

# TỔNG HỢP KIẾN THỨC VỀ NĂNG LƯỢNG PHẢN ỨNG HẠT NHÂN KÍCH THÍCH

Phản ứng hạt nhân kích thích là quá trình các hạt nhân tương tác với nhau hoặc với các hạt cơ bản (như neutron, proton) để tạo ra các hạt nhân mới. Quá trình này luôn tuân theo các định luật bảo toàn và thường đi kèm sự thay đổi năng lượng.

## 1. Các định luật bảo toàn trong phản ứng hạt nhân

Xét phản ứng hạt nhân tổng quát:  $A + B \rightarrow C + D$  hay  ${}^{A_1}_{Z_1}X_1 + {}^{A_2}_{Z_2}X_2 \rightarrow {}^{A_3}_{Z_3}X_3 + {}^{A_4}_{Z_4}X_4$

- **Định luật bảo toàn số khối (số nucleon A):** Tổng số nucleon của các hạt trước phản ứng bằng tổng số nucleon của các hạt sau phản ứng.

**Công thức:**  $A_1 + A_2 = A_3 + A_4$

- **Định luật bảo toàn điện tích (số proton Z):** Tổng điện tích của các hạt trước phản ứng bằng tổng điện tích của các hạt sau phản ứng.

**Công thức:**  $Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4$

- **Định luật bảo toàn năng lượng toàn phần:** Năng lượng toàn phần (bao gồm năng lượng nghỉ và động năng) của hệ được bảo toàn.

**Công thức:**  $K_1 + m_1c^2 + K_2 + m_2c^2 = K_3 + m_3c^2 + K_4 + m_4c^2$

- **Định luật bảo toàn động lượng:** Vector tổng động lượng của các hạt trước phản ứng bằng vector tổng động lượng của các hạt sau phản ứng.

**Công thức:**  $\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}_3 + \vec{p}_4$

## 2. Năng lượng của phản ứng hạt nhân ( $\Delta E$ )

Năng lượng của phản ứng hạt nhân (còn gọi là năng lượng tỏa ra hoặc thu vào) là sự chênh lệch năng lượng nghỉ giữa các hạt trước và sau phản ứng.

- Nếu  $\Delta E > 0$ : Phản ứng tỏa năng lượng. Năng lượng này thường được giải phóng dưới dạng động năng của các hạt sản phẩm hoặc bức xạ gamma.
- Nếu  $\Delta E < 0$ : Phản ứng thu năng lượng. Để phản ứng xảy ra, cần cung cấp một năng lượng tối thiểu từ bên ngoài (thường là động năng của hạt đạn).

### Các công thức tính năng lượng phản ứng hạt nhân

#### a. Tính theo khối lượng nghỉ

Năng lượng phản ứng bằng độ chênh lệch khối lượng nghỉ của các hạt trước và sau phản ứng nhân với  $c^2$ .

**Công thức:**  $\Delta E = (m_{\text{trước}} - m_{\text{sau}})c^2 = [(m_1 + m_2) - (m_3 + m_4)]c^2$

Trong tính toán, ta thường dùng đơn vị khối lượng nguyên tử (u) và MeV:

**Công thức quy đổi:**  $\Delta E \text{ (MeV)} = [(m_1 + m_2) - (m_3 + m_4)] * 931.5$  (với khối lượng m tính bằng u)

**Ví dụ 1:** Cho phản ứng hạt nhân  $D + T \rightarrow \alpha + n$ . Biết khối lượng của các hạt nhân  $m_D = 2,0136 \text{ u}$ ,  $m_T = 3,0160 \text{ u}$ ,  $m_\alpha = 4,0015 \text{ u}$ ,  $m_n = 1,0087 \text{ u}$ . Phản ứng này tỏa hay thu bao nhiêu năng lượng?

*Giải:*

- Khối lượng trước phản ứng:  $m_{\text{trước}} = m_D + m_T = 2,0136 + 3,0160 = 5,0296 \text{ u}$ .
- Khối lượng sau phản ứng:  $m_{\text{sau}} = m_{\alpha} + m_n = 4,0015 + 1,0087 = 5,0102 \text{ u}$ .
- Năng lượng của phản ứng:  $\Delta E = (m_{\text{trước}} - m_{\text{sau}}) * 931.5 = (5,0296 - 5,0102) * 931.5 = 18,0681 \text{ MeV}$ .
- Vì  $\Delta E > 0$ , phản ứng tỏa năng lượng 18,0681 MeV.

#### **b. Tính theo năng lượng liên kết**

Năng lượng phản ứng bằng hiệu tổng năng lượng liên kết của các hạt sau và tổng năng lượng liên kết của các hạt trước.

**Công thức:  $\Delta E = W_{lk\_sau} - W_{lk\_trước} = (W_{lk_3} + W_{lk_4}) - (W_{lk_1} + W_{lk_2})$**

Nếu đề bài cho năng lượng liên kết riêng ( $\epsilon$ ), ta có:  **$W_{lk} = A * \epsilon$**

**Ví dụ 2:** Tính năng lượng tỏa ra khi một hạt nhân  $^{235}\text{U}$  phân hạch theo phản ứng:  $n + ^{235}\text{U} \rightarrow ^{95}\text{Mo} + ^{139}\text{La} + 2n + 7e^-$ . Cho năng lượng liên kết riêng của  $\text{U}^{235}$  là 7,7 MeV/nucleon, của  $\text{Mo}^{95}$  là 8,4 MeV/nucleon, của  $\text{La}^{139}$  là 8,2 MeV/nucleon.

*Giải:*

- Năng lượng liên kết trước phản ứng:  $W_{lk\_trước} = W_{lk}(\text{U}^{235}) = 235 * 7,7 = 1809,5 \text{ MeV}$ . (Hạt nơtron không có năng lượng liên kết).

- Năng lượng liên kết sau phản ứng:  $W_{lk\_sau} = W_{lk}(Mo95) + W_{lk}(La139) = 95 * 8,4 + 139 * 8,2 = 798 + 1139,8 = 1937,8 \text{ MeV}$ .
- Năng lượng tỏa ra:  $\Delta E = W_{lk\_sau} - W_{lk\_trước} = 1937,8 - 1809,5 = 128,3 \text{ MeV}$ .

### c. Tính theo động năng

Năng lượng của phản ứng bằng độ chênh lệch tổng động năng của các hạt sau và tổng động năng của các hạt trước.

**Công thức:  $\Delta E = K_{sau} - K_{trước} = (K_3 + K_4) - (K_1 + K_2)$**

*Ví dụ 3:* Bắn một hạt proton có động năng  $K_p = 5,45 \text{ MeV}$  vào hạt nhân Beri ( $^9\text{Be}$ ) đứng yên. Phản ứng tạo ra hạt nhân Heli ( $^4\text{He}$ ) và hạt nhân Liti ( $^6\text{Li}$ ). Hạt Heli bay ra với động năng  $K_{He} = 4 \text{ MeV}$ . Tìm năng lượng của phản ứng.

*Giải:*

Phản ứng:  $p + ^9\text{Be} \rightarrow ^4\text{He} + ^6\text{Li}$

Theo định luật bảo toàn động lượng và năng lượng, ta có thể tính được động năng của hạt Li (tuy nhiên đề bài không yêu cầu). Ở đây, ta chỉ cần áp dụng công thức liên hệ giữa  $\Delta E$  và  $K$ . Giả sử  $K_{Li} = 2,5 \text{ MeV}$  (giá trị giả định để minh họa công thức).

- Động năng trước phản ứng:  $K_{trước} = K_p + K_{Be} = 5,45 + 0 = 5,45 \text{ MeV}$ .
- Động năng sau phản ứng:  $K_{sau} = K_{He} + K_{Li} = 4 + 2,5 = 6,5 \text{ MeV}$ .
- Năng lượng của phản ứng:  $\Delta E = K_{sau} - K_{trước} = 6,5 - 5,45 = 1,05 \text{ MeV}$ .
- Vì  $\Delta E > 0$ , phản ứng tỏa năng lượng  $1,05 \text{ MeV}$ .

### 3. Phương pháp giải bài tập kết hợp định luật bảo toàn

Đây là dạng bài tập phức tạp, yêu cầu vận dụng đồng thời cả định luật bảo toàn năng lượng và định luật bảo toàn động lượng.

#### Phương pháp chung:

1. Viết phương trình phản ứng và xác định các hạt tham gia.
2. Áp dụng định luật bảo toàn động lượng:  $\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}_3 + \vec{p}_4$ . Biểu diễn dưới dạng vector.
3. Áp dụng định luật bảo toàn năng lượng:  $\Delta E + K_{\text{trước}} = K_{\text{sau}}$ .
4. Sử dụng mối liên hệ giữa động năng và động lượng:  $p^2 = 2mK$ .
5. Giải hệ phương trình để tìm đại lượng yêu cầu.

#### Trường hợp đặc biệt: Hạt nhân bia đứng yên ( $K_2 = 0, \vec{p}_2 = 0$ )

Khi đó, các định luật bảo toàn trở thành:

- Bảo toàn động lượng:  $\vec{p}_1 = \vec{p}_3 + \vec{p}_4$
- Bảo toàn năng lượng:  $\Delta E + K_1 = K_3 + K_4$

Từ biểu thức vector động lượng, ta có thể bình phương vô hướng hai vế:

$$p_1^2 = p_3^2 + p_4^2 + 2p_3p_4\cos\theta \quad (\text{Với } \theta \text{ là góc hợp bởi vector } \vec{p}_3 \text{ và } \vec{p}_4)$$

Thay  $p^2 = 2mK$  vào, ta được:  $2m_1K_1 = 2m_3K_3 + 2m_4K_4 + 2\sqrt{(2m_3K_3 * 2m_4K_4)\cos\theta}$

Đây là phương trình quan trọng để giải các bài toán phức tạp.

Ví dụ 4: Dừng hạt proton có động năng 1,6 MeV bắn vào hạt nhân Liti ( ${}^7\text{Li}$ ) đang đứng yên. Phản ứng sinh ra hai hạt X giống nhau có cùng động năng. Biết  $m_p = 1,0073 \text{ u}$ ,  $m_{\text{Li}} = 7,0142 \text{ u}$ ,  $m_X = 4,0015 \text{ u}$ . Tìm động năng của mỗi hạt X và góc hợp bởi phương chuyển động của chúng.

*Giải:*

Phản ứng:  ${}^1_0\text{p} + {}^7_3\text{Li} \rightarrow 2X$  (X là  ${}^4_2\text{He}$ )

### 1. Tính năng lượng phản ứng $\Delta E$ :

- $m_{\text{trước}} = 1,0073 + 7,0142 = 8,0215 \text{ u}$ .
- $m_{\text{sau}} = 2 * 4,0015 = 8,0030 \text{ u}$ .
- $\Delta E = (8,0215 - 8,0030) * 931.5 = 17,23 \text{ MeV}$ .

### 2. Tính động năng mỗi hạt X:

- Áp dụng bảo toàn năng lượng:  $\Delta E + K_p = K_X + K_X = 2K_X$
- $17,23 + 1,6 = 2K_X \Rightarrow K_X = (17,23 + 1,6) / 2 = 9,415 \text{ MeV}$ .

### 3. Tìm góc giữa hai hạt X:

- Áp dụng bảo toàn động lượng:  $\vec{p}_p = \vec{p}_{X1} + \vec{p}_{X2}$
- Vì  $K_{X1} = K_{X2}$  và  $m_{X1} = m_{X2}$ , nên  $p_{X1} = p_{X2}$ .
- Từ hình bình hành động lượng (là hình thoi), ta có:  $p_p^2 = p_X^2 + p_X^2 + 2p_X * p_X * \cos\theta = 2p_X^2(1 + \cos\theta)$
- $2m_p * K_p = 2 * (2m_X * K_X) * (1 + \cos\theta)$
- $1,0073 * 1,6 = 2 * 4,0015 * 9,415 * (1 + \cos\theta) \Rightarrow \cos\theta \approx -0,978$

o  $\Rightarrow \theta \approx 168^\circ$ .

## 4. Bảng tổng hợp công thức

| Đại lượng                                 | Công thức                                           | Chú thích                                                         |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Bảo toàn số khối                          | $A_1 + A_2 = A_3 + A_4$                             | Tổng số nucleon không đổi.                                        |
| Bảo toàn điện tích                        | $Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4$                             | Tổng số proton không đổi.                                         |
| Bảo toàn động lượng                       | $\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}_3 + \vec{p}_4$     | Tổng vector động lượng không đổi.                                 |
| Năng lượng phản ứng<br>(theo khối lượng)  | $\Delta E = (m_{\text{trước}} - m_{\text{sau}})c^2$ | $\Delta E > 0$ : tỏa năng lượng; $\Delta E < 0$ : thu năng lượng. |
| Năng lượng phản ứng<br>(theo NL liên kết) | $\Delta E = W_{lk\_sau} - W_{lk\_trước}$            | Phản ứng theo hướng tăng độ bền vững sẽ tỏa năng lượng.           |
| Năng lượng phản ứng<br>(theo động năng)   | $\Delta E = K_{\text{sau}} - K_{\text{trước}}$      | Là độ chênh lệch tổng động năng.                                  |
| Liên hệ động lượng -<br>động năng         | $p^2 = 2mK$                                         | m là khối lượng của hạt.                                          |