

行政院原子能委員會
107 年度第 2 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. 如果一個元素的 K、L、M 層中電子的結合能 (binding energy) 分別為 69 keV、12 keV、及 2.8 keV，則 K_{β} 特性 X 射線的光子頻率為多少 Hz？(蒲朗克常數 $h = 4.14 \times 10^{-21} \text{ MeV} \cdot \text{s}$)

(1) 1.38×10^{19} (2) 1.60×10^{19} (3) 2.22×10^{18} (4) 1.31×10^{18}

[解：]

(2)

$$E = 69 - 2.8 = 66.2 \text{ keV} = 0.0662 \text{ MeV}$$

$$\nu = 0.0662 / (4.14 \times 10^{-21}) = 1.60 \times 10^{19} \text{ Hz}$$

2. 以計數器計讀時，若想得到測量之標準差為 2%，請問計讀之數目須達到多少？

(1) 2000 (2) 2500 (3) 3000 (4) 3500

[解：]

(2)

$$N^{1/2} / N = 0.02 \implies N = 2500$$

3. 當核種的物理半化期(T_P)很長且其在生物體內之生物半化期(T_B)很短時，下列有關該核種之有效半化期(T_E)，何者正確？ (1) $T_E \gg T_B$ (2) $T_E \doteq T_P$ (3) $T_E \doteq T_B$ (4) $T_E \gg T_P$

[解：]

(3)

$$\text{解：} T_E = T_P T_B / (T_P + T_B) \doteq T_P T_B / T_P \doteq T_B$$

4. 下列細胞週期中，哪一時期對輻射最不敏感？ (1) G_1 (2) S (3) G_2 (4) M

[解：]

(2)

5. 某器官質量為 20 公克，均勻接受 0.005 焦耳的 X 光照射，其等價劑量為多少西弗？

(1) 2.5 (2) 0.5 (3) 0.25 (4) 0.1

[解：]

(3)

$$H_T = D \times W_R = \frac{dE}{dm} \times W_R = \frac{0.005 \text{ J}}{0.02 \text{ kg}} \times 1 = 0.25 \text{ Sv}$$

6. 關於偵檢器的敘述，下列何者為非？

- (1) 鍺偵檢器必須在液態氦的溫度下才能正常工作
- (2) 比例計數器所用的 P-10 氣體為 90 % 氬及 10 % 甲烷
- (3) 閃爍偵檢器有用到光電倍增管
- (4) 蓋革計數器所用的工作電壓較游離腔高

[解：]

(1)

7. 關於中子與物質作用的敘述，下列何者錯誤？

- (1) 中子屬於間接游離輻射，穿透能力強
- (2) 中子速度較小時，產生中子捕獲的截面較大
- (3) 快中子常用原子序較高的物質作為緩速劑
- (4) 非彈性碰撞時會伴隨 γ 射線的發生

[解：]

(3)

快中子常用原子序較低的物質作為緩速劑

8. 一輻射樣品 2 分鐘的計數為 1800，同一量測設備 8 分鐘的背景計數為 200。如果總計測時間為 10 分鐘，最佳分配樣品量測的時間為多少分鐘？

- (1) 8.6
- (2) 7.5
- (3) 2.5
- (4) 1.4

[解：]

(1)

樣品活度 $A_s = 1800/2 = 900\text{cpm}$ 、背景活度 $A_b = 200/8 = 25\text{cpm}$ 。計數時間最佳化

$$\frac{t_s}{t_b} = \sqrt{\frac{A_s}{A_b}} = \sqrt{\frac{900}{25}} = 6, \text{ 且 } t_s + t_b = 10, \rightarrow t_s + \frac{1}{6}t_s = 10, \text{ 樣品量測時間}$$

$$t_s = \frac{6 \times 10}{7} = 8.6 \text{ min}。$$

9. 下列關於相對生物效能(relative biological effectiveness, RBE)的敘述，何者正確？

- (1) $RBE = D/D_x$ ， D_x 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) 10 MeV 質子(LET = 4 keV/ μm) 的 RBE 大於 Co-60 (LET = 0.3 keV/ μm) 的 RBE
- (3) RBE 為小於 1 的數值
- (4) LET 值愈小的輻射，RBE 值愈大

[解：]

(2)

10. 若吸收了 2.1 MeV 阿伐粒子的能量，在閃爍體中產生平均波長為 4800 Å 光子 41000 個，試問此閃爍體的效率為多少%？ (1) 2.11 (2) 3.42 (3) 4.55 (4) 5.04

[解：]

(4)

$$12400/4800 = 2.58 \text{ eV/光子}, \quad 2.58 \text{ eV/光子} \times 41000 \text{ 光子} / 2.1 \times 10^6 \text{ eV} \\ = 0.0504 = 5.04\%$$

11. 假設 15 MeV 之 X 射線在氫中的質量衰減係數(μ/ρ)為 0.0253 cm²/g，在氧中的 μ/ρ 為 0.0185 cm²/g，則此 X 射線在水中(H₂O) 的 μ/ρ 為多少 cm²/g？ (1) 0.0192 (2) 0.0175 (3) 0.0168 (4) 0.0312

[解：]

(1)

$$0.0253 \text{ cm}^2/\text{g} \times (2/18) + 0.0185 \text{ cm}^2/\text{g} \times (16/18) = 0.00281 + 0.0164 = 0.0192$$

12. 曝露量為 32.6 μC/kg 的 100 keV 光子，造成肌肉的吸收劑量為多少 cGy？ (肌肉和空氣的質量衰減係數分別為 0.0317 cm²/g 及 0.0288 cm²/g；在空氣中產生 1 離子對所需能量為 34 eV) (1) 122 (2) 0.122 (3) 1.22 × 10⁻³ (4) 1.22 × 10⁻⁵

[解：]

(2)

$$34 \frac{J}{C} \times \frac{0.0317(\text{cm}^2/\text{g})}{0.0288(\text{cm}^2/\text{g})} \times 32.6 \times 10^{-6} (\text{C}/\text{kg}) = 1.22 \times 10^{-3} \text{ Gy} = 0.122 \text{ cGy}$$

13. 存放高能量貝他射源的屏蔽罐，通常設計成內外兩層屏蔽，其內層與外層依序分別用來阻擋哪一種輻射？

(1) 制動輻射、貝他粒子 (2) 特性輻射、貝他粒子 (3) 貝他粒子、制動輻射 (4) 貝他粒子、特性輻射

[解：]

(3)

14. 每個阿伐粒子含多少個中子與電子？ (1) 2, 4 (2) 2, 2 (3) 0, 2 (4) 2, 0

[解：]

(4)

15. 以偵檢器度量 511 keV 的光子能譜，請問康普吞邊緣(Compton edge)之能量(keV)？

(1) 69 (2) 170 (3) 255 (4) 341

[解:]

(4)

$$180^\circ \text{ 散射光子的能量 } hv' = \frac{511 \text{ keV}}{1 + \alpha(1 - \cos 180^\circ)} = \frac{511 \text{ keV}}{1 + \frac{511}{511}(1 + 1)} = 170 \text{ keV}$$

電子的最大動能 = 511 - 170 = 341 (keV)

二、計算問答題：(每題 10 分，共 70 分)

1. 活度為 10 mCi 的 ^{32}P 質量為多少? (^{32}P 的半化期為 14.3 天)

[解:]

$$A = \lambda N$$

$$10 \times 10^{-3} \times 3.7 \times 10^{10} = \frac{0.693}{14.3 \times 24 \times 60 \times 60} \times 6.02 \times 10^{23} \times \frac{x}{32}$$

$$x = 3.7 \times 10^8 / (1.055 \times 10^{16}) = 3.5 \times 10^{-8} \text{ g}$$

2. 若空氣中有一人工核種，其攝入體內造成之有效劑量轉換因數為 $6.7 \times 10^9 \text{ Sv/Bq}$ ，依已知參數計算該核種之年平均攝入限度(ALI)及推定空氣濃度(DAC)。(年有效劑量限度請以 5 年累積之年平均劑量限值計算)

[解:]

解：

$$ALI = \frac{0.02 \text{ Sv}}{6.7 \times 10^9 \frac{\text{Sv}}{\text{Bq}}} = 3 \times 10^6 \text{ Bq}$$

參考人每小時吸入 1.2 m^3

$$DAC = \frac{ALI}{\text{一年工作的呼吸量}} = \frac{3 \times 10^6 \text{ Bq} / y}{1.2 \times 2000 \frac{\text{m}^3}{h} \frac{h}{y}} = 1.25 \times 10^3 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}。$$

3. (1)請說明蓋革計數器的淬熄；(2)請說明蓋革計數器的無感時間。

[解:]

解：

(1)由於蓋革計數器的電位差非常高，有些陽離子可能以很大的能量撞擊陰極

壁而使壁材原子激發產生假信號。為防止發生這種假信號的作為即稱為淬熄。

(2)輻射產生之陽離子到達陰極的時間較慢，電子到達陽極的時間較快，此時電場尚未恢復到原始狀態，若有另一輻射進入蓋革計數器，將無法產生足夠的脈衝被度量到。恢復電場所需的時間稱為無感時間。

4. 某 Co-60 點射源的活度為 1 Ci，如欲使距離此射源 1 m 處的劑量率降低至 25 $\mu\text{Sv/h}$ ，請問須採用之鉛屏蔽厚度。(Co-60 的 $\Gamma=3.703\times 10^{-4} \text{ mSv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$ ，Co-60 的鉛半值層為 1.2 cm)

[解：]

$$1 \text{ Ci} = 3.7\times 10^4 \text{ MBq}$$

距離 Co-60 1 m 處的劑量率

$$\dot{H} = \Gamma \frac{A}{r^2} = 3.703\times 10^{-4} \times \frac{1}{1^2} \frac{\text{mSv}\cdot\text{m}^2}{\text{MBq}\cdot\text{h}} \frac{\text{Ci}}{\text{m}^2} \times \frac{3.7\times 10^4 \text{ MBq}}{\text{Ci}} = 13.7 \frac{\text{mSv}}{\text{h}}。$$

$$\text{設鉛屏蔽厚度為 } x \text{ cm，則 } \dot{H}(x) = \dot{H}(0) \left(\frac{1}{2}\right)^{x/1.2}，\rightarrow 25 = 13700 \times \left(\frac{1}{2}\right)^{x/1.2}，$$

$$\rightarrow \frac{x}{1.2} = \frac{\ln(13700/25)}{\ln 2} = 9.1，\rightarrow \text{鉛屏蔽厚度 } x = 1.2 \times 9.1 = 10.92 \text{ cm}。$$

5. 在 STP 標準狀態下，已知動能 5.3 MeV 的阿伐粒子，在空氣中射程為 3.93 cm，請換算此阿伐粒子在水中的射程為多少(mm)？

[解：]

$$\rho_{air} \times \ell_{air} = \rho_{water} \times \ell_{water}$$

$$\therefore \ell_{water} = \frac{0.001293 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 3.93 \text{ cm}}{1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 0.0051 \text{ cm} = 0.051 \text{ mm}$$

6. 若將 ^{59}Co 原子放入核反應器中，以中子活化照射 10.6 年，則 ^{60}Co 活度為飽和活度的比例？

[解：]

$$\text{被活化活度 } A(t) = \phi \sigma n (1 - e^{-\lambda t})，\text{飽和活度為 } A_{sat} = \phi \sigma n。$$

$$\frac{A(t)}{A_{sat}} = 1 - e^{-\lambda t} = 1 - e^{-\left(\frac{0.693}{5.26} \times 10.6\right)} = 1 - 0.25 = 0.75$$

7. 在一個 50 克的軟組織樣品中 ^{14}C 含量為 $1.2 \times 10^5 \text{ Bq}$ ，試求在此組織中的平均劑量率為多少 Gy/s？(已知 $T_{1/2} = 5730$ 年， β 粒子的平均能量為 0.0495 MeV，並假設 β 粒子能量完全被該軟組織吸收。)

[解：]

$$\text{平均吸收劑量率 } \dot{D} = \frac{E_{ab}}{m} = \frac{\bar{E}_\beta \times A \times f}{m} = \frac{0.0495 \times 1.2 \times 10^5 \times 1}{50} \frac{\text{MeV}}{\beta} \times \frac{\text{dis}}{s} \times \frac{\beta}{\text{dis.}}$$

$$\rightarrow \dot{D} = 118.8 \frac{\text{MeV}}{\text{g} \cdot \text{s}} \times \frac{10^3 \text{g}}{\text{kg}} \times \frac{1.6 \times 10^{-13} \text{J}}{\text{MeV}} = 1.9 \times 10^{-8} \frac{\text{Gy}}{\text{s}}$$