

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

一、單選題：(每題 2 分，共 30 分，答錯不倒扣)

1. Cs-137 的 Γ 值為 $0.33 \text{ R m}^2/\text{Ci} \cdot \text{h}$ ，則距離 2 mCi 的 Cs-137 點射源 1.5 公尺處之劑量率約為多少 Gy/h？ (1) 2.6×10^{-6} (2) 2.9×10^{-4} (3) 2.6×10^{-3} (4) 2.9×10^{-1}

[解：]

(1)

$$(0.33 \times 2 \times 10^{-3}) / (1.5 \times 1.5) \times 0.0087 = 2.6 \times 10^{-6}$$

2. 有一放射試樣計測 10 分鐘得 2500 計數，則其計數率之百分標準差(%)為多少？

(1) 2% (2) 2.2% (3) 4.2% (4) 0.2%

[解：]

(1)

$$[2500 \pm (2500)^{1/2}] / 10 = 250 \pm 5 \text{ cpm}, 5 / 250 = 0.02 = 2\%$$

3. STP (0°C , 1 atm) 下，氦 222 ($t_{1/2} = 3.8 \text{ d}$) 與 1g 鐳 226 ($t_{1/2} = 1600 \text{ y}$) 達成長期平衡(secular equilibrium) 時的體積為多少 cm^3 ？

(1) 6.4×10^{-7} (2) 2.34×10^{-4} (3) 6.4×10^{-4} (4) 2.34×10^{-1}

[解：]

(3)

$$\lambda_A N_A = \lambda_B N_B$$

$$\frac{0.693}{3.8} \times \frac{V}{22.4 \times 1000} = \frac{0.693}{1600 \times 365} \times \frac{1}{226}$$

$$V = 6.4 \times 10^{-4} \text{ cm}^3$$

4. 下列何種輻射具有最大的氧增比(Oxygen Enhancement Ratio, OER)？

(1) ^{60}Co γ -ray (2) 100 kVp X-ray (3) 10 MeV 質子 (4) 5 MeV α 粒子

[解：]

(1)

5. 在真空中，1 MeV 光子的速度與下列何者速度相同？

(1) 10 MeV 阿伐粒子 (2) 20 MeV 阿伐粒子 (3) 1 MeV 貝他粒子 (4) 5 keV X 射線

[解：]

(4)

6. 輻射敏感度曲線或存活曲線(survival curve)中， D_0 係指為使細胞存活率剩下多少%時所需的輻射劑量？ (1) 31 (2) 37 (3) 63 (4) 69

[解：]

(2)

7. 請問以下何種組合，可將抵達偵檢器的散射光子降到最少？

A. 寬射束 B. 窄射束 C. 偵檢器與濾片距離較近 D. 偵檢器與濾片距離較遠

(1) AC (2) BC (3) AD (4) BD

[解：]

(4)

8. 若 0.025 eV 的中子，對一元素原子的吸收截面是 500 邦 (barn)，則 50 eV 的中子，對此元素原子的吸收截面約為多少邦？ (1) 0.25 (2) 11.2 (3) 2.2×10^3 (4) 1×10^6

[解：]

(2)

中子的吸收截面 $\sigma \propto \frac{1}{\sqrt{E}}$

$$\frac{\sigma_{0.025\text{eV}}}{\sigma_{50\text{eV}}} = \sqrt{\frac{0.025\text{eV}}{50\text{eV}}}, \sigma_{50\text{eV}} = 500 \text{ b} \times \sqrt{\frac{0.025\text{eV}}{50\text{eV}}} = 11.2 \text{ b}$$

9. 已知某物質之密度為 $\rho \text{ g/cm}^3$ ，在物質內平均產生一離子對需能量 $W \text{ eV}$ ，今輻射在體積為 $V \text{ cm}^3$ 的物質中，造成 E 焦耳能量的沉積(deposit)。請問該物質的吸收劑量(Gy)為：

(1) $\frac{W \cdot E}{V \cdot \rho}$ (2) $\frac{1000E}{V \cdot \rho}$ (3) $\frac{6.25 \times 10^{15} \cdot E}{W \cdot V \cdot \rho}$ (4) $\frac{6.25 \times 10^{18} \cdot E}{W \cdot V \cdot \rho}$

[解：]

(2)

$$D\left(\frac{\text{J}}{\text{kg}}\right) = \frac{\Delta E}{\Delta m} = \frac{E \text{ J}}{\rho\left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right) \cdot V(\text{cm}^3) \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}} = \frac{1000 \cdot E}{\rho \cdot V} \left(\frac{\text{J}}{\text{kg}}\right)$$

10. 高斯分布的半高全寬(full width at half maximum, FWHM)與標準差(standard deviation, σ)之關係為下列何者？

(1) $FWHM = 2\sigma$ (2) $FWHM = \sqrt{2 \ln 2} \times \sigma$ (3) $FWHM = 2\sqrt{2 \ln 2} \times \sigma$

(4) $FWHM = 2\sqrt{2} \times \sigma$

[解：]

(3)

高斯分布 $P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\bar{x}}} \exp\left(-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\bar{x}}\right) = \frac{1}{2} P_{\max}$ ， $\rightarrow \exp\left(\frac{(x-\bar{x})^2}{2\bar{x}}\right) = 2$ ，兩邊取對數得

$$\frac{(x-\bar{x})^2}{2\bar{x}} = \ln 2, \rightarrow x = \bar{x} \pm \sqrt{2\bar{x} \ln 2}, \rightarrow \text{半高全寬 } FWHM = x_2 - x_1 = 2\sqrt{2 \ln 2} \sigma$$

11. 若某次實驗中可用函數 $S/S_0 = e^{-3.1D}$ 來描述細胞存活，D 為照射劑量，單位為 Gy，試問 LD₅₀ 的劑量為多少 Gy？ (1) 0.14 (2) 3.21 (3) 1.45 (4) 0.22

[解：]

(4)

$$0.5 = e^{-3.1D}, \text{ 兩邊取 } \ln, 0.693 = -3.1D, D = 0.693/3.1 = 0.22 \text{ Gy}$$

12. 若一放射性核種經過一段平均壽命 (mean life) 時間衰變，則其殘存活度為原來的：

(1) 80% (2) 75% (3) 50% (4) 36.8%

[解：]

(4)

$$\text{平均壽命 (mean life)} \tau = 1/\lambda, \lambda = t_{1/2}/0.693 = 1.44t_{1/2}, \text{ 代入 } A/A_0 = e^{-1} = 36.8\%$$

13. 定義： μ_{en}/ρ 為質能吸收係數， μ_{tr}/ρ 為質能轉移係數，g 代表二次電子動能轉換為制動輻射的能量分率。今有光子數量共 10^6 個與碳作用，每個光子能量 10 MeV，作用共轉移 7.31×10^6 MeV 能量給碳的電子，碳的吸收能量為 7.04×10^6 MeV，請計算 g 值？

(1) 0.017 (2) 0.025 (3) 0.037 (4) 0.049

[解：]

(3)

說明：

$$\because h\nu : \bar{E}_{tr} : \bar{E}_{en} = \frac{\mu}{\rho} : \frac{\mu_{tr}}{\rho} : \frac{\mu_{en}}{\rho}$$

$$\therefore \frac{\mu_{en}/\rho}{\mu_{tr}/\rho} = 1 - g = \frac{E_{en}}{E_{tr}} = \frac{7.04}{7.31} = 0.963$$

所以 $g=0.037$

14. 不帶電輻射入射到物質，隨著進入物質的深度，克馬的變化下列何者正確？

(1) 愈深入，克馬逐漸增加 (2) 愈深入，克馬逐漸減少 (3) 克馬逐漸增加，到準電子平衡處達到最大值，然後逐漸減少 (4) 克馬逐漸減少，到準電子平衡處達到最小值，然後逐漸增加

[解：]

(2)

15. 設在標準溫度、氣壓下，空氣中含濃度為 2.4×10^3 Bq/m³ 的 ¹⁴C¹⁴O₂，試問瀰漫在此氣體中之人體皮膚表面處的等價劑量率 (Sv/h) 為何？ (已知 ¹⁴C 之貝他平均能量 = 0.0495 MeV，人體組織和空氣的質量阻擋本領之比為 1)

- (1) 1.17×10^{-7} (2) 2.16×10^{-7} (3) 2.64×10^{-8} (4) 5.28×10^{-8}

[解:]

(3)

對於貝他發射體和低能光子，接近身體表面的 S_E 值（氣態瀰漫之下的皮膚幾何因子）約為 0.5，

$$[2.4 \times 10^3 \text{ 蛻變/秒}] / \text{m}^3 \times [1/1.293 \text{ kg/m}^3] \times 0.0495 \text{ MeV/蛻變} \times 0.5 \times 1.6 \times 10^{-13} \text{ J/MeV} \times 3600 \text{ 秒/時} \times 1 = 2.64 \times 10^{-8} \text{ Sv/h}$$

二、計算問答題：(每題 10 分，共 70 分)

1. 某輻射作業場所管制區內新安裝一 X 光機台，於操作機台之人員居站位置進行輻射安全測試，測得輻射劑量率為 1.5 mSv/h，若已知鉛對此作業輻射的衰減係數是 29.7 cm^{-1} ，今擬於 X 光機台設置鉛屏蔽，若不考慮增建因數，請問：

- (a) 此鉛屏蔽厚度至少應達多少公分以上，才能使操作機台處之工作人員劑量於每年正常作業(2000 小時)情況下，可符合工作人員職業曝露之有效劑量限值？
(b) 如直接在 X 光機覆蓋 0.3 公分厚之鉛屏蔽，工作人員職業曝露之年有效劑量將是多少？

[解:]

- (a) 游離輻射防護安全標準規定，工作人員職業曝露年有效劑量限值為：

每連續五年週期之有效劑量不得超過 100 mSv，且任何單一年內之有效劑量不得超過 50 mSv。則欲使工作人員劑量於每年正常作業情況下均恰能符合工作人員職業曝露之年有效劑量限值標準，此年有效劑量不可超過 20 mSv。

- 未加鉛屏蔽前操作機台人員居站位置之累積年劑量為

$$1.5 \text{ mSv/h} \times 2000 \text{ h/y} = 3000 \text{ mSv/y}$$

- 設鉛屏蔽厚度為 x 公分可使年有效劑量恰為 20 mSv

$$\text{則 } 20 \text{ (mSv/y)} = 3000 \text{ (mSv/y)} \times e^{-29.7 \text{ (cm}^{-1}) x}$$

$$\ln(20/3000) = \ln e^{-29.7 x}$$

$$x = 5 / 29.7 = 0.17 \text{ cm}$$

故設置之鉛屏蔽厚度至少應達 0.17 公分(或 1.7 mm)以上

- (b) 如覆蓋 0.3 公分厚之鉛屏蔽，操作機台人員居站位置之累積年劑量為

$$3000 \text{ (mSv/y)} \times e^{-29.7 \text{ (cm}^{-1}) \times 0.3 \text{ cm}} = 0.4 \text{ (mSv/y)}$$

2. 若一 2 cm 厚之介質內均勻混合有 2 種成分，其對 100 keV 光子之直線衰減係數分別為 $\mu_1 = 0.006 \text{ cm}^{-1}$ 、 $\mu_2 = 0.014 \text{ cm}^{-1}$ ，今有 10^7 個 100 keV 之光子入射此介質，請問：

- (a) 有多少會穿透而不發生作用？ (b) 有多少個光子會與 μ_2 之介質發生作用？

[解:]

$$\mu = \mu_1 + \mu_2 = 0.006 \text{ cm}^{-1} + 0.014 \text{ cm}^{-1} = 0.02 \text{ cm}^{-1}$$

- (a) 穿透而不發生作用的個數 $N = N_0 e^{-\mu x} = 10^7 \times e^{-0.02 \times 2} = 9.61 \times 10^6$

- (b) 在此混合介質中發生作用的個數 =

$$\Delta N_2 = (10^7 - 9.61 \times 10^6) \times \frac{\mu_2}{\mu} = 3.9 \times 10^5 \times \frac{0.014}{0.02} = 2.73 \times 10^5$$

3. 一個 2 mg 的 ^{90}Sr (半化期為 29.12 y) 樣品與其子核 ^{90}Y (半化期為 64.1 h) 處於長期平衡 (secular equilibrium) 狀態，試求：

- ^{90}Sr 的活度(Bq)
- ^{90}Y 的活度(Bq)
- ^{90}Y 的質量(g)
- 經過 100 年後該樣品中 ^{90}Y 的活度(Bq)

[解：]

$$(a) \quad A_{\text{Sr}} = \lambda_{\text{Sr}} \cdot N_{\text{Sr}} = \frac{0.693}{29.12 \times 365 \times 86400 \text{ s}} \times \frac{2 \times 10^{-3} \text{ g}}{90 \text{ g}} \times 6.02 \times 10^{23} \\ = 1.01 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$(b) \text{長期平衡：} A_{\text{Y}} = A_{\text{Sr}} = 1.01 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

(c) 由 $A_{\text{Y}} = \lambda_{\text{Y}} \cdot N_{\text{Y}}$ ，設 ^{90}Y 有 X (g)，則

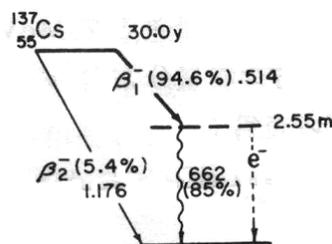
$$1.01 \times 10^{10} \text{ Bq} = \frac{0.693}{64.1 \times 3600 \text{ s}} \times \frac{X(\text{g})}{90 \text{ g}} \times 6.02 \times 10^{23}$$

$$X = 5.03 \times 10^{-7} \text{ g}$$

(d) 長期平衡: 100 年後該樣品中 ^{90}Y 的活度等於 ^{90}Sr 的活度

$$A_{\text{Y}} = A_{\text{Sr}} = 1.01 \times 10^{10} \times e^{-(0.693/29.12) \times 100} = 9.35 \times 10^8 \text{ Bq}$$

4. 有一活度為 1 Ci 的 ^{137}Cs 點射源 (衰變過程如下圖)，距離此射源 1.0 m 處有一塊碳物質，已知 662 keV 光子與碳作用的質量吸收係數為 $0.00294 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ ，若不考慮貝他，請問此塊碳的吸收劑量率 ($\mu\text{Gy} \cdot \text{s}^{-1}$)？



[解：]

$$\dot{\Psi} = \frac{3.7 \times 10^{10} \frac{1}{\text{s}} \times 85\% \times 0.662 \text{ MeV} \times \frac{1.6 \times 10^{-13} \text{ J}}{1 \text{ MeV}}}{4\pi \cdot (1\text{m})^2} = 2.65 \times 10^{-4} \frac{\text{J}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$\dot{D} = \dot{\Psi} \times \frac{\mu_{\text{ab}}}{\rho} = 2.65 \times 10^{-4} \frac{\text{J}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \times 0.00294 \frac{\text{m}^2}{\text{kg}} = 7.79 \times 10^{-7} \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{s}} = 0.779 \frac{\mu\text{Gy}}{\text{s}}$$

5. 光子和物質產生康普吞效應時，散射光子能量(E')和入射光子能量(E)之關係式為 $E' = E \left[\frac{1}{1 + \alpha(1 - \cos \theta)} \right]$ ，(a)試述 α 和 θ 各自代表的意義 (b)當 E 為 662 keV 時，康普吞電子的最大能量為何？

[解：]

(a) α 為入射光子能量和靜止電子能量的比值，即 $E(\text{keV})/511 \text{ keV}$ 。

θ 為散射光子和入射光子行進方向的夾角。

(b) 康普吞電子的最大能量發生在 $\theta = 180^\circ$ 時。

$$\text{康普吞電子的最大能量} = E - E' = E \left(1 - \frac{1}{1 + 2\alpha} \right) = E \left(\frac{2\alpha}{1 + 2\alpha} \right) = 662 \times \frac{2(662/511)}{1 + 2(662/511)} = 478 \text{ keV}$$

6. 已知 X 與 Y 兩種放射性物質之半化期分別 T_x 與 T_y 、原子質量數分別為 A_x 與 A_y 。

(a) 求 X 比活度對 Y 比活度之比值？

(b) 若兩種放射性物質的活度相等，求 X 質量對 Y 質量之比值？

(c) ^{60}Co 與 ^{226}Ra 之半化期分別為 5.26 年與 1600 年，則 ^{60}Co 比活度是 ^{226}Ra 比活度的幾倍？

[解：]

(a) 比活度之比值：

$$X \text{ 比活度 } SA(X) = \frac{\ln 2}{T_x} \frac{1}{A_x} N_A, \quad Y \text{ 比活度 } SA(Y) = \frac{\ln 2}{T_y} \frac{1}{A_y} N_A,$$

$$\text{比活度之比值 } \frac{SA(X)}{SA(Y)} = \frac{T_y A_y}{T_x A_x}$$

(b) 質量之比值：

$$\text{活度相等時，假設其質量分別為 } m_x \text{ 與 } m_y, \text{ 則活度 } \frac{\ln 2}{T_x} \frac{m_x}{A_x} N_A = \frac{\ln 2}{T_y} \frac{m_y}{A_y} N_A$$

$$\text{質量之比值 } \frac{m_x}{m_y} = \frac{T_x A_x}{T_y A_y}$$

$$(c) \text{ 比活度之比值 } \frac{SA(\text{Co})}{SA(\text{Ra})} = \frac{1600 \times 226}{5.26 \times 60} = 1146$$

7. 若某人上午 11 時遭到 ^{24}Na 體內污染，於中午 12 點抽血測得 ^{24}Na 計數為 2,500 counts/(min · ml)；請問其下午 3 點再抽血計測， ^{24}Na 計數應為多少 counts/(min · ml)？(已知 ^{24}Na 物理半化期 = 15 h、生物半化期 = 12h)

[解：]

$$\frac{1}{T_{\text{eff}}} = \frac{1}{15} + \frac{1}{12} = \frac{15 + 12}{15 \times 12} = \frac{27}{15 \times 12}, \quad T_{\text{eff}} = 6.67 \text{ hr}$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$N = 2500 \times e^{-\frac{0.693}{6.67} \times 3} = 1831$$