

核能安全委員會
112 年度第 2 次「輻射防護師」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. 對 10^{11} 個腫瘤細胞照射 45 Gy 的劑量，則約有多少個腫瘤細胞存活？ (D_0 值為 2.2 Gy)
(1) 1 (2) 10 (3) 100 (4) 1000

[解：]

(3)

$$D_{10} = 2.3 \times 2.2 = 5 \text{ Gy}$$

$$45/5 = 9$$

$$10^{11} \times 10^{-9} = 100$$

2. 生物鑑定法收集人體尿液進行體內污染檢測，通常使用何種偵檢器？

(1)熱發光劑量計 (2)蓋革偵檢器 (3)液態閃爍偵檢器 (4)劑量筆

[解：]

(3)

3. 根據 UNSCEAR 2000 年的報告，造成個人平均年有效劑量的主要人造輻射來源為何？

(1)氬氣 (2)醫療輻射 (3)大氣核子試爆 (4)核能電廠

[解：]

(2)

4. 一活度為 10^3 Bq 的長半化期阿伐射源(能量為 6 MeV)，均勻分布於重量 100 克的器官中，則此射源對器官造成之等價劑量率為多少 mSv/d？

(1) 0.83 (2) 1.66 (3) 8.3 (4) 16.6

[解：]

(4)

阿伐射程短，能量皆為物質所吸收。該器官的比有效能量 $SEE = \frac{E_\alpha}{m} = 0.06 \frac{\text{MeV}}{\text{g} \cdot \alpha}$ ，器官

$$\text{的吸收劑量率 } \dot{D} = A \times SEE = 10^3 \times 0.06 \frac{\alpha \text{ MeV}}{\text{s} \cdot \text{g} \cdot \alpha} \times \frac{1.6 \times 10^{-13} \text{ J}}{\text{MeV}} \times \frac{10^3 \text{ g}}{\text{kg}} \times \frac{24 \times 3600 \text{ s}}{\text{d}} \times 10^3 \frac{\text{mGy}}{\text{J/kg}} = 0.83 \frac{\text{mGy}}{\text{d}}$$

阿伐粒子的輻射加權因數 $W_R = 20$ ，等價劑量率 $\dot{H} = W_R \dot{D} = 20 \times 0.83 = 16.6 \text{ mSv/d}$

5. 下列何者是 Th-232 衰變的子核種？

(1) Th-230 (2) Ra-226 (3) Rn-220 (4) Bi-214

[解：]

(3)

Th-232 每進行一次 α 衰變，其質量數減 4，故題中僅 Rn-220 (經過 3 次衰變) 為其子核種。

6. 下列敘述何者正確：

- (1) 正子蛻變時，母核和子核互為同位素
- (2) 正子蛻變時，母核的中子數比子核多 1
- (3) 要產生正子蛻變，母核原子的質量必須比子核原子的質量至少多 2 個電子的質量
- (4) 正子產生互毀作用(annihilation)時，會產生 2 個 1.02 MeV 能量的光子

[解：]

(3)

7. 有一 5 MeV 的光子進入 1 克的靶，發生成對發生作用，電子的初始動能為 2 MeV，離開靶時能量為 0.4 MeV，正子最後停在靶內並產生互毀輻射，此互毀輻射皆逸出靶。若此過程中特性輻射與制動輻射均忽略不計，則下列敘述何者正確？

A. 能量吸收為 3.978 MeV B. 能量轉移為 3.978 MeV C. 吸收劑量為 6.365×10^{-7} mGy

- (1) ABC (2) 僅 BC (3) 僅 B (4) 僅 C

[解：]

(3)

能量轉移 = $5 - 1.022 = 3.978$ (MeV)

能量吸收 = $3.978 - 0.4 = 3.578$ (MeV)

吸收劑量 = $3.578 \text{ (MeV)} \times 1.6 \times 10^{-13} \text{ (J/MeV)} / (10^{-3} \text{ kg}) = 5.725 \times 10^{-10} \text{ Gy}$
 $= 5.725 \times 10^{-7} \text{ mGy}$

8. γ 能譜分析常見一康普吞邊緣 (Compton edge)，此現象是因 γ 射線進行哪一角度康普吞散射所造成的結果？ (1) 0° (2) 60° (3) 90° (4) 180°

[解：]

(4)

9. 有關中子特性，下列何者為真？

- (1) 常使用鉛使快中子減速
- (2) 快中子比熱中子容易產生中子捕獲
- (3) 中子與物質產生非彈性碰撞時，會伴隨有 γ 射線產生
- (4) ^{113}Cd 發生中子捕獲後，會產生 ^{114}Cd 及發射出高能量的質子

[解：]

(3)

10. 已知 1 MeV 的光子射線與空氣作用的質量吸收係數 $(\mu_{\text{en}}/\rho)_{\text{air}}$ 為 $0.00279 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ ，則欲產生 1 倫琴曝露量需要 1 MeV 光子的能通量為多少 $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$ ？

- (1) 3.05 (2) 3.14 (3) 3.37 (4) 3.59

[解：]

(2)

$1 \text{ R} = 0.00876 \text{ Gy}$

$X \text{ (J/m}^2) \times 0.00279 \text{ m}^2/\text{kg} = 0.00876 \text{ J/kg}$

$$X (\text{J/m}^2) = 0.00876 \text{ J/kg} / 0.00279 \text{ m}^2/\text{kg} = 3.14 \text{ J/m}^2$$

11. 1.17 MeV 的 γ -ray 進入一固體閃爍偵檢器內，且將此能量完全損失在晶體內，假設此螢光晶體要產生一對激子(exciton) 需要耗費 5 eV 的能量，且在激發的過程中，僅有 20% 會產生可見光進入光陰極，如果光陰極產生光電子的效率約為 10%，且光電子會經過 20 次的次陽極(dynodes) ，每次放大一倍，再進入前置放大器，假設前置放大器的電容為 20 pF，則輸出的脈衝應為多少伏特？ (1) 13.1 (2) 26.2 (3) 39.3 (4) 52.4

[解：]

(3)

$$\frac{1.17 \times 10^6}{5} \times 0.2 \times 0.1 \times 2^{20} \times 1.6 \times 10^{-19} = 7.85 \times 10^{-10} \text{ C}$$

$$Q = C \times V \Rightarrow 7.85 \times 10^{-10} = 20 \times 10^{-12} \times V \therefore V = 39.3 \text{ V}$$

12. 人體接受急性輻射照射後會有一些早期症狀出現，稱為先兆症候群(prodromal syndrome)。下列哪些是先兆症候群的症狀？ A.噁心 B.嘔吐 C.腹瀉 D.暈眩
(1)僅 ABC (2)僅 ABD (3)僅 BCD (4) ABCD

[解：]

(1)

13. 重帶電粒子產生布拉格尖峰的原因為何？

- (1)能量下降時，線性衰減係數上升 (2)能量下降時，線性衰減係數下降
(3)能量下降時，限制阻擋本領上升 (4)能量下降時，限制阻擋本領下降

[解：]

(3)

14. 已知某物質之密度為 $\rho \text{ g/cm}^3$ ，在物質內平均產生一離子對需能量 $W \text{ eV}$ ，若輻射在體積為 $V \text{ cm}^3$ 的物質中，造成 E 焦耳能量的沉積(deposit)，則請問該物質的吸收劑量(Gy)為：

- (1) $\frac{W \cdot E}{V \cdot \rho}$ (2) $\frac{1000 E}{V \cdot \rho}$ (3) $\frac{6.25 \times 10^{15} \cdot E}{W \cdot V \cdot \rho}$ (4) $\frac{6.25 \times 10^{18} \cdot E}{W \cdot V \cdot \rho}$

[解：]

(2)

$$D\left(\frac{\text{J}}{\text{kg}}\right) = \frac{\Delta E}{\Delta m} = \frac{E \text{ J}}{\rho\left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right) \cdot V(\text{cm}^3) \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}} = \frac{1000 \cdot E}{\rho \cdot V} \left(\frac{\text{J}}{\text{kg}}\right)$$

15. 在 30 天內發生 50% 死亡的致死劑量，以下列何者表示？

- (1) TD_{30/50} (2) LD_{30/50} (3) TD_{50/30} (4) LD_{50/30}

[解：]

(4)

二、計算問答題：(每題 10 分，共 70 分)

1. 一個質量為 3 克的 ^{32}S 樣品受到快中子照射，照射通量為 $150 /(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ 。已知 $^{32}\text{S}(\text{n}, \text{p}) ^{32}\text{P}$ 的反應截面為 0.200 邦， ^{32}P 的半化期為 14.3 天，請問：

(1) ^{32}P 的最大活度(Bq)

(2) 若想使 ^{32}P 的活度達到最大值的 3/4，需要照射幾天？

[解：]

$$A = \dot{\Phi} \sigma N (1 - e^{-\lambda t})$$

$$A_{\text{max}} = \dot{\Phi} \sigma N = (150)(0.2 \times 10^{-24}) \left(\frac{3}{32} \times 6.02 \times 10^{23} \right) = 1.69 \text{ Bq}$$

$$\frac{3}{4} = (1 - e^{-\lambda t})$$

$$\frac{1}{4} = e^{-\left(\frac{0.693}{14.3}\right)t}$$

$$t = \ln(4) \times 14.3 / 0.693 = 28.6 \text{ d}$$

2. 一個 1 mCi 的 ^{60}Co 點射源，距其 1 cm 處的空氣克馬率(air kerma rate)為多少 Gy/h？
($\mu_{\text{tr}}/\rho = 2.67 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{kg}$ ， $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$)

[解：]

$$\frac{1 \text{ mCi} \times 3.7 \times 10^7 \frac{\text{Bq}}{\text{mCi}}}{(0.01 \text{ m})^2 \times 4 \times 3.1416} \times (1.17 + 1.33) \text{ MeV} \times 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} \times 1.6 \times 10^{-13} \frac{\text{J}}{\text{MeV}} \times 2.67 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^2}{\text{kg}}$$

$$= 0.113 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{h}} = 0.113 \frac{\text{Gy}}{\text{h}}$$

3. 電子加速器運轉時，若手臂被 4 MeV 的電子束照射 3 秒，此時被照射的部位平均吸收劑量為多少戈雷(Gy)？(電子射束： 3×10^7 個電子/秒，電子射束的直徑=3 mm，電子在手臂的能量損失為 $2 \text{ MeV}\cdot\text{cm}^2/\text{g}$ ，假設手臂的密度為 $1.05 \text{ g}/\text{cm}^3$)

[解：]

$$E_{\text{ab}} = 3 \times 10^7 \frac{\text{e}}{\text{s}} \times 3 \text{ s} \times 4 \text{ MeV} \times 1.6 \times 10^{-13} \frac{\text{J}}{\text{MeV}} = 5.76 \times 10^{-5} \text{ J}$$

$$R = 3 \text{ mm} / 2 = 1.5 \text{ mm} = 0.15 \text{ cm}$$

$$\text{Depth} = \frac{4 \text{ MeV}}{2 \text{ MeV}\cdot\text{cm}^2/\text{g}} = 2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^2} = \frac{2 \text{ g}/\text{cm}^2}{1.05 \text{ g}/\text{cm}^3} = 1.9 \text{ cm}$$

$$m = \pi \times (0.15 \text{ cm})^2 \times 1.9 \text{ cm} \times 1.05 \text{ g}/\text{cm}^3 = 0.14 \text{ g} = 0.00014 \text{ kg}$$

$$D = E_{\text{ab}}/m = 0.41 \text{ Gy}$$

4. (1)請解釋何謂推定空氣濃度？

(2) ^{22}Na 的吸入每單位攝入量放射性核種劑量轉換因數為 $2.0 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$ ，請以此條件計算輻射工作人員的推定空氣濃度管限制度(Bq/m^3)為多少？

[解：]

(1)推定空氣濃度為某一放射性核種之推定值，指該放射性核種在每一立方公尺空氣中之濃度。參考人在輕微體力之活動中，於一年中呼吸此濃度之空氣二千小時，將導致年攝入限度。

(2)

$$\frac{50 \frac{\text{mSv}}{\text{y}} \times 10^{-3} \frac{\text{Sv}}{\text{mSv}}}{2.0 \times 10^{-9} \frac{\text{Sv}}{\text{Bq}} \times 1.2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 2000 \frac{\text{h}}{\text{y}}} = 1.04 \times 10^4 \text{ Bq/m}^3$$

5. 以 HPGe 偵檢器度量 511 keV 單能量的光子能譜，請問光電峰(photopeak)，康普吞邊緣(Compton edge)及回散射峰(backscattered peak)分別位於多少能量？

[解：]

光電峰 = 511 keV

康普吞邊緣：是光子發生康普吞作用，轉交給電子最大可能的能量(發生在光子 180 度散射)。此電子可獲得之最大能量 = $2 \times (0.511^2) / (0.511 + 2 \times 0.511) = 0.341 \text{ MeV} = 341 \text{ keV}$

回散射峰：511-341 = 170 keV

6. 一個從 ^{210}Po 釋放的 α 粒子(動能 5.3 MeV)經過氫分子時(α 粒子距離外層電子距離為 0.4 \AA)，將氫軌道上的電子游離，請計算被游離電子的動能為多少 eV？(氫分子的游離位能(ϕ)為 4.06 eV，游離粒子轉移給軌道電子的能量可由下列方程式計算

$$\Delta E = \frac{2(9 \times 10^9 \times Q \times q)^2}{ma^2v^2}$$

[解：]

$$5.3 \text{ MeV 粒子的 } v^2 = \frac{2E_k}{m} = \frac{2 \times 5.3 \times 1.6 \times 10^{-13}}{4 \times 1.67 \times 10^{-27}} = 2.54 \times 10^{14} (\text{m/s})^2$$

$$\Delta E = \frac{2(9 \times 10^9 \times Q \times q)^2}{ma^2v^2} = \frac{2[9 \times 10^9 \times 2 \times (1.6 \times 10^{-19})^2]^2}{9.11 \times 10^{-31} \times (4 \times 10^{-11})^2 \times 2.54 \times 10^{14}}$$

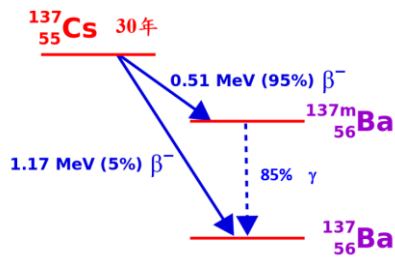
$$= 1.15 \times 10^{-18} \text{ J} = 7.19 \text{ eV}$$

$$\text{電子的動能 } E_{k, \text{electron}} = \Delta E - \phi = 7.19 - 4.06 = 3.13 \text{ eV}$$

7. 銻-137 的蛻變圖如下，請利用蛻變圖計算下列的相關問題：

(1)如果有 1 μg 的銻-137 經過一天的蛻變，所釋放的總 γ 能量為多少 MeV？

(2)如果這 1 μg 的銻-137 累積在 1 公斤的物質內，請計算一天的蛻變過程中 β^- 粒子對此物質所造成的吸收劑量為多少 Gy？(假設所有 β^- 的能量都被吸收)



[解：]

$$1\mu\text{g 的鈾} - 137 \text{ 的原子數} = \frac{10^{-6}}{137} \times 6.02 \times 10^{23} = 4.39 \times 10^{15}$$

1 μg 的鈾 - 137 經過一天的蛻變的原子數：

$$dN = N\lambda \cdot dt = 4.39 \times 10^{15} \times \frac{0.693}{30 \times 365 \times 24 \times 3600} \times 24 \times 3600 = 2.78 \times 10^{11}$$

(1)

一個 ^{137}Cs 蛻變釋放的 γ 能量 = $1.17 - 0.51 = 0.66 \text{ MeV}$

蛻變一天釋放的 γ 能量 = $2.78 \times 10^{11} \times 0.85 \times 0.66 = 1.56 \times 10^{11} \text{ MeV}$

(2)

一個 ^{137}Cs 蛻變釋放被吸收的 β^- 平均能量

$$= \frac{1}{3} \times (1.17 \times 0.05 + 0.51 \times 0.95) = 0.181 \text{ MeV}$$

蛻變一天 β^- 對物質所造成的吸收劑量

$$= 2.78 \times 10^{11} \times 0.181 \times 1.6 \times 10^{-13} \div 1 = 8.05 \text{ mGy}$$