

Hình 1. Hình ảnh các tâm cuộn xoáy siêu chảy.

MÔ HÌNH SIÊU CHẢY CỦA VẬT CHẤT TỐI

Giả thuyết về vật chất tối (dark matter) đã giải thích được nhiều dữ liệu thiên văn, song kết quả quan trắc ở kích thước thiên hà không phù hợp với các dữ liệu ở kích thước lớn hơn thuộc các cụm thiên hà. Năm 2016, hai tác giả Lasha Berezhiani và Justin Khoury (Trung tâm Vũ trụ học, Khoa Vật lý và Thiên văn học, Đại học Pennsylvania, Mỹ) đã đưa ra lý thuyết vật chất tối là chất lỏng siêu chảy (superfluid) [1]. Đây là một kết quả hết sức lý thú, lôi cuốn sự chú ý của giới vật lý vì lý thuyết này có khả năng giải quyết vấn đề nêu trên và hơn nữa có ưu điểm lớn là nối liền vật lý môi trường đông đặc với vật lý vũ trụ.

Siêu chảy là gì?

Siêu chảy là tính chất đặc trưng của chất lỏng với độ nhớt bằng không và chuyển động không tiêu hao động năng. Khi khuấy trộn chất lỏng siêu chảy ta thấy hình thành những cuộn xoáy quay không ngừng (hình 1). Siêu chảy xuất hiện trong các đồng vị Helium 3 và 4 khi hạ nhiệt độ của chúng đến nhiệt độ đông lạnh.

Siêu chảy được phát hiện trong chất lỏng helium bởi nhà khoa học người Nga P.L. Kapitsa (Giải Nobel Vật lý năm 1978). Siêu chảy được mô tả trong các lý thuyết vĩ mô và vi mô. Lý thuyết vi mô của siêu chảy helium-3 được xây dựng bởi 3 nhà khoa học người Mỹ (đoạt Giải Nobel Vật lý năm 1996): D.M. Lee (Đại học Ornell), D.D. Osheroff (Đại học Stanford) và R.C. Richardson (Đại học Cornell). Cơ chế siêu chảy về cơ bản tương tự như lý thuyết cặp đôi electron trong siêu dẫn.

Vật chất tối là gì?

Một phần lớn vật chất trong vũ trụ là vật chất tối, không có vật chất tối thì không có sao, thiên hà có sự sống. Vật chất tối đã giữ chặt vũ trụ lại. Vào những năm 30 của thế kỷ trước, Fritz Zwicky - một nhà thiên văn trẻ người Thụy Sĩ lập nghiệp ở Mỹ, khi nghiên cứu chuyển động của 7 thiên hà trong chòm Coma đã nhận thấy rằng 7 thiên hà này chuyển động quá nhanh so với tính toán thực hiện trên cơ sở các khối lượng quan sát được xung quanh. Muốn giải thích được chuyển động nhanh đó, xung quanh 7 thiên hà nêu trên cần phải có một khối lượng vật chất lớn hơn 400 lần khối lượng quan sát được, nhưng khối lượng thiếu này không tìm thấy ở đâu cả. Bài toán *vật chất tối* ra đời từ đó (1933).

Như vậy trong vũ trụ có 4 thành phần: Năng lượng tối (dark energy) gây lực đẩy; vật chất tối gây lực hút; vật chất thông thường và cuối cùng là các bức xạ. Vật chất tối có thể là một loại vật chất

Nhìn ra thế giới

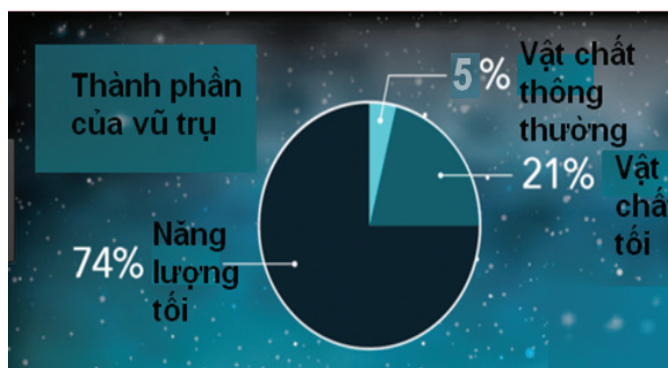
mà chúng ta chưa hề biết đến. Hiện nay người ta hình thành quan điểm sau: Vật chất tối gồm 2 thành phần: Thành phần thứ nhất là baryonic (như vật chất thông thường); thành phần thứ hai không phải là vật chất thông thường gồm những hạt mới lạ (exotic) chưa tìm ra được như: Axion, WIMPs, hạt đối xứng gương... Phát hiện vật chất tối là một trong những vấn đề cơ bản của vật lý thế kỷ XXI.

Các thành phần năng lượng trong vũ trụ

Trong vũ trụ có 3 thành phần quan trọng: Năng lượng tối gây lực đẩy, vật chất tối gây lực hút, vật chất thông thường. Sự biến thiên tỷ phần của năng lượng tối/vật chất tối/vật chất thông thường theo thời gian được trình bày ở bảng 1 và hình 2.

Bảng 1. Sự biến thiên tỷ phần của năng lượng tối/vật chất tối/vật chất thông thường theo thời gian.

Thời điểm	Năng lượng tối (%)	Vật chất tối (%)	Vật chất thông thường (%)
11,5 tỷ năm trước	3,5	80,4	16,1
7,5 tỷ năm trước	22,6	64,5	12,9
Hiện tại	74	21	5
11,5 tỷ năm sau	95	4,2	0,8
24,5 tỷ năm sau	99,3	0,6	0,1

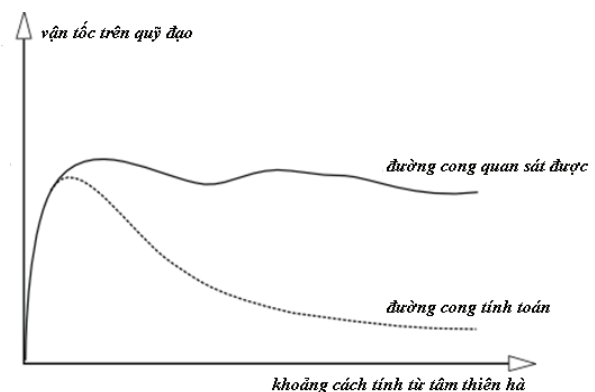


Hình 2. Thành phần hiện tại của vũ trụ.

Mô hình MOND (chỉ đúng trong kích thước thiên hà)

Các quan trắc thiên văn cho thấy, các sao chuyển động quanh tâm các thiên hà với một vận tốc gần như không thay đổi theo khoảng cách từ tâm các thiên hà. Điều này trái với các tính toán theo thuyết hấp dẫn Newton và trái với các quan trắc trong Thái

dương hệ (theo lý thuyết Newton vận tốc này phải giảm theo khoảng cách từ tâm các thiên hà). Người ta nói rằng vận tốc trở nên “phẳng” (hình 3). Đây là bài toán chuyển động quay của thiên hà. Bài toán này đã dẫn đến giả thuyết tồn tại vật chất tối thâm nhập vào các thiên hà và trải rộng thành một quầng xung quanh thiên hà (theo Fritz Zwicky - nhà khoa học người Thụy Sĩ). Khi giả thiết rằng có những quầng vật chất tối trong và xung quanh các cấu trúc thiên hà thì định luật quen thuộc $1/r^2$ của Newton được khôi phục.



Hình 3. Đường cong biểu diễn vận tốc trên quỹ đạo của một thiên hà xoắn ốc tiêu biểu.

Vật chất tối không quan sát trực tiếp được vì không tương tác với vật chất thông thường. Để loại bỏ được vật chất tối, nhiều mô hình đã được đưa ra. Mô hình được nhiều người quan tâm là MOND (Modified Newton Dynamics - Động học Newton sửa đổi), xây dựng năm 1983 bởi Mordehai Milgrom (Viện Khoa học Weizmann, Israel). MOND đã sửa đổi định luật Newton và sử dụng một định luật mới. Dùng MOND có thể chứng minh được rằng $v = (GMa_0)^{1/4}$, G - hằng số hấp dẫn, và như thế vận tốc trên quỹ đạo không còn phụ thuộc vào r , phù hợp với các quan sát thiên văn đối với vận tốc ở rìa những thiên hà. Milgrom đã xác định được trị số a_0 để MOND cho lại lý thuyết hấp dẫn Newton, đồng thời hiệu chỉnh lý thuyết Newton ở những khoảng cách nhất định để có được các kết quả phù hợp với quan trắc thiên văn mà không cần cầu cứu đến vật chất tối.

Song mô hình MOND chỉ đúng trong phạm vi thiên hà, còn trong kích thước lớn hơn thuộc các cụm thiên hà thì MOND không còn đúng nữa.

MOND và vật chất tối siêu chảy

Nếu MOND và vật chất tối liên quan với nhau thì cần tìm một mô hình đúng cho mọi kích thước của vũ trụ. Người ta nghĩ đến ý tưởng không thời gian là một chất lỏng. Nếu là chất lỏng thì đó là chất lỏng gì? Hai tác giả Lasha Berezhiani và Justin Khoury đã đưa ra lý thuyết “Vật chất tối là chất lỏng siêu chảy - Theory of Dark Matter Superfluidity”. Như chúng ta biết, chất lỏng siêu chảy có 2 thành phần: Thành phần siêu chảy và thành phần không siêu chảy.

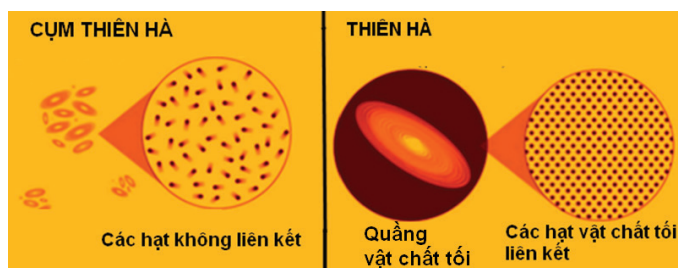
Ở kích thước thiên hà thì vật chất tối có thành phần chủ yếu là thành phần siêu chảy với độ dài liên kết bằng kích thước thiên hà; còn ở kích thước các cụm thiên hà (ở đây nhiệt độ cao hơn) thì vật chất tối có thành phần chủ yếu là thành phần không siêu chảy. Như vậy, mô hình này có khả năng giải quyết bài toán nêu ra trong phần dẫn nhập.

Cụm thiên hà

Những cụm thiên hà lớn được kết nối với nhau bởi một lực hấp dẫn ngoại lai nào đó. Chính vật chất tối có thể tạo nên lực đó. Ở kích thước lớn của các cụm thiên hà, các hạt vật chất tối chuyển động hầu như không liên kết với nhau (xem hình 4, trái).

Thiên hà

Các thiên hà riêng lẻ cũng cần một lực để kết dính, song vật chất tối thông thường cũng gặp khó khăn để mô tả lực đó. Các hạt ngưng tụ thành siêu chảy và chất lỏng siêu chảy này có thể tạo nên một lực mới (xem hình 4, phải).



Hình 4. Mô hình siêu chảy ở hai kích thước: Cụm thiên hà (trái), thiên hà (phải).

Như vậy, mô hình MOND chỉ đúng với các thiên hà riêng lẻ. Ở kích thước lớn hơn, MOND không còn đúng. Để thống nhất lý thuyết ở mọi kích thước cần có lý thuyết siêu chảy với 2 thành phần.

Hai tác giả trên nhận thấy rằng có một sự tương tự đến ngạc nhiên giữa các phương trình sóng âm trong siêu chảy với các phương trình của MOND. Từ đó, hai tác giả đưa ra tiên đề rằng vật chất tối

phonon được mô tả bởi hàm tác động phi tương đối MOND:

$$P(X) \sim \Lambda X \sqrt{|X|}; \quad X = \dot{\theta} - m\Phi - \frac{(\nabla\theta)^2}{2m}$$

Trong đó: Φ là thế hấp dẫn, θ là trường vô hướng mô tả phonon, hằng số Λ được chọn $\sim \text{meV}$ để tái tạo lại gia tốc MOND. Để đưa vào lực tác động giữa vật chất thông thường, cần vật chất tối phonon tương tác với mật độ baryon ρ_b theo công thức:

$$L_{\text{int}} \sim \frac{\Lambda}{M_{Pl}} \theta \rho_b$$

Và như thế, phonon siêu chảy tương tác với vật chất baryon để tạo nên một lực tựa MOND. Vậy các hạt trong thiên hà chịu 2 tác động: Lực Newton và lực gây nên bởi các phonon. Các nhà vật lý xem các phonon siêu chảy này có thể là các hạt trong thành phần của vật chất tối.

Chú ý vật chất tối siêu chảy có nhiệt độ và phương trình trạng thái giống như hệ nguyên tử lạnh, do đó mở ra khả năng nghiên cứu thiên hà trong phòng thí nghiệm.

Truy tìm siêu chảy trong vũ trụ

Bước tiếp theo của hai tác giả là truy tìm dấu vết siêu chảy trong vũ trụ. Hai tác giả lưu ý rằng chất lỏng siêu chảy khi quay thì phát sinh những tâm cuộn xoáy. Những quầng halo vật chất tối siêu chảy trong vũ trụ khi quay phải để lại những cuộn xoáy mà chúng ta có hy vọng quan sát được [2].

Kết luận

Hiện nay lý thuyết vật chất tối siêu chảy là lý thuyết hợp lý nhất để mô tả vật chất tối trong vũ trụ ở mọi kích thước (thiên hà và cụm thiên hà).

Mô hình của hai tác giả Lasha Berezhiani và Justin Khoury đặc biệt lý thú vì làm xích gần lại nhau hiện tượng siêu chảy trong vật lý môi trường đồng đặc với vật chất tối trong vật lý vũ trụ ✍

Cao Chi

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Lasha Berezhiani and Justin Khoury (2016), *Theory of Dark Matter Superfluidity*: arXiv:1507.01019v2 [astro-ph.CO].
- [2] Jennifer Ouellette, *Dark Matter Recipe Calls for One Part Superfluid*, <https://www.quantamagazine.org/dark-matter-recipe-calls-for-one-part-superfluid-20170613/>.