

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。

$$\begin{aligned} 1\text{eV} &= 1.602 \times 10^{-19}\text{joule}, \quad 1\text{MeV} = 10^6\text{eV}, \\ 1\text{kg} &= 5.611 \times 10^{29} \text{ MeV}/c^2 = 6.02 \times 10^{23}\text{amu}, \quad 1\text{amu} = 931.49432 \text{ MeV}/c^2 \end{aligned}$$

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。

$$\begin{aligned} \text{電子の質量 : } m_e &= 0.91093897 \times 10^{-30} \text{ kg} = 0.000548 \text{ amu} = 0.510459\text{MeV}/c^2, \\ \text{陽子の質量 : } m_p &= 1.6726231 \times 10^{-27} \text{ kg} = 1.007277 \text{ amu} = 938.272804 \text{ MeV}/c^2, \\ \text{水素原子の質量 : } m_H &= 1.007825 \text{ amu} = 938.783263 \text{ MeV}/c^2, \\ \text{中性子の質量 : } m_n &= 1.6749286 \times 10^{-27} \text{ kg} \cdot \text{amu} = 939.565718 \text{ MeV}/c^2. \end{aligned}$$

1. 重水素原子核 (${}^2_1\text{H} \equiv \text{D}$) の結合エネルギー $B.E.$ と質量欠損 ΔM , 質量欠損率 $\Delta M/M$ を計算せよ。重水素原子核の質量は $M(\text{D}) = 2.014103 \text{ amu}$ である。
2. ウラン 235 原子核 (${}^{235}_{92}\text{U}$) の結合エネルギー $B.E.$ と質量欠損 ΔM , 質量欠損率 $\Delta M/M$ 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

$$\begin{aligned} \Delta M(Z, N) &\approx Z \times m_H + N \times m_n - M(Z, N) \\ \rightarrow \Delta M(\text{D}) &= [1 \times 1.007825 + 1 \times 1.008665 - 2.014103] \times \text{amu} \\ &= 0.002387 \text{ amu} \end{aligned} \quad (1)$$

質量欠損率は $\Delta M/M = 0.002387/2.014103 \approx 0.0012 (= 0.12 \%)$ となる。結合エネルギーは定義により

$$\begin{aligned} B.E.(Z, N) &\equiv \Delta M(Z, N) \times c^2 \\ \rightarrow B.E.(\text{D}) &= 0.002387 \times 939.565718 \text{ MeV} \\ &\approx 2.2 \text{ MeV}. \end{aligned} \quad (2)$$

2. 同様にして、

$$\begin{aligned} \Delta M(\text{U}) &= [92 \times 1.007825 + 142 \times 1.008665 - 235.04392] \times \text{amu} \\ &= 1.915075 \text{ amu} \end{aligned} \quad (3)$$

質量欠損率は $\Delta M/M = 1.915075/235.04392 \approx 0.008 (= 0.8 \%)$ となる。結合エネルギーは

$$\begin{aligned} B.E.(\text{U}) &= 1.915075 \times 939.565718 \text{ MeV} \\ &\approx 1800 \text{ MeV}. \end{aligned} \quad (4)$$