

PREON CÓ THỂ LÀ HẠT CƠ BẢN HƠN QUARK VÀ LEPTON



Trên Tạp chí Scientific American số tháng 11.2012, tác giả Don Lincoln đã nêu vấn đề: liệu dưới mức quark và lepton vốn hiện nay được xem là những hạt cơ bản nhất trong Mô hình chuẩn (SM - Standard Model) có tồn tại một hạt cơ bản hơn là preon hay không? Tạp chí xin giới thiệu vấn đề lý thú này [1] với bạn đọc.

Mô hình chuẩn (SM - Standard Model)

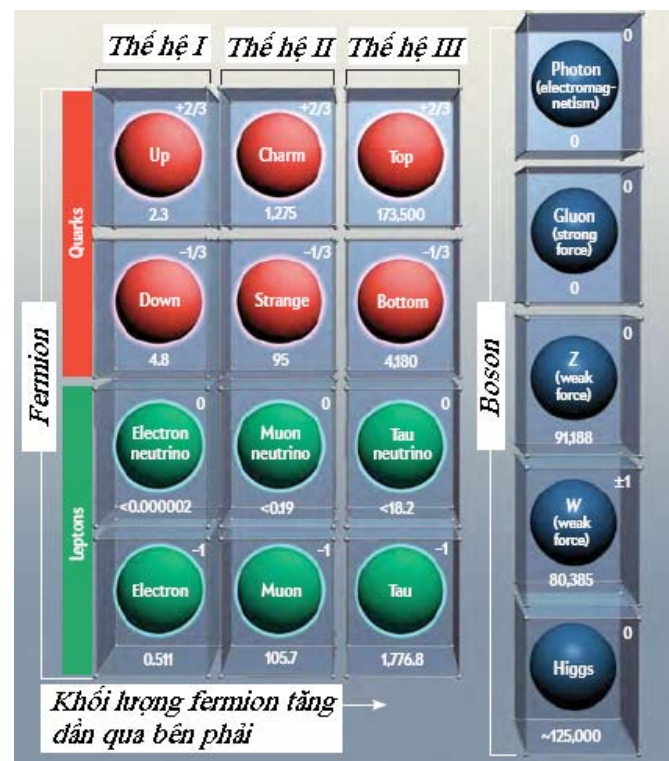
SM là mô hình thống nhất (chưa có hấp dẫn) thành công trong vật lý hiện đại. Trong SM, quark và lepton là 2 loại hạt cơ bản nhất. Sự tổng hợp nhất định giữa quark và lepton (những hạt fermion) có thể cho ta mọi vật chất trong vũ trụ.

Như chúng ta đã biết, giữa các hạt cơ bản có 4 loại tương tác là: hấp dẫn, điện từ, lực hạt nhân yếu và mạnh. Boson là các hạt trung gian chuyển tải tương tác. SM đã thống nhất được 3 loại tương tác (trừ hấp dẫn). Những câu hỏi được các nhà vật lý đặt ra là: tại sao chỉ có 4 loại tương tác? Tại sao lại có 2 loại hạt cơ bản mà không phải là một loại hạt cơ bản độc nhất cấu tạo nên vũ trụ? Trong SM, các hạt quark và lepton được xem là những hạt không phân chia được nữa nhưng nhiều biểu hiện thực nghiệm đã gợi ý rằng chúng có thể phân chia được.

Nếu quark và lepton không phải là loại hạt cơ bản nhất thì trong vật lý lý thuyết sẽ xuất hiện nhiều biến động. Hiện nay, vật lý học đã sở hữu máy gia tốc LHC tạo ra nhiều khả năng cho việc tìm những hạt cơ bản hơn quark và lepton.

SM (hình 1) cho ta tất cả các hạt cơ bản nhất hiện nay. Ba cột fermion bên trái ứng với 3 thế hệ của fermion. Mỗi thế hệ gồm 2 quark và 2 lepton. Trong thế hệ I ta có từ trên xuống dưới: quark lên (up), quark xuống (down), neutrino electron và

electron. Trong thế hệ II gồm: quark duyên (charm), quark lạ (strange), neutrino muon và muon. Trong thế hệ III gồm: quark đỉnh (top), quark đáy (bottom), neutrino tau và tau. Cột bên phải là cột các boson



Hình 1: bảng xếp hạng các hạt fermion và boson trong mô hình SM

(các hạt chuyển tải tương tác), từ trên xuống dưới là các hạt: photon, gluon, Z, W và Higgs. Mỗi hạt được biểu diễn trong một ô, góc phải trên của ô chỉ điện tích, ở giữa là tên hạt, còn số ở đáy ô chỉ khối lượng (MeV).

Mô hình preon của Haim Harari và A. Shupe

Người ta không tin rằng, quark và lepton là những hạt cơ bản cuối cùng mà là những hạt cấu tạo bởi những hạt cơ bản hơn là preon. Có nhiều giả thuyết về cấu trúc của quark và lepton với nhiều tên khác nhau, song từ preon là phổ biến hơn cả. Đó có thể là các hạt cơ bản hơn cấu tạo thành quark và lepton. Các nhà vật lý đã đưa ra nhiều mô hình về preon [2]. Sau đây là một mô hình được biết đến nhiều nhất do Haim Harari (Trung tâm gia tốc thẳng Stanford) và A. Shupe đưa ra năm 1979, và sau đó vào năm 1981 bởi Harari và Nathan Seiberg (Viện Khoa học Weizmann, Rehovot, Israel). Trong mô hình này có 2 loại preon. Các hạt preon đều là fermion. Hai loại preon được biểu diễn bằng những ký hiệu $+$ và 0 . Hạt $+$ có điện tích là $+1/3$, còn hạt 0 không có điện tích. Các phản hạt là các hạt có điện tích đối dấu và hạt không điện tích là $\bar{0}$ (0 với dấu ngang trên đầu).

Các hạt vật chất (fermion)

Trong mô hình này, quark và lepton được cấu tạo bởi 3 preon. Ví dụ hình 2 ta thấy preon với điện tích $+1/3$ cộng với một preon điện tích 0 sẽ cho ta quark up, hạt phản electron có cấu hình là ba hạt preon $++$, quark up được cấu tạo bởi hai preon $++$ và một preon 0 ...

Điện tích	Cấu hình preon	Hạt
$+1$	$+++000$	W^+
-1	$---\bar{0}\bar{0}\bar{0}$	W^-
0	$000\bar{0}\bar{0}\bar{0}$ $++++--$ $++--\bar{0}\bar{0}$ $+-\bar{0}\bar{0}\bar{0}$	Z boson (4 khả năng)
0	$+-$	Photon

Hình 2: cấu hình preon của các hạt fermion là các hạt tạo nên vật chất

Các hạt chuyển tải tương tác (boson)

Các hạt boson chuyển tải tương tác được cấu tạo bởi 6 preon (hình 3).

Điện tích	Cấu hình preon	Hạt
$+1$	$+++$	Phản electron
$+2/3$	$++0$	Quark up
$+1/3$	$+00$	Phản quark down
0	000	Neutrino electron
0	$\bar{0}\bar{0}\bar{0}$	Phản neutrino electron
$-1/3$	$-0\bar{0}$	Quark down
$-2/3$	$--\bar{0}$	Phản quark up
-1	$---$	Electron

Hình 3: cấu hình preon của các hạt boson là các hạt chuyển tải tương tác

Trong hình 3 ta có cấu hình preon đối với các hạt photon (chuyển tải điện từ), W^+ , W^- và Z (boson chuyển tải điện yếu). Ví dụ, hạt W^+ là gồm ba preon điện tích $+1/3$ và ba hạt 0 . Riêng đối với gluon vì cấu hình preon quá phức tạp nên không được đề cập ở đây.

Harari và Shupe đã thiết lập bảng cấu trúc của tất cả các hạt và giải thích các quá trình va chạm trên cơ sở các cấu hình preon. Ví dụ, một quark up va chạm với một phản quark down cho ra hạt W^+ , sau đó phân rã thành một phản electron hay positron và một neutrino electron. Trong mô hình preon của Harari và Shupe, mỗi hạt quark bay đến chứa 3 preon sau va chạm cho boson W^+ chứa ba điện tích $+1/3$ và ba điện tích 0 , sau đó phân rã thành một positron (với ba điện tích $+1/3$) và một neutrino electron (với ba điện tích 0).

Các thế hệ quark và lepton

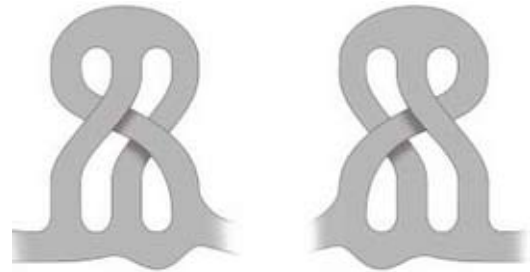
Xem các hình 2 và 3 ta thấy, tất cả các hạt cơ bản có cấu trúc làm liên tưởng đến cấu trúc của bảng Mendeleev. Sự liên tưởng đến bảng Mendeleev gợi ý chúng ta rằng, quark và lepton chưa phải là các hạt cơ bản nhất. Vấn đề tìm những hạt cơ bản hơn quark và lepton có liên quan đến vấn đề về số thế hệ (generation) của quark và lepton. Hiện nay, số thế hệ được cho là bằng 3.

Trên hình 1 ta thấy 3 cột ứng với 3 thế hệ. Các hạt nằm trong các cột về bên phải ngày càng có

khối lượng nặng hơn. Một điều đáng chú ý là, thế hệ I của quark và lepton dường như đủ để giải thích sự hình thành vật chất trong vũ trụ của chúng ta. SM cho rằng, các quark và lepton là những chất điểm không có cấu trúc nội tại. Song cột thứ II và III dẫn chúng ta đến ý tưởng rằng, các thế hệ II và III có thể phát sinh từ cấu hình của những hạt cơ bản hơn cấu tạo nên quark và lepton của thế hệ I (tương tự như trong bảng Mendeleev các nguyên tố sau có thể giải thích nhờ đi sâu vào cấu trúc nguyên tử). Một sự kiện khác ở đầu thế kỷ XX là quá trình phân rã phóng xạ cũng làm cho người ta nghĩ đến liệu các hạt mà chúng ta xem là cơ bản có cấu trúc nội tại hay không. Trong mô hình của Harari và Shupe, người ta giả thiết rằng, các thế hệ sau chỉ là những trạng thái kích thích cấu hình của thế hệ I, giống như khi electron nhảy từ một mức này sang mức khác trong nguyên tử. Vậy trước mắt các nhà vật lý phải tạo ra một lý thuyết, một cơ chế chưa biết nào đó để gắn liền các preon sao cho một kích thích từ thế hệ I sẽ cho ta các trạng thái của thế hệ II. Hiện nay, một lý thuyết như thế chưa kịp ra đời! Vấn đề thế hệ là một vấn đề lớn. Có thêm nhiều giả thuyết như một trong các preon phải mang số thế hệ (generation number) và một loại tính mới gọi là *siêu màu* (*hyper-color*) kết dính các preon trong quark và lepton.

Mặc dù ở đây chỉ nói đến một mô hình Harari - Shupe song phải nhớ rằng, mô hình này chỉ là một trong số nhiều mô hình. Có hàng trăm công trình nêu những mô hình khác nhau mặc dù chúng có thể tương tự nhau về những nét cơ bản. Trong vài giả thuyết, preon có điện tích $1/6$ thay vì $1/3$ như trong mô hình Harari - Shupe. Có giả thuyết đưa ra 5 preon thay vì 3. Và khả năng còn rất nhiều, nhưng cần có thêm dữ liệu thực nghiệm để làm sáng tỏ vấn đề. Nếu preon tồn tại thì ta lại đứng trước những bí ẩn mới của các hạt cơ bản. Như chúng ta biết, trong SM, nguồn gốc khối lượng là hạt Higgs và như thế, có thể các thế hệ II và III tương tác với Higgs mạnh hơn cho nên thu được khối lượng lớn hơn. Cơ chế Higgs tuy giải thích được khối lượng song không tiên đoán được khối lượng. Nếu một lý thuyết sâu hơn được sáng tạo ra cho cấu trúc của quark và lepton thì ta có thể biết vì sao các thế hệ lại khác nhau và hiểu thêm cơ chế Higgs. Thuyết preon không phải là thuyết duy nhất giải quyết vấn đề thế hệ.

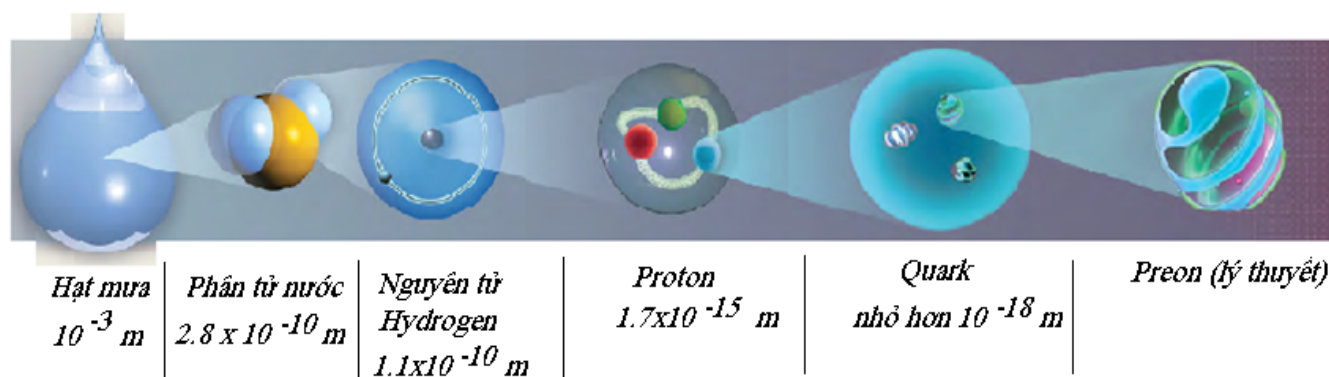
Chúng ta còn có Lý thuyết dây (LTD). Rất may mắn là giả thuyết về preon và LTD là tương hợp với nhau. LTD có thể chứa preon, tiền preon hoặc tiền - tiền - preon tùy theo có bao nhiêu lớp của vật chất có thể tồn tại. Một giả thuyết khác về hạt preon được đưa ra năm 2005 bởi Sundance Bilson - Thompson (Đại học Adelaide, Nam Australia), tác giả này mô tả preon như những dải không - thời gian dẹt xoắn lại với nhau - *twisted braid* (xem 2 ví dụ ở hình 4). Nhiều chi tiết về giả thuyết này được trình bày trong công trình [3]. Giả thuyết này chưa được phát triển lắm song nhiều nhà vật lý đã chú ý đến vì nó có khả năng tích hợp hấp dẫn với SM.



Hình 4: dải dẹt xoắn của không - thời gian biểu diễn từ trái qua phải neutrino electron và phản neutrino electron

Thực nghiệm và hạt preon

Vật lý cuối cùng là một khoa học thực nghiệm. Vậy làm thế nào các nhà thực nghiệm chứng minh hoặc bác bỏ preon? SM đã thành công trong việc mô tả quark và lepton mà không cần đến preon, vậy ta phải tìm những khe hở những chỗ rạn nứt của SM - tức những sai lệch khỏi SM để truy tìm preon. Ở đây có 2 vấn đề: thứ nhất là vấn đề kích thước. SM xem quark và lepton là những chất điểm, nghĩa là những hạt với kích thước bằng 0 và không có cấu trúc nội tại. Nếu tìm ra được kích thước khác không của quark và lepton thì đó là một chứng minh cho sự tồn tại của preon. Proton và neutron có kích thước khoảng 10^{-15} m. Nhờ các máy va chạm hiện đại ta có thể thăm dò kích thước của quark và lepton ($0,0002$ đến $0,001$ lần kích thước của proton), vậy phải tiến hành những thí nghiệm rất chính xác. Máy LHC (với chương trình nâng cao năng lượng gia tốc) cùng với số dữ liệu đồ sộ thu được có thể chiếu rọi nhiều tia sáng vào vấn đề kích thước của quark và lepton (hình 5).



Hình 5: nếu preon tồn tại thì preon thực sự vô cùng bé để nằm gọn trong quark, còn quark cũng phải bé để nằm gọn trong proton. Hiện nay, quark được xem là hạt chất điểm và bé nhất trong các hạt vật chất. Nếu phát hiện kích thước của quark thì đó là hy vọng để thấy quark có cấu trúc nội tại và để tìm ra hạt preon

Thứ hai, một cách khác để truy tìm cấu trúc của lepton là nghiên cứu mối quan hệ giữa spin và moment từ. Electron có thể xem như một quả cầu quay (spin), ngoài ra, vì electron có điện tích nên từ đó có moment từ (spin + điện tích). Vậy electron có thể xem như một thanh nam châm với hai cực bắc, nam. Cho rằng electron là một chất điểm thì ta sẽ có một moment từ đơn và đặc biệt (single and specific magnetic moment). Nếu các phép đo dẫn đến một moment từ khác cho electron và muon thì đó là dấu hiệu kích thước của những hạt này và đó là đường dẫn đến preon.

Từ lâu, các nhà vật lý cũng đã thấy rằng moment từ của những hạt này không trùng với moment từ của một chất điểm, song ở đây nguyên nhân là một tình huống không dính dáng đến preon. Các lepton bị bao quanh bởi một đám mây phù du của các hạt ảo sinh và hủy liên tục. Vì đám mây có kích thước cho nên nó ảnh hưởng 1/1000 đến moment từ. Ảnh hưởng của preon nhỏ hơn song có thể thu đo được.

Các nhà vật lý đã đào xới dữ liệu về quá trình phân rã các hạt trên LHC với hy vọng tìm thấy sự tồn tại của preon và giải thích được những thể hệ II và III chỉ là các trạng thái kích thích của thể hệ I. Một quá trình như thế là phân rã của muon thành electron và photon. Quá trình này chưa quan sát được, nếu xảy ra thì cũng chỉ với xác suất nhỏ hơn 1/100 tỷ. Đây là một điều gợi ý đến một vật lý mới. Trong khi các nhà vật lý đang cảm thấy vô vọng thì việc xuất hiện của các thiết bị, các máy gia tốc lớn mở ra nhiều cơ hội cho các nhà vật lý khám phá vùng đất mới này.

Năm 2011, LHC cho va chạm các proton ở năng

lượng 7 TeV (7 tỷ electron volt) - 3,5 lần lớn hơn kỷ lục năng lượng của máy Tevatron (Fermilab). Trong vòng một năm, LHC thu được dữ liệu bằng Tevatron thu được trong 28 năm. Năm 2012 LHC tăng năng lượng đến 8 TeV và hy vọng thu dữ liệu 4 lần nhiều hơn trước khi tạm thời ngừng hoạt động để nâng cao và sửa chữa thiết bị. LHC sẽ bắt đầu hoạt động lại vào 2015-2016 với năng lượng 13 hoặc 14 TeV. Những khả năng này làm cho hy vọng dẫn đến sự phát hiện preon lớn lên.

Ngoài LHC, chương trình nghiên cứu của Fermilab cũng được nâng cấp nhằm phát hiện preon. Hai thí nghiệm đã được xây dựng để hướng đến đo chính xác moment từ của muon và quá trình phân rã muon thành electron và photon. Tương lai truy tìm preon sáng sủa hơn thời gian trước đây nhiều lần. Một vấn đề rất hấp dẫn khác là tìm thể hệ IV và cũng có thể tìm đến thể hệ tiếp với khối lượng lớn hơn của các boson như W và Z. Có thể thấy, nền khoa học đang tiến đến một biên giới mới của vật lý các hạt cơ bản ■

CC biên dịch

Tài liệu tham khảo

- [1] Don Lincoln. *The universe is a complex and intricate place*, Scientific American số tháng 11.2012.
- [2] Ian A. D'Souza and Calvin S. Kalman, *Preons: Models of Leptons, quark and Gauge bosons as Composite Objects*, World Scientific Publishing, 1992.
- [3] Sundance O. Bilson - Thompson, Fotini Markopoulou and Lee Smolin, *Quantum Gravity and the Standard Model*, www.arxiv.org/abs/hep-th/0603022.