

Ta đã biết hạt nhân được cấu tạo bởi các prôtôn và neutron. Liệu các hạt này có được cấu tạo từ các hạt nhỏ hơn hay không? Giả thuyết Ghen-Man giúp ta trả lời câu hỏi đó.

1. Hạt sơ cấp

Cho đến nay, người ta đã phát hiện được các hạt có kích thước¹ và khối lượng rất nhỏ, chẳng hạn như electron, prôtôn, neutron, mêzôn, muôn, piôn. Tất cả các hạt này được gọi là các *hạt sơ cấp* (đôi khi còn gọi là các *hạt cơ bản*). Nói chung, hạt sơ cấp có kích thước và khối lượng nhỏ hơn hạt nhân nguyên tử.

2. Các đặc trưng của hạt sơ cấp

Sau đây là những *đặc trưng chính* của các hạt sơ cấp:

a) Khối lượng nghỉ m_0

Phôtônen có khối lượng nghỉ bằng không. Ngoài phôtônen, trong tự nhiên còn có các hạt khác có khối lượng nghỉ bằng 0, như hạt neutrino ν , hạt graviton. Thay cho m_0 người ta còn thường dùng đại lượng đặc trưng là *năng lượng nghỉ* E_0 tính theo hệ thức Anh-xtanh $E_0 = m_0 c^2$. Chẳng hạn, electron có $m_0 = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg và $E_0 = 0,511$ MeV; prôtôn có $m_0 = 1,6726 \cdot 10^{-27}$ kg và $E_0 = 938,3$ MeV.

b) Điện tích

Hạt sơ cấp có thể có điện tích $Q = +1$ (tính theo đơn vị đo là điện tích nguyên tố e), hoặc $Q = -1$, hoặc $Q = 0$ (hạt trung hoà). Q được gọi là *số lượng tử điện tích*, biểu thị tính gián đoạn của độ lớn điện tích các hạt.



GHEN-MAN
(Murray Gell-Mann, sinh năm 1929,
nhà vật lý người Mỹ, giải Nobel
năm 1969)

Vào những năm 30 của thế kỷ XX, người ta đã biết các nguyên tử đều được cấu tạo bởi electron, prôtôn, neutron và từ năm 1905 đã phát hiện được sự tồn tại của phôtônen (lượng tử ánh sáng). Khi nghiên cứu phân rã phóng xạ bêta, người ta lại phát hiện thêm hạt neutrino. Tiếp theo, người ta lại phát hiện ra rằng trong tia vũ trụ còn có các hạt khác có khối lượng lớn hơn khối lượng của electron hàng trăm lần, gọi là các hạt mêzôn. Nhờ có các máy gia tốc hạt với năng lượng ngày càng cao, người ta đã phát hiện được rất nhiều hạt mới. Đó là hạt muôn (kí hiệu μ), piôn (kí hiệu π), kaôn (kí hiệu K), hipêron. Tất cả các hạt nói trên được gọi là *các hạt sơ cấp*.

Không thể coi hạt sơ cấp là các hạt nhỏ nhất tạo nên vật chất, bởi vì như sẽ thấy ở dưới đây, với một số hạt trước đây vẫn thường được coi là hạt sơ cấp thì đến nay, các kết quả nghiên cứu lại cho thấy chúng được cấu tạo từ những hạt khác nhỏ hơn.

c) Spin

Mỗi hạt sơ cấp có momen động lượng riêng và momen từ riêng đặc trưng cho chuyển động nội tại và bản chất của hạt. Momen này được đặc trưng bằng *số lượng tử spin*, gọi tắt là *spin*, kí hiệu là s . Momen động lượng riêng của hạt bằng $s \frac{h}{2\pi}$ (h là hằng số Plāng).

Chẳng hạn, prôtôn và nôtron có $s = \frac{1}{2}$, nhưng phôtôn có spin bằng 1, piôn có spin bằng 0.

d) Thời gian sống trung bình

Trong số các hạt sơ cấp, chỉ có bốn hạt không phân rã thành các hạt khác, gọi là các *hạt bền* (prôtôn, électron, phôtôn, nôtrinô). Tất cả các hạt còn lại là các *hạt không bền* và phân rã thành các hạt khác. Trừ nôtron có thời gian sống dài, khoảng 932 s, còn các hạt không bền khác đều có thời gian sống rất ngắn, cỡ từ 10^{-24} s. đến 10^{-6} s.

Bảng 58.1

Đặc trưng của một số hạt sơ cấp

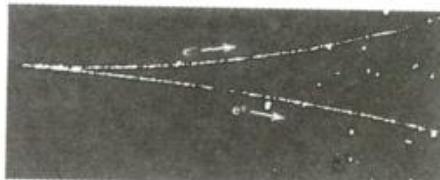
Tên hạt	Năng lượng ε (MeV)	Điện tích Q (e)	Spin s	Thời gian sống (giây)
Phôtôn	0	0	1	∞
Électron	0,511	-1	1/2	∞
Pôzitron	0,511	+1	1/2	∞
Nôtrinô ν	0	0	1/2	∞
Piôn π^+	139,6	+1	0	$2,6 \cdot 10^{-8}$
Kaôn κ^0	497,7	0	0	$8,8 \cdot 10^{-11}$
Prôtôn	938,3	+1	1/2	∞
Nôtron	939,6	0	1/2	932
Xicma Σ^+	1189	+1	1/2	$8,0 \cdot 10^{-11}$
Ômêga Ω^-	1672	-1	3/2	$1,3 \cdot 10^{-10}$

3. Phản hạt

a) Phần lớn các hạt sơ cấp đều tạo thành cặp, mỗi cặp gồm hai hạt có khối lượng nghỉ m_0 và spin như nhau, còn đặc trưng khác thì có trị số bằng nhau nhưng trái dấu. Chẳng hạn, electron và pôzitron có cùng khối lượng nghỉ bằng m_e và spin bằng $\frac{1}{2}$, nhưng có điện tích tương ứng bằng -1 và $+1$, tạo thành một cặp.

Trong mỗi cặp, có một hạt và một *phản hạt* của hạt đó. Chẳng hạn, pôzitron là phản hạt của electron. Phản hạt của prôtôn là phản prôtôn (gọi là antiprôtôn, kí hiệu \bar{p}), có $Q = -1$.

b) Trong các quá trình tương tác của các hạt sơ cấp, có thể xảy ra hiện tượng *huỷ một cặp* "hạt + phản hạt" có khối lượng nghỉ khác 0 thành các phôtôн, hoặc cùng một lúc sinh ra một cặp "hạt + phản hạt" từ những phôtôн. Ví dụ như quá trình huỷ cặp hoặc sinh cặp "electron + pôzitron" (xem Hình 58.1) :



Hình 58.1 Ảnh chụp vết đường đi trong từ trường của cặp electron - pôzitron được sinh ra do sự sinh cặp.

4. Phân loại hạt sơ cấp

Người ta thường sắp xếp các hạt sơ cấp đã biết thành các loại sau, theo khối lượng nghỉ m_0 tăng dần.

- a) **Phôtôн** (lượng tử ánh sáng) có $m_0 = 0$.
- b) **Leptôн**, gồm các hạt nhẹ như electron, muôн (μ^+, μ^-), các hạt tau (τ^+, τ^-), ...
- c) **Mêzôн**, gồm các hạt có khối lượng trung bình trong khoảng $(200 \div 900)m_e$, gồm hai nhóm : mêzôн π và mêzôн K .

d) Barion, gồm các hạt nặng có khối lượng bằng hoặc lớn hơn khối lượng prôtôn. Có hai nhóm barion là *nuclôn* và *hipéron*, cùng các phản hạt của chúng. Năm 1964, người ta đã tìm ra một hipéron mới đó là hạt ômêga trừ (Ω^-).

Tập hợp các mêzôn và các barion có tên chung là các *hadrônon*.

5. Tương tác của các hạt sơ cấp

Mỗi loại tương tác có phạm vi tác dụng nhỏ hơn một khoảng cách gọi là *bán kính tác dụng của lực tương tác*. Ở khoảng cách lớn hơn bán kính tác dụng thì lực tương tác coi như bằng 0.

Bảng 58.2

Các loại tương tác cơ bản

(Để so sánh, lấy cường độ tương tác mạnh làm đơn vị đo)

Loại tương tác	Cường độ tương tác	Phạm vi (bán kính) tác dụng	Hạt truyền tương tác (hạt trường)
mạnh	1	10^{-15} m	gluôn, mêzôn ào
điện từ	$\sim 10^{-2}$	∞	phôtôn
yếu	10^{-14}	10^{-18} m	hạt W^\pm, Z^0
hấp dẫn	10^{-39}	∞	gravitôn

Mặc dù các tương tác có bản chất khác nhau nhưng bao giờ chúng cũng được thể hiện bằng cách trao đổi *hạt truyền tương tác*.

Các hạt sơ cấp tương tác với nhau như thế nào để tạo nên cấu trúc vật chất, tạo nên vũ trụ? Có bốn loại tương tác cơ bản đối với các hạt sơ cấp:

a) Tương tác hấp dẫn. Đó là tương tác giữa các hạt vật chất có khối lượng. Bán kính tác dụng của lực hấp dẫn lớn vô cùng, nhưng so với các tương tác khác thì cường độ của tương tác hấp dẫn là rất nhỏ.

b) Tương tác điện từ. Đó là tương tác giữa các hạt mang điện, giữa các vật tiếp xúc gây nên ma sát... Cơ chế tương tác điện từ là sự trao đổi phôtôn giữa các hạt mang điện. Bán kính tác dụng của tương tác điện từ xem như lớn vô hạn. Tương tác điện từ mạnh hơn tương tác hấp dẫn khoảng 10^{37} lần.

c) Tương tác yếu. Đó là tương tác giữa các hạt trong phân rã β . Chẳng hạn, phân rã β^- là do tương tác yếu của bốn hạt nôtron, prôtôn, electron và phản nôtrinô theo phương trình :

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$$

Tương tác yếu có bán kính tác dụng cỡ 10^{-18} m và có cường độ nhỏ hơn tương tác điện từ khoảng 10^{12} lần.

d) Tương tác mạnh. Đó là tương tác giữa các hadrônon, như tương tác giữa các nuclôn trong hạt nhân, tạo nên *lực hạt nhân*, cũng như tương tác dẫn đến sự sinh hạt hadrônon trong các quá trình va chạm của các hadrônon, tương tác giữa các hạt quac. Tương tác mạnh lớn hơn tương tác điện từ khoảng 100 lần và có bán kính tác dụng cỡ 10^{-15} m (bằng kích thước hạt nhân).

6. Hạt quac (quark)

a) Liệu các hạt sơ cấp có được cấu tạo bởi các hạt nhỏ hơn không? Năm 1964, nhà vật lí Ghen-Man đã nêu ra giả thuyết : **Tất cả các hadrôn đều cấu tạo từ các hạt nhỏ hơn, gọi là quac** (tiếng Anh : quark).

b) Có sáu hạt quac kí hiệu là u , d , s , c , b và t . Cùng với các quac, có sáu phản quac với điện tích có dấu ngược lại. Điều kiện là điện tích các hạt quac và phản quac bằng $\pm \frac{e}{3}$, $\pm \frac{2e}{3}$, trái ngược với quan niệm trước đây cho rằng điện tích nguyên tố e là điện tích nhỏ nhất. Các hạt quac đã được quan sát thấy trong thí nghiệm, nhưng đều ở trạng thái liên kết ; chưa quan sát được hạt quac tự do.

c) Các barion là tổ hợp của ba quac. Chẳng hạn prôtôn được tạo nên từ ba quac (u, u, d), nôtron được tạo nên từ ba quac (u, d, d) (Hình 58.2).

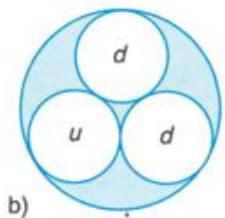
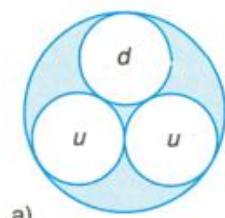
d) Một trong các thành công của giả thuyết về hạt quac là đã dự đoán được sự tồn tại của hạt ômêga trừ (Ω^-) (s, s, s), mà sau đó đã tìm ra được bằng thực nghiệm với đầy đủ đặc trưng như dự đoán.

Cho đến nay, nhiều nhà vật lí đều thừa nhận sự tồn tại của hạt quac và như vậy, **các hạt thực sự là sơ cấp** (hiểu theo nghĩa là hạt không thể tách được thành các phần nhỏ hơn) chỉ gồm các quac, các leptôn và các hạt truyền tương tác.

Bảng 58.3

Điện tích của hạt quac

Kí hiệu	Điện tích (tính theo e)
u (tiếng Anh up : lên)	+2/3
d (down : xuống)	-1/3
s (strange : lạ)	-1/3
c (charm : duyên)	+2/3
b (bottom : đáy)	-1/3
t (top : đỉnh)	+2/3



Hình 58.2 Cấu tạo của prôtôn (a) và nôtron (b).

CÂU HỎI

1. Nêu những đặc trưng của các hạt sơ cấp.
2. Nêu các loại hạt sơ cấp.
3. Nêu giả thuyết về sự tồn tại của quac.

BÀI TẬP

1. Các loại hạt sơ cấp là
 - A. phôtôn, leptôn, mêzôn và haôrôn.
 - B. phôtôn, leptôn, mêzôn và barion.
 - C. phôtôn, leptôn, barion và haôrôn.
 - D. phôtôn, leptôn, nuclôn, hipêron.
2. Điện tích của mỗi quac, hay phản quac là một trong số các giá trị nào sau đây ?
 - A. $\pm e$.
 - B. $\pm \frac{e}{3}$.
 - C. $\pm \frac{2e}{3}$.
 - D. $\pm \frac{e}{3}$ và $\pm \frac{2e}{3}$.