

行政院原子能委員會
111 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. 有一 0.5 公斤的腫瘤以直線加速器照射 X 射線，使該腫瘤吸收了 10 焦耳能量，請問該腫瘤所接受的吸收劑量為多少 Gy? (1) 0.05 (2) 5 (3) 10 (4) 20

[解:]

(4)

$$\text{吸收劑量} = \text{吸收之能量} / \text{腫瘤質量} = 10 \text{ J} / 0.5 \text{ kg} = 20 \text{ J/kg} = 20 \text{ Gy}$$

2. 在細胞週期中，下列哪個時期對輻射最敏感? (1) G₀ (2) G₁ (3) G₂ (4) S

[解:]

(3)

3. 若使用 250 keV 之 X 射線照射某細菌的致死劑量為 120 Gy，而使用 10 MeV 的中子照射該細菌致死的相對生物效能(relative biological effectiveness, RBE)值為 12，則 10 MeV 的中子照射該細菌的致死劑量為多少 Gy? (1) 0.25 (2) 10 (3) 480 (4) 1440

[解:]

(2)

$$120 / 12 = 10 \text{ Gy}$$

4. 某工作人員可能受到 ³H 的污染，今以液態閃爍偵檢器對他的尿液進行分析。已知此偵檢器對 ³H 的貝他偵測效率為 90%，度量尿液量 5 cm³，偵測時間為 30 分鐘，結果顯示淨計數(net counts)為 8100 counts，請問工作人員尿液中 ³H 的活度濃度(Bq/cm³)?

(1) 0.5 (2) 1.0 (3) 1.5 (4) 2.0

[解:]

(2)

$$\frac{8100 \text{ counts} \times \frac{1 \text{ decay}}{0.9 \text{ count}}}{30 \text{ min} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}} = \frac{5 \text{ Bq}}{5 \text{ cm}^3} = 1 \frac{\text{Bq}}{\text{cm}^3}$$

5. 輻射造成的不孕症是屬於下列何者?

(1) 機率效應 (2) 確定效應 (3) 旁效應 (4) 蝴蝶效應

[解:]

(2)

6. ^{137}Cs 點射源，其活度為 10 Ci， γ 能量為 0.662 MeV (85%)，在 2 公尺處 1 小時的能通量約為多少 J/m^2 ？ (1) 6.64×10^{-4} (2) 0.112 (3) 2.39 (4) 1.49×10^{13}

[解：]

(3)

$$\Psi = \phi E = \frac{A t f}{4\pi r^2} E$$
$$= \frac{10 \times 1 \times 0.85}{4\pi \times 2^2} \times 0.662 \frac{\text{Ci} \cdot h \text{ MeV}}{\text{m}^2 \text{ ph}} \times 3.7 \times 10^{10} \frac{\text{ph/s}}{\text{Ci}} \times 3600 \frac{\text{s}}{h} \times \frac{1.6 \times 10^{-13} \text{ J}}{\text{MeV}} = 2.39 \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$$

7. 在同一原子中，下列哪一個奧杰 (Auger) 電子的動能最大？

(1) KLL (2) KLM (3) LMM (4) LMN

[解：]

(2)

8. 關於半導體偵檢器 PN junction 的描述下列何者錯誤？

- (1) 可自行產生接觸電位(contact potential)
(2) 為了用於輻射偵檢，常加逆向偏壓(reverse bias)
(3) 空乏區(depleted region)中的電阻很低、導電率很高
(4) 為了增加輻射偵檢的效率，常加大空乏區(depleted region)

[解：]

(3)

空乏區(depleted region)中的電阻很高、導電率很低

9. 關於鍺(鋰)偵檢器，下列何者敘述錯誤？

- (1) 必須保持在液態氮的環境溫度下 (2) 在相同體積條件下，對相同能量光子的偵檢效率低於矽(鋰)偵檢器 (3) 在相同體積條件下，對 γ 的能量解析度優於 NaI(Tl)閃爍偵檢器 (4) 在相同體積條件下，對 γ 的偵檢效率低於 NaI(Tl)閃爍偵檢器

[解：]

(2)

在相同體積條件下，鍺(鋰)偵檢器對相同能量光子的偵檢效率高於矽(鋰)偵檢器。

10. 鋰(Li)的原子量為 6.941，它有兩種天然同位素： ^6Li 與 ^7Li ，其原子量分別為 6.015 和 7.016，試問 ^7Li 的豐度為多少%？ (1) 87.3 (2) 87.6 (3) 91.2 (4) 92.5

[解：]

(4)

$$\text{設 } ^7\text{Li} \text{ 的豐度為 } \chi, \text{ 則 } 6.015(1-\chi) + 7.016\chi = 6.941,$$
$$\chi = 0.926/1.001 = 0.925 = 92.5\%$$

11. 在體內劑量的評估中，當源器官等於靶器官且器官形狀為圓球時，下列敘述何者錯誤？
- (1) 射源為光子時，光子能量越高，源器官造成靶器官的吸收分率越小
 - (2) 射源為低能電子時，源器官造成靶器官的吸收分率趨近於 1
 - (3) 射源為重帶電粒子時，源器官造成靶器官的吸收分率趨近於 1
 - (4) 射源為光子時，器官體積越大，源器官造成靶器官的吸收分率越小

[解：]

(4)

器官體積越大，源器官造成靶器官的吸收分率越大(自吸收愈顯著)。

12. 已知 Cs-137 的曝露率常數(Γ)為 $3.4 \text{ R}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{mCi}^{-1}$ ，鉛對 Cs-137 加馬射線的直線衰減係數為 1.12 cm^{-1} 。若不考慮增建因子，今有一活度為 2 居里的 Cs-137 密封射源，欲將距離射源 0.6 公尺之曝露率降至 $0.5 \text{ R}\cdot\text{h}^{-1}$ 需加多少公分的鉛？

- (1) 0.6
- (2) 1.2
- (3) 1.8
- (4) 2.4

[解：]

(2)

$$\text{沒有鉛的}\dot{X} = 3.4 \frac{\text{R}\cdot\text{cm}^2}{\text{mCi}\cdot\text{h}} \cdot 2000 \text{ mCi} \cdot \frac{1}{(60 \text{ cm})^2} = 1.89 \frac{\text{R}}{\text{h}}$$

$$\text{阻擋的比例} = \frac{0.5}{1.89} = e^{-1.12 \frac{1}{\text{cm}} \cdot x(\text{cm})}$$

$$x = \frac{\ln\left(\frac{0.5}{1.89}\right)}{-1.12} = 1.19 \text{ cm}$$

13. 下列何者材料於相同厚度下，屏蔽 X 光或加馬射線的效果最好？

- (1) 水
- (2) 木板
- (3) 鉛板
- (4) 混凝土

[解：]

(3)

14. 能量為 2 MeV 的光子射束與 500 公克的物質作用後，轉移 0.75 焦耳的能量給游離電子，其中 0.3 焦耳的能量被物質吸收，則克馬為何？

- (1) 1 Sv
- (2) 1.5 Sv
- (3) 1 Gy
- (4) 1.5 Gy

[解：]

(4) 1.5 Gy

$$0.075 \text{ J} / 0.5 \text{ kg} = 1.5 \text{ J/kg} = 1.5 \text{ Gy}$$

15. 已知 ^{197}Au 對於熱中子(thermal neutron)的吸收截面為 99 邦(b)，請問 ^{197}Au 對動能為 10 eV 中子的吸收截面為何？ (1) 0.248 b (2) 0.495 b (3) 4.95 b (4) 49.5 b

[解：]

(3)

$$\frac{\sigma_{10\text{eV}}}{\sigma_{0.025\text{eV}}} = \sqrt{\frac{0.025}{10}} = 0.05$$

$$\therefore \sigma_{10\text{eV}} = 99\text{b} \times 0.05 = 4.95\text{b}$$

二、計算問答題：(每題 10 分，共 70 分)

1. 一個 10 keV 的阿伐粒子在 0.1 g 的組織中沉積其所有的能量，請問：

(1) 此組織的吸收劑量為多少 Gy？(2) 等價劑量為多少 Sv？

[解：]

(1)

$$D = \frac{10 \text{ keV} \times 1.6 \times 10^{-16} \frac{\text{J}}{\text{keV}}}{0.1 \text{ g} \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{g}}} = 1.6 \times 10^{-11} \text{ Gy}$$

(2)

$$H = D \times W_R = 1.6 \times 10^{-11} \times 20 = 3.2 \times 10^{-10} \text{ Sv}$$

2. 以碘化鈉(鉍)閃爍偵檢器測量 ^{137}Cs 的能譜，請問(1)全能峰(full-energy peak)和(2)康普吞邊緣(Compton edge)的能量位置為多少 keV？

[解：]

(1) ^{137}Cs 衰變時釋出 662 keV 的光子，所以全能峰為 662 keV。

(2) 發生康普吞作用在 180 度散射角度時，散射電子獲得最大的能量，此能量即為 Compton edge。所以 Compton edge 等於

$$h\nu - h\nu' = h\nu - \frac{h\nu}{1 + \frac{h\nu}{511 \text{ keV}}(1 - \cos 180^\circ)} = 662 - \frac{662}{1 + \frac{662}{511} \cdot 2} = 478 \text{ (keV)}$$

3. 一光子射束穿透水假體，當其厚度為 3 公分時，穿過之光子通量為 3×10^{10} 光子/cm²，當其厚度為 5 公分時，穿過之光子通量為 6×10^9 光子/cm²，若不考慮散射及二次光子，試求：(1) 光子在水假體內之直線衰減係數為多少？(2) 此光子在水中的平均自由路徑(mean free path)為多少？

[解：]

(1)

$$3 \times 10^{10} = N_{3\text{cm}} = N_0 e^{-\mu \ell_3} = N_0 e^{-\mu \cdot 3}$$

$$6 \times 10^9 = N_{5\text{cm}} = N_0 e^{-\mu \ell_5} = N_0 e^{-\mu \cdot 5}$$

$$\text{二式相除得 } 5 = \frac{e^{-\mu \cdot 3}}{e^{-\mu \cdot 5}} = e^{2\mu}, \text{ 即 } 2\mu = \ln 5$$

$$\therefore \mu = \frac{\ln 5}{2} = 0.805 \text{ cm}^{-1}$$

$$(2) \text{ 平均自由路徑} = 1/\mu = 1/0.805 = 1.24 \text{ cm}$$

4. 若電子的速度為光速的 0.8 倍，試問：(1)此時電子的質量為多少 amu？ (2)電子的動能為多少 MeV？

[解：]

電子靜止時質量為 0.00055 amu

$$(1) m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - 0.8^2}} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - 0.64}} = 1.67 m_0 = 1.67 \times 0.00055 u = 0.00092 \text{ amu}$$

$$(2) E_K = mc^2 - m_0 c^2 = (1.67 - 1)m_0 c^2 = 0.67 \times 0.511 \text{ MeV} = 0.342 \text{ MeV}$$

5. 請說明(1) γ 射線及 (2) β 粒子輻射之屏蔽考量。

[解：]

(1) γ 射線屏蔽物質的原子序愈大、密度愈大，屏蔽效果愈好，鉛、鐵、混凝土等是良好的屏蔽材料，其中鉛是屏蔽 γ 射線最常用的材料。

(2) β 粒子之屏蔽物質及厚度，決定於：

- 屏蔽物質的原子序必須很小，以減少制動輻射的產生。且屏蔽物質的厚度必須大於 β 粒子的最大射程，以完全阻擋 β 粒子。

- 欲有效衰減所產生之制動輻射的量應使用高原子序物質屏蔽。

故屏蔽 β 粒子時宜在內層先用較低原子序數(Z)物質以完全阻擋 β 粒子，其後再於外層以高原子序物質阻擋 β 粒子產生之制動輻射的影響。

6. NaI 的密度為 3.67 g/cm^3 ，對 500 keV 光子的質量衰減係數為 $0.09 \text{ cm}^2/\text{g}$ 。試問：

(1) 其直線衰減係數為多少？

(2) 此入射光子有多少百分比會在 3 cm 厚的 NaI 晶體中作用？

[解：]

$$(1) \mu = \rho(\mu/\rho) = 0.09 \times 3.67 = 0.33 \text{ cm}^{-1}$$

$$(2) (1 - e^{-\mu x}) = (1 - e^{-0.33 \times 3}) = (1 - 0.372) = 62.8 \%$$

7. 某一非破壞檢測業者使用之放射性物質每週衰減 2% ，則

(1) 該放射性物質的半化期與平均壽命約為多少天？

(2) 若該放射性物質的活度衰減至原來的 2% 即不符使用需求，則其自新購(活度為 100%)起算，共可使用多少天？

[解：]

$$(1) A/A_0 = e^{-\lambda t} \text{ 當 } t=7 \text{ 天, } A/A_0=0.98 = e^{-7\lambda}, \text{ 即 } \ln 0.98 = -7\lambda,$$

$$\text{故此放射性物質之衰變常數 } \lambda = 2.89 \times 10^{-3} \text{ (天}^{-1}\text{)}$$

$$\text{半化期} = 0.693/\lambda = 0.693/(2.89 \times 10^{-3}) \text{ (天)} = 240.1 \text{ 天}$$

$$\text{平均壽命} = 1/\lambda = 346.5 \text{ 天}$$

(2) 若活度衰減至原來的 2% 的時間為 T ，則

$$A/A_0 = e^{-\lambda T}, \quad A/A_0 = 0.02 = e^{-0.00289 \times T}, \text{ 即 } \ln 0.02 = -0.00289 T,$$

$$\text{故可使用時間 } T = 1353.6 \text{ 天}$$