Mối liên hệ giữa thuyết Tương đối tổng quát với Cơ học lượng tử

Võ Văn Thuận*

Năm vừa qua, chúng ta đã chứng kiến sự kiện khoa học đặc biệt: Giải thưởng Nobel Vật lý năm 2017 cho phát hiện kép đo được sóng hấp dẫn, đồng thời là minh chứng về sự tồn tại của các hố đen khổng lồ theo lý thuyết hấp dẫn của Einstein. Trước đó là giải Nobel Vật lý năm 2013 cho phát hiện hạt Higgs theo tiên đoán của mô hình chuẩn trường lượng tử. Như vậy, sau 100 năm Einstein phát minh thuyết Tương đối tổng quát và 90 năm ra đời thuyết Cơ học lượng tử, loài người đã đạt được những thành tựu gần như trọn vẹn đối với hai luận thuyết nền tảng của vật lý học hiện đại. Phải chăng chúng ta đã có thể thoả mãn với hiểu biết cơ bản của vật lý học?

Lâu nay, một câu hỏi lớn do chính Einstein và những nhà bác học lỗi lạc cùng thời đặt ra vẫn còn đó: Thuyết lượng tử có sự nhất quán tự thân không? Giữa thuyết Tương đối tổng quát (còn gọi là thuyết Hấp dẫn) và thuyết Cơ học lượng tử có mối liên hệ nội tại không? Việc tìm ra câu trả lời là một thách đố lớn nhất của vật lý học. Thực trạng là sau nhiều năm tranh luận, số đông các nhà vật lý tự hài lòng hoặc đành chấp nhận quan điểm của Nils Bohr cho là thuyết Cơ học lượng tử là đầy đủ, nhất quán và cứ như vậy có thể coi như hai luận thuyết Tương đối tổng quát và Cơ học lượng tử tồn tại song song, gần như độc lập với nhau. Tuy nhiên, vẫn có số ít các nhà khoa học có tư duy giống như Einstein, không thoả mãn và kiên trì tìm điều gì đó dường như chưa đồng bộ trong cơ học lượng tử và đòi hỏi phải khám phá tính tương đồng nội tại giữa hai luận thuyết. Vậy thật sự chúng ta còn có thể thấy điều gì khác hay không đằng sau những thành công đã có?

*Đại học Duy Tân (cơ sở Hà Nội) và Viện Năng lượng Nguyên tử Việt Nam

Thuyết Kaluza-Klein hiện đại bắt đầu gắn kết Tương đối tổng quát với Cơ học lượng tử

Luận thuyết siêu chiều dư do Kaluza đề xuất từ năm 1921 dựa trên phương trình thuyết Tương đối tổng quát, trong đó ngoài 3 chiều không gian và 1 chiều thời gian thông thường, ông đặt thêm một siêu chiều dư. Năm 1926, Klein đề xuất cuộn nhỏ chiều dư để mô tả các đặc trưng vật lý trong thế giới lượng tử vi mô. Qua hơn nửa thế kỷ, thuyết Kaluza-Klein không tiến triển do chưa đủ sức mô tả thực tế vật lý. Nhưng từ thập niên 70 của thế kỷ XX người ta phát huy thuyết Kaluza-Klein hiện đại với siêu chiều dư không bị cuộn nhỏ, ngược lại có kích cỡ vĩ mô, có thể đo đạc được, đưa đến những ứng dụng khá năng động cho không gian - thời gian 4 chiều. Trong xu hướng này có thuyết Không gian - Thời gian - Vật chất 5 chiều (STM) của nhóm Wesson [1, 2], sử dụng một chiều dư thời gian để giải thích được nhiều tính chất lượng tử, ví dụ tạo ra khối lượng cho hạt cơ bản, giải mã bí ẩn lưỡng tính sóng và hạt, dẫn xuất bất đẳng thức tựa như bất định Heisenberg... Tuy chỉ mới là giải thích khá định tính, nhưng các mô hình Thuyết Kaluza-Klein hiện đại đã gợi mở một lối đi rất khả quan để kết nối phương trình Tương đối tổng quát (GR) với Cơ học lượng tử (QM).

Cũng với cách tiếp cận tương tự, chúng ta có thể đưa ra một phương trình tương đối tổng quát trong chân không 6 chiều trong đó có 3 chiều không gian bình thường (3X) đối xứng với 3 chiều thời gian (3T) trừu tượng trong một mối quan hệ trực giao [3], cụ thể:

$$R_i^m - \frac{1}{2}\delta_i^m R = 0 \qquad (1)$$

Trong đó, R_i^m là độ cong ten-xơ Ricci 6 chiều và R là độ cong vô hướng. Do xét trong chân không nên ten-xơ năng lượng - xung lượng ở vế phải phương trình (1) bằng không. Từ ba chiều thời gian vốn rất trừu tượng, để tái

hiện được thời gian vật lý 1 chiều, chúng ta có thể áp dụng tính chất rất đặc thù của hình học trụ: Hãy cho hạt cơ bản tiến hoá theo đường xoắn ốc thời gian trên mặt trụ nhúng trong thời gian 3T trừu tượng. Giống như khi người ta cho một trạm không gian hình trụ quay quanh trục của nó để tạo ra cảm giác trọng lực, nếu phi công vũ trụ bước đi dọc trong lòng trạm, anh ta tưởng mình đi thẳng, dù bước chân đang vẽ một đường xoắn ốc trong không gian 3X. Như vậy, hạt cơ bản sẽ tự coi là đang tiến hoá theo một trục thời gian *t* hướng thẳng về tương lai, không hề biết mình đang tiến hoá theo đường xoắn ốc trong 3T. Tuy nhiên, độ xoắn ốc thời gian sẽ được lưu lại bằng một biểu hiện khác trong việc xuất hiện khối lượng của hạt cơ bản, giúp nó cảm nhận được lực hấp dẫn, tương tự nhà du hành vũ trụ cảm thấy như mình có trọng lực hút đôi chân vào mặt sàn trạm vũ trụ (thực ra đó là do lực ly tâm). Điều này hoàn toàn phù hợp với nguyên lý tương đương trong phương trình Einstein, khi ten-xơ độ cong không gian - thời gian cân bằng với ten-xơ năng lượng - xung lượng.

Cuối cùng là từ 3 chiều thời gian trừu tượng, hạt cơ bản chỉ còn cảm nhận được 1 chiều thời gian luôn hướng về tương lai, còn hình thức luận thời gian - không gian đối xứng 6 chiều, giờ được nhận thức như không gian - thời gian 4 chiều quen thuộc. Ưu điểm của ứng dụng siêu chiều dư thời gian trong 3T cuộn thành một chiều thời gian xoắn ốc của hình học trụ là giải đáp được câu đố về nguồn gốc của khối lượng và tính chất một chiều tiến hoá của thời gian. Cách tiếp cận hình học này đã giúp kết nối giữa hai lý thuyết vật lý GR và QM ở mức độ định lượng khá cao. Thật vậy, mô hình thời gian - không gian đối xứng 3T-3X đã chứng minh rằng phương trình cơ học lượng tử Klein-Gordon-Fock (KGF) chỉ là một hệ quả của phương trình thuyết Tương đối tổng quát 6 chiều (1), sau khi thực hiện các biến đổi bằng hình học trụ như trên, để chuyển thành phương trình chuyển động 4 chiều, cụ thể phương trình KGF sẽ có dạng là:

$$-\hbar^2 \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} + \hbar^2 \frac{\partial^2 \psi}{\partial x_j^2} - m^2 \psi = 0 \quad (2)$$

Trong đó, khối lượng hạt được tổng hợp từ thành phần khối lượng riêng m_0 và bổ chính δ_m do có mô-men quay spin, sao cho $m^2 = m_0^2 - \delta m^2$, như vậy phương trình KGF (2) có dạng khái quát hơn so với phương trình cơ học lượng tử truyền thống trong không gian - thời gian 4 chiều, nhờ vậy phương trình mới có thể mô tả chuyển động trong không gian - thời gian cong của hạt tự do có spin khác không. Trong trường hợp đó, phương trình (2) là biểu diễn bình phương của phương trình Dirac đối với hạt lepton. Chúng ta cũng có thể chứng minh được rằng, bất đẳng thức Heisenberg có nguồn gốc từ điều kiện trắc địa của phương trình tương đối tổng quát. Ở đây, thuật ngữ "trắc địa" được sử dụng để phản ảnh trường hợp tương tự như khi ta dẫn ra phương trình mô tả một dịch chuyển theo đường cong trên bề mặt quả địa cầu. Cụ thể là trong điều kiện trắc địa đó, độ bất định cơ học lượng tử được tạo bởi độ cong của không gian, hoặc của trục thời gian, nhờ có sự chuyển động, hoặc tiến hoá theo đường xoắn ốc trên mặt trụ nhúng trong không gian 3X hoặc thời gian 3T. Như vậy, khái niệm bất định lượng tử do Heisenberg phát hiện ra lại có nguồn gốc trực tiếp từ độ cong không gian hoặc thời gian ứng với thuyết Tương đối tổng quát Einstein. Đây có thể coi là một chứng cứ rất quan trọng cho sự liên quan nội tại giữa hai học thuyết vật lý.

Ba thế hệ các hạt lepton và 3 chiều thời gian trừu tượng

Tiếp tục phát huy mô hình lý thuyết đối xứng thời gian - không gian 6 chiều [3], chúng ta có thể thấy thêm mối quan hệ để hiểu được sự phân kỳ khối lượng của các hạt cơ bản nhẹ, trước hết là các hạt lepton có điện tích. Trong nhóm ba hạt lepton tích điện thì ngoài electron (tức hạt điện tử) chúng ta đã biết từ rất lâu, còn có hạt muon (còn gọi là miu-mezon) phát hiện trong tia vũ trụ từ năm 1936 và hạt tauon (còn gọi là tau-lepton) phát hiện trên máy gia tốc năng lượng cao năm 1977. Khi chúng ta xem xét ba hạt trong một họ lepton có điện tích, thì thấy chúng có các tính chất rất giống nhau: Có điện tích 1 đơn vị, có spin 1/2, có lực điện từ, lực tương tác yếu phân rã beta, không có lực hạt nhân mạnh... Chúng chỉ có khác biệt rõ nhất là sự phân kỳ khối lượng. Nếu khối lượng electron là 1 đơn vị, thì muon nặng gấp khoảng 207 lần, tauon nặng gấp khoảng 3.477 lần. Tỷ lệ này không thể giải thích được bằng mô hình chuẩn thuyết

trường lượng tử, vì vậy các nhà vật lý coi như đây là một câu đố vượt ra ngoài mô hình chuẩn (Beyond Standard Model).

Điều thú vị là khi tạm gác lại lý thuyết trường lượng tử, mà sử dụng mô hình từ phương trình Tương đối tổng quát siêu chiều dư, chúng ta có thể tính được quy luật phân kỳ khối lượng của các hạt lepton. Trước hết, con số 3 hạt lepton tích điện được xếp loại trong ba thế hệ cũng là một câu hỏi chưa có lời giải, vì vậy ta hãy thử gắn 3 giá trị khối lượng của chúng với con số 3 của thời gian trừu tượng 3T. Trong hệ 3 chiều có thể tạo ra được 3 bậc độ cong tương ứng với số chiều 3T. Bản chất khối lượng nặng nhẹ khác nhau của 3 hạt có thể giải thích là tỷ lệ với độ cong của 1 chiều, bé hơn độ cong 2 chiều và càng bé hơn độ cong 3 chiều. Từ lập luận đó, có thể tìm thấy khối lượng của 3 hạt lepton chính xác đến xấp xỉ các giá trị khối lượng thực nghiệm đã đo được của chúng. Các công thức tính khối lượng ở gần đúng bậc nhất (chưa kể các bổ chính bậc cao) được dẫn xuất khá đơn giản như sau:

$$m_e = \epsilon_0 T;\ m_\mu = 4\pi\epsilon_0 T^2;\ m_\tau = 4\pi\epsilon_0 T^3 \quad (3)$$

Trong đó có hai tham số tự do là thừa số năng lượng lepton ε_0 = 31,056 keV/c^2 và bán kính Lagrange T = 16,454 (không có thứ nguyên). Nếu có thêm các bổ chính bậc cao thì độ chính xác của các công thức lý thuyết (3) sau khi chỉnh lý hầu như thoả mãn tối đa các giá trị thực nghiệm, dù vẫn chỉ cần có hai tham số tự do [4]. Đây phải chăng là minh chứng cho tính đối xứng thời gian - không gian, sao cho thời gian trừu tượng 3T không hẳn là trừu tượng, mà có những biểu hiện thực tế có thể kiểm chứng được. Nếu đúng vậy thì tầm nhìn của chúng ta vào vũ trụ, vào không gian và thời gian sẽ được mở rộng đáng kể. Khi đó chúng ta cần tính đến khả năng thời gian vật lý không phải chỉ là một trục, mà nó gồm có hai thành phần được tính theo công thức tựa như Định lý Pitago cho một tam giác vuông nhỏ vẽ trên mặt đất: $dt^2 = dt_0^2 + dt_3^2$, lần này được vẽ trên mặt hình trụ, trong đó dt_3 là thành phần thời gian diễn biến khi có chuyển động thẳng tịnh tiến dọc theo trục đối xứng trụ, còn thành phần dt_0 là thời gian tiến hoá xoắn cong quanh trục hình trụ, đó chính là thời gian nội tại khi vật đứng yên, không chuyển dời tịnh tiến. Trục thời gian thứ 3 còn lại của hình học 3 chiều 3T được thể hiện qua dao động sóng lượng tử xung quanh trục hình trụ, do cơ học lượng tử mô tả chuyển động và tiến hoá theo đường *dt* nằm trên mặt trụ, nên những thăng giáng dạng sóng ra ngoài đường *dt* được biểu diễn bằng pha của hàm sóng sẽ mở ra trong không gian pha cũng nằm trong thời gian 3T. Đó chính là một căn nguyên giải thích tại sao các mô tả bằng xác suất trong cơ học lượng tử tỷ lệ với bình phương giá trị biên độ hàm sóng đã không thể bao quát được các chuyển động và tiến hoá theo trục thời gian thứ 3 (hàm sóng), dẫn đến độ bất định lượng tử thông qua bất đẳng thức Heisenberg. Tất nhiên, sẽ cần có những thí nghiệm đo chính xác hơn khối lượng của hạt tauon so với khối lượng electron và muon, cũng như đo xác suất các quá trình phân rã của nó, để kiểm chứng mô hình lý thuyết đối xứng thời gian - không gian trước khi đưa ra kết luận cuối cùng.

Dù sao, những tín hiệu bước đầu đã chỉ ra khả năng mô hình lý thuyết vũ trụ vi mô phù hợp với thực tế vật lý, mang đến hy vọng là chúng ta đang đi đúng hướng để tìm được mối liên hệ trực tiếp giữa thuyết Tương đối tổng quát với Cơ học lượng tử. Trong đó dường như Cơ học lượng tử và phương trình hấp dẫn thuyết Tương đối tổng quát Einstein 4 chiều đều có chung nguồn gốc xuất phát từ phương trình Tương đối tổng quát trong không gian - thời gian có nhiều chiều, cụ thể số chiều thời gian bằng số chiều không gian và thể hiện tính đối xứng giữa 3T và 3X. Đó có thể là cách trả lời câu hỏi lớn mà Einstein và các nhà khoa học tiền bối đã từng tìm kiếm ✍

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] P.S. Wesson (2013), "Vacuum Vaves", *Phys. Lett. B*, **722**, p.1.

[2] P.S. Wesson (2015), "The status of modern five-dimensional gravity", *Int. J. Mod. Phys. D*, **24**, p.1530001-1.

[3] Thuan Vo Van (2017), "A time-space symmetry based cylindrical model for quantum mechanical interpretations", *Found. Phys.*, **47**, p.1559.

[4] Thuan Vo Van (2016), *High-order corrections to tauon mass in a microscopic cosmological model*, arXiv: 1711.08346v1[physics.gen-ph].