

行政院原子能委員會
111 年度第 1 次「輻射防護師」測驗試題
游離輻射防護專業

一、單選題：(每題 2 分，共 30 分，答錯不倒扣)

1. 半化期分別為 20 天與 30 天的兩核種(A、B)，若起始的原子個數相同，經過 50 天的衰變後，核種原子個數比例(A/B)為下列何者？ (1) 0.17 (2) 0.43 (3) 0.56 (4) 0.73

[解：]

(3)

$$N_A(t) = N_{A0}e^{-\lambda_A t}、N_B(t) = N_{B0}e^{-\lambda_B t} \text{ 且 } N_{A0} = N_{B0}、。$$

$$\frac{N_A(50)}{N_B(50)} = e^{(\lambda_B - \lambda_A) \times 50} = \exp\left(\left(\frac{\ln 2}{30} - \frac{\ln 2}{20}\right) \times 50\right) = 0.56$$

2. 半胱氨酸(Cysteine)用來作為輻射保護劑，是因為其含有何種官能基？

(1) 甲基(CH₃) (2) 硫氫基(SH) (3) 胺基(NH₂) (4) 羧基(COOH)。

[解：]

(2)

3. 下列關於影響輻射對人體效應的生物因素敘述，哪些正確？

A. 骨髓細胞較神經細胞更具抗輻射的能力 B. 骨髓細胞較肌肉細胞對輻射更敏感

C. 相同種類細胞在不同生命週期中，以細胞靜止期(G₀)對輻射最不敏感

D. 在細胞生命週期中，以分裂準備期(G₂)與分裂期(M)對輻射最敏感

(1) AC (2) BD (3) ABD (4) BCD

[解：]

(2)

解：對不同種類的細胞而言，分裂繁殖旺盛的細胞如骨髓細胞對輻射最敏感；完全分化的細胞如肌肉細胞、神經細胞對輻射較不敏感。相同種類細胞在不同生命週期中，以分裂準備期(G₂)與分裂期(M)對輻射最敏感，DNA 合成期(S)對輻射最不敏感。

4. 若 1.17 MeV 的 γ 光子在閃爍體內先發生 48° 的康普頓散射，再發生 112° 的散射，最後散射光子逃脫閃爍體。試問該閃爍偵檢器測得之脈衝高度為多少 MeV？

(1) 1.1 (2) 0.7 (3) 0.9 (4) 0.3

[解：]

(3)

$$E' = 1.17 \text{ MeV} / [1 + (1.17/0.511) \times (1 - \cos 48^\circ)] = 0.722 \text{ MeV}$$

$$E' = 0.722 \text{ MeV} / [1 + (0.722/0.511) \times (1 - \cos 112^\circ)] = 0.27 \text{ MeV}$$

$$1.17 \text{ MeV} - 0.27 \text{ MeV} = 0.9 \text{ MeV}$$

5. ${}^{210}_{84}\text{Po} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^{206}_{82}\text{Pb}$ 核蛻變過程中射出阿伐粒子輻射的能量為多少 MeV ?

(${}^{210}\text{Po}$ 的原子質量為 210.0485 amu, ${}^{206}\text{Pb}$ 的原子質量為 206.03883 amu, 阿伐粒子質量為 4.00277 amu) (1) 6.62 (2) 6.30 (3) 5.60 (4) 5.30

[解:]

(4)

$$\begin{aligned} \text{核蛻變後減少的質量 } \Delta m &= (m_{\text{Po}} - 84m_e) - (m_{\text{Pb}} - 82m_e) - m_\alpha = m_{\text{Po}} - m_{\text{Pb}} - m_\alpha - 2m_e \\ &= 210.0485 - 206.03883 - 4.00177 - 2 \times 0.00055 = 0.0058 \text{ amu} \end{aligned}$$

$$\text{核蛻變後產生的能量 } Q = \Delta mc^2 = 0.0058 \times 931 = 5.40 \text{ MeV}$$

$$\text{阿伐粒子輻射能量 } E = Q \times \frac{206}{206+4} = 5.30 \text{ MeV}$$

6. 核種經歷電子捕獲可能放出下列何者? A. 電子 B. 微中子 C. 特性 X 射線

(1) 僅 AB (2) 僅 AC (3) 僅 BC (4) ABC

[解:]

(4)

核種經歷電子捕獲可能放出微中子和子核的特性 X 射線, 還有可能放出奧杰電子。

7. 六毫克的純 Co-60 射源, 全部衰變成 Ni-60, 約共產生多少個加馬輻射?

(1) 6.0×10^{19} (2) 1.2×10^{20} (3) 6.0×10^{23} (4) 1.2×10^{24}

[解:]

(2)

$$\text{Co-60 的原子核數目 } N = \frac{6 \times 10^{-3}}{60} \times 6.02 \times 10^{23} = 6.02 \times 10^{19}; \text{ 每一 Co-60 原子核衰變產生}$$

兩個加馬輻射, 故共產生 1.2×10^{20} 個加馬輻射。

8. 下列何者並非由原子核所發射出的輻射?

(1) X 射線 (2) α 射線 (3) β 射線 (4) γ 射線

[解:]

(1)

9. 已知空氣吸收游離輻射能量 34 焦耳，會產生 1 庫侖(C)電量，則在空氣中的吸收劑量 D(Gy)與曝露 X(C/kg)之關係為下列何者？

- (1) $D=X/34$ (2) $X=D/34$ (3) $D=1.1\times(X/34)$ (4) $X=1.1\times(D/34)$

[解：]

(2)

$$X = \frac{dq}{dm} \quad , \quad D = \frac{dE_{ab}}{dm} \quad , \quad dq = q_e \frac{dE_{ab}}{E_{ip}} \quad , \quad \rightarrow \quad X = \frac{q_e}{E_{ip}} D = \frac{1}{34} D$$

10. 輻射偵檢器的固有效率對下列何者的依存性較低？

- (1)幾何因素 (2)輻射能量 (3)偵檢器材質 (4)偵檢器的實際厚度

[解：]

(1)幾何因素

11. 大氣中存在的氡 222 的子核容易沉積在人體的何種部位，造成輻射劑量？

- (1)肺臟 (2)骨骼 (3)肝臟 (4)小腸

[解：]

(1)

12. 加馬射源均勻分布於圓球形的軟組織中，請問此軟組織的平均劑量與中心劑量的關係為何？ (1)平均劑量為中心劑量的兩倍 (2)平均劑量為中心劑量的一半

- (3)平均劑量等於中心劑量 (4)平均劑量為中心劑量的 3/4

[解：]

(4)

圓球中心的劑量率公式為 $\dot{D} = C\Gamma \times g$ ，其中 g 為幾何因子。

對於圓球形軟組織的劑量而言，其幾何因子為中心點的 $\frac{3}{4}$ 倍。

$$\bar{g} = \frac{3}{4}(g)_{center} \quad , \quad \text{故圓球平均劑量為中心劑量的 } \frac{3}{4} \text{ 倍。}$$

13. 一束截面為 10 cm^2 的帶電粒子束全部被一個游離腔吸收，產生的飽和電流為 $1 \text{ } \mu\text{A}$ 。設 $W=30 \text{ eV/離子對}$ ，試問其平均能通量為何 ($\text{eV cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)？

- (1) 3.0×10^9 (2) 1.5×10^{10} (3) 6.25×10^{12} (4) 1.88×10^{13}

[解：]

(4)

解：ip/s = $(10^{-6} \text{ C/s}) / 1.6 \times 10^{-19} \text{ (C/ip)} = 6.25 \times 10^{12} \text{ (ip/s)}$

平均能通量 = $\frac{6.25 \times 10^{12} \left(\frac{\text{ip}}{\text{s}}\right) \times 30 \text{ eV/ip}}{10 \text{ cm}^2} = 1.88 \times 10^{13} \text{ (eV cm}^{-2}\text{s}^{-1}\text{)}$

14. 克馬(kerma)不適用於下列何種輻射？ (1) X 光束 (2)加馬射束 (3)電子束 (4)中子束

[解：]

(3)

15. 從 ICRP 60 報告更新到 ICRP 103 報告，何者的組織加權因數(tissue weighting factor)值增加？ (1)性腺 (2)紅骨髓 (3)乳腺 (4)甲狀腺

[解：]

(3)

二、計算問答題：(每題 10 分，共 70 分)

1. 已知 ^{90}Y 與 ^{90}Sr 之半化期分別為 64.1 小時與 28.8 年，當兩者剛達平衡時約有 1 毫克的 ^{90}Y ，請計算此時：

- (1) ^{90}Y 的活度為多少貝克？ (2) 剩餘多少毫克之 ^{90}Sr ？

[解：]

^{90}Sr 與 ^{90}Y 為母核與子核關係， ^{90}Sr (母核)會衰變成 ^{90}Y (子核)

又因 ^{90}Sr (母核)半化期(28.8 y) \gg ^{90}Y (子核)半化期(64.1 h)

故屬長期平衡，達平衡時 ^{90}Y 子核活度 = ^{90}Sr 母核活度

$$(1) N(^{90}\text{Y}) = \frac{1}{90000} \times 6.02 \times 10^{23} = 6.69 \times 10^{18} \text{ (個原子)}$$

$$A(^{90}\text{Y}) = \frac{0.693}{64.1 \times 60 \times 60} \times 6.69 \times 10^{18} = 2.0 \times 10^{13} \text{ (貝克)}$$

$$(2) A(^{90}\text{Sr}) = \frac{0.693}{28.8 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60} \times N(^{90}\text{Sr}) = A(^{90}\text{Y}) = 2.0 \times 10^{13}$$

$$N(^{90}\text{Sr}) = 2.0 \times 10^{13} \times \frac{28.8 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60}{0.693} = 2.62 \times 10^{22} \text{ (個原子)}$$

$$M(^{90}\text{Sr}) = \frac{2.62 \times 10^{22}}{6.02 \times 10^{23}} \times 90 \times 1000 = 3.92 \times 10^3 \text{ (毫克)}$$

2. 若要將 500 keV 的窄射束入射光子的數目減少為 1/8，需要多少公分厚的鉛？
(已知鉛的質量衰減係數為 $0.15 \text{ cm}^2/\text{g}$ ，密度為 11.4 g/cm^3)

[解：]

$$N = N_0 e^{-(\frac{\mu}{\rho})\rho x}, (N/N_0) = e^{-(\frac{\mu}{\rho})\rho x}, \ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\left(\frac{\mu}{\rho}\right)\rho x$$

$$-\ln(8) = -(0.15)(11.4)x; \quad x = \ln(8)/(0.15 \times 11.4) = 1.22 \text{ cm}$$

3. 有一甲狀腺癌患者以注射 ^{131}I 做放射治療，如果此病患的甲狀腺重量為 30 g，甲狀腺對碘的攝取率為 50%。請問要注射多少活度的 ^{131}I ，才會在 3 天後，甲狀腺的累積劑量會達到 15 戈雷(Gy)？ (^{131}I 的物理半化期為 8.05 d，生物半化期為 138 d， ^{131}I 每次蛻變吸收能量為 0.23 MeV)

[解：]

$$T_e = \frac{T_p \times T_b}{T_p + T_b} = \frac{8.05 \times 138}{8.05 + 138} = 7.6 \text{ d} \Rightarrow \lambda_e = \frac{0.693}{7.6} = 0.091 \text{ d}^{-1}$$

$$D = \frac{\dot{D}_0}{\lambda_e} (1 - e^{-\lambda_e t}) \Rightarrow 15 = \frac{\dot{D}_0}{0.091} (1 - e^{-0.091 \times 3}) \therefore \dot{D}_0 = 5.71 \text{ Gy/d}$$

$$\dot{D}_0 = \frac{qBq \times 0.23 \text{ MeV} \times 1.6 \times 10^{-13} \text{ J/MeV} \times 24 \times 3600}{30 \times 10^{-3} \text{ kg}} = 5.71 \text{ Gy/d}$$

$\therefore q = 54 \text{ MBq}$ \because 因為甲狀腺攝取率為 50% \therefore 必須注射 108 MBq 的活度

4. 銅的原子量為 64，密度(ρ)為 8.96 g/cm³，對 800 keV 光子的線性衰減係數為 0.58 (1/cm)，試計算 (1)銅的原子密度(原子/cm³) (2)其原子截面 σ_a (cm²/原子)是多少？

[解：]

$$(1) (6.02 \times 10^{23} \text{ 原子} / 64 \text{ g}) \times 8.96 \text{ (g/cm}^3) = 8.43 \times 10^{22} \text{ (原子/cm}^3)$$

$$(2) 8.43 \times 10^{22} \text{ (原子/cm}^3) \times \sigma_a \text{ (cm}^2/\text{原子)} = 0.58 \text{ (1/cm)}$$

$$\therefore \sigma_a \text{ (cm}^2/\text{原子)} = 0.58 \text{ (1/cm)} / 8.43 \times 10^{22} \text{ (原子/cm}^3) \\ = 6.88 \times 10^{-24} \text{ cm}^2/\text{原子}$$

5. (1)請說明 Bragg-Gray 原理，(2)該原理成立的條件為何？

[解：]

(1)在一個被固體吸收介質所圍繞的小空腔內的氣體所產生的游離量或該氣體所吸收的能量正比於圍繞它的固體的吸收能量。

(2)成立條件是該小空腔要足夠的小，不致影響(或改變)固體介質中原始電子的數量與角度或速度的分布，且原始電子在行經此小空腔時，其能量只損失非常小的分量。

6. 假設一 450 keV 光子束在閃爍計數器產生一個計數所需要的平均能量為 155 eV，試問：
 (1) 其全能峰分解率(R)有多大?
 (2) 其全能峰的半高全寬(FWHM)多少 keV?

[解：]

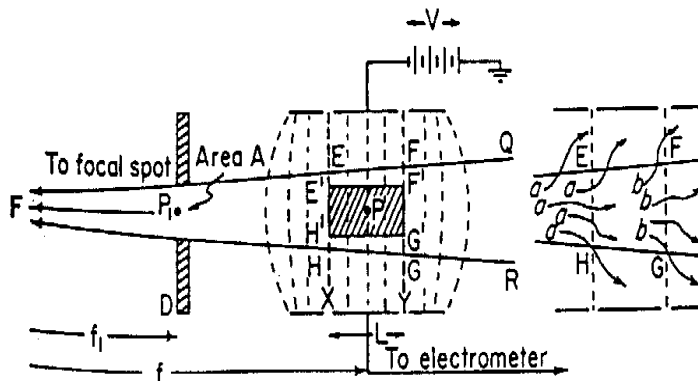
(1) 吸收 450 keV 光子產生計數為 $450 \text{ keV} / 0.155 \text{ keV} = 2900$ 個

$$\sigma = (\text{計數})^{1/2} = (2900)^{1/2}$$

$$\begin{aligned} \text{全能峰分解率(R)} &= \text{FWHM} / \text{計數} = 2.35 \sigma / \text{計數} = 2.35 / (\text{計數})^{1/2} \\ &= 2.35 / (2900)^{1/2} \\ &= 0.0436 \end{aligned}$$

(2) $\text{FWHM} = 450 \text{ keV} \times 0.0436 = 19.6 \text{ keV}$

7. 在下圖中，自由空氣游離腔入口處 P_1 點的圓形隔板開口之直徑為 1 cm，靈敏體積長度 L 為 5 cm，能量為 200 kV 的 X 射束射入游離腔，於外在電路產生 $0.02 \mu\text{A}$ 的電流。度量時的溫度為 20°C ，而壓力為 750 mmHg。試求此 X 射束在下圖 P_1 點的曝露劑量率為多少 R/s？



[解：]

$$\begin{aligned} \text{Exposure rate at } P_1 &= \frac{dQ}{dm \cdot dt} = \frac{dQ}{(\rho \cdot A \cdot L) \cdot dt} \\ &= \frac{0.02 \times 10^{-6} \text{ C/s}}{(1.293 \times 10^{-6} \text{ kg/cm}^3 \times \pi \times 0.5^2 \text{ cm}^2 \times 5 \text{ cm}) \times \frac{273}{293} \times \frac{750}{760}} \\ &= 0.00428 \text{ C/kg} \cdot \text{s} \\ &= 0.00428 \text{ C/kg} \cdot \text{s} \times \frac{1 \text{ R}}{2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}} \\ &= 16.6 \text{ R/s} \end{aligned}$$