

行政院原子能委員會
108 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. 下列有關輻射與生物的效應敘述何者正確？

- (1)在高氧狀態下，細胞較不易受傷害 (2)低溫能降低細胞的輻射傷害 (3)累積劑量相同時，輻射劑量率低者造成之傷害較大 (4)相較於部分分化的細胞，完全分化的細胞對輻射更敏感

[解：]

(2)

2. X 光機結構屏蔽的計算所使用的占用因數(T)，職業性曝露人員非例行地使用之休息室，其占用因數為： (1) T=1 (2) T=1/2 (3) T=1/4 (4) T=1/8

[解：]

(3)

3. 一個計數效率為 23 % 的蓋革計數器計測一個環境試樣測得 300 cpm，儀器背景為 2 cpm，則此試樣的活度為多少貝克？ (1) 21.6 (2) 28.6 (3) 128.6 (4) 1286

[解：]

(1)

解: $(300 - 2) \text{ cpm} / (60 \times 0.23) = 21.6 \text{ 蛻變/秒}$

4. 一隻 20 公克的小鼠含有 $1.25 \times 10^5 \text{ Bq}$ 的 ^{14}C 分布在全身。 ^{14}C 釋放出 β 粒子的平均能量為 0.0495 MeV，若能量全部被吸收，則小鼠全身的平均吸收劑量率為多少 Gy/s？

- (1) 4.95×10^{-11} (2) 4.95×10^{-8} (3) 3.09×10^8 (4) 3.09×10^{11}

[解：]

(2)

$$\frac{1.25 \times 10^5 \times 0.0495 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19}}{0.02} = 4.95 \times 10^{-8}$$

5. 下列哪幾項效應屬於急性輻射效應？ A.皮膚紅腫 B.遺傳效應 C.腸胃道症候群 D.神經系統症候群 (1) ABCD (2) ABD (3) ACD (4) CD

[解：]

(3)

6. 屏蔽計算中之增建因數(build-up factor)，與下列何者無關？

- (1) 輻射種類 (2) 屏蔽材質 (3) 屏蔽厚度 (4) 輻射強度

[解：]

(4)

7. 在光子會衰減的情況下，6 MV 的光子與水發生作用，請問在增建區後的深度，克馬(K)與吸收劑量(D)的關係？

- (1) K 略大於 D (2) K 遠大於 D (3) K 略小於 D (4) K 等於 D

[解：]

(3)

8. 下列敘述何者正確？

- (1) 白內障屬於輻射的確定效應 (2) 神經細胞比骨髓細胞對輻射敏感
(3) 細胞週期中 S 期對輻射最敏感 (4) 機率效應的嚴重程度隨輻射劑量增加而增加

[解：]

(1)

9. 有一準直射束為 0.3 MeV 加馬輻射，其能量通量率為 $5 \text{ J/m}^2 \cdot \text{s}$ ，試問入射光子的通量率(光子/ $\text{cm}^2 \cdot \text{s}$)為何？ (1) 1×10^8 (2) 1×10^9 (3) 1×10^{10} (4) 1×10^{11}

[解：]

(3)

$$\begin{aligned} \text{解：} & 5 \text{ J/m}^2 \cdot \text{s} \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{cm}^2 \times 1 \text{ 光子}/[(0.3 \text{ MeV}) \times (1.6 \times 10^{-13} \text{ J/MeV})] \\ & = 1 \times 10^{10} \text{ 光子}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \end{aligned}$$

10. 若某人體內每公斤平均約有 3 公克的天然鉀元素，請計算此人體內所含 ^{40}K 的活度平均約為多少 Bq/kg？ (^{40}K : 半化期= 1.28×10^9 年, ^{40}K 佔天然鉀元素的豐度為 0.0117%)

- (1) 30 (2) 50 (3) 70 (4) 90

[解：]

(4)

$$\text{此人體內每公斤含 } ^{40}\text{K} \text{ 的量：} 3 \times 1.17 \times 10^{-4} = 3.51 \times 10^{-4} \text{ g}$$

$$\text{此人體內每公斤含 } ^{40}\text{K} \text{ 的原子個數 } N = (3.51 \times 10^{-4}/40) \times 6.02 \times 10^{23} = 5.28 \times 10^{18}$$

$$1 \text{ kg 的人體中含 } ^{40}\text{K} \text{ 的活度 } A = \lambda N = [0.693/(1.28 \times 10^9 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60)] \times (5.28 \times 10^{18}) = 90.6 \text{ Bq/kg (約 } 90 \text{ Bq/kg)}$$

11. 人體組織的熱中子劑量，二個主要吸收核反應為下列何者？

- (1) $^{14}\text{N}(n,n')^{14}\text{N}$ 、 $^1\text{H}(n,\gamma)^2\text{H}$ (2) $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$ 、 $^1\text{H}(n,n')^1\text{H}$
 (3) $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$ 、 $^1\text{H}(n,\gamma)^2\text{H}$ (4) $^{14}\text{N}(n,2n)^{13}\text{N}$ 、 $^1\text{H}(n,n')^1\text{H}$

[解：]

(3)

對於熱中子，須考量下列兩種反應 $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$ 及 $^1\text{H}(n,\gamma)^2\text{H}$ 。

$^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$ 的中子劑量率為 $\dot{D}_{np} = \dot{\phi} N_N \sigma_N Q$

$^1\text{H}(n,\gamma)^2\text{H}$ 的加馬劑量率為 $\dot{D} = \frac{A_s}{m} \sum_i \phi_i \bar{E}_i n_i$ ，式中 ϕ 為吸收分量、 $A_s = \dot{\phi} N_H \sigma_H$ 為加馬射

源比活度、 \bar{E}_i 為加馬 i 的能量、 n_i 為加馬 i 的放出率。

12. 單次攝入某一放射性核種 5 kBq 造成全身有效劑量為 0.06 mSv，及最大曝露的器官等價劑量為 0.50 mSv，則年攝入限度(ALI)為多少 MBq？

- (1) 6.25 (2) 5.00 (3) 4.75 (4) 4.17

[解：]

(4)

對輻射工作人員，單一年全身有效劑量的最大限值為 50 mSv、器官的年等價劑量最大

限值為 500 mSv。 $ALI_{stoc} = \frac{50}{0.06} \times 5 = 4170 \text{ kBq}$ ； $ALI_{det} = \frac{500}{0.5} \times 5 = 5000 \text{ kBq}$ ，

→年攝入限度 $ALI = \min\{ALI_{stoc}, ALI_{det}\} = 4170 \text{ kBq} = 4.17 \text{ MBq}$

13. 一台袖珍式游離腔，體積為 2.2 cm^3 ，電容為 8 pF，在 200 V 電位差下充滿電，佩戴時受到 γ 射線照射 2 小時後，電位差降為 192 V，假定於標準狀態下，請問該曝露率為多少 mR/h？ (1) 43.6 (2) 87.2 (3) 436 (4) 872

[解：]

(1) 43.6 mR/h

解：

$$\dot{X} = \frac{X}{t} = \frac{Q/m}{t} = \frac{C \times \Delta V}{m \cdot t} = \frac{8 \times 10^{-12} \times (200 - 192)}{1.293 \times 10^{-6} \times 2.2 \times 2} \frac{\text{C}}{\text{kg} \cdot \text{h}} \times \frac{R}{2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}} \times \frac{10^3 \text{ mR}}{R}$$

$$= 43.6 \text{ mR/h}$$

14. 若一同位素每 100 次衰變平均有 96 次會有加馬射線從原子核發射出來，其中與其 K、L 及 M 層電子發生內轉換作用的加馬射線分別有 10、5 及 1 次，其餘加馬射線均可發

射出原子外，則發生 K 電子內轉換之相對機率(internal conversion yield, α_k)為？

- (1) 10.0 % (2) 10.5 % (3) 12.5 % (4) 16.7 %

[解：]

(3)

α_k =在 K 層發生的內轉換次數/觀測到(自原子發射出去)的加馬射線數=10/(96-10-5-1) = 10/80 = 0.125 = 12.5 %

15. 關於光子與物質產生成對效應的敘述，下列何者錯誤？

- (1)所產生正子的平均動能為入射光子能量的一半 (2)光子能量愈高，發生成對效應的機率愈大 (3)物質的原子序愈高，發生成對效應的機率愈大 (4)後續的互毀作用會產生 2 個能量 0.511 MeV 的光子

[解：]

(1)

所產生正子的平均動能=1/2(入射光子能量-1.022MeV)

二、計算問答題：(每題 10 分，共 70 分)

1. 假若 200 MeV 動能之質子在水中的射程為 25.5 g/cm²，300 MeV 動能之質子在水中的射程為 50.6 g/cm²，試估計其穿透 30 cm 厚之水牆所需要的最小能量(MeV)？

[解：]

解：利用內插法， $\frac{E-200}{300-200} = \frac{30-25.5}{50.6-25.5} = 0.1793$ ，

$$E = 0.1793 \times 100 + 200 = 218 \text{ MeV}$$

2. 以 ²⁰³Hg 標記硝酸汞溶液 Hg(NO₃)₂，汞的比活度為 6 × 10⁵ Bq/mL。假設汞在溶液中的濃度是 10 mg/mL，(a)試求 ²⁰³Hg 在 Hg 中的比率為多少？(b) Hg(NO₃)₂ 的比活度為多少 Bq/g？(²⁰³Hg 半化期為 46.5 天，Hg 分子量為 200，Hg(NO₃)₂ 分子量為 324.63)

[解：]

(a)汞的活度來自 ²⁰³Hg， $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{\ln 2}{46.5 \times 24 \times 3600} = 1.73 \times 10^{-7} / s$

所以 1mL 溶液中 ²⁰³Hg 的質量

$$m_{203} = \frac{6 \times 10^5}{1.73 \times 10^{-7}} \times \frac{203}{6.02 \times 10^{23}} \frac{\text{Bq}}{1/s} \frac{\text{g/mole}}{\text{atom/mole}} = 1.17 \times 10^{-9} \text{ g} = 1.17 \times 10^{-6} \text{ mg}$$

$$^{203}\text{Hg} \text{ 的分率} = \frac{1.17 \times 10^{-6}}{10} = 1.17 \times 10^{-7}$$

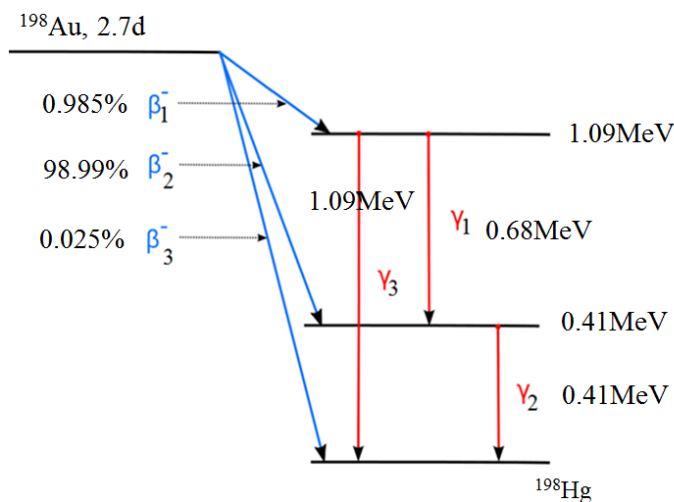
(b) 1mL 溶液中硝酸汞的質量 $m_{\text{Hg}(\text{NO}_3)_2} = \frac{324.63}{200} \times 10 = 16.23 \text{ mg}$ ，

$$\text{硝酸汞單位質量的活度為} = \frac{6 \times 10^5 \text{ Bq}}{16.23 \text{ mg}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{\text{g}} = 3.69 \times 10^7 \text{ Bq/g}。$$

3. 放射性核種 ^{198}Au 的衰變訊息如下表，請利用所提供的訊息畫出衰變圖(decay scheme)。

母核(半衰期)	子核	粒子或光子的發射能量(比率)
^{198}Au (2.7 天)	穩定的 ^{198}Hg	$\beta^-_1, 0.28 \text{ MeV}$ (0.985%) $\beta^-_2, 0.96 \text{ MeV}$ (98.99%) $\beta^-_3, 1.37 \text{ MeV}$ (0.025%) $\gamma_1, 0.41 \text{ MeV}$ $\gamma_2, 0.68 \text{ MeV}$ $\gamma_3, 1.09 \text{ MeV}$

[解：]



4. 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 代表的意義。

(b) ^{137}Cs 會放出 662 keV 的光子，求 NaI(Tl) 偵檢器所測得回散射峰(backscattered radiation peak)及康普吞邊緣(Compton edge)的能量分別為何？

[解：]

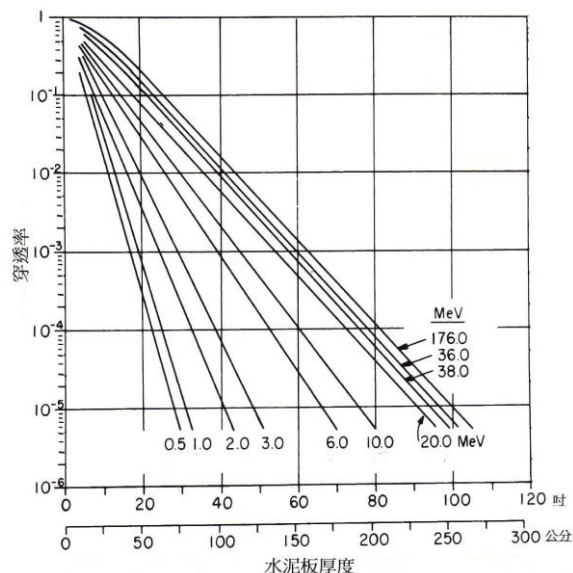
(a) α 為入射光子能量和靜止電子能量的比值，即 $E(\text{keV}) / 511 \text{ keV}$ 。 θ 為散射光子和入射光子行進方向的夾角。

(b) 回散射峰為回散射光子($\theta = 180^\circ$)產生光電效應所呈現的能量，即

$$E' = 662 \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{662}{511}\right)(1 - \cos 180^\circ)} \right] = 184 \text{ keV}$$

康普吞邊緣的能量為光子和物質產生康普吞效應時，轉移給電子的最大能量(發生在 $\theta = 180^\circ$)，即康普吞邊緣的能量 = $662 - 184 = 478 \text{ (keV)}$

5. 有一部百萬伏 X 光機，在水泥板主屏蔽後離射源 5 米處的劑量率須小於 $0.5 \mu\text{Gy}/\text{h}$ 。設機器的工作負荷為 $200 \text{ cGy} \cdot \text{m}^2/\text{week}$ (每週開 5 天，每天使用 8 小時)、該處的使用因子為 1、人員在該處的占用因數為 $1/4$ ，X 射線的平均能量為 3 MeV ，下圖為 X 射線穿過水泥板的穿透率圖，求主輻射屏蔽的穿透率為多少？厚度至少為多少公分？



[解：]

(1) 設穿透率為 K ，則離射源 5 米處的劑量率

$$\dot{D} = \frac{WUTK}{d^2} = \frac{200 \times 1 \times 0.25 \times K}{5^2} = 2K \frac{\text{cGy}}{\text{week}} \times \frac{\text{week}}{5 \times 8 \text{ h}} \times \frac{10^4 \mu\text{Gy}}{\text{cGy}} = 500K \frac{\mu\text{Gy}}{\text{h}}$$

$0.5 \mu\text{Gy}/\text{h}$ ，所以穿透率 $K \leq 0.001$

(2) 從圖得知主輻射屏蔽的厚度至少為 75 公分。

6. 請解釋(a)游離輻射對細胞的間接作用(indirect action)及(b)相對生物效能(relative biological effectiveness, RBE)。

[解：]

(a) 游離輻射對細胞的間接作用是由於游離輻射與細胞中之水分子作用產生自由基及後續之化學作用進而造成 DNA 鏈斷裂之效應。

(b) 若一特定類型輻射的劑量 D 產生了某一特定的生物終點(biological endpoint)效應，則 RBE 被定義為下述比值：

$$\text{RBE} = D_x/D$$

式中， D_x 是在同樣條件下為產生同樣的生物終點效應所需的參考 X 射線劑量。若以中子照射需 $D \text{ mGy}$ ，而以參考 X 射線照射需 $D_x \text{ mGy}$ ，則此中子輻射之 $\text{RBE} = D_x/D$ ，其他輻射亦以此類推。

7. 若初步計數樣品與背景，得到背景值約是 125 cpm，樣品(扣除背景之淨計數)約是 1875 cpm，今須於有限之測量時間 40 分鐘內再進行計測，為使統計誤差最小，試問(a)背景及(b)樣品(含背景)計測各應分配多少分鐘？

[解：]

已知：

S：射源之淨計數率(不含背景) = 1875 cpm

B：背景計數率 = 125 cpm

T_{S+B} ：進行樣品(含背景)計測之時間

T_B ：單獨進行背景計測之時間

$$T_{S+B} + T_B = 40 \text{ min} \dots (1)$$

為使統計誤差最小，須符合下列關係式：

$$\frac{T_{S+B}}{T_B} = \sqrt{\frac{S+B}{B}} = \sqrt{\frac{1875 \text{ cpm} + 125 \text{ cpm}}{125 \text{ cpm}}} = 4$$

即 $T_{S+B} = 4T_B$... 代回(1)式得：

$$4T_B + T_B = 40 \text{ min}, \text{ 故知 } 5T_B = 40 \text{ min},$$

$$T_B = 8 \text{ min},$$

$$T_{S+B} = 40 \text{ min} - 8 \text{ min} = 32 \text{ min}$$