

行政院原子能委員會  
107 年度第 2 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. 試樣 A 測得 3000 個計數，試樣 B 測得 200 個計數，則此二試樣之計數比值 (A/B) 的百分標準差約為多少%？ (1) 9.0 % (2) 7.3 % (3) 5.5 % (4) 6.4 %

[解：]

(2)

試樣 A 的標準差  $\sigma_A = \sqrt{3000}$ 、試樣 B 的標準差  $\sigma_B = \sqrt{200}$ 。兩計數比值  $\frac{A}{B}$  的標

準差  $\sigma_{A/B}$ ，滿足  $\left(\frac{\sigma_{A/B}}{A/B}\right)^2 = \left(\frac{\sigma_A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_B}{B}\right)^2$ ，則

$$\left(\frac{\sigma_{A/B}}{A/B}\right)^2 = \left(\frac{\sqrt{3000}}{3000}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{200}}{200}\right)^2 = \frac{1}{3000} + \frac{1}{200} = 0.00533，$$

$$\text{百分標準差：}\left(\frac{\sigma_{A/B}}{A/B}\right) \times 100\% = \sqrt{0.00533} \times 100\% = 7.3\%$$

2. 使用蓋革計數器度量 A 射源、B 射源、A 射源加 B 射源之淨計數率分別為 2000 cps、3000 cps 及 4880 cps，請計算鑑別時間(resolving time)為若干秒？

(1)  $1 \times 10^{-6}$  s (2)  $5 \times 10^{-6}$  s (3)  $1 \times 10^{-5}$  s (4)  $5 \times 10^{-5}$  s

[解：]

(3)

說明：

$$\tau = \frac{\text{當 } \tau \ll 1}{2N_A N_B} \frac{N_A + N_B - N_{AB}}{2 \times 2000 \times 3000} = \frac{2000 + 3000 - 4880}{2 \times 2000 \times 3000} = 1.0 \times 10^{-5} \text{ (s)}$$

3. 能量 1.25 MeV 的光子數量  $10^4$  個，入射一厚度為  $10^{27}$  atom/m<sup>2</sup> 的碳板，已知 1.25 MeV 光子對碳的質量衰減係數為  $0.00569 \text{ m}^2/\text{kg}$ ，請計算與此碳板發生作用的光子數量？

(1) 1072 (2) 3542 (3) 6458 (4) 8928

[解：]

(1)

$$1 \text{ kg } ^{12}\text{C 的原子數量} = \frac{1000}{12} \times 6.02 \times 10^{23} = 5.02 \times 10^{25}$$

$$n_0 - n = 10^4 - 10^4 e^{-\mu_a x} = 10^4 (1 - e^{-0.00569 \frac{\text{m}^2}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{5.02 \times 10^{25} \text{ atom}} \cdot 10^{27} \frac{\text{atom}}{\text{m}^2}}) = 1072$$

4. 今有一種瘤含  $10^6$  個細胞，在接受 5.0 Gy 劑量後，其存活數量為  $10^5$  個細胞，試問平均致死劑量(mean lethal dose)  $D_0$  為何？

- (1) 0.75 Gy (2) 1.50 Gy (3) 2.17 Gy (4) 3.67 Gy

[解：]

(3)

$$N = N_0 e^{-D/D_0}, \rightarrow 10^5 = 10^6 e^{-5/D_0}, \rightarrow \frac{5}{D_0} = \ln\left(\frac{10^6}{10^5}\right) = \ln(10), \rightarrow D_0 = \frac{5}{\ln 10} = 2.17 \text{Gy}$$

5. 下列何者之熱中子作用截面最大？ (1)鉛 (2)硼 (3)鎳 (4)銅

[解：]

(3)

鉛的熱中子截面  $\sigma_{Pb} = 0.17 \text{barn}$

硼的熱中子截面  $\sigma_B = 759 \text{barn}$

鎳的熱中子截面  $\sigma_{Cd} = 2450 \text{barn}$

銅的熱中子截面  $\sigma_{Cu} = 3.79 \text{barn}$

$$\sigma_{Cd} > \sigma_B > \sigma_{Cu} > \sigma_{Pb}$$

6. 某員操作一 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

$$X \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = X$$

7. X 光屏蔽中所定義的工作負荷(Workload)其單位為何？

- (1) mR · mA/week (2) kVp · mA/week (3) mR · min/week (4) mA · min/week

[解：]

(4)

8. 關於相對生物效應(RBE)的敘述，下列何者錯誤？

- (1)  $RBE = D_x/D$ ，D 為一輻射產生某一特定生物終點(biological endpoint)的劑量， $D_x$  是

指 250 kVp 標準 X 射線產生相同生物終點的劑量

- (2) 輻射的直線能量轉移(LET)超過 100 keV/μm 時，LET 愈高、RBE 值愈大
- (3) 分次照射的次數會改變 RBE 值
- (4) RBE 值會隨生物終點的不同而改變

[解：]

(2)

9. 下列何種輻射的輻射加權因數( $W_R$ )最大？

- (1) 250 keV X 光
- (2) 14 MeV 中子射束
- (3) 150 MeV 質子射束
- (4) 2.5 MeV 阿伐射束

[解：]

(4)

10. 關於輻射的直接作用(direct action)及間接作用(indirect action)的敘述，下列何者錯誤？

- (1) 間接作用是輻射先和靶分子以外的分子作用
- (2) 直接作用的機率大於間接作用的機率
- (3) 間接作用會產生自由基
- (4) 直接作用的初始游離發生在靶分子

[解：]

(2)

11. 一非破壞檢查公司購得一工業用  $^{192}\text{Ir}$  射源 (半化期：74 天)，其標示的活度為 80 mCi，如果此射源在衰變成 740 MBq 以前都可用來檢查，則此射源約可再使用多少天？

- (1) 74
- (2) 120
- (3) 148
- (4) 185

[解：]

(3)

$$80 \text{ mCi} = 80 \times 3.7 \times 10^7 \text{ Bq} = 2960 \text{ MBq}$$

$$740 \text{ MBq} / 2960 \text{ MBq} = 1/4 = 1/2^2 \text{ (即可再使用 2 個半化期的時間)}$$

$$2 \times 74 \text{ 天} = 148 \text{ 天}$$

12. 下列關於偵檢器的敘述，何者正確？

- (1) 蓋革計數器所用的工作電壓較比例計數器低
- (2) 比例計數器所用的 P-10 氣體為 10 % 氫及 90 % 甲烷
- (3) 鍍(鋰)偵檢器需於 196 度 K 之溫度環境下使用
- (4)  $\gamma$  射線會使化學劑量計(Fricke dosimeter)的 2 價鐵離子變成 3 價鐵離子

[解：]

(4)

13. 若利用  $^6\text{LiF}$  熱發光劑量計度量中子，試問會產生哪些核反應的產物？

(1)  $\alpha$ 、 ${}^2\text{H}$  (2)  ${}^7\text{Be}$ 、 $\gamma$  (3)  $\alpha$ 、 ${}^1\text{p}$  (4)  ${}^3\text{H}$ 、 $\alpha$

[解:]

(4)

解:  ${}^6\text{Li} + {}^1\text{n} \rightarrow {}^3\text{H} + {}^4\text{He}$

14. 設某物質原子核內的核子數為  $A$ ，中子與物質原子核進行彈性碰撞，則中子轉移給原子核的平均能量比例  $f$ ，下列式子何者正確？

$$(1) f = \left(\frac{A-1}{A+1}\right)^2 \quad (2) f = \frac{A^2+1}{(A+1)^2} \quad (3) f = \frac{2A}{(A+1)^2} \quad (4) f = \frac{4A}{(A+1)^2}$$

[解:]

(3)

中子彈性散射後平均能量

$$\begin{aligned} \overline{E'} &= \frac{\oint E' d\Omega}{\oint d\Omega} = \frac{1}{4\pi} \int_0^\pi E' 2\pi \sin\psi d\psi = \frac{1}{2} \int_0^\pi \frac{E}{(A+1)^2} [A^2 + 1 + 2A \cos\psi] \sin\psi d\psi \\ &= \frac{1}{2} \frac{E}{(A+1)^2} \left\{ (A^2 + 1)(-\cos\psi) \Big|_0^\pi + 2A \frac{\cos^2\psi}{-2} \Big|_0^\pi \right\} \\ &= \frac{1}{2} \frac{E}{(A+1)^2} (A^2 + 1) \times 2 = \frac{A^2 + 1}{(A+1)^2} E \end{aligned}$$

$$\text{中子彈性散射後轉移給原子核的能量比例 } f = \frac{E - \overline{E'}}{E} = 1 - \frac{A^2 + 1}{(A+1)^2} = \frac{2A}{(A+1)^2}$$

15. 能量為 45 keV 之光子射束，穿透 4.5 cm 厚的鉛屏蔽後，強度剩入射強度的 1/20，則鉛對此光子射線的半值層為多少公分？ (1) 1.33 (2) 1.04 (3) 1.71 (4) 2.00

[解:]

(2)

$0.05 = e^{-(0.693/\text{HVL}) \cdot 4.5 \text{ cm}}$ ，雙邊取  $\ln$ ，

$2.9957 = 3.1185 / \text{HVL}$ ，故  $\text{HVL} = 1.04 \text{ cm}$

## 二、計算問答題：(每題 10 分，共 70 分)

1. 假設一碳壁游離腔，空氣腔體積為  $1 \text{ cm}^3$ ，置於水假體內，受到 Co-60 加馬射線的曝露，在空氣腔內產生  $3 \times 10^{-7}$  庫倫的電量，求(a)空氣腔內空氣的吸收劑量、(b)游離腔碳腔壁的吸收劑量、(c)水的吸收劑量。(假設碳壁厚度略大於電子的射程，且游離腔很小，滿足布拉格-戈雷空腔理論；空氣在標準狀態下  $\rho_{\text{air}} = 1.293 \text{ kg/m}^3$ 、 $W = 33.85 \text{ eV/ip}$ 、

$$\bar{S}_{carbon}^{water} = 0.998, \bar{S}_{air}^{carbon} = 1.009, \left(\frac{\bar{\mu}_{ab}}{\rho}\right)_{carbon}^{water} = 1.111, \left(\frac{\bar{\mu}_{ab}}{\rho}\right)_{air}^{carbon} = 1.121$$

[解:]

(a) 空氣的吸收劑量

$$D_{air} = \frac{W}{q_e} \frac{Q}{m_{air}} = 33.85 \times \frac{3 \times 10^{-7}}{1.293 \times 10^{-6}} = 7.85 \text{ Gy}$$

(b) 碳腔壁的吸收劑量

$$D_{carbon} = D_{air} \bar{S}_{air}^{carbon} = 7.85 \times 1.009 = 7.92 \text{ Gy}$$

(c) 水的吸收劑量

$$D_{water} = D_{carbon} \left(\frac{\bar{\mu}_{ab}}{\rho}\right)_{carbon}^{water} = 7.92 \times 1.111 = 8.80 \text{ Gy}$$

2. 度量鉛對 10 MeV 中子的截面，發現 1 cm 厚的鉛吸收體穿透的中子通率為初始值的 54.5 %。試計算其微觀截面與巨觀截面。（鉛的原子量是 207.1，比重 11.3）

[解:]

$$I = I_0 e^{-\Sigma x} \Rightarrow \frac{I}{I_0} = e^{-\Sigma \times 1} = 0.545 \therefore \Sigma = 0.607 \text{ cm}^{-1}$$

$$\Sigma = \sigma N = \sigma \times \frac{11.3}{207.1} \times 6.02 \times 10^{23} = 0.607 \therefore \sigma = 1.85 \times 10^{-23} \text{ cm}^2$$

巨觀截面為 0.607 cm<sup>-1</sup>；微觀截面為 18.5 邦

3. 某實驗室使用 2 mCi 的 <sup>32</sup>P 產生 20 公升廢液，及 0.01 mCi <sup>137</sup>Cs 產生 50 公升廢液，假設洗滌廢液活度皆為原先活度的 1/500。兩者之混合廢液再放置 2 個月，請問該混合廢液中 <sup>32</sup>P 及 <sup>137</sup>Cs 的濃度各為多少？混合廢液能否排放出去？（註：<sup>32</sup>P 之半化期 14.3 天，排放限值為 0.3 Bq/ml，<sup>137</sup>Cs 之半化期 30 年，排放限值為 0.09 Bq/ml）

[解:]

$$\begin{aligned} \text{解：(1) } ^{32}\text{P 於廢液中的濃度} &= [2 \times 3.7 \times 10^7 \times e^{-(0.693 \times 60 / 14.3)}] \text{ Bq} / (500 \times 70000 \text{ ml}) \\ &= (7.4 \times 10^7 \times 0.0546) \text{ Bq} / (3.5 \times 10^7 \text{ ml}) \\ &= 4.04 \times 10^6 \text{ Bq} / (3.5 \times 10^7 \text{ ml}) \\ &= 0.12 \text{ Bq} / \text{ml} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(2) } ^{137}\text{Cs 於廢液中的濃度} &= [0.01 \times 3.7 \times 10^7] \text{ Bq} / (500 \times 70000 \text{ ml}) \\ &= 3.7 \times 10^5 \text{ Bq} / (3.5 \times 10^7 \text{ ml}) \\ &= 1.06 \times 10^{-2} \text{ Bq} / \text{ml} \end{aligned}$$

$$\text{(3) } 0.12 / 0.3 + 0.0106 / 0.09 = 0.4 + 0.12 = 0.52, \text{ 小於 } 1, \text{ 可以排放。}$$

4. 一顆 9 Ci 的  $^{60}\text{Co}$  射源掉出其屏蔽容器，操作員在射源周圍 3 米處布置了示警隔離樁與隔離繩，共花了 30 秒，然後以 2 m/s 之速度遠離射源到無窮遠處請求協助。

(1) 此操作員在布置示警隔離樁與隔離繩期間之吸收劑量為多少？ (2) 操作員布置完離開隔離繩後，所受到的劑量為多少  $\mu\text{Sv}$ ？ ( $^{60}\text{Co}$  的比加馬劑量常數為  $8.53 \times 10^{-11} \frac{\text{Gy} \cdot \text{m}^2}{\text{MBq} \cdot \text{s}}$ )

[解：]

$$\text{吸收劑量率 } \dot{D} = \Gamma_d \frac{A}{r^2} = 8.53 \times 10^{-11} \times \frac{9 \text{ Gy} \cdot \text{m}^2 \text{ Ci}}{r^2 \text{ MBq} \cdot \text{s} \text{ m}^2} \times \frac{3.7 \times 10^4 \text{ MBq}}{\text{Ci}} = \frac{2.84 \times 10^{-5} \text{ Gy}}{r^2 \text{ s}}$$

(1) 布置示警隔離樁與隔離繩期間之吸收劑量

$$D = \dot{D} \times t = \frac{2.84 \times 10^{-5}}{3^2} \times 30 = 9.47 \times 10^{-5} \text{ Gy} = 94.7 \mu\text{Gy}$$

(2) 遠離射源到無窮遠處之吸收劑量  $D = \int \dot{D} dt$

$$\text{因離射源的距離與時間的關係為 } r = 3 + 2t, \rightarrow dt = \frac{1}{2} dr$$

$$\text{吸收劑量 } D = \int \dot{D} dt = \int_3^{\infty} \frac{2.84 \times 10^{-5}}{r^2} \times \frac{1}{2} dr = 1.42 \times 10^{-5} \left( \frac{-1}{r} \right)_3^{\infty} = 4.7 \mu\text{Gy}$$

$$H = W_R D = 4.7 \mu\text{Sv}$$

5. 將某放射性樣品置於計數器內，測量 5 分鐘，測得數目為 1200。取走該樣品後，測量背景值 60 分鐘，測得數目為 2400。假設計數時間的百分標準差均為 1%；計數器的效率均為 0.25，標準差為 10%。(a) 求此樣品的淨計數率及其標準差(以 cpm 表示)。(b) 求此樣品的活度及其標準差(以 Bq 為單位)。

[解：]

(a)

$$\text{計數率 } R = \frac{N}{t}, \text{ 因 } N \text{ 及 } t \text{ 都有誤差，所以 } \left( \frac{\sigma_R}{R} \right)^2 = \left( \frac{\sigma_N}{N} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_t}{t} \right)^2。$$

$$\text{樣品計數率 } R_S = \frac{1200}{5} = 240 \text{ cpm} \cdot \left( \frac{\sigma_{R_S}}{240} \right)^2 = \left( \frac{\sqrt{1200}}{1200} \right)^2 + \left( \frac{1}{100} \right)^2, \rightarrow \sigma_{R_S} = 7.33 \text{ cpm} ;$$

$$\text{背景計數率 } R_B = \frac{2400}{60} = 40 \text{ cpm} \cdot \left( \frac{\sigma_{R_B}}{40} \right)^2 = \left( \frac{\sqrt{2400}}{2400} \right)^2 + \left( \frac{1}{100} \right)^2, \rightarrow \sigma_{R_B} = 0.91 \text{ cpm}。$$

$$\text{淨計數率 } R_{net} = R_S - R_B = 240 - 40 = 200 \text{ cpm}$$

$$\text{標準差 } \sigma_{net} = \sqrt{\sigma_{R_S}^2 + \sigma_{R_B}^2} = \sqrt{(7.33)^2 + (0.91)^2} = 7.39 \text{ cpm}$$

(b)

$$\text{活度 } A = \frac{R_{net}}{\varepsilon} = \frac{200 \text{ dis}}{0.25 \text{ min}} \times \frac{\text{min}}{60s} = 13.3 \text{ Bq} ,$$

$$\text{標準差 } \left( \frac{\sigma_A}{13.3} \right)^2 = \left( \frac{\sigma_{net}}{R_{net}} \right)^2 + \left( \frac{1}{10} \right)^2 = \left( \frac{7.39}{200} \right)^2 + \left( \frac{1}{10} \right)^2 , \sigma_A = 1.42 \text{ Bq}$$

6. 某 X 光機管制區工作人員操作機台前(人員位置)測得之有效劑量率為 0.1 mSv/h，若已知鉛對此輻射的衰減係數是  $0.77 \text{ cm}^{-1}$ ，考慮輻射工作人員每年工作 2000 小時，今擬於輻射源與操作機台間設置一層鉛屏蔽，此鉛屏蔽厚度至少應達多少公分以上，才能使工作人員有效劑量於每年正常作業情況下均能小於 20 mSv？

[解：]

未加鉛屏蔽前操作機台處之累積年有效劑量為  $0.1 \text{ mSv/h} \times 2000 \text{ h/y} = 200 \text{ mSv/y}$

設鉛屏蔽厚度為  $x$  公分可使年有效劑量為 20 mSv

$$\text{則 } 20 \text{ (mSv/y)} = 200 \text{ (mSv/y)} \times e^{-0.77x}$$

$$\ln(20/200) = \ln e^{-0.77x}$$

$$x = (\ln 0.1) / (-0.77) = 2.99 \text{ cm (或 } 3.0 \text{ cm)}$$

故設置之鉛屏蔽厚度至少應達 2.99 (或 3.0) 公分以上

7. 游離輻射一次大量曝露對生物體的全身曝露確定效應，可分為急性效應(acute effects)與延遲效應(delayed effects)。請回答下列問題：

(1) 急性輻射症候群可簡化分為哪三類？共同的病症現象是甚麼？

(2) 請說明至少兩種延遲之確定性效應病症。

[解：]

(1) 急性輻射症候群可以簡化分為三類：(a) 造血症候群、(b) 胃腸症候群、(c) 中央神經系統症候群。共同的效應有 (a) 噁心與嘔吐、(b) 不舒服與疲勞、(c) 體溫增加、(d) 血液變化。

(2) 延遲之確定性效應病症包括皮膚潰瘍、器官或組織萎縮、白內障、不孕症或壽命縮短等，但不包括致癌效應與基因效應。