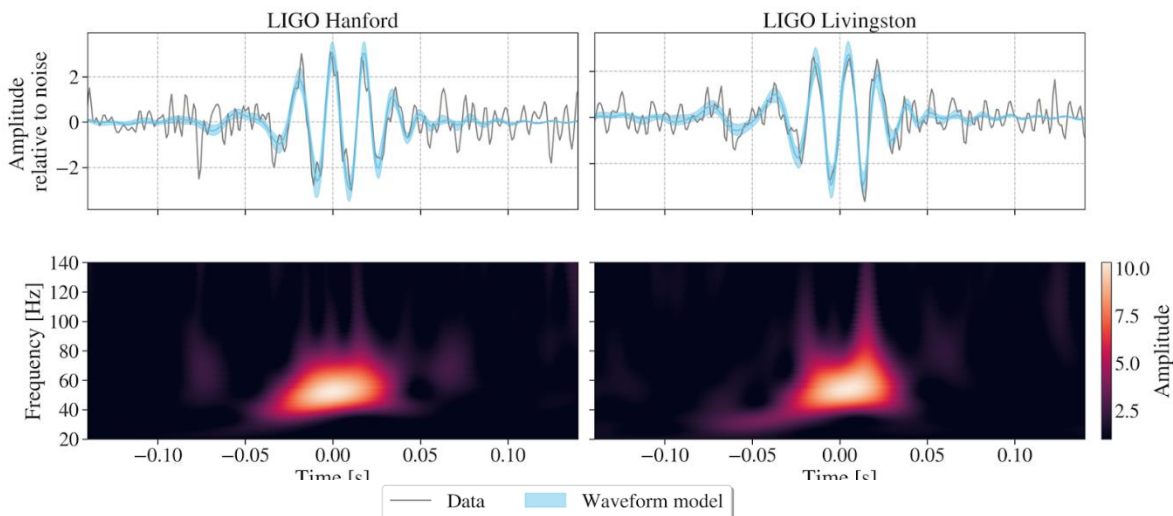


GW231123: HỆ HAI HỔ ĐEN KHỐI LƯỢNG LỚN NHẤT TỪNG ĐƯỢC PHÁT HIỆN QUA SÓNG HẤP DẪN

Vào lúc 13:54:30 UTC ngày 23 tháng 11, hợp tác LIGO-Virgo-KAGRA (LVK) đã phát hiện tín hiệu GW231123, một tín hiệu sóng hấp dẫn có khả năng được tạo ra từ sự hợp nhất của hai hố đen với tổng khối lượng lớn nhất được LVK quan sát. Hai hố đen này dường như được quay với tốc độ cực nhanh, và khoảng giá trị khối lượng riêng lẻ của từng hố đen chưa thể giải thích trọn vẹn bởi các lý thuyết ngày nay về sự tiến hóa và giai đoạn sụp đổ của sao khối lượng lớn.

Quá trình phát hiện tín hiệu

Tín hiệu sóng hấp dẫn này được quan sát bởi hai máy thu sóng hấp dẫn Advanced LIGO đặt tại Hanford và Livingston trong giai đoạn đầu tiên của lần quan sát thứ tư (O4a) của hợp tác LVK. Như được chỉ ra trong Hình 1, tín hiệu này chỉ kéo dài một phần mười giây nhưng hiện lên rất rõ ràng, mạnh **hơn 20 lần** so với mức nhiễu nền thông thường của thiết bị. Để xác định đây không phải là một dao động ngẫu nhiên trong dữ liệu, chúng tôi đã thực hiện các kiểm định thống kê một cách kỹ lưỡng. Bằng cách sử dụng các phương pháp mô phỏng lượng dữ liệu giả tương đương với hàng nghìn năm quan sát, kết quả cho thấy rằng xác suất xuất hiện nhiều ngẫu nhiên tương tự tín hiệu GW231123 thấp hơn 1 lần trong 10,000 năm! Điều này mang lại cho chúng ta mức độ tin cậy rất cao về sự xuất hiện của tín hiệu ngoài Trái Đất, khẳng định tín hiệu sóng hấp dẫn này có tồn tại.



Hình 1: Tín hiệu GW231123 trong dữ liệu từ hai máy thu sóng hấp dẫn LIGO tại Hanford (trái) and Livingston (phải). Các đồ thị phía trên thể hiện biên độ của dữ liệu theo thời gian (đường màu xám). Dải màu xanh lam nhạt biểu thị ước lượng của chúng ta về tín hiệu thực. Các đồ thị phía dưới là phổ thời gian tần số, hay còn được gọi là bản đồ thời gian-tần số, cho thấy biên độ của tín hiệu theo thời gian (trục ngang) và theo tần số (trục dọc). Màu sắc càng sáng thể hiện tín hiệu càng mạnh.

Nguồn gốc của tín hiệu

Dữ liệu thu được cho thấy một cách rõ ràng rằng tín hiệu này bắt nguồn từ quá trình hợp nhất mạnh mẽ của hai hố đen. Để tìm hiểu thêm về các hố đen này—chẳng hạn như khối lượng của chúng và tốc độ quay—chúng ta đã sử dụng nhiều mô hình dựa trên thuyết tương đối rộng của Einstein để mô phỏng hình dạng tín hiệu tương ứng với các cặp hố đen có đặc điểm khác nhau.

Bằng cách so sánh dữ liệu quan sát với các mô hình này, chúng ta xác định rằng hai hố đen có khối lượng xấp xỉ lần lượt là 137 and 103 lần khối lượng Mặt Trời. Khi tính đến toàn bộ sai số có thể xảy ra, tổng khối lượng của hệ này nhiều khả năng nằm trong khoảng từ 190 đến 265 lần khối lượng Mặt Trời, qua đó thay thế GW190521 trở thành hệ nhị phân hố đen có tổng khối lượng lớn nhất từng được quan sát cho đến nay.

TÌM HIỂU THÊM TẠI:

Các trang web của chúng tôi: www.ligo.org
www.virgo-gw.eu
gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/



Như thế vẫn chưa đủ thuyết phục, cả hai hố đen còn có khả năng quay gần với tốc độ lớn nhất theo lý thuyết, **khiến GW231123 không chỉ là hệ hai hố đen có khối lượng lớn nhất, mà còn là hệ quay nhanh nhất từng được xác nhận bằng sóng hấp dẫn cho đến nay.**

Sự hợp nhất này tạo ra một hố đen có khối lượng nằm trong khoảng từ 182 đến 251 lần khối lượng Mặt Trời. Điều này làm cho nó trở thành một nhóm hiếm gặp gọi là [hố đen khối lượng trung gian](#)—nặng hơn các hố đen hình thành từ sự suy sụp của sao, nhưng nhẹ hơn nhiều so với các hố đen siêu khối lượng nằm ở trung tâm các thiên hà. Tàn dư của các sự kiện hợp nhất GW231123 và GW190521 đặc biệt như những phát hiện sóng hấp dẫn mạnh mẽ nhất về loại hố đen trung bình, hiếm gặp này.

Vì Sao Những Đặc Tính Này Lại Đáng Chú Ý Đến Vậy?

Các lý thuyết hiện tại về sự tiến hóa sao cho rằng các hố đen có khối lượng nằm trong khoảng từ xấp xỉ 60 đến 130 lần khối lượng Mặt Trời là rất hiếm, hoặc thậm chí không tồn tại. Khoảng khối lượng “cấm” này, được biết đến với tên gọi là [khoảng trống khối lượng hố đen](#), được cho là bắt nguồn từ các kiểu nổ siêu tân tinh đặc biệt, vốn có thể khiến các sao nặng không còn giữ được cấu trúc để hình thành hố đen ([siêu tân tinh bất ổn cấp](#)) hoặc làm chúng mất đi phần lớn khối lượng trước khi sụp đổ ([siêu tân tinh dao động bất ổn cấp](#)), từ đó ngăn cản sự hình thành của một hố đen nặng.

Tuy nhiên, sự kiện GW231123 đã đặt ra thách thức đối với kỳ vọng này. Hố đen nhẹ hơn nằm trong khoảng trống khối lượng, với xác suất lên tới 83%, trong khi hố đen nặng hơn có 26% khả năng rơi vào khoảng này. Điều này cho thấy rằng các mô hình tiến hóa sao truyền thống có thể chưa đủ để giải thích nguồn gốc hình thành của hai hố đen này.

Một khả năng đặc biệt được đặt ra là một trong hai, hoặc cả hai hố đen này có thể đã hình thành từ các sự kiện hợp nhất hố đen trước đó. Điều này có thể giải thích cho khối lượng và tốc độ quay ước tính cao bất thường của chúng, khả năng rằng chúng từng tồn tại trong một môi trường thiên văn học có mật độ cực cao, chẳng hạn như [cúm sao nhân](#) hay một [nhân thiên hà hoạt động](#), nơi các vụ va chạm giữa hố đen có khả năng xảy ra cao hơn. Những môi trường mật độ cao như vậy cũng có thể dẫn đến việc các hố đen quay quanh nhau theo các quỹ đạo kéo dài hoặc quỹ đạo [lệch tâm lớn](#). Tuy nhiên, để giảm bớt độ phức tạp, các mô hình hiện tại của chúng tôi giả định rằng các hố đen xoắn ốc tiến dần vào nhau theo các quỹ đạo gần tròn, dần thu hẹp lại khi phát ra sóng hấp dẫn. Tuy nhiên, nếu các quỹ đạo này có độ lệch tâm cao, đặc biệt là ngay trước thời điểm hợp nhất, thì điều đó có thể ảnh hưởng đến dạng sóng hấp dẫn phát ra theo những cách mà các mô hình hiện tại chưa thể mô phỏng. Đối với GW231123, khả năng này vẫn có thể xảy ra và đòi hỏi những mô hình tiên tiến hơn để kiểm chứng.

Các giả thuyết thay thế có thể tạo ra một tín hiệu giống như sự kiện này, chẳng hạn như [hiện tượng thấu kính hấp dẫn](#), [hố đen nguyên thủy](#), [siêu tân tinh do lõi sụp đổ](#), [sự hợp nhất sao boson](#), và [dây vũ trụ](#), đều ít có khả năng xảy ra trong môi trường vật lý thiên văn hơn các giả thuyết được thảo luận ở trên.

Giai đoạn cuối cùng của sự hợp nhất

Đối với phần lớn các sự kiện hợp nhất hố đen mà hợp tác LVK đã quan sát được—gần 300 sự kiện vào thời điểm bản tóm tắt khoa học này được viết—các máy dò thường nhạy nhất với phần đầu của tín hiệu, khi các hố đen xoắn ốc tiến gần nhau và cuối cùng hợp nhất. Tuy nhiên, do sở hữu khối lượng lớn, sự kiện GW231123 đã mang lại cho chúng ta cái nhìn rõ nét nhất về hồi kết vĩ đại của nó: giai đoạn hợp nhất và pha [dàn tắt](#), khi hố đen mới hình thành phát ra năng lượng dưới dạng sóng hấp dẫn, rung lên và cuối cùng ổn định lại, tương tự như một chiếc chuông rung lên và dần lắng xuống trong im lặng.

Chúng tôi đã so sánh phần cuối của tín hiệu này với các dự đoán của thuyết tương đối rộng về cách một hố đen dao động tắt dần, và nhận thấy có sự tương hợp chặt chẽ giữa lý thuyết và dữ liệu quan sát. Tuy nhiên, các đặc tính vật lý vượt trội của GW231123 đã đẩy các mô hình hiện tại đến giới hạn của chúng, khiến một số đặc điểm trong tín hiệu vẫn chưa được lý giải, đồng thời chỉ ra những hướng cần cải thiện trong mô phỏng dạng sóng.

Kết Luận

Vài năm trước, trong [bản tóm tắt về sự kiện GW190521](#), chúng tôi từng nói rằng các kỷ lục sinh ra là để bị phá vỡ, và GW231123 đã thực sự làm được điều đó. Với các đặc tính có thể bao gồm hố đen nằm trong khoảng trống khối lượng và tốc độ quay gần chạm giới hạn lý thuyết, sự kiện này nổi bật không chỉ vì khó lý giải mà còn bởi mức độ thách thức trong việc giải thích nguồn gốc và cơ chế hình thành của nó. Sự kiện này thôi thúc chúng ta phải xem xét những khả năng hình thành hố đen khác ngoài tiến hóa sao truyền thống, đồng thời cho thấy hạn chế của các mô hình dạng sóng hiện tại. Khi chúng ta tiếp tục “lắng nghe” vũ trụ thông qua sóng hấp dẫn, GW231123 như một lời nhắc mạnh mẽ rằng vũ trụ vẫn còn vô vàn điều bất ngờ, và hành trình khám phá của chỉ mới bắt đầu.

TÌM HIỂU THÊM TẠI:

Tới thăm trang web của chúng tôi:

www.ligo.org

www.virgo-gw.eu

gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/

Đọc một bài viết khoa học đầy đủ [ở đây](#)

Dữ liệu sự kiện GW231123 đã được công bố tại Trung tâm Khoa học Mở Sóng Hấp Dẫn [ở đây](#)