

核能安全委員會
113 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. 有一能量為 662 keV 之加馬光子射束，通量率為 $8.0 \times 10^4 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，若在空氣的質量能量吸收係數為 $0.077 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ，且在空氣中游離一對電子對所需的能量為 34 eV，則該射束造成之曝露率($\text{C} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)為何？

(1) 1.5×10^{-12} (2) 3.5×10^{-11} (3) 8.0×10^{-10} (4) 1.9×10^{-8}

[解：]

(4)

$$R = 662 \text{ keV} \times 1.6 \times 10^{-16} \frac{\text{J}}{\text{keV}} \times 8.0 \times 10^4 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \times 0.077 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1} \times \frac{1 \text{ C}}{34 \text{ J}} \times$$

$$1000 \frac{\text{g}}{\text{kg}} = 1.9 \times 10^{-8} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

2. 放射性核種的平均壽命(t_a)與其衰變常數之關係下列何者正確？

(1) $t_a = 1/\lambda$ (2) $t_a = \lambda$ (3) $t_a = 0.693/\lambda$ (4) $t_a = \lambda/0.693$

[解：]

(1)

3. $^{60}_{27}\text{Co}$ 和 $^{60}_{28}\text{Ni}$ 兩者為：

(1) 同位素(isotopes) (2) 同重素(isobars)
(3) 同中子素(isotones) (4) 同質異能素(isomers)

[解：]

(2)

4. 鎢元素 K 層電子束縛能為 70 keV，L 層束縛能為 12 keV，M 層束縛能為 2.5 keV，N 層束縛能為 0.5 keV，則鎢的 L_{β} 特性 X 光能量為多少 keV？

(1) 58 (2) 67.5 (3) 12 (4) 11.5

[解：]

(4)

$$12 - 0.5 = 11.5 \text{ keV}$$

5. 光子在水中某一點造成的吸收劑量與下列何者有關？

A. 光子能量 B. 深度 C. 照野大小 D. 與射源距離

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

[解：]

(4)

6. 下列何者為趨骨性核種(bone seeker) ?

- (1) 氡 (2) ^{131}I (3) ^{226}Ra (4) ^{137}Cs

[解:]

(3)

7. 一個 1.33 MeV 的光子其康普吞散射電子的最大能量約為多少 MeV ?

- (1) 0.21 (2) 1.33 (3) 1.12 (4) 0.98

[解:]

(3)

$$E_r = (1.33 \text{ MeV}) / [1 + (1.33 / 0.511 \times 2)] = 1.33 / 6.21 = 0.21 \text{ MeV}$$

$$E_e = 1.33 - 0.21 = 1.12 \text{ MeV}$$

8. 當某 α 粒子在水中射程為 35 μm 時，請問該 α 粒子在空氣中射程為何(若空氣密度 = 0.0014 g cm^{-3}) ? (1) 35 μm (2) 2.5 cm (3) 3.5 cm (4) 0.7 μm

[解:]

(2)

水的密度為 $\rho_w = 1 \text{ g cm}^{-3}$ ，水中的射程為 $R_w = 35 \mu\text{m}$ ，

空氣密度為 $\rho_a = 0.0014 \text{ g cm}^{-3}$ ，空氣中的射程為 $R_a = 2.5 \text{ cm}$

$$R_w \times \rho_w = R_a \times \rho_a ; 35 \mu\text{m} \times 1 = 0.0014 \times R_a ; R_a = 2.5 \text{ cm}$$

9. 假如加馬射源活度增加一倍且照射距離縮短至 1/2，照射時間增加一倍時，請問照射點的劑量有何改變？ (1) 不變 (2) 增加為 4 倍 (3) 增加為 8 倍 (4) 增加為 16 倍

[解:]

(4)

$$D = \frac{\Gamma \cdot A}{d^2} \times t$$

$$D' = \frac{\Gamma \times 2A}{\left(\frac{d}{2}\right)^2} \times 2t = 16 \frac{\Gamma \cdot A}{d^2}$$

10. 已知 ^{131}I 的半化期為 8 天，則 30 mCi 的 ^{131}I 有多少個原子？

- (1) 1.11×10^{15} (2) 2.22×10^{15} (3) 3.33×10^{15} (4) 4.44×10^{15}

[解:]

(1)

$$A = \lambda N = \frac{0.693}{8 \times 86400} \times N = 3 \times 10^{-2} \times 3.7 \times 10^{10}$$

$$N = 3 \times 10^{-2} \times 3.7 \times 10^{10} \times \frac{8 \times 86400}{0.693} = 1.11 \times 10^{15}$$

11. X 光與物質作用，在何種作用後，幾乎不會有散射光子釋出？

- (1)成對發生(pair production) (2)康普吞效應(Compton effect)
(3)合調散射(coherent scattering) (4)光電效應(photoelectric effect)

[解：]

(4)

12. 若 478 keV 的單能光子被吸收效率為 12% 的無機閃爍偵檢器之 NaI(Tl) 晶體吸收，產生閃爍光子的平均能量為 2.8 eV，其中 75% 的閃爍光子到達光電倍增管的陰極，該陰極把 20% 的入射光子轉換成光電子。平均每個被吸收的 γ 光子所產生的光電子數目為多少？

- (1) 3.1×10^3 (2) 5.5×10^3 (3) 7.7×10^4 (4) 2.1×10^5

[解：]

(1)

$$\frac{478 \times 10^3 \times 0.12}{2.8} \times 0.75 \times 0.20 = 3.1 \times 10^3$$

13. 人體接受輻射照射會造成血液血球數目明顯改變，一般全身接受多少 Gy 以上就會產生改變？ (1) 10 (2) 2 (3) 0.5 (4) 0.2

[解：]

(3)

14. 若一名輻射工作人員受到 100 keV 之 X 射線照射，全身器官吸收劑量均為 0.1 mGy。若此輻射工作人員沒有受到其他輻射照射，則下列敘述何者為真？

- (1)有效劑量= 0.1 mSv (2)有效劑量= 0.05 mSv
(3)等價劑量= 0.1 mrem (4)等價劑量= 0.05 mrem

[解：]

(1)

15. 關於光子與物質發生作用的原理，下列敘述何者正確？

- (1)光電效應後會再伴隨產生互毀輻射
(2)康普吞作用後可能會再產生光電效應
(3)同一個光子可能會連續產生兩次的光電效應
(4)同一個光子可能會連續產生兩次的互毀輻射

[解：]

(2)

二、計算問答題：(每題 10 分，共 70 分)

1. 若鈾對 1 MeV 光子的線性衰減係數為 2 cm^{-1} ，其密度為 18.9 g/cm^3 ，請問：

(1) 其質量衰減係數是多少？

(2) 其平均自由徑(mean free path)是多少？

[解：]

$$(1) \frac{\mu}{\rho} = \frac{2}{18.9} = 0.11 \frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$$

$$(2) 1/\mu = 0.5 \text{ cm}$$

2. 一樣品連同背景一起被量測 5 分鐘，其計數為 40,000 次，在沒有樣品的情況下量測背景 20 分鐘，其計數為 900 次。

(1) 請問此樣品的淨計數率和其標準差為多少 cpm？

(2) 請問其計數率小於 7875 cpm 的機率約有多少？

[解：]

(1)

$$R_s = \frac{40000}{5} = 8000 \text{ cpm}$$

$$R_{bg} = \frac{900}{20} = 45 \text{ cpm}$$

$$R_{net} = R_s - R_{bg} = 7955 \text{ cpm}$$

$$\sigma_{net} = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{40000}}{5}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{900}}{20}\right)^2} = 40$$

(2)

7875 = 平均值 - 2*標準差

假設為高斯分佈，則兩個標準差以內的機會是 95%，以外的機會是 5%。而低於此值的機率則為一半，2.5%。

3. 有關電子與物質的作用，請回答下列問題：

(1) 電子與原子核作用之機制為何？

(2) 電子與軌道電子作用之機制為何？

(3) 其發生制動輻射的機率與物質的原子序數(Z)及電子的能量(E)之關係為何？

(4) 阻擋本領(stopping power) 的定義及單位為何？

(5) 質量阻擋本領(mass stopping power) 的定義及單位為何？

[解：]

(1) 電子與原子核作用會產生制動輻射。

(2) 電子與軌道電子作用會產生游離跟激發。

(3) 制動輻射發生的機率與物質的原子序(Z)及電子的能量(E)成正比。

(4)阻擋本領為帶電粒子在介質中單位長度損失的能量， $\frac{dE}{dx}$ (MeV/cm)

(5)質量阻擋本領等於阻擋本領除以物質的密度， $S = \frac{1}{\rho} \times \frac{dE}{dx}$ (MeV·cm²/g)

4. 將 200 mCi 的銫-137 點射源，距離 1 m 處放置一劑量計，曝露 2.5 小時，此劑量計累積讀數為 0.16 mGy，請問此劑量計校正係數為何？ [Cs-137: $\Gamma = 0.34 \text{ mGy m}^2 \text{ h}^{-1} \text{ Ci}^{-1}$]

[解：]

$$0.2 \text{ Ci} \times [1 / (1 \text{ m})^2] \times 2.5 \text{ h} \times 0.34 \text{ mGy m}^2 \text{ h}^{-1} \text{ Ci}^{-1} = 0.17 \text{ mGy}$$

$$0.17 / 0.16 = 1.06$$

5. 1000 個能量均為 1 MeV 的光子，其 $\mu = 0.1 \text{ cm}^{-1}$ ， $\mu_{tr} = 0.06 \text{ cm}^{-1}$ ， $\mu_{ab} = 0.03 \text{ cm}^{-1}$ ，若介質厚度為 8 cm，則：(1)有多少光子在裡面發生作用？(2)可穿過介質之光子數目約多少個？

[解：]

$$\text{穿透而不發生作用的光子數 } N = 1000 e^{-0.1 \times 8} = 449 \text{ 個}$$

$$(1) 1000 - 449 = 551$$

$$(2) 449$$

6. 已知一樣品包含了 1.0 GBq 的 ⁹⁰Sr (半化期為 29 年)和 0.62 GBq 的 ⁹⁰Y (半化期為 64 小時)，請計算：

(1)10 天後該樣品之總活度(⁹⁰Sr+⁹⁰Y)。

(2)29 年後該樣品之總活度(⁹⁰Sr+⁹⁰Y)。

[解：]

⁹⁰Sr(1)→⁹⁰Y(2)是長期平衡的核種。

(1)初始時間，⁹⁰Y 活度 A_{20} 不等於 ⁹⁰Sr 活度 A_{10} ，10 天後 ⁹⁰Y 活度為

$$\begin{aligned} A_2 &= A_1(1 - e^{-\lambda_2 t}) + A_{20}e^{-\lambda_2 t} \\ &= 1.0 \times \left(1 - e^{-\frac{0.693}{64} \times 10 \times 24}\right) + 0.62 \times e^{-\frac{0.693}{64} \times 10 \times 24} \\ &= 1 - e^{-2.599} + 0.62 \times e^{-2.599} = 1 - 0.074 + 0.62 \times 0.074 \\ &= 0.972 \text{ (GBq)} \end{aligned}$$

$$\text{樣品之總活度} (^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}) = 1.0 + 0.972 = 1.972 \text{ (GBq)}$$

(2) 29 年後該樣品之總活度：

29 年後 ⁹⁰Sr 活度剩下原來的一半=0.5 GBq，⁹⁰Y 活度則會=⁹⁰Sr 活度=0.5 GBq (長期平衡)。故總活度(⁹⁰Sr+⁹⁰Y)=0.5+0.5=1.0 (GBq)

7. 1 公斤的水吸收 1 Gy 的輻射能量，請計算：

(水的比熱為 1 卡/克·度，請詳列算式)

(1)水吸收多少熱量(卡)？

(2)溫度增加多少度？

[解：]

(1) $1\text{Gy} = 1\text{ J/kg}$ ，產生 1 卡熱量需 4.18 焦耳， $1/4.18 = 0.239$ 卡

(2) $\Delta T = (1/4.18) \times 10^{-3} = 2.39 \times 10^{-4}$ 度