

核能安全委員會
113 年度第 1 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. 某一偵檢器的 Fano factor 為 0.3，偵檢器所偵測到的電荷載體(charge carrier)為 50000 個，請問此偵檢器的能量解析度為何？

(1) 0.1% (2) 0.34% (3) 0.58% (4) 0.71%

[解：]

(3)

$$R|_{\text{Statistical limit}} = \frac{2.35K\sqrt{N}\sqrt{F}}{KN} = 2.35\sqrt{\frac{F}{N}}$$

$$2.35 \times (0.3/50000)^{0.5} = 0.58\%$$

2. 下列何者具有最大的相對生物效應(relative biological effectiveness, RBE)？

(1) ^{60}Co (2) 25 MeV X-ray (3) 10 MeV 質子 (4) 5 MeV α 粒子

[解：]

(4)

3. 已知水晶體接受 2.5 到 6.5 Gy 之間的劑量，請問經輻射曝露到出現白內障的潛伏期約為？ (1) 0.5 年 (2) 3 年 (3) 8 年 (4) 19 年

[解：]

(3)

4. 若游離腔氣體之 $W = 30 \text{ eV/ip}$ ，則當游離腔電流為 $2.0 \times 10^{-16} \text{ A}$ 時，表示游離腔的能量吸收率為多少 eV/s ？

(1) 6.67×10^{-18} (2) 6.0×10^{-15} (3) 3.75×10^4 (4) 1.5×10^{17}

[解：]

(3)

$$N = \frac{2.0 \times 10^{-16} \text{ C/s}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ C/ion}} = 1.25 \times 10^3 \text{ ion/s}$$

$$E = 1.25 \times 10^3 \text{ ion/s} \times 30 \text{ eV/ion}$$

$$= 3.75 \times 10^4 \text{ eV/s}$$

5. 某人的性腺 ($W_T = 0.20$)、膀胱 ($W_T = 0.05$)及結腸($W_T = 0.12$)分別接受 1 毫西弗、2 毫西弗與 5 毫西弗的等價劑量，其餘器官均未受到曝露，則此人共接受多少毫西弗的有效劑量？ (1) 0.45 (2) 0.90 (3) 1.25 (4) 1.50

[解：]

(2)

有效劑量 $E=0.20 \times 1 \text{ mSv} + 0.05 \times 2 \text{ mSv} + 0.12 \times 5 \text{ mSv} = 0.90 \text{ mSv}$

6. 若一射源每次衰變僅會發射出一能量為 2753 keV 之加馬射線，以高純鍍偵檢器進行加馬能譜計測，下列何者能量(keV)之能峰不會出現？

(1) 511 (2) 917 (3) 1731 (4) 2242

[解：]

(2)

2753 keV 之加馬射線會有成對發生作用，後續正電子與電子互毀後會有 2 個 511 keV 之光子，此二光子之一或兩者有很大的逃逸機率；因此能譜上可能看到 2753 keV 的全能峰外，亦可能看到 $2753-511=2242 \text{ keV}$ 之單逃峰、 $2753-2 \times 511=1731 \text{ keV}$ 之雙逃峰，以及互毀之 511 keV 光子能峰。

7. 計算 X 光輻射屏蔽時，辦公室與實驗室的占用因子(Occupancy factor)為何？

(1) 1/40 (2) 1/20 (3) 1/2 (4) 1

[解：]

(4)

8. 在單靶一次擊中模型(single target single hit model)中，當照射細胞之輻射劑量等於其平均致死劑量時，細胞存活的百分率為： (1) 25% (2) 37% (3) 50% (4) 63%

[解：]

(2)

9. 若一名輻射工作人員受到 0.5 MeV γ 射線均勻照射，造成全身器官之吸收劑量均為 0.1 mGy，下列敘述何者為真？

(1) 等價劑量為 0.05 mSv (2) 等價劑量為 0.2 mSv

(3) 有效劑量為 0.1 mSv (4) 有效劑量為 0.2 mSv

[解：]

(3)

γ 射線的輻射加權因數為 1，等價劑量為 0.1 mSv

全身均勻照射，故有效劑量亦為 0.1 mSv

10. 若鉛(密度 $11.35 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)對 70 keV 光子的質量衰減係數(mass attenuation coefficient)為 $2.8 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ，則鉛對此光子的半值層 (HVL) 為多少 cm？

(1) 0.24 (2) 0.022 (3) 0.014 (4) 0.011

[解：]

(2)

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

$$\text{HVL} = 0.693 / (11.35 \times 2.8) = 0.022$$

11. 在相同條件下計測某一試樣與標準物質的放射性活度，結果該試樣為 4000 ± 100 cpm，標準物質為 1000 ± 50 cpm，則該試樣與標準物質的放射性活度比的標準差為？

(1) 0.01 (2) 0.05 (3) 0.22 (4) 2.2

[解：]

(3)

設試樣的放射性活度 = $x \pm \sigma_x = 4000 \pm 100$

標準物質的放射性活度 = $y \pm \sigma_y = 1000 \pm 50$

試樣與標準物質的放射性活度比 $u = x/y = 4000/1000 = 4$

放射性活度比的標準差 σ_u 可下列關係求得：

$$\left(\frac{\sigma_u}{u}\right)^2 = \left(\frac{\sigma_x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_y}{y}\right)^2 \Rightarrow \left(\frac{\sigma_u}{2.5}\right)^2 = \left(\frac{100}{4000}\right)^2 + \left(\frac{50}{1000}\right)^2 = 0.003125$$

$$\Rightarrow \sigma_u^2 = 0.05$$

$$\Rightarrow \sigma_u = 0.22$$

12. 已知鉛的密度為 11.34 g/cm^3 ，其原子量為 207.21，則每立方公分的鉛的原子數約為：

(1) 3.3×10^{21} (2) 3.6×10^{22} (3) 3.3×10^{22} (4) 3.6×10^{21}

[解：]

(3)

$$11.34 \text{ g/cm}^3 \times 6.02 \times 10^{23} \text{ 原子/207.21 g} = 3.3 \times 10^{22} \text{ 原子/cm}^3$$

13. 5 mg 的 ^{90}Sr ($T_{1/2} = 28.8 \text{ y}$) 與 ^{90}Y ($T_{1/2} = 64.2 \text{ h}$) 達到長期平衡時，請問 ^{90}Y 有多少克？

(1) 2.6×10^{-7} (2) 1.3×10^{-6} (3) 2.2×10^{-3} (4) 1.1×10^{-2}

[解：]

(2)

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2$$

$$\frac{0.693}{64.2} \times \frac{x}{90} \times 6 \times 10^{23} = \frac{0.693}{28.8 \times 365 \times 24} \times \frac{5 \times 10^{-3}}{90} \times 6 \times 10^{23}$$

$$x = 1.3 \times 10^{-6} \text{ 克}$$

14. 收集工作人員尿液進行體內污染檢測通常使用何種偵檢器？

(1) 液態閃爍偵檢器 (2) 充氣式偵檢器 (3) 半導體偵檢器 (4) 熱發光劑量計

[解：]

(1)

15. 關於光子射束與物質作用的能譜變化，下列敘述何者正確？

A. 射束硬化 (beam harder) 的情形僅存在多能量分布的光子射束

B. 多能量分布的光子射束經過濾片後，其射束的最高能量會增加

- C. 單一能量光子射束經過濾片後，其射束的平均能量會增加
 D. 光子射束在接觸物質後就因庫倫力的交互作用而降低能量
 (1) 僅 A (2) 僅 AB (3) 僅 C (4) 僅 CD

[解:]

(1)

二、計算問答題：(每題 10 分，共 70 分)

1. 某一輻射試樣 5 分鐘的計數值為 5000 counts，同一部量測儀器 2 分鐘背景計數為 100 counts，如果試樣與背景的總量測時間為 20 分鐘，則最佳的分配試樣量測時間與背景量測時間各為多少分鐘？

[解:]

$$r_g = 5000 / 5 = 1000 \text{ cpm}$$

$$r_b = 100 / 2 = 50 \text{ cpm}$$

$$T_g / (T - T_g) = (r_g / r_b)^{1/2}$$

$$T_g / (20 - T_g) = (1000/50)^{1/2} = 4.47$$

$$T_g = 89.4 - 4.47 T_g$$

$$5.47 T_g = 89.4$$

$$T_g = 16.3 \text{ min (試樣)}$$

$$T_b = 20 - 16.3 = 3.7 \text{ min (背景)}$$

2. 已知 ^{226}Ra 的半化期為 1600 年，原子量為 226，質量為 226.025403 amu， ^{222}Rn 的質量為 222.017571 amu， α 粒子的質量為 4.002603 amu，試問：

(1) ^{226}Ra 衰變為 ^{222}Rn 之 Q 值為多少 MeV？

(2) 若 ^{226}Ra 的比活度為 1 Ci/g，則 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (半化期=6.0 h) 的比活度為多少 Ci/g？

[解:]

$$(1) Q = (226.025403 - 222.017571 - 4.002603) \text{ amu} \times 931.5 \text{ MeV/amu} = 4.87 \text{ MeV}$$

$$(2) \text{比活度 } S_A = \frac{\lambda N}{W} = \frac{\lambda \frac{W}{M} \times N_0}{w} = \frac{\lambda}{M} \times N_0 \propto \frac{1}{MT}, \quad W: \text{重量}, M: \text{原子量}, N_0:$$

亞佛加厥數， T: 半化期

$$\frac{S_{A1}}{S_{A2}} = \frac{99 \times 6}{226 \times 1600 \times 365 \times 24} = \frac{1}{S_{A2}} \rightarrow S_{A2} = 5.33 \times 10^6 \text{ (Ci/g)}$$

3. 請證明放射性同位素之平均壽命為 $1/\lambda$ ， λ 為蛻變常數。

[解:]

$$\tau = \frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} t \lambda N dt,$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t},$$

$$\tau = \frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} t \lambda N_0 e^{-\lambda t} dt.$$

$$\tau = \frac{1}{\lambda}.$$

4. 一游離腔的腔壁材質為鋁 (密度 = 2.7 g/cm^3)，氣體空腔體積為 5 cm^3 ($\rho_{\text{air}} = 0.001293 \text{ g/cm}^3$)，而其腔壁對空氣的質量阻擋本領比 (mass stopping power ratio) 為 1.3，空氣中每產生一個離子對需消耗 34 eV 的能量，若此游離腔之飽和電流為 8.13×10^{-13} 安培，根據 Bragg-Gray 空腔理論，求腔壁之吸收劑量率為多少 mGy/h?

[解:]

$$\begin{aligned} D_{\text{wall}} &= \frac{Q}{m_{\text{gas}}} \cdot W \cdot S_{\text{air}}^{\text{wall}} \\ &= \frac{I \cdot t}{V \cdot \rho} \cdot W \cdot S_{\text{air}}^{\text{wall}} \\ &= \frac{8.13 \times 10^{-13} (\text{C/s}) \times 3600 \text{ s/h}}{5 \text{ cm}^3 \times 0.001293 \text{ g/cm}^3 \times 1 \times 10^{-3} \text{ kg/g}} \times \left(34 \frac{\text{eV}}{\text{i.p.}} \times \frac{\text{i.p.}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ C}} \times \frac{1.6 \times 10^{-19} \text{ J}}{1 \text{ eV}} \right) \times 1.3 \\ &= 0.02 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{h}} \\ &= 20 \text{ mGy/h} \end{aligned}$$

5. 有一 100 MBq 的 $^{24}\text{NaCl}$ 溶液不小心灑到地板上，形成一均勻散佈直徑 40 cm 的圓形。已知 ^{24}Na 的比加馬發射常數 Γ (specific gamma-ray emission constant) = $4.36 \times 10^{-7} \text{ Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ，請問在地面圓心上方 1.0 m 處， γ -ray 造成的空氣劑量率 (dose-equivalent rate, $\text{mSv} \cdot \text{h}^{-1}$)?

[解:]

$$\text{面積濃度 } C_a = 100 \text{ MBq} / \pi (0.2 \text{ m})^2 = 795.8 \text{ MBq} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$\text{劑量率 (dose-equivalent rate)} = \Gamma \times C_a \times \pi \times \ln \frac{r^2 + h^2}{h^2} = 4.36 \times 10^{-7} \text{ Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \times 795.8$$

$$\text{MBq} \cdot \text{m}^{-2} \times \pi \times \ln \left(\frac{0.2^2 + 1.0^2}{1.0^2} \right) = 0.043 \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1}$$

6. 某放射性同位素之物理半化期為 15 天，生物半化期 45 天，若進入體內之初始活度為 6 mCi，試問 30 天後仍有多少活度保留在體內？

[解：]

物理半化期 $T_R = 15$ d，生物半化期 $T_B = 45$ d， $A_0 = 6$ mCi

$$\text{有效半化期 } T_{\text{eff}} = \frac{1}{\frac{1}{T_R} + \frac{1}{T_B}} = \frac{1}{\frac{1}{15} + \frac{1}{45}} = 11.25 \text{ d}$$

30 天後仍保留在體內之活度：

$$A = A_0 e^{-\left(\frac{0.693}{T_{\text{eff}}}\right) \times 30} = 6(\text{mCi}) \cdot e^{-\left(\frac{0.693}{11.25}\right) \times 30} = 0.945(\text{mCi}) = 3.498 \times 10^7 \text{ Bq}$$

7. 以 NaI (Tl) 度量 ^{137}Cs 的 γ 能譜 (662 keV)，請說明或計算能譜的能量位置：

- (1) 全能峰 (total energy)
- (2) 康普吞邊緣 (Compton edge)
- (3) 回散射峰 (backscattered radiation peak)

[解：]

- (1) 全能峰 (total energy) 又稱光電峰，是 662 keV 光子與 NaI 材料發生作用，其能量被偵檢器全部吸收，全能峰的位置在 662 keV 處。
- (2) 康普吞邊緣，是光子 (662 keV) 與 NaI 偵檢器發生康普吞作用，轉交給電子最大可能的能量 (發生在光子 180 度散射) 處。此電子可獲得之最大能量

$$E_{\text{max}} = hv \times \frac{2\alpha}{1+2\alpha} = 662 \text{ keV} \times \frac{2 \times \frac{662 \text{ keV}}{511 \text{ keV}}}{1 + 2 \times \frac{662 \text{ keV}}{511 \text{ keV}}} = 478 \text{ keV}$$

所以光子若與 NaI 發生 Compton effect，造成散射電子 (或康普吞電子) 的能量從很小到 478 keV。所以康普吞邊緣位於 478 keV 處。

- (3) 回散射峰能量對應於發生回散射 (180 度) 的光子能量，此光子若接續再發生光電效應將能量轉由光電子呈現則為回散射峰。其能量處為 $662 - 478 = 184$ keV。