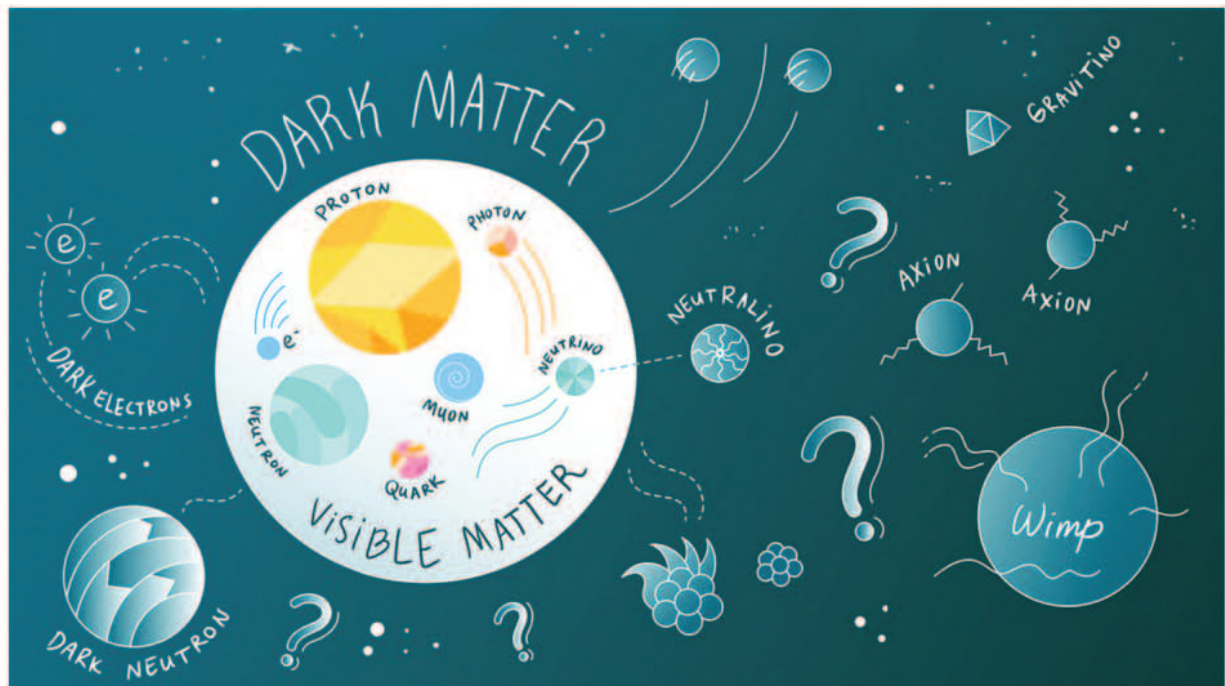




CẤU TRÚC CỦA VẬT CHẤT TỐI: MỘT BÍ ẨN CỦA VŨ TRỤ

Đến nay người ta vẫn chưa phát hiện được vật chất tối (VCT). VCT là một thế giới lạ, có thể là cả một vũ trụ chứa nhiều hạt. VCT là một cấu trúc phức hợp gồm những nguyên tử, phân tử tối và thậm chí kết hợp với nhau thành ngân hà và các thiên hà khác. Nhiều thực nghiệm đang truy lùng những khu vực tối (dark sector) đó.

Như chúng ta biết, vũ trụ gồm 70% năng lượng tối, 25% VCT và 5% vật chất thông thường (VCTT).

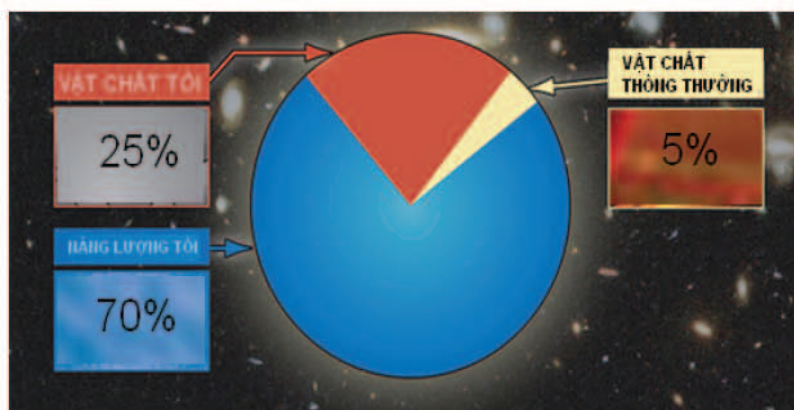
bằng các định luật vật lý đã biết dựa trên số vật chất thấy được. Nếu chỉ có VCTT (mà chúng ta quan sát được) thì đáng lý Andromeda và các thiên hà quay nhanh như thế

Andromeda và các thiên hà khác quay nhanh như vậy.

Nhờ VCT người ta có thể giải thích nhiều khía cạnh của vũ trụ (chuyển động nhanh của các thiên hà, sự phân bố của vật chất khi có hai cụm thiên hà va chạm, sự tồn tại các lăng kính hấp dẫn - hiện tượng bẻ cong tia sáng - của các thiên hà nằm ở xa).

Vật chất tối

Mặc dù chúng ta không biết rõ thành phần của VCT song cũng biết được một số tính chất từ các quan trắc thu được do tác động VCT lên VCTT và từ các mô hình dựa trên lực hấp dẫn của VCT. Vì VCT không có tương tác điện từ (hấp thụ và bức xạ điện từ) cho nên VCT phải là trung hòa về điện. VCT không có tương tác mạnh (dẫn đến sự hình thành các hạt nhân nguyên tử), nếu không thì chúng ta đã quan sát được tương



Hình 1: vũ trụ = năng lượng tối + VCT + VCTT

Thiên hà lăng giềng Andromeda của chúng ta đã đặt ra một bí ẩn cho thiên văn học. Vận tốc quay lớn của nó không thể giải thích

không thể tồn tại. Các nhà thiên văn học cho rằng, phải có một loại VCT bao quanh có khả năng gia tăng lực hấp dẫn mới cho phép

tác VCT với các hạt năng lượng cao trong tia vũ trụ. VCT dường như cũng không có tương tác yếu. Sự phân bố VCT là ổn định xét trên kích cỡ thời gian vũ trụ, như vậy VCT phát sinh từ Big Bang.

Một số lý thuyết VCT cho rằng, các hạt VCT có một đại lượng bảo toàn là số chẵn lẻ (parity). Có 2 loại VCT với parity = -1 và +1. Vậy VCT không thể phân rã thành VCTT, vì nếu có phân rã thì VCT biến mất chỉ còn VCTT cho nên parity đó không được bảo toàn. Một ứng viên đắt giá (tuy chưa chắc chắn) cho VCT là hạt WIMP (Weakly Interacting Massive Particle). WIMP là những hạt có khối lượng suy ra từ siêu đối xứng, hạt nhẹ nhất trong các WIMP là neutralino. Để tìm WIMP cần có nhiệt độ thấp và các detector đặt sâu trong lòng đất nhằm tránh các tương tác khác với tia vũ trụ. Song đến nay người ta vẫn chưa thu được kết quả nào về WIMP.

Vật chất tối phức hợp

Người ta giả định rằng có nhiều loại VCT và có nhiều loại tương tác trong VCT. Các hạt VCT tương tác với nhau và cảm thụ được một lực giữa chúng mà VCTT không biết đến. Những hạt này có thể mang một "loại điện tích" có khả năng hút hoặc đẩy, trong khi bản thân VCT là trung hòa về điện tích. Tương tự như trong VCTT các điện tích có thể bức xạ photon thì trong khu vực VCT các hạt mang điện tích tối cũng có thể bức xạ photon tối (dark photon). Đây lẽ dĩ nhiên không phải là photon ánh sáng, nhưng chúng tương tác với điện tích tối giống như photon tương tác với điện tích thông thường.

Có thể nghĩ rằng thế giới tối giống như một thế giới gương của chúng ta. Trong thế giới đó nguyên tử tối bức xạ photon tối với xác suất tương tự VCTT bức xạ photon. Trong VCTT sự bức xạ photon cho phép năng lượng thay đổi và đó là lý do các thiên hà trong quá trình tiến triển co về những cấu trúc hình đĩa. Những khối khí trong lòng thiên hà vì bức xạ điện từ mà co cụm lại với nhau. Sự bảo toàn momen góc không cho phép vật chất co về một điểm, song có thể dễ dàng biến thành một cấu trúc dạng đĩa. Nếu những điều như thế cũng xảy ra với VCT thì bức xạ photon tối cũng sẽ dẫn đến sự hình thành những cấu trúc đĩa.

Mặt khác chúng ta lại biết rằng, sự phân bố của phần lớn VCT cần thiết cho việc giải thích sự hình thành các thiên hà là phải có dạng những đám mây hình cầu. Như vậy, vì sự tồn tại các dạng đám mây mà VCT không hoàn toàn là ánh xạ gương của VCTT về mặt hình học. Có khả năng chỉ một phần nhỏ VCT về mặt hình học có cấu trúc tương tự như VCTT. Trong khi đó phần lớn VCT hành xử như những đám mây hạt WIMP. Cũng có thể điện tích tối nhỏ hơn điện tích thông thường, điều này dẫn đến một bức xạ hạn chế của các photon tối. Các nhà lý thuyết đưa ra nhiều ý tưởng về hạt và lực trong địa hạt VCT. Một kịch bản đơn giản là kịch bản 2 loại VCT.

Photon tối

Hãy hình dung một thế giới tối trong đó có 2 loại điện tích tối (+ và -), vậy chúng ta sẽ có mô hình của điện từ tối và VCT sẽ bức xạ

và hấp thụ photon tối. Trong mô hình này các hạt VCT với điện tích khác nhau có thể hủy nhau thành photon tối. Chúng ta có thể có vài kết luận về cường độ của lực điện từ tối bằng cách xét xem lực đó đã tác động lên các thiên hà như thế nào.

Xin nhắc lại rằng, các thiên hà có dạng đĩa vì hiện tượng điện từ gây nên bức xạ làm biến đổi năng lượng và từ đó vật chất mất năng lượng và biến thành dạng đĩa. Vì chúng ta biết rằng, ban đầu VCT phân bố dạng hình cầu xung quanh các thiên hà và phần lớn VCT không co thành dạng đĩa cho nên chúng ta kết luận rằng VCT ít mất năng lượng vì bức xạ photon tối.

Trong một nghiên cứu năm 2009, các tác giả Lotty A. Mathew, R. Buckley, Sean M. Carroll và M. Kamionkowski (Viện Công nghệ California) đã chứng minh rằng giá trị điện tích tối phải là nhỏ khoảng 1% trị giá điện tích thông thường.

Thiên hà tối

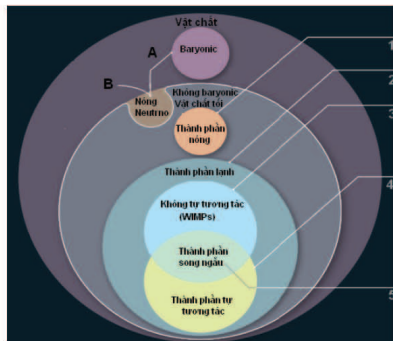
Ta xét mô hình VCT với hai loại điện tích tối và có bức xạ photon tối (thực tế mô hình này quá đơn giản để mô tả VCTT). Tồn tại nhiều lý thuyết với 2 hoặc nhiều hơn các loại hạt tối. Năm 2013, các tác giả Jiji Fan, Andrey Katz, Lisa Randall và Matthew Reece (Đại học Harvard) đã đưa ra mô hình chứa thành phần tự tương tác. Theo đó, phần lớn VCT được hình thành bởi các hạt WIMP, thành phần còn lại gồm 2 lớp hạt fermion: một nặng (kiểu như proton, neutron), một nhẹ (kiểu như electron, positron), cả hai

đều mang điện tích tối.

Vì các fermion tối mang điện tích cho nên chúng bức xạ photon tối và có thể bị hút lẫn nhau. Tùy theo khối lượng và điện tích của các fermion tối chúng có thể kết hợp thành nguyên tử tối, phân tử tối và nhiều cấu trúc phức tạp khác. Từ đây hình thành môn hóa học tối (dark chemistry). Cũng trong mô hình đó, ngân hà sẽ gồm một đám mây hình cầu của các hạt tựa WIMP bọc quanh 2 đĩa dẹt: một đĩa là các cánh tay xoắn (spiral arm) của VCTT mà chúng ta thấy được, còn đĩa kia là VCT. Hai đĩa không nhất thiết phải nằm song song với nhau mà có thể làm thành một góc. Trong mô hình này, các thiên hà VCT tồn tại trong cùng một vùng không gian với các thiên hà VCTT.

Tóm lược các thành phần của vật chất tối

Sau nhiều năm truy lùng VCT người ta nhận thấy VCT rất phức tạp chứ không đơn giản là tập của một hạt chưa biết nào đó. VCT có thể gồm nhiều loại, nhiều dạng. Có thể tồn tại nhiều loại lực tác động lên VCT (các loại lực này có thể không tồn tại trong VCTT).



Hình 2: VCT và VCTT

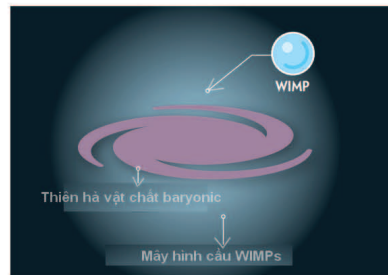
Trên hình 2: chữ A mô tả VCTT baryonic (VCTT gồm chính là các baryon: proton và neutron); chữ B mô tả các neutrino. Còn các số 1, 2, 3, 4, 5 mô tả các thành phần của VCT

Sau đây ta sẽ đi sâu vào các thành phần mô tả VCT:

1) Thành phần **nóng** (hot): tồn tại một thành phần nhỏ VCT có chuyển động nhanh;

2) Thành phần **lạnh** (cold): 95% VCT gồm những hạt chuyển động chậm, thành phần này tác động đến các thiên hà và sự phân bố vật chất trong vũ trụ;

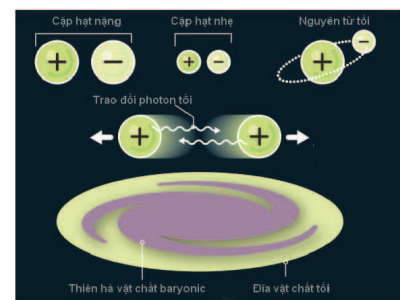
3) Thành phần không tự tương tác (nonself-interacting) gồm chính yếu các hạt WIMP, các hạt này hầu như không tương tác với chính nó và với VCTT. Thành phần này tồn tại dưới dạng những đám mây hình cầu và những hình cầu này bằng lực hấp dẫn của mình làm quy tụ VCTT baryonic để hình thành những thiên hà hiện nay mà chúng ta quan sát được (hình 3).



Hình 3: những đám mây WIMP quanh các thiên hà baryonic

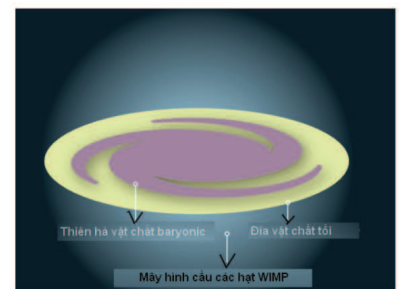
4) Thành phần tự tương tác (self-interacting). Nếu VCT tự tương tác với chính nó tất nhiên phải tồn tại một lực tối (lực này không tồn tại trong VCTT). Lực này phải là một dạng như điện từ trong VCTT, nó dẫn đến khả năng tồn tại những hạt VCT có điện tích

tối (+) và (-) tương tác với nhau nhờ trao đổi những photon tối. Những hạt tối nặng có thể kết hợp với những hạt tối nhẹ để hình thành những nguyên tử tối. Và thành phần tự tương tác này có thể có dạng những cấu trúc hình đĩa trong thiên hà và nằm chồng lên các đĩa cánh tay xoắn của vật chất baryonic (hình 4).



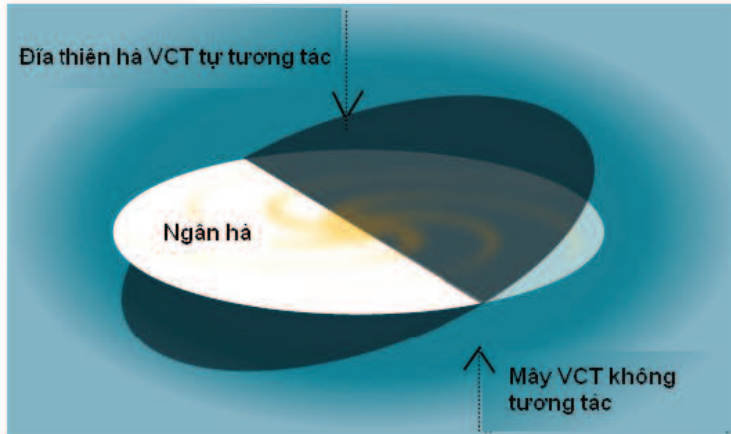
Hình 4: thành phần tự tương tác có dạng những cấu trúc hình đĩa và nằm chồng lên các đĩa cánh tay xoắn của VCTT

5) Thành phần song ngẫu (Dual component) VCT có thể trộn lẫn 2 loại hạt lạnh là WIMP (không tự tương tác) và thành phần tự tương tác. Điều này dẫn đến sự hình thành một tổ hợp gồm đám mây WIMP hình cầu bọc ngoài các thiên hà và một đĩa các hạt tự tương tác (hình 5).



Hình 5: mây WIMP + VCTT baryonic + đĩa VCT

Các đĩa VCT có thể nằm chênh lệch so với phần VCTT baryonic, làm với thiên hà một góc nào đó (hình 6).



Hình 6: vị trí tương đối của đĩa VCT và VCTT

Những triển vọng thực nghiệm

Các nhà khoa học truy tìm VCT sử dụng phương pháp như khi đi tìm hạt WIMP: nhờ những detector siêu nhạy đặt sâu dưới mặt đất. Các nhà vật lý cũng hy vọng tìm thấy VCT trên các máy gia tốc. Vì không biết rõ tương tác của VCT với VCTT (ngoại trừ tương tác hấp dẫn) nên các nhà vật lý phải thực hiện nhiều chương trình tìm kiếm. Phổ tìm kiếm quét từ các hạt WIMP đến các sector VCT phức tạp. Họ phải giả định rằng, VCT tương tác với VCTT thông qua một lực (hay nhiều lực) mới lớn hơn lực hấp dẫn song cũng rất nhỏ, vì vậy đến nay chúng ta chưa quan sát được. Giả định này quan trọng, lực này phải khác với lực kiểu thông qua điện tích mà VCT tương tác với chính nó.

Máy LHC tại CERN có khả năng trong các tìm kiếm VCT. Song vì tương tác giữa VCT và VCTT chưa biết rõ nên cũng khó khăn khi sử dụng các detector VCTT để khảo sát VCT. Cho nên xuất hiện ý tưởng tìm VCT trong những va chạm có hiện tượng thiếu hụt năng lượng. Ví dụ khi hai

proton va chạm và tạo nên một số hạt VCTT về một phía và các hạt VCT về phía khác. Vậy cần khảo sát năng lượng từ một phía với phần không có gì (VCT) của phía kia. Song hiện nay người ta vẫn chưa thu được tín hiệu gì như vậy. Người ta hy vọng với LHC năng cấp (năng lượng cao hơn) sẽ có thể tìm được điều gì đó.

Cũng có nhiều ý tưởng tìm VCT đặc biệt riêng cho khu vực VCT phức tạp (nhờ rằng ta có WIMP + sector VCT phức tạp): tìm photon tối. Tồn tại một số mô hình lý thuyết giả định rằng photon tối có thể biến thành photon thông thường nhờ những quy luật của Cơ học lượng tử. Một số mô hình lại cho rằng photon tối có khối lượng khác không. Nếu photon tối có khối lượng thì nó có thể phân rã thành những hạt có khối lượng nhỏ hơn. Song vì photon tối có thể biến thành photon thông thường cho nên ta sẽ có một cặp electron-positron hoặc một cặp muon-antimuon. Có những cơ sở thực hiện việc tìm những phản ứng đó: LHC, KLOE-2 (Viện Frascati, Ý), HPS (Heavy photon Search) - Máy gia tốc quốc gia Newport

News, BaBar detector tại SLAC, Fermilab tại Batavia...

Ngoài ra các nhà khoa học còn tìm những dấu hiệu thiên văn của VCT trong các va chạm các thiên hà. Trong những kịch bản như vậy khi VCT từ một thiên hà này đập mạnh vào VCT của thiên hà kia, các hạt có thể tương tác với nhau nhờ trao đổi các photon tối. Trước đây những quan trắc trong cụm thiên hà Abell 3827 cho thấy tồn tại khả năng nêu trên.

Vấn còn do ẩn về VCT

Như chúng ta biết trong kịch cổ lớn sự phân bố của VCTT không phù hợp lắm với các định luật vật lý. Vì điều đó mà các nhà vật lý tin tưởng vào sự tồn tại của VCT. Song VCT là vật chất dạng thức nào thì hiện nay chưa biết tường tận được. Nhiều mô hình xuất hiện để thu hẹp khoảng cách giữa lý thuyết và các quan trắc. Rất có thể một nhà thiên văn của thế giới VCT cũng đang quan sát bầu trời và cũng ngạc nhiên vì thế giới VCTT của chúng ta.

Tài liệu tham khảo

1. Bogdan A. Dobrescu (Fermi National Laboratory, Batavia) & Don Lincoln (CERN's LHC) (2015), "Dark matter - Mystery of the hidden cosmos", *Scientific American*, 7.
2. Lotty Ackerman, et al (2009), "Dark Matter and Dark Radiation", *Physical Review D*, 79(2). Article 023591.
3. David E. Kaplan, et al (2010), "Atomic Dark Matter", *Physics*, 5.
4. JiJi Fan et al (2013), "Dark-Disk Universe", *Physical Review Letters*, 110(21), Article 211302.
5. Katherine Freese (2014), "The Cosmic Cocktail: Three Parts Dark Matter", Princeton, University Press.