

行政院原子能委員會
103 年度第 2 次「輻射防護師」測驗試題
專業科目

一、單選題：(每題 2 分，共 30 分，答錯不倒扣)

1. 1 a.m.u (原子質量單位)是表示

- (1) 1 莫耳 ^{16}O 原子質量的 1/16 (2) 1 公克 ^{12}C 原子質量的 1/12
(3) 1 公斤 ^{16}O 原子質量的 1/16 (4) 1 個 ^{12}C 原子質量的 1/12

[解：]

(4)

2. 由 X 光管所產生的 100 kVp 的 X 光束，特性(characteristic) X 射線的能量由下列何者決定？ (1)陽極靶的材料 (2)管電壓峰值 (3)陽極角度 (4)管電流大小

[解：]

(1)

3. 細胞分子受輻射的游離或激發作用而導致巨分子鍵斷裂，使整個分子受到破壞，稱為

- (1)機率效應 (2)確定效應 (3)直接作用 (4)間接作用

[解：]

(3)

4. ZnS，NaI，CaSO₄，LiF 等閃爍偵檢器主要的輻射偵測原理為以下何項？

- (1)游離式 (2)激發式 (3)化學反應 (4)增熱反應

[解：]

(2)

5. 某輻射工作人員操作一 Co-60 輻射源，若將工作距離減少一半，工作時間減少一半，再使用一個半值層(HVL)厚度的鉛屏蔽，請問其曝露量為原來的幾倍？

- (1) 1/4 (2) 1/2 (3) 相同 (4) 2

[解：]

(3)

假設原先曝露量為 X

$$X \cdot \frac{\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}}{\left(\frac{1}{2}\right)} = X$$

6. 請問 1 kg 的 ^{235}U 若全部分裂，將放出多少焦耳的能量？(^{235}U 每次分裂釋放約 200 MeV)

- (1) 8.2×10^{10} (2) 8.2×10^{11} (3) 8.2×10^{12} (4) 8.2×10^{13}

[解:]

(4)

$$\frac{1000\text{g}}{235} \times 6.02 \times 10^{23} \times \frac{200\text{MeV}}{1\text{fission}} \times \frac{1.6 \times 10^{-13}\text{J}}{1\text{MeV}} = 8.2 \times 10^{13}\text{J}$$

7. 微中子常伴隨下列何種衰變而形成： (1) α (2) 電子捕獲 (3) n (4) γ

[解:]

(2)

8. 在 60 天內發生 50% 死亡的致死劑量，以下列何者表示？

(1) MD_{60/50} (2) MD_{50/60} (3) LD_{60/50} (4) LD_{50/60}

[解:]

(4)

9. 相對生物效應(relative biological effectiveness, RBE)可用來評估特定輻射的生物效應，其值與直線能量轉移(LET)有一定相關，當 LET 為多少時，RBE 達到最大值？

(1) 1 keV/ μm (2) 10 keV/ μm (3) 100 keV/ μm (4) 1000 keV/ μm

[解:]

(3)

10. 若有一膠片的光密度(optical density, OD)為 1，則代表光的穿透率為：

(1) 0.01 (2) 0.1 (3) 1 (4) 10

[解:]

(2)

11. 標準狀態下，若一體積為 1cm^3 之空腔內充滿著空氣，接受照射後，共游離出 3.336×10^{-10} 庫侖之電量，試問在空氣中之吸收劑量為何？(w/e=33.85 焦耳/庫侖)

(1) 0.00693Gy (2) 0.00873Gy (3) 0.1Gy (4) 0.00378Gy

[解:]

(2)

$$D = \frac{3.336 \times 10^{-10}\text{C} \times \frac{33.85\text{J}}{1\text{C}}}{1\text{cm}^3 \times 0.001293 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times \frac{1\text{kg}}{1000\text{g}}} = 8.73 \times 10^{-3} \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

12. 有關中子特性，下列何者為真？

(1) 常使用鉛使快中子減速

(2) 快中子比熱中子容易產生中子捕獲

(3) 中子與物質產生非彈性碰撞時，會伴隨有 γ 射線產生

(4) ^{113}Cd 發生中子捕獲後，會產生 ^{114}Cd 及發射出高能量的質子

[解：]

(3)

13. 造成男性性腺永久不孕的單次劑量閾值？ (1) 0.5Gy (2) 1Gy (3) 6Gy (4) 17Gy

[解：]

(3)

14. 某試樣之淨計數值為 1000 ± 50 ，則 99%信賴區間約為

(1) 956~1044 (2) 850~1150 (3) 900~1100 (4) 871~1129

[解：]

(4)

解：99% = $\pm 2.58 \sigma$ ， $\pm 50 \times 2.58 = \pm 129$ ， $\therefore 1000 \pm 129 = 871 \sim 1129$

15. 光子的克馬等於入射光子的能通量(Ψ)乘以下列那一個係數？

(1) μ/ρ (2) μ_{tr}/ρ (3) μ_{en}/ρ (4) g

[解：]

(2)

二、計算問答題：(每題 10 分，共 70 分)

1. 一光子射束穿透水假體，當其厚度為 3 公分時，穿過之光子通量為 3×10^{10} 光子/cm²；當其厚度為 5 公分時，穿過之光子通量為 6×10^9 光子/cm²，求光子在水假體內之直線衰減係數為多少 cm⁻¹？

[解：]

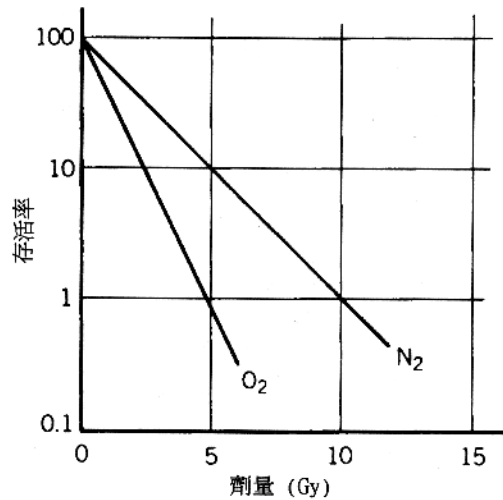
$$3 \times 10^{10} = N_{3\text{cm}} = N_0 e^{-\mu \ell_3} = N_0 e^{-\mu \cdot 3}$$

$$6 \times 10^9 = N_{5\text{cm}} = N_0 e^{-\mu \ell_5} = N_0 e^{-\mu \cdot 5}$$

$$\text{二式相除得 } 5 = \frac{e^{-\mu \cdot 3}}{e^{-\mu \cdot 5}} = e^{2\mu}, \text{ 即 } 2\mu = \ln 5$$

$$\therefore \mu = \frac{\ln 5}{2} = 0.805 \text{ cm}^{-1}$$

2. 參考下圖，請計算 X 射線的氧增比(oxygen enhancement ratio, OER)？



[解：]

在相同的存活率條件下，非氧狀態的劑量/純氧狀態的劑量=OER

在 1% 的存活率，
$$\text{OER} = \frac{D_{N_2}}{D_{O_2}} = \frac{10 \text{ Gy}}{5 \text{ Gy}} = 2$$

3. 何謂增建因數(buildup factor, B)，並詳述其特性？

[解：]

增建因數 $B(h\nu, \mu_d, z)$ 是一個用於計算 X 或 γ 輻射衰減時因散射所致的修正係數。

其定義是：穿過吸收介質厚度為 d 的 X 或 γ 輻射強度 I (包括散射輻射強度) 與同一點的未包括散射的 X 或 γ 輻射強度 ($I_0 e^{-\mu d}$) 的比值。即：

$B(h\nu, \mu_d, z) = I / I_0 e^{-\mu d}$ 式中 I_0 為入射 X 或 γ 輻射的原始強度， μ 為直線衰減係數。這裡提及的強度可表示為能量、通量、粒子流量或吸收劑量等。

增建因數與 X 或 γ 輻射的能量 ($h\nu$)、吸收體的厚度 (d) 和原子序數 (z) 等有關。對於窄束 X 或 γ 輻射， $B(h\nu, \mu_d, z) = 1$ ，對於寬束 X 或 γ 輻射， $B(h\nu, \mu_d, z) > 1$

4. 將某個長半化期的放射性樣品置於計數器內，測量 5 分鐘，測得 1210 counts。取走該樣品後，測量背景值 60 分鐘，測得 2400 counts。(a) 求此樣品的淨計數率及其標準差。(b) 若該計數器對於此樣品的計數效率為 23%，求此樣品的活度及其標準差。活度以 Bq 為單位。

[解：]

$$(a) r_n = \frac{n_s}{t_s} - \frac{n_b}{t_b} = \frac{1210}{5} - \frac{2400}{60} = 242 - 40 = 202 \text{ cpm}$$

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{n_s}{t_s^2} + \frac{n_b}{t_b^2}} = \sqrt{\frac{1210}{5^2} + \frac{2400}{60^2}} = 7.00 \text{ cpm}$$

$$(b) A = \frac{202}{0.23 \times 60} = 14.64 \text{ Bq}$$

$$\sigma_A = \frac{\sigma_m}{0.23} = \frac{7}{0.23 \times 60} = 0.51 \text{ Bq}$$

5. 一能量 5 MeV 之光子射束通量為 10^{11} 每平方公分，當此射束與一石墨作用時，其吸收劑量為何？ ($\frac{\mu_{ab}}{\rho} = 0.0171 \text{ cm}^2/\text{g}$, $\frac{\mu_{tr}}{\rho} = 0.0211 \text{ cm}^2/\text{g}$)

[解：]

$$D = \frac{\Delta E_{tr}}{\Delta m} = E \cdot \Phi \cdot \frac{\mu_{ab}}{\rho} = 5 \times 10^6 \text{ (eV)} \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ (J/eV)} \times 10^{11} \text{ (1/cm}^2\text{)} \times 0.0171 \text{ (cm}^2/\text{g)} \times 1000 \text{ (g/kg)} = 1.368 \text{ J/kg}$$

6. 碳 ($\rho = 2.25 \text{ g/cm}^3$) 對 4 MeV 光子的質量衰減係數 ($\frac{\mu}{\rho}$) = $0.0305 \text{ cm}^2/\text{g}$ ，質量轉移係數 ($\frac{\mu_{tr}}{\rho}$) = $0.0187 \text{ cm}^2/\text{g}$ ，質量吸收係數 ($\frac{\mu_{ab}}{\rho}$) = $0.0185 \text{ cm}^2/\text{g}$ ，不考慮增建因數，試問：
(1) 碳對 4 MeV 光子的半值層 (half value layer) (2) 每次光子與碳碰撞時的平均轉移能量

[解：]

$$(1) \mu = 0.0305 \times 2.25 = 0.0686 \text{ cm}^{-1}$$

$$\text{HVL} = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{\ln 2}{0.0686} = 10.1 \text{ cm}$$

$$(2) \text{ 平均轉移能量} = E \times \left(\frac{\mu_{tr}}{\rho} / \frac{\mu}{\rho} \right) = 2.45 \text{ MeV}$$

7. ^{140}Ba 以 12.8 天的半化期衰變成 ^{140}La ，且 ^{140}La 以 40.5 小時的半化期衰變成穩定的 ^{140}Ce 。一放射化學家希望等到 ^{140}La 有一最大的量之後才將 ^{140}La 與 ^{140}Ba 分開。試問

(a) 他要等多久？

(b) 若剛開始時有 10 mCi 的 ^{140}Ba ，則屆時他將收集到多少克的 ^{140}La ？

[解：]

(a) 衰變系列 $^{140}\text{Ba}(A) \xrightarrow{\lambda_A} ^{140}\text{La}(B) \xrightarrow{\lambda_B} ^{140}\text{Ce}(C)$ ，

$$B \text{ 樣品}(^{140}\text{La}) \text{ 的原子數目}(N_B) \text{ 的值為 } N_B = \frac{\lambda_A N_{A_0}}{\lambda_B - \lambda_A} (e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t}),$$

$$\lambda_A = \frac{\ln 2}{t_{A/2}} = \frac{\ln 2}{12.8 \times 24 \text{ h}} = 2.26 \times 10^{-3} \text{ h}^{-1}$$

$$\lambda_B = \frac{\ln 2}{t_{B_{1/2}}} = \frac{\ln 2}{40.5h} = 0.017h^{-1}$$

$$^{140}\text{La} \text{ 有一最大的量時, } \frac{d(\lambda_B N_B)}{dt} = \frac{\lambda_B \lambda_A N_{A_0}}{\lambda_B - \lambda_A} (-\lambda_A e^{-\lambda_A t_m} + \lambda_B e^{-\lambda_B t_m}) = 0$$

$$\text{得 } t_m = \frac{\ln(\lambda_B / \lambda_A)}{\lambda_B - \lambda_A} = \frac{\ln(0.017 / 0.00226)}{0.017 - 0.00226} = 136.4 \text{ h}$$

$$(b) \lambda_A = 2.26 \times 10^{-3} h^{-1} = 6.28 \times 10^{-7} s^{-1}$$

$$\lambda_B = 0.017h^{-1} = 4.7 \times 10^{-6} s^{-1}$$

$$t = 136.4 \text{ h}$$

$$\lambda_A N_{A_0} = 10 \times 3.7 \times 10^7 \text{ Bq} = 3.7 \times 10^8 \text{ Bq}$$

$$\text{代入, 得 } N_B = \frac{\lambda_A N_{A_0}}{\lambda_B - \lambda_A} (e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t}) = 5.76 \times 10^{13} \text{ 原子}$$

$$\text{收集到 } ^{140}\text{La} \text{ 的重量 } w = \frac{N_B}{N_0} \times A = \frac{5.76 \times 10^{13}}{6.02 \times 10^{23}} \times 140g = 1.34 \times 10^{-8} g$$