

核能安全委員會
115 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. 在比例計數器中加入甲烷主要的目的為何？

- (1)吸收紫外線光子 (2)提高能量解析度 (3)放大脈衝訊號 (4)減緩電子收集速度

[解：]

(1)

2. ^{60}Co 的加馬輻射在空氣中的曝露率為 100 mR/h，如果照射在軟組織，請問對軟組織的吸收劑量率為多少 mGy/h？

[^{60}Co 的 $(\mu_{\text{ab}}/\rho)_{\text{air}} = 0.0267 \text{ cm}^2/\text{g}$; $(\mu_{\text{ab}}/\rho)_{\text{tissue}} = 0.0294 \text{ cm}^2/\text{g}$]

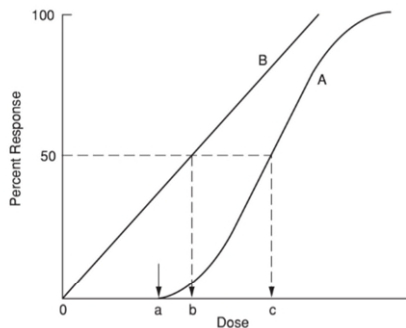
- (1) 0.029 (2) 0.97 (3) 9.08 (4) 36.3

[解：]

(2)

$$\dot{D} = 100 \times 10^{-3} \times 2.58 \times 10^{-4} \times 34 \times \frac{0.0294}{0.0267} = 9.66 \times 10^{-4} \text{ Gy/h} = 0.97 \text{ mGy/h}$$

3. 下圖為劑量反應曲線，請選出正確的敘述。



A. 曲線 A 可以視為機率性效應(stochastic effect)的反應

B. 曲線 B 可以視為線性無閾值理論

C. 若 Y 軸指的是動物實驗動物死亡的比例，則曲線 A 的 LD_{50} 為 50%

D. 生物終點(biological end point)可以定義為 Y 軸的任一數值

- (1) AB (2) CD (3) BD (4) AC

[解：]

(3)

4. 若游離腔氣體的 W 值為 33 eV/離子對，當偵測到 5.0×10^{-16} A 的游離腔電流時，是表示游離腔的能量吸收率為多少 eV/s？(假設產生之離子對皆被游離腔收集)

(1) 1.65×10^{-14} (2) 1.03×10^5 (3) 6.6×10^{16} (4) 1.32×10^{17}

[解：]

(2)

$$E = \frac{5.0 \times 10^{-16}}{1.6 \times 10^{-19}} \times 33 \text{ eV} = 1.03 \times 10^5$$

5. 高純鍺偵檢器搭配能譜分析主要可用來測量下列何種輻射？

(1) α 粒子 (2) γ 射線 (3) β 粒子 (4) 中子

[解：]

(2)

高純鍺偵檢器主要可以度量加馬射線。

6. 假設一 X 光機每天照射 36 次(設定條件 80 kVp，100 mAs)，若每週工作五天，試計算其工作負載為多少 mA-min/wk？ (1) 100 (2) 200 (3) 300 (4) 400

[解：]

(3)

$$W = (36 \text{ slice/d} \times 100 \text{ mA} \cdot \text{s/slice}) \times 5 \text{ d/wk} = 18000 \text{ mA} \cdot \text{s/wk} = 300 \text{ mA} \cdot \text{min/wk}$$

7. 攝入某放射性同位素，初期劑量率為 $\dot{D}_0$ 。該放射性同位素的物理衰減常數為 λ_p 、生理衰減常數為 λ_B ，經時間 t 後的累積劑量為？

(1) $\dot{D}_0 t$ (2) $\frac{\dot{D}_0}{\lambda_p + \lambda_B}$ (3) $\frac{\dot{D}_0}{\lambda_p + \lambda_B} e^{-(\lambda_p + \lambda_B)t}$ (4) $\frac{\dot{D}_0}{\lambda_p + \lambda_B} (1 - e^{-(\lambda_p + \lambda_B)t})$

[解：]

(4)

8. ${}^{18}_9\text{F} \rightarrow {}^{18}_8\text{O} + {}^0_1\beta + {}^0_0\nu$ 衰變過程中產生的正子(positron)平均能量約為多少 MeV？

(${}^{18}\text{F}$ atomic mass = 18.000937 amu， ${}^{18}\text{O}$ atomic mass = 17.999160 amu)

(1) 1.02 (2) 0.511 (3) 0.63 (4) 0.21

[解：]

(4)

$$\frac{(18.000937 - 17.999160) \times 931.5 - 1.022}{3} = 0.21$$

9. 請問質子、電子和中子三者之質量大小關係何者正確？

- (1)中子>質子>電子 (2)中子=質子=電子 (3)質子>中子>電子 (4)電子>中子>質子

[解：]

(1)

10. 人體器官組織中，下列哪一項對輻射之相對敏感度最高？

- (1)腦部 (2)腦下腺 (3)皮膚 (4)甲狀腺

[解：]

(4)

11. 若以鈷-60 照射 0.1 ml 之硫酸亞鐵水溶液(G value =15.5)後，經計測推估此硫酸亞鐵水溶液被照射了 0.125 mGy 的吸收劑量，則此硫酸亞鐵水溶液產生了多少個 Fe^{3+} 分子？

(硫酸亞鐵水溶液之密度 $\rho=1.024 \text{ g/cm}^3$)

- (1) 6.82×10^9 (2) 1.24×10^{10} (3) 6.25×10^{10} (4) 1.12×10^{11}

[解：]

(2)

G value =15.5 代表經鈷-60 照射後，每吸收 100 eV 能量會有 15.5 個 Fe^{3+} 產生。

假設此硫酸亞鐵水溶液吸收之總能量為 E，則吸收劑量 D:

$$D = \frac{E}{M} = \frac{E(J)}{0.1(\text{cm}^3) \times 1.024(\text{g/cm}^3) \times 0.001(\text{kg/g})} = 1.25 \times 10^{-4} \text{ Gy}$$

$$E = 1.28 \times 10^{-8} \text{ J}$$

故若產生 x 個 Fe^{3+} 則表示吸收之能量：

$$\frac{x}{15.5} \times 100 (\text{eV}) = 6.452x (\text{eV}) \times 1.6 \times 10^{-19} (\text{J/eV}) = (1.032 \times 10^{-18})x (\text{J}) = E$$

$$\Rightarrow x = 1.28 \times 10^{-8} \text{ J} / 1.032 \times 10^{-18} \text{ J} = 1.24 \times 10^{10} (\text{個})$$

12. 某一輻射計測系統，度量一放射樣品 100 秒後，其百分標準差為 5%，試問另需再計測多少秒，其百分標準差方可減少為 2%？(背景計數可忽略)

- (1) 400 (2) 525 (3) 625 (4) 725

[解：]

(2)

$$\frac{\sqrt{N}}{N} = 0.05, \quad \frac{1}{\sqrt{N}} = 0.05, \quad \therefore N = 400$$

$$\therefore \text{計數率} = 400/(100\text{s}) = 4 \text{ cps}$$

$$\text{如百分標準差減少為 2\%，則 } \frac{\sqrt{N}}{N} = 0.02, \quad \frac{1}{\sqrt{N}} = 0.02, \quad N = 2500$$

$$\therefore \text{需時 } T = (2500/4) \text{ s}^{-1} = 625 \text{ s},$$

$$\therefore 625 \text{ s} - 100 \text{ s} = 525 \text{ s} (= 8.75 \text{ min})$$

另需再計測 525 秒

13. 已知 10 MeV 光子與水作用的質量衰減係數為 $0.0222 \text{ cm}^2/\text{g}$ ，每個作用光子平均轉移給水的能量為 7.33 MeV，請問 10 MeV 光子與水作用的質量轉移係數為多少 cm^2/g ？

(1) 0.0083 (2) 0.0107 (3) 0.0138 (4) 0.0163

[解：]

(4)

$$h\nu : \bar{E}_{tr} = \frac{\mu}{\rho} : \frac{\mu_{tr}}{\rho}$$

$$10 : 7.33 = 0.0222 : \frac{\mu_{tr}}{\rho}$$

$$\therefore \frac{\mu_{tr}}{\rho} = 0.0163 \frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$$

14. 某水泥廠使用 ^{60}Co 進行水泥料位檢測，因檢測照射時周邊劑量過高，需將劑量降為原來的 $1/35$ ，若 ^{60}Co 的半值層為 1.2 公分的鉛，在不考慮增建因子下，需增加幾公分的鉛進行屏蔽？ (1) 0.58 (2) 5.19 (3) 6.16 (4) 3.55

[解：]

(3)

$$1/35 = e^{-\mu x} \quad \mu = 0.693/\text{HVL} \quad \mu = 0.5775$$

$$\ln(1/35) = -0.5775x \quad -3.555 = -0.5775x$$

$$x = 6.16$$

15. 單靶一次擊中模型中，受曝露細胞的存活比例(S/S_0)與劑量 D 的關係為 $(S/S_0) = e^{-D/D_0}$ ，當劑量 D 等於 D_0 時，受曝露細胞的死亡比例為多少%？

(1) 25 (2) 37 (3) 50 (4) 63

[解：]

(4)

二、計算問答题：(每題 10 分，共 70 分)

1. 一游離腔之腔壁材料為鋁，腔體中空氣的體積為 6.0 cm^3 ，校正時是在 20°C 、 760 mmHg ，腔壁對於空氣的質量阻擋本領比(relative mass stopping power)為 1.3。今將游離腔置入直線加速器的 X 光輻射場中，測得 1.6 pC ，當下溫度為 20°C 、大氣壓力為 740 mm Hg 。使用 Bragg-Gray 原理，求得的腔壁吸收劑量等於多少 Gy？

[解：]

$$D_{\text{air}} = \frac{1.6 \text{ pC} \times 10^{-12} \frac{\text{C}}{\text{pC}} \times 33.97 \frac{\text{J}}{\text{C}}}{6.0 \text{ cm}^3 \times 0.001293 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times \frac{1}{1000} \frac{\text{kg}}{\text{g}}} \times \frac{273 + 20}{273 + 20} \times \frac{760}{740} = 7.20 \times 10^{-6} \text{ Gy}$$

$$D_{\text{Al}} = 7.20 \times 10^{-6} \times 1.3 = 9.35 \times 10^{-6} \text{ Gy}$$

2. 一工作人員有 10 cm^2 的皮膚受到 3700 Bq 的 ^{32}P 污染，假設皮膚表面 ^{32}P 發射的 β 粒子有 50% 會往下造成皮膚劑量且不會有任何的回散射，50% 會往上不會對皮膚造成劑量，請計算受污染的皮膚劑量率為多少 mGy/h ？

(^{32}P 最大 β -能量 1.71 MeV ，空氣和組織中的貝他吸收係數公式分別為 $\mu_{\beta,a} = 16 (E_m - 0.036)^{-1.4} \text{ cm}^2/\text{g}$ 及 $\mu_{\beta,t} = 18.6 (E_m - 0.036)^{-1.37} \text{ cm}^2/\text{g}$)

[解：]

$$\mu_{\beta,t} = 18.6 (E_m - 0.036)^{-1.37} \text{ cm}^2/\text{g} = 18.6 (1.71 - 0.036)^{-1.37} = 9.18 \text{ cm}^2/\text{g}$$

皮膚表面的 ^{32}P 發射的 β 粒子有半數會往下造成皮膚劑量，半數會往上不會對皮膚造成劑量所以皮膚的劑量轉換因子 $\text{DCF}(^{32}\text{P}, \text{皮膚})$

$$= \frac{1 \frac{\text{Bq}}{\text{cm}^2} \times 1 \frac{\text{tps}}{\text{Bq}} \times 0.5 \times \bar{E} \frac{\text{MeV}}{\text{t}} \times 1.6 \times 10^{-13} \frac{\text{J}}{\text{MeV}} \times 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} \times \mu_{\beta,t} \frac{\text{cm}^2}{\text{g}} \times e^{-\mu_{\beta,t} \frac{\text{cm}^2}{\text{g}} \times 0.007 \frac{\text{g}}{\text{cm}}}}{0.001 \frac{\text{J}}{\text{g}} \frac{\text{Gy}}{\text{Gy}}}$$

$$= \frac{1 \frac{\text{Bq}}{\text{cm}^2} \times 1 \frac{\text{tps}}{\text{Bq}} \times 0.5 \times 1.71 \times \frac{1}{3} \frac{\text{MeV}}{\text{t}} \times 1.6 \times 10^{-13} \frac{\text{J}}{\text{MeV}} \times 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} \times 9.18 \frac{\text{cm}^2}{\text{g}} \times e^{-9.18 \frac{\text{cm}^2}{\text{g}}}}{0.001 \frac{\text{J}}{\text{g}} \frac{\text{Gy}}{\text{Gy}}}$$

$$= 1.41 \times 10^{-6} \frac{\frac{\text{Gy}}{\text{h}}}{\frac{\text{Bq}}{\text{cm}^2}}$$

$$\text{受皮膚污染基底細胞劑量率 } D_b \frac{\text{Gy}}{\text{h}} = \text{DCF} \frac{\text{Gy/h}}{\text{Bq/cm}^2} \times \text{Ca} \frac{\text{Bq}}{\text{cm}^2}$$

$$= 1.41 \times 10^{-6} \frac{\text{Gy/h}}{\text{Bq/cm}^2} \times \frac{3700 \text{ Bq}}{10 \text{ cm}^2} = 5.23 \times 10^{-4} \frac{\text{Gy}}{\text{h}} = 0.523 \frac{\text{mGy}}{\text{h}}$$

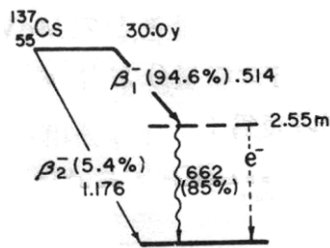
3. 有一工作人員，使用鎘片(^{113}Cd)來屏蔽通量率為 $10^{12} \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 的熱中子束，請問幾天後 ^{113}Cd 原子剩下 90%？ [^{113}Cd 熱中子截面為 20600 邦(b)]

[解：]

$$N = N_0 e^{-\phi \sigma t} \Rightarrow \frac{N}{N_0} = e^{-\phi \sigma t} \Rightarrow 0.9 = e^{-10^{12} \times 20600 \times 10^{-24} \times t} \therefore t = 5.11 \times 10^6 \text{ s} = 59.2 \text{ 天}$$

4. 有一 1 Ci 的 ^{137}Cs 點射源，距離此射源 1.0 m 處有一塊碳物質，已知 662 keV 光子與碳作用的質量吸收係數 $0.00294 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ ，若不考慮貝他及內轉換，請問此塊碳的吸收劑量率($\mu\text{Gy} \cdot \text{s}^{-1}$)？

[解：]



$$\dot{\Psi} = \frac{3.7 \times 10^{10} \frac{1}{\text{s}} \times 85\% \times 0.662 \text{ MeV} \times \frac{1.6 \times 10^{-13} \text{ J}}{1 \text{ MeV}}}{4\pi \cdot (1\text{m})^2} = 2.65 \times 10^{-4} \frac{\text{J}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$\dot{D} = \dot{\Psi} \times \frac{\mu_{\text{ab}}}{\rho} = 2.65 \times 10^{-4} \frac{\text{J}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \times 0.00294 \frac{\text{m}^2}{\text{kg}} = 7.79 \times 10^{-7} \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{s}} = 0.779 \frac{\mu\text{Gy}}{\text{s}}$$

5. 一名輻射工作人員在 30 年工作期間累積了 0.2 戈雷的結腸輻射劑量。若患結腸癌的自發性終生風險為 4.2%，而結腸癌的輻射相對風險(ERR)為每戈雷 0.5。請估算其結腸癌與輻射劑量有關的概率為多少%。

[解：]

$$\text{ERR} = 0.2 \times 0.5 = 0.1$$

$$\text{PC} = \text{ERR} / (1 + \text{ERR}) = 0.1 / 1.1 = 0.09 = 9\%$$

6. 已知 10^{10} 個 100 keV 的光子入射 2.0 cm 厚度的鋁板，其增建因數等於 1.36，請問：

(1) 穿透鋁板後的光子有多少個？(5%)

(2) 其中有多少個是散射光子？(5%)

Material	ρ (g/cm ³)	μ/ρ (cm ² /g)	μ_{en}/ρ (cm ² /g)
Al	2.7	0.171	0.038
Pb	11.3	5.461	7.952

[解：]

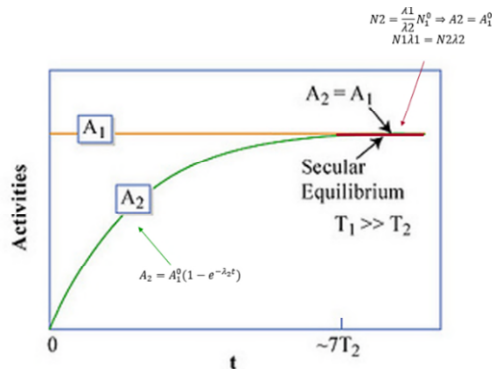
$$(1) N = N_0 \cdot e^{-\frac{\mu}{\rho} \cdot \rho \ell} \cdot B = 10^{10} \cdot e^{-0.171 \frac{\text{cm}^2}{\text{g}} \times 2.7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 2.0 \text{cm}} \times 1.36 = 10^{10} \times 0.4 \times 1.36 = 5.4 \times 10^9$$

$$(2) N' = N_0 \cdot e^{-\frac{\mu}{\rho} \cdot \rho \ell} \cdot (B - 1) = 10^{10} \times 0.4 \times 0.36 = 1.4 \times 10^9$$

7. 有些放射性核種會進行一系列的蛻變，請繪圖並詳細說明連續蛻變中的長期平衡(secular equilibrium)和短暫平衡(transient equilibrium)，並分別寫出這二種平衡計算子核活度的公式。

[解：]

長期平衡(secular equilibrium)：母核半化期極大於子核半化期($T_1 \gg T_2$)即屬於長期平衡，當經過時間超過子核半化期數倍，子核和母核活度會達成平衡。



短暫平衡(transient equilibrium)：母核半化期略比子核半化期長即稱之，當經過時間超過子核半化期數倍，子核和母核活度會達成一定比例關係。

