

行政院原子能委員會
100 年度第 1 次「輻射防護師」測驗試題
輻射防護師級：專業科目

壹、填充題(每格 2 分，單選題，答錯不倒扣，共 30 分)

1. 原子內部發射出之特性 X 射線與外層軌道電子作用後消失，而游離出之電子稱為 鄂惹 (Auger) 電子?

2. 質能吸收係數 $(\mu_{en}/\rho)=(\mu_{tr}/\rho)\times(1-g)$ ，式中 g 代表二次電子動能轉換為 制動輻射 之能量分率?

3. 某一放射核種衰變 10 天後，活度只剩原有的 100 分之一，其半衰期約為 1.5 天?

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

$$1/100=e^{-10\lambda}$$

$$\ln 0.01=-10\lambda,$$

$$\lambda=0.693/t_{1/2}=0.4605$$

$$t_{1/2}=0.693/0.4605=1.5(\text{天})$$

4. 一個 5.022 MeV 光子在原子核附近進行成對發生反應後，剩餘的能量由產生的正負電子均分。計算所產生電子的平均動能為 2 MeV?

$$(5.022-1.022)/2 = 2 (\text{MeV})$$

5. 某個長壽命放射性樣品放在計數裝置內測量了 10 分鐘，共記錄 1420 個計數。之後，拿走該樣品，用 60 分鐘測得 2520 個背景計數。若該計數器的計數效率是 20%，則該樣品的活度為 8.3 貝克?

樣品總計數 $n_g=1420$ ，樣品總計數時間 $t_g=10 \text{ min}$ ，背景計數 $n_b=2520$ ，背景計數時間 $t_b=60 \text{ min}$

樣品計數率 $r_g=1420/10=142 \text{ cpm}$ ，背景計數率 $r_b=2520/60=42 \text{ cpm}$ ，淨計數率 $r_n=142-42=100 \text{ cpm}$

$$\text{活度 } A=100 \text{ cpm}/0.2=500 \text{ dpm}=8.3 \text{ dps}=8.3 \text{ Bq}$$

6. 細胞週期(cell cycle)中之 M 期和 G2 期為輻射敏感期。

7. 比例計數器常用之 P-10 氣體之組成為 90% Ar + 10% CH₄。

8. 若使用 250 keV 之 X 射線照射某細菌的致死劑量為 100 Gy，而使用 10 MeV 的中子照射該細菌的致死劑量為 8 Gy，則相對生物效能(relative biological effectiveness,RBE)值為 12.5。

9. 某質量為 200 g 的器官，若接受 0.01 J 的 β 粒子能量，則等價劑量(equivalent dose)為 $H_{T,R}=\omega_R \cdot D_{T,R}=1 \times \frac{0.01}{0.2}=0.05 \text{ Sv}$ 。

10. 單靶模型(single target model)中，細胞生存曲線 $S=S_0 e^{-D/D_0}$ 是表示靶被擊中的

機率為 $(1 - e^{-D/D_0})$ 。

11. 原子核從高能階躍遷至低能階時會產生 γ 射線或是 內轉換電子。
12. 1 MeV 光子在物質中的增建因數(buildup factor)，主要是源自於 康普吞 效應。
13. 合理抑低的英文全文及縮寫為 As Low As Reasonably Achievable。
14. 鈾系從 ${}^{238}_{92}\text{U}$ 開始，終止於 ${}^{206}_{82}\text{Pb}$ ，則一個鈾原子會發生 8 個 α 粒子及 6 個 β 粒子？

貳、計算題及問答題(每題 10 分，共 70 分)

一、若一 10 cm 厚之介質內均勻混合有 2 種成分，其對 100keV 光子之直線衰減係數分別為 $\mu_1=0.005\text{cm}^{-1}$ 、 $\mu_2=0.02\text{cm}^{-1}$ ，今有 10^6 個 100keV 之光子入射此介質，(a) 有多少會穿透而不發生作用？(b) 有多少個光子會在此混合介質中發生作用？(c) 有多少個光子會與 μ_1 之介質發生作用？

正確答案：

$$\mu = \mu_1 + \mu_2$$

(a) 穿透而不發生作用的個數 $N = N_0 e^{-\mu x} = 10^6 e^{-(0.005+0.02)\text{cm}^{-1} \times 10\text{cm}} = 7.788 \times 10^5$ (個)

(b) 在此混合介質中發生作用的個數 $= 10^6 - 7.788 \times 10^5 = 2.212 \times 10^5$ (個)

(c) 與 μ_1 介質發生作用的個數 $= 2.212 \times 10^5 \times (\mu_1/\mu) = 2.212 \times 10^5 \times (0.005\text{cm}^{-1}/0.025\text{cm}^{-1}) = 44,240 = 4.424 \times 10^4$ (個)

二、若某人做了 50 次輻射計數值度量，結果呈現一高斯分布，若平均計數值為 1000，標準差為 50。則請問下次計數結果介於 900 至 1000 間之機率為多少 %？

正確答案：

高斯分布之平均值 $X \pm 2\sigma$ 之區間約佔 96%，即量測結果介於 1000 ± 100 間之機率為 96%，故下次計數結果介於 900 至 1000 間之機率為 96 % 之一半，為 48 %。

三、若每公斤人體中平均約有 2 克的天然鉀元素，請計算一位 60 公斤體重的人體內含 ${}^{40}\text{K}$ 的活度平均約為多少 Bq？(${}^{40}\text{K}$ ：半衰期 $= 1.28 \times 10^9$ 年， ${}^{40}\text{K}$ 佔天然鉀元素的豐度為 0.0117%)

正確答案：

1kg 的人體中含 ${}^{40}\text{K}$ 的量： $2 \times 1.17 \times 10^{-4} = 2.34 \times 10^{-4}$ g

1kg 的人體中含 ${}^{40}\text{K}$ 的原子個數 $= (2.34 \times 10^{-4}/40) \times 6.02 \times 10^{23} = 3.5217 \times 10^{18}$

1kg 的人體中含 ^{40}K 的活度 $A = \lambda N = 0.693 / (1.28 \times 10^9 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60) \times 3.5217 \times 10^{18}$
 $= 60.46 \text{ Bq/kg}$

則 60 公斤體重的人體內含 ^{40}K 的活度平均約等於 $60.46 \text{ Bq/kg} \times 60 \text{ kg} = 3627.6 \text{ Bq}$

四、請繪圖並詳細說明充氣式偵檢器的操作電壓與收集信號大小的關係。

正確答案：

充氣式偵檢器工作電壓與收集信號的關係如圖所示，依電壓大小可分為六區。

(1) 再結合區

當外加電壓很小時，由輻射產生的正負離子對，部分會再復合而消失，因此產生的信號太小而無應用價值。

(2) 游離腔區(飽和區)

當外加電壓逐漸升高，輻射產生的正負離子對復合機率減少，電壓增至適當大小後，所產生的離子對全部被收集而呈現飽和的信號。此飽和的信號大小與入射輻射游離的離子對數目有關，而與外加電壓大小無關。此區域為游離腔的工作區。

(3) 比例區(比例計數區)

外加電壓繼續升高，會使初次游離的電子被加速，在比例區的電子已被加速至具有足夠的動能使其他未被入射輻射游離的氣體分子亦因撞擊而游離。此時離子對的數目會急遽增加，收集脈衝信號亦隨之升高。此區域內，脈衝信號大小正比於原始離子對的數目，故稱為比例區，為比例計數器的工作區域。

(4) 限制比例區

持續升高電壓，電場與電壓之關係將呈非線性。此乃因二次游離過程中，電子很快被收集，而正離子則緩慢的移向陰極，當正離子濃度很高時，其空間電荷會嚴重影響偵檢器內電場的分佈，而使外加電壓與電場將呈非線性之關係性。在此區中，脈衝信號大小仍隨初次游離之離子對增加而增加，但不呈線性關係。

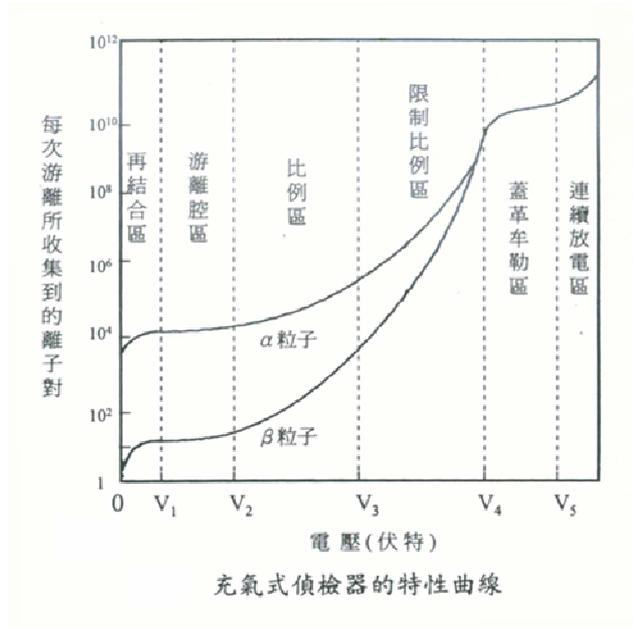
(5) 蓋格牟勒區(蓋格區)

當外加電壓再升高，氣體游離的倍增作用繼續增加，直到產生足夠的正離子，使得偵檢器內之電場降低直至氣體倍增作用終止。不同種類或能量的輻射在相同電壓下之蓋格區產生的脈衝信號大小皆相同，故此區僅能計數輻射數量，而不能用以鑑別輻射種類或能量。

(6) 連續放電區

當外加電壓再升高，不需外部輻射信號刺激，偵檢器內之氣體分子已自行解

離，而產生連續放電之現象，此區不適合操作，亦無應用價值。



五、鈷 60 照射場內之某一特定點，經度量今日之劑量率為 $37.5\mu\text{Gy/h}$ ，請計算該特定點自今日起連續接受曝露 1 年所累積的劑量為多少 mGy？(鈷 60 半衰期為 5.27 年)

正確答案：

$$\lambda = \frac{0.693}{5.27 \times 365 \times 24} = 1.5 \times 10^{-5} \text{ h}^{-1}$$

$$D = \int_0^{t=1y} \dot{D}_0 e^{-\lambda t} dt = -\frac{\dot{D}_0}{\lambda} (e^{-\lambda t}) \Big|_{t=0}^{t=1y}$$

$$D = \frac{\dot{D}_0}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}) \Big|_{t=1y} = \frac{37.5 \times 10^{-6} \text{ Gy/h}}{1.5 \times 10^{-5} / \text{h}} (1 - e^{-\frac{0.693}{5.27} \times 1}) = 0.308 \text{ Gy} = 308 \text{ mGy}$$

六、試證放射性物質平均壽命等於其半衰期之 1.44 倍？

正確答案：

$$N_0 t_a = \int_0^{\infty} N_0 e^{-\frac{0.693t}{t_{1/2}}} dt$$

$$N_0 t_a = N_0 \left(-\frac{t_{1/2}}{0.693} \right) e^{-\frac{0.693t}{t_{1/2}}} \Big|_0^{\infty}$$

$$N_0 t_a = N_0 \left(-\frac{t_{1/2}}{0.693} \right) (0 - 1)$$

$$t_a = \left(\frac{t_{1/2}}{0.693} \right) = 1.44 t_{1/2}$$

$$N_0 t_a = \int_0^{\infty} N_0 e^{-\frac{0.693t}{t_{1/2}}} dt$$

$$N_0 t_a = N_0 \left(-\frac{t_{1/2}}{0.693} \right) e^{-\frac{0.693t}{t_{1/2}}} \Big|_0^{\infty}$$

$$N_0 t_a = N_0 \left(-\frac{t_{1/2}}{0.693} \right) (0 - 1)$$

$$t_a = \left(\frac{t_{1/2}}{0.693} \right) = 1.44 t_{1/2}$$

七、(a) 1 個 ${}_{15}^{32}\text{P}$ 蛻變成 ${}_{16}^{32}\text{S}$ ，請寫出並說明係何種蛻變會並說明產生多少 MeV 的能量？(b) 1 個 ${}_{29}^{64}\text{Cu}$ 蛻變成 ${}_{28}^{64}\text{Ni}$ ，請寫出係何種蛻變並說明會產生多少 MeV 的能量？(原子量：P-32=31.973909 amu, S-32=31.972073 amu, Cu-64=63.929757 amu, Ni-64=63.927956)

正確答案：

$$(a) Q = (31.973909 - 31.972073) \times 931.5 = 1.71 \text{ MeV} \quad {}_{15}^{32}\text{P} \rightarrow {}_{16}^{32}\text{S} + e^{-}$$

$$(b) Q = (63.929757 - 63.927956) \times 931.5 - 2 \times 0.511 = 0.656 \text{ MeV}$$

