

VẬT CHẤT ĐỘT SINH TỪ CHÂN KHÔNG

Chân không theo nghĩa thông thường là vùng không gian mà ở đó không có gì cả. Song đối với các nhà vật lý thì không tồn tại vùng không gian nào như thế. Trong chân không luôn tồn tại một trường nào đó mà ở đấy xảy ra liên tục các thăng giáng vi mô. Trong những điều kiện nhất định, các thăng giáng đó được vật chất hóa biến thành bức xạ hoặc vật chất. Song tiếc thay, hiện tượng này không thể quan sát được trực tiếp (vì chỉ xảy ra thời Big Bang hoặc ở vùng lân cận của lỗ đen - bức xạ Hawking). Các nhà vật lý đã đưa ra nhiều ý tưởng thí nghiệm thực hiện tình huống tương tự cùng những phương trình cơ bản trong khí nguyên tử siêu lạnh, trong các sợi quang học hoặc đơn giản trong các dòng chảy của nước thông thường. Và họ đã quan sát được hiện tượng tương tự hiện tượng các hạt đột sinh từ chân không. Đó là nội dung chính được đề cập trong bài báo: **Vật chất đột sinh từ chân không của các tác giả Marc Lachièze - Rey, Vincent Glavieux, Silke Weinfurtner, Bernard Romney** đăng trên *La Recherche* số 474, tháng 4.2013. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam xin giới thiệu cùng bạn đọc.

Vì không quan sát được trực tiếp những hạt vật chất bức xạ từ chân không nên các nhà vật lý thực hiện các thí nghiệm dựa trên những hiện tượng tương tự trong các sợi quang học hoặc trong những khí nguyên tử siêu lạnh. Trong vũ trụ, lượng tử chân không là một đối tượng phức tạp. Đó là một đại dương các hạt: photon, electron, quark, neutrino... Các hạt này người ta còn gọi là các thăng giáng của *điểm không* hay năng lượng chân không, chúng là những hạt ảo. Từ lâu, chưa một nhà vật lý nào có chứng cứ thực nghiệm về môi trường sôi động đó.

Gần đây, nhiều nhóm thực nghiệm đã chứng minh có thể tách chiết các hạt chân không đó nhờ những thí nghiệm tinh vi. Christophe Westbrook và Denis Boiron tại Viện Quang học Palaiseau (Cộng hòa Pháp) cho rằng, các nhà vật lý không còn xa để chế ngự chân không. Hạt gắn liền với trường, lúc không có hạt nào, người ta nói trường đang nghỉ yên trong trạng thái cơ bản. Và trạng thái này không phải là “không có gì”. Thường xuyên xuất hiện những hạt và phản hạt sinh rồi hủy trước khi có cơ hội tương tác với thế giới thực. Các nhà vật lý đã tìm thấy những hệ quả gián tiếp về các hiện tượng nêu trên. Năng lượng chân không đã có ảnh hưởng đến tính chất các hạt và những mức năng lượng electron trong nguyên tử song họ cũng muốn tìm đến khả năng quan sát được trực tiếp các hạt vật chất hóa từ chân không. Họ đã tìm ra những tình huống khi những thăng giáng chân không tạo ra những hạt. Một tình huống đó xuất hiện trong vật lý các lỗ đen.

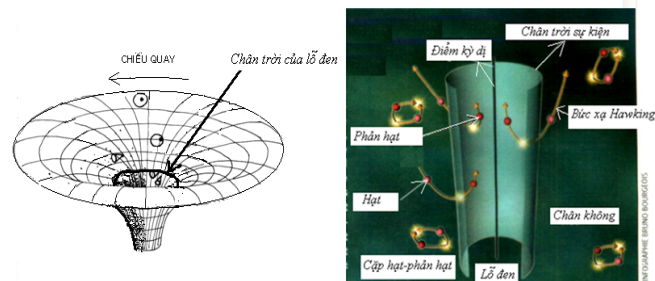
Lỗ đen

Các ngôi sao với khối lượng lớn hơn hai lần khối lượng của mặt trời, sau khi đã tiêu hao hết năng lượng hạt nhân của mình sẽ bắt đầu co lại dưới lực hấp dẫn lớn. Quá trình co (collapse) xảy ra tương đối nhanh dẫn đến tạo ra một lỗ đen. Ta có thể

hiểu sự tồn tại của lỗ đen một cách cổ điển như sau (theo Laplace). Xét một vật thể, động năng của vật thể phải thắng thế năng thì vật mới thoát khỏi thiên thể: $(1/2)mv^2 = GmM/R$, với m và M là khối lượng của vật thể và thiên thể. Từ đó có: $v = (2GM/R)^{1/2}$. Đối với ánh sáng, ta có $c = (2GM/R)^{1/2}$, do đó, bán kính tối hạn sẽ là: $R_g = 2GM/c^2$. Đó là bán kính của lỗ đen. Lỗ đen là những vật thể phát sinh trong quá trình co không xảy ngược lại được của sao. Đặc điểm chủ yếu của lỗ đen là trường hấp dẫn mạnh của nó, mạnh đến nỗi thậm chí ánh sáng phát ra từ bề mặt của lỗ đen cũng không thoát khỏi để đi xa ra ngoài.

Bức xạ Hawking

Trong chân không, những cặp hạt - phản hạt sinh và hủy liên tục. Theo lý thuyết của Stephen Hawking (Đại học Cambridge, Anh), nếu điều này xảy ra ở gần chân trời của một lỗ đen thì ta có thể quan sát được tình huống là cặp hạt - phản hạt không có cơ may hủy nhau được vì một hạt bị bắt vào sau chân trời lỗ đen, còn hạt kia bị bắn ra ngoài không gian và tạo

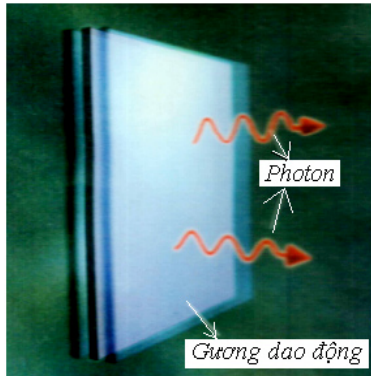


Hình 1: gần chân trời lỗ đen (hình trái), một cặp hạt ảo bị tách khỏi nhau và một hạt bắn ra ngoài không gian làm thành bức xạ Hawking (hình phải)

thành bức xạ Hawking (hình 1). Trong những năm 70 của thế kỷ XX, Stephen Hawking nghiên cứu khả năng một cặp hạt ảo trong chân không - ví dụ hai photon - xuất hiện tại chân trời lỗ đen. Theo tính toán của Hawking, cặp hạt phát sinh ở chân trời lỗ đen có khả năng một hạt rơi vào lỗ đen, còn hạt kia thoát được ra ngoài tạo thành bức xạ Hawking của lỗ đen. Người ta tin rằng, lý thuyết Hawking là đúng song chưa được kiểm nghiệm. Một tình huống thứ hai được gọi là *hiệu ứng casimir* được tìm ra năm 1970.

Hiệu ứng casimir lượng tử

Một gương dao động tương tác với các thăng giáng lượng tử của chân không trong đó có các photon ảo. Nếu gương dao động nhanh nó có thể truyền đủ năng lượng cho photon để một cặp photon biến thành thực (hình 2). Hiện tượng này được gọi là hiệu ứng casimir động học (effet casimir dynami que).



Hình 2: hiệu ứng casimir động học

Năm 2011, một nhóm các nhà vật lý thuộc Đại học Công nghệ Chalmers (Thụy Điển) đã thực hiện một thí nghiệm mô tả tương tự hiệu ứng casimir. Họ dùng một ống dẫn (guide d'ondes) vi sóng (tương đương một sợi quang học) để làm một khoang (cavité) điện từ rồi sử dụng một SQUID (mạch siêu dẫn) để tạo nên một từ trường trong khoang. Làm dao động từ trường ở tần số 11 GHz, họ đã làm thay đổi các tính chất lan truyền của vi sóng trong ống dẫn, tạo nên tình huống tương tự với tình huống một cái gương dao động làm thay đổi khoảng cách chạy của photon giữa hai gương. Họ đã quan sát được bức xạ photon từng cặp với xung lượng ngược chiều. Theo Nicolas Pavloff (Phòng thí nghiệm vật lý lý thuyết và mô hình thống kê, Đại học Paris - Sud), điều này giống như tình huống quan sát được những con sóng trong một cái bể mà ban đầu không có một giọt nước nào (vật chất đột sinh từ chân không). Các nhà vật lý trên đã tính ra, nếu một gương chuyển động nhanh trong chân không thì nó có thể cung cấp đủ năng lượng cho một cặp hạt photon ảo biến thành thực: một hạt bị phản chiếu bởi cái gương, hạt kia thì không bị phản chiếu (vậy hai hạt không gặp nhau được để hủy nhau) và như thế, cặp hạt biến thành vật chất (se materialiser) và truyền theo hai hướng khác nhau. Đó là giải thích của Iacopo Carusotto thuộc Đại học Trento (Italia).

Khoảng 30 năm trước, William Unruh (Đại học Colombie, Canada) đã chứng minh rằng, bức xạ Hawking không phải là đặc quyền của lỗ đen [1]. Nếu một chất lỏng chuyển động có gia tốc lớn có thể ngăn cản sự lan truyền của một sóng thủy động - hay sóng âm - theo chiều ngược lại như thể giam giữ sóng âm trong một vùng giới hạn. Các phương trình mô tả hiện tượng này tương tự như những phương trình của một lỗ đen. Và nếu sử dụng các phương trình lượng tử thay vì thủy động học cổ điển thì tác giả chứng minh được rằng, chân trời tương ứng trở thành một cái nôi của một bức xạ tự phát các lượng tử âm là những phonon. Những phonon này (giống như những photon bức xạ Hawking phát sinh từ chân không điện từ) chính là sự biến thành vật chất của những dao động ảo của chất lỏng lượng tử, chất lỏng này sẽ nằm yên trong trạng thái chân không nếu không có một chuyển động nào phát sinh.

Sợi quang học và laser

Đầu năm 1980, ý tưởng của William Unruh mới chỉ là một ý tưởng thực nghiệm tưởng tượng và bị bỏ quên bởi các nhà vật lý môi trường đông đặc, vật lý nguyên tử, quang học lượng tử. Đến năm 2010, Daniele Faccio (Đại học Heriot - Watt, Edinburgh, Anh) đưa ra một thí nghiệm (một phương án quang học) thực hiện sự tương tự hiệu ứng Hawking. Ông đã dùng một sợi quang học (fibre optique) trong đó vận tốc lan truyền của ánh sáng phụ thuộc vào độ dài sóng. Tại một đầu mút, ông tạo một xung laser đầu tiên. Sau đó là một xung laser thứ hai, chọn sao cho độ dài sóng cho phép xung này chuyển động nhanh hơn xung thứ nhất. Xung thứ nhất đã làm thay đổi trên đường đi chỉ số khúc xạ (refraction) của sợi quang đối với độ dài sóng của xung thứ hai. Như vậy, xung thứ hai bị hãm lại và không thể thâm nhập vào xung thứ nhất. Hiện tượng này làm liên tưởng đến đường chân trời. Các phương trình mô tả hiện tượng lại tương tự như các phương trình Hawking (trong lý thuyết lỗ đen). Và người ta có thể tiên đoán sự xuất hiện các photon từ chân không. Ở đây chân không là sợi quang vốn không có bức xạ nào cả. Danielle Faccio đã quan sát được điều đó vào 3 năm trước đây.

Nicolas Pavloff cho rằng, các photon trong thí nghiệm của Faccio quá nhiều và điều này có thể gây nên sự khó hiểu. Iacopo Carusotto nhận xét thêm rằng, có nhiều điểm tinh tế chưa được làm sáng tỏ, song đây là những kết quả ban đầu quan trọng. Cần phải chứng minh thêm rằng, các photon quan sát được là bức xạ Hawking lượng tử chứ không phải do một bức xạ nhiệt thông thường.

Một tia laser để phóng thích vật chất từ chân không

Để biến một cặp ảo thành vật chất thực (ví dụ, một electron và một positron), có một phương pháp hữu hiệu: tạo một trường điện mạnh trong một không gian nhỏ để tách một hạt khỏi cặp ảo. Trong mục đích đó, dự án quốc tế IZEST (International zetta-exawatt) đã hình thành, tập hợp hơn 30 phòng thí nghiệm trên thế giới, họ sử dụng laser Petal của CEA ở Bordeaux để

tạo những xung laser siêu ngắn cung cấp một năng lượng lớn (10^{29} watt = 100 triệu zettawatt/cm²). Các nhà vật lý hy vọng chứng minh thực nghiệm hiện tượng chân không thực tế chứa đầy vật chất và vật chất đột sinh từ chân không.

Khí nguyên tử siêu lạnh

Một thực hiện khác của hiệu ứng casimir được trình bày cách đây vài tháng bởi nhóm Christoph Westbrook và Denis Boiron. Họ dùng một khí nguyên tử siêu lạnh, ở nhiệt độ thấp các nguyên tử cùng rơi vào một trạng thái lượng tử tạo thành ngưng tụ (condensat) Bose - Einstein. Trong condensat các sóng âm - sóng áp suất - lan truyền giống như các sóng điện từ lan truyền trong chân không. Đây là những phonon mà các nhà thực nghiệm mong được quan sát. Để đạt mục đích, họ phải làm thay đổi độ dài của condensat tương tự như một gương dao động làm thay đổi độ dài của khoang (cavité) quang học. Thực tế là họ làm thay đổi đột ngột tốc độ lan truyền của phonon trong môi trường bằng cách thay đổi mật độ của môi trường. Như thế các tác giả thu được bức xạ phonon theo các chiều ngược nhau như tiên đoán trong hiệu ứng casimir động học. Lacopo Carusotto cho rằng, thí nghiệm thành công song cần phải chứng minh sự tồn tại liên đới lượng tử (intrication quantique) [2] của các phonon bức xạ. Theo Denis Boiron, đây chỉ còn là vấn đề thời gian.

Chân trời của một lỗ đen

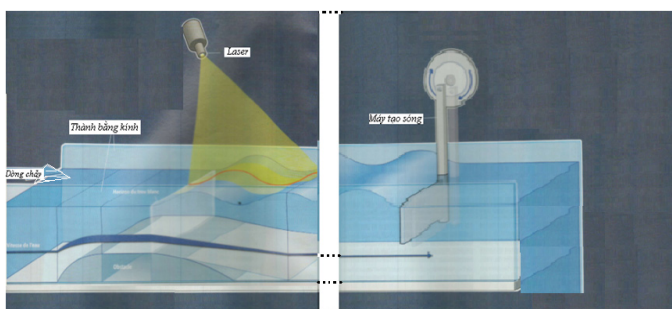
Sau hiệu ứng casimir động học, các nhà vật lý mong muốn tìm một sự tương tự của bức xạ Hawking (trong một condensat). Nhóm Jeff Seinhauer (Viện Công nghệ Haifa, Israel) đã quan sát được tương tự chân trời lỗ đen trong một condensat song chưa quan sát được sự tương tự bức xạ Hawking. Nhà lý thuyết lacopo Carusotto viết: chân không là một khái niệm ứng dụng trong chân không điện từ của vũ trụ song cũng ứng dụng cho mọi trạng thái cơ bản (trạng thái với năng lượng bé nhất) của một tinh thể, một siêu dẫn hoặc một condensat nguyên tử. Chân không của mọi hệ hàm chứa đầy đủ thông tin về tính chất vật lý của hệ đó.

Bức xạ Hawking là một hiện tượng đặc biệt của vật lý học. Nicolas Pavloff viết: bức xạ Hawking của lỗ đen có mối quan hệ với thực tại vi mô nằm ẩn phía dưới. Một cách nói cơ bản hơn, bức xạ lỗ đen liên quan đến 4 hằng số vật lý: c- vận tốc ánh sáng, h- hằng số Planck, G- hằng số hấp dẫn và k- hằng số Boltzmann của nhiệt động học. Giải thích bức xạ Hawking cần đến cơ học lượng tử và lý thuyết tương đối tổng quát là hai lý thuyết mà hiện nay chưa thống nhất được.

Về hiệu ứng casimir động học, hiệu ứng này quan trọng để giải thích sự hình thành vật chất thời nguyên thủy của vũ trụ. Vũ trụ lúc ấy giống như một khoang (cavité) với thành ngoại biên biến động, hiệu ứng casimir là nguồn gốc các thăng giáng của vật chất, những thăng giáng này dẫn đến sự hình thành các cấu trúc vĩ mô thiên hà.

Một lỗ trắng trong phòng thí nghiệm

Lỗ trắng là đối tượng nghịch đảo của lỗ đen. Với lỗ trắng thì ánh sáng không thể nào thâm nhập vào được, ngược lại với lỗ đen thì ánh sáng rơi vào thì không thoát ra được. Trên hình 3, ta có một dòng nước chảy ổn định trong bể. Dưới đáy bể đặt một chướng ngại vật làm thay đổi vận tốc dòng chảy (vận tốc tỷ lệ nghịch với độ cao của nước). Ở phía phải của bể đặt một máy tạo sóng, sóng đi ngược dòng chảy với vận tốc ngày càng lớn. Khi vận tốc dòng chảy bằng vận tốc lan truyền của sóng thì sóng dừng lại không thâm nhập xa nữa và ta có chân trời của lỗ trắng. Nếu chiếu sáng bề mặt bằng một tia laser ta quan sát được bức xạ của hai dao động lan truyền ngược chiều nhau.



Hình 3: tạo một lỗ trắng trong phòng thí nghiệm

Kết luận

Hiện tượng vật chất đột sinh từ chân không là một hiện tượng cơ bản nhất trong vật lý học, đặc biệt quan trọng đối với vũ trụ học. Bức xạ Hawking gần chân trời lỗ đen minh họa hiện tượng này. Ngoài bức xạ Hawking vốn chưa thể nào quan sát trực tiếp được, các nhà vật lý đã tìm ra nhiều thí nghiệm trong phòng thí nghiệm thực hiện hiện tượng bức xạ Hawking trong quang học, trong các khí nguyên tử siêu lạnh, trong các condensat. Những kết quả đang dần được hoàn thiện để cuối cùng trong tương lai gần có thể quan sát thực nghiệm hiện tượng vật chất đột sinh từ chân không: những cặp hạt ảo - thăng giáng lượng tử của chân không - đã biến thành vật chất dưới những điều kiện nhất định ■

CC biên dịch

Tài liệu tham khảo và chú thích

[1] W.G. Unruh, *Sonic analogue of black holes and the effects of high frequencies on black hole evaporation*, Phys. Rev. D 51, 2827-2838 (1995); E-printed as "Dumb holes and the effects of high frequencies on black hole evaporation", gr-qc/9409008.

[2] Liên đới lượng tử: đây là hiện tượng khi hai hạt liên đới với nhau bất kể khoảng cách giữa chúng là bao nhiêu. Đây là cặp EPR do 3 nhà vật lý Einstein, Podolsky và Rosen đề xuất.