

行政院原子能委員會
108 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. 一試樣計測 10 分鐘得 4500 counts，儀器的背景計測 30 分鐘得 750 counts，則淨計數率的標準差為多少 counts / 分？ (1) 325 (2) 3.3 (3) 6.8 (4) 9.3

[解：]

(3)

$$\left(\frac{4500}{10} - \frac{750}{30}\right) \pm \left(\sqrt{\frac{4500}{10^2} + \frac{750}{30^2}}\right)$$

$$\text{淨計數標準差} = \sqrt{45 + 0.83} = 6.8 \text{ counts / 分}$$

2. ^{99}Tc 與 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 稱為下列何者？

(1)同位素 (2)同中子素 (3)同重素 (4)同質異能素

[解：]

(4)

3. 在 600 cm^3 的物質中吸收劑量為 2 Gy，其所吸收的輻射能量為多少焦耳？(物質密度為 0.2 g/cm^3) (1) 0.12 (2) 0.24 (3) 0.36 (4) 0.48

[解：]

(2)

$$600 \text{ cm}^3 \cdot 2 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \cdot 2 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 0.24 \text{ J}$$

4. 一名輻射工作人員身體的某器官受到了 0.2 mGy β 射線和 0.15 mGy α 粒子的劑量，若該器官是唯一受到曝露器官，其組織加權因數為 0.05，求有效劑量 (effective dose) 為多少 mSv？ (1) 0.0175 (2) 0.16 (3) 0.25 (4) 3.2

[解：]

(2)

$$(0.2 \times 1 + 0.15 \times 20) \times 0.05 = 0.16$$

5. 在單標靶單擊 (single-target, single-hit) 模式中，細胞存活分率為 $S = e^{-D/D_0}$ ，請問下列敘述何者為真？

- (1) 具有較高 D_0 的細胞對輻射較敏感 (2) 靶被擊中的機率為 37%
 (3) 靶被擊中的機率為 e^{-D/D_0} (4) 靶被擊中的機率為 $1 - e^{-D/D_0}$

[解：]

(4)

6. 純的 Co-60 射源 (半化期為 5.26 年)，其比活度 (specific activity) 是多少？

- (1) 6.87×10^{24} Bq/g (2) 1.32×10^{21} Bq/g (3) 4.19×10^{13} Bq/g (4) 1.13×10^3 Bq/g

[解：]

(3)

$$\text{比活度 } S.A. = \frac{\ln 2}{t_h} \frac{A_v}{A} = \frac{\ln 2}{5.26} \times \frac{6.02 \times 10^{23}}{60} \frac{1 \text{ dis.}}{\text{yr g}} \times \frac{\text{yr}}{365 \times 24 \times 3600 \text{ s}} = 4.19 \times 10^{13} \frac{\text{Bq}}{\text{g}}$$

7. 輻射生物學中， $LD_{50/30}$ 之 LD 代表：

- (1) 等價劑量 (2) 致死劑量 (3) 有效劑量 (4) 遺傳劑量

[解：]

(2)

8. 一台空氣壁袖珍式游離腔內部含 7.5 mg 空氣，其電容為 9.5 pF，將游離腔充電，試問多少的曝露量能使其電位下降 10 V？ ($1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$)

- (1) $7.1 \times 10^{-15} \text{ R}$ (2) $2.8 \times 10^{-12} \text{ R}$ (3) $1.3 \times 10^{-6} \text{ R}$ (4) $4.9 \times 10^{-2} \text{ R}$

[解：]

(4)

$$\frac{9.5 \times 10^{-12} \times 10}{7.5 \times 10^{-6} \times 2.58 \times 10^{-4}} = 4.9 \times 10^{-2} \text{ R}$$

9. 以一劑量率 10 Gy/h 加馬射線，照射一個絕熱良好的水樣，請問此水樣的溫度上升速率為多少 $^{\circ}\text{C/h}$ ？ (1) 2.39×10^{-3} (2) 1×10^{-3} (3) 2.39×10^{-4} (4) 1×10^{-4}

[解：]

(1)

$$10 \text{ Gy/h} = 10 \text{ (J/kg)/h} = 2.39 \text{ (cal/kg)/h}$$

10 Gy/h 劑量率，即每小時給質量 $m=1000 \text{ g}$ 的物質約 2.39 cal 的熱量

物質(水)的比熱 s 為 $1 \text{ cal/(g } ^{\circ}\text{C)}$

$$\text{因每小時之熱量 } \Delta H = ms\Delta t \Rightarrow 2.39 \text{ cal} = 1000 \text{ g} \times 1 \text{ cal/(g } ^{\circ}\text{C)} \times \Delta t (^{\circ}\text{C)}$$

$$\therefore \text{溫度上升速率 } \Delta t = 2.39 \times 10^{-3} (^{\circ}\text{C/h})$$

10. 與人體軟組織的有效原子序較相近的熱發光劑量計是：

- (1) 氟化鈣 (2) 氟化鋰 (3) 硫酸鈣 (4) 氧化鎂

[解：]

(2)

11. 有關人體體外污染除污作業之敘述，正確的有哪些？

- A. 人體除污宜用熱水，使毛細孔擴張，方便除污。
B. 皮膚污染的除污，避免使用刷子刷洗。
C. 如採淋浴方式，需閉上眼睛或戴護目鏡。
D. 若污染是在手指指甲部位，先剪短指甲後再對手指進行除污。

- (1) AD (2) BC (3) ABC (4) BCD

[解：]

(2)

A 及 D 錯誤原因：

熱水會使毛細孔擴張，易使污染經由毛細孔滲入體內。

先剪指甲易致手指破損造成傷口，使污染經由傷口進入體內。

12. 若質量衰減係數為 μ/ρ (m^2/kg)，每公克含原子數為 N (atom/g)，該原子的原子序為 Z ，試問該元素的電子衰減係數 ($\text{m}^2/\text{electron}$) 為何？

- (1) $\mu/(\rho \times N \times 1000)$ (2) $\mu/(\rho \times N \times Z)$ (3) $\mu/(\rho \times N \times Z \times 1000)$ (4) $\mu \times 1000/(\rho \times N \times Z)$

[解：]

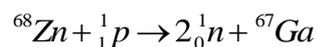
(3)

$$\begin{aligned} & \mu/\rho (\text{m}^2/\text{kg}) \times [1/N (\text{atom}/\text{g})] \times [1/Z (\text{electron}/\text{atom})] \times [1/(1000 \text{ g}/\text{kg})] \\ & = \mu/(\rho \times N \times Z \times 1000) \text{ m}^2/\text{electron} \end{aligned}$$

13. 核反應 ${}^{68}\text{Zn}(p,2n)$ 的產物為下列何者？ (1) ${}^{66}\text{Ga}$ (2) ${}^{67}\text{Ga}$ (3) ${}^{66}\text{Zn}$ (4) ${}^{67}\text{Zn}$

[解：]

(2)



14. 產生下列輻射生物效應依其所需劑量由小到大的排列為何？

- A. 延遲效應 B. 腸胃症候群 C. 中樞神經症候群 D. 造血症候群

- (1) ABCD (2) BCDA (3) ADBC (4) CDBA

[解：]

(3)

15. 下列敘述何者正確？ A. 賀斯特計數器 (Hurst counter) 可用來度量快中子之劑量率 B. CdTe 複合半導體偵檢器須於液態氮環境下操作 C. 閃爍偵檢器將閃爍光轉化為電子的元件稱次陽極 (dynode) D. 液態閃爍偵檢器適合用於度量 α 發射核種

(1) AB (2) AD (3) BC (4) BD

[解：]

(2)

AD 正確

二、計算問答題：(每題 10 分，共 70 分)

1. 假設光子能量為 1.25 MeV，光子通量率為 $10^8/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ ，光子與空氣作用的能量吸收係數為 $\mu_{en} = 3.1 \times 10^{-5} / \text{cm}$ 。試求空氣的吸收劑量率等於多 mGy/s？人體軟組織的吸收劑量率等於多少 mGy/s？

(註：1 MeV = $1.6 \times 10^{-13} \text{J}$ ，空氣密度 = $1.293 \times 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$ ， $(\mu_{en/\rho})_{\text{tissue}} = 0.0280 \text{ cm}^2 / \text{g}$)

[解：]

$$(a) \frac{10^8 \frac{\text{光子}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s}} \times 1.25 \frac{\text{MeV}}{\text{光子}} \times 3.1 \times 10^{-5} \frac{1}{\text{cm}} \times 1.6 \times 10^{-13} \frac{\text{J}}{\text{MeV}}}{1.293 \times 10^{-3} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{g}}}$$

$$= 4.80 \times 10^{-4} \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{s}} = 0.48 \text{ mGy} / \text{s} \text{ (空氣吸收劑量率)}$$

$$(b) 10^8 \frac{\text{光子}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s}} \times 1.25 \frac{\text{MeV}}{\text{光子}} \times 0.0280 \frac{\text{cm}^2}{\text{g}} \times 1.6 \times 10^{-13} \frac{\text{J}}{\text{MeV}} \times 10^3 \frac{\text{g}}{\text{kg}}$$

$$= 5.6 \times 10^{-4} \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{s}} = 0.56 \text{ mGy} / \text{s} \text{ (組織吸收劑量率)}$$

2. I-125 的半化期為 60 天，請問 8 MBq 的 I-125 經過多少天後，活度會變成原來的 0.2%？

[解：]

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

$$\ln(0.002) = -\frac{0.693}{60} t$$

$$t = \frac{60}{0.693} \times 6.2146 = 538 \text{ d}$$

3. 有一加馬射線點射源 0.07 Ci，某人在距離 80 cm 處工作 50 分鐘，得空氣克馬 0.1052 毫戈雷(mGy)，試計算此射源的空氣克馬率常數(mGy·m²/h·Ci)。

[解:]

$$\Gamma (\text{mGy} \cdot \text{m}^2 / \text{h} \cdot \text{Ci}) \times 0.07 \text{Ci} \times [1 / (0.8\text{m})^2] \times (50 / 60) \text{h} = 0.1052 \text{mGy}$$

$$\begin{aligned} \Gamma (\text{mGy} \cdot \text{m}^2 / \text{h} \cdot \text{Ci}) &= 0.1052 \times (60 / 50) \times (0.8\text{m})^2 \times 1 / 0.07 \\ &= 1.154 \text{mGy} \cdot \text{m}^2 / \text{h} \cdot \text{Ci} \end{aligned}$$

4. 請繪圖並說明蓋格計數器的無感時間 (dead time)、分辨時間 (resolving time) 與復原時間 (recovery time) 的關係與意義。

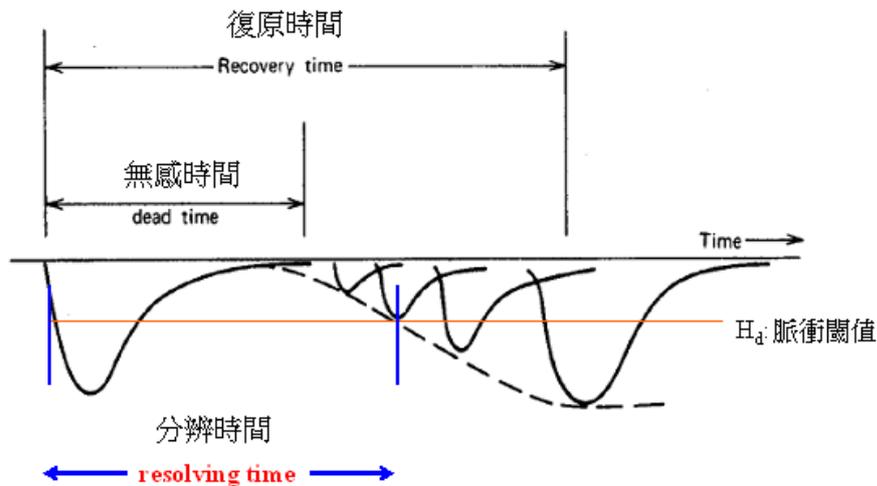
[解:]

無感時間(dead time)：從前一個脈衝開始到 GM 計數管恢復到可以產生最小脈衝為止的那段時間。

分辨時間(resolving time)：當脈衝大小超過脈衝閾值 H_d 時，偵檢器即可偵測到信號，從前一個脈衝開始到 GM 計數管產生脈衝可偵測到的最小時間。

復原時間(recovery time)：從前一個脈衝開始到可以再次產生滿脈衝為止的那段時間。

三者之關係如下圖：



5. 一含有 2.7 Ci 活度的 ^{137}Cs ，均勻散佈在半徑 30 公分的球體純水溶液中，已知 ^{137}Cs 的比加馬發射 (specific gamma-ray emission) 為 $7.82 \times 10^{-8} \text{ Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ，662 keV 的 γ -ray 對水的直線衰減係數為 3.27 m^{-1} ，請問球心處的劑量率 ($\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$) ？

[解：]

$$\dot{D} = C\Gamma \cdot \frac{4\pi}{\mu} (1 - e^{-\mu R})$$

$$= \frac{2.7 \text{ Ci} \times \frac{3.7 \times 10^4 \text{ MBq}}{1 \text{ Ci}}}{\frac{4}{3} \pi (0.3 \text{ m})^3} \cdot \frac{7.82 \times 10^{-8} \text{ Sv} \cdot \text{m}^2}{\text{MBq} \cdot \text{h}} \cdot \frac{4\pi}{3.27 \text{ m}^{-1}} \cdot (1 - e^{-3.27 \times 0.3}) = 0.166 \frac{\text{Sv}}{\text{h}}$$

6. 以 NaI 偵檢器度量 ^{137}Cs 射源所發出的光子，已知碘(I)的 $K_{\alpha} = 28 \text{ keV}$ ，請問能譜的(1)全能峰 (total-energy peak)、(2)回散射峰 (backscattered radiation peak)、(3)逃逸峰 (escape peak) 之峰值各為多少？

[解：]

(1) 全能峰 662 keV

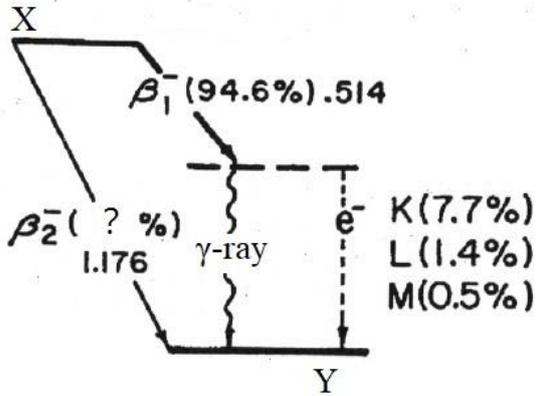
$$(2) \text{compton edge} = \frac{2E^2}{0.511 + 2E} = \frac{2 \times 0.662^2}{0.511 + 2 \times 0.662} = 0.478 \text{ (MeV)}$$

回散射峰 662 keV - 478 keV = 184 keV

(3) 逃逸峰 662 - 28 = 634 (keV)

7. 下圖為 X 核種之蛻變圖，請計算或回答下列問題：

- 設 X 核種的原子序為 Z、原子量為 A，請說明其子核種 Y 的原子序與原子量。
- 計算圖中 γ -ray 的能量為多少 keV？
- 計算 X 核種平均每次蛻變射出的 γ -ray 產率為多少%？
- 圖中的 ? 號之數值是多少，請計算出。
- 圖中 K (7.7%)，代表何意義？



(蛻變圖中能量單位為 MeV)

[解:]

- β^- 的蛻變，代表 X 核種的中子數太多，蛻變為質子與貝他粒子，所以原子序增加 1，成為 Z+1；原子量不變，仍為 A。
- γ -ray 的能量 $E = 1.176 - 0.514 = 0.662 \text{ MeV} = 662 \text{ keV}$
- X 核種平均每次蛻變射出的 γ -ray 產率為 $0.946 - (0.077 + 0.014 + 0.005) = 0.85 = 85\%$ 。
- ? 號之數值為 $100 - 94.6 = 5.4$ 。
- K(7.7%) 代表 662 keV 的 γ -ray 使 K 層電子游離的比例為 7.7%，此現象稱為內轉換。