiến cho những ai quan sát từ xa không thể nhìn thấy gì đang xảy ra. Như vậy, Thuyết của Einstein đã tiên đoán về một hiện tượng gọi là lỗ đen vũ trụ. Theo phương trình (1), Einstein đã tính đúng hiện tượng chuyển dịch điểm gần Mặt trời của quỹ đạo sao Thủy dưới tác động tổng hợp của Thái dương hệ, điều mà trước đó Định luật vạn vật hấp dẫn của Newton không giải được (vì ở đây phải tính đến độ cong không gian do khối lượng khổng lồ của Mặt trời gây ra). Ngoài ra, từ phương trình (1) cũng tiên đoán được hiện tượng đường đi của tia sáng sẽ bị cong đi đáng kể khi qua gần thiên thể nặng. Năm 1919, A. Eddington đã quan sát tia sáng đi sát cạnh Mặt trời trong một sự kiện nhật thực toàn phần và kết quả đo

độ cong tia sáng đã chứng minh đúng với tiên đoán của Einstein. Sự kiện này thuyết phục toàn thế giới rằng, Thuyết tương đối tổng quát bí hiểm là một chân lý.

Vào thời đó, Einstein vẫn cho rằng vũ trụ tĩnh tại do trục thời gian trôi thẳng đều, nên khi áp dụng học thuyết để mô tả vũ trụ ông đã bổ sung thêm một hằng số vũ trụ vào phương trình (1). Đến năm 1922, A. Friedman cho một lời giải khác của phương trình (1) khi xét sự phụ thuộc thời gian của các ten-xơ metric $g_{\alpha\beta}$ trong điều kiện đối xứng đẳng hướng và đồng nhất, kết quả dẫn đến một vũ trụ giãn nở liên tục. Chỉ vài năm sau, nhà thiên văn E. Hubble quan sát các thiên thể thấy chúng chạy ra xa nhau với tốc độ tỷ lệ với khoảng cách giữa chúng theo công thức: $v = Hl$, trong đó v là vận tốc, l là khoảng cách và H là hệ số tỷ lệ gọi là hằng số Hubble. Phát hiện của Hubble đã chứng minh mô hình giãn nở Friedman là đúng và Einstein đành loại bỏ hằng số vũ trụ để trở lại dạng ban đầu là phương trình (1) và ông coi việc thêm hằng số vũ trụ là sai lầm lớn nhất trong đời mình. Tuy nhiên, sau này theo đà phát triển của khoa học, người ta lại thấy hằng số vũ trụ có thể có ý nghĩa vật lý quan trọng. Cụ thể, người ta đã phát hiện ra rằng vũ trụ chỉ giãn nở chậm lại trong vòng 7 tỷ năm đầu, còn hơn 6 tỷ năm tiếp theo thì lại tăng tốc, như vậy có thể có một năng lượng tối khổng lồ chiếm khoảng 68% tổng vật chất - năng lượng vũ trụ, đóng vai trò gia tốc hậu kỳ giãn nở vũ trụ. Từ đó nhiều người nghĩ rằng, có thể có hằng số vũ trụ đúng như Einstein đã từng giả thiết và nó chính là đại diện cho năng lượng tối mà các nhà khoa học đang tìm kiếm.

Mô hình động học Friedman là một bước tiến triển quan trọng trong nhận thức vũ trụ, sau này nó được ráp nối với cơ chế bùng nổ vũ trụ Big-Bang trong gian đoạn đầu khi vật chất hội tụ đậm đặc và có nhiệt độ cao kỷ lục. Ở giai đoạn này, vật chất như nổi cháo đặc của các hạt sơ cấp là *quark* và hạt kết dính chúng là *gluon*. Sau đó nhiệt độ và mật độ hạ xuống, bắt đầu xuất hiện các hạt nặng, thế giới gồm các sóng bức xạ nguội dần. Tiếp theo, các hạt và các hệ hạt chuyển động chậm hơn, dần dần có sự kết dính nguyên tử, phân tử, rồi các bụi vũ trụ để hình thành các thiên thể và tiến hóa tới thế giới ngày nay. Các sóng bức xạ tàn dư thì nguội đến mức không vượt qua ngưỡng lượng tử để tác động tới các nguyên tử vật chất, nên chúng cứ thế tiếp tục duy trì như một phong nền bền vững của vũ trụ thời Big-Bang để lại. Tuy nhiên, lời giải của Friedman vẫn có nhiều mâu thuẫn, ví dụ như không lý giải nổi việc mất tầm nhìn giữa hai sự kiện vốn có liên kết nhân quả, hoặc sẽ không khớp được độ phẳng của không gian - thời gian với thời điểm đầu hình thành vũ trụ. Nguyên nhân được cho là một mô hình khá đơn giản như lời giải Friedman khó có thể ngoại suy ngược về quá khứ tới một thời điểm kỳ dị như lúc hình thành vũ trụ. Một cách hóa giải đã được đề xuất là gần sự bùng nổ vũ trụ từ ban đầu hầu như tức thời theo một tốc độ hàm mũ để các kích thước tăng tiến từ rất nhỏ bé đến kích thước vũ trụ vĩ mô chỉ trong chớp nháy, sự giãn nở đột xuất này được gọi là thời kỳ lạm phát. Lúc đầu, nhiều người thấy rất phi lý, nhưng cộng đồng vật lý được thuyết phục bởi nó lý giải được những mâu thuẫn trong mô hình Friedman trước đây.

Một lời giải khác trong điều kiện lực hấp dẫn yếu đưa đến phương trình sóng hấp dẫn, được hiểu như là các gợn lăn tăn của không gian và thời gian khi chúng bị các tác động của một nguồn lực hấp dẫn nhất định. Sự thăng giáng lớn về năng lượng tương đương với một nguồn lực hấp dẫn sẽ làm biến động không gian và thời gian quanh đó, tạo ra những gợn sóng của chính không gian - thời gian, được lan truyền ra xa và có thể ghi nhận bằng những máy đo đặc biệt. Như một trùng hợp lịch sử, năm 2016, các nhà vật lý ở Mỹ thông báo đã thấy tín hiệu sóng hấp dẫn và làn sóng này bắt nguồn từ sự hội nhập của hai hố đen khổng lồ. Như ta thấy, cả sóng hấp dẫn và hố đen là hai hiện tượng được dự báo một cách thiên tài từ học thuyết của Einstein và đúng 100 năm sau mới được chứng minh lần đầu tiên. Nó gợi mở cho chúng ta một điều rất thú vị là tại sao dù ít người thật sự hiểu về Thuyết tương đối tổng quát, kể cả nhiều nhà vật lý, nhưng cả nhân loại đều ngưỡng mộ Einstein.

Thuyết hấp dẫn có hòa hợp với thế giới lượng tử không?

Thế kỷ XX có 2 thành tựu khoa học vĩ đại là Thuyết tương đối tổng quát và cơ học lượng tử. Chính Einstein cũng đã có đóng góp tiên phong xây dựng thuyết lượng tử khi ông vận dụng khái niệm lượng tử ánh sáng để giải thích hiện tượng quang điện: ánh sáng lúc thường là dạng sóng, nhưng nó lại được coi như hạt photon (tức lượng tử ánh sáng) khi va đập với electron và nhờ vậy gây ra hiện tượng mà ngày nay chúng ta ứng dụng trong các tế bào quang điện. Tuy nhiên, sau khi thuyết lượng tử ra đời thì Einstein lại không thỏa mãn với tính xác suất ngẫu nhiên

của các quá trình xảy trong cơ học lượng tử. Ông cho rằng, kể cả các hạt nhân và nguyên tử trong thế giới vi mô cũng đều phải tồn tại khách quan, không chỉ hiển hiện khi con người động chạm vào chúng như lập luận theo trường phái Copenhagen của Nils Bohr (đại diện của cơ học lượng tử xác suất - ngẫu nhiên). Chúng ta nhớ lại rằng, cả cuộc đời mình Einstein đã giành nhiều thời gian và nỗ lực cho tư tưởng thống nhất các lực tự nhiên, làm sáng tỏ tính khách quan nội tại của thế giới lượng tử vi mô dựa trên nền tảng Thuyết tương đối tổng quát. Ông cho rằng, cơ học lượng tử chưa đầy đủ, nó còn thiếu điều gì đó gây ra những bất định làm lu mờ sự tồn tại khách quan của vật chất trong kích thước vi mô. Cho đến cuối đời mình ông vẫn chưa đạt được mục tiêu mong muốn khiến nhiều người đã nghĩ rằng tư tưởng thống nhất vật lý trong thuyết hấp dẫn là không khả thi: dường như thuyết lượng tử không mô tả được lực hấp dẫn và thuyết hấp dẫn không gắn được với không gian - thời gian lượng tử của các hạt cơ bản. Những người ủng hộ Einstein không nhiều so với những người tin tưởng vào sự hoàn chỉnh của thuyết cơ học lượng tử. Nhưng trong số ít người kiên trì tư tưởng của Einstein lại có những nhân vật có tư duy rất lỗi lạc, đó là L. de Broglie, E. Shrodinger, D. Bohm, tiếp theo là R. Feynman, R. Penrose, G. t'Hooft. Tất cả những tên tuổi này đều có đóng góp quyết định cho phát triển cơ học lượng tử hoặc lý thuyết trường lượng tử hiện đại, nhưng họ đều không thỏa mãn với sự "phục tùng số phận" do cơ học lượng tử quy định theo kiểu xác suất. Trong số này, Bohm đã đề xuất thuyết tham số ẩn, tức là ông muốn hiểu và lý giải sự bất định thông qua

một đại lượng hoặc một biến số mới ẩn giấu trong cơ học lượng tử. Sau này các nhà vật lý chứng minh rằng, tham số ẩn nếu có thì phải là đại lượng không bị gán địa chỉ cụ thể (tức là không định xứ ở một vị trí tọa độ và tại một thời điểm). Bohm chưa đi đến thành công, nhưng cuộc tìm kiếm của ông hơn 50 năm trước đã cho ta một sự gợi mở.

Ngày nay, trong bộ môn khoa học gọi là lượng tử - hấp dẫn, một số người vẫn đang khao cứu về khả năng hài hòa của Thuyết tương đối rộng với cơ học lượng tử bằng cách lượng tử hóa, tức là chia nhỏ không gian - thời gian thành những đoạn cực ngắn khi khảo sát không gian - thời gian vi mô siêu nhỏ.

Trong 30 năm gần đây, một xu thế khác khá thịnh hành là nghiên cứu phương trình hấp dẫn Einstein trong không gian - thời gian mở rộng với số chiều lớn hơn so với 1 chiều thời gian và 3 chiều không gian thông thường. Đây là sự phát triển phục hưng lý thuyết 5 chiều của Kaluza và Klein từ những năm 1920. TOE (Theory of Everything - Lý thuyết cho mọi vật) thu hút nhiều nhà nghiên cứu, trong đó số chiều không gian tăng lên rất nhiều để xây dựng các lý thuyết như mô hình siêu - dây 10 chiều hay lý thuyết siêu - hấp dẫn 11 chiều với mục tiêu sử dụng các chiều dư này mô tả tất cả các lực tác dụng trong tự nhiên như lực điện - từ, lực hạt nhân mạnh, lực phân rã yếu và đương nhiên cả lực hấp dẫn. Thật ra muốn kiểm chứng các tiên đoán của lý thuyết này rất khó, vì các chiều bổ sung tạo ra quá nhiều giả thiết với nhiều tham số tự do, trước khi tính toán được một hiệu ứng vật lý cụ thể, vì vậy việc thí nghiệm để chứng minh là không đơn trị, không

nhất quán. Một trường phái khác chủ trương chỉ tăng hạn chế số chiều, thông thường thêm 1 hoặc 2 chiều dư, nhưng có hy vọng dễ đưa đến các hệ quả vật lý có thể kiểm chứng được. Đây thật sự là phát triển kế thừa học thuyết tiên phong của Kaluza-Klein. Trong hội thảo quốc tế mang tên "Vạn vật hấp dẫn và vũ trụ" mới được tổ chức tại Hà Nội, nhà vật lý Nguyễn Ái Việt (Đại học Quốc gia Hà Nội) đã thuyết trình về thuyết hấp dẫn 6 chiều, bao gồm thêm 2 chiều gián đoạn trong không gian - thời gian không giao hoán, với mục tiêu thống nhất các lực tương tác [1]. Bản thân tôi cũng giới thiệu về một mô hình vũ trụ vi mô trong thời gian - không gian đối xứng 6 chiều, với cách tiếp cận tương tự như lý thuyết không gian - thời gian - vật chất (STM theory) của P. Wesson. Mô hình thời gian - không gian đối xứng đã đưa đến dẫn giải khá định lượng phương trình cơ học lượng tử Klein-Gordon-Fock và cũng dẫn ra được chính xác bất đẳng thức Heisenberg, vốn là cơ sở cho tính bất định lượng tử [2].

Qua một số ví dụ như trên chúng ta thấy, triết lý của Einstein về một thế giới vật chất hài hòa, về động lực phát triển của vũ trụ, bao gồm cả tính thống nhất nội tại của Thuyết tương đối tổng quát và cơ học lượng tử đã được hé lộ khi các nhà vật lý thời nay phát triển những mô hình không gian - thời gian đa chiều. Những gì diễn ra sau một thế kỷ đang chứng minh tư tưởng Einstein là bất diệt ✍

Tài liệu tham khảo

1. Nguyen Ai Viet and Pham Tien Du, arXiv: 1510.01169 gr-qc (2015).
2. Vo Van Thuan, Communication in Physics, 26(2016)181. [arXiv:1604.05164v2].