

核能安全委員會
112 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. 某試樣之淨計數值為 1000 ± 50 ，則 99% 信賴區間約為：

- (1) 956~1044 (2) 850~1150 (3) 900~1100 (4) 871~1129

[解：]

(4)

$$99\% = \pm 2.58 \sigma = \pm 2.58 \times 50 = \pm 129 \therefore 1000 \pm 129 = 871 \sim 1129$$

2. 下列關於輻射誘發產生白內障的敘述何者正確？

A. 輻射誘發產生白內障為機率效應(stochastic effect)

B. ICRP 118 報告建議將白內障的閾值劑量(threshold dose)降為 0.5 Gy

C. 白內障發生的嚴重程度與接受輻射劑量大小成正比

- (1) 僅 AB (2) 僅 BC (3) 僅 AC (4) ABC

[解：]

(2)

3. 有一樣品連同背景一起被計數 5 分鐘，其計數為 10,000 counts，在沒有樣品的情況下計數背景 5 分鐘，其計數為 400 counts，請問此樣品的計數率及其標準差為多少 cpm？

- (1) 2000 ± 20.4 (2) 10000 ± 80 (3) 1920 ± 20.4 (4) 1920 ± 80

[解：]

(3)

樣品計數率 $10000/5 - 400/5 = 2000 - 80 = 1920$ /分鐘

偏差為 $10000^{0.5}/5 = 20$ /分鐘，背景偏差為 $400^{0.5}/5 = 4$ /分鐘

數率偏差為 $(20^2 + 4^2)^{0.5} = (400 + 16)^{0.5} = 20.4$ /分鐘

淨計數率與偏差為 1920 ± 20.4 /分鐘

4. 用於偵測人體組織劑量之輻射劑量計常使用下列何種熱發光材料？

- (1) CaF_2 (2) CaSO_4 (3) LiF (4) NaI

[解：]

(3)

5. 能量為 0.025 eV 的熱中子反應，中子捕獲截面為 0.35 邦(barn)，請問 1.0 eV 的中子捕獲截面為多少 cm^2 ？ (1) 5.6×10^{-26} (2) 5.6×10^{-25} (3) 5.6×10^{-23} (4) 5.6×10^{-22}

[解：]

(1)

$$\sigma \propto \frac{1}{v} \propto \frac{1}{\sqrt{E}}; \quad \frac{x}{0.35} = \frac{\sqrt{0.025}}{\sqrt{1.0}} = \sqrt{0.025} = 0.16;$$

$$x = 0.16 \times 0.35 \times 10^{-24} = 5.6 \times 10^{-26} \text{ cm}^2$$

6. 在距離 ^{18}F (半化期 110 分鐘) 點射源 0.1 公尺處測得劑量率為 28 mSv h^{-1} ，則 2 小時後距離該點射源 0.5 公尺處之劑量率為多少 mSv h^{-1} ？

(1) 0.52 (2) 0.84 (3) 5.24 (4) 10.48

[解：]

(1)

$$(0.1/0.5)^2 \times 28 \times e^{-(0.693/110) \times 120} = 0.524$$

7. ^{232}Th (原子序=90) 經過 X 次 α 衰變與 Y 次 β 衰變後，衰變為 ^{228}Th (原子序=90)，則 X 與 Y 分別為： (1) 0、0 (2) 1、2 (3) 1、4 (4) 2、1

[解：]

(2)

1 次 α 衰變 A-4, Z-2；2 次 β 衰變 Z+2

8. 下列何種輻射在細胞含氧量降低的情況下，細胞的輻射敏感度變化最大？

(1) 質子 (2) α 粒子 (3) γ 射線 (4) 中子

[解：]

(3)

9. 在細胞週期中，下列哪個時期對輻射最不敏感？

(1) S 期 (2) G_0 期 (3) G_1 期 (4) M 期

[解：]

(1)

10. 以 HPGe 偵檢器量測一個 γ 射源能譜，下列關於其解析度之敘述何者正確？

(1) 其全寬半高值越大，解析度越佳 (2) 全寬半高值與計數值之平方根成正比
(3) 解析度隨其計數值升高而降低 (4) 平均脈衝振幅越高，能量解析度隨之提高

[解：]

(2)

11. 游離輻射中所謂的 δ 射線(delta ray)是指下列何者？

(1) 可產生二次游離之高能電子 (2) 中性的電磁輻射
(3) 康普吞效應的散射光子 (4) 不具游離性之螢光

[解：]

(1)

12. X 光屏蔽評估時需考慮之佔用因素(occupancy factor)與下列何者有關？

- A. X 光能量的分佈
- B. 屏蔽厚度與材料
- C. X 光管操作時的最大管電壓
- D. 作業場所
- E. X 光射束方向的佔比

(1) 僅 ACE (2) 僅 BE (3) 僅 DE (4) 僅 D

[解:]

(4)

13. 關於阿伐(α)蛻變的敘述，下列何者為真？

- (1) α 粒子的能譜為連續的
- (2) 子核和母核同為同重素
- (3) 子核的質子數比母核少 4
- (4) 子核與 α 粒子質量的和小於母核的質量

[解:]

(4)

14. 若一個 1 MeV 加馬射線與另一個 0.1 MeV 加馬射線，在空氣中產生相同的游離密度，請問 1 與 0.1 MeV 光子通量比值為多少？(1 MeV 的 $\mu_a = 0.028 \text{cm}^{-1}$ ；0.1 MeV 的 $\mu_a = 0.0233 \text{cm}^{-1}$) (1) 0.01 (2) 0.04 (3) 0.08 (4) 0.16

[解:]

(3)

$$\frac{\text{能量吸收}}{\text{cm}^3} = \phi \frac{\text{photons}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s}} \times E \frac{\text{MeV}}{\text{photon}} \times \mu \text{cm}^{-1}$$

$$\phi_1 \frac{\text{photons}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s}} \times 1 \frac{\text{MeV}}{\text{photon}} \times \mu_1 \text{cm}^{-1} = \phi_{0.1} \frac{\text{photons}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s}} \times 0.1 \frac{\text{MeV}}{\text{photon}} \times \mu_{0.1} \text{cm}^{-1}$$

$$\frac{\phi_1}{\phi_{0.1}} = \frac{0.1 \times 0.0233}{1 \times 0.028} = 0.08$$

15. 必須使用淬熄(quenching)的方法防止產生假信號之偵檢器是下列何者？

- (1) 蓋革計數器
- (2) 高壓游離腔
- (3) 比例計數器
- (4) 游離腔

[解:]

(1)

二、計算問答題：(每題 10 分，共 70 分)

1. 請說明：

- (1) 電子平衡(electron equilibrium)
- (2) 平均自由行程(mean free path)
- (3) 輻射偵檢器達到電子平衡的條件

[解:]

- (1) 在放射物理學中，對於一次輻射(primary radiation，如光子)和一物質作用時，當離開物質內特定體積的二次電子數量等於進入該體積的二次電子數量時，即稱作電子平衡。
- (2) 平均自由行程(mean free path) = $1/\mu$ (μ = 光子對物質的線性衰減係數)，其相當於光子平均在物質中行進多遠會發生一次作用的距離。
- (3) 輻射偵檢器達到電子平衡的條件：偵檢器的窗口(window)壁厚 $< 1/\mu$ (光子的平均自由行程)，使光子通量保持不變；且窗口之壁厚須大於二次電子的最大射程。

2. 一個自由氣體游離腔受曝露量得電流為 1×10^{-9} A，腔室的敏感體積為 4 cm^3 ，溫壓各為 10°C 和 755 毫米汞柱，請問：

(參考溫度為 0°C ，參考壓力為 1 atm， $\rho_{\text{air}} = 1.293 \times 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$)

- (1) 溫壓校正因子
 (2) 曝露率(C/kg s)

[解：]

$$(1) \frac{283}{273} \times \frac{760}{755} = 1.043$$

$$(2) \dot{X} = \frac{1 \times 10^{-9}}{4 \times 1.293 \times 10^{-6}} \times 1.043 = 2.02 \times 10^{-4} \frac{\text{C}}{\text{kg s}} \text{ or } 0.783 \frac{\text{R}}{\text{s}}$$

3. 有一準直良好含有 10^4 個光子的射束，每個光子能量為 15 MeV，打在 20 cm 厚的碳塊上。請問在碳塊 5 cm 深度後之 1 mm 碳層的散射光子能量和制動輻射能量各為多少 MeV？(光子與碳的作用係數如下表；碳的密度為 2.25 g/cm^3)

| 光子能量(MeV) | μ/ρ | μ_{tr}/ρ m^2/kg | μ_{ab}/ρ |
|-----------|------------|--|------------------------|
| 0.2 | 0.02429 | 0.00526 | 0.00526 |
| 2 | 0.00877 | 0.00466 | 0.00466 |
| 8 | 0.00374 | 0.00253 | 0.00251 |
| 15 | 0.00253 | 0.00186 | 0.00183 |
| 30 | 0.00175 | 0.00140 | 0.00136 |

[解：]

$$N = N_0 e^{-\frac{\mu}{\rho}(\rho x)} = 10^4 \times e^{-0.00253 \times 2250 \times 0.05} = 7522$$

$$dN = N \cdot \frac{\mu}{\rho} \cdot \rho \cdot dx = 7522 \times 0.00253 \times 2250 \times 0.001 = 42.8$$

$$\text{一個光子能量轉移} = 15 \times (0.00186/0.00253) = 11.03 \text{ MeV}$$

$$\text{一個光子能量吸收} = 15 \times (0.00183/0.00253) = 10.85 \text{ MeV}$$

$$\text{散射光子} = 42.8 \times (15 - 11.03) \text{ MeV} = 169.9 \text{ MeV}$$

$$\text{制動輻射} = 42.8 \times (11.03 - 10.85) \text{ MeV} = 7.7 \text{ MeV}$$

4. 請說明蓋革計數器無感時間(dead time)的產生原因。

[解:]

蓋革計數器在獲取一個計數之後，因正電荷陽離子移向陰極的速度較緩慢，在短時間內陽離子仍圍繞在陽極周圍附近，陽極的電場強度因而減弱，使接續而來的另一個游離肇發崩洩(avalanche)成為不可能。必須等陽離子移向陰極，電場強度增加達到足以造成另一個崩洩開始，這段時間稱為無感時間。

5. 請說明何謂 X 射線的射質(quality)與 X 射線的量(quantity)。

[解:]

X 射線的射質指的是 X 射線的穿透力、X 光的能量(kVp)。

X 射線的量指的是 X 光的數量或強度、曝露。

6. (1) 假設忽略增建因數的效應，請推導光子的直線衰減係數(μ)、半值層(HVL)與什一值層(TVL)三者之間的關係。

(2) 假設銫-137 衰變放出之加馬射線在鉛中的質量衰減係數為 $0.12 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ，若使用 2 cm 鉛來屏蔽銫-137 射源，大約有多少比例(%)的銫-137 加馬射線會被阻擋下來？(鉛密度為 11.4 g/cm^3)

[解:]

(1)

$$N = N_0 e^{-\mu x} \rightarrow \frac{1}{2} = e^{-\mu \times HVL} \rightarrow HVL = \frac{0.693}{\mu}$$

$$N = N_0 e^{-\mu x} \rightarrow \frac{1}{10} = e^{-\mu \times TVL} \rightarrow TVL = \frac{2.303}{\mu} = 3.323 \times HVL$$

(2)

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

$$HVL = 0.693/\mu = 1/1.368 = 0.5 \text{ cm}$$

$$\text{attenuation} = 1 - \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{2}{0.5}} = 1 - \frac{1}{16} = \frac{15}{16} = 94\%$$

7. 有 1 公克的 ^{23}Na 放在原子爐中活化成 ^{24}Na ，若原子爐裡的中子通量率為 $6 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2\text{-s}$ ，請計算： ^{24}Na 半化期為 15 小時，活化截面為 0.93 邦)

(1) 照射 1 天後 ^{24}Na 的活度為多少 Ci？

(2) 承上，有多少比率的鈉原子會被活化？

[解:]

(1) 照射 1 天後的活度

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

$$= \frac{1}{23} \times 6.02 \times 10^{23} \times 6 \times 10^{12} \times 0.93 \times 10^{-24} \left(1 - e^{-\frac{0.693 \times 24}{15}}\right)$$

$$= 9.79 \times 10^{10} Bq = 2.64 \text{ Ci}$$

$$(2) \frac{dN}{N} = \phi\sigma dt = 6 \times 10^{12} \times 0.93 \times 10^{-24} \times 24 \times 3600 = 4.82 \times 10^{-7}$$