

1. Các khái niệm cơ bản

Để hiểu về độ bền vững của hạt nhân, chúng ta cần nắm vững các khái niệm nền tảng là độ hụt khối và năng lượng liên kết.

1.1. Độ hụt khối (Δm)

Độ hụt khối là sự chênh lệch giữa tổng khối lượng của các nuclôn (proton và neutron) tạo thành hạt nhân và khối lượng thực tế của hạt nhân đó.

- Công thức: $\Delta m = [Z.m_p + (A-Z).m_n] - m_{hn}$

Trong đó:

- **Z:** là số proton trong hạt nhân (số hiệu nguyên tử).
- **A:** là số khối (tổng số proton và neutron).
- **(A-Z):** là số neutron trong hạt nhân.
- **m_p :** là khối lượng của một proton tự do (thường lấy $m_p \approx 1,007276 \text{ u}$).
- **m_n :** là khối lượng của một neutron tự do (thường lấy $m_n \approx 1,008665 \text{ u}$).
- **m_{hn} :** là khối lượng của hạt nhân.

Giải thích: Các nuclôn khi đứng riêng lẻ có tổng khối lượng lớn hơn khi chúng kết hợp lại thành một hạt nhân. Phần khối lượng bị "hụt" đi này đã được chuyển hóa thành năng lượng để liên kết các nuclôn lại với nhau, theo hệ thức Einstein.

Ví dụ 1: Tính độ hụt khối của hạt nhân Heli (${}^4_2\text{He}$). Biết khối lượng của hạt nhân Heli là $m_{\text{He}} = 4,0015 \text{ u}$, khối lượng proton $m_p = 1,007276 \text{ u}$ và khối lượng neutron $m_n = 1,008665 \text{ u}$.

Giải:

Hạt nhân Heli (${}^4_2\text{He}$) có $Z = 2$ proton và $N = A - Z = 4 - 2 = 2$ neutron.

Tổng khối lượng các nuclôn khi đứng riêng lẻ là:

$$m_0 = Z.m_p + (A-Z).m_n = 2 * 1,007276 + 2 * 1,008665 = 4,031882 \text{ u}.$$

Độ hụt khối của hạt nhân Heli là:

$$\Delta m = m_0 - m_{\text{He}} = 4,031882 - 4,0015 = 0,030382 \text{ u}.$$

Ví dụ 2: Tính độ hụt khối của hạt nhân Sắt (${}^{56}_{26}\text{Fe}$). Cho $m_{\text{Fe}} = 55,9349 \text{ u}$.

Giải:

Hạt nhân Sắt (${}^{56}_{26}\text{Fe}$) có $Z = 26$ proton và $N = 56 - 26 = 30$ neutron.

Tổng khối lượng các nuclôn tạo thành là:

$$m_0 = 26 * 1,007276 + 30 * 1,008665 = 26,189176 + 30,25995 = 56,449126 \text{ u}.$$

Độ hụt khối của hạt nhân Sắt là:

$$\Delta m = m_0 - m_{\text{Fe}} = 56,449126 - 55,9349 = 0,514226 \text{ u}.$$

1.2. Năng lượng liên kết (W_{lk})

Năng lượng liên kết của một hạt nhân là năng lượng tối thiểu cần thiết để tách hạt nhân đó thành các nuclôn riêng lẻ. Năng lượng này đúng bằng năng lượng được giải phóng khi các nuclôn liên kết lại tạo thành hạt nhân, và nó tương ứng

với độ hụt khối.

- **Công thức theo hệ thức Einstein:** $W_{lk} = \Delta m \cdot c^2 = \{[Z \cdot m_p + (A-Z) \cdot m_n] - m_{hn}\} \cdot c^2$

Trong đó:

- **Δm :** là độ hụt khối (đơn vị kg).
- **c :** là tốc độ ánh sáng trong chân không ($c \approx 3 \cdot 10^8$ m/s).
- **W_{lk} :** có đơn vị là Joule (J).

Trong vật lý hạt nhân, người ta thường dùng đơn vị năng lượng là Mega-electron-volt (MeV) và đơn vị khối lượng là u (đơn vị khối lượng nguyên tử). Ta có mối liên hệ:

$$1 \text{ u} \cdot c^2 \approx 931,5 \text{ MeV}$$

Từ đó, công thức tính năng lượng liên kết trở nên đơn giản hơn:

- **Công thức tính theo MeV:** $W_{lk} \text{ (MeV)} = \Delta m \text{ (u)} \cdot 931,5$

Giải thích: Năng lượng liên kết càng lớn, các nuclôn liên kết với nhau càng chặt chẽ, và cần một năng lượng càng lớn để phá vỡ hạt nhân. Tuy nhiên, chỉ riêng năng lượng liên kết chưa đủ để kết luận về độ bền vững của hạt nhân.

Ví dụ 1: Tính năng lượng liên kết của hạt nhân Heli (${}^4_2\text{He}$) ra đơn vị MeV. Sử dụng kết quả $\Delta m = 0,030382$ u từ ví dụ trước.

Giải:

$$W_{lk} = \Delta m \cdot 931,5 = 0,030382 \cdot 931,5 \approx 28,3 \text{ MeV}.$$

Ví dụ 2: Tính năng lượng liên kết của hạt nhân Urani ($^{235}_{92}\text{U}$). Biết $m_{\text{U}} = 235,0439 \text{ u}$.

Giải:

Hạt nhân Urani ($^{235}_{92}\text{U}$) có $Z = 92$ proton và $N = 235 - 92 = 143$ neutron.

Độ hụt khối của hạt nhân Urani là:

$$\Delta m = [92 * 1,007276 + 143 * 1,008665] - 235,0439$$

$$\Delta m = [92,669392 + 144,239095] - 235,0439 = 236,908487 - 235,0439 \approx 1,8646 \text{ u}.$$

Năng lượng liên kết của hạt nhân Urani là:

$$W_{\text{lk}} = \Delta m * 931,5 = 1,8646 * 931,5 \approx 1736,7 \text{ MeV}.$$

2. Năng lượng liên kết riêng (ϵ) và Độ bền vững của hạt nhân

Đây là đại lượng quan trọng nhất để so sánh mức độ bền vững giữa các hạt nhân khác nhau.

2.1. Định nghĩa Năng lượng liên kết riêng

Năng lượng liên kết riêng là năng lượng liên kết tính trên một nuclôn.

- Công thức: $\epsilon = W_{\text{lk}} / A$

Trong đó:

- W_{lk} : là năng lượng liên kết của hạt nhân.

- **A:** là số khối của hạt nhân.
- **ϵ :** có đơn vị là MeV/nuclôn.

Giải thích: Năng lượng liên kết riêng cho biết mức độ liên kết trung bình của mỗi nuclôn trong hạt nhân. Giá trị này càng lớn, các nuclôn liên kết càng chặt chẽ, và do đó hạt nhân càng bền vững.

2.2. Mối liên hệ giữa năng lượng liên kết riêng và độ bền vững

Nguyên tắc vàng: Hạt nhân có năng lượng liên kết riêng (ϵ) càng lớn thì càng bền vững.

Đồ thị sự phụ thuộc của năng lượng liên kết riêng vào số khối A cho thấy:

- Các hạt nhân có số khối trung bình (khoảng 50 A 80) có năng lượng liên kết riêng lớn nhất (khoảng 8,8 MeV/nuclôn). Do đó, chúng là những hạt nhân bền vững nhất. Ví dụ điển hình là Sắt ($^{56}_{26}\text{Fe}$).
- Các hạt nhân nhẹ (A 20) có năng lượng liên kết riêng nhỏ hơn. Chúng có xu hướng kết hợp với nhau (phản ứng nhiệt hạch) để tạo thành hạt nhân nặng hơn và bền vững hơn, đồng thời giải phóng năng lượng.
- Các hạt nhân rất nặng (A > 80) có năng lượng liên kết riêng nhỏ dần khi A tăng. Chúng không bền và có xu hướng vỡ ra (phản ứng phân hạch) thành các hạt nhân nhẹ hơn và bền vững hơn, đồng thời giải phóng năng lượng.

3. Phương pháp giải bài tập so sánh độ bền vững của các hạt nhân

Để so sánh độ bền vững của hai hay nhiều hạt nhân, ta phải so sánh năng lượng liên kết riêng của chúng.

3.1. Các bước giải

1. **Xác định các thông số:** Với mỗi hạt nhân, xác định số khối A , số proton Z , khối lượng hạt nhân m_{hn} . Các giá trị m_p , m_n thường được cho trước.
2. **Tính độ hụt khối (Δm):** Áp dụng công thức $\Delta m = [Z \cdot m_p + (A-Z) \cdot m_n] - m_{\text{hn}}$ cho từng hạt nhân.
3. **Tính năng lượng liên kết (W_{lk}):** Áp dụng công thức $W_{\text{lk}} = \Delta m \cdot 931,5$ (MeV).
4. **Tính năng lượng liên kết riêng (ϵ):** Áp dụng công thức $\epsilon = W_{\text{lk}} / A$.
5. **So sánh và kết luận:** So sánh các giá trị ϵ vừa tính được. Hạt nhân nào có ϵ lớn hơn thì bền vững hơn.

Lưu ý quan trọng: Không được dùng năng lượng liên kết W_{lk} hay độ hụt khối Δm để so sánh độ bền vững. Một hạt nhân nặng có thể có W_{lk} rất lớn nhưng ϵ lại nhỏ, do đó kém bền vững hơn một hạt nhân trung bình.

3.2. Ví dụ áp dụng

Ví dụ: So sánh độ bền vững của ba hạt nhân: Deuterium (${}^2_1\text{D}$), Tritium (${}^3_1\text{T}$) và Heli (${}^4_2\text{He}$). Cho biết:

- $m_{\text{D}} = 2,01355 \text{ u}$

- $m_T = 3,01550 \text{ u}$
- $m_{\text{He}} = 4,00150 \text{ u}$
- $m_p = 1,007276 \text{ u}$
- $m_n = 1,008665 \text{ u}$

Giải:

Ta sẽ tính năng lượng liên kết riêng cho từng hạt nhân.

1. Đối với Deuterium (${}^2_1\text{D}$):

- $A = 2, Z = 1, N = 1.$
- $\Delta m_D = (1 \cdot m_p + 1 \cdot m_n) - m_D = (1,007276 + 1,008665) - 2,01355 = 0,002391 \text{ u}.$
- $W_{\text{lk,D}} = 0,002391 \cdot 931,5 \approx 2,227 \text{ MeV}.$
- $\varepsilon_D = W_{\text{lk,D}} / 2 \approx 1,1135 \text{ MeV/nucleon}.$

2. Đối với Tritium (${}^3_1\text{T}$):

- $A = 3, Z = 1, N = 2.$
- $\Delta m_T = (1 \cdot m_p + 2 \cdot m_n) - m_T = (1,007276 + 2 \cdot 1,008665) - 3,01550 = 0,009106 \text{ u}.$
- $W_{\text{lk,T}} = 0,009106 \cdot 931,5 \approx 8,482 \text{ MeV}.$
- $\varepsilon_T = W_{\text{lk,T}} / 3 \approx 2,827 \text{ MeV/nucleon}.$

3. Đối với Heli (${}^4_2\text{He}$):

- $A = 4, Z = 2, N = 2.$

- $\Delta m_{\text{He}} = (2 \cdot m_p + 2 \cdot m_n) - m_{\text{He}} = (2 \cdot 1,007276 + 2 \cdot 1,008665) - 4,00150 = 0,030382 \text{ u}.$
- $W_{\text{lk,He}} = 0,030382 \cdot 931,5 \approx 28,30 \text{ MeV}.$
- $\varepsilon_{\text{He}} = W_{\text{lk,He}} / 4 \approx 7,075 \text{ MeV/nuclôn}.$

Bảng tổng hợp kết quả:

Hạt nhân	W_{lk} (MeV)	A	ε (MeV/nuclôn)
^2_1D	2,227	2	1,1135
^3_1T	8,482	3	2,827
^4_2He	28,30	4	7,075

So sánh: Ta thấy $\varepsilon_{\text{D}} < \varepsilon_{\text{T}} < \varepsilon_{\text{He}}$ (1,1135 < 2,827 < 7,075).

Kết luận: Độ bền vững tăng dần theo thứ tự: Deuterium Tritium Heli. Hạt nhân Heli bền vững nhất trong ba hạt nhân trên.

4. Các dạng bài tập thường gặp và lưu ý

Dạng 1: Tính toán các đại lượng cơ bản

Yêu cầu tính độ hụt khối, năng lượng liên kết, năng lượng liên kết riêng của một hạt nhân cho trước.

- **Phương pháp:** Áp dụng trực tiếp các công thức đã học.
- **Lưu ý:** Cẩn thận với đơn vị. Đề bài cho khối lượng theo 'u' hay 'kg'? Yêu cầu tính năng lượng theo 'J' hay 'MeV'? Luôn kiểm tra hằng số được cho trong đề

bài (ví dụ: $1u = ? \text{ kg}$, $1\text{eV} = ? \text{ J}$, $1u.c^2 = ? \text{ MeV}$).

Dạng 2: So sánh độ bền vững

Yêu cầu sắp xếp các hạt nhân theo thứ tự độ bền vững tăng dần hoặc giảm dần.

- **Phương pháp:** Tính năng lượng liên kết riêng (ϵ) cho mỗi hạt nhân rồi so sánh.
- **Lưu ý:** Tuyệt đối không so sánh dựa trên độ hụt khối (Δm) hay năng lượng liên kết (W_{lk}).

Dạng 3: Năng lượng trong phản ứng hạt nhân

Bài toán liên quan đến năng lượng tỏa ra hoặc thu vào của một phản ứng hạt nhân, dựa trên sự thay đổi độ bền vững.

- **Phương pháp:** Năng lượng của phản ứng (ΔE) có thể được tính bằng độ chênh lệch tổng năng lượng liên kết giữa các hạt sau và trước phản ứng.
- **Công thức:** $\Delta E = \sum W_{lk} (\text{sau}) - \sum W_{lk} (\text{trước})$
- **Giải thích:** Nếu tổng năng lượng liên kết của các hạt sản phẩm lớn hơn tổng năng lượng liên kết của các hạt ban đầu ($\Delta E > 0$), nghĩa là hệ chuyển sang trạng thái bền vững hơn, phản ứng sẽ tỏa năng lượng. Ngược lại ($\Delta E < 0$), phản ứng thu năng lượng.