



NĂNG LƯỢNG LIÊN KẾT CỦA HẠT NHÂN PHẢN ỨNG HẠT NHÂN

Do cơ chế nào các nuclôn liên kết với nhau tạo thành hạt nhân bền vững ? Các hạt nhân có thể biến đổi thành những hạt nhân khác ? Nói cách khác, ước mơ biến đá thành vàng của loài người có thành hiện thực ?

I - LỰC HẠT NHÂN

– Các nuclôn trong hạt nhân hút nhau bằng các lực rất mạnh tạo nên hạt nhân bền vững. Các lực hút đó gọi là *lực hạt nhân*. Ta hãy so sánh lực hạt nhân với những loại lực mà ta đã biết.

– Lực hạt nhân không phải là lực tĩnh điện vì lực hạt nhân luôn là lực hút giữa hai prôtôn, giữa hai notron và giữa một prôtôn với một notron. Nói cách khác, lực hạt nhân *không phụ thuộc vào điện tích*.

– Lực hạt nhân không phải là lực hấp dẫn vì cường độ lực hấp dẫn giữa các nuclôn trong hạt nhân vào cỡ :

$$6,6726 \cdot 10^{-11} \frac{(1,67262 \cdot 10^{-27})^2}{(1,2 \cdot 10^{-15})^2} \approx 12,963 \cdot 10^{-35} \text{ N}$$

(ở đây đã giả thiết khoảng cách giữa hai nuclôn vào khoảng $1,2 \cdot 10^{-15} \text{ m}$)

Giá trị này quá nhỏ, không thể tạo thành liên kết bền vững, vậy bản chất lực hạt nhân không phải là lực hấp dẫn.

Kết luận : Lực hạt nhân không có cùng bản chất với lực tĩnh điện hay lực hấp dẫn ; nó là một loại lực mới truyền tương tác giữa các nuclôn trong hạt nhân. Lực này cũng được gọi là *lực tương tác mạnh*. Lực hạt nhân còn một đặc tính nữa là *chỉ phát huy tác dụng trong phạm vi kích thước hạt nhân*. Ở ngoài phạm vi kích thước hạt nhân, nghĩa là nếu khoảng cách giữa các nuclôn lớn hơn kích thước hạt nhân ($\approx 10^{-15} \text{ m}$) thì lực hạt nhân giảm nhanh xuống không.

II - NĂNG LƯỢNG LIÊN KẾT CỦA HẠT NHÂN

1. Độ hụt khối

Xét một hạt nhân cụ thể, ví dụ hạt nhân ${}^4_2\text{He}$. Ta hãy so sánh khối lượng của hạt nhân này $m_{\text{He}} = 4,00150\text{u}$ với tổng khối lượng các nuclôn (2 prôtôn và 2 notron) tạo thành hạt nhân đó :

$$2m_p + 2m_n = 2.1,00728 + 2.1,00866 = 4,03188\text{u}$$

Ta nhận thấy : $2m_p + 2m_n > m_{\text{He}}$

Tính chất này là tổng quát đối với mọi hạt nhân. Vậy :

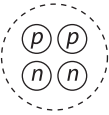
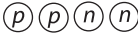
Khối lượng của một hạt nhân luôn nhỏ hơn tổng khối lượng của các nuclôn tạo thành hạt nhân đó.

Độ chênh giữa hai khối lượng đó được gọi là *độ hụt khối* của hạt nhân, kí hiệu là Δm :

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_X \quad (36.1)$$

2. Năng lượng liên kết

Đặc tính trên đây có thể lí giải dựa theo quan điểm năng lượng. Ta vẫn lấy hạt nhân ${}^4_2\text{He}$ làm ví dụ, xét ở hai trạng thái :

Trạng thái 1	Trạng thái 2
	
Năng lượng tính theo hệ thức Anh-xtanh	
$m_{\text{He}}c^2 < (2m_p + 2m_n)c^2$	

Trạng thái 1 là hạt nhân ${}^4_2\text{He}$ gồm 2 prôtôn và 2 notron liên kết chặt chẽ với nhau. Trạng thái 2 ứng với 2 prôtôn và 2 notron không liên kết với nhau. Muốn cho hệ chuyển từ trạng thái 1 sang trạng thái 2, phải cung cấp cho hệ năng lượng để thắng

được liên kết giữa các nuclôn. Giá trị tối thiểu của năng lượng cần phải cung cấp là :

$$(2m_p + 2m_n)c^2 - m_{\text{He}}c^2$$

Độ lớn của năng lượng này được gọi là *năng lượng liên kết* của hạt nhân ${}^4_2\text{He}$, kí hiệu là :

$$W_{lk} = [2m_p + 2m_n - m_{\text{He}}]c^2 = \Delta mc^2$$

Δm là độ hụt khối của hạt nhân heli.

Tổng quát, đối với hạt nhân ${}^A_Z\text{X}$, năng lượng liên kết là :

$$W_{lk} = [Zm_p + (A - Z)m_n - m_x]c^2 \quad (36.2)$$

$$\text{hay :} \quad W_{lk} = \Delta mc^2 \quad (36.3)$$

Năng lượng liên kết của một hạt nhân được tính bằng tích của độ hụt khối của hạt nhân với thừa số c^2 .

Ghi chú : Trong ví dụ bên, nếu từ trạng thái đầu gồm các nuclôn p, p, n, n riêng rẽ cho tổng hợp lại thành hạt nhân ${}^4_2\text{He}$ thì sẽ toả ra năng lượng bằng năng lượng liên kết W_{lk} . Quá trình này là một trong những quá trình hạt nhân toả năng lượng – năng lượng nhiệt hạch.

Ví dụ :

Với hạt nhân ${}^4_2\text{He}$:

$$\begin{aligned} W_{lk} &= \Delta mc^2 \\ &= (4,03188 - \\ &\quad - 4,00150) \text{ uc}^2 \\ &= 0,03038.931,5 \text{ MeV} \\ &= 28,29897 \text{ MeV} \\ &\approx 28,30 \text{ MeV.} \end{aligned}$$

3. Năng lượng liên kết riêng

Mức độ bền vững của một hạt nhân không những phụ thuộc vào năng lượng liên kết mà còn phụ thuộc vào số nuclôn của hạt nhân đó. Vì vậy người ta định nghĩa *năng lượng liên kết riêng*, kí hiệu $\frac{W_{lk}}{A}$, là thương số giữa năng lượng liên kết W_{lk} và số nuclôn A . Đại lượng này đặc trưng cho mức độ bền vững của hạt nhân.

Ví dụ :

Hạt nhân	${}^{235}_{92}\text{U}$	${}^{56}_{28}\text{Fe}$	${}^{142}_{55}\text{Cs}$	${}^{90}_{40}\text{Zr}$
$\frac{W_{lk}}{A}$ (MeV/nuclôn)	7,6	8,8	8,3	8,7

Các hạt nhân bền vững có $\frac{W_{lk}}{A}$ lớn nhất vào cỡ 8,8 MeV/nuclôn ;

đó là những hạt nhân nằm ở khoảng giữa của bảng tuần hoàn ứng với : $50 < A < 80$.

Ta nhận thấy năng lượng liên kết riêng lớn hơn nhiều so với năng lượng liên kết của một electron trong nguyên tử (từ $20 \div 10^3$ eV). Điều này một lần nữa chứng tỏ rằng tương tác hạt nhân (giữa các nuclôn) mạnh hơn rất nhiều so với tương tác tĩnh điện Cu-lông (giữa hạt nhân và electron).

III - PHẢN ỨNG HẠT NHÂN

1. Định nghĩa và đặc tính

Thực nghiệm chứng tỏ rằng, các hạt nhân có thể tương tác với nhau và biến thành những hạt nhân khác – những quá trình đó được gọi là phản ứng hạt nhân. Phản ứng hạt nhân thường chia làm hai loại.

a) *Phản ứng hạt nhân tự phát*

Quá trình tự phân rã của một hạt nhân không bền vững thành các hạt nhân khác. *Ví dụ* : quá trình phóng xạ (học trong các bài sau).


b) *Phản ứng hạt nhân kích thích*

Quá trình các hạt nhân tương tác với nhau tạo ra các hạt nhân khác. *Ví dụ* : phản ứng phân hạch – phản ứng nhiệt hạch (học trong các bài sau).

Để rõ hơn các đặc tính của phản ứng hạt nhân, ta hãy so sánh với các phản ứng hoá học.

Bảng 36.1

Phản ứng hoá học	Phản ứng hạt nhân
Biến đổi các phân tử	Biến đổi các hạt nhân
Bảo toàn các nguyên tử	Biến đổi các nguyên tử
Bảo toàn khối lượng nghỉ	Không bảo toàn khối lượng nghỉ

 Hãy giải thích rõ hơn Bảng 36.1.

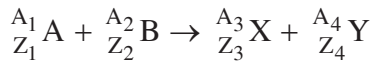


2. Các định luật bảo toàn trong phản ứng hạt nhân

Tương tự như các quá trình tương tác cơ học của các hạt, các phản ứng hạt nhân tuân theo các định luật bảo toàn, trong số đó có bốn định luật bảo toàn cơ bản nhất thường hay sử dụng :

1. Bảo toàn điện tích.
2. Bảo toàn số nuclôn (bảo toàn số A).
3. Bảo toàn năng lượng toàn phần.
4. Bảo toàn động lượng.

Các định luật bảo toàn trong phản ứng hạt nhân :



được thể hiện bằng các hệ thức sau :

– Định luật bảo toàn điện tích :

$$Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4 \quad (\text{các số } Z \text{ có thể âm})$$

– Định luật bảo toàn số nuclôn :

$$A_1 + A_2 = A_3 + A_4 \quad (\text{các số } A \text{ luôn không âm})$$

Chú ý : Số hạt nơtron ($A - Z$) không bảo toàn trong phản ứng hạt nhân.

3. Năng lượng toả ra hay thu vào trong phản ứng hạt nhân

Do tính chất không bảo toàn khối lượng nghỉ nhưng lại bảo toàn năng lượng toàn phần của hệ trong các phản ứng hạt nhân, nên các phản ứng hạt nhân có thể toả ra năng lượng hoặc thu năng lượng tùy theo quan hệ so sánh giữa tổng khối lượng trước ($m_{\text{trước}}$) và tổng khối lượng sau (m_{sau}) phản ứng.

Nếu $m_{\text{trước}} > m_{\text{sau}}$ thì phản ứng toả năng lượng, năng lượng toả ra được tính bởi :

$$W_{\text{toả}} = W = (m_{\text{trước}} - m_{\text{sau}})c^2 \quad (36.4)$$

Nếu $m_{\text{trước}} < m_{\text{sau}}$ thì $W < 0$ nghĩa là phản ứng thu năng lượng :

$$W_{\text{thu}} = |W| = -W \quad (36.5)$$

Điều này có nghĩa là muốn thực hiện được phản ứng hạt nhân thu năng lượng, phải cung cấp cho hệ một năng lượng đủ lớn.

- Lực tương tác giữa các nuclôn gọi là lực hạt nhân (tương tác hạt nhân hay tương tác mạnh).
- Năng lượng liên kết của một hạt nhân là năng lượng tối thiểu cần thiết phải cung cấp để tách các nuclôn ; nó được đo bằng tích của độ hụt khối với thừa số c^2 :

$$W_{lk} = [Zm_p + (A - Z)m_n - m_X]c^2 = \Delta mc^2$$

- Mức độ bền vững của một hạt nhân tùy thuộc vào năng lượng liên kết riêng : $\frac{W_{lk}}{A}$.
- Phản ứng hạt nhân là quá trình biến đổi của các hạt nhân, được chia thành hai loại :
 - Phản ứng hạt nhân tự phát ;
 - Phản ứng hạt nhân kích thích.
- Các định luật bảo toàn trong một phản ứng hạt nhân :
 - Bảo toàn điện tích ;
 - Bảo toàn số nuclôn (bảo toàn số A) ;
 - Bảo toàn năng lượng toàn phần ;
 - Bảo toàn động lượng.
- Năng lượng của một phản ứng hạt nhân :

$$W = (m_{\text{trước}} - m_{\text{sau}})c^2 \neq 0 \begin{cases} W > 0 \text{ toả năng lượng} \\ W < 0 \text{ thu năng lượng} \end{cases}$$

BÀI TẬP

1. Hãy chọn câu đúng.

Năng lượng liên kết riêng

- giống nhau với mọi hạt nhân.
- lớn nhất với các hạt nhân nhẹ.
- lớn nhất với các hạt nhân trung bình.
- lớn nhất với các hạt nhân nặng.

2. Hãy chọn câu đúng.

Bản chất lực tương tác giữa các nuclôn trong hạt nhân là

- lực tĩnh điện.
- lực hấp dẫn.
- lực điện từ.
- lực tương tác mạnh.

3. Phạm vi tác dụng của lực tương tác mạnh trong hạt nhân là bao nhiêu ?

- A. 10^{-13} cm. B. 10^{-8} cm.
C. 10^{-10} cm. D. Vô hạn.

4. Hạt nhân nào có năng lượng liên kết riêng lớn nhất ?

- A. Heli. B. Cacbon.
C. Sắt. D. Urani.

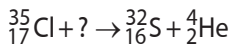
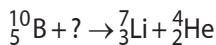
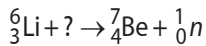
5. Năng lượng liên kết của ${}^{20}_{10}\text{Ne}$ là 160,64 MeV.

Xác định khối lượng của nguyên tử ${}^{20}_{10}\text{Ne}$.

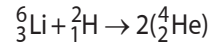
6. Khối lượng nguyên tử của ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ là 55,934939u.

Tính W_{lk} và $\frac{W_{lk}}{A}$.

7. Hoàn chỉnh các phản ứng sau :



8. Phản ứng :



toả năng lượng 22,4 MeV. Tính khối lượng nguyên tử của ${}^6_3\text{Li}$. (Khối lượng của ${}^2_1\text{H}$ và ${}^4_2\text{He}$ lần lượt là 2,01400u và 4,00150u).

9. Chọn câu **sai**.

Trong một phản ứng hạt nhân, có bảo toàn

- A. năng lượng. B. động lượng.
C. động năng. D. điện tích.

10. Phản ứng nào sau đây thu năng lượng ?

