

原子核の性質を議論する場合、原子質量単位 amu (= atomic mass unit) を用いることが多い。この単位と MKS 単位 (SI 単位)、光速 c との関係は次の通りである。

$$1 \text{ amu} = 931.49432 \text{ MeV}/c^2, \quad 1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}, \quad (1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}).$$

水素原子、中性子の質量は amu 単位で次のように与えられる。

水素原子の質量 : $m_{\text{H}} = 1.007825 \text{ amu}$, 中性子の質量 : $m_{\text{n}} = 1.008665 \text{ amu}$.

1. 重水素 (${}^2_1\text{H} \equiv \text{D}$) の原子核 (= 重陽子, deuteron, d) の質量欠損 $\Delta M(\text{d})$, 質量欠損比 $\Delta M(\text{d})/M(\text{d})$ と結合エネルギー $E_B(\text{d})$ - MeV 単位で一とを計算せよ。重水素原子核 d の質量は $M(\text{d}) = 2.014103 \text{ amu}$ である。
2. ウラン 235 原子核 (${}^{235}_{92}\text{U}$) の質量欠損 $\Delta M(\text{U})$, 質量欠損比 $\Delta M(\text{U})/M(\text{U})$ と結合エネルギー $E_B(\text{U})$ - MeV 単位で一とを計算せよ。ウラン 235 原子核の質量は $M(\text{U}) = 235.04392 \text{ amu}$ である。

(解答例)

1. 陽子数 Z , 中性子数 N をもつ原子核の質量欠損 $\Delta M(Z, N)$ の定義より

$$\begin{aligned} \Delta M(Z, N) &\approx Z \times m_{\text{H}} + N \times m_{\text{n}} - M(Z, N) \\ \rightarrow \Delta M(\text{d}) &= [1 \times 1.007825 + 1 \times 1.008665 - 2.014103] \times \text{amu} \\ &= 0.002387 \text{ amu}. \end{aligned} \quad (1)$$

質量欠損比は $\Delta M(\text{d})/M(\text{d}) = 0.002387/2.014103 \approx 0.0012$ となる。陽子数 Z , 中性子数 N の原子核の結合エネルギー $E_B(Z, N)$ は定義により

$$\begin{aligned} E_B(Z, N) &\equiv \Delta M(Z, N) \times c^2 \\ \rightarrow E_B(\text{d}) &= 0.002387 \text{ amu} \cdot c^2 \\ &= 0.002387 \times 931.49432 \text{ MeV} \\ &\approx 2.2 \text{ MeV}. \end{aligned} \quad (2)$$

2. 同様にして

$$\begin{aligned} \Delta M(\text{U}) &= [92 \times 1.007825 + 143 \times 1.008665 - 235.04392] \times \text{amu} \\ &= 1.915075 \text{ amu} \end{aligned} \quad (3)$$

質量欠損比は $\Delta M(\text{U})/M(\text{U}) = 1.915075/235.04392 \approx 0.008$ となる。結合エネルギー $E_B(\text{U})$ は

$$\begin{aligned} E_B(\text{U}) &= 1.915075 \text{ amu} \cdot c^2 \\ &= 1.915075 \times 931.49432 \text{ MeV} \\ &\approx 1783.9 \text{ MeV}. \end{aligned} \quad (4)$$