

原子核の性質を議論する場合、原子質量単位 amu (= atomic mass unit), 1 電子ボルト (1 eV), 長さの単位 1 fm を用いることが多い。これらの単位と MKS 単位 (SI 単位) との関係、および光速 c 、プランク定数 h の値は次の通りである。

$$\begin{aligned} 1\text{eV} &= 1.602 \times 10^{-19}\text{joule}, \quad 1\text{MeV} = 10^6\text{eV}, \quad 1\text{amu} = 931.49432 \text{ MeV}/c^2 \\ 1\text{fm} &\equiv 10^{-15} \text{ m}, \quad c = 2.99792458 \times 10^8\text{m/s}, \quad h = 6.6260755 \times 10^{-34}\text{J} \cdot \text{s}. \end{aligned} \quad (1)$$

電子、陽子、水素原子、中性子の質量はこの単位で次のように表される。

$$\begin{aligned} \text{陽子の質量 : } m_p &= 1.6726231 \times 10^{-27} \text{ kg} = 1.007277 \text{ amu} = 938.272804 \text{ MeV}/c^2, \\ \text{水素原子の質量 : } m_H &= 1.007825 \text{ amu} = 938.783263 \text{ MeV}/c^2, \\ \text{中性子の質量 : } m_n &= 1.6749286 \times 10^{-27} \text{ kg} = 1.008665 \text{ amu} = 939.565718 \text{ MeV}/c^2. \end{aligned}$$

α 粒子の結合エネルギーと光分解について以下の問いに答えよ。

1. α 粒子とは何か、説明せよ。
2. α 粒子の質量欠損 ΔM , 質量欠損率 $\Delta M/M$, 結合エネルギー $B.E.$ とを計算せよ。α 粒子の原子核の質量は $M(\alpha) = 4.00260 \text{ amu}$ である。
3. α 粒子にガンマ線を当てて、三重水素核と水素核に光分解させる。この核反応式を書き、必要なガンマ線のエネルギー E を MeV 単位で計算せよ。ただし、三重水素核 ${}^3_1\text{H}_2$ の質量は $M({}^3_1\text{H}_2) = 3.016049 \text{ amu}$ である。
4. 前問と同様に、必要なガンマ線の波長 λ を fm 単位で計算せよ。

(解答例)

1. α 粒子とは 高速のヘリウム 4 の原子核の流れ である。
2. 題意より

$$\begin{aligned} \Delta M &\approx [2 \times m_H + 2 \times m_n - M(\alpha)] \\ &= [2 \times 1.007825 + 2 \times 1.008665 - 4.00260] \times \text{amu} \\ \rightarrow \Delta M &= [0.03038] \text{ amu}, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{\Delta M}{M(\alpha)} = \frac{0.03038}{4.00260} = 0.00759, \quad (3)$$

$$\begin{aligned} B.E. &\equiv \Delta M \times c^2 \\ &= [0.03038] \text{ amu} \times c^2 \\ \rightarrow B.E. &= 28.29 \text{ MeV}. \end{aligned} \quad (4)$$

3. アルファ粒子にガンマ線 (γ) を当てて、三重水素核と水素核に光分解させる核反応

式は



ガンマ線のエネルギー E ([MeV]) は

$$\begin{aligned} E &= [M({}^3_1\text{H}_2) + M({}^1_1\text{H}) - M({}^4_2\text{He})] \\ &= [3.016049 + 1.007825 - 4.00260] \times \text{amuc}^2 \\ &= [0.021275] \times 931.5 \text{ MeV} \\ \rightarrow E &= 19.817 \text{ MeV}. \end{aligned} \quad (6)$$

4. このために必要なガンマ線のエネルギー E ([MeV]) は光の振動数 f と波長の関係より

$$\begin{aligned} E &= hf = \frac{ch}{\lambda} \\ \rightarrow \lambda &= \frac{ch}{E} \\ &= \frac{2.99792458 \times 10^8 \text{m/s} \times 6.6260755 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}}{19.817 \times 10^6 \times 1.602 \times 10^{-19} \text{joule}} \\ &= \left(\frac{2.99792458 \times 6.6260755}{19.817 \times 1.602} \right) \times 10^{8-34-6+19} \times \frac{\text{ms}^{-1} \text{Js}}{\text{J}} \\ &\approx 0.627 \times 10^{-13} \text{ m} \\ \rightarrow \lambda &= 62.7 \text{ fm}. \end{aligned} \quad (7)$$