

## LỖ ĐEN - Thiên thể kỳ bí nhất của vũ trụ

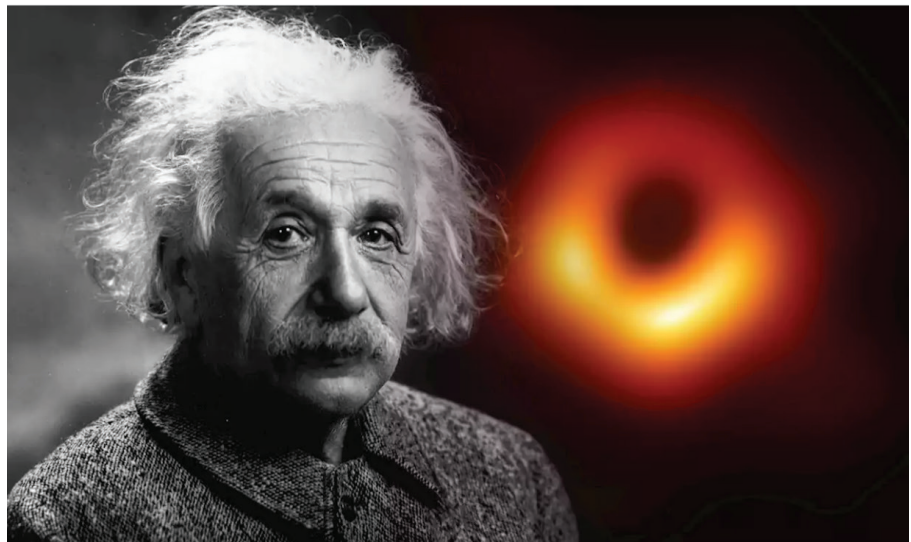
Nguyễn Đức Phường  
Đại học Quốc gia Hà Nội

Khi công bố Thuyết tương đối rộng vào năm 1915, Albert Einstein sớm nhận ra rằng, các phương trình của ông đã cho thấy nếu nén một lượng vật chất đến một kích thước đủ nhỏ thì lực hấp dẫn sẽ trở nên vô cùng lớn, tới mức ngay cả ánh sáng cũng không thể thoát ra ngoài. Đó chính là một lỗ đen. Mặc dù tiên đoán về sự hiện diện của một loại thiên thể như vậy, nhưng ông không tin rằng chúng có tồn tại trong vũ trụ. Tuy nhiên, thế hệ các nhà khoa học sau này đã không ngừng củng cố tính đúng đắn của Thuyết tương đối rộng. Một trong những đột phá đó là chứng thực sự tồn tại của những lỗ đen. Giải Nobel trong lĩnh vực vật lý được trao trong năm 2020 là để tôn vinh những khám phá về một trong những hiện tượng kỳ thú nhất của vũ trụ - lỗ đen.

### Sự suy sụp của những sao khổng lồ

Lỗ đen với khối lượng cực lớn được tập trung vào một thể tích cực nhỏ cho phép độ cong của không - thời gian được khép kín lại. Khi nén một lượng vật chất tới một bán kính giới hạn nào đó, nó sẽ biến thành một lỗ đen. Không gian xung quanh lỗ đen là một không gian khép kín và được giới hạn bởi chân trời sự kiện (event horizon). Thời gian bên trong chân trời sự kiện ngừng trôi, tất cả chúng đã tạo ra một kỳ dị. Đây đều là tính chất kỳ lạ của không gian và thời gian được chứa đựng trong Thuyết tương đối rộng của Einstein.

Thuyết tương đối rộng (General relativity) đã trở thành nền tảng quan trọng cho những hiểu biết của chúng ta hiện nay về lỗ đen. Các nhà khoa học đã kiểm chứng phần lớn Thuyết tương đối rộng trong các trường hấp dẫn yếu như trong các hiện tượng thiên văn ở Hệ mặt trời, các hệ sao và cả những trường hấp dẫn lớn như các thiên hà, đám thiên hà. Trong các trường hấp



Albert Einstein và lỗ đen M87.

dẫn mạnh hơn như siêu lỗ đen thì đó vẫn là một thách thức lớn.

Vậy trong vũ trụ, lỗ đen tồn tại những dạng nào? Việc cho rằng lỗ đen là một biến thể của một ngôi sao có khối lượng lớn được nhà triết học tự nhiên đồng thời cũng là nhà thiên văn người Anh John Michell gợi ý lần đầu tiên vào năm 1783 trong một bài báo của Hội khoa học Hoàng gia Anh [1]. Ông cho rằng, một số thiên thể có khối lượng lớn sẽ có một

vận tốc thoát lớn hơn ánh sáng. Do đó, ánh sáng được phát ra bởi thiên thể đó sẽ không thể thoát ra ngoài được, chúng sẽ bị trường hấp dẫn mạnh của ngôi sao kéo ngược trở lại. Không lâu sau đó, nhà toán học, thiên văn học người Pháp Pierre-Simon Laplace cũng đưa ra giả thuyết tương tự, nhưng lần này ông sử dụng một số tính toán cho thấy sự liên hệ giữa giá trị của khối lượng với bán kính của thiên thể. Sau khi nghiên cứu

phương trình của thuyết tương đối vào năm 1910, nhà vật lý học người Đức Karl Schwarzschild đã nhận thấy rằng, đối với một giá trị khối lượng nào đó sẽ có một bán kính tới hạn mà ở đó tính chất của không - thời gian trở nên khác biệt. Schwarzschild đã đưa ra bán kính Schwarzschild nổi tiếng đối với những lỗ đen không quay.

Cuối cùng, vào năm 1939, nhà vật lý học người Mỹ tên là Robert Oppenheimer đã đưa ra một lời tiên đoán chính xác về nguồn gốc của lỗ đen. Sau khi ông và các cộng sự đưa ra một khái niệm gọi là Giới hạn Tolman-Oppenheimer-Volkoff phản ánh sự sụp đổ hấp dẫn của các sao nếu vượt qua giới hạn đó. Tiếp theo, ông công bố bài báo “Về sự co hấp dẫn liên tục - On Continued Gravitational Contraction” [2]. Ông cho rằng, một ngôi sao có khối lượng lớn, sau khi chết, toàn bộ khối lượng ở lõi sao sẽ tập trung trong một thể tích nhỏ. Trường hấp dẫn của nó có thể bẻ cong đường truyền của bất cứ tia sáng nào bèn mảng tới nó và ngăn cản không cho bất cứ một tia sáng nào thoát ra. Trong những năm tiếp theo, nhiều công trình đều tập trung nghiên cứu bản chất của những lỗ đen được sinh ra sau cái chết của những ngôi sao khổng lồ.

Một hình cầu đen treo lơ lửng trong không gian, đây không phải là ý tưởng được nhiều người đón nhận. Những tính chất kỳ dị của hình cầu đó đã làm cho một số người cho rằng nó chỉ là kết quả của trí tưởng tượng phóng túng của một số nhà vật lý thiên văn. Nhưng những nghiên cứu tiếp sau đã cho thấy sự hiện diện của lỗ đen trong vũ trụ là hoàn toàn có thể. Bằng chứng thuyết phục nhất

là sự kiện quan sát hệ lỗ đen quay quanh nhau phát ra sóng hấp dẫn (graviton). Đây cũng là một đột phá khoa học quan trọng khi vào giữa tháng 9/2015, chúng ta đã ghi nhận trực tiếp nguồn sóng hấp dẫn GW150914 phát ra từ cặp lỗ đen có khối lượng lần lượt là khoảng 29 và 36 lần khối lượng Mặt trời, cách Trái đất khoảng 1,3 tỷ năm ánh sáng. Những nghiên cứu chi tiết cho thấy hai lỗ đen này quay quanh nhau và sẽ hợp nhất thành một lỗ đen lớn có khối lượng khoảng 62 lần khối lượng Mặt trời.

Các sóng hấp dẫn được tiên đoán bởi thuyết tương đối rộng có thể kiểm chứng bằng việc quan sát các hệ thống pulsar đôi trong vũ trụ, điển hình như PSR J0737-3039 hoặc hệ một sao neutron và một pulsar như PSR B1913+16. Các thiên thể này trong quá trình quay quanh nhau sẽ tạo ra những dao động trong không - thời gian và phát ra sóng hấp dẫn. Do phát xạ sóng hấp dẫn nên theo thời gian, các pulsar này sẽ mất dần năng lượng. Khi bị mất năng lượng chúng sẽ quay chậm lại, tức là chu kỳ quay kéo dài ra. Quan sát biến đổi trong chu kỳ của hệ thống pulsar đôi có thể cung cấp những bằng chứng gián tiếp cho việc tồn tại sóng hấp dẫn. Tuy nhiên, giờ đây với sự phát triển của các kỹ thuật quan sát như Đài quan sát sóng hấp dẫn LIGO, chúng ta có thể quan sát trực tiếp được sóng hấp dẫn.

Các nhà khoa học còn cho rằng, trong vũ trụ không chỉ có một loại lỗ đen do kết quả co lại của một ngôi sao khổng lồ đã chết, mà còn có hai loại lỗ đen khả dĩ khác là lỗ đen thiên hà và lỗ đen nguyên thủy.

### Con quái vật tham ăn ở trung tâm các thiên hà

Ở trung tâm các thiên hà phân bố dày đặc các ngôi sao, do vậy rất dễ xảy ra va chạm và sự hợp nhất các sao. Lực hấp dẫn đã kết tụ những ngôi sao này để cuối cùng hình thành một thiên thể có khối lượng lớn gấp hàng triệu lần Mặt trời. Các đám sao co lại để sinh ra một lỗ đen khổng lồ ở trung tâm các thiên hà. Giống như con người, càng lớn càng phàm ăn, lỗ đen cũng vậy, do khối lượng cực kỳ lớn, chúng phổ trương sức mạnh hút vật chất xung quanh. Đối với những lỗ đen thiên hà, vật chất xung quanh không đủ để thỏa mãn lòng tham, chúng “đớp” cả những ngôi sao bên cạnh và “nhai” ngẫu nhiên một cách không thương tiếc. Những ngôi sao xấu số này rơi hết tốc lực vào lỗ đen và bị xé nát ra trước khi bị chúng đớp. Kết quả là hình thành một đĩa khí khổng lồ quay xung quanh lỗ đen. Những phần tử khí này bị “xay nát”, nhiệt độ lên đến hàng chục nghìn độ hoặc hơn nữa, đĩa khí phát sáng và giải phóng nguồn năng lượng khổng lồ. Tại trung tâm của những thiên hà có nhân hoạt động mạnh (active galactic nucleus - AGN) rất có thể có sự hiện hữu của một lỗ đen cỡ lớn.

Vào năm 1960, các nhà thiên văn Allan Sandage và Thomas Matthews đã phát hiện ra một thiên thể rất lạ có tên là 3C 48. Loại thiên thể này nhìn qua kính thiên văn giống như bất cứ một ngôi sao bình thường nào, nhưng quang phổ của nó lại có sự khác biệt rất lớn. Đến năm 1963, nhà thiên văn Maarten Schmidt đã phát hiện ra đối tượng 3C 273 cũng có đặc điểm giống như 3C 48. Nghiên cứu kỹ quang phổ



Mô phỏng ngôi sao bị lỗ đen nuốt chửng.

của những thiên thể này ông đã phát hiện ra các vạch phổ của nó bị dịch về phía đỏ rất lớn. Điều không bình thường này đã tạo ra một cú sốc lớn đối với các nhà thiên văn. Trước đó, Hubble chỉ cho chúng ta biết rằng, độ dịch về đỏ tỷ lệ thuận với khoảng cách. Dịch về đỏ lớn cũng có nghĩa là chúng ở rất xa chúng ta và do vậy vận tốc của chúng cũng phải rất lớn. Chẳng hạn như 3C 273 phải có vận tốc rời xa cỡ 47.000 km/s. Điều này có nghĩa là những quasar cách chúng ta hàng tỷ năm ánh sáng.

Chính những đặc điểm rất giống sao và cũng rất khác sao như vậy nên người ta mới đặt cho nó cái tên “Quasi-stellar” gọi tắt là quasar hay chuẩn tinh. Quasar là một thiên thể ở cách chúng ta rất xa như vậy nhưng lại nhìn giống như những ngôi sao bình thường đã khiến đối tượng này trở thành một sự bí ẩn và thách thức lớn đối với các nhà khoa học. Có nhiều lời giải thích, trong đó có một cách giải thích hợp lý nhất cho rằng quasar là một biến thể của

thiên hà. Năng lượng của quasar lớn gấp hàng chục vạn lần năng lượng của toàn bộ dải Ngân hà phát ra. Điều này chỉ có thể giải thích khi cho rằng, trung tâm của quasar ẩn chứa một lỗ đen khổng lồ có đường kính chỉ nhỏ hơn Hệ mặt trời của chúng ta.

Tuy sáng và ở xa đến thế nhưng quasar có kích thước khá nhỏ. Sự biến thiên nhanh trong độ sáng của quasar gợi ý rằng kích thước của chúng nhỏ hơn nhiều so với các thiên hà, mặc dù năng lượng mà chúng phát ra có thể lớn gấp hàng vạn lần thiên hà đó. Đối với quasar, sự biến thiên nhanh nhất trong độ sáng xảy ra đối với tia X. Sự biến thiên này chỉ xảy ra trong nửa ngày, có khi còn ít hơn nữa. Điều này có nghĩa rằng, các tia X được tạo ra trong vùng có đường kính còn nhỏ hơn quỹ đạo của sao Diêm vương. Một số vùng ứng với các bức xạ có thể sự biến thiên độ sáng xảy ra dài hơn, vài tháng hoặc vài năm. Khi đó kích thước của quasar có thể là vài tháng ánh sáng hoặc vài parsec (pc).

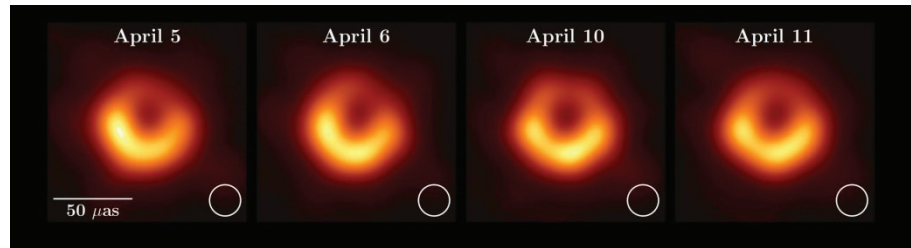
Các vạch phát xạ trong quang phổ của quasar rất mạnh, chúng được phát ra bởi các khí được đốt nóng khi các khí này hấp thụ các bức xạ tử ngoại và tia X trong nguồn bức xạ liên tục của quasar. Các khí này bị ion hóa bởi các bức xạ năng lượng cao, tạo ra hỗn hợp của ion và electron. Các thành phần hóa học của khí trong đĩa của quasar bị ion hóa và tạo ra các vạch phổ đặc trưng. Sự hiện diện của các vạch phổ phát xạ rộng và hẹp tạo ra các vùng phân biệt của vạch rộng và hẹp trong quasar. Vùng phát xạ hẹp được tạo ra bởi các vạch phát xạ của hydro, heli, nitơ, cacbon và một số nguyên tố khác. Mật độ của vùng vạch hẹp ở quasar khá nhỏ, cỡ một nguyên tử/m<sup>3</sup>. Còn với vùng vạch rộng cỡ 1.000 nguyên tử và ion/m<sup>3</sup>. Vì với mật độ cao hơn do đó cần một lượng bức xạ tử ngoại và tia X năng lượng lớn hơn nên vùng vạch rộng nằm ở gần tâm quasar hơn vùng vạch hẹp. Bởi vì trung tâm là nơi có mật độ cao hơn và là nơi các bức xạ tử ngoại và tia X năng lượng cao được tạo ra.

Những hoạt động dữ dội của những thiên hà hoạt động còn sản sinh ra nguồn tia gamma khổng lồ. Chính điều này đã tạo cơ hội cho các kính thiên văn có thể ghi nhận được những vụ nổ tia gamma (GRB) cách xa hàng tỷ năm ánh sáng. Điển hình là vụ nổ từ thiên thể GRB 160625B với cường độ mạnh đến mức các nhà khoa học có thể dễ dàng quan sát từ Trái đất mặc dù thiên thể này cách Trái đất hơn 9 tỷ năm ánh sáng. Năng lượng mà thiên thể này giải phóng trong vài giây có thể bằng năng lượng mà Mặt trời giải phóng trong suốt 10 tỷ năm. Các nhà khoa học dự đoán,

nguồn tia gamma dồi dào này có liên hệ mật thiết với một lỗ đen.

Ngoài các loại thiên hà hoạt động Seyfert I, II, quasar một số thiên hà khác cũng được xếp vào loại hoạt động như thiên hà IRAS và thiên hà của vụ nổ sao. Các thiên hà IRAS phát ra một lượng rất lớn bức xạ hồng ngoại với độ sáng gấp  $10^{12}$  đến  $10^{13}$  độ sáng của Mặt trời, tức là gấp 100 đến 1.000 lần so với các thiên hà xoắn ốc bình thường. Còn đối với các thiên hà của vụ nổ sao là những thiên hà xoắn ốc. Những thiên hà này chứa một lượng rất lớn các ngôi sao mới sinh. Các bức xạ tử ngoại từ các ngôi sao trẻ này đốt nóng các hạt bụi trong các đám mây khí phân bố chủ yếu trong các cánh tay xoắn. Đến lượt các hạt bụi này, sau khi bị đốt nóng, chúng phát ra các bức xạ hồng ngoại. Các loại thiên hà này hầu hết là hậu quả của sự va chạm giữa các thiên hà.

Một loại lỗ đen khác trái ngược hẳn với những lỗ đen thiên hà về kích thước, đó là những lỗ đen nguyên thủy (Primordial black holes). Loại thiên thể này được sinh ra từ giai đoạn rất sớm của vũ trụ. Vật chất bị nén ép trong điều kiện nhiệt độ cao và áp suất cực kỳ lớn đã dẫn đến sự hình thành của lỗ đen nguyên thủy với kích thước vô cùng nhỏ, thậm chí chỉ có  $10^{-13}$  cm, tương đương với kích thước của một nguyên tử hydro. Khối lượng của những lỗ đen nguyên thủy biến thiên từ  $10^{-5}$  gam đến  $10^{23}$  kg, thậm chí lớn hơn nữa. Những lỗ đen nguyên thủy có khối lượng nhỏ sẽ bay hơi ngay lập tức - bức xạ Hawking. Tuy nhiên, những lỗ đen nguyên thủy có khối lượng lớn với tốc độ bay hơi chậm là ứng cử viên sáng giá của vật chất tối.



Hình ảnh lỗ đen ở trung tâm thiên hà M87.

### Bắt lỗ đen hiện nguyên hình

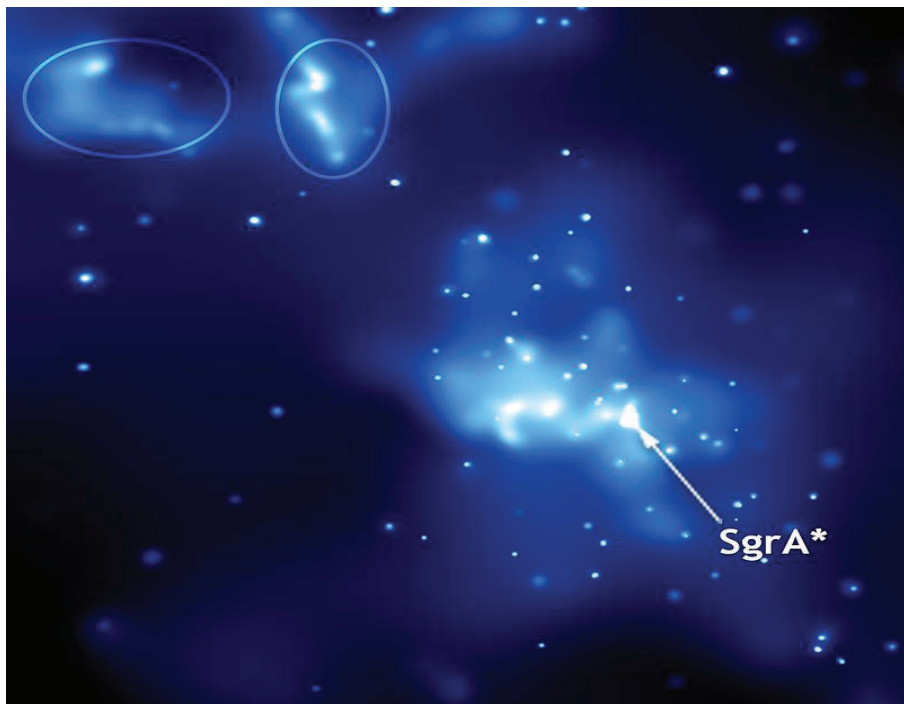
Ngày nay, chúng ta đã bắt đầu có được những hình ảnh đầu tiên về một trong các giếng trọng lực khủng khiếp nhất của vũ trụ. Các nhà thiên văn đã sử dụng mạng lưới kính viễn vọng Chân trời sự kiện (EHT) trải khắp địa cầu để chụp được những hình ảnh chi tiết đầu tiên về một siêu lỗ đen nằm ở trung tâm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

Những nghiên cứu về lỗ đen quả thực đã mang đến cảm hứng và nhân quan khoa học giúp chúng ta có những hiểu biết sâu sắc hơn về lịch sử hình thành và tiến hoá của vũ trụ. Chính bởi vậy, thật xứng đáng khi các nhà khoa học Roger Penrose, Reinhard Genzel và Andrea Ghez được trao Giải Nobel vật lý năm nay là để tôn vinh những khám phá của họ về một trong những hiện tượng kỳ thú nhất của vũ trụ - lỗ đen. [3]

Roger Penrose đã sử dụng các phương pháp toán học để chứng minh rằng lỗ đen là hệ quả trực tiếp của Thuyết tương đối rộng. Ông bắt đầu ứng dụng một số nguyên lý trong topo vào lỗ đen. Tháng 1/1965, Roger Penrose đã chứng minh rằng, các lỗ đen thực sự có thể hình thành và mô tả

chúng một cách chi tiết. Tại trung tâm của các lỗ đen ẩn chứa một điểm kỳ dị mà ở đó tất cả các quy luật tự nhiên đã biết đều không tồn tại. Trong nghiên cứu của mình, ông đã xây dựng các mô hình toán học có thể mô tả cách lỗ đen hình thành. Tuy nhiên, đó là những tình huống lý tưởng với sự đối xứng hoàn hảo. Chúng chắc chắn không thể xảy ra trong thế giới thực nên thường bị giới nghiên cứu bác bỏ. Bài báo mang tính đột phá của ông vẫn được coi là đóng góp quan trọng nhất cho Thuyết tương đối rộng kể từ khi Einstein công bố.

Trong khi Roger Penrose là người có công lớn trong việc phát triển các lý thuyết toán học củng cố cho Thuyết tương đối rộng về sự tồn tại của những lỗ đen trong vũ trụ thì Reinhard Genzel và Andrea Ghez là những người tiên phong trong việc phát triển các thiết bị quan sát siêu nhạy để khám phá cấu trúc và hoạt động của trung tâm dải Ngân hà và các thiên hà khác. Sử dụng những kính thiên văn lớn nhất thế giới, Genzel và Ghez đã phát triển các phương pháp để nhìn xuyên qua những đám mây bụi khổng lồ, dày đặc gồm khí và bụi giữa các vì sao che chắn tầm nhìn vào trung tâm của dải Ngân hà. Mở rộng giới hạn của công nghệ, họ đã cải tiến các kỹ thuật mới để bù đắp những nhiễu loạn do bầu khí quyển của Trái đất gây ra, phát triển các kỹ



Khu vực Sgr A\* được chụp bởi Kính thiên văn không gian tia X Chandra.

thuật quan sát hiệu quả. Những nghiên cứu của hai nhà khoa học này đã cung cấp cho cộng đồng thiên văn những bằng chứng vô cùng giá trị về sự tồn tại của siêu lỗ đen ở trung tâm của dải Ngân hà có tên là Sgr A\*.

Sgr A\* là siêu lỗ đen gần Trái đất nhất, có khối lượng khoảng  $4,31 \pm 0,38$  triệu lần khối lượng Mặt trời, cách Trái đất  $7,940 \pm 420$  pc (khoảng 26.000 năm ánh sáng) [4]. 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 quan sát và chụp ảnh đã đặt ra một thách thức vô cùng lớn. Ngay từ đầu những năm 1990, Reinhard Genzel và Andrea Ghez đã tập trung quan sát và nghiên cứu vào một vùng bí ẩn ở trung tâm dải Ngân là gọi là Sgr A\*. Quỹ đạo của những ngôi sao sáng nhất gần giữa dải

Ngân hà đã được lập bản đồ với độ chính xác ngày càng cao. Các phép đo của hai nhóm này đều thống nhất với nhau, cả hai đều tìm thấy một vật thể cực kỳ nặng, vô hình, kéo theo mớ hỗn độn của các ngôi sao, khiến chúng lao đi với tốc độ chóng mặt.

Nhóm của Genzel đã phát hiện ra một đám mây khí lớn rơi về phía lỗ đen Sgr A\*. Bằng cách quan sát đám mây này bị xé ra như thế nào, các nhà thiên văn đang có được cái nhìn sâu sắc mới về hoạt động của lỗ đen. Genzel và các đồng nghiệp đã theo dõi chuyển động của các ngôi sao ở trung tâm các dải Ngân hà cho thấy chúng đang quay quanh một vật thể rất lớn, có thể là một lỗ đen. Tháng 7/2018, ông và cộng sự đã công bố đối tượng S2 quay quanh quỹ đạo Sgr A\* với vận tốc 7.650 km/s hoặc 2,55% tốc độ ánh sáng, dẫn đến phương pháp tiếp cận cũng điếm vào tháng

5/2018 ở khoảng cách 120 đơn vị thiên văn (AU), gần 1.400 bán kính Schwarzschild từ Sgr A\* [5]. Điều này cho phép họ kiểm tra sự dịch chuyển đỏ tiên đoán bởi Thuyết tương đối rộng ở vận tốc tương đối tính, tìm ra sự xác nhận bổ sung cho lý thuyết.

Trong khi đó, bằng cách chụp ảnh trung tâm dải Ngân hà ở bước sóng hồng ngoại, Ghez và các đồng nghiệp có thể nhìn xuyên qua lớp bụi dày đặc giữa Trái đất và trung tâm dải Ngân hà để cung cấp những hình ảnh chi tiết nhất về vùng trung tâm thiên hà của chúng ta. Những hình ảnh độ phân giải cao đã giúp các nhà khoa học có thể theo dõi quỹ đạo của các ngôi sao xung quanh lỗ đen Sgr A\* [6]. Tháng 10/2012, nhóm của Ghez đã quan sát ngôi sao S0-102 quay quanh Sgr A\*. Từ các thông số quỹ đạo chuyển động S0-102 bà và cộng sự đã tính toán khối lượng của Sgr A\* [6].

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] <https://www.aps.org/publications/apsnews/200911/physicshistory.cfm>.
- [2] <https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.56.455>.
- [3] <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2020/summary/>.
- [4] [https://vjst.vn/vn/tin-tuc/1268/hinh-anh-lo-den-m87\\*--con-dia-chan-khoa-hoc-toan-cau.aspx](https://vjst.vn/vn/tin-tuc/1268/hinh-anh-lo-den-m87*--con-dia-chan-khoa-hoc-toan-cau.aspx).
- [5] <https://arxiv.org/abs/1006.0064>
- [6] <https://arxiv.org/abs/1912.04910>