

Khối lượng của hạt nhân có bằng tổng khối lượng các nuclôn tạo thành nó hay không? Tại sao các prôtôn mang điện tích dương lại có thể gắn kết chặt với nhau trong hạt nhân chứ không đẩy nhau ra xa?

1. Cấu tạo hạt nhân. Nuclôn

a) Cấu tạo hạt nhân

- Thực nghiệm đã chứng tỏ hạt nhân được cấu tạo từ những hạt nhỏ hơn, gọi là *nuclôn*. Có hai loại nuclôn : *prôtôn*, kí hiệu p , có khối lượng $m_p = 1,67262 \cdot 10^{-27}$ kg, mang một điện tích nguyên tố dương $+e$, và *notron*, kí hiệu n , có khối lượng $m_n = 1,67493 \cdot 10^{-27}$ kg, không mang điện. Prôtôn chính là hạt nhân nguyên tử hiđrô.

- Số prôtôn trong hạt nhân bằng số thứ tự Z của nguyên tử trong Bảng tuần hoàn Men-đê-lê-ép ; Z được gọi là *nguyên tử số* (còn gọi là điện tích hạt nhân, có giá trị bằng số điện tích nguyên tố trong hạt nhân). Tổng số các nuclôn trong hạt nhân gọi là *số khối*, kí hiệu A . Như vậy số notron trong hạt nhân là : $N = A - Z$.

b) Kí hiệu hạt nhân

Hạt nhân nguyên tử của nguyên tố có kí hiệu hoá học X được kí hiệu là ${}^A_Z X$. Chẳng hạn, ${}^4_2 \text{He}$ là kí hiệu của hạt nhân heli (còn gọi là hạt α) có $Z = 2$ prôtôn và $N = A - Z = 2$ notron. Nhiều khi, để cho gọn, ta chỉ cần ghi số khối, vì kí hiệu hoá học đã xác định Z rồi. Chẳng hạn, hạt nhân urani có kí hiệu ${}^{238}\text{U}$ (vì đã biết urani có $Z = 92$) ; cũng có thể viết U238.

c) Kích thước hạt nhân

Có thể coi hạt nhân nguyên tử như một quả cầu bán kính R . Người ta thấy rằng, R phụ thuộc số khối theo công thức gần đúng sau :

$$R = 1,2 \cdot 10^{-15} A^{\frac{1}{3}} \text{ (m)} \quad (52.1)$$

2. Đồng vị

Đồng vị là những nguyên tử mà hạt nhân chứa cùng số proton Z (có cùng vị trí trong bảng tuần hoàn), nhưng có số neutron N khác nhau.

Hidro có 3 đồng vị : hidro thường ${}^1_1\text{H}$; đơteri ${}^2_1\text{H}$ (hay ${}^2_1\text{D}$) và triti ${}^3_1\text{H}$ (hay ${}^3_1\text{T}$). (Đơteri kết hợp với ôxi thành nước nặng D_2O , là nguyên liệu của công nghệ nguyên tử).

Các đồng vị được chia làm hai loại : đồng vị bền và đồng vị phóng xạ (không bền). Trong thiên nhiên có khoảng gần 300 đồng vị bền ; ngoài ra còn có vài nghìn đồng vị phóng xạ tự nhiên và nhân tạo (xem Bài 53).

3. Đơn vị khối lượng nguyên tử

a) Trong vật lí hạt nhân, khối lượng thường được đo bằng đơn vị khối lượng nguyên tử, kí hiệu là u . Theo định nghĩa, u có trị số bằng $\frac{1}{12}$ khối lượng của đồng vị cacbon ${}^{12}_6\text{C}$ (vì vậy, đôi khi đơn vị này còn gọi là đơn vị cacbon) :

$$1u = \frac{1}{12} \cdot \frac{12}{6,0221 \cdot 10^{23}} \text{ g} \approx 1,66055 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \quad (52.2)$$

Đồng vị ${}^{12}_6\text{C}$ có 12 nuclôn, nên khối lượng của một nuclôn xấp xỉ bằng 1 u . Nói chung, một nguyên tử có số khối A thì có khối lượng của nó xấp xỉ bằng $A u$.

C1 Tính bán kính của hạt nhân ${}^{238}\text{U}$. Hạt nhân ${}^{238}\text{U}$ có thể tích lớn hơn hạt nhân heli ${}^4_2\text{He}$ mấy lần ?

Hầu hết các nguyên tố đều là hỗn hợp của nhiều đồng vị. Urani có 2 đồng vị chính : ${}^{235}\text{U}$ và ${}^{238}\text{U}$, trong đó đồng vị ${}^{238}\text{U}$ chiếm tới 99,3% urani thiên nhiên. Cacbon có ba đồng vị chính là ${}^{12}\text{C}$, ${}^{13}\text{C}$, ${}^{14}\text{C}$, trong đó đồng vị ${}^{12}\text{C}$ và ${}^{13}\text{C}$ là đồng vị bền chiếm 99% cacbon thiên nhiên. Độ phổ biến của các đồng vị bền hầu như không thay đổi giữa các nơi trong vỏ Trái Đất, trừ trường hợp các đồng vị nhẹ của hidro, ôxi, nitơ,...

C2 Tính khối lượng riêng của hạt nhân ${}^A_Z\text{X}$. Nêu nhận xét.

Tính 1 MeV/c² ra đơn vị kg.

Prôtôn có khối lượng nghỉ là :

$$m_p = 1,007276 \text{ u} \approx 938 \text{ MeV}/c^2$$

Notron có khối lượng nghỉ là :

$$m_n = 1,008665 \text{ u} \approx 939 \text{ MeV}/c^2$$

Êlectron có khối lượng nghỉ là :

$$m_e = 5,486 \cdot 10^{-4} \text{ u} \approx 0,511 \text{ MeV}/c^2$$

b) Hệ thức Anh-xtanh $E = mc^2$ (hay $m = \frac{E}{c^2}$)

chứng tỏ rằng khối lượng còn có thể đo bằng đơn vị của năng lượng chia cho c^2 , cụ thể là có thể đo bằng eV/c² hoặc MeV/c².

Ta có :

$$1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV}/c^2 \quad (52.3)$$

4. Năng lượng liên kết

a) Lực hạt nhân

Lực tương tác giữa các nuclôn trong hạt nhân là lực hút, gọi là *lực hạt nhân*, có tác dụng liên kết các nuclôn với nhau. Lực hạt nhân không phải là lực tĩnh điện, nó không phụ thuộc vào điện tích của nuclôn. So với lực điện từ và lực hấp dẫn, lực hạt nhân có cường độ rất lớn (còn gọi là *lực tương tác mạnh*) và chỉ có tác dụng khi hai nuclôn cách nhau một khoảng rất ngắn, bằng hoặc nhỏ hơn kích thước của hạt nhân. Điều đó có nghĩa là, *bán kính tác dụng* của lực hạt nhân khoảng 10^{-15} m. Muốn tách nuclôn ra khỏi hạt nhân, cần phải tốn năng lượng để thắng lực hạt nhân.

b) Độ hụt khối. Năng lượng liên kết

Các phép đo chính xác đã chứng tỏ rằng, khối lượng m của hạt nhân ${}^A_Z X$ bao giờ cũng nhỏ hơn một lượng Δm so với tổng khối lượng các nuclôn tạo thành hạt nhân đó. Lượng Δm này bằng :

$$\Delta m = [Zm_p + (A - Z)m_n] - m \quad (52.4)$$

Δm được gọi là *độ hụt khối của hạt nhân*.

Theo thuyết tương đối, hệ các nuclôn ban đầu có năng lượng :

$$E_0 = [Zm_p + (A - Z)m_n]c^2$$

C4 Biết khối lượng hạt nhân heli ${}^4_2\text{He}$ là $m_{\text{He}} = 4,0015 \text{ u}$, hãy so sánh khối lượng này với tổng khối lượng các nuclôn tạo thành hạt nhân heli.

còn hạt nhân được tạo thành từ chúng thì có năng lượng $E = mc^2 < E_0$. Vì năng lượng toàn phần được bảo toàn, nên đã có một lượng năng lượng $W_{lk} = E_0 - E = \Delta m.c^2$ toả ra khi hệ các nuclôn kết hợp thành hạt nhân.

Ngược lại, nếu muốn tách hạt nhân đó thành các nuclôn riêng rẽ, có tổng khối lượng $Zm_p + (A - Z)m_n > m$, thì ta phải tốn năng lượng $W_{lk} = \Delta m.c^2$ để thắng lực tương tác giữa chúng. Năng lượng W_{lk} càng lớn thì liên kết giữa các nuclôn càng mạnh. Vì vậy, đại lượng :

$$W_{lk} = \Delta m.c^2 \quad (52.5)$$

được gọi là *năng lượng liên kết các nuclôn trong hạt nhân*, hay gọn hơn, là *năng lượng liên kết hạt nhân*.

Năng lượng liên kết tính cho một nuclôn, $\frac{W_{lk}}{A}$,

gọi là *năng lượng liên kết riêng*, đặc trưng cho độ bền vững của hạt nhân.

Hạt nhân có năng lượng liên kết riêng càng lớn thì càng bền vững. Đối với các hạt nhân có số khối A trong khoảng từ 50 đến 80, năng lượng liên kết riêng của chúng có giá trị lớn nhất, vào cỡ 8,8 MeV/nuclôn.

Với hạt nhân ${}^{16}_8\text{O}$ thì $\frac{W_{lk}}{A} = 8$ MeV/nuclôn, còn với hạt

nhân ${}^{238}_{92}\text{U}$ thì $\frac{W_{lk}}{A} = 7,6$ MeV/nuclôn.

C5 Tính năng lượng liên kết và năng lượng liên kết riêng của hạt nhân heli ${}^4_2\text{He}$.

CÂU HỎI

- Hạt nhân nguyên tử được cấu tạo như thế nào ?
Hãy nêu cấu tạo hạt nhân của các nguyên tử ${}^{16}_8\text{O}$ và ${}^{238}_{92}\text{U}$.
- Đồng vị là gì ? Cho ví dụ.
- Nêu các đơn vị dùng để đo khối lượng nguyên tử trong vật lí hạt nhân.
- Độ hụt khối và năng lượng liên kết của hạt nhân là gì ? Chúng có liên quan thế nào với sự bền vững của hạt nhân ?

BÀI TẬP

- Hạt nhân nguyên tử được cấu tạo bởi
A. prôtôn. B. nơtron. C. prôtôn và nơtron. D. prôtôn, nơtron và electron.
- Đồng vị là những nguyên tử mà hạt nhân chứa
A. cùng số prôtôn Z , nhưng số nơtron N khác nhau.
B. cùng số nơtron N , nhưng số prôtôn Z khác nhau.
C. cùng số nuclôn A , nhưng số prôtôn Z và số nơtron N khác nhau.
D. cùng số prôtôn Z và số nơtron N .
- Đơn vị khối lượng nguyên tử là
A. khối lượng của hạt nhân nguyên tử hiđrô.
B. khối lượng của một nguyên tử hiđrô.
C. khối lượng bằng $\frac{1}{12}$ lần khối lượng của đồng vị $^{12}_6\text{C}$ của nguyên tử cacbon.
D. khối lượng bằng $\frac{1}{12}$ lần khối lượng của đồng vị của nguyên tử ôxi.
- Năng lượng liên kết riêng của một hạt nhân
A. có thể âm hoặc dương. B. càng lớn, thì hạt nhân càng bền.
C. càng nhỏ, thì hạt nhân càng bền. D. có thể triệt tiêu, đối với một số hạt nhân đặc biệt.
- Hạt nhân đơteri có khối lượng 2,0136 u. Tính năng lượng liên kết của nó.
- Hạt nhân α có khối lượng 4,0015 u. Tính năng lượng tỏa ra khi tạo thành 1 mol heli. Cho biết số A-vô-ga-đrô $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.