

原子力関係 資格試験의 傾向과对策 (II)

〈計算問題〉

1. C¹²의 質量(同位元素 질량은 12.0038)과 아보가드로数 N_a=6.023×10²³그램/그램分子를 이용해서 1原子 質量单位(1amu)의 値가 1.66×10⁻²⁴그램임을 밝혀라.

(答) 1amu = $\frac{C^{12} \text{의 質量(g)}}{12}$ (定義) C¹²의 1mol은 12.0038g이며, 여기에 6.023×10²³개의 원자가 포함되어 있다.

$$\begin{aligned} C^{12} \text{의 質量} &= \frac{12.0038 \text{ (g/mol)}}{6.023 \times 10^{23} \text{ (原子数/mol)} (N_a)} = \\ 1.9930 \times 10^{-23} \text{ (g/原子)} &\therefore 1 \text{ amu} = \frac{1.9930 \times 10^{-23}}{12} \\ &= 1.66 \times 10^{-24} \text{ g} \end{aligned}$$

2. 塩素의 化学的原子量은 35.457amu이다. 天然에서 발생하는 가스는 75.4%의 ³⁵Cl³⁵와 24.6%의 ³⁷Cl³⁷을 포함하고 있다. 이것을 기초로 해서 陽子質量 1.00759amu, 中性子質量 1.00898 amu 및 電子質量 0.00055amu를 사용해서 塩素의 原子量을 계산하고 이 계산值와 실제值와의 差를 求하라. 이 差는 무엇에 起因한다고 생각하는가.

(答) 天然에 存在하는 塩素는 Cl³⁵가 75.4%, Cl³⁷이 24.6%이므로 구성하고 있는 陽子, 中性子, 電子의 質量을 求하면,

$$Cl^{35} \cdots 17 \times (1.00759 + 0.00055) + (35-17) \times$$

$$1.00898 = 35.30002$$

$$Cl^{37} \cdots 17 \times (1.00759 + 0.00055) + (37-17) \times$$

$$1.00898 = 37.31798$$

$$\begin{aligned} W &= \frac{35.30002 \times 37.31798}{0.246 \times 35.30002 + 0.754 \times 37.31798} \\ &= 35.7758 \text{ (amu)} \end{aligned}$$

計算한 Cl의 化学的原子量 W=35.776amu
주어진 Cl의 化学的原子量 M=35.457amu
両者의 差 ΔM=W-M=0.319 (amu)

이것을 에너지로 환산하면, ΔM=0.319amu × 931MeV/amu=297MeV
이것은, 核子當 平均結合에너지 約 8MeV의 거의 37倍가 된다. 즉 ΔM는 結合에너지이다.

3. ¹⁰B의 同位元素質量이 10.01612일 때, 이 結合에너지와 核子當의 結合에너지의 계산하라.

(答) B¹⁰에서 A(질량수)=10, Z(원자번호=양자수)=5, N(중성자수=A-Z)=5, M(原子量)=10.01612 2번문제에서 m_p=1.00759amu, M_n=1.00898amu, m_e=0.00055amu B¹⁰의 원자량 계산值 W=5×(1.00759+0.00055)+5×1.00898=10.08560(amu) ΔM=W-M=10.08560-10.01612=0.06948amu BE(全結合에너지)=ΔM×931(MeV/amu)=67.4MeV, BE/A(核子當結合에너지)= $\frac{BE}{A} = \frac{64.69}{10} = 6.47$ (MeV/核子)

4. P₀/B_e中性子源은 2×10^7 개/秒의 비율로 중성자를 방출하며, P₀의 半減期는 138日이다. 이 中性子源에 의해 만들어지는 중성자의 비율은 6개월 후와 1년 반 후에는 얼마가 되는가.

(答) A=A₀(1/2)ⁿ 여기서 A는 반감기의 n배후

의 봉괴율, A_0 는 처음의 봉괴율

그) 6개월후의 中性子源 強하기 A는 : $n =$

$$\frac{6 \times 30}{138} = 1.31 \quad \therefore A = 2 \times 10^7 (1/2)^{1.31} = 8.08 \times 10^6 \text{ (n/sec)}$$

ㄴ) 1년반후의 中性子源 強하기 A는 : $n =$

$$\frac{365 \times 1.5}{138} = 3.97 \quad \therefore A = 2 \times 10^7 (1/2)^{3.97} = 1.28 \times 10^6 \text{ (n/sec)}$$

5. Pu^{239} 의 半減期는 2.43×10^4 年이다. 이것의 崩壊定数는 몇만가. 또 0.1g의 試料에서 방출되는 큐리(Ci)수는 몇만가.

[답] 1cm³당의 원자핵의 수는, 아보가드로 수, 무게 및 원자량에서 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{0.693}{T} = \frac{0.693}{2.43 \times 10^4 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60} \\ &= 9.04 \times 10^{-13} (\text{sec}^{-1}) \quad \text{단, } T \text{는 반감기} \\ \text{Pu}^{239} 0.1\text{g} \text{속의 원자수 } N &= \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\text{Na (아보가드로 수)} \times W(\text{무게})}{M(\text{원자량 또는 분자량})} &= \\ \frac{6.023 \times 10^{23}(\text{개/mol}) \times 0.1(\text{g})}{239(\text{g/mol})} &= 2.52 \times 10^{20}(\text{개}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1\text{秒間의 봉괴수 } A &= \lambda N(\text{d/sec}), 1\text{curie} = 3.7 \times 10^{10} \text{d/sec} \\ \text{단, } d &\text{는 봉괴수} \quad A = \frac{\lambda N}{3.7 \times 10^{10}}(\text{curie}) \end{aligned}$$

$$\therefore A = \frac{9.04 \times 10^{-13} \times 2.52 \times 10^{20}}{3.7 \times 10^{10}} = 6.15 \times 10^{-3} \quad (\text{curie})$$

6. 1g의 Ra^{226} 와 放射平衡에 있는 Rn^{222} 은 몇 g인가. 단, Ra^{226} 및 Rn^{222} 의 半減期는 각각 16.22년 및 3.825日이다.

[답] 元素a와 b가 放射平衡에 있을 때 원자수와 반감기를 각각 N, T로 표시하면 $\frac{\text{Na}}{\text{Ta}} = \frac{\text{Nb}}{\text{Tb}}$ 가 된다.

$$\begin{aligned} \text{Nb} &= \text{Na} \times \frac{\text{Tb}}{\text{Ta}} \quad \text{따라서 } \text{Rn}^{222} \text{의量은, } N_{\text{Rn}} = \frac{222}{226} \\ &\times \frac{3.825}{1662 \times 365} = 6.36 \times 10^{-6} \text{g} \end{aligned}$$

7. P^{32} 의 半減期는 14.3日이다. 1mg의 P^{32} 가 28.6日이 지나면 몇 큐리가 되는가.

[답] 28.6月은 반감기의 倍임으로 28.6일 후에는 P^{32} 는 최초의 $1/4$ 즉 0.25mg 이 된다. 崩壊定数 $\lambda = 0.693/14.3 \times 24 \times 60 \times 60 = 5.55 \times 10^{-7}$ (sec⁻¹) P^{32} 는 32g 속에 원자가 avogadro 수 6.023×10^{23} 개 이므로 $0.25/32 \times 10^{-3} = 4.7 \times 10^{18}$ (개), $-\frac{dN}{dt} = \lambda N = 5.55 \times 10^{-7} \times 4.7 \times 10^{18} = 2.62 \times 10^{12}$ (dps) $1\text{Ci} = 3.7 \times 10^{10}$ dps 이므로 $\frac{2.62 \times 10^{12}}{3.7 \times 10^{10}} = 70.8\text{Ci}$

8. P^{32} 및 C^{14} 의 1Ci의 질량을 계산하라. 단, 半減期는 각각 14.3日 및 5568年이다.

$$\begin{aligned} [\text{답}] 1\text{Ci} &= 3.7 \times 10^{10} \text{dps}, -\frac{dN}{dt} = 3.7 \times 10^{10} = \lambda N \\ N &= \frac{1}{\lambda} \times 3.7 \times 10^{10} = 5.43 \times 10^{10} \quad (\frac{1}{\lambda} = 1.44 \text{yr}^{-1}) \end{aligned}$$

이 방사성원소의 원자량을 A로 하면 原子 1개당의 질량은 $A/6.023 \times 10^{23}$ 이므로, 이 물질 1Ci의 질량 m은 $m = \frac{5.43 \times 10^{10}}{6.023 \times 10^{23}} A = 0.887 \times 10^{-13} TA \text{ (g)}$

$$\begin{aligned} [\text{답}] \text{P}^{32} \text{의 경우: } T &= 14.3 \text{ 日} = 14.3 \times 24 \times 60 \times 60 \text{ 秒} \\ \therefore m &= 0.887 \times 10^{-13} \times (14.3 \times 24 \times 60 \times 60) \times 32 = 3.5 \times 10^{-6} \text{g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{답}] \text{C}^{14} \text{의 경우: } T &= 5568 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60 \text{ 秒} \\ \therefore m &= 0.887 \times 10^{-13} \times (5568 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60) \\ &\times 14 = 0.2 \text{g} \end{aligned}$$

9. 1MeV의 알파粒子 速度를 계산하라. 但, $1\mu = 1.66 \times 10^{-24} \text{g} = 930 \text{MeV}$, $1\text{eV} = 1.6 \times 10^{-12} \text{erg}$

[답 1]

$$\begin{aligned} \text{運動에너지 } E &= \frac{1}{2} MV^2 \text{ 으로부터 速度 } V = \sqrt{2E/M} \\ E &= 1.6 \times 10^{-12} \times 10^6 = 1.6 \times 10^{-6} \text{erg} \end{aligned}$$

$$M\alpha = 1.66 \times 10^{-24} \times 4 = 6.64 \times 10^{-24} \text{g}$$

$$V = \sqrt{\frac{2 \times 1.6 \times 10^{-6}}{6.64 \times 10^{-24}}} = \sqrt{4.8 \times 10^{17}} \approx 7 \times 10^8 \text{cm/sec}$$

sec

[답 2] $1\mu = 9 \text{ MeV} = 930 \text{MeV/C}^2$ 의 뜻이 되므로 ($E = mC^2$, $m = E/C^2$)

연재

$$M_\alpha = \frac{4 \times 930}{C^2} \text{MeV}, \quad E = \frac{1}{2} \text{MeV}^2, \quad V = \sqrt{2E/M}$$

$$V = \sqrt{\frac{2 \times 1}{4 \times 930}} \times \frac{(3 \times 10)^2}{(\text{몇의 속도})} = 3 \times 10^{10} / \sqrt{1860} \approx 7 \times 10^8 \text{cm/sec}$$

10. $^{11}_6\text{C}$ 은 β^+ 붕괴에 의해 $^{11}_5\text{B}$ 로 되는 것이 에너지의으로 가능한가를判定하고, 만약 가능하다면 그 β 선의 최대에너지자를 계산하라. 但, $^{11}\text{B} = 11.009305\text{u}$, $^{11}\text{C} = 11.011433\text{u}$

(管) β^+ 붕괴가 일어나기 위해서는, $M(Z, A)C^2 = M(Z-1, A)C^2 + 2mC^2 + E_{max}$
 $M(^{11}\text{C}) - M(^{11}\text{B}) = 0.002128\text{u} > 2m$ 따라서
 β^+ 붕괴는 가능하다.

β 線의 최대 에너지 E_{max} 는, $E_{max} = 931(\text{MeV}) \times 0.002128 - (2 \times 0.51) = 0.96\text{MeV}$

[参考] β^- 붕괴에서는 : $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$, β^+ 붕괴에서는 : $P \rightarrow n + e^+ + \nu$ 여기서, e^- , e^+ , $\bar{\nu}$, ν 는 각각(陰)電子, 陽電子, anti-neutrino, neutrino이다. β 붕괴의 에너지關係式은,

(陰)電子放出의 경우 : $M(A, Z)C^2 = M(A, Z+1)C^2 - mc^2 + mc^2 + E_{max} = M(A, Z+1)C^2 + E_{max}$ 따라서, $M(A, Z) > M(A, Z+1)$ 일 때, 核(A, Z)는 β^- 붕괴를 한다. $E_{max} = Q$ 는 β^- 의 최대 에너지이다. 陽電子放出의 경우 : $M(A, Z)C^2 = M(A, Z-1)C^2 + mc^2 + mc^2 + E_{max} = M(A, Z-1)C^2 + 2mc^2 + E_{max}$ 따라서, $M(A, Z) > M(A, Z-1) + 2m$ 일 때만 核(A, Z)는 β^+ 붕괴를 한다. $E_{max} = Q$ 는 β^+ 線의 최대 에너지이며, 이것은 $\{M(A, Z) - M(A, Z-1) - 2m\}C^2$ 와 같다. M 은 中性原子의 질량을 표시하므로 (陰)電子放出때는 $-mc^2$ 를, 陽電子放出때는 $+mc^2$ 를 加해야 한다. m 은 電子의 静止質量이며, $mc^2 = 0.511\text{MeV}$ 가 된다.

11. 1mg의 ^{32}P 는 몇 Ci인가. 但, ^{32}P 의 반감기는 14.3日, 아보가드로数는 6.02×10^{23} 으로 한다.

[答] $N = (N_A/M) \times W$ 여기서, N 는 原子数, N_A 는 아보가드로数, M 은 原子量, $W(\text{g})$ 는 RI

의 무게, ^{32}P 1mg 속의 原子数는, $N = 10^{-3} \times 6.02 \times 10^{23} / 32$ 개, $\lambda = 0.693 / T = 0.693 / 14.3 \times 24 \times 60 \times 60 \text{ sec}^{-1}$ $\therefore -\frac{dN}{dt} = \lambda N = 1.06 \times 10^{13} \text{ dps}$, 求하는 Ci数는 $1.06 \times 10^{13} / 3.7 \times 10^{10} = 286 \text{ Ci}$

12. ^{210}Po 은 α 붕괴를 한다. α 입자의 에너지는 单色으로서 5.30MeV라 하고 이때의 生成核의 反跳(recoil)運動에너지를 구하라. 또, 이때의 붕괴에너지는 모두 운동에너지로 소비되고, γ 선의 방출은 인정되지 않음을 증명하라. 但, $^{210}_{84}\text{Po}$, $^{206}_{82}\text{Pb}$ 및 $^{4}_{2}\text{He}$ 의 中性原子의 原子質量(u)은 각각 209.982876, 205.974468 및 4.002603이고 또, 1u=931MeV로 한다.

[答] $^{210}_{84}\text{Po} \rightarrow ^{206}_{82}\text{Pb} + ^4_2\text{He} +$ 에너지, α 粒子 및 生成核 $^{206}_{82}\text{Pb}$ 의 질량을 각각 m , M_{pb} , 속도를 v , V 라면 運動量保存法則 $mv = M_{pb}v$ 또는 $1/2m\nu^2 = 5.30\text{MeV}$ 이므로 求하는 反跳核의 운동에너지 E_{recoil} 은, $E_{recoil} = \frac{1}{2}M_{pb}V^2 = \frac{1}{2}\frac{m}{M_{pb}}m\nu^2 = (4.002603 / 205.974468) \times 5.30 = 0.103\text{MeV}$ ^{210}Po 의 질량을 M_{po} 라 하고 붕괴에너지자를 Q 라면, $M_{po}C^2 + mc^2 + Q$
 $Q = (209.982876 - 205.974468 - 4.002603) \times 931\text{MeV} = 0.005807 \times 931\text{MeV} = 5.406\text{MeV}$

13. ^{63}Ni , ^{39}K 및 ^{11}C 에 대하여 각각 β^- 또는 β^+ 放射能의 유무를 판정하고, 또 방사능이 있을 때는 γ 선을 수반하지 않는다고 가정하고, β 선의 最大에너지자를 推定하라. 但, 각각의 原子의 質量은 (단위: u) $^{63}_{28}\text{Ni} = 62.92966$, $^{63}_{29}\text{Cu} = 62.92959$, $^{39}_{19}\text{K} = 38.96371$, $^{39}_{18}\text{Ar} = 38.96432$, $^{39}_{20}\text{Ca} = 38.97079$, $^{11}_6\text{C} = 11.01143$, $^{11}_5\text{B} = 11.00931$, 또 電子의 静止質量 = $0.00054u$, $1u = 931\text{MeV}$ 로 한다.

[答] β 붕괴하는 어미核種의 원자번호를 Z 라 하여 그 질량을 M_Z 라 하면, 에너지 保存法則에서 β 붕괴의 에너지 Δ 는, $M_Z C^2 = M_{Z+1} C^2 + \Delta$, $M_Z C^2 = M_{Z-1} C^2 + 2m_e C^2 + \Delta$, K電子捕捉에 대하여 $M_Z C^2 = M_{Z-1} C^2 + B_K + \Delta$ 가된다.(原子의最外殼電子의 結合에너지에는 무시하고 neutrino의 질량은 0로 한다.) 但, m_e 는 電子의 질량, B_K 는 K전자

의 結合에너지이다. 주어진 原子質量을 代入시켜 보면,

$$^{63}\text{Ni} \rightarrow ^{63}\text{Cu} \cdots A = (62.92966 - 62.92959) \times 931 \\ \approx 0.06\text{MeV} \cdots \beta^- \text{붕괴한다.}$$

$$^{39}\text{K} \rightarrow ^{39}\text{Ar} \cdots A = (38.96371 - 38.96432 - 2 \times 0.00054) \times 931 < 0 \cdots \beta^+ \text{붕괴하지 않는다.}$$

$$^{39}\text{K} \rightarrow ^{39}\text{Ca} \cdots A = (38.96371 - 38.97079) \times 931 < 0 \cdots \beta^- \text{붕괴하지 않는다.}$$

$$^{11}\text{C} \rightarrow ^{11}\text{B} \cdots A = (11.01143 - 11.00931 - 2 \times 0.0054) \times 931 = 0.97\text{MeV} \cdots \beta^+ \text{붕괴한다.}$$

γ 선을 내지 않는다고 하면, 구한 A값이 β 선의 최대에너지가 된다. 또, $^{11}\text{C} \rightarrow ^{11}\text{B}$ 에 대해서는 물론 K電子捕捉에 대해서도 에너지의으로 가능하다. (문제 10. 참조)

14. 物質中의 原子의 飛程[到達距離, range] R (g/cm^2)은 近似的으로 $R = 0.542E - 0.133$ 으로

표시된다. E는 MeV 단위의 電子에너지, 이 式은 $3.0\text{MeV} \sim 0.8\text{MeV}$ 의 電子에 대해 成立된다. 지금, 2.0MeV 의 電子線을 1cm^2 마다 $20\mu\text{A}$ 받는 물질에 대해 다음 물음에 답하라.

1) 密度 $1.04\text{g}/\text{cm}^3$ 의 물질에서는 몇 cm의 길이까지 電子線이 도달하는가.

2) 이 에너지가 모두 똑같이 吸收 되었다고 하면 이 물질은 每秒 몇 rad의 線量을 吸收하는 셈이 되는가. 但, $1\text{Watt} = 10^7\text{erg/sec}$ 이다.

[答] 1) 에너지 2MeV 의 電子線의 飛程은, $R = 0.542 \times 2 - 0.133 = 0.951\text{g}/\text{cm}^2$

密度 $1.04\text{g}/\text{cm}^3$ 의 물질에서는, $R_L = 0.951/1.04 = 0.914\text{cm}$

2) 1cm^2 마다 거의 $2.0 \times 20 = 40\text{Watt} = 4 \times 10^8\text{erg/sec}$ 의 에너지가 흡수되고, 똑같이 흡수된다고 하면 每秒當 다음과 같은 線量이 흡수된다. $1\text{rad} = 100\text{erg}$ 이므로 $4 \times 10^8\text{erg}/0.951\text{g} = 4.21 \times 10^8\text{erg/g} = 4.21 \times 10^6\text{rad}$

第12回 放射性同位元素利用 初級課程 案内

1. 課 程 名

放射性同位元素利用 初級課程

2. 研 修 期 間

1982年 5月 31日 ~ 6月 26日 (4週間)

3. 幕 集 人 員

30名

4. 資 格

高等学校 卒業者나 技能士 2級 以上의 資格所持者 또는 이와 同等의 資格이 있다고 認定되는 者

5. 受 講 料

250,000원整

6. 受講後의 資格

本 課程을 履修한 者는 大統領令 第9188号 (78. 10. 26)의 規定에 依한 R.I 取扱 一般免許試験 応試資格을 얻음

7. 連絡 및 問議処

当會議 진홍파(전화: 28-0163~4)