

行政院原子能委員會
107 年度第 1 次「輻射防護員」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. 工作人員距 X 光機 1 公尺處工作 1 小時，接受的劑量為 5 mSv，請問在距 X 光機 2 公尺處工作 4 小時，可能接受之劑量為多少 mSv？ (1) 1.25 (2) 2.5 (3) 5 (4) 10

[解：]

(3)

距離 2m，輻射強度=1/4，工作時間 4 小時，故為 5 mSv

2. 輻射造成染色體變異(如產生雙中節)的影響因素有哪些？ A.輻射種類 B.劑量率
C.性別 D.累積劑量 (1) ABCD (2) ABC (3) ABD (4) BCD

[解：]

(3)

3. 已知同位素 ^{125}I 對某一特定點的初始劑量率為 0.1 mGy/h， ^{125}I 的半化期為 59.4 天，請問該特定點接受此 ^{125}I 連續曝露 6 個月的累積劑量(mGy)？

(1)64 (2) 181 (3) 206 (4) 437

[解：]

(2)

$$D = \frac{D_0}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}) = \frac{0.1 \frac{\text{mGy}}{\text{h}}}{\frac{0.693}{59.4 \text{day}} \times \frac{24 \text{h}}{1 \text{day}}} \times \left(1 - e^{-\frac{0.693}{59.4 \text{day}} \times 182 \text{day}} \right) = 206 \text{mGy} \times 0.88 = 181 \text{mGy}$$

4. 互毀反應是指一個電子與下列何者結合而消失，同時釋出兩個 0.511 MeV 光子？
(1)正子 (2)質子 (3)加馬 (4)中子

[解：]

(1)

5. 將某金屬經中子活化照射一個半化期後，再冷卻兩個半化期，試問其活度為飽和活度的 (1) 1/2 (2) 1/4 (3) 1/8 (4) 1/16

[解：]

(3)

假設飽和活度為 A

$$A \cdot (1 - e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} T_{1/2}}) \cdot (1/2)^2 = A \cdot (1 - \frac{1}{2}) \cdot (1/4) = (1/8) \cdot A$$

6. 下列何者為 Fricke 化學劑量計的特性？ (1)適於低劑量輻射度量 (2)需要事先以標準劑量校正 (3)輻射反應易受溶液之溶氧量影響 (4)反應之試樣可長久保存

[解：]

(3)

7. 在相對生物效應(Relative Biological Effectiveness, RBE)與直線能量轉移(Linear Energy Transfer, LET)的關係圖中，首先 RBE 會隨著 LET 的增加而增加，約多少 keV/μm 之後，RBE 反之會隨 LET 增加而下降？

(1) 100 (2) 150 (3) 200 (4) 250

[解：]

(1)

8. 輻射曝露所造成的皮膚紅斑是屬於： (1)確定效應 (2)機率效應 (3)激效效應 (4)遺傳效應

[解：]

(1)

9. 高純鍺偵檢器為： (1)閃爍偵檢器 (2)半導體偵檢器 (3)熱發光劑量計 (4)充氣式偵檢器

[解：]

(2)

10. 鉛對某一能量加馬射線的半值層厚度為 2 mm，現欲將此輻射強度衰減至原來的一萬分之一，至少需要幾 cm 鉛(不考慮增建因數)？ (1) 2.66 (2) 4.11 (3) 1.25 (4) 3.27

[解：]

(1)

答: $I = I_0 e^{-\mu x}$, $1 \times 10^{-4} = e^{-\mu x}$, $9.21 = (0.693 \times x) / 0.2 \text{cm}$, $x = 2.66 \text{ cm}$

11. 某 NaI(Tl)偵測器測量 ^{137}Cs 能譜，其全能峰處之全寬半高(FWHM) 為 35 keV，則該偵測器的能量解析度為多少%？ (1) 5.3 (2) 4.6 (3) 10 (4) 16

[解：]

(1)

$$35 \text{ keV} / 662 \text{ keV} = 0.0529$$

12. 入射光子能量至少要大於多少 MeV 才會發生成對發生效應？

- (1) 0.155 MeV (2) 0.255 MeV (3) 0.511 MeV (4) 1.022 MeV

[解：]

(4)

13. ${}^{13}_7\text{N} \rightarrow {}^{13}_6\text{C} + \beta^+ + \nu$ 蛻變過程中產生正貝他粒子的最大能量為多少 MeV？(${}^{13}\text{N}$ atomic

mass = 13.0057388 amu, ${}^{13}\text{C}$ atomic mass = 13.0033551 amu, 電子靜止質量 = 5.48×10^{-4} amu, 1 amu 之能量為 931.5 MeV) (1) 2.22 (2) 1.71 (3) 1.20 (4) 0.60

[解：]

(3)

${}^{13}\text{N}$ 原子有 7 個電子、 ${}^{13}\text{C}$ 原子有 6 個電子。

反應前 ${}^{13}\text{N}$ 原子核質量 $m_N = 13.0057388 - 7m_0$ 、反應後 ${}^{13}\text{C}$ 原子核質量

$m_C = 13.0033551 - 6m_0$ ，減少的質量

$$\Delta m = 13.0057388 - 7m_0 - (13.0033551 - 6m_0 + m_0) = 0.0023837 - 2m_0 = 0.0012877 \text{ amu} ,$$

$$E = \Delta mc^2 = 0.0012877 \times 931.5 = 1.20 \text{ MeV}$$

14. 急性輻射曝露中所用的 LD_{50/30} 評估，代表下列何者？

(1) 表示在 30 天內 50% 的受曝者致死的平均劑量

(2) 表示在 50 天內 30% 的受曝者致死的平均劑量

(3) 表示在 30 天內 50% 的受曝者復原的平均劑量

(4) 表示在 50 天內 30% 的受曝者存活平均劑量

[解：]

(1)

15. 下列熱發光劑量計材料，何者與人體組織的有效原子序最為接近？

- (1) CaSO₄ (2) CaF₂ (3) LiF (4) Li₂B₄O₇

[解：]

(4)

$$\text{有效原子序 } \bar{Z} = \sqrt[3.5]{\sum_{i=1}^n a_i Z_i^{3.5}}$$

人體軟組織的有效原子序約 7.6

CaSO₄ 的有效原子序：15.3

CaF₂ 的有效原子序：16.6

$$\text{LiF 的有效原子序：} a_{Li} = \frac{3}{3+9} = 0.25, a_F = \frac{9}{3+9} = 0.75,$$

$$\bar{Z} = \sqrt[3.5]{0.25 \times (3)^{3.5} + 0.75 \times (9)^{3.5}} = \sqrt[3.5]{11.69 + 1640} = 8.31$$

$$\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7 \text{ 的有效原子序：} a_{Li} = \frac{6}{6+20+56} = 0.0732, a_B = \frac{20}{6+20+56} = 0.244, a_O = \frac{56}{6+20+56} = 0.683$$

$$\bar{Z} = \sqrt[3.5]{0.0732 \times (3)^{3.5} + 0.244 \times (5)^{3.5} + 0.683 \times (8)^{3.5}} = \sqrt[3.5]{3.42 + 68.2 + 989} = 7.32$$

二、計算問答題：(每題 10 分，共 70 分)

1. 某工作人員在距 X 光機 1 公尺處工作 1 小時所接受的劑量為 5 mSv，請問在距 X 光機 2 公尺處工作 2 小時，可能接受的劑量為多少 mSv？

[解：]

$$(1/4) \times 2 \times 5 = 2.5$$

2. 實驗室中有蓋革計數器、液態閃爍計數器、高純度鍍半導體偵檢器 (HPGe)、井型碘化鈉閃爍計數器、游離腔、熱發光劑量計 (TLD)。試問下列的兩種情況選用哪一種儀器最合適，您的理由和依據是甚麼，請簡述之？

(1) 要量測可能不小心接受放射污染之工作人員尿中氚 (³H) 的濃度？

(2) 要監測工作人員近一個月來皮膚所受劑量是否超過法規限值？

[解：]

(1) 液態閃爍計數器。適合於偵測弱的貝他發射體核種，如 ³H 及 ¹⁴C，且這些核種是有機分子最常用的示蹤劑。因 ³H 為 pure β⁻ emitter，僅釋出低能量貝他粒子，無加馬射線釋出，且低能量貝他粒子較不具穿透性，在前述儀器設備中僅液態閃爍計數器較合適。

(2) 熱發光劑量計。因只有熱發光劑量計可以直接量測累積劑量，故要監測工作人員的近一個月來皮膚所受累積劑量，最適宜使用熱發光劑量計。

3. 何謂直接游離輻射和間接游離輻射，請說明之？(10%)

[解：]

國際輻射單位與度量委員會 (ICRU, 1971) 對游離輻射推薦了一些術語，其重點在於帶電粒子和非帶電粒子與物質相互作用之間的差別方面。

1. 直接游離輻射：帶電粒子沿其粒子路徑，透過多次庫侖力相互作用，把它們的能量直接授予物質。

2. 間接游離輻射：X- 或 γ 射線光子或中子 (即非帶電粒子) 在它們穿越物質時，以極少次數之相互作用，先把它們的能量轉移給帶電粒子，之後，產生出來的這些帶電粒子，又把該能量授予上述物質。

4. 一參考人全身均勻接受 3.7×10^7 中子/($\text{cm}^2 \cdot \text{s}$)熱中子照射，試計算人體構成元素氮(N)吸收熱中子產生 $^{14}\text{N}(n, p)^{14}\text{C}$ 核反應所造成的 (1)吸收劑量率 mGy/h，及(2)有效劑量率 mSv/hr 各為多少？[N 吸收熱中子截面 = 1.75 barn，該反應釋出能量 $Q = 0.63 \text{ MeV}$ ，人體 N 含量約為 $1.49 \times 10^{24} \text{ N/kg}$]

[解：]

$$\begin{aligned} (1) D &= [3.7 \times 10^7 \text{ 中子}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})] \times (1.75 \times 10^{-24} \text{ cm}^2) \times 1.49 \times 10^{24} \text{ N/kg} \\ &\quad \times (0.63 \text{ MeV}/\text{中子}) \times (3600 \text{ s/hr}) \times (1.6 \times 10^{-13} \text{ J/MeV}) \\ &= 3.5 \times 10^{-2} \text{ Gy/hr} \\ &= 35 \text{ mGy/hr} \\ (2) E &= (35 \text{ mGy/hr}) \times 5 \times 1 = 175 \text{ mSv/hr} \end{aligned}$$

5. 請解釋何謂克馬(kerma, K)？

[解：]

克馬是不帶電游離粒子與物質相互作用時，在單位質量的物質中產生的帶電粒子的初

始動能的總和，定義為 dE_{tr} 除以 dm 所得的商，即 $K = \frac{dE_{tr}}{dm}$

其中， dE_{tr} 是不帶電游離粒子在特定物質的體積內，被游離釋放出來的所有帶電粒子的初始動能的總和； dm 為所考慮的體積內物質的質量。克馬 K 的單位： $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ (或 Gy)。

6. 不考慮增建因數， 10^4 個 1 MeV 光子與穿過 5 mm 鋁片 ($\rho = 2.69 \text{ g/cm}^3$) 後，約穿透多少光子？($\frac{\mu}{\rho} = 0.0613 \text{ cm}^2/\text{g}$)

[解：]

$$\begin{aligned} \mu &= 0.0613 \times 2.69 = 0.165 \text{ cm}^{-1} \\ N &= N_0 e^{-\mu x} = 10^4 e^{-0.165 \times 0.5} = 9208 \end{aligned}$$

7. 一個 1.85 GBq 純貝他射源，(其 β 粒子最大能量為 0.961 MeV，平均能量為 0.315 MeV)，被封裝在鉛($Z=82$)屏蔽內，該屏蔽體的厚度剛好能吸收所有的 β 粒子。
- (a) 試估計在 50 cm 遠處的一點由於制動輻射的能通量率($\text{MeV}/\text{cm}^2 \cdot \text{秒}$)。
- (b) 為了評估潛在的輻射危害，假設光子能量為 0.961 MeV，試估計在該點的制動輻射光子通量率(光子/ $\text{cm}^2 \cdot \text{秒}$)。(貝他射線產生制動輻射的產率 $f_{\beta} = 3.5 \times 10^{-4} \cdot Z \cdot E_{\text{MAX}}$)

[解：]

$$\begin{aligned} (a) \text{ 產生制動輻射的產率 } f_{\beta} &= 3.5 \times 10^{-4} \times Z \times E_{\text{MAX}} = 3.5 \times 10^{-4} \times 82 \times 0.961 \\ &= 2.76 \times 10^{-2} \end{aligned}$$

$$\text{能通量率}(\text{MeV}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}) = (1.85 \times 10^9 \text{ 蛻變}/\text{秒}) \times 2.76 \times 10^{-2} \text{ 光子}/\text{蛻變} \times 0.315$$

$$\begin{aligned} & \text{MeV/光子} / (4 \times 3.1416 \times 50 \times 50 \text{ cm}^2) \\ &= (1.6084 \times 10^7 \text{ MeV/秒}) / (3.1416 \times 10^4 \text{ cm}^2) \\ &= 512 \text{ MeV/cm}^2 \cdot \text{秒} \end{aligned}$$

(b) 為輻射安全之故，假設光子能量為 0.961 MeV，

$$\therefore (512 \text{ MeV/cm}^2 \cdot \text{秒}) / (0.961 \text{ MeV/光子}) = 533 \text{ 光子/cm}^2 \cdot \text{秒}$$