

核能安全委員會
115 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. 地表輻射主要來自於土壤中的何種元素？ (1)鈉 (2)鉀 (3)鈷 (4)氬

[解：]

(2)

2. 下列何者不屬於急性輻射症候群？

(1)淋巴球減少 (2)嚴重腹瀉 (3)白內障 (4)皮膚紅斑

[解：]

(3)

3. 下列何種偵檢器可用來區分 α 與 β 輻射？

(1)蓋革計數器 (2)熱發光劑量計 (3)比例計數器 (4)化學劑量計

[解：]

(3)

4. 已知 ^{10}B 對 0.025 eV 熱中子的捕獲截面為 735 邦，如果有 1 MeV 的中子與氘原子核發生三次正面(head-on)彈性碰撞，試問 ^{10}B 對碰撞後的中子捕獲截面約為多少邦？

(1) 0.60 (2) 3.19 (3) 603.8 (4) 3137.7

[解：]

(2)

$$E = E_0 \left[\frac{M - m}{M + m} \right]^2 \Rightarrow 1 \times \left[\frac{2 - 1}{2 + 1} \right]^2 = 0.11$$

$$\text{經過 3 次碰撞中子能量} = 10^6 \times (0.11)^3 = 1331 \text{ eV}$$

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_b} = \sqrt{\frac{E_b}{E_a}} \Rightarrow \frac{735}{\sigma_b} = \sqrt{\frac{1331}{0.025}} \therefore \sigma_b = 3.19$$

5. 關於氧氣增強比例(OER)與相對生物效應(RBE)，在入射輻射線性能量轉移(LET)由 50 keV/ μm 增加至 90 keV/ μm 時，下列敘述何者正確？

- (1) OER 上升，RBE 下降 (2) OER 下降，RBE 上升
(3) OER 下降，RBE 下降 (4) OER 上升，RBE 上升

[解：]

(2)

6. 活度 1 Ci 的 ^{60}Co 點射源，其 γ 能量有 1.173 MeV (100%)與 1.333 MeV (100%)，試問在 1 m 處的輻射強度為多少 $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ？

- (1) 1.01×10^{-3} (2) 1.18×10^{-3} (3) 3.21×10^{-3} (4) 4.28×10^{-3}

[解：]

(2)

解： $[3.7 \times 10^{10} \text{ 蛻變/秒} \times (1.173 + 1.333) \text{ MeV/蛻變} \times 1.6 \times 10^{-13} \text{ J/MeV}] \div$
 $(4 \times \pi \times 1 \text{ m}^2)$
 $= 1.18 \times 10^{-3} \text{ J}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$

7. 在水中，深度為一個鬆弛長度(relaxation length)，下列哪一個能量光子產生的散射最多？

- (1) 0.1 MeV (2) 2 MeV (3) 5 MeV (4) 10 MeV

[解：]

(1)

8. 某一輻射偵檢器屬於非麻痺型(non-paralyzable)，其無感時間為 0.1 秒，試問其最大的觀察計數率為何？ (1) 1 s^{-1} (2) 10 s^{-1} (3) 100 s^{-1} (4) 1000 s^{-1}

[解：]

(2)

解： $C_{\text{max}} = 1/t = 10/\text{sec}$

9. 10 MeV 的光子照射在材質為樹脂的假體上，通量為 10^{12} cm^{-2} ，已知樹脂的密度為 1.18 g/cm^3 ，光子的直線衰減係數為 0.025 cm^{-1} ，平均能量轉移 E_{tr} 為 7.29 MeV，平均能量吸收 E_{ab} 為 7.06 MeV，平均阻擋本領為 $1.89 \text{ MeV cm}^2/\text{g}$ ，試問克馬為多少 Gy？

- (1) 24.7 (2) 23.9 (3) 33.9 (4) 6.41

[解：]

(1)

$$\begin{aligned}
 K &= \Phi \times E_{tr} \times \frac{\mu}{\rho} \\
 &= 7.29 \text{ MeV} \times 1.6 \times 10^{-13} \frac{\text{J}}{\text{MeV}} \times 10^{12} \frac{1}{\text{cm}^2} \times \frac{0.025}{1.18} \frac{\text{cm}^2}{\text{g}} \times 1000 \frac{\text{g}}{\text{Kg}} \\
 &= 24.71 \text{ Gy}
 \end{aligned}$$

10. 某放射性同位素的半化期為 14 天，在人體內的清除常數為 0.0693 天^{-1} ，試問此同位素在人體內的有效半化期為？ (1) 14.33 天 (2) 5.83 天 (3) 6.93 天 (4) 9.63 天

[解：]

(2)

生物半化期 = $0.693 / 0.0693 = 10$ (天)

有效半化期 = $10 \times 14 / (10 + 14) = 5.83$ (天)

11. 以下哪些裝置適合作為個人劑量計？

A. 熱發光劑量計 B. 平行板游離腔 C. 膠片佩章 D. 蓋革計數器

(1) 僅 ABC (2) 僅 AC (3) 僅 BD (4) 僅 D

[解：]

(2)

12. 有一未知波長的 X 光與物質進行康普吞散射，經過 180 度散射後，散射波長為 0.0542 \AA ，試問此入射 X 光波長約為多少 \AA ？

(1) 0.01 (2) 0.02 (3) 0.03 (4) 0.04

[解：]

(1)

$$\begin{aligned}
 \Delta\lambda &= \lambda' - \lambda = 0.0242(1 - \cos\theta) \text{\AA} = 0.0242(1 - \cos 180^\circ) \text{\AA} = 0.0484 = 0.0542 - \lambda \\
 \therefore \lambda &= 0.01
 \end{aligned}$$

13. ${}_{15}^{32}\text{P} \rightarrow {}_{16}^{32}\text{S} + {}_{-1}^0\beta + \bar{\nu} + Q$ ，已知 ${}^{32}\text{P}$ 原子的質量較 ${}^{32}\text{S}$ 原子的質量大 0.001836 amu ，試問 β^- 的動能為何？

(1) 介於 0~1.71 MeV (2) 介於 0~2.22 MeV (3) 單能量 1.71 MeV (4) 單能量 2.22 MeV

[解：]

(1)

說明：

$$Q = \Delta m \cdot c^2 = 0.001836 \text{ amu} \cdot c^2 \times \frac{931.5 \text{ MeV}}{\text{amu} \cdot c^2} = 1.71 \text{ MeV}$$

Q 的能量等於電子(β)動能和反微中子動能之合，所以電子(β)動能介於 0~1.71 MeV。

14. 以全身計數器偵測體內核種，下列哪一核種不適用？

(1) 鈷-60 (2) 鋇-90 (3) 碘-131 (4) 鉍-137

[解：]

(2)

鋇-90 為純貝他發射核種

15. 輻射生物學中的名詞 LD_{60/30} 中，30 代表為何？

(1) 30 Gy (2) 30 Sv (3) 30 天 (4) 30%

[解：]

(3)

二、計算問答題：(每題 10 分，共 70 分)

1. 有一球形游離腔，內徑為 10 cm，組織等效壁為 1.5 mm 厚，在 STP 條件下，腔內氣體的莫耳組成為：30.01% 的 CO₂，1.74% 的 N₂，67.92% 的 CH₄，0.33% 的 C₂H₆，此游離腔受輻射照射產生 3×10^{-10} A 電流，試問該游離腔量得的吸收劑量率是多少 Gy/s？

(註：STP 下 1 莫耳氣體體積=22.4 升，產生一個離子對需要 30.5 eV)

[解：]

$$\begin{aligned} \text{混合氣體莫耳重} &= 44 \times 0.3001 + 28 \times 0.0174 + 16 \times 0.6792 + 30 \times 0.0033 \\ &= 24.7 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

$$\text{游離腔內氣體重} = 24.7 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times \frac{\frac{4}{3} \pi \times (5 \text{ cm})^3}{22400 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}} = 0.577 \text{ g} = 0.577 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \frac{3 \times 10^{-10} \frac{\text{C}}{\text{秒}} \times 30.5 \frac{\text{eV}}{\text{離子}} \times 1.6 \times 10^{-19} \frac{\text{J}}{\text{eV}}}{0.577 \times 10^{-3} \text{ kg} \times 1.6 \times 10^{-19} \frac{\text{C}}{\text{離子}}} &= 1.59 \times 10^{-5} \frac{\text{J}}{\text{kg秒}} \\ &= 1.59 \times 10^{-5} \text{ Gy/秒} \end{aligned}$$

2. 已知某一放射性物質每次衰變僅會發射一個 0.6 MeV 光子，若此光子在空氣中的質能吸收係數(mass energy-absorption coefficient)為 0.0295 cm²/g：

(1)請利用此係數計算該放射性物質的比加馬常數(specific gamma-ray constant) Γ 為多少 (R-m²)/(Ci-h) ? (6%)

(2)若此放射性物質點射源之活度為 5 Ci，則距其 2 m 處，照射 4 小時之累積曝露為多少 R ? (4%)

[解：]

解：

(a)

$$\dot{X}(t) = \frac{A(t) f[\frac{\gamma\text{-rays}}{\text{decay}}] E[\frac{\text{MeV}}{\gamma\text{-ray}}] (1.6 \times 10^{-13} \frac{\text{J}}{\text{MeV}}) (10^6 \frac{\text{dps}}{\text{MBq}}) (3600 \frac{\text{sec}}{\text{h}}) \frac{\mu_{ab}}{\rho} [\frac{\text{cm}^2}{\text{g}}]}{4\pi r^2 [\text{m}^2] (34 \frac{\text{J/kg}}{\text{C/kg}})} = \frac{\Gamma A(t)}{r^2}$$

$$\Gamma = \frac{(3.7 \times 10^{10} \text{ Bq/Ci}) \cdot (0.6 \text{ MeV/decay}) \cdot (1.6 \times 10^{-13} \text{ J/MeV}) \cdot (3600 \text{ sec/h}) \cdot (0.0295 \text{ cm}^2/\text{g})}{4\pi (100 \text{ cm/m})^2 \cdot (34 \text{ J/C}) \cdot (2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg per R}) \cdot (10^{-3} \text{ kg/g}) \cdot (\text{Bq/decay per sec})}$$

$$= 0.34 \text{ (R-m}^2\text{)/(Ci-h)}$$

$$(b) \text{ 累積曝露 } X = \dot{X} \times t = \frac{\Gamma A}{d^2} \times t = \frac{0.34 \frac{\text{R} \cdot \text{m}^2}{\text{Ci} \cdot \text{h}} \times 5 \text{ Ci}}{(2 \text{ m})^2} \times 4 \text{ h} = 1.7 \text{ R}$$

3. 已知有一放射樣品的總計數率為背景計數率的 100 倍，若一輻防專業人員想在 10 分鐘內完成最佳的計測時間以使得誤差最小，則樣品計數時間與背景計數時間應如何分配？

[解：]

解： $T_{S+B}/T_B = [(S+B)/B]^{1/2}$, $T_{S+B}/T_B = (100)^{1/2} = 10$, $T_{S+B} = 10T_B$, $T_{S+B} + T_B = 11T_B = 10$, \therefore 背景計數時間(T_B) = 0.91 分，樣品計數時間(T_{S+B}) = 10 - 0.91 = 9.09 分

4. 有 A 與 B 兩核種，A 的半化期 7 天；B 的半化期 12 天，若兩核種起始的核種數量相同，試問衰減多少天之後，A/B 核種數量比值為 1/5？

[解：]

$$\text{解: } 1/5 = [A_0 \cdot e^{-(0.693/7) \cdot t}] / [A_0 \cdot e^{-(0.693/12) \cdot t}] = e^{-(0.099 - 0.058) \cdot t}$$

$$\text{雙邊取 ln, } -1.6094 = -0.041 \cdot t$$

$$t = 39 \text{ 天}$$

5. 有一偵檢器度量某射源的能譜，發現在 1.17 MeV 處有一能峰，總計數為 129,600，呈現高斯分佈。此偵檢器的能量解析度約為 3%。

(1) 試問該能峰的半高全寬為多少？(3%)

(2) 上述的能峰半高全寬假設為整體的表現，若系統雜訊與訊號飄移所造成半高全寬分別為 4.1 keV 與 3.8 keV，且能峰之能量解析度主要為系統雜訊、訊號飄移與統計計數所貢獻，試問因統計計數所造成的半高全寬為多少？(5%)

(3) 綜合上述兩點，試問影響能譜的能量解析度主要為何？(2%)

[解：]

(1) 35.1 keV

能量解析度為 $R = FWHM/H$ 。能峰能量為 1.17 MeV, $R=3\%$ ，則 $FWHM = 1.17 * 3\% = 0.0351 \text{ MeV} = 35.1 \text{ keV}$

(2) 34.7 keV。

$$FWHM_{all} = \sqrt{FWHM_{noise}^2 + FWHM_{drift}^2 + FWHM_{stat}^2}$$

$$35.1 = \sqrt{4.1^2 + 3.8^2 + FWHM_{stat}^2}$$

$$FWHM_{stat} = 34.7 \text{ keV}$$

(3) 統計計數所造成的影響是最主要的，系統雜訊與訊號飄移的影響並不大。

6. 在 X 光機之結構屏蔽是用來防護有用主射束(primary beam)、滲漏輻射(leakage radiation)和散射輻射(scattered radiation)，請說明：

(1) X 光機之有用主射束、滲漏輻射和散射輻射之定義(5%)。

(2) 一般而言，滲漏輻射比散射輻射的穿透力強，請說明其原因(5%)。

[解：]

(1) X 光機之 X 光管被封在防護管套(protective tube housing)屏蔽內，照射時電子撞擊靶處(焦斑)產生之 X 光，自屏蔽準直儀開口射出者為有用主射束；焦斑處產生之 X 光自準直儀開口以外之其他方向射出者，可能經過靶材等 X 光管內部材料，再經防護管套屏蔽衰減後，未被衰減而穿透之 X 光輻射即為滲漏輻射；散射輻射則是指有用主射束射出 X 光機後，與物體或屏蔽牆作用後產生康普吞散射後之光子輻射。

(2) 滲漏輻射為穿透防護管套屏蔽之較高能量 X 光輻射(低能量部分會被濾掉無法穿透)，其能量通常較散射輻射高，因此，一般而言，滲漏輻射的穿透力會比散射輻射強。

7. 現有 500 mg 鐳-226 (半化期為 1600 年)，試問：

(1) 經過 1 天後會產生多少貝克的氦-222 (半化期為 3.8 天)? (5%)

(2) 鐳-226 與氦-222 之母核與子核關係於 2 個月後，將處於何種平衡？請簡要說明原因。(5%)

[解：]

放射性核種衰變，母核 A 與子核 B 間的定量關係如下：

$$N_B = \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} N_A(0) (e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t})$$

因母核鐳-226 半化期遠大於子核氦-222 之半化期，即 $\lambda_A \ll \lambda_B$ ；故上式可簡化為：

$$N_B = \frac{\lambda_A}{\lambda_B} N_A(0) (1 - e^{-\lambda_B t}), \text{ 即 } \lambda_B N_B = \lambda_A N_A(0) (1 - e^{-\lambda_B t})$$

或可表示為 $Q_B(t) = Q_A(0)(1 - e^{-\lambda_B t})$ ，其中 Q 為活度(= λN)

又 500 mg 鐳-226 之活度為 0.5 Ci (因 1g 鐳-226=1Ci)= 1.85×10^{10} Bq

(1) 經過 1 天後氦-222 之活度

$$Q_B(t = 1d) = Q_A(0)(1 - e^{-\lambda_B t}) = 1.85 \times 10^{10} \text{Bq} \times \left(1 - e^{-\frac{0.493}{3.8d} \times 1d}\right) = 3.08 \times 10^9 \text{Bq}$$

(2) 因 $\lambda_A \ll \lambda_B$ ，母核與子核關係於長時間將處於長期平衡(Secular equilibrium)。