

KHÔNG CÓ SÓNG HẤP DẪN LIÊN TỤC TRONG DỮ LIỆU O4A TỪ 45 PULSARS ĐÃ BIẾT

Hợp tác LIGO-Virgo-KAGRA (LVK) gần đây đã tiến hành nghiên cứu về sóng hấp dẫn liên tục (CW) cực kỳ yếu tới từ các sao neutron. Việc tìm kiếm các dữ liệu trong đợt đầu tiên của lần quan sát lần thứ tư này (O4a) đã đánh dấu một bước tiến quan trọng trong quá trình truy lùng sóng hấp dẫn được phát ra bởi các vật thể ổn định, cô lập thay vì tới từ các sự kiện dữ dội hơn như sự hợp nhất hố đen. CW là những tín hiệu yếu, ổn định, gần như tuần hoàn mà có thể cung cấp cho ta thông tin bên trong của sao neutron, vật thể đậm đặc nhất trong vũ trụ chỉ xếp sau hố đen.

CW LÀ GÌ VÀ VÌ SAO CHÚNG QUAN TRỌNG?

Sóng hấp dẫn là những gợn sóng trong không thời gian được hình thành bởi các vật thể có khối lượng lớn. Tính đến nay hợp tác khoa học LVK đã công bố sự phát hiện của hơn 100 tín hiệu sóng hấp dẫn, hầu hết tới từ các sự kiện hợp nhất hố đen. Tuy nhiên, không giống như những sự kiện bùng nổ đó, CW được cho là tới từ các sao neutron độc lập có những “khuyết tật” nhỏ. Sao neutron là tàn dư của những sao cực kỳ nặng sau khi chúng phát nổ, vụ nổ với tên gọi supernovae để lại một lõi sao cực kỳ đặc, có thể nặng hơn Mặt Trời của chúng ta nhưng lại bị nén vào trong một quả bóng với đường kính chỉ cỡ 20km. Nếu một trong những ngôi sao neutron đó có một vết gồ hoặc biến dạng nhỏ, nó có thể phát ra những sóng hấp dẫn yếu, tuần hoàn khi quay. Việc phát hiện ra loại sóng này là một bước đột phá lớn cho phép các nhà khoa học nghiên cứu về “độ cứng” và cấu trúc của sao neutron, hé lộ nhiều thông tin mới về vật chất dưới điều kiện cực kỳ khắc nghiệt.

VÌ SAO LẠI LÀ SAO XUNG?

Sao xung là đối tượng đặc biệt thú vị trong nghiên cứu về CW. Chúng là những sao neutron sở hữu từ trường mạnh, gây ra sự phát sóng điện từ trải dài trên các dải tần số khác nhau (radio, tia X, tia gamma). Khi quay, những chùm sóng quét trong không gian như một ngọn hải đăng trong vũ trụ, tạo ra các xung mỗi khi quay tới chúng ta trên Trái Đất. Việc quan sát sao xung thông qua dải sóng điện từ bởi các đài thiên văn cung cấp thông tin chính xác về vị trí trên bầu trời, tốc độ quay và sự tiến hoá theo thời gian của chúng. Thông tin này khiến sao xung trở thành ứng viên hàng đầu trong nghiên cứu CW do nó cho phép ta tập trung chính xác vào dải tần số mà CW có thể xuất hiện. Trong nghiên cứu này, các nhà khoa học LVK đã tập trung vào 45 sao xung đã biết (xem Hình 2) để lắng nghe các tín hiệu yếu, liên tục của chúng. Nhóm đã xem xét hai mô hình lý thuyết khác nhau dự đoán sự phát xạ CW ở tần số gấp đôi tần số quay (mô hình điều hoà đơn), hoặc ở cả tần số quay và gấp đôi tần số quay (mô hình điều hoà đôi).

CÁCH THỨC NGHIÊN CỨU

Hợp tác LVK sử dụng một trong các thiết bị nhạy nhất trên thế giới để tìm kiếm sóng hấp dẫn. Những máy dò này, là các giao thoa kế tinh vi, có khả năng phát hiện những biến dạng cực kỳ nhỏ trong không thời gian, nhưng ngay cả với độ nhạy cao như vậy, việc phát hiện CW vẫn cực kỳ thách thức. CW mờ nhạt đến mức chúng được dự đoán là bị chôn vùi trong nhiễu động nền, chính vì thế, các nhà khoa học phải dựa vào các thuật toán phức tạp cùng kỹ thuật phân tích dữ liệu để tìm hiểu sâu về tín hiệu.

Nhóm đã sử dụng nguồn thông tin cực kỳ chi tiết tới từ các đài quan sát sóng điện từ về vị trí và sự quay của mỗi sao xung. Kỹ thuật này được gọi là thiên văn học đa thông điệp: sóng điện từ hỗ trợ tìm kiếm CW nhằm cải thiện khả năng phát hiện, bằng cách điều chỉnh tìm kiếm theo một cách cụ thể nhằm định hướng theo đặc trưng của mỗi sao xung.



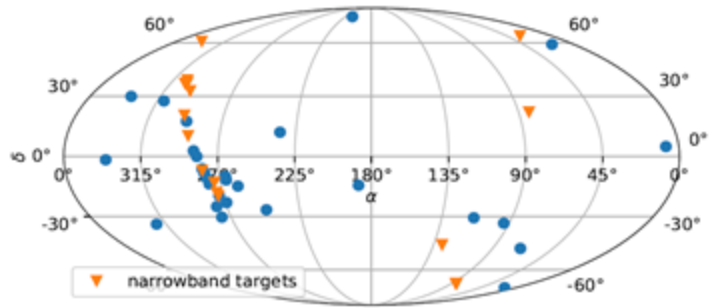
Hình 1: Tinh Vân Con Cua trong vùng tia X và ánh sáng nhìn thấy. Sao xung Con Cua nằm giữa hình ảnh. Ảnh chụp bởi: vùng tia X – NASA/CXC/ASU/ J. Hester et al.; vùng nhìn thấy – NASA/HST/ASU/J. Hester et al.

TÌM HIỂU THÊM:

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



Những cuộc tìm kiếm có định hướng này khác với các cuộc tìm kiếm "toàn bầu trời", đó là khi các nhà khoa học tìm kiếm bất kỳ tín hiệu nào trên toàn bộ bầu trời mà không biết xuất phát điểm. Ở đây, sử dụng các sao xung đã biết làm định hướng, các nhà nghiên cứu có thể tập trung vào các dải tần số mà CW được kỳ vọng xuất hiện. Các cuộc tìm kiếm có định hướng là các phân tích nhạy nhất, nhưng phụ thuộc nhiều vào mô hình phát xạ đang xem xét, tức là vào cơ chế vật lý sản sinh tín hiệu CW, điều này xác định các đặc tính của tín hiệu kỳ vọng.



Hình 2: Vị trí trên bầu trời trong hệ tọa độ xích đạo của các mục tiêu được phân tích.

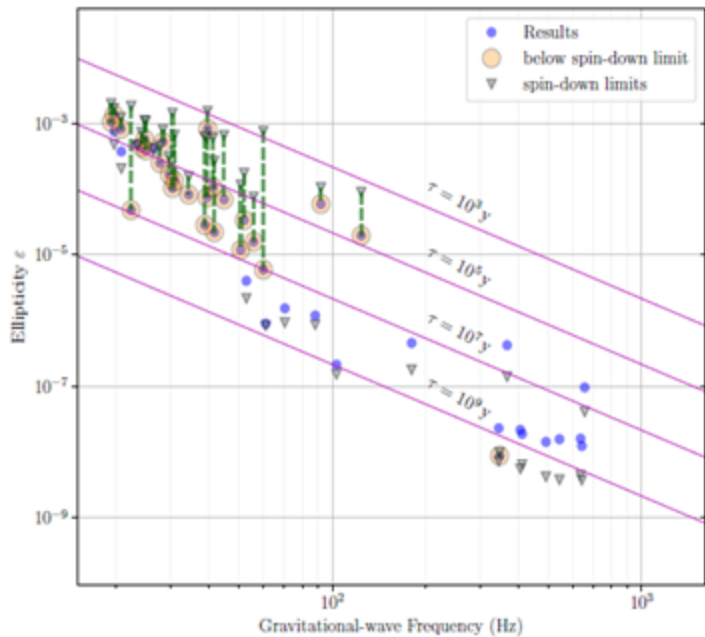
CHÚNG TA ĐÃ ĐƯỢC GÌ?

Từ các phân tích dữ liệu thuộc quan sát O4, hợp tác khoa học LVK chưa thu được bất kỳ tín hiệu CW rõ ràng nào từ 45 sao xung được phân tích. Tuy nhiên, các kết quả nghiên cứu của chúng tôi vẫn có giá trị. Bằng việc phân tích dữ liệu, chúng ta có thể đặt ra các giới hạn mới về độ lớn của độ biến dạng xích đạo, còn được gọi là "độ dẹt", mà sao neutron có thể có mà không phát ra tín hiệu CW đo được (được gọi là giới hạn trên, xem Hình 3). Điều này có nghĩa là các nhà khoa học hiện có thể đưa ra được một ước tính chính xác về độ biến dạng tối đa mà một sao xung có thể có, ngay cả khi độ biến dạng này không đủ lớn để có thể tạo ra tín hiệu đo được. Lấy ví dụ, với sao xung J0437-4715 sáng, miligiây gần đây, giới hạn tối đa của độ dẹt chỉ xấp xỉ 9 phần tỉ, tương đương với độ biến dạng ít hơn 100 microns đối với sao neutron có bán kính 10km!

ĐIỀU GÌ XẢY RA TIẾP THEO?

Mặc dù các tín hiệu CW vẫn còn mơ hồ, mỗi tìm kiếm giúp thúc đẩy lĩnh vực này gần hơn với các phát hiện mới trong tương lai. Mỗi sự cải thiện trong độ nhạy đều làm tăng khả năng tìm thấy tín hiệu CW vào một ngày không xa, và cùng với đó, là một phương thức nghiên cứu vũ trụ mới. Hợp tác khoa học LVK sẽ tiếp tục hoàn thiện các kỹ thuật và nâng cấp độ nhạy của máy dò cho các lần quan sát sắp tới, đưa chúng ta tới gần hơn ngày phát hiện tín hiệu CW. Trên quãng đường tới đó, việc không tìm thấy tín hiệu cũng rất thú vị, vì những nỗ lực sẽ giúp chúng ta mở rộng kiến thức về độ biến dạng tối đa mà sao neutron có thể có.

Cuộc tìm kiếm CW là một trò chơi đường dài mà mỗi vòng nghiên cứu giúp ta với xa hơn trong việc tinh chỉnh tín hiệu mờ nhạt, mà ổn định từ các sao neutron. Một khi được phát hiện, những sóng này có thể cung cấp một nguồn thông tin ổn định về các vật thể bí ẩn nhất của vũ trụ, giúp ta giải đáp các câu hỏi lớn về điều xảy ra với vật chất ở mật độ cực kì đậm đặc.



Hình 3: Hình tròn màu xanh: giới hạn trên đo được bởi thực nghiệm lên độ dẹt của mỗi sao xung dưới hàm của tần số CW dự kiến. Hình tam giác xám: giới hạn trên theo lý thuyết lên độ dẹt giả định rằng spin xuống của các sao xung là hoàn toàn do phát xạ CW.

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 bản đầy đủ của bài báo trước xuất bản [tại đây](#) hoặc trên arXiv.org.

THUẬT NGỮ

Sóng hấp dẫn liên tục (CW): Sóng hấp dẫn ổn định, thường được kỳ vọng là phát ra từ các sao neutron có những biến dạng nhỏ.

Sao neutron: Tàn dư cực kì đặc của các sao nặng còn lại sau vụ nổ supernovae.

Sao xung: Một loại sao neutron với từ trường mạnh có khả năng phát ra các chùm sóng điện từ khi nó quay, tạo nên hiện tượng xung quan sát được từ Trái Đất.

Độ dẹt: Một phép đo mức độ lệch so với một hình cầu hoàn hảo của sao neutron, điều khiến sao neutron phát ra CW.