

核能安全委員會
114 年度第 2 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. 放射性核種蛻變時，下列敘述何者為非？

- (1) γ 蛻變時，產生的 γ 能譜是不連續的 (2) 特性 X 射線的能譜是不連續的
(3) 貝它(β^-)蛻變時，產生的 β^- 能譜是連續的 (4) α 蛻變時，產生的 α 能譜是連續的

[解：]

(4)

2. 在不考慮增建因素下，有一 γ 射束經過 4 mm 的鉛屏蔽衰減後，空氣的吸收劑量率會由 18 mGy/h 降低至 2.5 mGy/h，請問如果要將劑量率降低至 0.25 mGy/h 還要再加多少 mm 的鉛屏蔽？ (1) 0.716 (2) 1.049 (3) 1.404 (4) 4.662

[解：]

(4)

$$I = I_0 e^{-0.693x/HVL} \Rightarrow \frac{2.5}{18} = e^{-0.693 \times 4/HVL} \therefore HVL = 1.404 \text{ mm}$$

輻射強度要由 2.5 mGy/h 降低至 0.25 mGy/h 還需一個什一層(TVL)

1TVL=3.32 HVL 所以還要再加 4.662 mm 的鉛屏蔽

3. 比活度是指單位質量之活度，Ra-226 (半化期 1622 年)的比活度約為多少 Ci/g？

- (1) 0.196 (2) 1.408 (3) 0.975 (4) 318

[解：]

(3)

4. 有一平行板偵檢器，平行板的面積為 $6 \times 6 \text{ cm}^2$ ，二片平行板的間隔 3 cm，施加了 900 Volts 的電壓，請問偵檢器內，距離陽極板 1 cm 處的電場為多少 V/cm？

- (1) 200 (2) 300 (3) 600 (4) 900

[解：]

(2)

$$E = \frac{900V}{3\text{cm}} = 300V/\text{cm}$$

5. 下列關於輻射劑量名詞與定義的敘述何者正確？

A. 吸收劑量的定義為單位質量物質所吸收輻射之平均能量，其 SI 單位為戈雷(Gy)。

B. 克馬的定義為單位質量物質中直接游離輻射轉移給介質的所有能量，其 SI 單位為 J/kg。

C.曝露劑量的定義為單位質量空氣因游離輻射產生的電荷量，可用 C/kg 為單位。

D.在 0 °C 及 760 mmHg 下，X 或 γ 射線使 1 cm³ 空氣產生 1 個靜電單位(esc)的電荷量即稱之為 1 倫琴(R)。

(1)僅 ABC (2)僅 ACD (3)僅 ABD (4)ABCD

[解：]

(2)

(B)克馬的定義為單位質量物質中間接游離輻射轉移給介質的所有能量

6. P-32 的半化期為 14.3 天和 I-131 的半化期為 8.0 天，以下敘述何者正確？

(1)I-131 的平均壽命約為 11.5 天，長於 P-32

(2)若起始活度相同，觀察 30 天，P-32 的殘留活度會比 I-131 高

(3)平均壽命越短，核種衰變越慢

(4)半化期越長，平均壽命就越短，代表原子越容易衰變

[解：]

(2)

7. 下列何種輻射之氧增比(oxygen enhancement ratio, OER)最大？

(1)阿伐粒子 (2)貝他粒子 (3)質子 (4)快中子

[解：]

(2) 低 LET 輻射 OER 較大，氧效應較顯著。

8. 若 511 keV 的 γ 光子被偵測效率為 12%的無機閃爍偵檢器中的 NaI(Tl)晶體吸收，產生平均能量為 2.8 eV 的閃爍光子，其中 72%的閃爍光子到達光電倍增管的陰極，該陰極把 14%的入射光子轉換成光電子。 γ 光子在陰極上產生一個光電子的平均能量為多少 eV？

(1) 28 (2) 120 (3) 231 (4) 595

[解：]

(3)

$$511 \times 1000 \times 0.12 / 2.8 = 21900$$

$$21900 \times 0.72 = 15768$$

$$15768 \times 0.14 = 2208$$

$$511000 / 2208 = 231 \text{ eV}$$

9. 有一輻射工作人員在混合不同輻射源之輻射場所工作，輻射場中的加馬劑量率為 $155 \mu\text{Gy/h}$ ， 1 MeV 快中子與熱中子的劑量率分別為 $50 \mu\text{Gy/h}$ 與 $40 \mu\text{Gy/h}$ ，若此工作場規定人員接受最大劑量為 3 mSv ，請計算工作人員在此場所最大容許的工作時間為幾小時？（ 1 MeV 快中子輻射加權因子為 20；熱中子輻射加權因子為 5）

(1) 1.25 (2) 1.87 (3) 2.21 (4) 3.12

[解：]

(3)

加馬輻射加權因子=1

$$H_T = \sum W_R D_{T,R} = 155 \times 10^{-6} \times 1 + 50 \times 10^{-6} \times 20 + 40 \times 10^{-6} \times 5 = 1.355 \times 10^{-3} \text{ Sv/h}$$

工作場所的指定最大劑量是 3 mSv ，可工作時間 $= 3 \div 1.355 = 2.21 \text{ h}$

10. 下列關於輻射照射細胞，誘發細胞死亡的描述何者正確？

A. 輻射誘發細胞死亡的主要靶為 DNA

B. 如果輻射誘發細胞死亡的途徑為凋亡(apoptosis)，則細胞存活曲線(survival curve)的形狀趨於一條直線

C. 如果輻射誘發細胞死亡的途徑為凋亡(apoptosis)，則此細胞對輻射較為敏感

D. 如果輻射誘發細胞死亡的途徑為凋亡(apoptosis)，則它會有較大的劑量率效應(dose-rate effect)

(1) 僅 ABC (2) 僅 ABD (3) 僅 BCD (4) 僅 ACD

[解：]

(1)

11. $^{18}_9\text{F}$ 為一正子衰變核種，衰變產生 $^{18}_8\text{O}$ 及 β^+ 粒子，其 β^+ 粒子的最大能量為多少 MeV？（ ^{18}F atomic mass = 18.000937 amu ； ^{18}O atomic mass = 17.999160 amu ；電子靜止質量 = $5.48 \times 10^{-4} \text{ amu}$ ； 1 amu 之能量為 931.5 MeV ）

(1) 0.511 (2) 0.634 (3) 0.832 (4) 1.022

[解：]

(2)

解： $^{18}_9\text{F}$ 之 β^+ 衰變反應為 $^{18}_9\text{F} \rightarrow ^{18}_8\text{O} + \beta^+ + \nu + \Delta E$ ，

$$\Delta E = [18.000937 - 17.999160 - 2 \times 5.48 \times 10^{-4}] \times 931.5 = 0.634 \text{ (MeV)}$$

12. 半值層(HVL)與什一值層(TVL)的關係為何？

(1) $\text{HVL} = \text{TVL} \times (\ln 2 / \ln 10)$ (2) $\text{HVL} = \text{TVL} - (\ln 2 / \ln 10)$

(3) $\text{HVL} = \text{TVL} \times (\ln 10 / \ln 2)$ (4) $\text{HVL} = \text{TVL} + (\ln 2 / \ln 10)$

[解：]

(1)

解：

$$\text{HVL} = \text{TVL} \times (\ln 2 / \ln 10)$$

13. 在充氣式偵檢器電壓與脈衝高度的關係中，下列描述何者錯誤？

- (1)再結合區所使用的電壓不足，導致離子對的再結合
- (2)當電壓在游離腔區時，此偵檢器可用來評估輻射的能量
- (3)限制比例區的發生，主要是因為空間電荷效應造成電場下降
- (4)在蓋格牟勒區中，所使用的電壓與脈衝高度無關

[解：]

(4)

在蓋格牟勒區中，所使用的電壓越高脈衝高度越大

14. 某一病患接受X光攝影，若其乳腺($W_T = 0.05$)、肺部($W_T = 0.12$)、食道($W_T = 0.05$)和紅骨髓($W_T = 0.12$)分別接受4 mSv、3 mSv、2 mSv及1 mSv的等價劑量，其餘器官未受曝露，則此病患共接受多少有效劑量(mSv)？

- (1) 0.35 (2) 0.55 (3) 0.78 (4) 1.05

[解：]

(3)

$$E = \sum H_T W_T = 4 \times 0.05 + 3 \times 0.12 + 2 \times 0.05 + 1 \times 0.12 = 0.78 \text{ mSv}$$

15. 輻射誘發的白血病是屬於？ (1)機率效應 (2)確定效應 (3)光電效應 (4)分裂效應

[解：]

(1)

二、計算問答題：(每題 10 分，共 70 分)

1. 請說明體外輻射曝露的防護三原則為何？

[解：]

T 指的是時間(Time)，接受曝露時間越短越好；

S 指的是屏蔽(Shielding)，使用適當屏蔽物質阻擋輻射；

D 指的是距離(Distance)，儘量遠離輻射源，距離輻射源的距離為原先的 2 倍，劑量一般會降低為原先的 4 分之 1。

2. 某種無色無味的天然氣體經常存在於地下空間及建築物中，且由於其衰變產生的固態放射性子核種會附著於空氣中的懸浮微粒上，當被吸入後，這些放射性顆粒容易沉積在肺部深處並產生輻射傷害。試問：

(1)請推論此氣體的名稱並敘述其特性(5%)

(2)說明有哪些環境因素會影響該氣體對人員的輻射劑量(5%)

[解：]

(1)推論氣體名稱及特性：

題目中提到的氣體是一種無色無味的氣體，且其衰變產生的放射性子核種會附著在懸浮微粒上並對人體造成輻射影響。這些描述符合氡氣(^{222}Rn)的特性。氡氣會衰變為

多個半化期較短的子核種，並釋放阿伐輻射。氡-222 是一種無色無味的惰性氣體，彌散於空氣中，本身不會在肺或呼吸道內長期停留。然而，氡氣會衰變為多個半化期短的子核種(如 ^{218}Po 、 ^{214}Bi 、 ^{214}Pb 和 ^{214}Po)，這些子核種會釋放阿伐射線，並且是固態顆粒，容易附著在空氣中的懸浮微粒上。當人呼吸時，這些含有放射性子核種的懸浮顆粒沉積在肺部深處，造成顯著的輻射劑量。

(2)環境因素對輻射劑量的影響：

- 通風換氣率：通風良好的環境能降低氣體濃度，減少其累積，有效減少輻射劑量。
- 空氣溫度與濕度：高濕度會促進懸浮微粒與水滴的形成，使放射性顆粒更容易進入呼吸系統。
- 懸浮微粒的濃度與尺寸：空氣中懸浮微粒越多，放射性子核種越容易附著在這些顆粒上，增加被吸入的機率。

這些環境因素直接影響到曝露者的輻射劑量，尤其是在封閉空間如地下礦井和室內空氣中。

3. 一游離腔式劑量筆，內部充填 1 cm^3 體積之標準空氣(1 大氣壓)，偵檢器內部電容大小為 10 pF ，經一光子輻射曝露後其偵檢器電壓降了 1 V ，請計算此游離腔式劑量筆接受了多少曝露(mR)？ ($1\text{ R} = 2.58 \times 10^{-4}\text{ C/kg}$)

[解：]

$$\begin{aligned} X &= \frac{\Delta Q}{m_{\text{air}}} = \frac{C \Delta V}{(\rho \text{ Vol})_{\text{air}}} \\ &= \frac{(10 \times 10^{-12}\text{ F})(1\text{ V})}{(1.293 \times 10^{-3}\text{ g/cm}^3)(1\text{ cm}^3)} \cdot \left(\frac{1\text{ R}}{2.58 \times 10^{-4}\text{ C/kg}}\right) \cdot \frac{10^3\text{ mR/R}}{10^{-3}\text{ kg/g}} \\ &= \frac{10^{-11}\text{ C}}{1.293 \times 10^{-3}\text{ g}} \cdot \left(\frac{1\text{ R}}{2.58 \times 10^{-4}\text{ C/kg}}\right) \cdot \frac{10^3\text{ mR/R}}{10^{-3}\text{ kg/g}} \\ &= \frac{10^{-11}\text{ C/kg}}{1.293 \times 10^{-6}} \cdot \frac{10^3\text{ mR}}{2.58 \times 10^{-4}\text{ C/kg}} = 29.98\text{ mR} \end{aligned}$$

4. 使用偵測效率為 20% 的蓋革計數器測定鉀 40 的試樣，其淨計數值為 60 cpm ，則此試樣之放射性活度為多少貝克(Bq)？

[解：]

鉀 40 每衰變一次釋出一個 β^- ，因偵測效率為 20%，淨計數為 60 cpm ，即每分鐘衰變次數為 $60/0.2 = 300$ ，每秒鐘衰變次數為 $300/60 = 5$ ，即此試樣的放射性活度為 5 Bq 。

5. 已知鋁($^{27}_{13}\text{Al}$)的密度為 2.7 g/cm^3 ，如果鋁對 0.4 MeV 加馬射線之原子作用截面為 4.45 邦，(1)請問鋁的直線衰減係數為多少 cm^{-1} ？(5%) (2)請問鋁的質量衰減係數為多少 cm^2/g ？(5%)

[解：]

$$(1) \frac{2.7}{27} \times 6.02 \times 10^{23} = 6.02 \times 10^{22} \frac{\text{atom}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{直線衰減係數 } \mu_l = \mu_a \times N = 4.45 \times 10^{-24} \times 6.02 \times 10^{22} = 0.268 \text{ cm}^{-1}$$

$$(2) \text{ 鋁的質量衰減係數 } \frac{\mu}{\rho} = \frac{0.268}{2.7} = 0.099 \frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$$

6. 現有 5 mg 的 ^{210}Pb ，則現在的活度及 10 年之後 ^{210}Pb 的活度各為多少 Bq ？(^{210}Pb 的半化期= 1.94 年)

[解：]

$$(1) ^{210}\text{Pb} \text{ 的比活度} = (226 \times 1600 \text{ 年}) / (210 \times 1.94 \text{ 年}) = 887.58 \text{ Ci/g}$$

$$887.58 \text{ Ci/g} \times 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq/Ci} \times 0.005 \text{ g} = 1.64 \times 10^{11} \text{ Bq} \quad (t = 0)$$

(2) 10 年後：

$$A = 1.64 \times 10^{11} \text{ Bq} \times e^{-(0.693 \times 10 \text{ 年} / 1.94 \text{ 年})}$$

$$= 1.64 \times 10^{11} \text{ Bq} \times 0.028$$

$$= 4.6 \times 10^9 \text{ Bq}$$

7. 在一 50 g 軟組織樣品中含有 1.20 MBq 的 ^{14}C ，若 ^{14}C 釋出的 β 粒子之最大能量為 0.156 MeV ，則：

(1) ^{14}C 釋出的 β 粒子平均能量約多少 MeV ？

(2) 造成之平均劑量率為多少 Gy/s ？

[解：]

(1) β 粒子平均能量約為最大能量之 $1/3$ ，故平均能量 $\bar{E} = \frac{0.156}{3} = 0.052 \text{ (MeV)}$ 。

$$(2) \dot{D} = 1.20 \times 10^6 \times \frac{0.052 \times 1.6 \times 10^{-13} \text{ J}}{50 \times 10^{-3} \text{ kg}} = 2.0 \times 10^{-7} \text{ (Gy/s)}$$