Hình ảnh bóng lỗ đen được chụp bởi EHT.
Nguồn: EHT Collaboration, et al. (2019).

HÌNH ẢNH LỖ ĐEN M87*: "Cơn địa chấn" khoa học toàn cầu

Nguyễn Đức Phường
Đại học Quốc gia Hà Nội

Các nhà thiên văn đã sử dụng mạng lưới kính viễn vọng Chân trời sự kiện (EHT) trải khắp địa cầu để chụp được những hình ảnh chi tiết đầu tiên về một siêu lỗ đen nằm ở trung tâm thiên hà Messier 87 (M87) - lỗ đen M87*. Những hình ảnh và kết quả nghiên cứu đã được công bố trên *The Astrophysical Journal Letters* ngày 10/4/2019. Sự kiện này gây chấn động giới khoa học toàn cầu và nằm ngoài dự đoán của chúng ta.

Mục tiêu hoàn hảo

Để nhận biết sự hiện diện của lỗ đen, chúng ta thường căn cứ vào các bằng chứng gián tiếp do ảnh hưởng tác động của lực hấp dẫn, chẳng hạn như quan sát quỹ đạo của các ngôi sao, đám sao, đĩa khí xung quanh lỗ đen, quan sát bức xạ năng lượng cao, sóng hấp dẫn… Tuy nhiên, chụp ảnh và quan sát trực tiếp một lỗ đen vẫn còn nằm ngoài tầm với của các nhà khoa học. Giấc mơ tận mục sở thị lỗ đen đã thôi thúc các nhà khoa học lên kế hoạch chụp ảnh vùng bóng chân trời sự kiện của những lỗ đen siêu lớn. Hai ứng viên sáng giá nhất là: một siêu lỗ đen nằm ở ngay trung tâm dải Ngân hà của chúng ta mang tên Sgr A* và một siêu lỗ đen khác (M87*) nằm ở trung tâm của thiên hà elip khổng lồ M87, cách Trái đất 53,5±1,63 triệu năm ánh sáng - một thiên hà lân cận thuộc đám thiên hà Xử nữ, đồng thời cũng là nguồn phát xạ mạnh, đặc biệt là phát xạ sóng vô tuyến.

Trước hết, chúng ta thử xem Sgr A* là siêu lỗ đen gần Trái đất nhất, có khối lượng khoảng 4,31±0,38 triệu lần khối lượng Mặt trời, cách Trái đất 7,940±420 pc (khoảng 26.000 năm ánh sáng) có thích hợp để lên kế hoạch chụp ảnh không? Thật không may, tuy gần Trái đất, nhưng các nhà khoa học phải đối mặt với rất nhiều thách thức. Do khoảng không gian giữa các vì sao, cụ thể là không gian giữa Sgr A* và Trái đất chứa rất nhiều bụi và khí dày đặc hấp thụ và khuếch tán bức xạ từ Sgr A* khiến việc chụp ảnh trong phổ khả kiến là bất khả thi. Các nhà khoa học đã rất nỗ lực để có thể quan sát được Sgr A* trên phổ vô tuyến. Các hệ kính giao thoa vô tuyến được sử dụng nhằm nhìn xuyên thấu đám mây bụi và khí trong môi trường liên sao và cực đại hóa độ phân giải. Độ phân giải đạt được khi quan sát ở bước sóng 1,3 mm là 37 μas (μas - một phần triệu giây cung). Do vậy, các nhà

khoa học lên kế hoạch sử dụng hệ EHT để có cái nhìn chân thực hơn về Sgr A*.

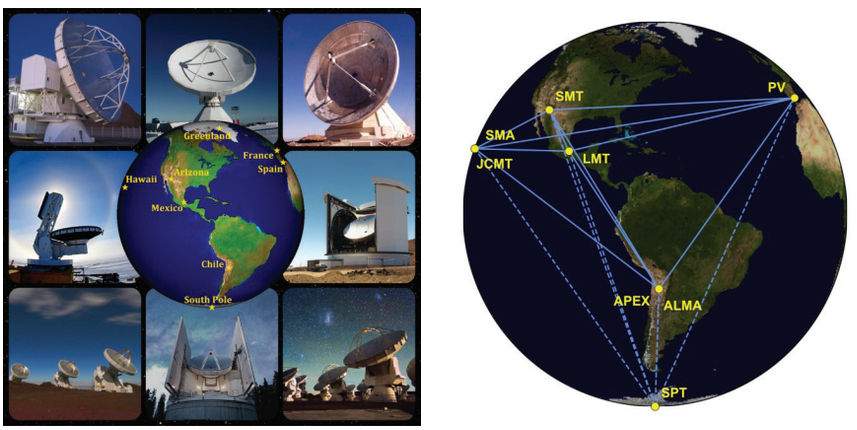
Ngoài những "bức tường" ngăn cản tầm nhìn thì bản thân vị trí của Sgr A* trong mặt phẳng thiên hà cũng luôn biến động do những nhiễu loạn quỹ đạo ở trung tâm dải Ngân hà, nơi có mật độ phân bố sao dày đặc. Ngoài ra, đối tượng này cũng biến động rất nhanh, gây khó cho các nhà khoa học khi thu thập các dữ liệu phân tích để nhận diện. Như vậy, dường như Sgr A* không phải là mục tiêu ưu tiên mà các nhà khoa học hướng đến.

Thế còn lỗ đen M87* thì sao? Kích thước của lỗ đen tỷ lệ thuận với khối lượng của nó, tức là lỗ đen càng lớn thì bóng của nó càng lớn. Mặc dù ở rất xa Trái đất (xa hơn Sgr A* khoảng 2.000 lần), khối lượng của lỗ đen M87* lớn hơn Sgr A* hơn 1.000 lần. Nhờ khối lượng khổng lồ và cũng không quá xa so với thang đo vũ trụ, nếu tồn tại, lỗ đen ở trung tâm thiên hà M87 được dự đoán là một trong những mục tiêu tuyệt vời có thể quan sát thấy từ Trái đất. Bên cạnh đó, sự biến thiên về tính chất cũng ổn định và dài hơn nên các nhà khoa học dễ nắm bắt. Các dòng khí và bụi xoáy quanh lỗ đen M87* chuyển động và thay đổi độ sáng chậm hơn so với Sgr A*. Điều này giống như việc chúng ta chụp ảnh một đứa trẻ hiếu động luôn ngọ nguậy và một cô gái tạo dáng. Chắc chắn chụp cô gái sẽ dễ dàng hơn rất nhiều. Một điều đặc biệt nữa đó là môi trường liên sao và liên thiên hà giữa lỗ đen ở trung tâm thiên hà M87 cũng "trong" hơn, khiến việc quan sát cũng thuận lợi hơn nhiều. Môi trường liên sao ở những thiên hà elip "sạch" hơn các thiên hà xoắn ốc, thiên hà lùn hoặc những thiên hà không đều khi chúng tận dụng triệt để khí trong sự hình thành các sao. Những lý do đó đủ cho thấy, M87* mới là ứng viên sáng giá nhất trong vũ trụ cho việc chụp ảnh siêu lỗ đen đang hiện diện ở trung tâm thiên hà elip khổng lồ này.

Kỹ thuật quan sát đột phá

Các lỗ đen có thể tồn tại ở hầu hết các thiên hà trong vũ trụ. Để chụp được lỗ đen ở khoảng cách rất xa, các nhà thiên văn phải thiết kế một hệ thống quan sát rất đặc biệt với độ phân giải chưa từng có, ít nhất là dưới hàng chục μas, tức là có thể quan sát được một quả cam đặt trên Mặt trăng, điều mà những kính thiên văn thông thường không thể làm được. Nói một cách ví von là kính viễn vọng lớn bằng cả Trái đất. Hệ kính viễn vọng chân trời chính là kính thiên văn như vậy. Nó là tổ hợp gồm 8 hệ kính hoạt động ở bước sóng 1,3 mm bao gồm: SMA, JCMT, SMT, LMT, PV, APEX, ALMA, SPT đặt ở 6 vị trí khác nhau trên Trái đất là: Arizona, Hawai, Mexico, Chile, Tây Ban Nha và Nam Cực. Có thể ví EHT là kính thiên văn ảo khổng lồ hoạt động dựa trên kỹ thuật giao thoa kế đường cơ sở rất dài với nguyên lý kết hợp đồng bộ và đồng thời các quan sát về cùng một đối tượng từ các đài thiên văn vô tuyến trải rộng khắp địa cầu. Khoảng cách giữa các kính thiên văn độc lập trong hệ thống EHT được coi như đường cơ bản trải dài từ 160 m đến 10.700 km. Theo cách này, EHT có thể đạt được độ phân giải chưa từng có. Về mặt lý thuyết, nó có thể đạt phân giải tới 25 phần triệu giây khi quan sát ở bước sóng 1,3 mm, tức là có khả năng chụp ảnh với độ phân giải cao hơn 2.000 lần so với Kính viễn vọng không gian Hubble.

Tín hiệu nhận được từ các kính thiên văn đơn lẻ được xác định thời gian chính xác bởi đồng hồ nguyên tử tại mỗi đài quan sát. Dữ liệu mỗi kính thiên văn thu được khoảng 350 terabyte mỗi ngày. Hàng tỷ byte dữ liệu thô được lưu trữ trong các ổ đĩa cứng được chuyển đến các trung tâm xử lý. Các siêu máy tính đặt tại Viện Thiên văn vô tuyến Max Planck ở Bonn (Đức) và Đài thiên văn Haystack tại Viện Công nghệ Massachusetts - MIT (Mỹ) sẽ kết hợp và xử lý các dữ liệu từ các kính thiên văn độc lập thông qua một thuật toán để tái tạo hình ảnh gọi là CHIRP (Continuous High-resolution Image Reconstruction using Patch priors). Đây là một thuật toán rất phức tạp khi phải giải quyết rất nhiều vấn đề nảy sinh khi quan sát từ mặt đất, chẳng hạn như nhiễu loạn vô tuyến, tiếng ồn do khí quyển, đồng bộ dữ liệu từ các đài thiên văn độc lập trong hệ thống EHT… Thuật toán đó được



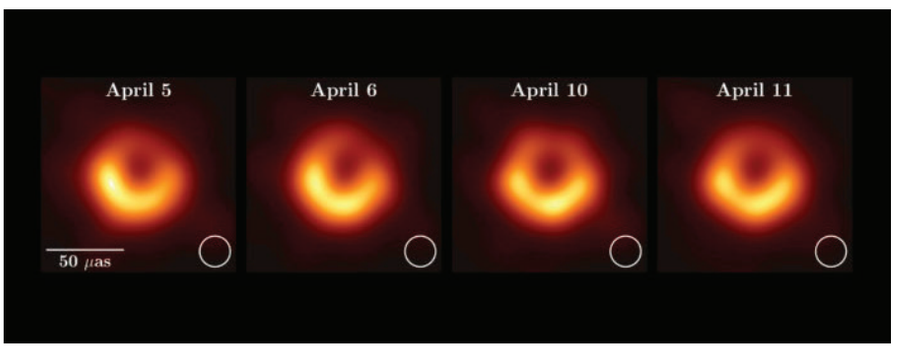
Mạng lưới kính thiên văn tham gia dự án EHT.

phát triển bởi một nhà khoa học nữ trẻ, tài năng Katie Bouman. Sau đó, hàng chục nhà khoa học máy tính đã sử dụng thuật toán này để xử lý dữ liệu được thu thập từ dự án EHT. Có thể nói, những thành quả mà EHT thu được không chỉ là một kỳ tích trong nghiên cứu về vũ trụ chưa từng có được thực hiện bởi tập thể gồm hơn 200 nhà khoa học từ 59 viện nghiên cứu thuộc 20 quốc gia và vùng lãnh thổ trên thế giới mà còn là sự đột phá trong công nghệ quan sát.

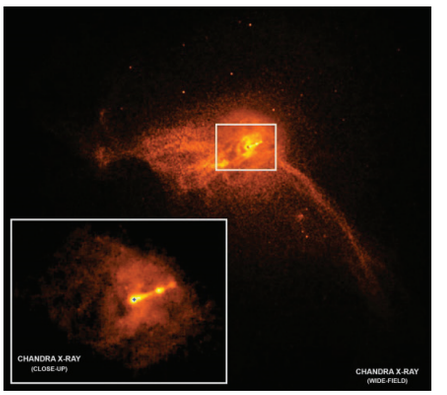
Những hình ảnh chưa từng có

Chúng ta biết rằng, mặc dù gọi là lỗ đen nhưng vẫn có thể quan sát được nó trong không gian tối tăm của vũ trụ. Lý do là bởi khi các khí và bụi nóng sáng tạo thành những đĩa khí bồi tụ quay xung quanh lỗ đen có nhiệt độ hàng triệu, thậm chí hàng tỷ độ phát xạ rất mạnh trong tất cả các dải sóng của phổ điện từ khiến lỗ đen trở nên rất "sáng". Theo thuyết tương đối rộng thì một lỗ đen có một vùng bóng tối với kích thước lớn hơn 2,6 lần bán kính chân trời sự kiện (bán kính Schwarzschild). Các nhà thiên văn học đã quan sát M87* vào các ngày 5, 6, 10 và 11/4/2017 với một loạt các lần quét từ 3 đến 7 phút mỗi ngày và trong điều kiện thời tiết vô cùng thuận lợi. Bao nỗ lực của các nhà khoa học đã được đền đáp bằng hàng petabyte dữ liệu. Hình ảnh thu được về M87* là sự tái tạo hình ảnh dựa trên số liệu thu thập được từ 8 kính thiên văn. Tất nhiên, những hình ảnh chúng ta thấy không phải là ánh sáng thực bởi vì kính thiên văn quan sát ở bước sóng 1,3 mm, tức là vùng sóng điện từ ngoài vùng khả kiến mà mắt ta không thể quan sát thấy. Màu cam đỏ chính là hiển thị màu giả phản ánh cường độ bức xạ và vật chất quan sát được.

Hình ảnh cho thấy, vùng tối đen phía trong là bóng chân trời sự kiện của lỗ đen và vùng bên ngoài là một vòng tròn sáng. Đây chính là vùng bóng của chân trời sự kiện của lỗ đen trung tâm thiên hà M87. Theo đó, các nhà khoa học ước tính chân trời sự kiện của M87* có kích thước khoảng 38 tỷ km (gấp 4 lần đường kính quỹ đạo của Hải Vương tinh) [1]. Vùng không gian từ rìa ngoài bóng lỗ đen và chân trời sự kiện được tạo ra do bức xạ, bao gồm cả ánh sáng khả kiến, bị lực hấp dẫn mạnh mẽ của lỗ len "khống chế" khiến quỹ đạo của nó bị bẻ cong rồi "chạy" lòng vòng bên ngoài chân trời sự kiện và rất khó khăn mới thoát ra được. Đây không phải là vùng đen tuyệt đối do vẫn có bức xạ thoát ra từ đây. Trong vùng này, vật chất cũng không phát xạ đủ mạnh để chúng ta quan sát thấy chúng sáng chói. Trước đây, sử dụng các kỹ thuật khác nhau, các nhà thiên văn ước tính khối lượng của lỗ đen ở trung tâm thiên hà M87 dao động trong khoảng 3,5-7,22 tỷ lần khối lượng Mặt trời. Nhưng các phép đo EHT mới cho thấy, khối lượng của lỗ đen này gấp khoảng 6,5 tỷ lần khối lượng của Mặt trời.



Hình ảnh tái tạo về lỗ đen ở trung tâm thiên hà elip M87 được thực hiện bởi EHT.
Nguồn: EHT Collaboration, et al. (2019).



Cận cảnh về lõi thiên hà M87 nơi tồn tại siêu lỗ đen.
Luồng vật chất bao gồm các hạt năng lượng cao được phóng ra từ lỗ đen trung tâm. Đây là hình ảnh góc rộng hơn về vùng hoạt động bên ngoài lỗ đen được chụp bởi Kính thiên văn không gian Chandra - Xray.
Nguồn: NASA/CXC/Villanova University/J. Neilsen.

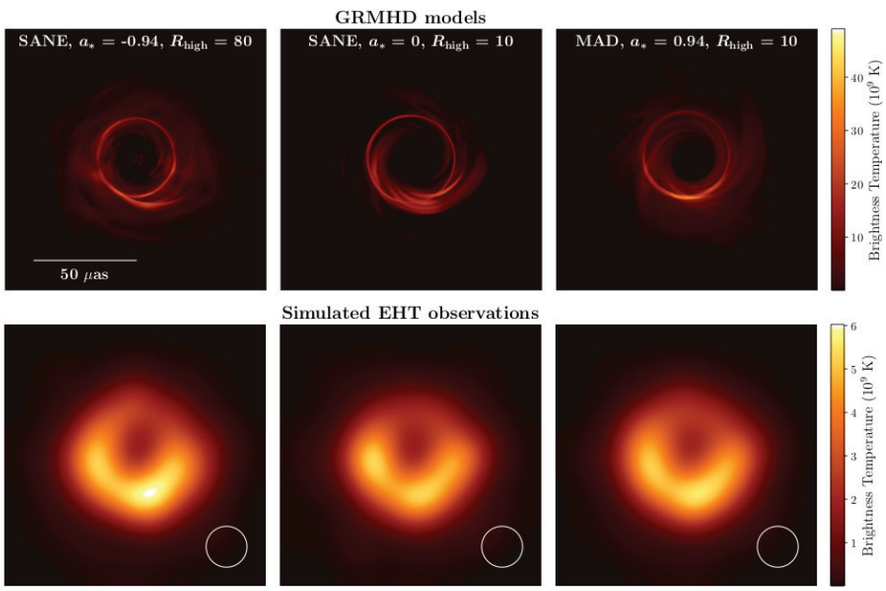
Vùng sáng không đối xứng bao quanh bóng chân trời sự kiện kéo dài 38-44 μas, với phần phía nam xuất hiện sáng hơn phần còn lại. Điều này cho thấy M87* là một lỗ đen hoạt động mạnh, được bao quanh bởi đĩa khí, bụi bồi tụ (nóng, sáng) và vật chất dưới dạng plasma, chịu ảnh hưởng từ lực hấp dẫn vô cùng lớn của lỗ đen. Nguồn vật chất này cũng không ngừng bồi tụ thêm khối lượng của siêu lỗ đen ở trung tâm thiên hà. Các nhà khoa học đã sử dụng các mô hình mô phỏng để phân tích các tính chất bất đối xứng từ các vùng sáng này. Vùng sáng hơn là do hướng vật chất plasma chuyển động về phía chúng ta, vùng mờ hơn là do vật chất chuyển động ra xa chúng ta nên bức xạ đến chúng ta ít hơn. Những quan sát này cũng phù

hợp với các quan sát về độ sáng Doppler của plasma chuyển động tương đối tính xung quanh lỗ đen. Do hiệu ứng tương đối tính nên khi vật chất chuyển động với vận tốc rất lớn, gần bằng vận tốc ánh sáng, sẽ phát xạ mạnh. Vùng sáng này cũng là sự khẳng định mạnh mẽ nhất tính đúng đắn của thuyết tương đối rộng về hấp dẫn của Albert Einstein [2]. Hình ảnh bất đối xứng của vùng sáng không chỉ là do hiệu ứng Doppler vì quan sát đều thực hiện ở bước sóng 1,3 mm mà còn do chuyển động tương đối tính của luồng vật chất lại gần và ra xa khỏi hướng quan sát từ Trái đất. Hình ảnh thu được từ EHT phù hợp với những mô hình chỉ ra bóng của lỗ đen cũng như kích thước vòng sáng và sự bất đối xứng của vòng phụ thuộc vào khối lượng và tốc độ quay của lỗ đen.

Đuôi khí phóng ra từ trung tâm thiên hà M87.

Nguồn: NASA, ESA and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA).

Những hình ảnh và dữ liệu quan sát cũng cho thấy, M87* đang quay rất nhanh theo chiều kim đồng hồ và phát xạ mạnh mẽ. Nó cũng giúp các nhà khoa học giải mã được một trong những bí ẩn nhất về M87*, đó là luồng hạt mang điện phóng thích từ trung tâm thiên hà M87 trải dài 1.000 năm ánh sáng. Điều này có thể dễ dàng thấy trên các hình ảnh chụp trong các dải sóng của phổ điện từ đuôi khí phóng ra từ trung tâm thiên hà elip M87, đặc biệt là hình ảnh chụp ở góc rộng hơn được thực hiện bởi Kính thiên văn Chandra - Xray của NASA. Kính thiên văn này đã quan sát được một luồng các hạt năng lượng cao phóng ra từ trung tâm thiên hà bởi các từ trường và lực hấp dẫn cực mạnh xung quanh lỗ đen, kéo dài hơn 1.000 năm ánh sáng.



3 mô hình mô phỏng sự quay của lỗ đen tương thích với các hình ảnh chụp được bởi EHT.

Nguồn: EHT Collaboration, et al. (2019).

Viết tiếp trang sử...

Những thành quả đột phá là bước đệm quan trọng để các nhà khoa học tiếp tục phát triển và hoàn thiện kỹ thuật quan sát để tạo ra những hình ảnh rõ nét và chi tiết hơn nữa về lỗ đen ở trung tâm thiên hà M87. Các quan sát trong tương lai sẽ kiểm tra độ ổn định, hình dạng và độ sâu của bóng lỗ đen với độ chính xác cao hơn. Đó cũng là nền tảng mở ra tương lai trong việc nghiên cứu các lỗ đen ở những nơi khác trong vũ trụ bởi hầu hết các thiên hà hoạt động đều ẩn chứa những siêu lỗ đen ở trung tâm.

Theo kế hoạch, các nhà khoa học sẽ bổ sung thêm kính thiên văn vào hệ thống EHT để phục vụ những nghiên cứu tiếp theo. Năm 2018 với sự tham gia của Đài thiên văn Greenland thì đến năm 2020 các kính thiên văn khác như: Đài thiên văn quốc gia Kitt Peak, Đài thiên văn IRAM NOEMA ở dãy Alps (Pháp) sẽ tham gia EHT. Bên cạnh đó, các nhà khoa học đang có kế hoạch quan sát ở các bước sóng tần số cao hơn để tạo ra những hình ảnh rõ nét hơn ✍

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Daniel Clery (2019), *For the first time, you can see what a black hole looks like,* https://www.sciencemag.org/news/2019/04/black-hole.

[2] Antxon Alberdi, et al. (2019), "First M87 Event Horizon Telescope Results. V. Physical Origin of the Asymmetric Ring"*, The Astrophysical Journal Letters*, (17pp), 2019 April 10.