

次のような反応式で与えられるホウ素 10 核による熱中性子吸収反応を考える。



ただし、反応前にはホウ素 10 核は静止していて、反応後、原子核 ${}_3^7\text{Li}$ と ${}_2^4\text{He}$ は基底状態にあるとする。(熱中性子の運動エネルギーは無視する。)

1. この反応の Q 値を計算せよ。
2. 原子核 ${}_3^7\text{Li}$ と ${}_2^4\text{He}$ に分け与えられるエネルギーを求めよ。
3. この場合の原子核 ${}_3^7\text{Li}$ と ${}_2^4\text{He}$ のそれぞれの速さと光速 c との比を求めよ。

以上の問題においてそれぞれの原子(核)の質量として次の値を用いよ。

$$M({}_5^{10}\text{B}) = 10.012939\text{amu}, M_n = 1.008665\text{amu}, M({}_3^7\text{Li}) = 7.016004\text{amu}, \\ M({}_2^4\text{He}) = 4.002603\text{amu}, 1\text{amu} \cdot c^2 = 931.5\text{MeV}$$

(解答例)

1. 反応の Q 値の定義より

$$Q = [M({}_5^{10}\text{B}) + M_n - M({}_3^7\text{Li}) - M({}_2^4\text{He})]c^2 \\ = 0.002997\text{amu} \cdot c^2 \\ = 2.79 \text{ MeV} \quad (2)$$

2. 反応前には運動量(ベクトル)はゼロで、反応の途中で外力は働かないと考えると運動量(ベクトル)は保存する。原子核 ${}_3^7\text{Li}$ と ${}_2^4\text{He}$ のそれぞれの質量と速度(の成分)を M, V と m, v とすると運動量保存則より

$$MV + mv = 0 \rightarrow V = -\frac{m}{M}v \quad (3)$$

運動エネルギーはそれぞれ

$$K(\text{He}) = \frac{1}{2}mv^2, \quad (4)$$

$$K(\text{Li}) = \frac{1}{2}MV^2 = \left(\frac{m}{M}\right) K(\text{He}) \quad (5)$$

$$(6)$$

となる。両者の運動エネルギーの比は質量の逆比、約 7 対 4 になる。反応の Q 値が

$$K(\text{He}) + K(\text{Li}) = \left(1 + \frac{m}{M}\right) K(\text{He}) \quad (7)$$

に等しいと考えると

$$K(\text{Li}) = 2.79\text{MeV} \times \frac{4}{7+4} = 1.01\text{MeV}, \quad (8)$$

$$K(\text{He}) = 2.79\text{MeV} \times \frac{7}{7+4} = 1.78\text{MeV} \quad (9)$$

という値が得られる。

3. 運動エネルギーから速さを求める関係式

$$\begin{aligned} K &= \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mc^2\left(\frac{v}{c}\right)^2 \\ \rightarrow \frac{v}{c} &= \sqrt{\frac{2K}{mc^2}} \end{aligned} \quad (10)$$

が得られる。Li 原子核の場合には

$$\frac{v}{c} \approx \sqrt{\frac{2 \times 1.01 \text{ MeV}}{7.016 \times 931.5 \text{ MeV}}} \approx 0.018 \approx \frac{1}{57} \quad (\text{Li}) \quad (11)$$

He 原子核の場合には

$$\frac{v}{c} \approx \sqrt{\frac{2 \times 1.78 \text{ MeV}}{4.00 \times 931.5 \text{ MeV}}} \approx 0.031 \approx \frac{1}{32} \quad (\text{He}) \quad (12)$$

となる。

備考：

この反応のミクロ断面積は 3800barn(b) もあり、ホウ素 10 またはそれを 10% 含有する天然のホウ素は熱中性子の非常にすぐれた吸収材として、事故の場合も含めて、種々の場面で利用される。