

行政院原子能委員會
109 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. 某人的甲狀腺(組織加權因數 $W_T=0.05$)及肺($W_T=0.12$)分別受到 10 及 20 毫西弗的等價劑量，其餘器官未受曝露，則此人所接受的有效劑量為多少毫西弗？
(1) 0.8 (2) 1.7 (3) 2.2 (4) 2.9

[解：]

(4)

$$\text{有效劑量} = 10 \times 0.05 + 20 \times 0.12 = 0.5 + 2.4 = 2.9 \text{ (mSv)}$$

2. 已知動能為 200 MeV 的質子照射某細胞之致死劑量為 5 Gy，而使用 250 keV 之 X 射線照射該細胞的致死劑量為 20 Gy，則 200 MeV 質子的相對生物效應 (relative biological effectiveness, RBE)值為何？ (1) 0.25 (2) 1.25 (3) 4.0 (4) 10

[解：]

(3)

說明：

$$\text{RBE} = \frac{D_{250\text{kV}}}{D_{\text{proton}}} = \frac{20\text{Gy}}{5\text{Gy}} = 4.0$$

3. 距離 20 mCi 的鈷 60 射源 10 米處工作 5 小時，約接受多少毫倫琴(mR)的曝露量($\Gamma=1.307 \text{ R m}^2 \text{ Ci}^{-1} \text{ h}^{-1}$)？ (1) 0.13 (2) 0.26 (3) 1.30 (4) 2.62

[解：]

(3)

$$X = \Gamma A / d^2 = 1.307 \text{ (R m}^2/\text{h-Ci)} \times 0.02 \text{ (Ci)} / 10^2 \text{ (m}^2) = 2.6 \times 10^{-4} \text{ R/h} = 0.26 \text{ mR/h}$$

$$\text{工作 5 小時約接受 } 0.26 \text{ mR/h} \times 5\text{h} = 1.30 \text{ mR}$$

4. 針對一體積非常大的貝他射源，其射源表面的劑量近似於？

(1) 0 (2) 射源中心劑量的一半 (3) 射源中心劑量 (4) 射源中心劑量的兩倍

[解：]

(2)

無限厚(厚度 \geq 貝他射程)之貝他體射源，其表面僅會受到一面照射，因此其表面劑量率約為中心劑量率的一半。

5. 10 MeV 加馬射線的回散射峰 (backscattering peak) 能量最接近下列何者？

- (1) 256 keV (2) 512 keV (3) 1024 keV (4) 1536 keV

[解：]

(1)

回散射峰的產生來自康普吞效應的回散射光子($\theta=180^\circ$)，根據康普吞散射公式：

$$hv' = \frac{hv}{1 + (hv/m_0c^2)(1 - \cos\theta)}$$

$$\theta = 180^\circ, hv' = \frac{hv}{1 + 2hv/m_0c^2}$$

$$hv \gg m_0c^2/2, hv' \cong \frac{m_0c^2}{2}$$

當光子能量很大時(或 $hv \gg m_0c^2/2$)，散射光子能量趨近於 $m_0c^2/2 = 256 \text{ keV}$ ，意即回散射峰的能量都低於 256 keV，故選擇(1)最為適當。

6. 在光子會衰減的情況下，10 MV 的 X 光入射水物質，請問在深度 1.0 公分處 (位於劑量增建區內)，Kerma 與 Dose 的關係為何？

- (1) Kerma > Dose (2) Kerma < Dose (3) Kerma = Dose (4) 不一定

[解：]

(1)

10 MV 的 X 光其最大劑量深度為 2.5 公分

深度 1.0 公分處，位於劑量增建區內，所以 Kerma > Dose

7. 攝入放射性碘通常會累積在人體內何種器官？ (1)腦 (2)骨 (3)肺 (4)甲狀腺

[解：]

(4)

8. 某放射性核種每小時衰減掉 1%，則該核種的半化期大約為多少小時？

- (1) 0.15 (2) 1.5 (3) 50 (4) 69

[解：]

(4)

$$\text{每小時衰減 } 1\% \Rightarrow \text{每小時尚存 } 99\% \Rightarrow \frac{A}{A_0} = e^{-\lambda \cdot 1 \text{小時}} \Rightarrow \lambda = -\ln(0.99) (\text{小時}^{-1})$$

$$\Rightarrow t_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} = \frac{0.693}{-\ln 0.99} \cong 69 (\text{小時})$$

9. 一般常利用輻射強度 K 值來設計 X 光裝置的屏蔽，關於 K 值的計算，下列何者正確？

- A. 與工作負荷 W 值成正比 B. 與占用因數 T 值成正比
C. 與使用因數 U 值成反比 D. 與最大許可曝露率 P 值成正比

- (1) AB (2) BC (3) CD (4) AD

[解:]

(3)

$$K = \frac{Pd^2}{WUT}$$

10. 原子內產生之特性 X 射線與原子外層軌道電子作用後，游離出之電子稱為：

(1)康普吞電子 (2)內轉換電子 (3)鄂惹(Auger)電子 (4)貝他粒子

[解:]

(3)

11. 游離輻射對細胞的間接效應係由於輻射與何種分子作用所致？

(1)脂肪 (2)蛋白質 (3)葡萄糖 (4)水

[解:]

(4)

12. 下列哪些衰變所產生的子核，其原子序數比母核小？

A. 電子捕獲 B. 阿伐衰變 C. 同質異能遞移 (isomeric transition) D. β^+ 衰變

E. β^- 衰變 (1) ABC (2) ABD (3) BCD (4) BDE

[解:]

(2) 電子捕獲、阿伐衰變、 β^+

13. 某非破壞檢測公司購入工業用 ^{192}Ir 射源 (半化期：74 天) 768 GBq，若此射源在衰變成 6 GBq 以前都可用來檢查，請問此射源約可使用多少天？

(1) 128 (2) 256 (3) 518 (4) 592

[解:]

(3)

$$\frac{6}{768} = \frac{1}{128} = \frac{1}{2^7} \quad , \text{約 7 個半衰期} = 74 \times 7 = 518 \text{ 天}$$

14. 若計數樣品與背景可利用時間共 20 分鐘，初步得到背景值約 25 cpm，樣品約 225 cpm，為使統計誤差最小，樣品計測約需分配多少時間？

(1) 30 分鐘 (2) 20 分鐘 (3) 15 分鐘 (4) 10 分鐘

[解:]

(3)

$$\frac{t_s}{t_b} = \sqrt{\frac{A_s}{A_b}} = \sqrt{\frac{225}{25}} = 3$$

$$t_s = 3t_b$$

$$t_s + t_b = 4t_b = 20 \text{ min}$$

$$t_b = 5 \text{ min}$$

$$t_s = 15 \text{ min}$$

15. 662 keV 的光子與鉛作用，請問不會發生下列何種作用？

(1)光電效應(photoelectric effect) (2)合調散射(coherent scattering)

(3)康普吞散射(Compton scattering) (4)成對產生(pair production)

[解：]

(4)

二、計算問答題：(每題 10 分，共 70 分)

1. 已知 5 MeV 的光子與氫及氧作用的質量衰減係數分別為 0.0505 cm²/g 及 0.0278 cm²/g，試求 5 MeV 光子束在水中之：(a)質量衰減係數 (b)平均射程 (c)半值層

[解：]

$$(a) \text{質量衰減係數 } \frac{\mu}{\rho} = \frac{2}{18} \times 0.0505 + \frac{16}{18} \times 0.0278 = 0.0303 \frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$$

$$(b) \text{平均射程 } \bar{R} = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{0.0303 \times 1} = 33.0 \text{ cm}$$

$$(c) \text{半值層 } HVL = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{\ln 2}{0.0303 \times 1} = 22.9 \text{ cm}$$

2. C-14 射源放出的 β 粒子平均能量為 0.0495 MeV，若一個 100 g 的軟組織中，

C-14 的活度為 2.40 × 10⁵ Bq，請計算：

(a) C-14 每秒放出的平均能量為多少 J？ (b)在此組織中的平均劑量率為多少 Gy/s？

[解：]

$$(a) 2.40 \times 10^5 \frac{1}{s} \times 0.0495 \text{ MeV} \times \frac{1.6 \times 10^{-13} \text{ J}}{1 \text{ MeV}} = 1.9 \times 10^{-9} \frac{\text{J}}{s}$$

$$(b) \dot{D} = 2.4 \times 10^5 \times 0.0495 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19} / 0.1 = 1.9 \times 10^{-8} \text{ Gy/s}$$

3. 人體中含天然鉀 (K) 元素的重量比為 0.35%，請問體重 60 kg 的人體中之 ^{40}K ：
 (a) 有多少克？ (b) 活度為多少 Bq？ (^{40}K 的豐度 0.012%，半化期 1.28×10^9 年)

[解：]

$$(a) A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N = \frac{0.693}{T} \times \frac{AW}{M} (\text{S}^{-1})$$

$$= \frac{0.693 \times A \times W}{T \times M} (\text{Bq})$$

$$60 \text{ kg 的人體含 } ^{40}\text{K} \text{ 為 } 60000 \text{ g} \times \frac{0.35}{100} \times \frac{0.012}{100}$$

$$= 2.5 \times 10^{-2} \text{ g}$$

$$(b) A = \lambda N = \frac{\ln 2}{1.28 \times 10^9 \times 365 \times 24 \times 3600} \times \frac{2.5 \times 10^{-2}}{40} \times 6.02 \times 10^{23} = 6.5 \times 10^3 \text{ Bq}$$

4. 某放射性同位素之物理半化期為 15 天，於人體內之生物半化期約為 5 天，若進入體內之初始活度為 5 百萬貝克 (MBq)，試問一週後仍有多少貝克活度留在體內？

[解：]

物理半化期 $T_R = 15 \text{ d}$ ，生物半化期 $T_B = 5 \text{ d}$ ， $A(0) = 5 \text{ MBq}$

$$\text{有效半化期 } T_{\text{eff}} = \frac{1}{\frac{1}{T_R} + \frac{1}{T_B}} = \frac{1}{\frac{1}{15} + \frac{1}{5}} = 3.75 \text{ (天)}$$

一週後仍留在體內之活度：

$$A = A_0 e^{-\left(\frac{0.693}{T_{\text{eff}}}\right) \times t} = 5 \text{ MBq} \times e^{-\left(\frac{0.693}{3.75 \text{ d}}\right) \times 7 \text{ d}} = 1.37 \text{ MBq}$$

5. 5 mCi 的 I-131 (半化期=8.05 天) 與 2 mCi 的 P-32 (半化期=14.3 天)，試求經過多少天後，兩核種的活度會相等？

[解：]

$$5 \times e^{-\frac{\ln 2}{8.05} \times t} = 2 \times e^{-\frac{\ln 2}{14.3} \times t}, \rightarrow 2.5 = \exp\left[-\left(\frac{\ln 2}{14.3} - \frac{\ln 2}{8.05}\right) \times t\right], \rightarrow t = 24.4 \text{ 天}$$

6. 一平行板游離腔中的空氣維持在標準狀態，一束 α 粒子在此游離腔中，產生 8.0×10^{-14} A 的電流，歷時 10 秒。請計算：(a) 游離腔中產生多少離子對？ (b) 此 α 粒子束在游離腔中沉積了多少焦耳的能量？（已知此游離腔產生一個離子對所需的能量為 36 eV）

[解：]

$$(a) Q = (8.0 \times 10^{-14} \text{ C/s} \times 10 \text{ s}) / (1.6 \times 10^{-19} \text{ C/e}^-) = 5.0 \times 10^6 (\text{ion pair})$$

$$(b) \text{ 能量 } E = 36 \times 5.0 \times 10^6 \text{ eV} \times \frac{1.6 \times 10^{-19} \text{ J}}{\text{eV}} = 2.9 \times 10^{-11} \text{ J}$$

7. 若 2.1 MeV 的 α 粒子被一閃爍體吸收，產生 4.11×10^4 個平均波長為 480 nm 的閃爍光子。請計算：(a) 每個閃爍光子的頻率為何？ (b) 此閃爍體的效率為何？
($c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ， $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$)

[解：]

$$(a) 3 \times 10^8 / (4.80 \times 10^{-7}) = 6.25 \times 10^{14} (\text{1/s})$$

$$(b) 6.63 \times 10^{-34} \times 6.25 \times 10^{14} = 4.14 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$(4.14 \times 10^{-19} \times 4.11 \times 10^4) / (1.6 \times 10^{-19} \times 2.1 \times 10^6) \\ = 5.06 \times 10^{-2} = 5.06\%$$