

# VẬT CHẤT TỐI: Sự tìm kiếm còn nhiều thách thức

Đình Văn Chiến

Cục Năng lượng nguyên tử, Bộ Khoa học và Công nghệ

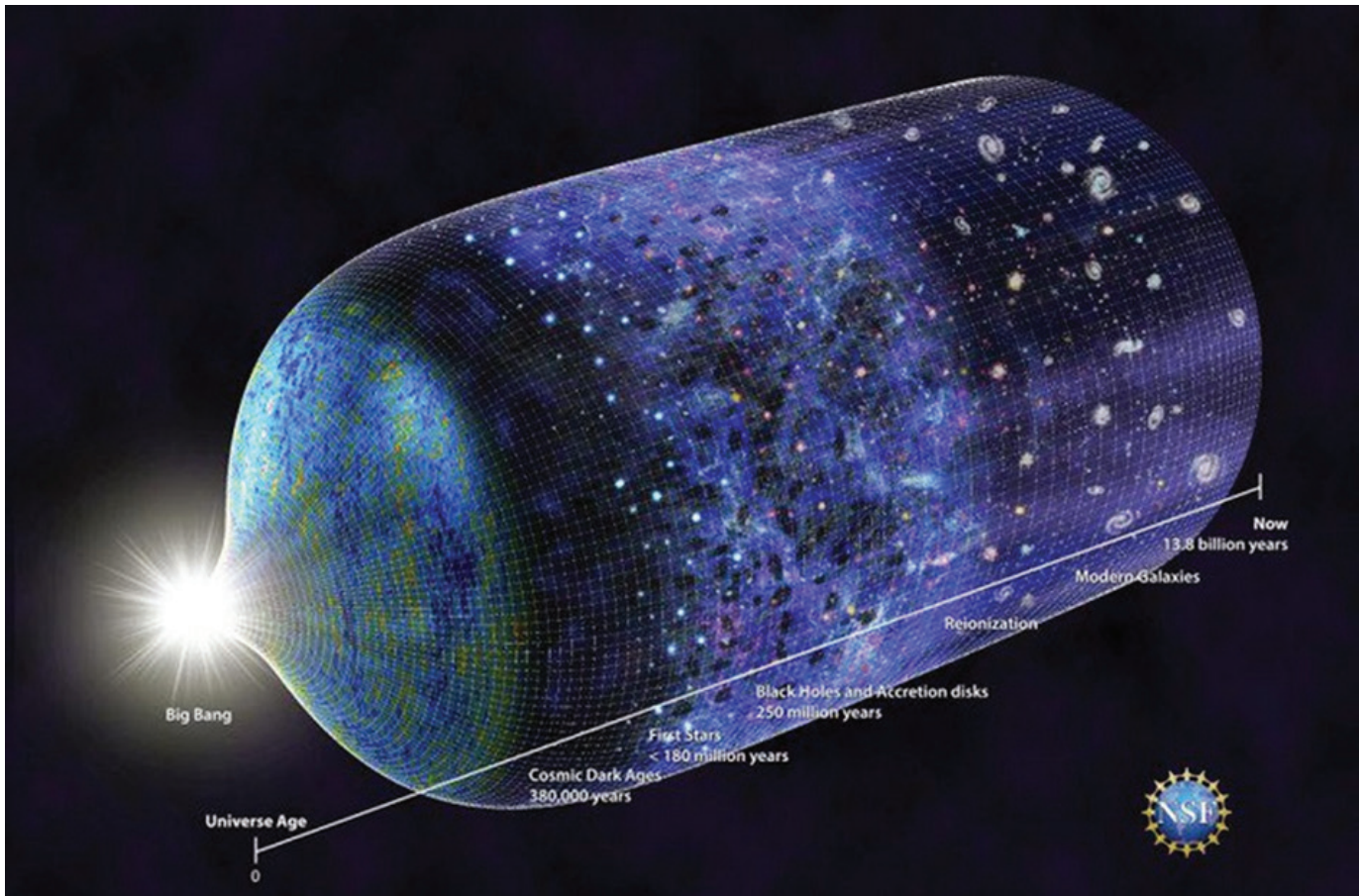
Hơn một thế kỷ qua đã ghi nhận nhiều tiến bộ đáng kinh ngạc của nhân loại trong những khám phá về lĩnh vực thiên văn học, cũng như những hiểu biết về vũ trụ. Tuy vậy, vẫn còn rất nhiều điều bí ẩn chưa được giải đáp, trong đó vật chất tối là một trong những thách thức lớn của thế giới khoa học.

## Vật chất tối

Vật chất tối là thuật ngữ được sử dụng rộng rãi để mô tả dạng vật chất được giả thuyết trong vũ trụ [1]. Đây là loại vật chất có thành phần chưa được biết đến đúng như tên gọi còn nhiều bí ẩn và chưa được làm sáng tỏ. Vật

chất tối không phát ra hay phản chiếu đủ bức xạ điện từ để có thể quan sát được bằng các công cụ khoa học tiên tiến hiện nay, tuy nhiên chúng để lại dấu vết thông qua hiệu ứng hấp dẫn tác động lên những ngôi sao và thiên hà mà các nhà thiên văn quan sát

được. Độ lớn của lực hấp dẫn đã cho phép các nhà khoa học ước tính vật chất tối chiếm khoảng 85% trong tổng thành phần vật chất của vũ trụ. Điều đó có nghĩa là, 5% của vũ trụ là vật chất thông thường và 25% là vật chất tối [1, 2].



Vật chất tối chiếm chủ yếu thành phần vật chất của vũ trụ.

Sự phát triển của khoa học và công nghệ đang ngày càng giúp con người có khả năng nhìn sâu hơn vào vũ trụ, tìm hiểu về nguồn gốc, sự hình thành cũng như các thành phần cấu tạo nên vũ trụ. Mặc dù những hiểu biết đến nay chưa phải đầy đủ, nhưng trong nhiều thập kỷ qua, các nhà khoa học vẫn không ngừng nỗ lực trên con đường tìm kiếm để hiểu rõ hơn về vật chất tối [1].

Sự kết hợp giữa các quan sát thiên văn và mô hình lý thuyết về thành phần của vũ trụ cho thấy, vũ trụ là không gian bao gồm thành phần chính là vật chất và năng lượng tối [1]. Theo tiên đoán trong thuyết tương đối rộng của Einstein, năng lượng tối là loại năng lượng cần thiết cho sự giãn nở gia tốc của vũ trụ. Năng lượng tối tồn tại vô hình, chiếm khoảng 69% của vũ trụ, phần còn lại là 30% vật chất và khoảng 1% là các neutrino, photon và lỗ đen [1, 2]. Tuy nhiên, thành phần vật chất của vũ trụ không hoàn toàn chỉ bao gồm một dạng vật chất có thể quan sát được trực tiếp (vật chất thông thường) mà phần lớn là dạng vật chất được xác nhận gián tiếp, hay còn gọi là vật chất tối.

### **Đề xuất của Fritz Zwicky và bằng chứng đầu tiên về sự tồn tại của vật chất tối**

Năm 1932, việc phát hiện ra sự tồn tại của neutron của nhà vật lý người Anh J. Chadwick đã hoàn thành bức tranh về cấu trúc nguyên tử [3]. Thành tựu này tưởng như đã mở ra toàn bộ hiểu biết của con người về vật chất cấu tạo nên vũ trụ kể từ khi nhà hóa học người Anh John Dalton phác thảo lý thuyết nguyên tử (1803).



Nhà thiên văn học Fritz Zwicky đang quan sát vũ trụ từ kính viễn vọng Schmidt tại Đài thiên văn Palomar (California, Mỹ) vào năm 1930.

Tuy nhiên, sau đó 1 năm (1933), nhà thiên văn học người Thụy Sĩ Fritz Zwicky đã công bố về sự tồn tại của một dạng vật chất không giống dạng vật chất thông thường, chiếm phần lớn thành phần vật chất cấu thành vũ trụ [4].

Fritz Zwicky đã đưa ra suy đoán trên khi phát hiện ra sự khác biệt tương đối giữa lý thuyết và quan sát trong quá trình nghiên cứu xác định mật độ khối trung bình trong cụm thiên hà Coma. Theo đó, do ảnh hưởng của lực hấp dẫn giữa các vật thể có khối lượng, tốc độ trung bình của các thiên hà trong một cụm phụ thuộc vào khối lượng của cụm thiên hà đó. Dựa trên tốc độ di chuyển quan sát được của các thiên hà trong cụm, Fritz Zwicky đã xác định được mật độ khối trung bình của cụm thiên hà Coma. Cùng với phương pháp trên, Fritz Zwicky còn sử dụng một phương pháp độc lập dựa trên độ sáng quan sát từ các thiên hà để xác định mật độ khối trung bình của cụm thiên hà Coma.

Với tất cả hiệu chỉnh sai số các phép đo, kết quả gây ngạc nhiên đó là mật độ khối trung bình của cụm thiên hà Coma theo tốc độ lớn hơn ít nhất 400 lần so với mật độ khối trung bình thu được trên cơ sở quan sát vật chất phát sáng của cụm thiên hà Coma [4]. Điều này có nghĩa là, cụm thiên hà Coma phải chứa một khối lượng lớn vật chất vô hình so với vật chất phát sáng. Dạng vật chất vô hình đó được Fritz Zwicky gọi là vật chất tối.

Tuy nhiên, việc nghĩ ra một dạng vật chất mới khi không thể lý giải được hiện tượng bằng các lực thông thường đã khiến cho đề xuất của Fritz Zwicky nhanh chóng bị lãng quên. Năm 1970, nhà thiên văn học người Mỹ V.C. Rubin phát hiện ra điều bất thường trong chuyển động của các ngôi sao [5], khi đó cộng đồng khoa học dường như mới xác nhận có sự tồn tại của vật chất tối.

Trong quá trình nghiên cứu đặc điểm của các thiên hà xoắn ốc xoay quanh trung tâm thiên hà [5],



V.C. Rubin và W.K.Jr. Ford đã phát hiện những ngôi sao ở vùng rìa của thiên hà đang chuyển động quay trên quỹ đạo nhanh như những ngôi sao ở vùng trung tâm. Điều này vốn không phù hợp với lý thuyết hấp dẫn Newton, khi mà theo quy luật các ngôi sao xa trung tâm thiên hà phải chuyển động chậm dần do lực hấp dẫn giảm và vì chúng chuyển động nhanh với tốc độ không đổi theo bán kính quỹ đạo, nên chắc chắn phải có một thứ gì đó ở vùng rìa thiên hà để giữ chúng trên quỹ đạo của thiên hà. Lời giải thích đó chính là vật chất tối. Đây cũng là bằng chứng đầu tiên về sự tồn tại của vật chất tối được giới khoa học thừa nhận kể từ sau đề xuất của Fritz Zwicky.

### Những ứng viên tiềm năng cấu thành nên vật chất tối

Kể từ sau bằng chứng đầu tiên của V.C. Rubin về vật chất tối, nhiều nghiên cứu thiên văn của các nhà khoa học trên thế giới đã ngày càng củng cố mạnh mẽ về sự tồn tại của vật chất tối trong vũ trụ. Điển hình trong số đó là kết quả của nhóm nghiên cứu thuộc Đại học Havard (Mỹ) năm 1981 khi phát hiện các thiên hà không sắp xếp theo một trật tự thống nhất. Các thiên hà tập trung theo những cụm lớn khác nhau, tạo thành mạng lưới vũ trụ và được liên kết với nhau nhờ vật chất tối [6]. Tuy vậy, vật chất tối có cấu tạo từ những hạt như thế nào, tính chất ra sao đến nay vẫn còn đang là bí ẩn lớn?

Hiện nay, các nhà khoa học đang cố gắng tìm kiếm loại hạt cấu thành nên vật chất tối thông qua va chạm giữa hạt proton mang năng lượng rất cao trong

máy gia tốc hạt cỡ lớn. Điều này có thể tương tự những gì đã xảy ra ở vụ nổ Big Bang, hình thành nên vũ trụ. Những dự án thí nghiệm lớn như LUX-ZEPLINE (Mỹ), SuperCDMS (Canada) đang truy tìm hạt vật chất tối dựa trên những thử nghiệm tác động lên các hạt vật chất thông thường để phát hiện một lực yếu từ tín hiệu cực nhạy của hệ thống máy dò [7, 8]. Trong đó, tập trung truy tìm loại hạt ứng viên của vật chất tối được biết đến rộng rãi là hạt WIMP (Weakly Interacting Massive Particles).

Hạt WIMP là loại hạt khối lượng lớn nhưng tương tác rất yếu. Đây là loại hạt giả thuyết và theo các mô hình lý thuyết nếu loại hạt tương tác yếu, khối lượng gấp 100 lần hạt proton được tạo ra từ vụ nổ Big Bang thì mật độ của chúng được ước tính sẽ tương đương lượng vật chất tối trong vũ trụ. Chính vì vậy, hạt WIMP được xem là hạt ứng viên của vật chất tối [1, 2].

Một ứng viên tiềm năng khác của vật chất tối là hạt axion [1]. Đây là một dạng hạt cơ bản, được nêu trong lý thuyết đề xuất năm 1977 bởi hai nhà vật lý R.D. Peccei (Italia) và H.R. Quinn (Australia) [9], nhằm giải quyết bài toán vi phạm điện tích chẵn lẻ trong tương tác mạnh sắc động học lượng tử. Kết quả dự đoán trong quá trình nghiên cứu khối lượng của axion theo các mô hình khác nhau cho thấy, nếu khối lượng axion rất nhẹ thì có quá nhiều axion được tạo nên trong thời kỳ Big Bang, tương đương với lượng vật chất tối của vũ trụ. Do đó, axion cũng trở thành một loại hạt ứng viên của vật chất

tối. Một số dự án thí nghiệm lớn đang tập trung tìm kiếm hạt axion như ADMX (Mỹ), OSQAR-CERN (Thụy Sĩ) [10, 11].

Ngoài các hạt WIMP, axion, một số hạt giả thuyết khác như sterile neutrino hay các hạt siêu đối xứng cũng là những ứng viên của vật chất tối [12]. Tuy nhiên, việc phát hiện ra một trong số những ứng viên này vẫn còn là công việc đòi hỏi nhiều công sức. Các nhà nghiên cứu cho rằng, dù các hạt giả thuyết này khác nhau nhưng cũng không loại trừ vật chất tối có thể được cấu thành từ sự kết hợp của một số loại hạt chứ không phải chỉ từ riêng một loại hạt.

Trong một công trình công bố trên tạp chí Physics Letter B tháng 3/2021 [13], nhóm nghiên cứu thuộc Đại học Sussex (Vương quốc Anh) đã sử dụng lý thuyết về hấp dẫn lượng tử để tính toán phạm vi khối lượng vật chất tối. Với giả thiết chỉ có duy nhất lực hấp dẫn tương tác với vật chất tối, nhóm nghiên cứu đã xác định được khối lượng của hạt vật chất tối sẽ ở trong khoảng từ  $10^{-3}$  đến  $10^7$  eV. Phạm vi này hẹp hơn so với quãng từ  $10^{-24}$  eV đến  $10^{19}$  GeV theo các mô hình lý thuyết đề xuất trước đó. Kết quả nghiên cứu cho thấy, nếu không có tác động của bất kỳ của loại lực nào chưa được khám phá thì hạt vật chất tối không thể có khối lượng “siêu nhẹ” hoặc “siêu nặng” như một số lý thuyết đã nêu. Kết quả này đã làm hẹp hơn phạm vi khối lượng của các hạt vật chất tối tiềm năng, giúp các nhà khoa học có thể tập trung vào việc tìm kiếm trong phạm vi được thu hẹp. Ngoài ra, một điều rất ý nghĩa

trong nghiên cứu này chỉ ra đó là: sẽ tồn tại một loại lực mà con người chưa biết đến, nếu như khối lượng của hạt vật chất tối nằm ở ngoài phạm vi khối lượng được xác định từ nhóm nghiên cứu.

### Hứa hẹn đột phá từ cách tiếp cận mới

Một thực tế khiến cho việc tìm kiếm vật chất tối trở thành thách thức đối với con người là do những hiểu biết về khối lượng và thành phần của nó còn rất hạn chế. Lý do duy nhất mà chúng ta biết có sự tồn tại của vật chất tối là vì sự tham gia vào tương tác hấp dẫn. Ngoài ra, chưa có bất kỳ bằng chứng nào cho thấy vật chất tối có tham gia vào các tương tác khác. Những nghiên cứu tìm kiếm vật chất tối cho đến nay đều dựa trên cơ sở các giả thuyết hoặc mô hình lý thuyết giả định.

Theo những mô hình lý thuyết, các thực nghiệm dò tìm được thiết lập thông qua va chạm kỳ vọng giữa các hạt vật chất tối vi mô và hạt nhân trong thiết bị dò siêu nhạy, từ đó thu nhận tín hiệu của năng lượng bật lại do va chạm sinh ra. Tương tự như phương pháp truyền thống này, một cách tiếp cận mới đầy hứa hẹn đó là sử dụng các thiên thể như những máy dò vật chất tối khổng lồ. Nghiên cứu lý thuyết về cách tiếp cận mới đã được nhóm nghiên cứu tại Phòng thí nghiệm máy gia tốc quốc gia SLAC (Mỹ) và Đại học Saclay Paris (Pháp) công bố trên Tạp chí Physical Review Letters tháng 01/2022 [14]. Theo đó, thay vì dò tìm những hạt vật chất tối vi mô, nhóm nghiên cứu quan tâm đến khối vật chất tối có kích cỡ tiểu hành tinh.

Trong những khảo sát trước đó, nhóm nghiên cứu hướng đến việc dò tìm năng lượng nhiệt sinh ra từ một vụ nổ sao do quá trình tương tác giữa tiểu hành tinh vật chất tối và một ngôi sao thông thường. Tuy nhiên, do tính ổn định của các ngôi sao thông thường nên có thể sự tương tác không dẫn đến một vụ nổ sao, nhưng năng lượng sinh ra sau va chạm sẽ có thể quan sát được. Kết quả nghiên cứu cuối cùng cho thấy, khi vật chất tối vi mô dịch chuyển qua một ngôi sao, những sóng xung kích có thể được tạo ra và truyền đến bề mặt ngôi sao. Các sóng này có thể dẫn đến những phát xạ tia X, tia UV, tia quang học đặc trưng có thể phát hiện bằng kính viễn vọng có độ tinh vi cao.

Mặc dù cách tiếp cận này mới chỉ dừng lại ở nghiên cứu lý thuyết, nhưng những kết quả thu được hứa hẹn sẽ mở ra một bước đột phá mới, giúp giải quyết bí ẩn lớn của vũ trụ đó là trả lời cho câu hỏi: bản chất của vật chất tối là gì? Việc tìm ra thành phần, tính chất cơ bản của vật chất tối cũng như tương tác của nó trong thiên hà sẽ mang tới những thông tin giá trị về nguồn gốc, cấu tạo, sự hình thành cũng như dự báo về quá trình phát triển của vũ trụ.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] M. Tanabashi, et al. (2018), "Particle data group", *Physical Review D*, **98**, pp.346-424.  
 [2] D.N. Spergel (2015), "The dark side of cosmology: Dark matter and dark energy", *Science*, **347**, pp.1100-1102.  
 [3] J. Chadwick (1932), "Possible existence of a Neutron", *Nature*, **129(3252)**, p.312.  
 [4] F. Zwicky (1933), "Die Rotverschiebung von extragalaktischen Nebeln", *Helvetica Physica Acta.*, **6**, pp.110-127.

[5] V.C. Rubin, W.K.Jr. Ford (1970), "Rotation of the Andromeda Nebula from a Spectroscopic survey of Emission regions", *The Astrophysical Journal*, **159**, pp.379-403.

[6] M. Davis, et al. (1981), "The formation of galaxies from massive neutrinos", *The Astrophysical Journal*, **250**, pp.423-431.

[7] D.S. Akerib, et al. (2014), "First results from the LUX dark matter experiment at the sanford underground research facility", *Physical Review Letters*, **112**, p.091303.

[8] R. Agnese, et al. (2018), "Low-mass dark matter search with CDMS lite", *Physical Review D*, **97**, p.022002.

[9] R.D. Peccei, H.R. Quinn (1977), "Conservation in the presence of pseudoparticles", *Physical Review Letters*, **38(25)**, pp.1440-1443.

[10] T. Braine, et al. (2020), "Extended search for the invisible axion with the axion dark matter experiment", *Physical Review Letters*, **124**, p.101303.

[11] M. Sulc, et al. (2013), "Axion search by laser-based experiment OSQAR", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, **718**, pp.530-532.

[12] G. Bertone, et al. (2005), "Particle dark matter: Evidence, candidates and constraints", *Physics Reports*, **405**, pp.279-390.

[13] X. Calmet, F. Kuipers (2021), "Theoretical bounds on dark matter masses", *Physics Letters B*, **814**, p.136068.

[14] A. Das, et al. (2022), "Stellar shocks from dark matter asteroid impacts", *Physical Review Letters*, **128**, p.021101.