



Trên tạp chí Scientific American số tháng 10.2013, tác giả Ross D. Andersen đã công bố bài báo lý thú có tựa đề: “An ear to the Bigbang” đề cập đến một vấn đề thời sự về sóng hấp dẫn (SHD) và vũ trụ học. Muốn nghiên cứu vũ trụ và tìm hiểu những thời điểm sơ sinh của vũ trụ, nhất thiết phải sử dụng SHD, vì SHD có thể thâm nhập vào những vùng không thời gian mà ánh sáng (sóng điện từ) không thể thâm nhập được. Tạp chí KH&CN Việt Nam xin giới thiệu bài báo này cùng bạn đọc.

Trong vật lý học, SHD chỉ các “vết nhăn” trên độ cong không thời gian. Các vết nhăn này lan truyền như một sóng. Sự tồn tại của SHD được tiên đoán bởi Einstein từ năm 1915 trên cơ sở của lý thuyết tương đối tổng quát. Mặc dù SHD chưa được phát hiện trực tiếp, song hai nhà vật lý người Mỹ là Hulse và Taylor khi phát hiện sao đôi (hiện mang tên sao đôi Hulse - Taylor) đã gợi ý rằng, SHD thực sự tồn tại chứ không phải là những đại lượng bất thường toán học (mathematical anomalies). Những thiên thể chuyển động với gia tốc gây nên những biến đổi trên độ cong không thời gian và các biến đổi này lan truyền với tốc độ ánh sáng, đó chính là SHD. Một trường hợp quan trọng gây nên SHD là sao đôi Hulse - Taylor, trong hệ này có một sao là pulsar.

Khi SHD đi qua một vùng nào đó, người quan sát sẽ thấy không thời

gian bị biến dạng vì hệ quả tác động của SHD. Khoảng cách giữa các đối tượng trong vùng lan truyền của SHD sẽ tăng và giảm một cách có chu kỳ theo SHD. SHD có thể thâm nhập vào các vùng mà sóng điện từ không thể thâm nhập được. Điều này quan trọng đối với vũ trụ học, vì nhờ tính chất đó mà SHD có thể cung cấp phương tiện để quan sát những thời điểm nguyên thủy của vũ trụ. Điều này không thực hiện được đối với thiên văn học thông thường sử dụng ánh sáng (sóng điện từ), vì vũ trụ nguyên thủy trước bức xạ vũ trụ phông (Cosmic Microwave Background - CMB) chưa xuất hiện sóng điện từ. Ngoài ra, SHD còn cho phép kiểm nghiệm lại lý thuyết tương đối tổng quát của Einstein.

Vận tốc c , độ dài sóng λ và tần số f có mối liên quan với nhau bởi hệ thức $c = \lambda f$. Như ta biết, phương trình Einstein có dạng : $G_{\alpha\beta} + \Lambda g_{\alpha\beta} = (8\pi G / c^4) T_{\alpha\beta}$. Với một số

điều kiện đơn giản hóa, người ta có thể viết phương trình Einstein dưới dạng $\square h_{\alpha\beta} = -16T_{\alpha\beta}$, trong đó \square là toán

tử d'Alembert, $h_{\alpha\beta}$ là hàm của metric

trong phương trình Einstein, còn $T_{\alpha\beta}$

là tensor xung năng lượng. Phương trình trên chính là phương trình hàm sóng.

Tính đến 18.10.2013, SHD chưa được trực tiếp phát hiện, song sự tồn tại của nó đã được minh chứng gián tiếp trong nhiều thí nghiệm, đặc biệt trong sự phát hiện sao đôi Hulse - Taylor. Theo Stephen W. Hawking (Anh) và Werner Israel (Canada), SHD có tần số khoảng 10^{-7} đến 10^{11} Hz. Để lắng nghe những tín hiệu từ thời Bigbang, các nhà khoa học đã và đang chuẩn bị những thiết bị để bắt được những SHD đầu tiên, tập trung vào việc chế tạo những thiết bị ghi đo SHD. Các thiết bị này còn giúp các nhà khoa

học nhìn vào trong lỗ đen, tìm hiểu sự va chạm của chúng và khảo sát lịch sử của thời gian. Ánh sáng có những hạn chế: không cho phép chúng ta nhìn được toàn bộ vũ trụ, không cho phép chúng ta nhìn vào tâm của lỗ đen hoặc đi ngược lại về buổi sơ khai của thời gian. Sau Bigbang vài trăm ngàn năm, các photon của vũ trụ sơ sinh bị giam cầm trong một “món xúp” của những hạt lưu giữ ánh sáng giống như những con đom đóm bị mắc trong bùn. Chỉ 380.000 năm sau Bigbang, vũ trụ mới trở nên lạnh đến mức xuất hiện một quá trình bùng sáng của vũ trụ và nhờ đó ta mới nhìn được vũ trụ. Các nhà vật lý gọi quá trình bùng sáng đó là bức xạ vũ trụ phông (Cosmic Microwave Background - CMB).

Lâu nay, người ta chú trọng đến việc nhờ ánh sáng để nghiên cứu lịch sử vũ trụ, và các nhà vật lý xem đây là phương thức chủ yếu. Song như đã nói, ánh sáng không thể chiếu sáng được thời khởi thủy của vũ trụ mặc dù thiết bị sử dụng ánh sáng có tinh xảo đến đâu chăng nữa. Muốn nhìn quá CMB về trước để đi về khởi thủy cần phải cầu cứu đến SHD, đây là phương thức bắt được tiếng vang (echo) của quá khứ. Để thu bắt SHD cần có những thiết bị khác nhiều so với các thiết bị viễn vọng (telescope).

SHD là một hiện tượng vật lý hệ quả của những phương trình Einstein. Albert Einstein là người đầu tiên hiểu rằng lý thuyết hấp dẫn của ông phải dẫn đến sự tồn tại của SHD. Ông hiểu rằng, những khối lượng lớn chuyển động với gia tốc có thể phát ra những sóng nhỏ trong không thời gian. Các sóng nhỏ đó rất khó quan sát. Năm 1974, hai nhà thiên văn Russell Hulse và Joseph Taylor đã chứng tỏ sự tồn tại của SHD nhờ một thí nghiệm độc đáo khi nghiên cứu một đối tượng thiên văn là sao đôi pulsar (binary pulsar). Trong hệ sao đôi có một sao là pulsar, đó là lõi của những sao đã nổ từ lâu trong quá khứ. Sao đôi phát sáng và có chuyển động quay. Sự phát sáng và chuyển động quay xảy ra một cách

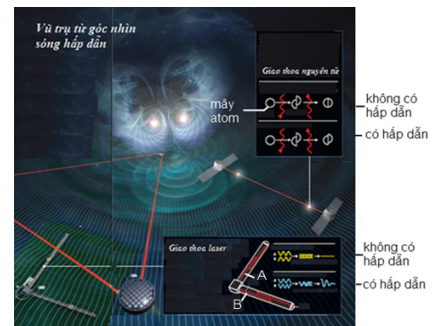
có chu kỳ chính xác đến kinh ngạc. Những sao đôi pulsar này gợi ý cho các nhà thiên văn học sử dụng chúng làm đồng hồ vũ trụ. Trong hệ sao đôi pulsar thì đối tượng đồng hành của chúng là một sao neutron siêu đặc quay quanh pulsar. Hulse và Taylor hiểu rằng, nếu Einstein đúng thì cặp đôi này sẽ phát ra SHD. Điều này làm thất thoát năng lượng quỹ đạo của hệ và làm cho quỹ đạo thu hẹp lại và tốc độ trên quỹ đạo nhanh dần. Hai nhà thiên văn Hulse và Taylor đã ghi đo trong nhiều năm quỹ đạo để tìm thấy quá trình thu nhỏ quỹ đạo và họ đã được trao Giải thưởng Nobel năm 1993 nhờ phát hiện ra hiện tượng này.

Sử dụng thiết bị LIGO (Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory) nếu lắng nghe sao đôi pulsar thì chỉ nghe được ở phút cuối cùng khi quỹ đạo thu hẹp với gia tốc lớn và phát ra những sóng mạnh trong không gian. Song sao đôi pulsar rất hiếm, còn LIGO thì chỉ thám hiểm được một vùng không gian nhất định nên khó lắng nghe được sao đôi pulsar. Hiện các nhà khoa học đang nâng cấp và hoàn thiện LIGO với hy vọng tìm thấy SHD vào năm 2016 - năm kỷ niệm 100 năm lời tiên đoán của Einstein.

Hiện có hai phương án để thu được các tiếng vang đầu tiên của vũ trụ:

1- Giao thoa kế laser (Laser interferometer), LIGO giá 570 triệu USD đã một thời là thiết bị tốt nhất. LIGO gồm hai cánh thẳng góc với nhau (xem phần phải dưới hình 1). LIGO hoạt động theo nguyên tắc sau: sử dụng laser tạo hai tia A và B dọc theo hai cánh. Nếu có SHD thì SHD làm ngắn đi một cánh và làm dài cánh kia tùy theo hướng của cánh. Người ta đo hiệu giữa hai độ dài sóng. LIGO có khả năng ghi đo sự thay đổi độ dài rất nhỏ. Song phương pháp ghi đo này (gọi là giao thoa laser - laser interferometry) bị ảnh hưởng nhiều bởi tiếng ồn laser đó là những thăng giáng trong ánh sáng laser,

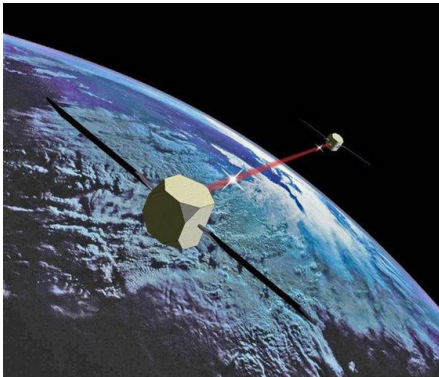
những thăng giáng này có thể nhầm với hiệu ứng của SHD. LISA - Laser Interferometer Space Antenna - cũng cùng nguyên lý song dùng một tam giác thay vì hai cánh thẳng góc. Khi các tia tổ hợp lại, các sóng phải triệt tiêu nhau và ta có một ảnh tối. Song nếu có SHD làm thay đổi độ dài của cánh thì sóng không triệt tiêu nhau mà cho chúng ta những xung. Hiệu quả rất nhỏ nhưng nếu các cánh có độ dài nhiều km, thậm chí dài hơn nữa thì độ dài các cánh có thể bị SHD làm thay đổi một cách đáng kể (bằng độ lớn của một proton hay hơn nữa).



Hình 1: vũ trụ từ góc nhìn SHD. Theo Einstein, vật chất và năng lượng tạo nên độ cong của không thời gian. Nếu một khối lượng chuyển động thì nó sẽ tạo ra những sóng dao động trong không thời gian vũ trụ. Chỉ có SHD mới giúp chúng ta nhìn thấy những điều mà ánh sáng không làm được: lỗ đen hay những thăng giáng lượng tử ở những thời điểm nano giây sau Bigbang

2- Thiết bị giao thoa nguyên tử (Atom Interferometer): để giải quyết vấn đề tiếng ồn laser, nhà vật lý Graham (Đại học Stanford) cùng các cộng sự đề nghị thay laser bằng nguyên tử. Đây là một phương pháp mới để ghi đo SHD bằng cách sử dụng các đám mây nguyên tử siêu lạnh ở ngoài hai phi thuyền cách nhau 1.000 km (xem phía phải hình 1 và hình 2). Mặc dù LIGO có rất nhiều khả năng nhưng giá rất đắt và có một số hạn chế. Trái đất không thuận tiện cho việc quan sát SHD (vỏ trái đất luôn biến động bởi những va chạm kiến tạo địa chất). Cần phải đưa các quan sát ra ngoài vũ trụ, nơi trong sạch hơn. Nhóm Advanced Concept của NASA do Babak Saif (JWST - James Webb

Space Telescope/NASA) và Mark Kasevich (Đại học Stanford) lãnh đạo đã đưa ra dự án mới dựa trên công nghệ gọi là giao thoa nguyên tử (Atom Interferometry). Giao thoa nguyên tử cho kết quả rất chính xác. Khi SHD làm lệch khoảng cách giữa các phi thuyền một phần tỷ mm thì giao thoa nguyên tử cũng có thể đo được hiệu số đó.



Hình 2: mô tả nghệ thuật của 2 giao thoa kế nguyên tử trong không gian

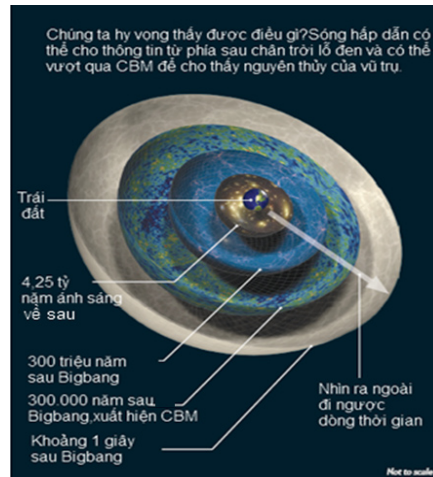
Thay vì tách một tia laser thành 2, các nhà khoa học tách một nguyên tử - điều này cơ học lượng tử cho phép. Theo nguyên lý nhị nguyên sóng - hạt trong cơ học lượng tử, nguyên tử còn có dạng một đám mây xác suất mô tả bởi những phương trình và được gọi là hàm sóng. Hàm này không tồn tại ở một vị trí nào xác định cho đến lúc co lại vì một phép đo. Đối với một giao thoa kế nguyên tử, hàm sóng của nguyên tử bị tách ra. Nếu SHD truyền qua giao thoa kế thì hai nửa của nguyên tử bị gia tốc đối với nhau. Để ghi đo gia tốc đó phải dùng laser, và như vậy giao thoa kế lại chịu ảnh hưởng của vấn đề tiếng ồn laser. Để loại bỏ tiếng ồn đó, các nhà khoa học sử dụng 2 giao thoa kế nguyên tử trên 2 vệ tinh cách nhau một khoảng cách (1.000 km như đã đề cập ở bên trên). Khi các đám mây chồng lên nhau, người ta thực hiện công việc ghi đo (xem phần bên phải ở hình 1). Một SHD truyền trong khoảng không gian giữa hai phi thuyền và làm thay đổi khoảng cách giữa chúng, điều này lại làm lệch khoảng cách giữa cặp đám

mây một đại lượng nhỏ.

Nếu ta đồng thời sử dụng cùng một tia laser trên 2 giao thoa kế thì có cùng một tiếng ồn đọc được trên 2 giao thoa kế, song quan trọng là tín hiệu SHD không bằng nhau tại 2 vị trí cho nên chìa khóa chính là ở chỗ phải loại được tiếng ồn laser, chỉ còn giữ lại hiệu ứng SHD bằng cách lấy hiệu của các pha: $\Delta\Phi = \Phi_1 - \Phi_2$.

Khó khăn với ánh sáng

Trong thiên văn học đang xảy ra quá trình chuyển biến từ sử dụng ánh sáng sang sử dụng SHD, vì như chúng ta đã thấy ở trên, ánh sáng có nhiều hạn chế đối với vũ trụ học. Ánh sáng dễ bị hòa tan và biến mất khi du hành trong vũ trụ. Ánh sáng biến mất vì tác động của những lỗ đen vốn là những cột trụ chống đỡ vũ trụ. Các nhà thiên văn rất muốn khảo sát sự va chạm của các lỗ đen nhưng ánh sáng lại biến mất vì lỗ đen. Trong khi đó, SHD không bị khuếch tán và biến mất cũng như không bị xóa đi vì những đối tượng thiên văn khổng lồ trên đường đi.



Hình 3: SHD cho phép tái tạo lịch sử của vũ trụ

Những tiếng vọng từ thời nguyên thủy

Khác với ánh sáng vũ trụ là trong suốt, đối với SHD không có vùng cấm. SHD xuất hiện khi có một khối

lượng lớn chuyển động có gia tốc hoặc khi xảy ra một chuyển pha (một chuyển pha xảy ra khi một hệ vật lý biến đổi trạng thái). Đã có thời điểm vũ trụ chuyển từ pha plasma quark - gluon sang pha chứa nhiều proton và neutron. Các quá trình chuyển pha đó gây nên SHD. Quan sát SHD này cho ta nhìn được thời điểm ban đầu của vũ trụ. Cũng tồn tại các SHD già hơn do quá trình lạm phát (chaotic eternal inflation), những SHD này còn được gọi là SHD hỗn độn (stochastic) xảy ra vào thời điểm phần tỷ tỷ giây sau Bigbang. Lúc này vũ trụ nằm ở năng lượng lớn gấp 10^{13} lần năng lượng chúng ta có được trong máy gia tốc hạt lớn LHC.

LISA và giao thoa kế nguyên tử còn nhằm đo SHD từ những quá trình tổng hợp các lỗ đen (black hole mergers). Sự va chạm lỗ đen siêu nặng cũng là sự kiện quan trọng, thiếu nó, chúng ta không có được bức tranh toàn diện của vũ trụ.

Kết luận

SHD là hiện tượng vật lý quan trọng xuất hiện ở mọi vùng không thời gian mà nhiều nơi sóng điện từ (ánh sáng) không thâm nhập được. Sử dụng SHD có thể tái tạo lịch sử của vũ trụ, nghiên cứu cấu trúc vĩ mô của vũ trụ, hay nói tổng quát hơn, SHD là phương tiện hữu hiệu của vũ trụ học. Việc chế tạo thiết bị để phát hiện trực tiếp SHD là một trong những vấn đề thời sự nhất của vật lý học hiện đại ■

CC biên dịch

Tài liệu tham khảo

- 1- Marcia Bartusiak, *Einstein's Unfinished Symphony: Listening to the Sounds of Space-Time*, Berkley Books, Penguin Putnam, 2000.
- 2- Savas Dimopoulos et al. *Gravitational Wave Detection with Atom Interferometry*, Physics Letters B, Vol. 678, No. 1, pages 37-40, July 6, 2009.
- 3- LISA Project Office: <http://lisa.nasa.gov>
- 4- Wikipedia, Gravitational waves.