

# 核辐射物理及探测学习题

司书屹 2022011090

## 第四章

1. (1)

$$\begin{cases} Z + 2 = 1 + 11 \\ A + 4 = 2 + 24 \end{cases} \Rightarrow {}^{22}_{10}\text{Ne}$$

(2)

$$\begin{cases} 82 + 1 = 1 + Z \\ 208 + 1 = 1 + A \end{cases} \Rightarrow {}^{208}_{83}\text{Bi}$$

(3)

$$\begin{cases} 98 + 6 = Z + 104 \\ 249 + 12 = A + 257 \end{cases} \Rightarrow {}^4_{14}\text{n}$$

(4)

$$\begin{cases} 4 + Z = 0 + 6 \\ 9 + A = 1 + 12 \end{cases} \Rightarrow \alpha$$

2. 对于 $A(a, b)B$ ，核反应能

$$Q \approx (\Delta_a + \Delta_A) - (\Delta_b + \Delta_B)$$

核反应阈值仅在 $Q < 0$ 时存在，表达式为

$$T_{th} \approx \frac{A_a + A_A}{A_A} |Q|$$

$$(1) Q = 13.659 \text{ MeV}$$

$$(2) Q = -12 \text{ keV} < 0 \Rightarrow T_{th} = 12.06 \text{ keV}$$

$$(3) Q = -1.644 \text{ MeV} < 0 \Rightarrow T_{th} = 1.876 \text{ MeV}$$

$$(4) Q = -1.301 \text{ MeV} < 0 \Rightarrow T_{th} = 1.3146 \text{ MeV}$$

3. 计算阈能时要求相对运动动能大于Q，因此在复合核模型中直接对应激发能为

$$E^* = T' + B_{aA} = |Q| + B_{aA}$$

其中结合能指的是激发核 $C^*$ 的结合能，有

$$B_{aA} = \Delta_a + \Delta_A - \Delta_{C^*}$$

$$(2) B_{aA} = 14.928 \text{ MeV} \Rightarrow E^* = 14.94 \text{ MeV}$$

$$(3) B_{aA} = 17.49 \text{ MeV} \Rightarrow E^* = 19.13 \text{ MeV}$$

$$(4) B_{aA} = 9.8 \text{ MeV} \Rightarrow E^* = 11.099 \text{ MeV}$$

4. 已知可将靶视为薄靶，则忽略入射粒子的能量损失和强度变化，有

$$Y = N\sigma D \Rightarrow \sigma = \frac{Y}{ND}$$

根据条件，有

$$\begin{cases} Y = \frac{N'}{I_0} = 0.01 \\ N = \frac{18.88}{196.97} N_A / \text{cm}^3 \Rightarrow \sigma = 3.466 \text{ barn} \\ D = 0.5 \text{ mm} \end{cases}$$

$$5. (1) T_a \geq T_{th} = \frac{A_a + A_A}{A_A} |Q| = 1.0173 \text{ MeV}$$

(2) 根据Q方程

$$T_b = \left\{ \frac{\sqrt{A_a A_b T_a}}{A_B + A_b} \cos \theta \pm \left[ \left( \frac{A_B - A_a}{A_B + A_b} + \frac{A_a A_b}{(A_B + A_b)^2} \cos^2 \theta \right) T_a + \frac{A_B}{A_B + A_b} Q \right]^{1/2} \right\}^2$$

带入数据得到

$$T_n = \left\{ \frac{1}{2} \cos \theta \pm \sqrt{2 + \frac{1}{4} \cos^2 \theta + \frac{3}{4} Q} \right\}^2$$

注意到±符号只作用在 $\cos \theta$ 上，因此两种情况是对称的，只是函数值随 $\theta$ 的变化方向相反，以取+号为例，有

$$\begin{cases} T_{n,max} = T_n(\theta = 0^\circ) = 3.223 \text{ MeV} \\ T_{n,min} = T_n(\theta = 180^\circ) = 0.632 \text{ MeV} \end{cases}$$

(3) 重新带入数值，取 $\theta = 90^\circ$ ，解得 $T_n = 1.928 \text{ MeV}$ 。根据动量守恒，不考虑相对论效应，则可列出 ${}^3\text{He}$ 在 $x, y(0^\circ, 90^\circ)$ 轴方向动量，以及出射核的动能

$$\begin{cases} p_x = \sqrt{2m_p T_p} \\ p_y = -\sqrt{2m_n T_n} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \theta_{3He} = -\arctan \frac{p_y}{p_x} = -31.84^\circ \\ E_{3He} = Q - T_n + T_p = 2.309 \text{ MeV} \end{cases}$$

6. (1)

$$^{130}\text{Te} + n \rightarrow ^{131}\text{Te} + \gamma$$

$$^{131}\text{Te} \rightarrow ^{131}\text{I} + e^- + \tilde{\nu}_e$$

$$^{131}\text{I} \rightarrow X_e + e^- + \tilde{\nu}_e$$

(2)

$$\begin{aligned} A(t) = N_t \sigma \Phi (1 - e^{-\lambda t}) &\Rightarrow A(t = 90s) = \frac{5.9}{162} N_A \times 10^{14} \times 0.2 \times 10^{-24} \times 34.08\% \times (1 - (\frac{1}{2})^{1.5/25}) \\ &= 6.2 \times 10^9 / s \end{aligned}$$

(3)  $^{131}\text{I}$  的半衰期为  $8d$

- 放置  $1.5h$  后

$$A(t = 1.5h) = A(0) \times 0.5^{3.6} = 0.082A(0)$$

由于  $1.5h \ll 8d$ , 不考虑  $^{131}\text{I}$  的衰变损耗, 则

$$A_I(1.5h) = \lambda_I \frac{A(0) - A(1.5h)}{\frac{\ln 2}{T_{1/2}}} = 1.231 \times 10^{13} \lambda_I = 1.235 \times 10^7 / s$$

- 放置  $30h$  后, 认为  $^{131}\text{Te}$  在最开始就全部衰变掉, 则

$$A_I(30h) = A_{Te}(0) \frac{\lambda_I}{\lambda_{Te}} = 1.205 \times 10^7 / s$$

(4) 根据慢中子满足的  $1/v$  规律, 有

$$\sigma' = \sqrt{\frac{0.0253}{20}} \times 0.2b = 0.007b$$

7. (1) 水分子中两种原子的比例为  $2:1$ , 因此

$$\sigma = 2\sigma_H + \sigma_O = 44.85b$$

(2) 设水的密度为  $1g/cm^{-3}$ , 则  $N\sigma = 1.5/cm$

$$I_x = I_0 e^{-\sigma N x} \Rightarrow D = \frac{\ln 100}{\sigma N} = 3.07cm$$