

PHÁT HIỆN SÓNG HẤP DẪN: Một thành tựu thiên văn trong năm 2017

Nguyễn Quang Riệu

Nguyên Giám đốc Nghiên cứu Đài Thiên văn Paris, Pháp

Vũ trụ là một “phòng thí nghiệm” khổng lồ với những hiện tượng thiên nhiên diệu kỳ, thách thức các nhà vật lý thiên văn phát hiện, giải mã. Mỗi năm, các nhà khoa học trên toàn thế giới lại mang đến cho nhân loại những thành tựu thiên văn mới, có ý nghĩa vô cùng to lớn. Một trong những phát hiện lớn của năm 2017 chính là việc phát hiện sóng hấp dẫn phát ra từ sự kiện sáp nhập cặp lỗ đen. Kết quả này đã mang lại Giải Nobel Vật lý năm 2017 cho ba nhà khoa học người Mỹ - những người tiên phong trong công trình phát hiện sóng hấp dẫn.

Phòng thí nghiệm vũ trụ

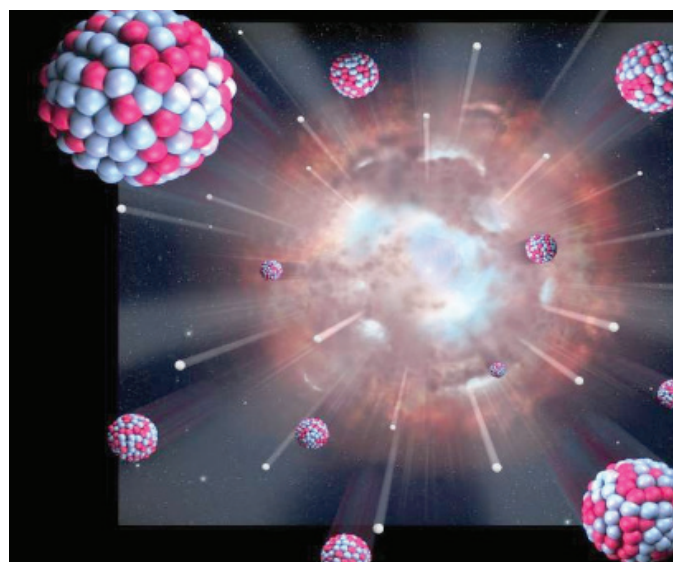
Vũ trụ là môi trường có những điều kiện lý - hóa đa dạng. Các nhà vật lý thiên văn sử dụng lý thuyết để phỏng đoán và giải thích những hiện tượng thiên nhiên. Một trong những đề tài đang được thịnh hành là sự phát hiện sóng hấp dẫn tiên đoán từ lý thuyết tương đối của Einstein. Những thiên thể nặng được tăng tốc và di chuyển hay bùng nổ trong vũ trụ, kể cả vụ nổ lớn Big Bang, có khả năng làm nhiễu không - thời gian. Hiện tượng này tương tự như những gợn sóng lăn tăn trên mặt hồ sau khi bị nhiễu bởi một hòn đá vừa rơi xuống. Sóng hấp dẫn lan truyền trong không - thời gian với tốc độ ánh sáng. Sự phát hiện ra sóng hấp dẫn là một thách thức lớn trong ngành thiên văn hiện đại.

Thuật luyện kim trong vũ trụ

Vũ trụ ra đời cách đây 13,7 tỷ năm từ vụ nổ Big Bang, trong những khoảnh khắc đầu tiên, vũ trụ nóng đến mức hạt nhân nguyên tử không thể tồn tại vì bị những tia xạ gamma tiêu huỷ. Vũ trụ nguyên thủy chỉ là một “nồi súp” chứa đầy photon và hạt cơ bản như quark, electron và neutrino... Vũ trụ dần nở nên loãng và nguội dần. Các hạt proton và neutron mới bắt đầu xuất hiện và liên kết với nhau để tạo ra deuterium và helium. Quá trình “bắt” neutron để tạo ra những nguyên tố nặng hơn đến đây chấm dứt. Phải đợi hàng trăm triệu năm sau Big Bang, các ngôi sao đầu tiên mới xuất hiện để tiếp tục sản xuất những nguyên tố nặng.

Ngôi sao là những lò luyện kim rất hiệu quả để điều chế ra những nguyên tử nặng. Một ngôi sao tương tự như mặt trời “đốt” nhiên liệu, chủ yếu là hydro, để tồn tại được

trong 10 tỷ năm. Sau khi tiêu thụ hết nhiên liệu hydro, lõi ngôi sao chứa toàn “chất thải” helium. Khi đó ngôi sao mất thăng bằng vì năng lượng hạt nhân không còn đủ để chống lại lực hấp dẫn. Vùng trung tâm ngôi sao sập sụp và nóng lên tới hàng chục triệu độ làm helium biến thành carbon (C). Khi đó ngôi sao co dần và phun các nguyên tử nặng vừa mới được điều chế ra môi trường liên sao. Tuy nhiên, nhiệt độ trong lõi ngôi sao không còn đủ cao để tổng hợp các hạt nhân nặng hơn carbon. Trong những ngôi sao nặng hơn mặt trời có nhiệt độ và áp suất cao, quá trình tổng hợp hạt nhân tiếp tục tiến hành. Những

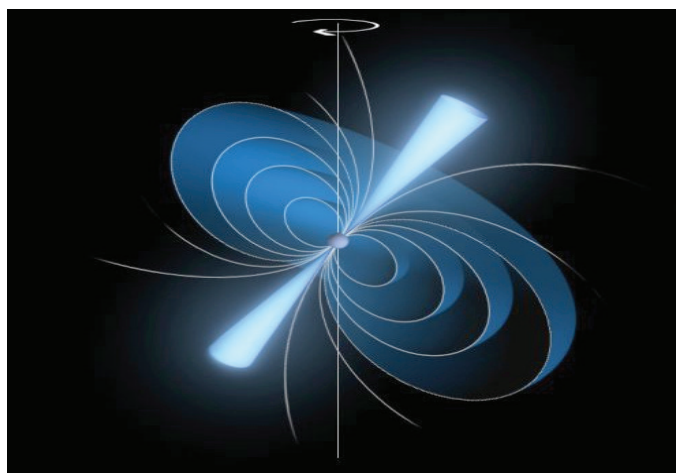


Minh họa một vụ nổ sao siêu mới sản xuất ra những nguyên tử nặng như đồng, vàng... Một ngôi sao neutron siêu đặc được tạo ra ở vùng trung tâm (hình: N. Mikami, NAO).

ngôi sao này điều chế các nguyên tử nặng như oxy (O), neon (Ne), natri (Na), magnesium (Mg), silicium (Si), sắt (Fe) và có cấu trúc sắp xếp thành từng lớp như vỏ một củ hành. Vỏ ngoài chứa hydro và heli, càng vào trong càng có những nguyên tử nặng và trong cùng là một cái lõi sao toàn là sắt (Fe). Quá trình sản xuất những nguyên tử nặng hơn tạm dừng. Khi đó ngôi sao sập sụp xuống và nổ tung thành sao siêu mới. Quá trình bắt neutron lại được tiến hành để tiếp tục tạo ra đồng (Cu), vàng (Au)...

Quá trình tiến hoá của những ngôi sao

Những ngôi sao khổng lồ sau khi đã tiêu thụ hết nhiên liệu hạt nhân thì nổ tung và để lại một cái lõi siêu đặc. Dưới sức ép của vụ nổ, vật chất trong lõi ngôi sao biến thành neutron. Tuy nhiên, sao neutron không chứa được quá nhiều vật chất nên nếu sự sập sụp cứ tiếp tục thì lõi ngôi sao trở thành một lỗ đen. Sao neutron và lỗ đen là những thiên thể siêu đặc có trường hấp dẫn lớn. Sao neutron phát những bức xạ trong phổ điện, từ bức xạ vô tuyến đến bức xạ X, gamma có năng lượng cao. Trong trường hợp lỗ đen, không - thời gian xung quanh ngôi sao bị biến dạng đến mức ánh sáng của ngôi sao cũng không thoát được ra ngoài. Vì photon trong lỗ đen không thể có vận tốc lớn hơn vận tốc ánh sáng nên bị bẫy trong lỗ đen. Còn sao neutron thì phát ra bức xạ không đẳng hướng, chỉ hạn chế trong một không gian hình nón. Sao neutron tự quay nên các nhà thiên văn trên trái đất chỉ thu được tín hiệu của ngôi sao dưới dạng những xung xạ, đặc biệt là xung vô tuyến, mỗi khi nón ánh sáng quét qua trái đất. Do đó, ngôi sao neutron được gọi là “pulsar” (sao xung). Tuy tự quay rất nhanh với vận tốc lên tới khoảng 300 vòng/giây (pulsar miligiây), nhưng pulsar vẫn là những chiếc đồng hồ thiên nhiên cực kỳ chính xác.



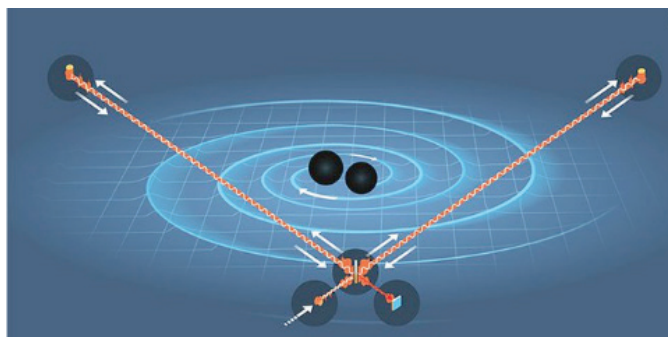
Pulsar là một ngôi sao neutron phát ra những bức xạ trong phổ điện từ giới hạn trong một không gian hình nón. Pulsar tự quay và phát tín hiệu thu được trên trái đất dưới dạng những xung vô tuyến (hình: CNRS).

Sóng hấp dẫn

Dựa trên lý thuyết tương đối của mình, Einstein tiên đoán sóng hấp dẫn là những dao động của không - thời gian và lan truyền với tốc độ ánh sáng. Tín hiệu sóng hấp dẫn rất yếu. Trong một khoảng cách dài 3 km, biên độ của những dao động chỉ nhỏ khoảng 10^{-19} mét. Những nỗ lực nhằm phát hiện trực tiếp loại sóng này bằng cách dùng những thanh kim loại hình trụ để đo được những dao động của không - thời gian, đều không đạt được kết quả.

Năm 1970, Hulse và Taylor tại Hoa Kỳ đã phát hiện được tác động của sóng hấp dẫn bằng cách đo chu kỳ tín hiệu vô tuyến của một cặp sao neutron đôi quay xung quanh nhau. Họ kiên trì quan sát liên tục trong nhiều năm và nhận thấy chu kỳ của pulsar ngày càng ngắn. Điều này chứng tỏ quỹ đạo quay của pulsar hẹp dần và hai thiên thể dần dần quay sát gần nhau. Những tính toán lý thuyết xác nhận chính sự phát sóng hấp dẫn là nguyên nhân của sự thất thoát năng lượng quay của pulsar. Tuy không phát hiện trực tiếp sóng hấp dẫn, nhưng quan sát được sự giảm chu kỳ quay của cặp sao neutron siêu đặc chứng tỏ sự tồn tại của thực thể này. Với kết quả này, hai nhà thiên văn Hulse và Taylor đã lĩnh giải Nobel năm 1993.

Sự phát hiện trực tiếp sóng hấp dẫn là một trong những thách thức to lớn nhất mà các nhà vật lý thiên văn phải đối mặt.



Hình minh họa một cặp thiên thể siêu đặc (sao neutron hay lỗ đen) quay xung quanh nhau trước khi sáp nhập và phát ra sóng hấp dẫn thu được bằng hệ giao thoa LIGO-VIGO.

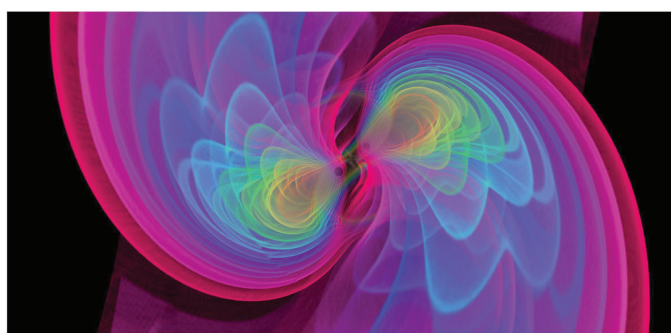
Phát hiện sóng hấp dẫn bằng kỹ thuật giao thoa

Ngày nay, các nhà thiên văn sử dụng những hệ giao thoa quang học gồm hai tấm gương cách xa nhau 3 kilomet để phát hiện sóng hấp dẫn. Một tia laser được tách làm đôi và chiếu vào hai tấm gương đặt ở hai hướng thẳng góc với nhau để tạo ra những hệ vân giao thoa. Sóng hấp dẫn lan truyền tới hệ kính làm co giãn không - thời gian và thay đổi pha của hai tia laser và hệ vân giao thoa.

Họ dùng một mạng lưới gồm 3 hệ giao thoa đặt tại

bang Louisiana và bang Washington, Hoa Kỳ (hệ giao thoa LISA) và thành phố Pisa tại Italia (hệ VIRGO, Cộng đồng châu Âu) để quan sát các nguồn sóng hấp dẫn với độ nhạy cao.

Ngày 14/8/2017, mạng giao thoa này thu được một tín hiệu rất ngắn của sóng hấp dẫn. Tín hiệu được xác định là phát ra từ một vụ va chạm ở giai đoạn cuối cùng trong quá trình sáp nhập hai lỗ đen. Hai thiên thể siêu đặc này nặng gấp 31 và 25 lần mặt trời. Nguồn sóng hấp dẫn được đặt tên GW170814 và phát ra ở khoảng cách xa trái đất 1,8 tỷ năm ánh sáng. Sự kiện sáp nhập này tạo ra một lỗ đen khổng lồ nặng gấp 53 lần mặt trời. Một khối lượng nặng gấp 3 lần mặt trời đã được dùng để phát ra sóng hấp dẫn khi hai lỗ đen sáp nhập.



Hình minh họa hai lỗ đen sáp nhập với nhau và phát sóng hấp dẫn (hình: CNRS).

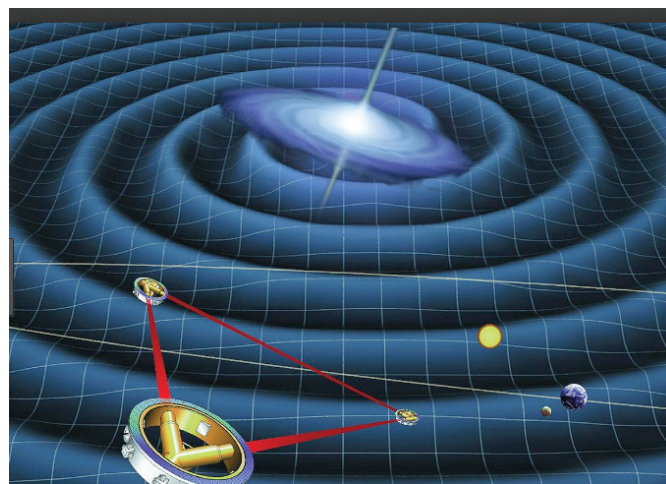
Chỉ ba ngày sau, mạng giao thoa lại thu được một tín hiệu sóng hấp dẫn và được xác định là phát ra từ một cặp sao neutron. Sự kiện ngôi sao neutron đôi va chạm rồi sáp nhập với nhau, mệnh danh là “pháo bông vũ trụ”, xảy ra ngày 17/8/2017 vừa qua cũng đã được phát hiện bằng mạng giao thoa LIGO-VIRGO. Sự bùng nổ phát ra từng đợt bức xạ có năng lượng cao trong phổ điện từ, như bức xạ gamma, bức xạ X... Những nguyên tố nặng như bạch kim cũng được chế tạo trong vụ nổ.

Trước đó, ngày 14/9/2015, National Science Foundation (Hoa Kỳ) cũng đã công bố sự phát hiện của các nhà thiên văn khi sử dụng hệ kính LISA quan sát được sóng hấp dẫn phát ra từ một cặp lỗ đen nằm trong một thiên hà cách xa trái đất 1 tỷ năm ánh sáng. Sự phát hiện sóng hấp dẫn tháng 8 vừa qua bằng hệ LIGO-VIRGO là thành quả của sự cộng tác của nhiều nhà thiên văn toàn cầu. Mạng lưới giao thoa LIGO-VIRGO gồm 3 hệ kính giao thoa sẽ là thiết bị để phát hiện nhiều nguồn phát sóng hấp dẫn trong vũ trụ, đặc biệt là lỗ đen. Đây cũng là một phương tiện để phát hiện lỗ đen, vì thiên thể này không phát bức xạ nào trong phổ điện từ, kể cả ánh sáng.

Mạng LIGO-VIRGO sẽ là công cụ giúp các nhà thiên

văn xác định vị trí của thiên thể trong không gian với độ chính xác cao gấp 20 lần so với mạng 2 kính LIGO. Mạng LIGO-VIRGO còn có khả năng thăm dò không gian vũ trụ rộng 1000 lần so với hệ LIGO.

Vào năm 2030, một hệ giao thoa (eLISA) sẽ được phóng lên không gian và đặt trên 3 vệ tinh theo hình tam giác.



Hệ giao thoa e-LISA gồm 3 tấm gương sẽ được phóng vào vũ trụ vào năm 2030 (hình: ESA).

Vệ tinh được đặt cách xa nhau hàng triệu kilomet nên hệ giao thoa có độ nhạy rất cao. Vì cách xa trái đất nên eLISA cũng không bị ô nhiễm bởi những tín hiệu nhân tạo.

Các nhà thiên văn hy vọng sẽ phát hiện được sóng hấp dẫn phát ra từ vụ nổ nguyên thủy Big Bang và nhiều thiên thể khác. Sự quan sát sóng hấp dẫn cũng mở đường cho một phương pháp mới trong việc quan sát thành phần vật chất tối trong vũ trụ. Lỗ đen là những thiên thể siêu đặc vô hình và có trường hấp dẫn lớn.

Những thành tựu thiên văn mang tính tầm cỡ thường có sự tham gia của các nhà khoa học toàn cầu. Công trình phát hiện sóng hấp dẫn phát ra từ sự kiện sáp nhập cặp lỗ đen là một ví dụ điển hình. Hàng trăm tác giả làm việc trong nhiều viện khoa học đã cùng ký tên trên bài báo đăng tải trên Tạp chí Physical Review Letters.

Ba nhà khoa học Hoa Kỳ Rainer Weiss, Barry Barish và Kip Thorne là những người tiên phong trong công trình phát hiện sóng hấp dẫn đã được trao tặng Giải Nobel Vật lý năm 2017.