

(ベータ崩壊の Q 値)filename=beta-decay-Q-value-qa20201209A.tex

いくつかの代表的なベータ崩壊において解放される最大エネルギー (Q 値) を計算せよ。ただし、統一原子質量単位 [amu] で、電子の質量 $m_e = 0.000549$ amu、陽子の質量 $m_p = 1.007276$ amu、中性子の質量 $m_n = 1.008665$ amu とする。さらに、中性原子の質量として、 $M_{\text{atom}}({}_1^3\text{H}) = 3.0160492$ amu, $M_{\text{atom}}({}_2^3\text{He}) = 3.0160293$ amu, $M_{\text{atom}}({}_6^{14}\text{C}) = 14.003241$ amu, $M_{\text{atom}}({}_7^{14}\text{N}) = 14.003074$ amu, $\text{amu} \cdot c^2 = 931.5$ MeV とする。

1. 自由な中性子のベータ崩壊の反応式を記し、この時の Q 値を計算せよ。記号として、陽子 p 、電子 e^- 、反電子ニュートリノ $\bar{\nu}_e$ を用いよ。
2. 三重水素 (トリチウム) の原子核のベータ崩壊の反応式を記し、この時の Q 値を計算せよ。
3. 炭素 14 原子核のベータ崩壊の反応式を記し、この時の Q 値を計算せよ。

[解答例]

1. 題意より、自由な中性子が陽子に変わり、電子と反電子ニュートリノが放出され、電荷と質量数が保存される過程であるから、次のように書ける。



$$\begin{aligned} Q(n) &\approx [m_n - m_p - m_e]c^2 \\ &= [1.008665 - 1.007276 - 0.000549]\text{amu} \cdot c^2 \\ &= [8.4 \times 10^{-4}] \times 931.5 \text{ MeV} \\ &\approx 0.782 \text{ MeV}. \end{aligned} \quad (2)$$

2. 題意より、ベータ崩壊は原子核内の中性子が陽子に変わり、電子と反電子ニュートリノが放出され、電荷と質量数が保存される過程であるから、ヘリウム 3 の原子核 ${}_2^3\text{He}$ を用いて次のように書ける。



$$\begin{aligned} Q({}_1^3\text{H}) &\approx [M_{\text{atom}}({}_1^3\text{H}) - M_{\text{atom}}({}_2^3\text{He})]c^2 \\ &= [3.0160492 - 3.01602932]\text{amu} \cdot c^2 \\ &= [1.99 \times 10^{-5}] \times 931.5 \text{ MeV} \\ &\approx 0.0185 \text{ MeV}. \end{aligned} \quad (4)$$

3. 前問と同様に



$$\begin{aligned} Q({}_6^{14}\text{C}) &\approx [M_{\text{atom}}({}_6^{14}\text{C}) - M_{\text{atom}}({}_7^{14}\text{N})]c^2 \\ &= [14.003241 - 14.003074]\text{amu} \cdot c^2 \\ &= [1.67 \times 10^{-4}] \times 931.5 \text{ MeV} \\ &\approx 0.1556 \text{ MeV}. \end{aligned} \tag{6}$$