

核能安全委員會
113 年度第 1 次「輻射防護員」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. 下列哪一種輻射偵檢器因二次電子的嚴重氣體增殖，導致產生許多重覆的假訊號，故需要作淬熄(Quenching)？

(1)半導體偵檢器 (2)蓋革計數器 (3)無機閃爍偵檢器 (4)游離腔

[解：]

(2)

2. 以 X 光照射哺乳類細胞，當它接受 1 Gy 的劑量，所產生的雙股斷裂與單股斷裂的比值為多少？ (1) 0.004 (2) 0.04 (3) 0.4 (4) 4

[解：]

(2)

3. 某校正射源 A 之計測值為 18000 及射源 B 之計測值為 9000，則 A 與 B 之計測值比值及標準差為何？ (1) 2 ± 0.026 (2) 2 ± 0.013 (3) 2 ± 0.052 (4) 2 ± 1.414

[解：]

$$(\sigma_u/u)^2 = (\sigma_x/x)^2 + (\sigma_y/y)^2$$

其中， $u = 18000/9000 = 2$ ， $\sigma_x = \sqrt{18000}$ ， $\sigma_y = \sqrt{9000}$

$$(\sigma_u/2)^2 = [(\sqrt{18000}/18000)]^2 + [(\sqrt{9000}/9000)]^2, \sigma_u = 0.026$$

4. 下列何者的半化期最長？ (1) ^{32}P (2) ^{131}I (3) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (4) ^{235}U

[解：]

(4)

5. 加馬射線在屏蔽中可能經過二次或多次散射才抵達偵檢器位置，這種效應通常可以利用增建因數來修正，請問增建因數與下列特性何者無關？

(1)加馬射線的能量 (2)加馬射線的強度 (3)屏蔽物質的厚度 (4)屏蔽物質的原子序

[解：]

(2)

6. 下列關於氣體偵檢器的敘述何者正確？

(1)游離腔的靈敏度較蓋革計數器高

(2)游離腔的操作電壓較蓋革計數器低

(3)比例計數器常用之 P-10 氣體之組成為 10% Ar + 90% CH₄

(4)比例計數器無法偵測阿伐(α)

[解：]

(2)

7. 固態二極體偵檢器用於偵測加馬射線或 X 光，其偏壓(bias voltage)應如何安排？

- (1)採逆向偏壓 (2)無偏壓 (3)採順向偏壓 (4)均可

[解：]

(1)

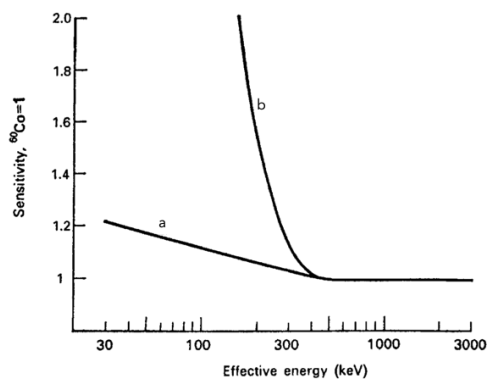
8. 下圖為偵檢器 LiF:Mg,Ti 和溴化銀之反應曲線，請選出正確的敘述。

A.此圖探討偵檢器的劑量依存性

B. a 是 LiF:Mg,Ti 偵檢器

C. b 是溴化銀的膠片偵檢器

D.當偵檢器 b 受到 Co-60 與 Cs-137 照射時，約有相同的靈敏度



- (1)僅 AB (2)僅 BC (3)僅 CD (4)僅 BCD

[解：]

(4)

9. X 光室的次屏蔽計算，主要必須考慮哪些輻射？

- (1)主輻射 (2)主輻射與洩漏輻射 (3)主輻射與散射輻射 (4)散射輻射與洩漏輻射

[解：]

(4)

10. 若有活度為 1 μCi 的 ^{14}C ，均勻分布於重量 25 g 的器官中，則此 ^{14}C 對器官的劑量負擔 (dose commitment)為多少 mGy？(^{14}C 的 β 最大能量為 0.156 MeV，生物半化期 10 天，物理半化期 5730 年)

- (1) 2.56 (2) 5.12 (3) 15.26 (4) 45.79

[解：]

(3)

$$^{14}\text{C} \text{ 有效半化期 } T_e = \frac{T_p \times T_b}{T_p + T_b} = \frac{5730 \times 365 \times 10}{5730 + 365 \times 10} \approx 10$$

$$\begin{aligned} \text{吸收劑量率} &= \frac{37000 \times 0.156 \times \frac{1}{3} \times 1.6 \times 10^{-13} \times 86400}{0.025} = 1.06 \times 10^{-3} \frac{\text{Gy}}{\text{d}} \\ &= 1.06 \text{ mGy/d} \end{aligned}$$

$$D = \dot{D}_0 \times 1.44 \times T_g = 1.06 \times 1.44 \times 10 = 15.26 \text{ mGy}$$

11. 下列關於相對生物效應(relative biological effectiveness, RBE)的敘述，何者錯誤？

- (1) $RBE = D_x / D$ ， D_x 通常是指 250 kVp 標準 X 射線產生生物效應的劑量， D 為待測輻射產生相同生物效應的劑量
- (2) 輻射的直線能量轉移(LET)超過 100 keV/μm 時，LET 愈高，RBE 值愈小
- (3) RBE 必為小於 1 的數值
- (4) RBE 值會隨生物效應的不同而改變

[解：]

(3)

12. Cs-137 衰變時所放出的加馬光子(662 keV)與偵檢器作用，若能量沉積於能譜中的康普吞邊緣(Compton edge)處，此時散射電子的能量與散射角度為何？

- (1) 662 keV、0 度 (2) 478 keV、0 度 (3) 225 keV、90 度 (4) 0 keV、90 度

[解：]

(2)

康普吞邊緣發生於散射電子能量最大處。

$$E_{hv} = \frac{h\nu}{1 + \frac{h\nu}{511}(1 - \cos\theta)}$$

，其中 E_{hv} 為散射光子能量， $\cos\theta$ 為散射光子角度。

若散射電子能量要最大，則散射光子能量需最小，發生於當散射光子角度為 180°時，亦即散射電子角度為 0°時。

$$\begin{aligned} \text{故 } E_{recoil} &= E - E_{hv} = h\nu - \left[\frac{h\nu}{1 + \frac{h\nu}{511}(1 - \cos\theta)} \right] = 662 - \left[\frac{662}{1 + \frac{662}{511}(1 - \cos 180^\circ)} \right] \\ &= 477.65 \text{ keV} \end{aligned}$$

13. 能量為 E 之光子輻射進入原子序為 Z 之靶物質的能通量為 ψ ，則其造成之碰撞克馬(K_C)與曝露(X)分別為？

- (1) $K_C = \psi \left(\frac{\mu_{tr}}{\rho} \right)_{E,Z}$; $X = (K_C)_{Air} \cdot \left(\frac{W}{e} \right)$
- (2) $K_C = \psi \left(\frac{\mu_{tr}}{\rho} \right)_{E,Z}$; $X = (K_C)_{Air} \cdot \left(\frac{e}{W} \right)$
- (3) $K_C = \psi \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{E,Z}$; $X = (K_C)_{Air} \cdot \left(\frac{W}{e} \right)$
- (4) $K_C = \psi \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{E,Z}$; $X = (K_C)_{Air} \cdot \left(\frac{e}{W} \right)$

[解：]

$$K_C = \psi \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{E,Z}; X = \psi \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{E,Air} \cdot \left(\frac{e}{W} \right) = (K_C)_{Air} \cdot \left(\frac{e}{W} \right)$$

14. 在連續衰變中，達成長期平衡(secular equilibrium)的條件為？

- (1)母核半化期稍稍大於子核 (2)母核半化期遠大於子核
(3)母核半化期稍稍小於子核 (4)母核半化期遠小於子核

[解：]

(2)

15. 下列對於輻射所產生之健康效應的敘述，何者為非？

- (1)白血病的發生機率與劑量成正比 (2)皮膚紅斑發生時，其嚴重程度隨劑量提高而增加
(3)白內障的發生機率與劑量成正比 (4)遺傳效應的發生機率與劑量成正比

[解：]

(3)

二、計算問答題：(每題 10 分，共 70 分)

1. 空氣密度為 1.293 kg/cm^3 ，氣體內產生一個游離所需能量為 33.85 J/C 。某體積 1 cm^3 的空腔內充滿 STP 狀況下之空氣，曝露在輻射場中而放出 2×10^{-8} 庫侖電荷。請問空腔內的空氣之吸收劑量為多少戈雷？

[解：]

$$\frac{2 \times 10^{-8}}{1.293 \times 10^{-6}} \times 33.85 = 0.52 \text{ Gy}$$

2. (1)原子質量單位(amu)是以一個 C-12 原子定義為 12 amu 為標準，若 C-12 的原子量為 12 g，計算 1 個原子質量單位(amu)為多少 kg？(需列明計算式)

(2)根據 $E = mc^2$ 計算 1 amu 的質量為多少 MeV？

[解：]

(1)

$$12 \text{ g} = 12 \text{ amu} \times 6.02 \times 10^{23}$$

$$1 \text{ amu} = 1 / (6.02 \times 10^{23} \times 10^{-3}) = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

(2)

$$E = mc^2$$

$$E = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg} \times (3 \times 10^8)^2 / (1.6 \times 10^{-13}) = 934 \text{ MeV}$$

3. ^{90}Sr 常被用來當作人造衛星中產生電能的熱源，若由熱轉換成電的效率為 30%，則需要多少克的 ^{90}Sr 才可產生 50 瓦特(W)的電力？（ ^{90}Sr 蛻變後會產生 ^{90}Y ， ^{90}Sr 與 ^{90}Y 的半化期和蛻變時釋放 β^- 最大能量分別為 28.7 年、64.1 小時和 0.546 MeV、2.27 MeV）

[解：]

$$\text{熱轉換成電的效率為 30\%則由 } ^{90}\text{Sr} \text{ 蛻變釋放的功率} = \frac{50}{0.3} = 166.7\text{W}$$

$$^{90}\text{Sr} \text{ 每次蛻變時釋放}\beta^- \text{平均能量} = (0.546 + 2.27) \times \frac{1}{3} = 0.939\text{MeV} = 1.5 \times 10^{-13}\text{J}$$

$$\text{所需 } ^{90}\text{Sr} \text{ 的活度} = \frac{166.7}{1.5 \times 10^{-13}} = 1.11 \times 10^{15}\text{Bq}$$

$A = N\lambda$ 假設所需 ^{90}Sr 的重量為 a 克

$$\Rightarrow 1.11 \times 10^{15} = \frac{a}{90} \times 6.02 \times 10^{23} \times \frac{0.693}{28.7 \times 365 \times 24 \times 3600} \therefore a = 216.7\text{g}$$

4. 某一屏蔽設計使用鉛阻擋銫-137 射源，假設其衰變放出之加馬射線在鉛中的質量衰減係數為 $0.12\text{ cm}^2\text{ g}^{-1}$ ，鉛密度為 $11.4\text{ (g/cm}^3\text{)}$ 。

(1)請問銫-137 衰變放出之加馬射線在鉛屏蔽的半值層約為多少？

(2)若不考慮增建因數，則要將穿透的輻射劑量率衰減至原來的 6.25%，需要多少公分厚的鉛塊？

[解：]

$$(1) \mu = 0.12 [\text{cm}^2/\text{g}] \times 11.4 [\text{g/cm}^3] = 1.368 [1/\text{cm}]$$

$$\text{HVL} = 0.693/\mu = 0.5\text{ cm}$$

$$(2) 6.25\% = 1/16 = (1/2)^4; 4 \times \text{HVL} = 4 \times 0.5 = 2\text{ cm}$$

5. 通量為 $1 \times 10^{16}\text{ m}^{-2}$ 且能量為 0.662 MeV 的光子與鉛作用，若 $\mu/\rho = 0.1614\text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ， $\mu_{\text{tr}}/\rho = 0.0984\text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ， $\mu_{\text{ab}}/\rho = 0.0951\text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ，試計算克馬值為多少？

[解：]

$$1 \times 10^{16} \text{ 光子/m}^2 \times 0.662 \text{ MeV /光子} \times 1.6 \times 10^{-13} \text{ J/MeV} \times 0.0984 \text{ cm}^2/\text{g} \times 1000 \text{ g/kg} \times 1 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{cm}^2 = 10.4 \text{ J/kg} = 10.4 \text{ Gy}$$

6. Cs-137 的 Γ 值為 $0.28\text{ R m}^2\text{ Ci}^{-1}\text{ hr}^{-1}$ ，則距離 5 mCi 之 Cs-137 點射源 4.0 公尺處之曝露率 (R/hr) 為多少？

[解：]

$$D = \frac{0.28 \times 5 \times 10^{-3}}{4 \times 4} = 8.75 \times 10^{-5} \text{ R/hr}$$

7. 若以鈷六十照射 1 cm^3 之硫酸亞鐵水溶液($G\text{ value}=15.5$)，經推估產生了 3.1×10^{10} 個新的生成物(Fe^{3+})分子，請問：(1)何謂 $G\text{ value}$ ？(2)此硫酸亞鐵水溶液共吸收了多少焦耳的能量？(3)此硫酸亞鐵水溶液得到多少 μGy 的吸收劑量？(硫酸亞鐵水溶液之密度 $\rho=1.024\text{ g/cm}^3$)

[解：]

(1) $G\text{ value}$ 指化學劑量計每吸收 100 eV 輻射能量所產生之新生成物分子數。

(2)吸收之能量為：

$$(3.1\times 10^{10}/15.5)\times 100\text{ eV}=2.0\times 10^{11}\text{ eV}=3.2\times 10^{-8}\text{ J}$$

(3)此硫酸亞鐵水溶液得到的吸收劑量=

$$3.2\times 10^{-8}\text{ J}/(1\text{ cm}^3\times 1.024\text{ g/cm}^3)=3.2\times 10^{-8}\text{ J}/(1.024\times 10^{-3}\text{ kg})$$

$$=3.125\times 10^{-5}\text{ J/kg}=31.25\text{ }\mu\text{Gy}$$