

NEUTRINO: “HẠT MA” CỦA THẾ GIỚI VẬT CHẤT

Đình Văn Chiến

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

Bất chấp sự phổ biến trong vũ trụ chỉ sau photon nhưng việc rất khó để phát hiện đã khiến neutrino trở thành “hạt ma” trong thế giới vật chất. Neutrino và phản hạt của nó là những sản phẩm của phản ứng hạt nhân xảy ra bên trong mặt trời, trong các vì sao, các vụ nổ siêu tân tinh, hố đen và trong các lò phản ứng hạt nhân. Chúng còn là kết quả của quá trình phân rã phóng xạ ở độ sâu trong lòng đất, là nơi có nhiệt phóng xạ và nhiệt lượng còn dư lại từ sự hình thành kiến tạo. Gần đây, trong một hội nghị tổ chức tại Ý vào tháng 3/2023, các nhà khoa học thuộc Nhóm thực nghiệm Tìm kiếm về phía trước (FASER) của Tổ chức Nghiên cứu hạt nhân châu Âu (CERN) đã công bố kết quả khẳng định sự phát hiện ra neutrino sinh ra từ một nguồn và chạm mới - Máy gia tốc hạt lớn (Large Hadron Collider - LHC).

Neutrino là gì?

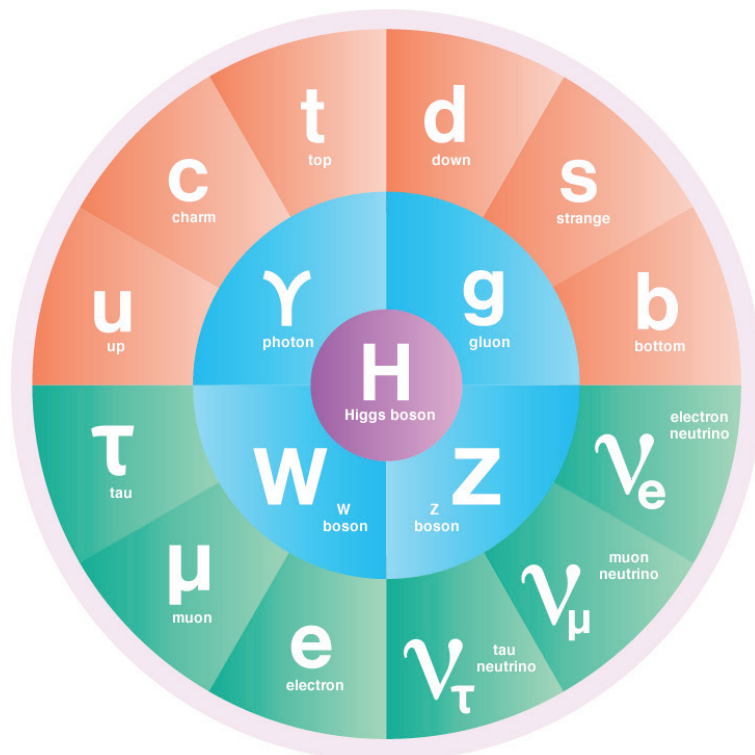
Thế giới vật chất được biết đến ngày nay được mô tả tương đối thành công trong Mô hình chuẩn (Standard Model - SM) của lý thuyết vật lý hạt [1]. Trong Mô

hình này, mười bảy hạt cơ bản, bao gồm neutrino cùng ba loại tương tác (điện từ, yếu, mạnh) đã được mô tả và dự đoán trước khi chúng được kiểm chứng trong thực nghiệm (hình 1).

Ý tưởng về sự xuất hiện của hạt neutrino được đề xuất lần đầu tiên vào năm 1930 khi W. Pauli (Áo) tiến hành các nghiên cứu để chứng minh tính đúng đắn của định luật bảo toàn năng lượng ở cấp độ vi mô [2]. Theo đó, để giải thích cho việc bảo toàn năng lượng, động lượng và mô men động lượng (spin) trong phân rã beta, W. Pauli đã giả thiết tồn tại một loại hạt mới, được sinh ra cùng với electron trong phân rã và mang đi một phần năng lượng. Loại hạt này trung hòa điện tích nên W. Pauli gọi là “neutron”.

Năm 1932, J. Chadwick (Vương quốc Anh) đã phát hiện ra một loại hạt mới trong thực nghiệm [3]. Do cũng trung hòa điện tích nên J. Chadwick cũng đã đặt tên là “neutron”. Tuy nhiên, đây lại không phải là loại hạt “neutron” mà W. Pauli đề xuất do đặc trưng và khối lượng của chúng hoàn toàn khác nhau.

Năm 1933, tại Hội nghị Solvay lần thứ 7 (hình 2) ở Bruxelles (Vương quốc Bỉ) [2], W. Pauli đã mô tả về loại hạt mới mà ông



Hình 1. Các hạt cơ bản trong Mô hình chuẩn của vật lý hạt.



Hình 2. Hội nghị Solvay lần thứ 7 với chủ đề “Cấu trúc và tính chất của hạt nhân nguyên tử” tổ chức tại Vương quốc Bỉ năm 1933.

tiên đoán như sau: “Khối lượng của chúng nhẹ hơn rất nhiều lần khối lượng của hạt điện tử (electron). Để phân biệt với hạt “neutron” (do J. Chadwick phát hiện), GS. E. Fermi (Ý) đã đề nghị gọi là “neutrino”. Khối lượng của neutrino có thể bằng 0, tôi chắc rằng spin bằng 1/2. Chúng ta không biết gì về tương tác của neutrino với những hạt vật chất khác và với photon. Chúng được giả thiết có thể có momen từ”.

Gần một thế kỷ trôi qua, mặc dù vẫn còn nhiều bí ẩn nhưng đến nay chúng ta đã phần nào giải nghĩa được những tiên đoán của W. Pauli về neutrino [4, 5].

Neutrino là hạt cơ bản, có số lượng nhiều thứ hai trong vũ trụ chỉ sau photon (quang tử). Tương tự như electron, quark và photon, neutrino không thể bị chia nhỏ hơn bởi bất kỳ loại hạt nào khác. Neutrino không mang điện tích và có thể thay đổi dạng thái (flavor) khi di chuyển. Hiện tượng này gọi là dao động neutrino. Hệ quả của hiện tượng này là neutrino có khối lượng và các dạng thái của chúng trộn với nhau. Neutrino có khối lượng vô cùng nhỏ, đến nỗi trong

thời gian dài các nhà vật lý cho rằng chúng không có khối lượng. Chính vì vậy, khả năng tương tác của neutrino với các dạng khác của vật chất là đặc biệt yếu, điều này đã khiến cho việc nghiên cứu neutrino gặp rất nhiều khó khăn, ngay cả đối với việc truy vết chúng.

Năm 2015, giải Nobel Vật lý đã được trao cho hai nhà khoa học T. Kajita (Nhật Bản) và A.B. McDonald (Canada) cho công trình khám phá hạt neutrino có khối lượng [6], giúp mang đến những hiểu biết của con người về hoạt động ở tận cùng của vật chất. Kết quả công bố cho thấy, cả hai nhà khoa học đã độc lập quan sát thấy sự dao động và biến đổi từ dạng thái này sang dạng thái khác của neutrino, qua đó chúng tỏ chúng có khối lượng mặc dù là vô cùng nhỏ và chưa xác định được giá trị tuyệt đối. Ba dạng thái khác nhau của neutrino đã được quan sát thấy bao gồm neutrino-electron, neutrino-muon và neutrino-tau, tương tự như những gì đã được mô tả trong Mô hình chuẩn.

Neutrino đến từ đâu?

Ngày nay, khi lý thuyết Big Bang được kiểm chứng và thừa nhận rộng rãi, chúng ta tin rằng những neutrino nguyên thủy được hình thành ngay trong giây đầu tiên sau vụ nổ lớn, tức là khoảng 14 tỷ năm trước.

Trên thực tế, lần đầu tiên neutrino được phát hiện năm 1955 trong thí nghiệm được thực hiện bên trong một lò phản ứng hạt nhân tại Savannah River Site ở bang South Carolina (Mỹ). Nhóm các nhà nghiên cứu gồm C. Cowan, F. Reines và các cộng sự làm việc tại Phòng thí nghiệm quốc gia Los Alamos (Mỹ) đã chính thức công bố kết quả xác nhận việc trực tiếp đo đạc được neutrino trên Tạp chí Science vào năm 1956 [7]. Khám phá này đã nhận được giải Nobel Vật lý năm 1995 [8].

Trong thí nghiệm có tên gọi Cowan-Reines [7], các phản neutrino sinh ra từ lò phản ứng hạt nhân đã tương tác với proton để tạo ra neutron và positron. Đây được gọi là phản ứng phân rã beta ngược. Positron là phản hạt của electron nên nhanh chóng bị hủy cặp khi gặp một electron ở vùng lân cận. Kết quả của sự hủy cặp này là phát ra hai tia gamma với năng lượng đặc trưng 0,51 MeV. Neutron có thể được quan sát thông qua việc một hạt nhân sẽ hấp thụ neutron này và giải phóng một bức xạ gamma đặc trưng. Do đó, dấu hiệu của một neutrino tương tác với máy đo sẽ là 2 tín hiệu gamma xảy ra gần với nhau, một do hủy positron và một do hấp thụ neutron.

Tuy nhiên, hạt neutrino được phát hiện đầu tiên này không sinh ra từ các quá trình trong tự nhiên mà đến từ phân rã beta bên trong một lò phản ứng hạt

nhân. Đến năm 1965, trong công trình được công bố trên Tạp chí Physical Review Letter [9], F. Reines và các cộng sự đã đưa ra bằng chứng xác nhận về việc lần đầu tiên phát hiện được neutrino tự nhiên sinh ra từ tương tác của các tia vũ trụ. Bằng chứng này đã củng cố niềm tin cho các nhà khoa học về việc neutrino có thể đến từ nhiều nguồn khác nhau trong vũ trụ. Tháng 02/1987, một ngôi sao đã phát nổ như một siêu tân tinh. Khoảng hơn 2 tiếng trước khi ánh sáng khả kiến của siêu tân tinh xuất hiện, một vụ nổ của neutrino được phát hiện đến từ ngôi sao đang chết. Đây là lần đầu tiên phát hiện ra neutrino đến từ một siêu tân tinh [10].

Gần đây, trong một báo cáo [11] tại Hội nghị “Các tương tác điện yếu và lý thuyết thống nhất” lần thứ 57 ở La Thuile (Ý) ngày 19/3/2023, nhóm các nhà khoa học của CERN đã công bố kết quả thí nghiệm khẳng định sự phát hiện neutrino sinh ra từ một nguồn hoàn toàn mới, đó là máy gia tốc hạt. Các hạt neutrino này được phát hiện sinh ra từ va chạm của các hạt năng lượng cao trong Máy gia tốc hạt lớn (Large Hadron

Collider - LHC) đặt tại châu Âu. Các nhà khoa học đã mất hai năm mới thu thập đủ dữ liệu để khẳng định sự phát hiện này.

Trong thí nghiệm này, khi các chùm proton năng lượng cao va chạm vào nhau bên trong LHC, chúng tạo ra một cơn mưa các hạt thứ cấp, một phần nhỏ trong số đó là neutrino. Để có thể phát hiện những neutrino sinh ra sau va chạm, các nhà khoa học đã chế tạo một thiết bị phát hiện gồm các tấm chì và vonfram dày đặc, xen giữa nhiều lớp chất lỏng nhấp nháy phát hiện ánh sáng. Bằng cách phân tích các vết ánh sáng để lại từ lớp chất lỏng, đã xác định được dấu vết tạo ra bởi các tia hạt do neutrino đi qua.

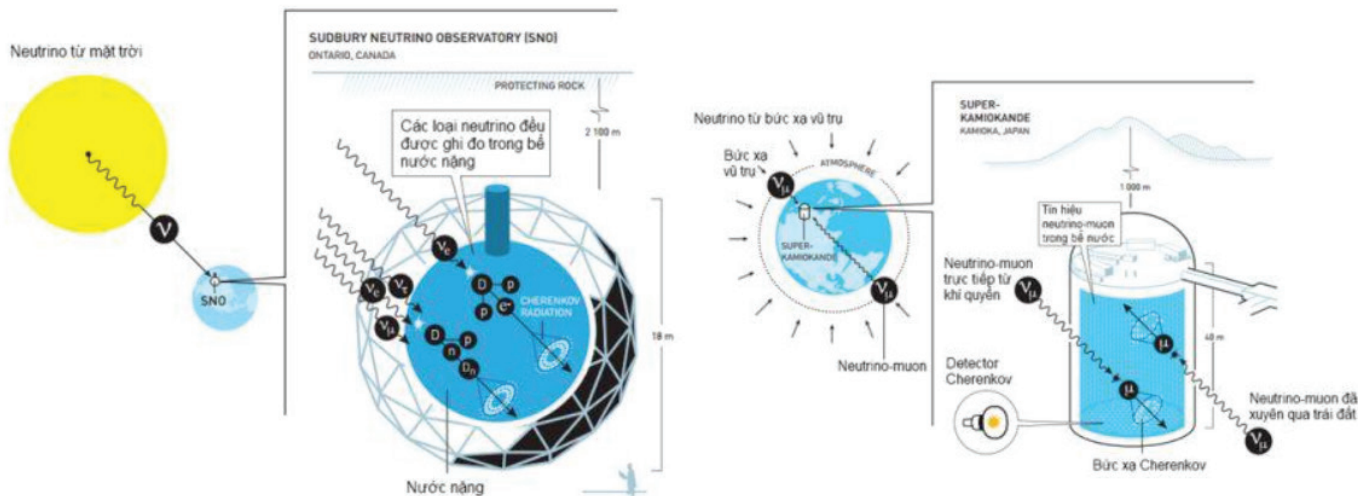
Những cỗ máy truy tìm “hạt ma”

Việc “bắt” được loại hạt có khối lượng gần như bằng không như neutrino vẫn còn là câu chuyện của tương lai khi khoa học và công nghệ có những tiến bộ mới. Tuy nhiên, để làm được việc đó, trước hết cần đảm bảo thiết lập được những hệ thống thiết bị đủ độ nhạy và tin cậy để có thể xác định dấu vết của các hạt neutrino trên đường di chuyển của chúng.

Kể từ sau khi giả thiết về sự tồn tại của hạt neutrino được đề xuất, đã có rất nhiều những thực nghiệm được thiết lập để có thể truy tìm dấu vết của “hạt ma” này:

ERPM (East Rand Proprietary Mine) [12]: Đây là thực nghiệm được xây dựng và hoàn thành vào năm 1964 tại một mỏ vàng ở Nam Phi. Ở độ sâu dưới 3.200 m so với mặt đất, một thiết bị dò lớn nhất thời điểm đó đã được thiết lập gồm 36 bộ dò nhấp nháy lỏng, mỗi bộ dài 6 m gắn cùng 4 bộ nhân quang điện, được đặt trong gần 200.000 lít chất lỏng nhấp nháy. Tại cơ sở thực nghiệm này, F. Reines và các cộng sự đã lần đầu tiên phát hiện được dấu vết của neutrino tự nhiên vào ngày 23/02/1965 [9].

SNO (Sudbury Neutrino Observatory) [13]: Bắt đầu hoạt động từ năm 1998 ở độ sâu 2.070 m tại mỏ Creighton ở Sudbury (Canada), SNO đến nay là thực nghiệm thiết lập thiết bị dò neutrino sử dụng nước nặng lớn nhất. Thiết bị này gồm 1.000 tấn nước nặng kết hợp với trên 10.000 bộ nhân quang điện. Mục tiêu chính của SNO là để phát hiện các neutrino từ mặt trời thông qua



Hình 3. Các thực nghiệm nghiên cứu neutrino tại SNO và Super-Kamiokande.

tương tác với nước nặng. Bức xạ Cerenkov phát ra từ các electron tạo ra sau tương tác sẽ được ghi nhận bởi các bộ nhân quang điện. Tại cơ sở thực nghiệm này, A.B. McDonald đã chứng minh được neutrino có khối lượng thông qua hiện tượng thay đổi dạng thái của neutrino trên đường di chuyển (hình 3). Công trình đã được trao giải Nobel Vật lý năm 2015 [6].

Super-Kamiokande [14]: Là dự án thực nghiệm nghiên cứu về neutrino trên nền tảng các công nghệ, kiến thức và kinh nghiệm đã được phát triển trong quá trình xây dựng và hoạt động của các dự án giai đoạn Kamiokande I, Kamiokande II và Kamiokande III. Super-Kamiokande được hoàn thiện và bắt đầu hoạt động từ năm 1996, tại mỏ Mozumi ở độ sâu 1.000 m dưới chân núi Ikema (Nhật Bản). Thiết bị dò neutrino sử dụng 50.000 tấn nước tinh khiết kết hợp cùng 11.146 bộ nhân quang điện với đường kính 0,5 m mỗi bộ. Trên cơ sở thực nghiệm này, T. Kajita đã độc lập chứng minh được neutrino có khối lượng thông qua hiện tượng thay đổi dạng thái của neutrino (hình 3). Cùng với A.B. McDonald, kết quả của công trình này đã được trao giải Nobel Vật lý năm 2015 [6].

Large Hadron Collider (LHC) [15]: Với chu vi 27 km, nằm sâu bên dưới dãy Alps của châu Âu, LHC là cỗ máy gia tốc hạt hiện đại và lớn nhất hiện nay, được thiết kế để tạo va chạm trực diện giữa các chùm hạt proton năng lượng cực cao (lên tới 13 TeV). Mục đích chính của LHC là để tiến hành những thí nghiệm nhằm phá vỡ các giới hạn và mặc định của Mô hình chuẩn, bao gồm neutrino. Kết quả nghiên cứu từ các thí nghiệm trên LHC đã chứng

minh được sự tồn tại của các hạt quarks, higgs hay neutrino, đồng thời tiếp tục được kỳ vọng để giải thích về những đặc tính chưa được biết đến của chúng cũng như những liên kết chưa hoàn chỉnh trong Mô hình chuẩn. Đây là dự án nghiên cứu khoa học lớn nhất hiện nay, được thực hiện với sự cộng tác của trên 8.000 nhà vật lý cũng như hàng trăm viện nghiên cứu, trường đại học và phòng thí nghiệm ở hơn 40 quốc gia, trong đó có Việt Nam.

Trong nhiều thập kỷ qua, cùng với vật chất tối, neutrino vẫn là một trong những bí ẩn lớn của thế giới khoa học. Mặc dù, chúng tồn tại khắp nơi trong vũ trụ và đã phần nào được khám phá, nhưng những “hạt ma” này vẫn ẩn hiện vô hình trong lăng kính khoa học. Các nhà vật lý vẫn tiếp tục nghiên cứu neutrino nhằm tìm kiếm những manh mối về các định luật vật lý vượt ngoài Mô hình chuẩn. Đối với các nhà thiên văn học, việc dò và truy tìm neutrino có thể dẫn đến một cuộc cách mạng thiên văn học bởi neutrino đến từ mọi nơi trong vũ trụ. Việc hiểu được đầy đủ bản chất của neutrino có thể sẽ mang lại một cái nhìn hoàn toàn mới về vũ trụ, tiếp tục hỗ trợ cho các công cụ hiện nay để soi rọi những thú còn ẩn sâu trong không gian vô tận ☞

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] R. Oerter (2006), *The Theory of Almost Everything: The Standard Model, the Unsung Triumph of Modern Physics*, ISBN 978-0-13-236678-6.
- [2] L. M. Brown (1978), “The idea of the neutrino”, *Physics Today*, **31**, pp.23-28.
- [3] J. Chadwick(1932), “Possible Existence of a Neutron”, *Nature*, **129(3252)**, DOI:10.1038/129312a0.

[4] F. Close (2010), *Neutrinos*, Oxford University Press, ISBN 0-199-69599-7.

[5] K. Nakamura, et al. (2018), “Neutrino mass, mixing, and oscillations”, *Chin. Phys. C*, **40**, pp.1-83.

[6] A. Taroni (2015), “Nobel prize 2015: Kajita and McDonald”, *Nature Phys.*, **11**, DOI: 10.1038/nphys3543.

[7] C.L. Cowan, F.Reines, et al. (1956), “Detection of the free neutrino: A confirmation”, *Science*, **124(3212)**, pp.103-104, DOI: 10.1126/science.124.3212.103.

[8] Europhys. News (1995), “1995 Nobel prize in physics: Opening and closing families”, *Europhysics News*, **26(5)**, p.113.

[9] F. Reines, et al. (1965), “Evidence for high-energy cosmic-ray neutrino interactions”, *Physical Review Letters*, **15(9)**, pp.429-433, DOI:10.1103/physrevlett.15.429.

[10] K. Scholberg (2012), “Supernova neutrino detection”, *Annual Review of Nuclear and Particle Science*, **62(1)**, pp.81-103, DOI:10.1146/annurev-nucl-102711-095006.

[11] B. Peterson (2023), *First Physics Results from The FASER Experiment*, The 57th Rencontres de Moriond Electroweak Interactions and Unified Theories Conference, Italy.

[12] C.D. Johnson and R. Tegen (1999), “The ‘Little neutral one’: An overview of the neutrino”, *South African Journal of Science*, **95**, pp.13-25.

[13] N. Jelley, et al. (2009), “The sudbury neutrino observatory”, *Annual Review of Nuclear and Particle Science*, **59(1)**, pp.431-465, DOI: 10.1146/annurev.nucl.55.090704.151550.

[14] <https://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/sk/about/>, accessed 03 April 2023.

[15] <https://home.cern/science/accelerators/large-hadron-collider>, accessed 03 April 2023.