

陽子の質量の近似値としての水素原子の質量、中性子の質量は次のように与えられる。

水素原子の質量 : $m_H = 1.007825$ amu, 中性子の質量 : $m_n = 1.008665$ amu.

${}^{12}_6\text{C}$ 原子の質量 : $M({}^{12}\text{C}) = 12.000000$ amu,

${}^{11}_6\text{C}$ 原子の質量 : $M({}^{11}\text{C}) = 11.011432$ amu,

${}^{11}_5\text{B}$ 原子の質量 : $M({}^{11}\text{B}) = 11.009305$ amu. ただし

$$1\text{eV} = 1.602 \times 10^{-19}\text{J}, 1\text{MeV} = 10^6\text{eV}, 1\text{amu} \cdot c^2 = 931.49432 \text{ MeV}$$

1. ${}^{12}_6\text{C}$ 核の結合エネルギー $B.E.$ を計算せよ。
2. ${}^{12}_6\text{C}$ から陽子を取り出すのに必要な分離エネルギー S_p を MeV 単位で計算せよ。
3. ${}^{12}_6\text{C}$ から中性子を取り出すのに必要な分離エネルギー S_n を MeV 単位で計算せよ。
4. 直前の 2 つの問の結果 S_p と S_n の差違の原因について簡単に説明せよ。

(解答例)

1. 陽子数 Z , 中性子数 N をもつ原子核の結合エネルギー $E_B(A, Z)$ は定義により

$$\begin{aligned} E_B(A, Z) &\approx [Z \times m_H + N \times m_n - M(Z, N)]c^2 \\ \rightarrow E_B(12, 6) &= [1.007825 \times 6 + 1.008665 \times 6 - 12.000]\text{amu} \times c^2 \\ &= 0.09894 \times 931.49432\text{MeV} = 92.16204 \text{ MeV}. \end{aligned} \quad (1)$$

2. 結合エネルギーと類似の定義により

$$\begin{aligned} S_p &\equiv [E_B(A, Z) - E_B(A - 1, Z - 1)], (A = 12, Z = 6) \\ &= [M({}^{11}_5\text{B}_6) + m_H - M({}^{12}_6\text{C}_6)]c^2 \\ &= [11.009305 + 1.007825 - 12.000000]\text{amu} \times c^2 \\ &= [0.01713] \times 931.49432\text{MeV} = 15.956498 \text{ MeV}. \end{aligned} \quad (2)$$

3. 同様にして

$$\begin{aligned} S_n &\equiv [E_B(A, Z) - E_B(A - 1, Z)], (A = 12, Z = 6) \\ &= [M({}^{11}_6\text{C}_6) + m_n - M({}^{12}_6\text{C}_6)]c^2 \\ &= [11.011432 + 1.008665 - 12.000000]\text{amu} \times c^2 \\ &= [0.020097] \times 931.49432\text{MeV} = 18.720241 \text{ MeV}. \end{aligned} \quad (3)$$

4. $S_n > S_p$ である理由は、陽子間にはクーロン斥力が働くが、中性子間には働かないからである。