

核能安全委員會
114 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. 某人甲狀腺($W_T=0.03$)及肺臟($W_T=0.12$)分別接受到 20 mSv 與 10 mSv 的等價劑量，則其有效劑量為多少 mSv？ (1) 0.6 (2) 1.8 (3) 2.4 (4) 3.6

[解：]

(2) $H_E = \sum H_T \times W_T = 20 \times 0.03 + 10 \times 0.12 = 1.8 \text{ (mSv)}$

2. 有一充氣式偵檢器的操作電壓在 900~1200 V 之間，請問這是哪一種輻射偵檢器？

(1)游離腔 (2)蓋格偵檢器 (3)閃爍式偵檢器 (4)光激發光劑量計。

[解：]

(2)

3. 利用水溫變化可用於輻射劑量之度量，試問 0.5 公升水吸收 2 Gy 之劑量時，水溫將上升多少 $^{\circ}\text{C}$ ？ (1 卡 = 4.18 焦耳)

(1) 9.56×10^{-4} (2) 2.39×10^{-4} (3) 2.39×10^{-3} (4) 2.39×10^{-2}

[解：]

(1)

$2\text{Gy} \times [1 / (0.5 \text{ 升})] \times 2.39 \times 10^{-4} \text{ (}^{\circ}\text{C} \cdot \text{升 /Gy)} = 9.56 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}$

4. 用閃爍偵檢器進行輻射計數，為使計數結果的標準差為 2.5%，所需之計數應為多少個？

(1) 625 (2) 1600 (3) 2400 (4) 25000

[解：]

(2)

$\frac{\sqrt{N}}{N} = 0.025, \quad \frac{1}{\sqrt{N}} = 0.025, \quad \therefore N = 1600$

5. 一束截面為 5.0 cm^2 的光子照射在一個空氣游離腔($W=34 \text{ eV/離子對}$)產生帶電粒子，若全部的帶電粒子均被偵檢器吸收，產生 $5.0 \text{ }\mu\text{A}$ 的飽和電流。則光子平均能通量率為何 ($\text{eV cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)？ (1) 3.4×10^{11} (2) 1.5×10^{12} (3) 6.3×10^{13} (4) 2.1×10^{14}

[解：]

(4)

$\#_{\text{ip/s}} = (5 \times 10^{-6} \text{ C/s}) / 1.6 \times 10^{-19} \text{ (C/ip)} = 3.125 \times 10^{13} \text{ (ip/s)}$

平均射束流強度 = $\frac{3.125 \times 10^{13} \left(\frac{\text{ip}}{\text{s}}\right) \times 34 \text{ eV/ip}}{5 \text{ cm}^2} = 2.1 \times 10^{14} \text{ (eV cm}^{-2}\text{s}^{-1}\text{)}$

6. 假如放射性核種活度每小時衰減 1 %，則該核種活度衰減至 1/4 所需時間約為多少小時？ (1) 70 (2) 100 (3) 140 (4) 180

[解：]

(3)

$$\text{解：} 0.99 = e^{-\frac{0.693}{T_{1/2}} \times 1h}, \text{ 雙邊取ln, } 0.01 = \frac{0.693}{T_{1/2}} \times 1h$$

$$\therefore T_{1/2} = \frac{0.693 \times 1h}{0.01} = 69.3 h$$

$$2\text{個 } T_{1/2} = 138.6 h$$

7. 通常電子捕獲(electron capture)發生在哪一電子層的機率最大？

(1) K 層 (2) L 層 (3) M 層 (4) N 層

[解：]

(1)

8. X 光軟片的光密度(OD)為 0.8、1.2 及 2.0，請計算其透光率分別為多少？

(1) 10%、13%、20% (2) 15.8%、6.3%、1% (3) 90%、87%、20% (4) 50%、33%、25%

[解：]

(2)

$$OD = \log \frac{I_0}{I} \Rightarrow 0.8 = \log \frac{I_0}{I} \therefore \frac{I}{I_0} = 15.8\%$$

$$OD = \log \frac{I_0}{I} \Rightarrow 1.2 = \log \frac{I_0}{I} \therefore \frac{I}{I_0} = 6.3\%$$

$$OD = \log \frac{I_0}{I} \Rightarrow 2 = \log \frac{I_0}{I} \therefore \frac{I}{I_0} = 1\%$$

9. 互毀效應產生的光子與物質發生康普吞效應時，其回跳電子最大能量為多少 keV？

(1) 255 (2) 511 (3) 341 (4) 170

[解：]

(3)

$$\text{互毀光子能量} = 0.511 \text{ MeV}$$

$$\alpha = \frac{h\nu}{0.511\text{MeV}} = \frac{0.511\text{MeV}}{0.511\text{MeV}} = 1 \quad ; \quad \theta = 180^\circ$$

$$E = h\nu - h\nu' = h\nu \cdot \frac{\alpha(1 - \cos\theta)}{1 + \alpha(1 - \cos\theta)} = h\nu \cdot \frac{2\alpha}{1 + 2\alpha} = 511 \text{ keV} \times \frac{2}{1 + 2} = 341 \text{ keV}$$

10. 活度為 A 的某同位素，每次蛻變釋出 2 個加馬光子，則在三個半化期($T_{1/2}$)的時間內，共放出多少加馬光子？

(1) $0.36 \times A \times T_{1/2}$ (2) $0.36 \times A / T_{1/2}$ (3) $2.53 \times A \times T_{1/2}$ (4) $2.53 \times A / T_{1/2}$

[解：]

(3)

初始活度 $A = \lambda N_0$ 。經三個半化期原子核數目變為 $N_0/8$ ，蛻變數共

$$\Delta N = N_0 - \frac{N_0}{8} = \frac{7N_0}{8} = \frac{7A}{8\lambda} = \frac{7AT_{1/2}}{8 \ln 2},$$

$$\text{放出加馬光子數 } N_\gamma = 2\Delta N = \frac{7AT_{1/2}}{4 \ln 2} = 2.53AT_{1/2}$$

11. 游離輻射與 DNA 間接作用的媒介為下列何者？

(1) 氫 (2) 水 (3) 自由基 (4) 蛋白質

[解：]

(3)

12. ^{137}Cs 核種蛻變時釋出占 95% 能量為 0.512 MeV 之貝他粒子，形成 $^{137\text{m}}\text{Ba}$ 後釋出 85% 能量為 0.662 MeV 之光子，最終形成穩定態 ^{137}Ba ，試問其內轉換係數(α)為多少？

(1) 0.10 (2) 0.12 (3) 0.16 (4) 0.14

[解：]

(2)

$$\text{解: } \alpha = N_e / N_\gamma = (95-85) / 85 = 0.12$$

13. 假設細胞受到輻射的影響為多靶單次碰撞模式(multitarget, single-hit model)，其細胞存活曲線可寫為 $S = N / N_0 = 1 - (1 - e^{-D/D_0})^5$ ，設此種細胞的平均致死劑量(mean lethal dose)為 2 Gy，求其閾值劑量(threshold dose)為多少 Gy？

(1) 1.4 (2) 2 (3) 3.2 (4) 4

[解：]

(3)

$$S = N / N_0 = 1 - (1 - e^{-D/D_0})^5 \text{ 的漸近直線為 } N / N_0 = 5e^{-D/D_0}。$$

平均致死劑量為 2 Gy，即 $D_0 = 2\text{Gy}$ ；在閾值劑量 D_q ，細胞數 $N(D_q) = N_0$ ，所以

$$N_0 / N_0 = 5e^{-D_q/D_0} = 1, \rightarrow e^{D_q/2} = 5, \rightarrow \text{閾值劑量 } D_q = 2 \ln 5 = 3.2\text{Gy}$$

14. 輻射的急性效應(acute effects)可以簡單分為下列三種，請選出正確的敘述。

A.腸胃道症狀 B.中樞神經系統症狀 C.造血系統症狀

(1)輻射的急性效應主要是指部分身體區域受到大於 1 Gy 的劑量

(2)致死劑量 $B > A > C$

(3)在致死劑量下能存活的天數 $A > C > B$

(4)輻射的急性效應屬於機率效應

[解：]

(2)

15. 使用游離腔作為劑量量測工具，假設游離腔的空腔有效體積為 0.1 cm^3 ，空氣密度為 $1.293 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ ，在荷電粒子平衡(charged particle equilibrium)的情形下，其曝露校正參數(exposure calibration factor) N_x 約為多少 R/C？

(1) 2.5×10^9 (2) 3.2×10^9 (3) 5.4×10^9 (4) 3.0×10^{10}

[解：]

(4)

曝露 $X = \frac{q}{m}$ 。在曝露 1R 下，有效體積 $V_{eff} = 0.1 \text{ cm}^3$ ，質量 $m = 1.293 \times 10^{-4} \text{ g}$ ，測到的電

量 $q = mX = 1.293 \times 10^{-4} \text{ g} \times 1R \times \frac{2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}}{R} \times \frac{\text{kg}}{10^3 \text{ g}} = 3.33 \times 10^{-11} \text{ C}$ ，則 $X = qN_x$ ，→曝露

校正參數 $N_x = \frac{X}{q} = 3 \times 10^{10} \frac{R}{C}$ 。

二、計算問答題：(每題 10 分，共 70 分)

1. 若有 10^{10} 個光子照射在 3 cm 厚度的屏蔽體上，假設該屏蔽體的半值層為 20 cm，試問有多少個光子與此屏蔽體作用？(不考慮增建因數)

[解：]

$$I = 10^{10} \times e^{-(0.693/20) \times 3} = 10^{10} \times 0.9 = 9 \times 10^9$$

與此屏蔽體作用光子數 $= 10^{10} - 9 \times 10^9 = 1 \times 10^9$ 個

2. 以電子輻射為例，簡要解釋下列阻擋本領之意義。

(1) $\bar{S}$ (4%)

(2) $\bar{\bar{S}}$ (3%)

(3) $\bar{\bar{\bar{S}}}$ (3%)

[解:]

$\bar{S}$: 單能量電子的平均阻擋本領。阻擋本領: 帶電粒子每行進單位距離的能量損失。

$\bar{S}^=$: 由單能量光子所產生的連續分布能量電子的平均阻擋本領。

$\bar{S}^{\equiv}$: 由能量為連續分布的光子所產生的連續分布能量電子的平均阻擋本領。

3. 請說明下列關於中子輻射的問題:

(1) 列出兩種產生中子的來源。(2%)

(2) 列出兩種常用於使快中子減速的材料, 並說明其原因。(2%)

(3) 在人體組織中, 慢中子與 ^1H 與 ^{14}N 作用之反應式。(2%)

(4) 某一元素對 0.025 eV 中子的捕獲截面為 753 邦, 則其對 2.5 eV 中子的捕獲截面為何? (請詳列算式) (4%)

[解:]

(1) 核反應器、粒子加速器、 (α, n) 中子源、 (γ, n) 中子源、 (d, n) 中子源、 (p, n) 中子源、Cf-252。

(2) 水、塑膠、石臘、鈹、石墨等等; 其原子序低, 易使快中子減速。

(3) $^1\text{H}(n, \gamma)^2\text{H}$, $^{14}\text{N}(n, p)^{14}\text{C}$

(4) $\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \sqrt{\frac{E_2}{E_1}} \rightarrow \frac{753}{\sigma_2} = \sqrt{\frac{2.5}{0.025}} = 10 \rightarrow \sigma_2 = 75.3$ (邦)

4. 某一輻射作業場所之空氣含 ^{60}Co 與 ^{137}Cs 兩種放射性核種, 其年平均濃度如下表所示。該場所中某輻射工作人員於過去一年劑量佩章每季累積之個人等效劑量Hp(10)分別為1.2 mSv、0.8 mSv、0.9 mSv與1.1 mSv, 該年分別吸入和嚥入 ^{60}Co 與 ^{137}Cs 之活度及其劑量轉換因數如下表所示。

	空氣中平均濃度 (Bq/m ³)	吸入劑量轉換 因數 (Sv/Bq)	嚥入量 (Bq)	嚥入劑量轉換 因數 (Sv/Bq)
^{60}Co	1.0×10^2	1.7×10^{-8}	4.0×10^5	2.5×10^{-9}
^{137}Cs	5.0×10^2	8.6×10^{-9}	1.0×10^6	1.4×10^{-8}

(1) 該輻射工作人員去年之體外曝露年個人等效劑量為多少mSv? (2%)

(2) 年吸入有效劑量為多少mSv? (3%)

(3) 年嚥入有效劑量為多少mSv? (3%)

(4) 該輻射工作人員去年是否超過游離輻射防護安全標準之年有效劑量限值? (2%)

(請詳列算式及說明)

[解:]

(1) 體外曝露年個人等效劑量 $D_{ext} = 1.2 + 0.8 + 0.9 + 1.1 = 4.0 \text{ mSv}$

(2) 輻射工作人員在作業場所，法規假設每年吸入 2400 m^3 之空氣體積，故年吸入有效劑量 E_{inh}

$$\begin{aligned} &= \sum h_{inh} I_{inh} = (1.7 \times 10^{-8} \times 1.0 \times 10^2 + 8.6 \times 10^{-9} \times 5.0 \times 10^2) \times 2400 \\ &= 0.014 \text{ Sv} = 14 \text{ mSv} \end{aligned}$$

(3) 年吸入有效劑量 $E_{ing} = \sum h_{inh} I_{inh} = (2.5 \times 10^{-9} \times 4.0 \times 10^5 + 1.4 \times 10^{-8} \times 1.0 \times 10^6)$
 $= 0.014 \text{ Sv} = 15 \text{ mSv}$

(4) 年總有效劑量 $E = 4 + 14 + 15 = 33 \text{ mSv} < 50 \text{ mSv}$

未超過輻射工作人員單年最高有效劑量 50 mSv 之限值

5. 有一輻射工作人員以厚度為 1 mg/cm^2 塑膠窗的游離腔度量 ^{210}Po 射源， ^{210}Po 的 α 能量為 5.3 MeV ，此 α 粒子在塑膠窗內的射程是 5.1 mg/cm^2 。如果每分鐘有 1200 個來自 ^{210}Po 的 α 粒子進入游離腔後完全沉積能量，請計算 α 粒子造成的游離電流將是多少安培(A)？(假設 α 粒子產生一個離子對需要 35 eV 的能量)

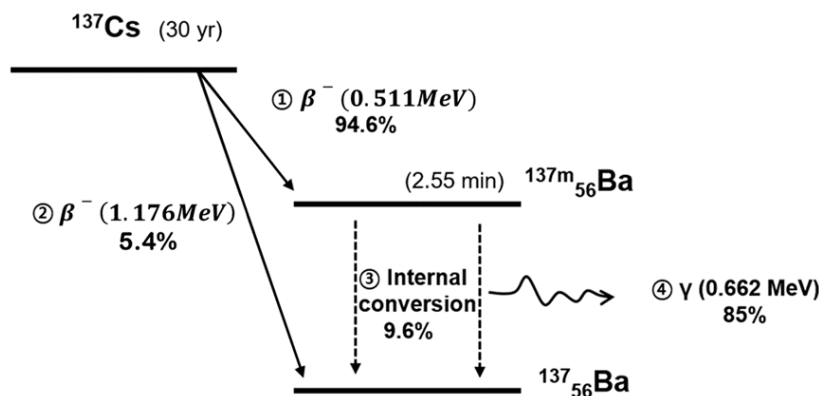
[解:]

穿過 1 mg/cm^2 的窗後， α 粒子剩餘的動能是 $\frac{5.1-1}{5.1} \times 5.3 = 4.25 \text{ MeV}$

α 粒子進入游離腔後每秒鐘產生的離子數 = $\frac{1.2 \times 10^3 \alpha / \text{min} \times 4.25 \times 10^6 \frac{\text{eV}}{\alpha}}{60 \text{ s} / \text{min} \times 35 \text{ eV} / \text{離子}} = 2.43 \times 10^6 \frac{\text{ip}}{\text{s}}$

$$I = \frac{Q}{t} = 2.43 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19} = 3.89 \times 10^{-13} \text{ A}$$

6. 請參考 ^{137}Cs 之衰變圖，估算 100 mCi 之 ^{137}Cs 點射源 1.7 m 處的空氣劑量率(mGy/h)與曝露率(mR/h)。(已知 0.662 MeV 光子在空氣中之 $\frac{\mu_{en}}{\rho} = 0.0027 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$)



[解:]

$$\therefore \dot{D} = \dot{\Psi} \frac{\mu_{en}}{\rho} = \frac{AE}{4\pi d^2} \times \frac{\mu_{en}}{\rho}$$

^{137}Cs 平均每次核轉換(蛻變)中只有85%機率放射一0.662 MeV的 γ 射線，因此，每次蛻變以 γ 輻射方式釋放的平均能量為 $0.85 \times 0.662 \text{ MeV} = 0.563 \text{ MeV}$ 。

$$\begin{aligned} \text{故 } \dot{D} &= \frac{AE}{4\pi d^2} \times \frac{\mu_{en}}{\rho} = \frac{3.7 \times 10^9 \text{ Bq (s}^{-1}) \times 0.563 \text{ MeV} \times 1.6 \times 10^{-13} \frac{\text{J}}{\text{MeV}}}{4\pi \times (1.7 \text{ m})^2} \times 0.0027 \frac{\text{m}^2}{\text{kg}} \\ &= 2.47 \times 10^{-8} \frac{\text{Gy}}{\text{s}} = 8.89 \times 10^{-2} \frac{\text{mGy}}{\text{h}} = 0.0889 \frac{\text{mGy}}{\text{h}} \\ \dot{X} &= \frac{0.0889 \frac{\text{mGy}}{\text{h}}}{0.0088 \frac{\text{mGy}}{\text{mR}}} = 10.1 \frac{\text{mR}}{\text{h}} \end{aligned}$$

7. 如果一個試樣在 5 分鐘內總計數的相對偏差為 2.5%，試問欲將其降低到 0.5%，則總計數時間為多少分鐘？

[解:]

解: 依照帕松分布統計 $= N \pm \sqrt{N}$, $[\sqrt{N} / N] \times 100\% = 2.5$, $[\sqrt{N} / N] = 0.025$,
雙邊平方之, $N/N^2 = 0.0006$, $N = 1600 \text{ counts}$, $1600 \text{ counts}/5\text{min} = 320\text{cpm}$
現在依照題意, $[320/t]^{1/2} / 320 = 0.005$, $[320/t]^{1/2} = 1.6$,
雙邊平方之, $320/t = 2.56$, $\therefore t = 320/2.56 = 125 \text{ min}$