

Biểu thức (1.77) là nội dung *quy tắc khoảng cách*, nghĩa là khoảng cách giữa các mức năng lượng liên tiếp nhau liên hệ với nhau như sau:

$$(I + J) : (I + J - 1) : \dots : |I - J| \quad (1.78)$$

1.5.3. Các quy luật thực nghiệm rút ra từ nghiên cứu momen từ hạt nhân

- Momen từ của các hạt nhân có spin $J = 0$ thì bằng 0.
- Momen từ của các hạt nhân có spin khác 0 vào cỡ magneton hạt nhân. Giá trị bé của momen từ hạt nhân cho phép khẳng định rằng trong hạt nhân không có electron vì momen từ của electron lớn hơn 2000 lần momen từ của hạt nhân.

- Tính không cộng được của các momen từ. Chẳng hạn deuteron tạo nên từ proton và neutron nhưng momen từ của deuteron $\mu_d = 0,86$ trong lúc đó tổng momen từ của proton và neutron bằng $\mu_p + \mu_n = 2,79 - 1,91 = 0,88$. Hai giá trị 0,86 và 0,88 khác nhau ngoài phạm vi sai số. Tính không cộng được này được giải thích bằng tính không đối xứng tâm của lực hạt nhân.

1.6. MOMEN TỬ CỰC ĐIỆN CỦA HẠT NHÂN

1.6.1. Momen tử cực nội Q_0 và momen tử cực ngoại Q

Điện tích Z của hạt nhân là một thông số quan trọng, cho biết số proton trong hạt nhân, độ lớn của thế Coulomb và các tính chất hóa học của hạt nhân. Tuy nhiên Z chỉ là một đại lượng tích phân về điện tích hạt nhân mà không cho biết phân bố điện tích trong hạt nhân thế nào. Sự phân bố điện tích đó dẫn tới việc hiểu biết về hình dạng hạt nhân và các tính chất quan trọng khác.

Sự phân bố điện tích trong hạt nhân có ba loại là phân bố đối xứng cầu, phân bố thành lưỡng cực và phân bố tứ cực.

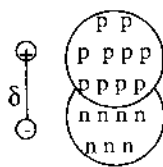
Phân bố thành lưỡng cực khi các proton và các neutron phân bố lệch về hai đầu của hạt nhân với khoảng cách giữa các trọng tâm của chúng bằng δ (hình 1.14). Đại lượng đặc trưng cho phân bố lưỡng cực là momen lưỡng cực điện D mà hình chiếu của nó theo trục z có dạng:

$$D_z = \int z \rho(r) dV \quad (1.79)$$

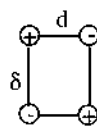
Trong đó $\rho(r)$ là mật độ điện tích và dV là yếu tố thể tích tại điểm r . Người ta chứng minh được rằng momen lưỡng cực điện bằng 0 đối với trạng thái cơ bản và các trạng thái kích thích không suy biến của hạt nhân.

Phân bố thành tứ cực khi các điện tích trong hạt nhân hình thành hai lưỡng cực điện cách nhau một khoảng cách d bố trí như trên hình 1.15a. Đại lượng đặc trưng cho phân bố tứ cực là momen tứ cực điện Q , phản ánh mức độ bất đối xứng cầu có dạng ellipsoid trong phân bố điện tích hạt nhân. Khi $Q = 0$ thì hạt nhân có dạng hình cầu (hình 1.15b), khi $Q > 0$ thì hạt nhân có dạng ellipsoid căng (hình 1.15c) còn khi $Q < 0$ thì hạt nhân có dạng ellipsoid dẹt (hình 1.15d). Momen tứ cực được đo trong đơn vị cm^2 hay barn $= 10^{-24} \text{cm}^2$, chẳng hạn momen tứ cực của deuteron $Q_d = 0,00282 \cdot 10^{-24} \text{cm}^2$.

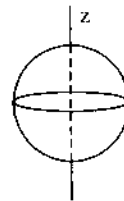
Đối với các hạt nhân bất đối xứng cầu, có hai khái niệm về momen tứ cực điện là momen tứ cực điện nội Q_0 và momen tứ cực điện ngoại Q .



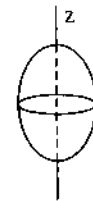
a)



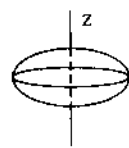
a)



b)



c)



d)

Hình 1.14. Lưỡng cực điện hạt nhân. a) Lưỡng cực điện; b) Sự lệch các trọng tâm đám proton và đám neutron.

Hình 1.15. Tứ cực điện hạt nhân.

a) Tứ cực điện; b) Hạt nhân dạng hình cầu; c) Hạt nhân dạng ellipsoid căng; d) Hạt nhân dạng ellipsoid dẹt.

Momen tứ cực điện nội Q_0 được tính trong hệ tọa độ cùng quay với hạt nhân và biểu thị bởi công thức sau đây:

$$Q_0 = \int \rho(r)(3\zeta^2 - r^2) dV \quad (1.80)$$

Trong đó hệ tọa độ 3 chiều ξ, η, ζ gắn liền với hạt nhân với ζ đặt dọc theo trục quay của hạt nhân. Như vậy $r(\xi, \eta, \zeta)$ là khoảng cách từ điểm lấy tích phân đến tâm quán tính của hạt nhân và dV là yếu tố thể tích tại r còn ζ là hình chiếu của r lên trục ζ , $\rho(r)$ là hàm phân bố điện tích bên trong hạt nhân. Do $r^2 = \xi^2 + \eta^2 + \zeta^2$ nên $3\overline{\zeta^2} = \overline{r^2}$ đối với phân bố đối xứng cầu (hình 1.15b), $3\overline{\zeta^2} > \overline{r^2}$ đối với phân bố kéo căng (hình 1.15c) còn $3\overline{\zeta^2} < \overline{r^2}$ đối với phân bố dẹt so với trục ζ (hình 1.15d).

Momen tứ cực điện ngoại Q được tính trong hệ tọa độ phòng thí nghiệm theo công thức sau:

$$Q = \int \rho(r)(3z^2 - r^2) dV \quad (1.81)$$

Trong đó hệ tọa độ 3 chiều x, y, z trong phòng thí nghiệm với trục z được chọn trong không gian. Độ lớn của Q phụ thuộc vào Q_0 và sự định hướng của hạt nhân so với trục z. Sự định hướng này phụ thuộc vào sự định hướng của spin \vec{J} so với trục z và hình chiếu K của nó trên trục đối xứng của hạt nhân.

Phép tính cơ học lượng tử đối với hình chiếu cực đại J của vector \vec{J} lên trục z cho quan hệ sau đây giữa Q, Q_0 , J và K:

$$Q = \frac{3K^2 - J(J+1)}{(J+1)(2J+3)} Q_0 \quad (1.82)$$

Trong công thức (1.82), hệ số $\frac{3K^2 - J(J+1)}{(J+1)(2J+3)}$ gọi là hệ số chiếu và khi đó Q được xem như hình chiếu của Q_0 lên trục z.

Đối với trạng thái cơ bản thì $J = K$ và

$$Q = \frac{J(2J-1)}{(J+1)(2J+3)} Q_0 \quad (1.83)$$

Theo công thức (1.83), nếu spin hạt nhân $J = 0$ hay $J = \frac{1}{2}$ thì momen tứ cực ngoại Q bằng 0 ngay cả khi momen tứ cực nội Q_0 khác không. Điều này được giải thích như sau. Do các thăng giáng lượng tử, trục đối xứng của hạt nhân khi spin bằng 0 hay $\frac{1}{2}$ định hướng ngẫu nhiên, do đó phân bố điện tích trong hệ tọa độ phòng thí nghiệm trở thành đối xứng cầu.

1.6.2. Xác định thực nghiệm các momen tứ cực

1.6.2.1. Momen tứ cực ngoại Q

Momen tứ cực ngoại Q được xác định theo phương pháp nghiên cứu cấu trúc siêu tinh tế của các phổ quang học giống như đã dùng để đo momen từ. Tương tác của momen tứ cực với điện trường của các electron nguyên tử làm xuất hiện các vạch siêu tinh tế bổ sung không tuân theo quy tắc khoảng cách (1.76) khi tách cấu trúc siêu tinh tế do momen từ. Chính các vạch siêu tinh tế mới này cho phép xác định momen tứ cực điện ngoại Q. Đối với deuteron thì $Q = 0,00282 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2$. Sự tồn tại momen tứ cực điện ở hạt nhân đơn giản nhất này, chỉ có một proton, cho thấy rằng hàm số thể hiện sự chuyển động của các hạt trong deuteron không hoàn toàn đối xứng cầu. Giá trị $Q = 0,00282 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2$ tương ứng với độ pha trộn 4% trạng thái d, tức là

deuteron nằm ở trạng thái s ($\ell = 0$) 96% thời gian và ở trạng thái d ($\ell = 2$) 4% thời gian. Trên bảng 1.7 dẫn ra kết quả đo đặc momen từ cực ngoại của một số hạt nhân.

Bảng 1.7. Momen từ cực ngoại Q của một số hạt nhân.

Hạt nhân	Q 10^{-24} cm^2	Hạt nhân	Q 10^{-24} cm^2	Hạt nhân	Q 10^{-24} cm^2	Hạt nhân	Q 10^{-24} cm^2
1H^2	0,00273	16S^{33}	-0,064	37Rb^{85}	0,29	72Hf^{179}	3
5B^{11}	0,0355	16S^{35}	0,045	41Nb^{93}	-0,3	73Ta^{181}	6
7N^{14}	0,0071	27Co^{59}	0,404	56Ba^{135}	0,25	81Bi^{204}	-0,19
8O^{17}	-0,027	29Cu^{63}	0,16	59Pr^{141}	-0,054	92U^{233}	3,4
13Al^{27}	0,149	35Br^{81}	0,28	71Lu^{175}	5,9	93Am^{241}	4,9

1.6.2.2. Momen từ cực nội Q_0

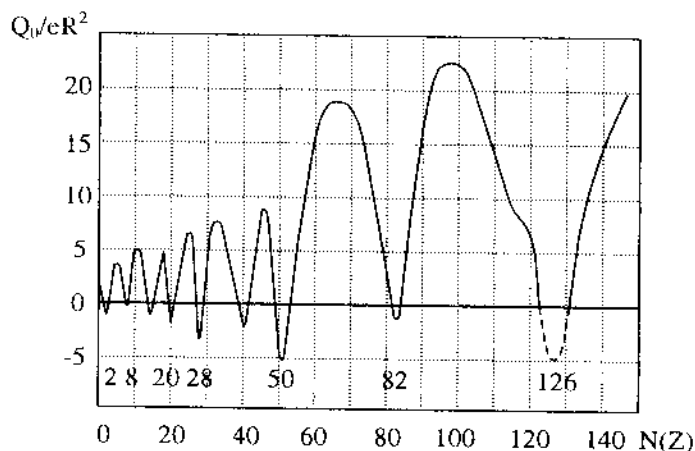
Momen từ cực nội Q_0 không ảnh hưởng đến cấu trúc tinh thể của các vạch quang phổ nên được xác định bằng cách khác. Để đo Q_0 ta dùng hiện tượng kích thích Coulomb của hạt nhân. Khi hạt nhân va chạm với hạt tích điện, chẳng hạn hạt alpha, có thể chuyển lên trạng thái kích thích do tương tác Coulomb. Nếu mức kích thích là mức quay thì so sánh tính toán lý thuyết với thực nghiệm có thể suy ra Q_0 .

Momen từ cực điện là một thông số quan trọng cho thêm thông tin về cấu trúc và các tính chất của hạt nhân. Nói riêng, nếu giả thuyết rằng hạt nhân với $Q_0 \neq 0$ là một ellipsoid tròn xoay với điện tích phân bố đều thì có thể biểu thị Q_0 qua các trục a dọc theo z và b vuông góc với z như sau:

$$Q_0 = \frac{2}{5}(a^2 - b^2)eZ = \frac{4}{5}\varepsilon \bar{R}^2 eZ \quad (1.84)$$

Trong đó $\varepsilon = \frac{a^2 - b^2}{a^2 + b^2}$ là độ lệch tâm, $\bar{R}^2 = \frac{a^2 + b^2}{2}$ là bán kính bình phương trung bình của hạt nhân, eZ là điện tích tổng cộng của hạt nhân. Thay bình phương bán kính hạt nhân R^2 vào (1.84), ta nhận được độ lệch tâm của hạt nhân khi biết đại lượng Q_0 . Giá trị ε thông thường khá bé, vào cỡ 0,01 – 0,02. Tuy nhiên đối với các hạt nhân nặng với $A \approx 150 - 180$ và

$A > 220$ thì chúng bị biến dạng rõ rệt. Các hạt nhân này có giá trị Q_0 lớn cỡ $Q_0 = 0,1$ và độ lệch tâm $\epsilon = 0,1 - 0,2$.



Hình 1.16. Sự phụ thuộc của momen tứ cực điện nội Q_0 vào số $N(Z)$.

Hình 1.16 là đường cong thực nghiệm trung bình về sự phụ thuộc momen tứ cực nội của hạt nhân vào số proton Z hay số neutron $N = A - Z$. Hình này cho thấy xu hướng chung về sự tăng Q_0 theo Z hay N , cũng như vai trò đặc biệt của các giá trị magic 2, 8, 20, (28), 50, 82, 126 của Z và N (giá trị 126 chỉ dùng đối với neutron), tại đó momen tứ cực nội $Q_0 = 0$. Dạng đường cong cũng cho thấy đa số các hạt nhân nặng có dạng căng rất mạnh trong lúc các hạt nhân magic có dạng đối xứng cầu.

Từ hình 1.16 thấy rằng momen tứ cực nội có giá trị lớn cỡ 10 -- 20 lần bình phương bán kính hạt nhân. Như vậy chúng được gây ra bởi chuyển động tập thể của nhiều nucleon trong hạt nhân.

1.7. ĐỘ CHẴN LẺ

Tính chẵn lẻ đặc trưng cho tính đối xứng của hạt nhân đối với phép phản xạ qua gương. Quy luật bảo toàn tính chẵn lẻ là một trong các quy luật bảo toàn đối với một hệ vật lý. Quy luật này đúng đối với tương tác điện từ, xác định cấu trúc của nguyên tử và phân tử, lẫn tương tác hạt nhân, xác định cấu trúc của hạt nhân.

Trong cơ học lượng tử, trạng thái một hệ vi mô được biểu diễn bởi hàm sóng $\Psi(\vec{r})$ phụ thuộc vào tọa độ của hệ này. Trong phép phản chiếu qua gương thì vector tọa độ biến đổi thành:

$$\vec{r} \rightarrow \vec{r}' = -\vec{r} \quad (1.85)$$

Ta gọi \hat{P} là toán tử phản xạ gương và π là giá trị riêng của nó. Khi đó phép biến đổi tọa độ (1.85) dẫn tới phép biến đổi hàm số:

$$\hat{P}\Psi(\vec{r}) = \Psi(-\vec{r}) = \pi\Psi(\vec{r}) \quad (1.86)$$

Nếu thực hiện hai lần phản xạ gương liên tiếp thì hệ vi mô trở về trạng thái ban đầu, nghĩa là

$$\hat{P}\hat{P}\Psi(\vec{r}) = \Psi(\vec{r}) \quad (1.87)$$

Từ đó ta có:

$$\hat{P}\hat{P}\Psi(\vec{r}) = \hat{P}\Psi(-\vec{r}) = \hat{P}\pi\Psi(\vec{r}) = \pi^2\Psi(\vec{r}) \quad (1.88)$$

So sánh (1.87) với (1.88) ta được

$$\pi^2 = 1, \text{ do đó } \pi = \pm 1 \quad (1.89)$$

Ta gọi π là độ chẵn lẻ của hệ vi mô.

Ứng với giá trị $\pi = 1$ thì hàm sóng $\Psi(\vec{r})$ mô tả trạng thái vi mô không đổi dấu trong phép phản xạ qua gương. Trạng thái của hệ là trạng thái chẵn, hoặc trạng thái của hệ có độ chẵn lẻ dương.

Ứng với giá trị $\pi = -1$ thì hàm sóng $\Psi(\vec{r})$ mô tả trạng thái vi mô đổi dấu trong phép phản xạ qua gương. Trạng thái của hệ là trạng thái lẻ, hoặc trạng thái của hệ có độ chẵn lẻ âm.

Mỗi hạt cơ bản với khối lượng khác không đều có một độ chẵn lẻ nội tại π , hoặc dương hoặc âm. Nếu hạt này chuyển động trên quỹ đạo với momen quỹ đạo bằng ℓ thì độ chẵn lẻ của nó bằng $\pi(-1)^\ell$.

Một hệ gồm hai hạt với các độ chẵn lẻ nội tại π_1 và π_2 và momen quỹ đạo tương đối giữa chúng ℓ thì độ chẵn lẻ của hệ là $\pi = \pi_1\pi_2(-1)^\ell$. Độ chẵn lẻ của hệ này được xác định trong trạng thái động lượng tổng cộng của hai hạt bằng không.

Một hệ vật lý gồm n hạt thì hàm sóng mô tả trạng thái là $\Psi(-\vec{r}_1, -\vec{r}_2, \dots, -\vec{r}_n)$. Hệ này có độ chẵn lẻ dương khi:

$$\Psi_{\text{chẵn}}(-\vec{r}_1, -\vec{r}_2, \dots, -\vec{r}_n) = \Psi_{\text{chẵn}}(\vec{r}_1, \vec{r}_2, \dots, \vec{r}_n) \quad (1.90)$$

và có độ chẵn lẻ âm khi:

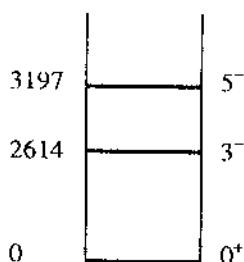
$$\Psi_{\text{lẻ}}(-\vec{r}_1, -\vec{r}_2, \dots, -\vec{r}_n) = -\Psi_{\text{lẻ}}(\vec{r}_1, \vec{r}_2, \dots, \vec{r}_n) \quad (1.91)$$

Nếu độ chẵn lẻ nội tại của các hạt là $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n$ và momen quỹ đạo của chúng là $\ell_1, \ell_2, \dots, \ell_n$ thì độ chẵn lẻ của hệ bằng

$$\pi = \pi_1\pi_2 \dots \pi_n (-1)^{\ell_1\ell_2 \dots \ell_n} \quad (1.92)$$

Trạng thái cơ bản của các hạt nhân chẵn-chẵn có độ chẵn lẻ dương còn các hạt nhân khác có thể dương hoặc âm. Chẳng hạn trạng thái cơ bản của hạt nhân ${}^{16}_8\text{O}$ có độ chẵn lẻ dương còn của hạt nhân ${}^{15}_7\text{N}$ có độ chẵn lẻ âm. Tính chất này của độ chẵn lẻ được giải thích trong khuôn khổ mẫu vỏ

hạt nhân. Trong sơ đồ mức của hạt nhân, người ta ký hiệu spin J và độ chẵn lẻ π là J^π . Các hạt nhân ở trạng thái kích thích có độ chẵn lẻ có thể không trùng với độ chẵn lẻ của trạng thái cơ bản. Chẳng hạn hạt nhân ${}_{82}\text{Pb}^{208}$ có spin và độ chẵn lẻ ở trạng thái cơ bản là 0^+ , trong lúc đó trạng thái kích thích đầu tiên có spin và độ chẵn lẻ 3^- . Hình 1.17 minh họa spin và độ chẵn lẻ của mức cơ bản và hai mức kích thích đầu tiên của hạt nhân ${}_{82}\text{Pb}^{208}$.



Hình 1.17. Các mức năng lượng thấp của hạt nhân ${}_{82}\text{Pb}^{208}$.
Cột bên trái: Năng lượng (keV). Cột bên phải: Spin chẵn lẻ.

1.8. SPIN ĐỒNG VỊ

Tương tác giữa các nucleon trong hạt nhân không phụ thuộc điện tích, tức là các tương tác p-p, p-n và n-n giống nhau nếu các nucleon đó ở các trạng thái như nhau. Nói khác đi, trong tương tác hạt nhân, hai hạt proton và neutron không khác nhau. Như vậy trong tương tác hạt nhân người ta có thể coi proton và neutron là hai trạng thái của cùng một hạt nucleon. Nếu không để ý đến tương tác điện từ thì hai trạng thái đó tương ứng với cùng một khối lượng, do đó cùng một năng lượng. Nếu để ý đến tương tác điện từ thì hai trạng thái đó tương ứng với hai khối lượng khác nhau chút ít, do đó tương ứng với hai mức năng lượng gần nhau. Ta có thể so sánh tính chất này với tính chất của electron trong nguyên tử. Nếu không để ý đến spin thì mỗi trạng thái electron trong nguyên tử tương ứng với cùng một mức năng lượng, còn nếu để ý đến spin thì mức năng lượng đó tách thành hai mức gần nhau, tương ứng với hai trạng thái của electron khác nhau về sự định hướng của spin là $s_z = +\frac{1}{2}\hbar$ và $s_z = -\frac{1}{2}\hbar$. Đối với nucleon, để tiện tính toán, người ta đưa ra

một đại lượng gọi là spin đồng vị T . Nếu hệ có spin đồng vị T thì hệ sẽ có $2T + 1$ trạng thái ứng với các giá trị khác nhau của hình chiếu spin đồng vị trên một trục z nào đó.

Như vậy khái niệm spin đồng vị cho phép mô tả các trạng thái điện khác nhau của cùng một hạt. Nucleon có hai trạng thái điện, do đó $2T + 1 = 2$ và $T = \frac{1}{2}$. Proton và neutron là hai trạng thái khác nhau của nucleon về hình

chiều T_z của spin đồng vị, cụ thể là proton có $T_z = +\frac{1}{2}$ và neutron có $T_z = -\frac{1}{2}$.

Cũng tương tự, các hạt π meson π^+ , π^0 , π^- có thể coi là ba trạng thái của cùng một hạt, nghĩa là $2T + 1 = 3$. Do đó π meson có spin đồng vị $T = 1$. Các hạt π^+ , π^0 , π^- ứng với ba giá trị khác nhau của hình chiếu spin đồng vị là 1, 0 và -1.

Người ta nói (p,n) tạo nên một bộ đôi đồng vị còn (π^+ , π^0 , π^-) tạo nên một bộ ba đồng vị.

1.9. CÁC LOẠI TƯƠNG TÁC VÀ LỰC HẠT NHÂN

1.9.1. Tổng quan về các loại tương tác

Vật chất trong tự nhiên vận động và biến đổi đều do chúng tương tác với nhau. Có 4 loại tương tác sắp xếp theo cường độ tăng dần là tương tác hấp dẫn, tương tác yếu, tương tác điện từ và tương tác mạnh. Chúng ta hãy lần lượt xem xét tóm tắt các loại tương tác này.

1.9.1.1. Tương tác hấp dẫn

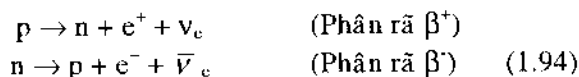
Tương tác hấp dẫn là tương tác giữa hai vật có khối lượng khác không và tuân theo định luật hấp dẫn Newton. Theo định luật này, hai chất điểm khối lượng m_1 và m_2 cách nhau một khoảng r sẽ hút nhau bởi lực hấp dẫn có phương là đường thẳng nối hai chất điểm đó và có cường độ tỉ lệ thuận với hai khối lượng m_1 và m_2 và tỉ lệ nghịch với khoảng cách r :

$$F_G = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (1.93)$$

Trong đó $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ là hằng số hấp dẫn vũ trụ.

1.9.1.2. Tương tác yếu

Tương tác yếu bao gồm các quá trình phân rã các hạt cơ bản hadron, hấp thụ μ meson bởi các chất và quá trình có sự tham gia của hạt neutrino. Các hạt hadron gồm các nucleon, π và K meson và các hạt Λ , Σ , Ξ . Ví dụ, các quá trình tương tác yếu là:



Tương tác yếu có cường độ lớn hơn tương tác hấp dẫn nhưng bé hơn tương tác điện từ. Bán kính tác dụng của tương tác yếu được xem là bằng không. Thời gian đặc trưng là 10^{-16} s, trừ phân rã neutron với thời gian đặc trưng cỡ 11,7 phút. Dưới tác dụng của tương tác yếu không tạo được các trạng thái liên kết của các hạt, do đó nó chỉ biểu hiện chủ yếu ở các quá trình phân rã hạt như đã nêu trong (1.94).

1.9.1.3. Tương tác điện từ

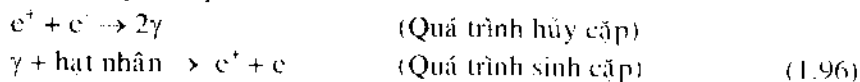
Tương tác điện từ là tương tác giữa photon và các hạt mang điện. Một trong các hình thức phổ biến của tương tác điện từ là tương tác giữa hai điện tích điểm tuân theo định luật Coulomb. Theo định luật này, hai điện tích điểm với điện tích q_1 và q_2 nằm cách nhau một khoảng r trong chân không tương tác với nhau bởi lực có phương nằm trên đường thẳng nối hai điện tích, có chiều đẩy ra xa nhau khi các điện tích cùng dấu hoặc hút lại gần nhau khi các điện tích khác dấu, có độ lớn tỉ lệ với tích số q_1 và q_2 và tỉ lệ nghịch với bình phương khoảng cách r :

$$F_C = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (1.95)$$

Trong đó $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$.

Bán kính tác dụng của tương tác Coulomb là vô cùng. Về mặt hình thức thì tương tác điện từ và tương tác hấp dẫn giống nhau. Sự khác nhau giữa chúng ở chỗ tương tác điện từ có thể hút nhau hoặc đẩy nhau còn tương tác hấp dẫn luôn luôn hút nhau. Về cường độ tương tác thì tương tác điện từ có cường độ lớn hơn nhiều so với tương tác hấp dẫn.

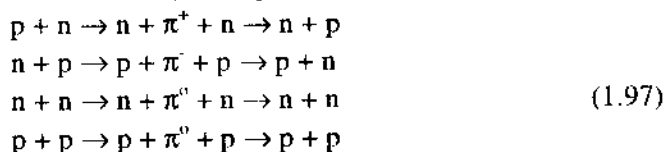
Như đã định nghĩa, tương tác điện từ là các tương tác có sự tham gia của photon. Trong tương tác giữa hai điện tích nói trên, phương tiện truyền tương tác là photon. Các quá trình khác có photon tham gia cũng đều là tương tác điện từ, như quá trình nguyên tử phát xạ và hấp thụ ánh sáng hay tia Roenghen, hay các quá trình:



1.9.1.4. Tương tác mạnh

Tương tác mạnh có cường độ lớn nhất trong bốn loại tương tác. Tương tác mạnh là tương tác giữa các hạt cơ bản hadron với nhau, trừ quá trình phân rã chúng. Các hạt hadron gồm các nucleon, π và K meson và các hạt Λ , Σ , Ξ . Nói riêng, tương tác giữa các nucleon để gắn chúng lại với nhau trong hạt nhân thuộc loại tương tác mạnh. Thời gian đặc trưng của tương tác

này vào cỡ 10^{-23} s và bán kính tác dụng vào cỡ 10^{-13} cm. Phương tiện truyền tương tác mạnh là các π meson. Ví dụ, các quá trình tương tác mạnh sau đây:



So sánh cường độ giữa bốn loại tương tác được thể hiện trên bảng 1.8.

Bảng 1.8. So sánh cường độ giữa bốn loại tương tác.

Loại tương tác	Manh	Điện từ	Yếu	Hấp dẫn
Cường độ (tương đối)	1	$\frac{1}{137}$	10^{-14}	10^{-39}

1.9.2. Các tính chất của lực hạt nhân

Tương tác hạt nhân thông qua lực hạt nhân. Sau đây là tóm tắt các tính chất của lực hạt nhân.

a) Lực hạt nhân có cường độ rất lớn. Tương tác hạt nhân là tương tác mạnh. Ví dụ, năng lượng liên kết do lực hạt nhân gây ra đối với hạt nhân deuteron bằng 2,23 MeV, trong khi năng lượng liên kết do lực điện từ gây ra đối với hydrogen bằng 13,6 eV.

b) Lực hạt nhân có tầm tác dụng ngắn cỡ fermi, tức là cỡ 10^{-13} cm. Điều này suy ra từ thí nghiệm của Rutherford về tán xạ của hạt alpha trên hạt nhân.

c) Lực hạt nhân có tính bão hòa, mỗi nucleon trong hạt nhân chỉ tương tác với một số nucleon quanh nó mà thôi. Điều này thể hiện ở năng lượng liên kết trung bình trên nucleon hầu như giống nhau đối với các hạt nhân khác nhau.

d) Lực hạt nhân có tính độc lập điện tích. Trong các thí nghiệm về tán xạ nucleon-nucleon, bao gồm tán xạ n-n, n-p, p-p, sau khi loại bỏ phần tương tác Coulomb trong tán xạ p-p, người ta thấy có sự đồng nhất về đáng điệu tán xạ của ba quá trình trên. Do đó về phương diện lực hạt nhân thì ba quá trình tương tác (n-n), (n-p) và (p-p) là như nhau.

e) Lực hạt nhân phụ thuộc vào spin hạt nhân, tức là phụ thuộc vào sự định hướng tương đối giữa spin của các nucleon. Điều này thể hiện trong tán xạ neutron-proton năng lượng thấp.