



Những thành tựu khoa học làm nên tên tuổi của Stephen Hawking

Cao Chi

Ngày 14/3/2018, thiên tài vật lý Stephen Hawking đã từ giã chúng ta ở tuổi 76. Thế giới mất đi một nhà vật lý lý thuyết đã đem lại cho loài người sự hiểu biết sâu sắc về bản chất vật lý và hình học của vũ trụ.

Stephen Hawking nổi tiếng không chỉ vì những đóng góp lớn lao của ông trong vũ trụ học, mà còn vì cuộc đời bi tráng - ông đã vượt qua bao khó khăn để chiến thắng căn bệnh xơ cứng teo cơ (ALS) đầy nghiệt ngã. Theo nhà toán học Penrose: "Stephen Hawking là biểu tượng chiến thắng của ý chí vượt qua nghịch cảnh, một con người với niềm yêu mến cuộc sống lớn lao, một người am hiểu và hài hước, một khẳng định lớn về nhân cách, một tinh thần tích cực tham gia mọi hoạt động bất chấp bệnh tật". Những điều này và nhiều điều lý thú khác về gia đình ông, bạn đọc có thể tìm thấy trên nhiều tài liệu. Bài viết dưới đây tập trung vào khía cạnh học thuật - trên phương diện những thành tựu khoa học lớn đã làm cho tên tuổi Stephen Hawking trở thành huyền thoại.

Định lý kỳ dị Penrose-Hawking

Trong số những công trình nổi tiếng của Stephen Hawking, trước hết phải kể đến những công trình về kỳ dị (singularity). Đây là những công trình được Hawking nghiên cứu cùng với nhà toán học Roger Penrose. Các định lý về kỳ dị Penrose-Hawking nhằm mục đích trả lời câu hỏi: Khi nào thì lý thuyết hấp dẫn dẫn đến những điểm kỳ dị?

Những định lý đó đã dẫn đến các điểm chính sau đây: Nếu trong một không - thời gian (M, g_{ab}) ta có: 1) Vật chất thỏa mãn một điều kiện về năng lượng; 2) hấp dẫn đủ mạnh ở một vùng nào đó; 3) (M, g_{ab}) phải là một không - thời gian không đầy đủ về mặt trắc địa, thì (M, g_{ab}) có thể

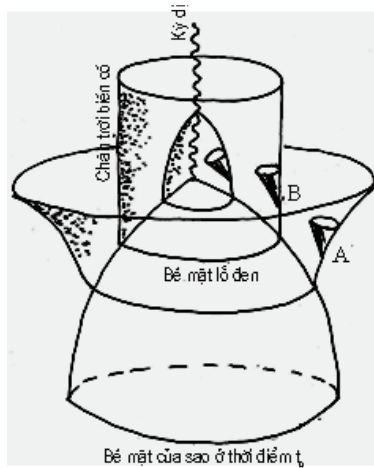
chứa những điểm kỳ dị.

Điều kiện thứ ba có nghĩa là trên đường trắc địa thông số không lấy được tất cả trị số trong khoảng $(-\infty, \infty)$ (vì gặp chướng ngại vật là kỳ dị). Điều kiện thứ nhất có dạng $T_{ab}u^a u^b \geq u^a u_a g^{cb} T_{cb}$, trong đó T_{ab} là tensor năng xung lượng, còn u_a là một vector đồng dạng thời gian.

Định lý này là cơ sở toán học để Hawking phát hiện những tính chất quan trọng của lỗ đen, Big Bang và vũ trụ.

Lỗ đen

Stephen Hawking đã tìm ra những tính chất quan trọng của lỗ đen (đường chân trời, kỳ dị tại tâm...).



Hình 1. Biểu diễn quá trình co của một sao có đối xứng cầu.

Trên hình 1, trục thời gian hướng từ dưới lên trên. Độ nghiêng của các nón ánh sáng địa phương xác định theo lý thuyết tương đối rộng. Bức tranh các nón ánh sáng cho ta thấy ánh sáng càng ngày càng khó rời khỏi bề mặt của sao và lúc bề mặt của sao trùng với bề mặt lỗ đen thì ánh sáng không thoát ra vô cực được. Lúc này bán kính của sao bằng bán kính hấp dẫn R_g . Mặt các sóng ánh sáng phát ra lúc bề mặt của sao giao với bán kính hấp dẫn R_g gọi là chân trời biến cố. Chân trời biến cố chia không - thời gian thành hai miền: Miền ngoài (tín hiệu có thể đi ra vô cực) và miền trong (tín hiệu không thoát ra vô cực được). Sau chân trời biến cố là lỗ đen. Một người quan sát từ bên ngoài không thể biết gì về những điều xảy ra sau chân trời biến cố. Chân trời biến cố giống như một màng mà năng lượng và thông tin có thể đi vào song không thể thoát ra được.

Quá trình co sớm hoặc muộn sẽ dẫn đến một điểm kỳ dị (dùng định lý về kỳ dị Penrose-Hawking). Trong vùng kỳ dị các khái niệm thông thường về không - thời gian không còn đúng nữa. Muốn tránh sự xuất hiện những điểm kỳ dị có thể người ta phải tính đến các hiệu ứng lượng tử.

Đối với lỗ đen thì mọi đặc trưng về vật chất cấu tạo và các đặc trưng nội tại khác đều bị chân trời che lấp. Như vậy lỗ đen rất đơn giản (ví dụ so với Mặt trời và Trái đất). Các tác giả W. Israel, B. Carter, Meudon và D.C. Robinson đã chứng minh từ 1967 đến 1974 rằng chỉ cần 3 thông số là đủ xác định lời giải phương trình Einstein cho một lỗ đen: 1) M - khối lượng; 2) J - mômen xung lượng; 3) Q - tích điện từ. A.J. Wheeler phát biểu kết quả trên dưới dạng: *Lỗ đen không có tóc*.

Bức xạ Hawking

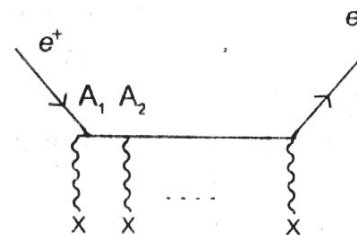
Năm 1974, Stephen Hawking đưa ra lý thuyết về bức xạ của lỗ đen, gọi là *bức xạ Hawking*. Trong lý thuyết

này, Stephen Hawking đã kết hợp lý thuyết tương đối tổng quát với thuyết lượng tử. Lý thuyết này đã đưa Stephen Hawking lên hàng những nhà vật lý lý thuyết tài năng nhất của thế giới.

Theo lý thuyết này, lỗ đen bức xạ giống như một hòn than nóng, với nhiệt độ tỷ lệ nghịch với khối lượng. Ví dụ với một lỗ đen có khối lượng bằng 10^{12} kg thì nhiệt độ tương ứng sẽ là 10^{12} độ Kelvin và lỗ đen sẽ bức xạ các hạt không có khối lượng như photon và các hạt có khối lượng như electron, proton.

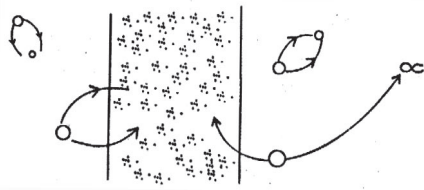
Vì bức xạ mang theo năng lượng cho nên khối lượng của lỗ đen tiêu hao dần. Càng tiêu hao khối lượng thì nhiệt độ của lỗ đen càng lớn và bức xạ dồn dập. Khi khối lượng chỉ còn chừng 10^6 kg thì lỗ đen nổ trong vòng một giây để thoát một năng lượng bằng năng lượng của một triệu quả bom nguyên tử megaton. Thời gian để một lỗ đen bay hơi hết tỷ lệ với lập phương khối lượng. Ví dụ, đối với một lỗ đen khối lượng bằng 10^{12} khối lượng mặt trời, thời gian bay hơi là khoảng 10^{10} năm, nhiều lỗ đen nguyên thủy đã bay hơi trong lịch sử của vũ trụ.

Như chúng ta biết trong trường tĩnh điện mạnh người ta quan sát được hiện tượng sinh cặp (hình 2).



Hình 2. Hiện tượng sinh cặp trong trường tĩnh điện mạnh.

Đường sóng biểu diễn trường ngoài, các điểm $A_1, A_2, \dots$ là những điểm tại đó các cặp ảo tán xạ lên trường ngoài. Như thế trong trường hợp tĩnh điện mạnh, cặp hạt sinh ra một cách không định xứ trong một khoảng đồng dạng không gian tương đối lớn. Hiện tượng sinh cặp trong trường tĩnh điện ứng với hiện tượng sinh cặp trong trường hấp dẫn mạnh của lỗ đen. Hawking chứng minh rằng, hiện tượng sinh cặp xảy ra với lỗ đen có và không có chuyển động quay. Vì hiện tượng xảy ra trong một khoảng đồng dạng không gian tương đối lớn, cho nên có thể xảy ra tình huống trong đó một hạt sinh ra nằm dưới chân trời, hạt này có năng lượng âm và người quan sát bên ngoài không thấy được, hạt còn lại vượt hàng rào thế và đi ra vô cực. Khi có hạt bay ra vô cực thì ta có hiện tượng bức xạ Hawking. Vì bức xạ, lỗ đen tiêu hao khối lượng, vậy trọng trường nhỏ đi và nhiều hạt có cơ hội thoát khỏi lỗ đen (hình 3).



Hình 3. Các hạt thoát ra ngoài lỗ đen.

Hawking chứng minh rằng, lỗ đen nói chung có khả năng bức xạ photon, neutrino, graviton giống như một vật đen bị đốt nóng đến nhiệt độ $\theta = \frac{\eta g}{2\pi c K}$. Trong đó K là hằng số Boltzmann.

Trong quá trình bức xạ, khối lượng lỗ đen dần nhỏ đi, đồng thời nhiệt độ hiệu dụng sẽ tăng lên, do đó bức xạ càng lớn. Giai đoạn cuối cùng xảy ra dồn dập dẫn đến một vụ nổ lượng tử.

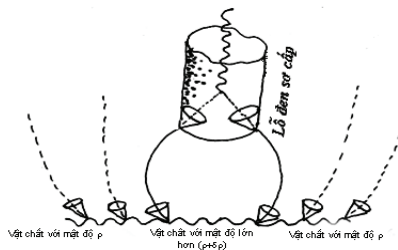
Nhiệt động học lỗ đen

Hawking và Jacob Bekenstein đã thiết lập được mối quan hệ giữa các đặc trưng của lỗ đen với các đại lượng nhiệt động học. Từ đó tìm ra “nhiệt động học lỗ đen”, đồng thời mở ra lĩnh vực mới: Nhiệt động học lỗ đen.

Định luật	Nhiệt động học thông thường	Nhiệt động học lỗ đen
Số 0	Mọi phần tử của hệ ở trạng thái cân bằng nhiệt có cùng một nhiệt độ T	Mọi điểm trên giới hạn chân trời có cùng một trọng lượng bề mặt $g = c^4/4GM$
Số 1	Nội năng, nhiệt năng và công năng được nối liền bởi hệ thức $dU = TdS - pdV$	Khối lượng, diện tích và mômen xung lượng được nối liền bởi hệ thức $dM = \frac{g}{8\pi} dA + \Omega$ A - diện tích lỗ đen (ở chân trời) g - gia tốc trọng trường bề mặt Ω - tốc độ góc
Số 2	Entropi không giảm theo thời gian $t_2 > t_1 \rightarrow S(t_2) \geq S(t_1)$	Diện tích lỗ đen không giảm theo thời gian $t_2 > t_1 \rightarrow A(t_2) \geq A(t_1)$

Lỗ đen sơ cấp

Stephen Hawking là người đầu tiên đưa ra khái niệm về lỗ đen sơ cấp và hiện nay trong vật lý thiên văn người ta phân biệt 3 loại lỗ đen: a) Lỗ đen sao - lỗ đen với khối lượng cỡ khối lượng các sao, những lỗ đen này phát sinh ở cuối đời các sao; b) Lỗ đen siêu nặng với khối lượng đến $10^9 M_\odot$ và hơn thế nữa, ở tâm các thiên hà; c) Lỗ đen sơ cấp hay nguyên thủy.



Hình 4. Mô tả quá trình hình thành của lỗ đen sơ cấp.

Trên hình 4 trục thời gian hướng từ dưới lên trên. Những vùng với mật độ vật chất cao hơn $\rho + \delta\rho$ trong quá trình chuyển động sẽ dẫn đến sự hình thành những lỗ đen sơ cấp.

Những cuốn sách phổ biến khoa học

Ngoài các công trình khoa học nêu trên, Stephen Hawking còn một số công trình khác rất giá trị như lý thuyết thống nhất, các nghiên cứu về vũ trụ học... Bên cạnh đó, ông còn rất nổi tiếng nhờ những cuốn sách phổ biến khoa học được viết bằng một ngôn ngữ diễn cảm đôi lúc pha chút hài hước về những vấn đề lớn nhất của vũ trụ, như: “A brief history of time”, “The grand design”, “The large structure of space-time”, “Black holes and baby Universe”, “My brief history”... Các cuốn sách này của ông đều là những tuyệt phẩm “best seller” chứa nhiều nội dung vật lý cao cấp. Trong đó, nhiều cuốn đã được dịch ra tiếng Việt như “Vũ trụ trong vỏ hạt dẻ”, “Lược sử thời gian”, “Bản thiết kế vĩ đại”... Riêng cuốn “Lược sử thời gian” do Cao Chi và Phạm Văn Thiều dịch đã được tái bản ở Việt Nam đến 18 lần.

Công trình học thuật tiêu biểu của Stephen Hawking

1. S.W. Hawking; R. Penrose (1970), “The Singularities of Gravitational Collapse and Cosmology”, *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, **314(1519)**, pp.529-548, Bibcode:1970RSPSA.314..529H, doi:10.1098/rspa.1970.0021.
2. S. Hawking (1971), “Gravitational Radiation from Colliding Black Holes”, *Physical Review Letters*, **26(21)**, pp.1344-1346, Bibcode:1971PhRvL..26.1344H, doi:10.1103/PhysRevLett.26.1344.
3. S.W. Hawking (1972), “Black holes in general relativity”, *Communications in Mathematical Physics*, **25(2)**, pp.152-166, Bibcode:1972CMaPh..25..152H, doi:10.1007/BF01877517.
4. S.W. Hawking (1974), “Black hole explosions?”, *Nature*, **248(5443)**, pp.30-31, Bibcode:1974Natur.248...30H, doi:10.1038/248030a0.
5. S.W. Hawking (1982), “The development of irregularities in a single bubble inflationary universe”, *Physics Letters B*, **115(4)**, pp.295-297, Bibcode:1982PhLB..115..295H, doi:10.1016/0370-2693(82)90373-2.
6. J. Hartle, S. Hawking (1983), “Wave function of the Universe”, *Physical Review D*, **28(12)**, pp.2960-2975, Bibcode:1983PhRvD..28.2960H, doi:10.1103/PhysRevD.28.2960.
7. S. Hawking (2005), “Information loss in black holes”, *Physical Review D*, **72(8)**, Bibcode:2005PhRvD..72h4013H, arXiv:hep-th/0507171, doi:10.1103/PhysRevD.72.084013.

Kết luận

Có thể nói tóm lược những công trình nghiên cứu lớn của Stephen Hawking là: Định lý kỳ dị Penrose-Hawking, lỗ đen xét như một kỳ dị, bức xạ Hawking, nhiệt động học lỗ đen, lỗ đen sơ cấp nguyên thủy (không kể đến các công trình khác). Riêng chừng ấy thành tựu thôi cũng đủ để vinh danh mọi nhà khoa học, hơn nữa đây lại là một nhà khoa học bị căn bệnh hiểm nghèo ALS. Chúng ta nghiêng mình trước những thành tựu khoa học của nhà vật lý lý thuyết vĩ đại Stephen Hawking.