

核能安全委員會
114 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. 關於制動輻射，下列敘述何者正確？

- (1)制動輻射是由質子與電子碰撞產生的，具有單一能量特徵。
- (2)制動輻射具有連續能譜，其最大能量等於入射電子的動能。
- (3)當電子方向改變時，不會產生制動輻射。
- (4) β 粒子在進入物質後會一次性釋放全部能量形成單一制動輻射。

[解：]

(2)

- (1)制動輻射具連續能譜特性
- (3)電子方向改變時會產生制動輻射
- (4)會釋放很多連續能譜光子

2. 下列關於克馬(K)與吸收劑量(D)之敘述何者正確？(假設 b 為作用後所產生之制動輻射所損失的能量比率)

- (1) $K = D / (1-b)$
- (2) $D = \Phi (\mu/\rho) (1-b)$
- (3) $K = \Phi (\mu/\rho) E_{ab}$
- (4)在增建區範圍內 $K = D$

[解：]

(1)

3. 某一輻射工作人員操作 37 MBq 的 Co-60 點射源，每次衰變放出 2 個光子，胸部配戴之劑量計與此射源的距離 40 cm，請問入射到劑量計的光子通量是多少 cm^{-2} ？

- (1) 1.84×10^3
- (2) 3.68×10^3
- (3) 1.84×10^7
- (4) 3.68×10^7

[解：]

(2)

$$\text{通量} = \frac{\text{粒子數}}{4\pi r^2} = \frac{37 \times 10^6 \text{ dis} \times 2 \text{ \#} / \text{dis}}{4\pi (40)^2} = 3.68 \times 10^3 \text{ cm}^{-2}$$

4. 比例計數器常用之 P-10 氣體所含之甲烷(CH_4)組成占比為多少%？

- (1) 10
- (2) 20
- (3) 80
- (4) 90

[解：]

(1)

比例計數器常用之 P-10 氣體之組成為：90%氬氣(Ar)與 10%甲烷(CH_4)

5. 急性輻射曝露中所使用的 $LD_{50/30}$ ，代表下列何者？

- (1) 在 30-50 天內尚有 50% 存活的劑量 (2) 在 50 天內發生 30% 存活的劑量
(3) 在 30-50 天內發生 50% 死亡的劑量 (4) 在 30 天內發生 50% 死亡的劑量

[解：]

(4)

6. 若一名輻射工作人員受到 0.5 MeV γ 射線全身均勻照射，所得吸收劑量為 0.2 mGy，下列敘述何者為真？

- (1) 等價劑量為 0.05 mSv (2) 等價劑量為 0.5 mSv
(3) 有效劑量為 0.2 mSv (4) 有效劑量為 0.5 mSv

[解：]

(3)

γ 射線的輻射加權因數為 1 (全身組織加權因數為 1)。

7. 某一放射性樣品計測 3 分鐘得 1200 cpm，請問其計數率百分標準差為多少%？

- (1) 0.67 (2) 1.67 (3) 0.28 (4) 2.8

[解：]

(2)

$$(N/3) \pm (\sqrt{N}/3), \therefore 1200 \pm (\sqrt{3600}/3), 1200 \pm 20 \text{ cpm}, (20/1200) \times 100\% = 1.67\%$$

8. 一個 4 MeV 的質子在水中碰撞產生一個最大能量($Q_{\max}$)為多少 keV 的 δ 射線 (即被擊出之電子)？ (1) 3.7 (2) 4.7 (3) 6.7 (4) 8.7

[解：]

(4)

$$Q_{\max} = 4MnE/(M+n)^2 = [4 \times 1 \times (1/1836)] \times 4 \text{ MeV} / (1 + 1/1836)^2 = 8.7 \times 10^{-3} \text{ MeV} = 8.7 \text{ keV}$$

9. 根據 ICRP 103 號報告，質子的輻射加權因數為多少？ (1) 1 (2) 2 (3) 10 (4) 20

[解：]

(2)

10. 下列關於半導體偵檢器的敘述何者正確？

- (1) Ge 原子具有 5 個價電子。 (2) Si 的 W 值為 35 eV/離子對。
(3) 度量輻射常使用逆向偏壓。 (4) Si 加入少量 B 為 n 型半導體。

[解：]

(3)

11. 某種細胞的存活曲線符合線性二次模型(linear-quadratic model)，其 $\alpha=0.1 \text{ Gy}^{-1}$ 、 $\beta=0.05 \text{ Gy}^{-2}$ ，請問單次照射多少 Gy 時線性與二次細胞致死的貢獻一樣，此劑量下細胞的存活比例約為多少？ (1) 0.5、94% (2) 0.5、6% (3) 2、67% (4) 2、74%

[解：]

(3)

線性與二次細胞致死貢獻相同細胞致死所需要的劑量等於 $\frac{\alpha}{\beta}$ 的比率。

$$\text{故其劑量為 } \frac{\alpha}{\beta} = \frac{0.1}{0.05} = 2 \text{ Gy}$$

又根據線性二次模型公式可得該劑量下的細胞存活比例，

$$S = e^{-\alpha D - \beta D^2} = e^{-0.1 \times 2 - 0.05 \times 2^2} = 0.67 = 67\%$$

12. 在不考慮增建因數下，某輻射工作人員與 Cs-137 射源的距離減少一半，工作時間縮短一半，且增加使用 3 個半值層厚的鉛板衰減，則曝露量變為原來的幾倍？

(1) 1/16 (2) 1/8 (3) 1/4 (4) 1/2

[解：]

(3)

$$X \times \left(\frac{1}{0.5}\right)^2 \times \frac{1}{2} \times \left(\frac{1}{2}\right)^3 = \frac{1}{4} X$$

13. 有一碳壁為材料的游離腔，在碳裡面有一個小體積 $V \text{ cm}^3$ 之空氣腔，這塊碳曝露在鈷-60 所發射的加馬射線裡，在空腔裡產生和收集到 X 庫侖之電量，已知空氣的質量阻擋本領= S_{air} ，碳的質量阻擋本領= S_{C} ，空氣的密度= $\rho \text{ g/cm}^3$ ，在空氣中平均游離 1 離子對需 $W \text{ eV}$ ，請問空氣腔若填充碳材料，則此填充碳材料的吸收的劑量(Gy)？

(1) $\frac{1000 \cdot X \cdot W}{\rho V} \cdot \frac{S_{\text{C}}}{S_{\text{air}}}$ (2) $\frac{1000 \cdot X \cdot W}{\rho V} \cdot \frac{S_{\text{air}}}{S_{\text{C}}}$ (3) $\frac{1000 \cdot X}{\rho V \cdot W} \cdot \frac{S_{\text{C}}}{S_{\text{air}}}$ (4) $\frac{1000 \cdot X}{\rho V \cdot W} \cdot \frac{S_{\text{air}}}{S_{\text{C}}}$

[解：]

(1)

$$D_{\text{C}} = D_{\text{air}} \cdot \frac{S_{\text{C}}}{S_{\text{air}}} = \left[\frac{X(\text{C})}{\rho \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right) \cdot V(\text{cm}^3) \cdot \frac{1\text{kg}}{1000\text{g}}} \cdot W\left(\frac{\text{J}}{\text{C}}\right) \right] \cdot \frac{S_{\text{C}}}{S_{\text{air}}} = \frac{1000 \cdot X \cdot W}{\rho V} \cdot \frac{S_{\text{C}}}{S_{\text{air}}}$$

14. 下列哪些是屬於急性輻射症候群？ A.血液改變 B.脫髮 C.遺傳病 D.皮膚紅腫

(1)僅 ACD (2)僅 ABD (3)僅 AD (4)僅 BD

[解：]

(2)

15. 試問對 1 kg 的水照射 1 Gy 的劑量，會使其溫度上升幾°C？(1 J 約等於 0.24 cal)

- (1) 4.2 (2) 4.2×10^{-3} (3) 2.4×10^{-1} (4) 2.4×10^{-4}

[解：]

(4)

$$0.24 = 1000 \times 1 \times \Delta T$$

$$\Delta T = 2.4 \times 10^{-4}$$

二、計算問答題：(每題 10 分，共 70 分)

1. 某人使用 5 年前購買 0.25 μCi 的 ^{60}Co ($T_{1/2} = 5.26 \text{ yr}$) 為標準射源，做蓋革計數器計數效率的實驗，結果以蓋革計數器測得標準射源活度為 $2 \times 10^4 \text{ cpm}$ 。假設此蓋革計數器的無感時間為 300 μs ，試問：

(1) 請計算此計數器因為無感時間所損失的比率為多少%？

(2) 請計算此計數器的計數效率為多少%？

[解：]

$$\text{標準射源經過 5 年剩餘活度 } A = A_0 e^{-\lambda t} = 0.25 \times 3.7 \times 10^4 \times e^{-\frac{0.693 \times 5}{5.26}} = 4787 \text{ Bq}$$

$$\text{經無感時間修正後的計數率 } R = \frac{R_0}{1 - R_0 \tau} = \frac{2 \times 10^4}{1 - \frac{2 \times 10^4}{60} \times 300 \times 10^{-6}} = 22222 \text{ cpm}$$

$$(1) \text{損失比率} = 1 - \frac{20000}{22222} = 0.1 = 10\%$$

$$(2) \text{計數效率 efficiency} = \frac{\text{cpm}}{\text{dpm}} = \frac{20000}{4787 \times 60} = 7 \%$$

2. 光子和物質產生康普吞效應時，康普吞電子動能(K)和入射光子能量(E)之關係式如下，

$$K = E \left(\frac{\alpha(1 - \cos \theta)}{1 + \alpha(1 - \cos \theta)} \right)$$

試問：

(1) α 和 θ 代表的含意。

(2) 散射光子能量(E')和入射光子能量(E)之關係式為何？

(3) 當 E 為 511 keV 時，散射光子的最小能量為何？

[解：]

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

$$(2) E' = E - K = E \left(\frac{1}{1 + \alpha(1 - \cos \theta)} \right)$$

(3) 散射光子的最小能量發生在 $\theta=180^\circ$ 時

$E=511 \text{ keV}$ 時, $\alpha=1$

$$\text{散射光子的最小能量} = 511 \left(\frac{1}{1+2} \right) = 170.3 \text{ keV}$$

3. 某水泥廠將報廢一顆鈷-60密封射源, 其活度剩 1 Ci , 將其置於鉛罐進行貨車運送。鉛罐中心距離司機的位置為2公尺, 若司機位置的輻射劑量率須小於 0.02 R h^{-1} 時, 請問鉛罐厚度至少須幾公分? (鈷-60 曝露率常數為 $13.2 \text{ R cm}^2 \text{ h}^{-1} \text{ mCi}^{-1}$ 鉛密度 11.3 g cm^{-3} , 鈷-60光子的與鉛作用的質量衰減係數 $0.0581 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$, 不考慮增建因數)

[解:]

$$13.2 \text{ R cm}^2 \text{ h}^{-1} \text{ mCi}^{-1} \times (1/200 \text{ cm})^2 \times 1000 \text{ mCi} = 0.33 \text{ R/h}$$

$$\mu = 11.3 \times 0.0581 = 0.66 \text{ cm}^{-1}$$

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

$$0.02 = 0.33 e^{-0.66x} \quad x = 4.27 \text{ cm}$$

4. 在空氣中, 1 MeV 光子束($\mu_{\text{en}} = 0.0280 \text{ cm}^{-1}$)和 0.1 MeV 光子束($\mu_{\text{en}} = 0.0233 \text{ cm}^{-1}$)產生相同的劑量, 試問:(1)兩光子束能通量的比率是多少? (2)兩光子束通量的比率是多少?

[解:]

(1)

$$\phi_1 \times E_1 \times \mu_{\text{en},1} = \phi_{0.1} \times E_{0.1} \times \mu_{\text{en},0.1}$$

$$\frac{\phi_1 \times E_1}{\phi_{0.1} \times E_{0.1}} = \frac{0.0233}{0.0280} = 0.832$$

(2)

$$\frac{\phi_1}{\phi_{0.1}} = \frac{0.832}{10} = 0.0832$$

5. (1)請詳細說明屏蔽快中子射束的各過程與其原理, 並列出相對應之常用材料。

(2)快中子與人體軟組織作用的機制為何?

(3)熱中子與人體軟組織作用的機制中, 哪一種機制中會釋出質子?

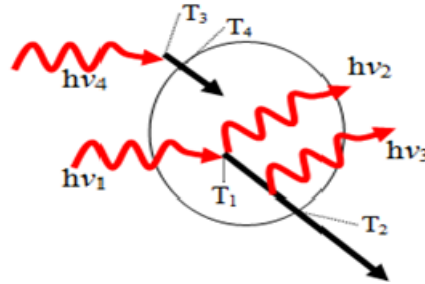
[解:]

(1)快中子以水、石蠟、石墨等含碳、氫等材料利用彈性碰撞原理將快中子速度緩速成熱中子, 再利用 $^{10}\text{B} (n, \alpha) ^7\text{Li}$ 反應捕獲熱中子, 或是利用 $^{113}\text{Cd} (n, \gamma) ^{114}\text{Cd}$ 反應捕獲熱中子, 外圍再用鉛將加馬射線加以屏蔽。

(2)快中子與人體的組成元素(C, H, N, O)行彈性碰撞被減速。

(3)熱中子會進行 $^{14}\text{N} (n, p) ^{14}\text{C}$ 的反應, 釋出質子。

6. 若一能量 $h\nu_1=600\text{ keV}$ 之光子在 $1\text{ }\mu\text{g}$ 靶體積內發生康普吞效應，散射光子能量 $h\nu_2$ 為 450 keV ，產生之康普吞電子初始動能 T_1 為 150 keV ；該電子在靶體積中發射出能量 $h\nu_3$ 為 10 keV 之制動輻射(於靶體積內無任何交互作用)，該電子離開靶體積時尚有 50 keV 之動能 T_2 。同時有另一能量 $h\nu_4$ 為 80 keV 之光子在靶體積外發生光電效應，產生之光電子初始動能 T_3 約為 80 keV ，此光電子進入靶體積時之動能 T_4 為 50 keV 。請計算在此過程(如下圖)中靶體積內之(1)吸收劑量(μGy)、(2)總克馬(μGy)。



[解:]

- (1) 吸收劑量 $D = (T_1 - h\nu_3 - T_2 + T_4) / 1\mu\text{g}$
 $= (150 - 10 - 50 + 50)\text{keV}/\mu\text{g}$
 $= 140\text{ keV} / 10^{-9}\text{ kg} = 2.24 \times 10^{-5}\text{ J/kg} = 22.4\text{ }\mu\text{Gy}$
- (2) 總克馬 $= T_1 / 1\mu\text{g} = 150\text{ keV} / 10^{-9}\text{ kg} = 2.4 \times 10^{-5}\text{ J/kg} = 24\text{ }\mu\text{Gy}$
 (克馬僅考慮在把體積內之初始能量轉移)

7. 某一實驗室規劃將使用銥-90 (^{90}Sr)放射性物質，請說明：

- (1) 其衰變所產生之子核為何？
 (2) 請簡述對 ^{90}Sr 及其子核應有之屏蔽考量。

[解:]

- (1) 銥-90 (^{90}Sr) 為純 β 衰變之放射性物質，其衰變會產生釔-90 (^{90}Y)。
 (2) ^{90}Sr 及 ^{90}Y 均為純 β 衰變之放射性物質， ^{90}Y 衰變為鋅-90 (^{90}Zr) 後成為穩定核種。故針對 ^{90}Sr 及其子核均僅需考慮發射之 β 輻射。對於 β 輻射屏蔽考量如下：

因 β 粒子之屏蔽物質及厚度，決定於：

- 屏蔽物質的原子序必須很小，以減少制動輻射的產生。且屏蔽物質的厚度必須大於 β 粒子的最大射程，以完全阻擋 β 粒子。
- 高原子序物質可有效衰減所產生之制動輻射的量。

故屏蔽 β 粒子時宜先用較低原子序數(Z)物質以完全阻擋 β 粒子，其後再接高原子序數物質，以有效阻擋 ^{32}P 發射出 β 粒子產生之制動輻射的影響。