

行政院原子能委員會  
109 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. 假設 2 MeV 的光子輻射和軟組織 ( $Z=7.4$ ) 發生成對發生反應的機率為  $p$ ，則 3 MeV 的光子輻射和軟組織發生光電效應的機率約為多少？

(1) 1.5 p (2) 2.25 p (3) 3 p (4) 2.5 p

[解：]

本題因題目有誤，故送分。

2. 曝露量為 25.8  $\mu\text{C}/\text{kg}$  的 300 keV 光子，造成肌肉的吸收劑量為多少 Gy？

(肌肉和空氣的質量衰減係數分別為  $0.0317 \text{ cm}^2/\text{g}$  及  $0.0288 \text{ cm}^2/\text{g}$ ；在空氣中產生 1 離子對所需能量為 34 eV) (1)  $6.9 \times 10^{-7}$  (2)  $8.4 \times 10^{-7}$  (3)  $8.0 \times 10^{-4}$  (4)  $9.7 \times 10^{-4}$

[解：]

(4)

$$34 \frac{J}{C} \times \frac{0.0317(\text{cm}^2/\text{g})}{0.0288(\text{cm}^2/\text{g})} \times 25.8 \times 10^{-6} (\text{C}/\text{kg}) = 9.7 \times 10^{-4} \text{ Gy}$$

3. 充氣式偵檢器依操作高壓大小的排列順序為：

(1) 游離腔 > 比例計數器 > 蓋革計數器

(2) 蓋革計數器 > 游離腔 > 比例計數器

(3) 比例計數器 > 游離腔 > 蓋革計數器

(4) 蓋革計數器 > 比例計數器 > 游離腔

[解：]

(4)

4. 工作人員在某活度為 200 mCi 的點射源附近作業，若採用厚度 5 cm 的鉛做屏蔽保護，則在距離射源 2 m 處工作 10 分鐘後，人員受到的劑量為多少 mGy？

( $\Gamma = 1.3 \text{ Gy m}^2 \text{ Ci}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ，點射源的半值層為 1 cm 鉛)

(1) 338 (2) 0.338 (3) 0.000338 (4) 0.676

[解：]

(2)

$$[(1.3 \times 0.2 \text{ Ci}) / (2 \text{ m})^2] \times (1/2)^5 \times (10 \text{ min} / 60) = 0.000338 \text{ Gy} = 0.338 \text{ mGy}$$

5. 輻射造成細胞死亡原因來自於何種構造受到傷害？

- (1)細胞膜 (2)細胞壁 (3)細胞質 (4)細胞核

[解：]

(4)

6. 核種對熱中子的捕獲截面與下列哪一個因子成正比關係？

- (1)  $\frac{1}{E^2}$  (2)  $\frac{1}{V^2}$  (3)  $\frac{1}{\sqrt{E}}$  (4)  $\frac{1}{\sqrt{V}}$

[解：]

(3)

7. 下列敘述何者正確？

- A.在著床期(受孕前2周)母體子宮受到輻射照射不易導致胎兒畸形；  
B.第3至7周若受到輻射照射可能造成胎兒正在發育的器官畸形；  
C.在第8周後受到輻射照射超過低限劑量將可能導致胎兒智商下降；  
D.在受孕發生後的第25周後受到照射，胎兒對輻射誘發的風險最顯著。

- (1)僅AC (2)僅BD (3)僅ABC (4)僅BCD

[解：]

(3)

在著床期，輻射的傷害可能導致胚胎著床失敗，而不易造成胎兒畸形。在受孕發生後的第25周後對輻射誘發的風險最不顯著。

8. 同樣速度的粒子，在空氣中射程最短的粒子為何？

- (1)  $^3\text{H}$  (2)  $^3\text{He}$  (3)  $^4\text{He}$  (4)  $^6\text{Li}$

[解：]

(4)

9. 若氬氣被吸入人體內發生衰變，其後續子核發射出一個6.4 MeV動能之 $\alpha$ 粒子，利用下列質子在水中之射程資訊，估計此 $\alpha$ 粒子在人體軟組織中的射程為多少g/cm<sup>2</sup>？

- (1) 0.002 (2) 0.005 (3) 0.017 (4) 0.057

<u>動能(MeV)</u>	<u>射程(g/cm<sup>2</sup>)</u>
1	0.002
2	0.007
4	0.023
8	0.079

[解：]

(2)

因具有相同速度之 $\alpha$  粒子與質子的射程一樣，在相同能速度時  $\alpha$  粒子之動能  $T_\alpha$ 與質子之動能  $T_P$ 之比為：

$$\frac{T_\alpha}{T_P} = \frac{M_\alpha}{M_P} = \frac{4}{1}, \quad T_\alpha = 4 T_P \text{ 或 } T_P = \frac{1}{4} T_\alpha$$

即 6.4 MeV 之 $\alpha$ 粒子與 1.6 MeV 之質子有相同運動速度，並具有相同之射程。

由內插計算：

$$\frac{0.007 - 0.002}{2 - 1} = \frac{R - 0.002}{1.6 - 1}, \quad 0.005 = \frac{R - 0.002}{0.6}, \quad R = 0.003 + 0.002 = 0.005$$

故 6.4 MeV 動能之 $\alpha$ 粒子射程=1.6 MeV 質子射程 = 0.005 g/cm<sup>2</sup>

10. 某銫-137 射源於 15 年前製造，在出廠日度量到距該射源 1m 處的劑量率為 141.5 mSv/h，今日在使用該射源時，於表面覆蓋一層厚度相當於 2 個半值層的鉛屏蔽，請估計現在使用該射源時，距同樣 1m 處的劑量率為多少 mSv/h？ (1) 2.5 (2) 5 (3) 25 (4) 100

[解：]

(3)

因銫-137 半化期為 30 年，

$$D = D_0 e^{(-\frac{0.693}{30y} \times 15y)} \times \left(\frac{1}{2}\right)^2 = 141.5 \left[\frac{\text{mSv}}{\text{h}}\right] \times 0.707 \times \frac{1}{4} = 25 \left[\frac{\text{mSv}}{\text{h}}\right]$$

11. 加馬能譜中於 600 頻道(channel)處有一全能峰，若在此能量下的能量解析度為 10%，該能譜系統的每一頻道為 1.1 keV，則該全能峰的標準差為多少 keV？

(1) 66 (2) 60 (3) 28 (4) 11

[解：]

(3)

$$R = \frac{\text{FWHM}}{E} = 0.1 = \frac{\text{FWHM}}{600}$$

$$\text{FWHM} = 60 \text{ channel} = 2.35\sigma$$

$$\sigma = \frac{60}{2.35} = 25.5 \text{ channel}$$

$$25.5 \times 1.1 = 28 \text{ keV}$$

12. 一個 150 keV 光子的速度是 300 keV 光子的幾倍？

(1) 0.5 (2) 相等 (3) 2 (4) 4

[解：]

(2)

13. 相同種類的細胞在下列何者生命週期受輻射傷害的程度最小？

- (1)分裂期 M (2)合成期 S (3)細胞靜止期 G<sub>0</sub> (4)合成準備期 G<sub>1</sub>

[解：]

(2)

細胞在 DNA 合成期(S)對輻射最不敏感

14. 下列何種作用會產生一個電子與一個正子？

- (1)光電效應 (2)康普吞效應 (3)成對效應 (4)光核反應

[解：]

(3)

15. NaI(Tl)閃爍體測得 Cs-137 之 662 keV 光子的康普吞邊緣(Compton edge)為 A keV，回散射峰(backscattered radiation peak)為 B keV，則 B/A 等於多少？

- (1) 0.39 (2) 0.77 (3) 1.30 (4) 2.60

[解：]

(1)

$$\alpha = \frac{662}{511}$$

$$A = hv \frac{2\alpha}{1+2\alpha}$$

$$B = hv \frac{1}{1+2\alpha}$$

$$B/A = 1/2\alpha = \left(\frac{511}{2 \times 662}\right) = 0.39$$

## 二、計算問答題：(每題 10 分，共 70 分)

1. (a)說明何謂比加馬射線常數(specific gamma-ray constant,  $\Gamma$ )。

(b)某一點射源每次衰變有 85% 機率會發射出一個 0.662 MeV 的加馬射線，請估算此射源的比加馬射線常數。

(c)若此點射源活度為 10 mCi，計算離此點射源 1.5 m 處之曝露率為多少 mR/h？

(d)此曝露率相當於多少劑量率(mGy/h)？

[解：]

(a)比加馬射線常數(specific gamma-ray constant,  $\Gamma$ )的定義為在距離單位活度點射源單位距離處的加馬輻射曝露率(或劑量率)。

(b)此點射源每次衰變釋放的加馬射線平均能量 E 為  $0.85 \times 0.662 = 0.563$  MeV

$$\text{則其比加馬射線常數 } \Gamma = 0.5 \times E \frac{\text{R} \cdot \text{m}^2}{\text{Ci} \cdot \text{h}} = 0.5 \times 0.563 \frac{\text{R} \cdot \text{m}^2}{\text{Ci} \cdot \text{h}} = 0.28 \frac{\text{R} \cdot \text{m}^2}{\text{Ci} \cdot \text{h}}$$

$$(c) \text{ 曝露率 } \dot{X} = \frac{\Gamma A}{d^2} = \frac{0.28 \frac{\text{R} \cdot \text{m}^2}{\text{Ci} \cdot \text{h}} \times 0.01 \text{ Ci}}{(1.5 \text{ m})^2} = 1.24 \times 10^{-3} \frac{\text{R}}{\text{h}} = 1.24 \frac{\text{mR}}{\text{h}}$$

$$(d) \text{ 劑量率 } \dot{D} = \dot{X} \times 0.00877 \frac{\text{mGy}}{\text{mR}} = 1.24 \frac{\text{mR}}{\text{h}} \times 0.00877 \frac{\text{mGy}}{\text{mR}} = 1.09 \times 10^{-2} \frac{\text{mGy}}{\text{h}}$$

2. 有一人沉浸在充滿  $^{85}\text{Kr}$  空浮雲團中，活度濃度為  $37 \text{ kBq/m}^3$ ， $^{85}\text{Kr}$  是純貝他射源，放出貝他粒子轉化為  $^{85}\text{Rb}$ ，所放出貝他粒子的最大能量為  $0.672 \text{ MeV}$ ，平均能量為  $0.246 \text{ MeV}$ ，請計算皮膚的沉浸劑量率( $\text{Gy/h}$ )。[已知皮膚之質量吸收係數與貝他粒子最大能量之關係為  $\mu_{m,\beta}^m = 18.6(E_m - 0.036)^{-1.37}$ ]

[解:]

$$\text{皮膚之質量吸收係數為 } \mu_{m,\beta}^m = 18.6(0.672 - 0.036)^{-1.37} = 34.6 \text{ cm}^2 / \text{g}$$

在空氣中的劑量率為:

$$\begin{aligned} \dot{D}_{\text{inf}}(\text{air}) &= \frac{C \times \bar{E}}{\rho_{\text{air}}} = \frac{37 \times 0.246 \text{ kBq} \cdot \text{MeV} \cdot \text{cm}^3}{1.293 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{tr} \cdot \text{g}} \\ &\times \frac{10^3 \text{ tr/s}}{\text{kBq}} \times \frac{\text{m}^3}{10^6 \text{ cm}^3} \times \frac{1.6 \times 10^{-13} \text{ J}}{\text{MeV}} \times \frac{10^3 \text{ g}}{\text{kg}} \times \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} = 4.05 \times 10^{-6} \frac{\text{Gy}}{\text{h}} \end{aligned}$$

皮膚的沉浸劑量率為

$$\begin{aligned} \dot{D}_b &= 0.5 \times 1.1 \times \dot{D}_{\text{inf}}(\text{air}) \times \exp(-\mu_{m,\beta}^m \times 0.007) = 0.55 \times 4.05 \times 10^{-6} \times \exp(-34.6 \times 0.007) \\ &= 1.75 \times 10^{-6} \frac{\text{Gy}}{\text{h}} \end{aligned}$$

3. 一個放射性樣品在 5 分鐘內測得 800 counts，取出放射性樣品，在 10 分鐘內測得背景值 400 counts，試計算淨計數率和標準差？

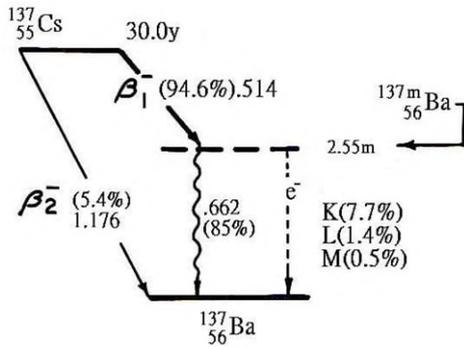
[解:]

$$\text{net} = \frac{800 \text{ c}}{5 \text{ min}} - \frac{400 \text{ c}}{10 \text{ min}} = 120 \text{ cpm}$$

$$\text{std} = \sqrt{\frac{800}{(5 \text{ min})^2} + \frac{400}{(10 \text{ min})^2}} = 6 \text{ cpm}$$

$$\text{淨計數率} \pm \text{標準差} = 120 \pm 6 \text{ cpm}$$

4. 某  $^{137}\text{Cs}$  射源被植入組織假體，假設衰變的加馬射線全部逃離假體，其餘輻射能量皆被吸收，貝他粒子的平均能量為最大能量的 1/3。若射源在假體內發生 100 次的衰變，請依據衰變圖之資訊，計算假體吸收的能量( $\text{MeV}$ )。



[解：]

$$\text{貝他粒子被吸收的能量 } E_{\beta} = 100 \times \frac{1}{3} \times (0.514 \times 0.946 + 1.176 \times 0.054) = 18.32 \text{ MeV}$$

有  $94.6\% - 85\% = 9.6\%$  的  $0.662 \text{ MeV}$  加馬射線進行內轉換，產生內轉換電子，其能量被吸收  $E_{I.C.} = 0.662 \times 0.096 \times 100 = 6.36 \text{ MeV}$

$$\text{假體吸收的能量 } E_{ab} = E_{\beta} + E_{I.C.} = 18.32 + 6.36 = 24.68 \text{ MeV}$$

5. 請說明：(a)中子屏蔽主要考量的因素為何？ (b)應如何選擇屏蔽材料？

[解：]

(a)

中子(neutron)的屏蔽(shielding)問題主要包含三點：

- 一、快中子的緩速(slow down)或減能
- 二、捕獲減能後的中子
- 三、衰減所可能引起的加馬輻射

(b)

- 一、低原子序材料是優良的中子緩速劑(如水、含氫化合物、塑膠、石蠟、石墨、鈹等)。
- 二、中子被緩速成熱中子後，可用高吸收截面材料吸收熱中子(如硼或鎘)。
- 三、屏蔽(n, $\gamma$ )作用所產生的加馬輻射，可以使用高原子序材料屏蔽(如鉛)。

6. 已知 Co-60 之半化期為 5.26 年、Cs-137 之半化期為 30.0 年，請計算並回答下列問題？

(a) 1 公克的純 Co-60 放射性物質，其活度為多少貝克？

(b) 多少公克的純 Cs-137 放射性物質，其活度等於 1 公克純 Co-60 放射性物質的活度？

[解：]

$$\text{Co-60 之蛻變常數 } \lambda = \frac{\ln 2}{5.26 \times 365 \times 24 \times 3600} = 4.18 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1} \text{、Cs-137 之蛻變常數}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{30 \times 365 \times 24 \times 3600} = 7.33 \times 10^{-10} \text{ s}^{-1} \text{。}$$

$$\text{(a) 1 公克的純 Co-60 放射性物質之原子數目 } N = \frac{1}{60} \times 6.02 \times 10^{23} = 1.00 \times 10^{22} \text{ atom}$$

$$\text{活度 } A = \lambda N = 4.18 \times 10^{-9} \times 1.00 \times 10^{22} = 4.18 \times 10^{13} \text{ Bq} \text{。}$$

(b) 同理，1 公克的純 Cs-137 放射性物之活度

$$A = \lambda N = 7.33 \times 10^{-10} \times \frac{1}{137} \times 6.02 \times 10^{23} = 3.22 \times 10^{12} \text{ Bq}$$

$$\text{等於 1 公克純 Co-60 活度的 Cs-137 質量 } m = \frac{4.18 \times 10^{13}}{3.22 \times 10^{12}} \approx 13 \text{ g}$$

7. 用中子活化分析技術( $^{50}\text{Cr} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{51}\text{Cr}$ )探討某樣品中 Cr 的含量，以  $10^{12} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  的中子照射 5 天後， $^{51}\text{Cr}$  的活度為 1121 Bq。則此樣品照射前含有多少克的 Cr？

(中子照射  $^{50}\text{Cr}$  之截面為  $1.35 \times 10^{-23} \text{ cm}^2$ ， $^{50}\text{Cr}$  的豐度(abundance)為 4.31%，Cr 原子量為 52.01 克， $^{51}\text{Cr}$  的半化期為 27.8 天)

[解：]

$$A = \phi \sigma n (1 - e^{-\lambda t})$$

$$1121 = 10^{12} \times 1.35 \times 10^{-23} \times n \times (1 - e^{-\frac{0.693}{27.8} \times 5})$$

$$n = [1121 / (0.1582 \times 10^{-11})] = 7.086 \times 10^{14}$$

$$w = \left( \frac{7.086 \times 10^{14}}{6.02 \times 10^{23} \times 4.31\%} \right) \times 52.01 = 1.42 \times 10^{-6} \text{ g}$$