

行政院原子能委員會
110 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. 若具有 450 keV 的單能 γ 光子被效率為 13% 的無機閃爍偵檢器之 NaI(Tl) 晶體吸收，產生閃爍光子的平均能量為 2.7 eV，其中 75% 的閃爍光子到達光電倍增管的光陰極，該陰極把 25% 的入射光子轉換成光電子。試問平均每一個被吸收的單能 γ 光子能產生多少光電子？ (1) 4.1 (2) 4.1×10^3 (3) 5.8 (4) 5.8×10^3

[解：]

(2)

$$\frac{450 \times 1000 \times 0.13}{2.7} \times 0.75 \times 0.25 = 4.1 \times 10^3$$

2. 有關游離輻射對細胞的效應，下列敘述何者正確？

- (1) 硫氫化合物可誘發自由基的產生而增加輻射傷害
(2) 在低氧狀態下，細胞有保護作用較不易受到傷害
(3) 細胞的存活率會因輻射劑量的增加而增加
(4) 維生素 C 可以氧化自由基而增加輻射傷害

[解：]

(2)

3. 使用游離腔作為劑量量測工具，假設游離腔的空腔有效體積為 0.1 cm^3 ，空氣密度為 $1.293 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ ，在荷電粒子平衡(charged particle equilibrium)的情形下，其曝露校正參數(exposure calibration factor) N_x 約為多少 R/C？

- (1) 2.5×10^9 (2) 3.2×10^9 (3) 5.4×10^9 (4) 3.0×10^{10}

[解：]

(4)

曝露 $X = \frac{q}{m}$ 。在曝露 1R 下，有效體積 $V_{eff} = 0.1 \text{ cm}^3$ ，質量 $m = 1.293 \times 10^{-4} \text{ g}$ ，測到的電

量 $q = mX = 1.293 \times 10^{-4} \text{ g} \times 1R \times \frac{2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}}{R} \times \frac{\text{kg}}{10^3 \text{ g}} = 3.33 \times 10^{-11} \text{ C}$ ，則 $X = qN_x$ ， \rightarrow 曝

露校正參數 $N_x = \frac{X}{q} = 3 \times 10^{10} \frac{R}{C}$ 。

4. 有一圓柱型 GM 偵檢器，中央線絲為陽極(半徑 0.05 mm)。管壁為陰極，與中央線絲同軸心，半徑 12 mm。陰陽二極間的電位差為 900 Volts，請問距離陽極表面 0.1 mm 處的電場(V/m)？ (1) 1.1×10^5 (2) 1.6×10^5 (3) 1.1×10^6 (4) 1.6×10^6

[解：]

(3)

$$E = \frac{V}{r \ln\left(\frac{a}{b}\right)} = \frac{\text{電位差}}{r \ln\left(\frac{\text{外徑}}{\text{內徑}}\right)} = \frac{900 \text{ V}}{(0.05 + 0.1) \text{ mm} \times \ln\left(\frac{12}{0.05}\right)} = \frac{900 \text{ V}}{0.15 \times 10^{-3} \text{ m} \times 5.5} = 1.1 \times 10^6 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

5. 若發生下列輻射生物效應，其存活期由長排到短為何？

A. 遲延效應 B. 中樞神經症候群 C. 造血症候群 D. 腸胃症候群

(1) ABCD (2) ACDB (3) DBCA (4) BCDA

[解：]

(2)

遲延效應的存活期最長，剩下的症候群之急性曝露量由小到大為造血症候群、腸胃症候群、中樞神經症，存活期與曝露量相反。所以存活期：遲延效應>造血症候群>腸胃症候群>中樞神經症

6. 一光子能量為 662 keV，若發生康普吞效應而散射光子的散射角度 θ 為 45 度，則散射光子的能量約為多少 keV？

(1) 144 (2) 279 (3) 384 (4) 480

[解：]

(4)

$$\begin{aligned} \text{散射光子的能量} &= 662 \text{ keV} / [1 + (662 / 511) \times (1 - \cos 45)] \\ &= 662 \text{ keV} / [1 + (1.295) \times (1 - 0.707)] \\ &= 662 \text{ keV} / 1.379 = 480 \text{ keV} \end{aligned}$$

7. 設計某游離輻射設施的次防護屏蔽時，若屏蔽滲漏輻射需要 5 公分的屏蔽，散射輻射需要 9 公分的屏蔽，已知半值層為 2 公分，則次防護屏蔽至少應需多少厚度？

(1) 7 公分 (2) 9 公分 (3) 11 公分 (4) 13 公分

[解：]

(3)

次屏蔽之設計係為阻擋散射輻射及洩漏輻射，兩者分別計算出次屏蔽的厚度。若兩者的厚度相差 1 個半值層以上，則以最大者為次屏蔽的厚度；若兩者的厚度相差小於半值層，則以最大者再加上一個半值層為次屏蔽的厚度。

8. X 光機主屏蔽設計公式為 $K = Pd^2/WUT$ ，下列敘述何者正確？

A. P 值的單位為 mA-min/week B. K 值愈小所需屏蔽愈厚 C. T 值通常大於 1

D. U 值與 X 光的能量無關

(1) AB (2) BD (3) CD (4) ABC

[解：]

(2) BD 正確

9. 某長壽命放射性樣品放在計數裝置內測量 5 分鐘，共記錄 20700 個計數。拿走該樣品，用 10 分鐘測得 1800 個背景計數。則此樣品計數率的標準差為何(cps)？

(1) 0.485 (2) 3.064 (3) 6.528 (4) 8.485

[解：]

(1)

$$\text{標準差 } \sigma_{r_n} = \sqrt{\frac{n_g}{t_g^2} + \frac{n_b}{t_b^2}} = \sqrt{\frac{20700}{300^2} + \frac{1800}{600^2}} = 0.485 \text{ (cps)}$$

10. 對於阿伐粒子，已知其所產生的等價劑量為 400 mSv，則吸收劑量應為多少 mGy？

(1) 10 (2) 15 (3) 20 (4) 25

[解：]

(3)

$$400/20 = 20$$

11. 關於中子的描述，下列敘述何者為真？

(1)質量比質子小 (2)快中子常用原子序較大的物質作為緩和劑

(3)中子速度較小時，產生中子捕獲的截面較大

(4)中子屬於直接游離輻射，穿透能力強

[解：]

(3)

12. 白內障被歸類為何種輻射健康效應？ (1)機率效應 (2)光電效應 (3)確定效應

(4)遺傳效應

[解：]

(3)

13. 若需將年總劑量限制在 20 mSv，則工作人員每年在管制區內工作 2000 小時，則輻射作業場所管制區之劑量率，每小時最高不得超過多少 μSv ？

(1) 5 (2) 10 (3) 15 (4) 20

[解：]

(2)

$$20000 \mu\text{Sv} / 2000 \text{ h} = 10 \mu\text{Sv} / \text{h}$$

14. 2 Gy 的吸收劑量可以使 0.5 kg 水的溫度上升多少 $^{\circ}\text{C}$ ？ (若水的比熱為 1 cal/g 且 1 cal = 4.2 J) (1) 4.8×10^{-4} (2) 2.4×10^{-4} (3) 9.5×10^{-4} (4) 4.0×10^{-3}

[解：]

(1)

$$0.5 \text{ kg} \times \frac{4.2 \text{ J}}{0.001 \text{ kg}} \times T = 2 \text{ J} / \text{kg} \times 0.5 \text{ kg}$$

$$T = \frac{2 \times 0.5 \times 0.001}{0.5 \times 4.2} = 4.8 \times 10^{-4} \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

15. 使用 Ge(Li) 半導體偵檢器來偵測輻射，產生每一離子對所需的能量約為多少 eV？

- (1) 3 (2) 34 (3) 511 (4) 1000

[解：]

(1)

二、計算問答題：(每題 10 分，共 70 分)

1. 請繪圖並描述充氣式偵檢器各工作區域電壓與信號的關係。

[解：]

重合區

外加電壓小，產生的離子對經由電子和正離子的復合作用而消失，故產生的訊號小，無實用價值。

飽和區(游離腔區)

外加電壓漸升高至適當值後，所產生的離子對全部被收集而呈現飽和的脈衝訊號。此脈衝高度與游離的離子對數目有關，而與外加電壓大小無關。此區為游離腔的工作區域。

比例區

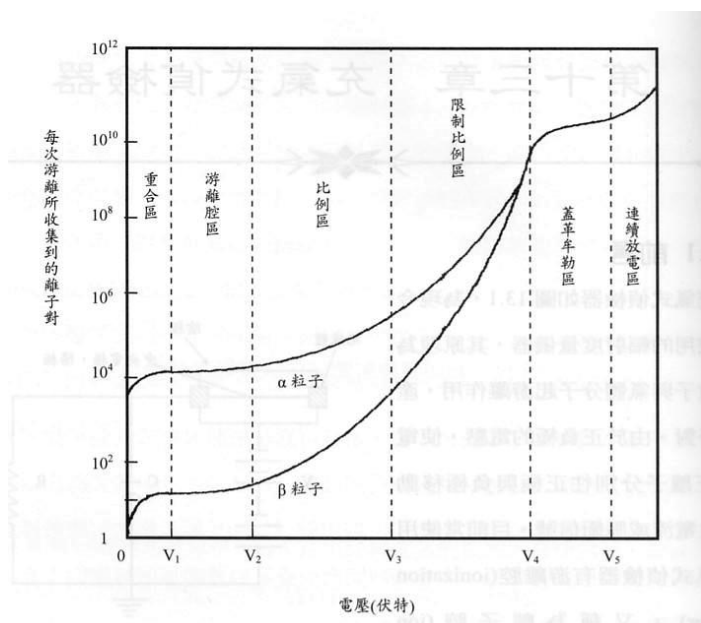
外加電壓繼續升高，初次游離的電子開始加速，進而能夠碰撞其他未游離的氣體而使之游離，故而離子對數目急遽增加，訊號亦隨之增高。此區為比例計數器的工作區域。

限制比例區

二次游離過程中，電子很快被收集，但正離子卻緩慢移向陰極。若正離子濃度增高，則空間電荷會嚴重影響偵檢器內電場的分布，而使外加電壓和電場的關係呈非線性。

蓋革區

此區為蓋革計數器的工作區域。當外加電壓再升高，氣體游離的倍增作用繼續增加，直到空間電荷太大停止氣體倍增作用，因此不論入射輻射種類與能量高低，均形成相同高度的脈衝信號，故僅能計數輻射量，無法用於鑑別輻射的種類與能量。



2. 有 1 mm 厚之組織等效壁，內部直徑為 10 cm 的球形游離腔，在 STP 條件下，腔內氣體的莫耳組成為：30.01 % 的 CO₂，1.74 % 的 N₂，67.92 % 的 CH₄，0.33 % 的 C₂H₆，此游離腔受輻射照射產生 6×10⁻¹⁰A 電流，試問此游離腔測得之吸收劑量率為多少？

(STP 下 1 莫耳氣體體積=22.4 升，球體積 = $\frac{4}{3}\pi \times \text{半徑}^3$ ，產生一個離子對需要 30.5 eV)

[解：]

$$\begin{aligned} \text{混合氣體莫耳重} &= 44 \times 0.3001 + 28 \times 0.0174 + 16 \times 0.6792 + 30 \times 0.0033 \\ &= 24.7 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

$$\text{游離腔內氣體重} = 24.7 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times \frac{\frac{4}{3}\pi \times (5\text{cm})^3}{22400 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}} = 0.577 \text{ g} = 0.577 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \frac{6 \times 10^{-10} \frac{\text{C}}{\text{秒}} \times 30.5 \frac{\text{eV}}{\text{離子}} \times 1.6 \times 10^{-19} \frac{\text{J}}{\text{eV}}}{0.577 \times 10^{-3} \text{ kg} \times 1.6 \times 10^{-19} \frac{\text{C}}{\text{離子}}} &= 3.17 \times 10^{-5} \frac{\text{J}}{\text{kg秒}} \\ &= 3.17 \times 10^{-5} \text{ Gy/秒} \end{aligned}$$

3. 有一 ^{116m}In 射源(T_{1/2}=54 min)在 12:00 時，以蓋革計數器連續計數 1 min 得到 131340 個計數，在 12:40 時，以蓋格革計數器連續計數 1 min 得到 93384 個計數。如果忽略背景輻射，以非麻痺型的模式(nonparalysable model)計算無感時間的損失後，請計算在 12:00 時蓋革計數器修正無感時間後的計數率為多少 cpm?

[解：]

$$n = \frac{m}{1 - m\tau}$$

$$12:00 \text{ true count } n_{12} = \frac{m}{1 - m\tau} = \frac{131340}{1 - 131340 \times \tau}$$

$$12:40 \text{ true count } n_{12:40} = \frac{m}{1 - m\tau} = \frac{93384}{1 - 93384 \times \tau}$$

$$n_{12:40} = n_{12} e^{-0.693 \times 40 \div 54} = 0.6n_{12}$$

$$\therefore \frac{93384}{1 - 93384 \times \tau} = \frac{131340}{1 - 131340 \times \tau} \times 0.6 \therefore \tau = 3 \times 10^{-6} \text{ s}$$

$$n_{12} = \frac{131340}{1 - 131340 \times 3 \times 10^{-6}} = 216740 \text{ c}$$

$$216740 \div 1 = 216740 \text{ cpm}$$

4. (1) 請簡述何謂光子的平均自由行程(mean free path)。
 (2) 1.5 MeV 的 γ 射線入射於混凝土中，若混凝土的密度為 2400 kg·m⁻³，對 1.5 MeV 的 γ 射線的質量衰減係數為 0.0065 m²·kg⁻¹，則其平均自由行程約為多少公尺(m)？
 (請詳列算式)

[解：]

(1) 光子在發生相互作用之前平均行進的距離。

$$(2) \text{ 平均自由行程 } L = \frac{1}{\mu} ; \mu_{\rho} = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\mu}{2400} = 0.0065 \rightarrow \mu = 15.6, L = \frac{1}{15.6} = 0.064 \text{ (m)}$$

5. 使用熱發光劑量計度量光子輻射強度時，需要考慮入射光子之能量依存性(energy dependence)，試以 CaF_2 與 LiF 為例，說明產生能量依存性的原因。

[解：]

以 CaF_2 與 LiF 兩種 TLD 為例，因為光子輻射與物質作用的機制，主要為光電效應，康普頓散射，成對發生等，而低能量光子輻射(例如診斷用 X 光)產生光電效應的機率與物質原子序的四次方成正比而與光子能量的三次方成反比。故高原子序的 CaF_2 對低能光子的反應，相較於低原子序的 LiF ，反應特別強烈而高估劑量，造成誤判。低原子序的 LiF 對光子能量高低的反應較平坦，較不受影響。此種現象稱為能量依存性。

6. 一部檢測 X 光機，在某次照射中使用照射條件為管電壓 60 kVp，管電流 300 mA，照射時間 0.1 秒，請問：(1)在照射過程中共有多少電子從陰極跑向陽極？(2)每一個電子的最大動能為多少 keV？

[解：]

$$(1) Q = I \times t = 300 \times 10^{-3} \times 0.1 = 0.03 \text{ C}$$

$$0.03 \div (1.6 \times 10^{-19}) = 1.88 \times 10^{17}$$

共有 1.88×10^{17} 個電子跑向陽極

$$(2) \text{ 電子的最大動能為 } 60 \text{ keV}$$

7. 已知熱中子與人體組織產生 $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$ 反應，每次反應釋出 0.63 MeV 之能量，若人體每公斤含有 1.49×10^{24} 個 ^{14}N 原子，熱中子反應截面為 1.75 邦，熱中子通量為 10^{10} 中子/cm²，試問：

(1)每公斤人體組織將會有幾個 $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$ 反應產生？

(2)造成人體組織吸收劑量為多少 mGy？

[解：]

(1)每公斤人體組織產生之 $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$ 反應數量：

$$1.49 \times 10^{24} \text{ 原子/kg} \times 10^{10} \text{ 中子/cm}^2 \times 1.75 \times 10^{-24} \text{ cm}^2 = 2.608 \times 10^{10} \text{ (個/kg)}$$

(2) $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$ 反應產生之質子 p 與重核粒子 ^{14}C ，可假設能量均被人體組織吸收，

人體組織吸收劑量：

$$2.608 \times 10^{10} \text{ (個/kg)} \times 0.63 \text{ MeV} \times 1.6 \times 10^{-13} \text{ J/MeV} = 2.628 \times 10^{-3} \text{ (Gy)} = 2.628 \text{ mGy}$$