

演習問題2-1

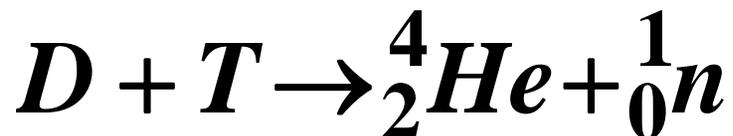
- D – T 核融合反応で生ずるQ値を求め、DとTの運動エネルギーが無視できるとして反応後のHeとnの運動エネルギーを求めよ。

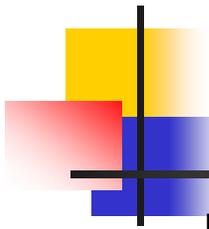
ただし、

D: 2.01410u T: 3.01605u

n: 1.008665u He: 4.00260u

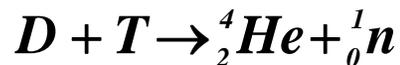
とし、D – T 核融合反応は、以下で与えられる。





演習問題2-1 解答の方針

D-T核融合反応は



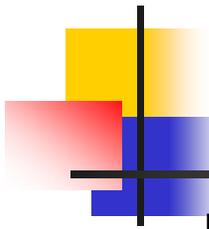
である。よってQ値は M_i : 原子iの質量とすると

$$Q = [(M_D + M_T) - (M_{{}_2^4\text{He}} + M_{{}_0^1n})] \times 931.502 [\text{MeV}] = \quad [\text{MeV}]$$

反応後の運動エネルギーはおのこのの質量の比で与えられ、 E_i : 原子iの運動エネルギーとすると

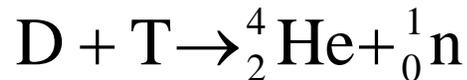
$$E_{{}_2^4\text{He}} = \frac{M_{{}_0^1n}}{M_{{}_2^4\text{He}} + M_{{}_0^1n}} \cdot Q = \quad [\text{MeV}]$$

$$E_{{}_0^1n} = \frac{M_{{}_2^4\text{He}}}{M_{{}_2^4\text{He}} + M_{{}_0^1n}} \cdot Q = \quad [\text{MeV}]$$



演習問題2-1 解答

D-T核融合反応は



である。よってQ値は M_i : 原子 i の質量とすると

$$Q = [(M_D + M_T) - (M_{{}^4_2\text{He}} + M_{{}^1_0\text{n}})] \times 931.502[\text{MeV}] = 17.5914[\text{MeV}]$$

反応後の運動エネルギーはおのこのの質量の比で与えられ、 E_i : 原子 i の運動エネルギーとすると

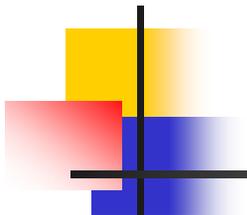
$$E_{{}^4_2\text{He}} = \frac{M_{{}^1_0\text{n}}}{M_{{}^4_2\text{He}} + M_{{}^1_0\text{n}}} \cdot Q = 3.54079[\text{MeV}]$$

$$E_{{}^1_0\text{n}} = \frac{M_{{}^4_2\text{He}}}{M_{{}^4_2\text{He}} + M_{{}^1_0\text{n}}} \cdot Q = 14.05061[\text{MeV}]$$



演習問題2-2

- 以下の反応のしきいエネルギーを求めよ。
$${}_{13}^{27}\text{Al} + {}_2^4\text{He} = {}_{15}^{30}\text{P} + {}_0^1\text{n} - 5.583\text{MeV}$$
- ${}_2^4\text{He}$ の入射エネルギーが8MeVの時、反応後の粒子 ${}_{15}^{30}\text{P}$ と ${}_0^1\text{n}$ のエネルギーを求めよ。



演習問題2-2 解答

この反応では5.583[MeV]を吸熱する。よって、この反応が進行するためには、5.583[MeV]のエネルギーが必要となる。この値がしきいエネルギーとなる。次に、 ${}^4_2\text{He}$ が入射エネルギー8[MeV]で進入した場合を考える。この時Q値は

$$Q = 8.0 - 5.583 = 2.417[\text{MeV}]$$

$M_{{}^{30}_{15}\text{P}} = 30.9738\text{u}$ $M_{{}^1_0\text{n}} = 1.008665\text{u}$
となる。

よって、これらの原子が持つ反応後の運動エネルギーは

$$E_{{}^{30}_{15}\text{P}} = \frac{M_{{}^1_0\text{n}}}{M_{{}^{30}_{15}\text{P}} + M_{{}^1_0\text{n}}} \cdot Q = 0.0762274[\text{MeV}]$$

$$E_{{}^1_0\text{n}} = \frac{M_{{}^{30}_{15}\text{P}}}{M_{{}^{30}_{15}\text{P}} + M_{{}^1_0\text{n}}} \cdot Q = 2.34077[\text{MeV}]$$



演習問題2-3

- 放射性崩壊をする原子核の半減期を T としたとき、この原子核の平均寿命が半減期1.44倍であることを示せ。

演習問題2-3 解答の方針

原子核の平均寿命 t_m は、 t ：時間、 N_0 ：初期原子核個数とすると

$$t_m \equiv \int_{N_0}^0 t dN / \int_{N_0}^0 dN \quad \text{①}$$

また、原子核の個数 N の時間変化は λ を崩壊定数とすると、

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad \rightarrow \quad dN = -\lambda N_0 \exp(-\lambda t) \cdot dt \quad \text{②}$$

となる。②を、①に代入して、

$$t_m = \lambda \int_0^{\infty} t \cdot \exp(-\lambda t) dt =$$

原子核の半減期は

$$T = \frac{0.6931}{\lambda}$$

よって $\frac{t_m}{T} =$

演習問題2-3 解答

原子核の平均寿命 t_m は、 t ：時間、 N_0 ：初期原子核個数とすると

$$t_m \equiv \int_{N_0}^0 t dN / \int_{N_0}^0 dN \quad \text{①}$$

また、原子核の個数 N の時間変化は λ を崩壊定数とすると、

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad \rightarrow \quad dN = -\lambda N_0 \exp(-\lambda t) \cdot dt \quad \text{②}$$

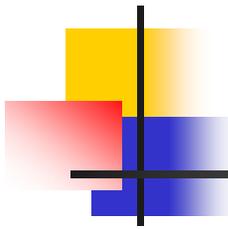
となる。②を、①に代入して、

$$t_m = -\lambda \int_0^{\infty} t \cdot \exp(-\lambda t) dt = t \cdot \exp(-\lambda t) \Big|_0^{\infty} - \int_0^{\infty} \exp(-\lambda t) dt = \frac{1}{\lambda}$$

原子核の半減期は

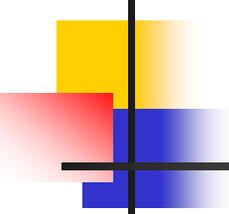
$$T = \frac{0.6931}{\lambda}$$

よって
$$\frac{t_m}{T} = \frac{1}{0.6931} = 1.44279 \dots \approx 1.44$$



演習問題2-4

- 半減期1602年のラジウムRa(質量数226、原子番号88)のおよそ 1g の放射能が、1Ci(3.7×10^{10} Bq)にほぼ等しいことを示せ。



演習問題2-4 解答の方針

Ra 1 [mol]の質量は、226 [g/mol]であるから、
 $N_0 = 6.022169 \times 10^{23}$: アボガドロ数

とすると、1 [g] 中のRa原子の個数 N_{Ra} は

$$N_{Ra} = \frac{1 \times N_0}{226} =$$

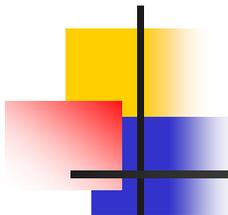
また、Raの崩壊定数 λ_{Ra} は、

半減期1602 [year]= [sec]より

$$\lambda = \frac{0.6931}{T} =$$

である。よってRa 1 [g]の放射能は

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N_{Ra} =$$



演習問題2-4 解答

Ra 1 [mol]の質量は、

$N_0 = 6.022169 \times 10^{23}$: アボガドロ数
とすると、[g/mol]である。

よって 1 [g] 中のRa原子の個数 n_{Ra} は

$$n_{\text{Ra}} = \frac{1 \times N_0}{226} = 2.66462 \times 10^{21}$$

また、Raの崩壊定数 λ_{Ra} は半減期1602 [year]=584730 [day]
= 14033520 [hr] = 550.5207×10^6 [sec]より

$$\lambda = \frac{0.6931}{T} = 1.37191 \times 10^{-11}$$

である。よってRa 1 [g]の放射能は

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N_{\text{Ra}} = 3.65563 \times 10^{10} [\text{Bq}] \approx 3.7 \times 10^{10} [\text{Bq}] \approx 1.0 [\text{Ci}]$$