

行政院原子能委員會  
112 年度第 1 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. 下列何種材質可以做半導體偵檢器使用？

- (1) NaI (2) Ge (3) LiF (4) BF<sub>3</sub>

[解：]

(2)

2. 中子捕獲反應式  ${}^{14}_7\text{N}(n, X){}^{14}_6\text{C}$ ，式中 X 代表什麼？

- (1)  $\alpha$  (2)  $\beta$  (3) p (4) 2n

[解：]

(3)

3. 有一個點射源，距其 300 cm 位置的曝露率為 10 mR/h，若其他條件不變之下，在距此射源 90 cm 處之曝露率約為多少 mR/h？

- (1) 9 (2) 81 (3) 133 (4) 111

[解：]

(4)

$$10 \text{ mR/h} \times (300 \text{ cm} / 90 \text{ cm})^2 = 111 \text{ mR/h}$$

4. 下列哪些核種所造成之體內輻射污染不適合使用全身計測(whole body counting)法來偵測？ A. 氯-36；B. 銻-137；C. 氙；D. 碘-131；E. 鎔-99

- (1) 僅 C (2) 僅 AB (3) 僅 AC (4) ACE

[解：]

(4)

上述之純貝他射源包括氯-36, 氙及鎔-99

5. 關於  $\beta^-$  蛻變，下列敘述何者為非？

- (1) 能譜為連續的 (2) 母核和子核同為同重素  
(3) 母核的中子數比子核多 1 (4) 子核的質子數比母核少 1

[解：]

(4)

6. 細胞內的水被輻射分解後，下列哪一產物造成的輻射傷害最嚴重？

- (1) O<sub>2</sub> (2) H<sub>2</sub> (3) OH· (4) H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>

[解：]

(3)

7. 以空腔度量輻射劑量，若其條件符合布拉格—戈雷空腔理論時，腔壁的吸收劑量( $D_w$ )與空腔內氣體的吸收劑量( $D_g$ )的比值可以下列何式表示？(註： $S$ =平均阻擋本領， $S_{\Delta}$ =平均限制性阻擋本領， $\mu_{en}$ =平均能量吸收係數， $\mu$ =平均線性衰減係數)

$$(1) D_w = D_g \times \frac{(\mu_{en}/\rho)_w}{(\mu_{en}/\rho)_g} \quad (2) D_w = D_g \times \frac{(S_{\Delta}/\rho)_w}{(S_{\Delta}/\rho)_g}$$

$$(3) D_w = D_g \times \frac{(\mu/\rho)_w}{(\mu/\rho)_g} \quad (4) D_w = D_g \times \frac{(S/\rho)_w}{(S/\rho)_g}$$

[解：]

(2)

8.  ${}^{18}_9F \rightarrow {}^{18}_8O + {}^0_1\beta + \nu$  衰變過程中產生的正子(positron)最大能量為多少 MeV？(原子量： ${}^{18}F$

= 18.000937 amu、 ${}^{18}O$  = 17.999160 amu；電子的靜止質量  $m_0 = 5.48 \times 10^{-4}$  amu)

(1) 1.15 (2) 0.85 (3) 0.63 (4) 0.511

[解：]

(3)

反應前  ${}^{18}F$  原子核質量  $m_{nuc}^F = m_{atom}^F - 9m_0$ 、反應後  ${}^{18}O$  原子核質量  $m_{nuc}^O = m_{atom}^O - 8m_0$ ，

$$\begin{aligned} \Delta m &= m_{nuc}^F - m_{nuc}^O - m_0 = (m_{atom}^F - 9m_0) - (m_{atom}^O - 8m_0) - m_0 = m_{atom}^F - m_{atom}^O - 2m_0 \\ &= (18.000937 - 17.999160 - 2 \times 5.48 \times 10^{-4}) = 0.000681 \text{ amu} \end{aligned}$$

$$E = \Delta mc^2 = 0.000681 \times 931.5 = 0.634 \text{ MeV}$$

9.  ${}^2H$  和  ${}^3He$  屬於以下哪一類？

(1) Isotones (2) Isomers (3) Isobars (4) Isotopes

[解：]

(1)

${}^2H$  和  ${}^3He$  具有相同中子數

10. 若有一膠片的光密度(optical density, OD)為 1，則代表光的穿透率為？

(1) 0.01 (2) 0.1 (3) 1 (4) 10

[解：]

(2)

11. 以鈷六十照射 0.1 毫升之硫酸亞鐵水溶液(G value = 15.5)後，經測量該水溶液光密度後推估產生了  $3.1 \times 10^{10}$  個新的生成物( $Fe^{3+}$ )分子，則此硫酸亞鐵水溶液得到多少 mGy 的吸收劑量？(硫酸亞鐵水溶液之密度  $\rho = 1.024 \text{ g/cm}^3$ )

(1) 0.15 (2) 0.31 (3) 1.55 (4) 3.12

[解：]

(2)

G value = 15.5 代表硫酸亞鐵水溶液經鈷六十照射後，每吸收 100 eV 能量會有 15.5 個  $\text{Fe}^{3+}$  產生，故若產生  $3.1 \times 10^{10}$  個  $\text{Fe}^{3+}$  則表示吸收之能量：

$$\frac{3.1 \times 10^{10}}{15.5} \times 100 \text{ eV} = 2 \times 10^{11} \text{ eV}$$

$$2 \times 10^{11} \text{ eV} = 2 \times 10^{11} \text{ eV} \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV} = 3.2 \times 10^{-8} \text{ J}$$

$$\text{吸收劑量 } D = \frac{E}{M} = \frac{3.2 \times 10^{-8} \text{ (J)}}{0.1 \text{ (cm}^3) \times 1.024 \text{ (g/cm}^3) \times 0.001 \text{ (kg/g)}} = 3.125 \times 10^{-4} \text{ Gy}$$

$$= 0.3125 \text{ mGy}$$

12. 下列哪些元素主要累積於骨骼：A. 碘、B. 銫、C. 鐳、D. 鋇、E. 鉛？

(1) ABC (2) BCD (3) CDE (4) ACE

[解：]

(3)

13. 若質量衰減係數為  $\mu/\rho$  ( $\text{m}^2/\text{kg}$ )，每公克含原子數為  $N$  (atoms/g)，該原子的原子序為  $Z$ ，試問該元素的電子衰減係數 ( $\text{m}^2/\text{electron}$ ) 為何？

(1)  $\mu/(\rho \times N \times 1000)$  (2)  $\mu/(\rho \times N \times Z)$   
(3)  $\mu/(\rho \times N \times Z \times 1000)$  (4)  $\mu \times 1000/(\rho \times N \times Z)$

[解：]

(3)

$$\begin{aligned} & \mu/\rho \text{ (m}^2/\text{kg)} \times [1/N \text{ (atoms/g)}] \times [1/Z \text{ (electron/atom)}] \times [1/(1000 \text{ g/kg})] \\ & = \mu/(\rho \times N \times Z \times 1000) \text{ m}^2/\text{electron} \end{aligned}$$

14. NaI(Tl)閃爍體測得 Cs-137 之 662 keV 光子的康普吞邊緣(Compton edge)為  $A$  keV，回散射峰(backscattered radiation peak)為  $B$  keV，則  $B/A$  等於多少？

(1) 0.39 (2) 0.77 (3) 1.30 (4) 2.60

[解：]

(1)

$$\alpha = \frac{662}{511}$$

$$A = h\nu \frac{2\alpha}{1+2\alpha}$$

$$B = h\nu \frac{1}{1+2\alpha}$$

$$B/A = 1/2\alpha = \left(\frac{511}{2 \times 662}\right) = 0.39$$

15. 關於游離輻射氧效應的敘述，下列何者為真？

- (1) 細胞在無氧情況下，對輻射的敏感度較有氧時高
- (2) 氧增比(Oxygen Enhancement Ratio, OER)為小於 1 的數值
- (3) 氧增比隨線性能量轉移(Linear Energy Transfer, LET)增加而增加
- (4)  $^{60}\text{Co}$  的氧增比較  $\alpha$  粒子大

[解：]

(4)

## 二、計算問答題：(每題 10 分，共 70 分)

1. 一自由空氣游離腔入口處的隔板開口為直徑為 1 cm 的圓，靈敏體積長度為 5 cm，游離腔在 25°C，760 mmHg 條件下經過校正後，於度量 200 kV 之 X 射線時，於外在電路中產生 0.01  $\mu\text{A}$ 。若空氣之密度為  $1.293 \times 10^{-6} \text{ kg/cm}^3$ ，試問：

(1) 該 X 射線造成之曝露量率為多少 R/s？

(2) 該游離腔於戶外 15°C，750 mmHg 的環境中使用時，於外在電路中產生 0.01  $\mu\text{A}$ ，則曝露量率應修正為多少 R/s？

[解：]

$$(1) \dot{X}_1 = \frac{10^{-8} \text{ C/s}}{3.14 \times 0.5^2 \times 5 \times 1.293 \times 10^{-6}} = 1.97 \times 10^{-3} \text{ X單位/s} = 7.65 \text{ R/s}$$

(2) 曝露量率：

$$\dot{X}_2 = \dot{X}_1 \times \frac{288 \times 760}{298 \times 750} = 7.49 \text{ R/s}$$

2. 說明放射性物質侵入體內的途徑及相對應之防護方法。

[解：]

1. 途徑：

- (1) 嚥入、吸入
- (2) 經由外傷傷口侵入
- (3) 經由無外傷的皮膚吸收

2. 防護方法：

- (1) 避免在可能有非密封放射性物質污染的區域內飲食、吸菸，工作時必須穿戴口罩或防護面具，並於工作後及飯前洗手，即可有效防止嚥入或吸入。
- (2) 如有外傷，應避免在污染區工作或從事涉有非密封放射性物質之工作；如仍須工作時，應將傷口妥善包紮，可有效防止經由傷口侵入。
- (3) 於適當時機應穿著工作服或防護衣，可避免透過皮膚吸收。

3. 以 GM 計數器度量一個含  $^{14}\text{C}$  試樣，得計數率為  $4200 \pm 150$  cpm，已知該計數器的背景計數率為  $100 \pm 30$  cpm，且事先曾以  $^{14}\text{C}$  標準試樣求得其計數效率為  $(15.2 \pm 1.6)\%$ ，試求：
- (1) 該試樣的淨計數率及標準差
  - (2) 放射性活度及標準差
  - (3) 放射性活度之相對標準差

[解：]

(1) 試樣淨計數率為  $(4200 \pm 150) - (100 \pm 30)$

$$= 4100 \pm \sqrt{150^2 + 30^2}$$

$$= 4100 \pm 153 \text{ (cpm)}$$

(2) 放射性活度：
$$\frac{4100 \pm 153 \text{ cpm}}{0.152 \pm 0.016} = 26974 \pm 26974 \times \sqrt{\left(\frac{153}{4100}\right)^2 + \left(\frac{0.016}{0.152}\right)^2}$$

$$= 26974 \pm 26974 \times \sqrt{0.0014 + 0.0111}$$

$$= 26974 \pm 26974 \times 0.1117$$

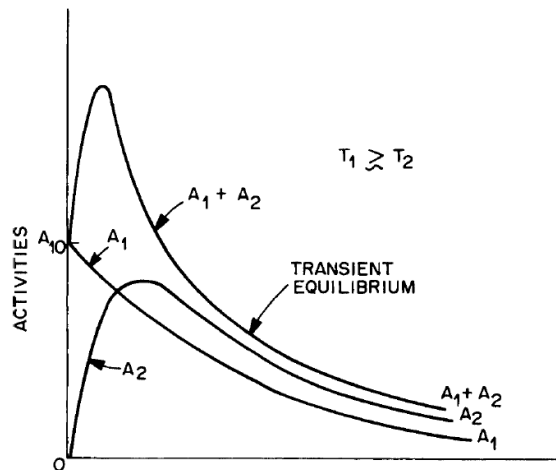
$$= 26974 \pm 3013 \text{ dpm}$$

$$= 450 \pm 50 \text{ Bq}$$

(3) 相對標準差 =  $\frac{50}{450} \times 100\% = 11.1\%$

4. 串聯放射性蛻變(serial radioactive decay)  $^{99}\text{Mo} \rightarrow ^{99\text{m}}\text{Tc} \rightarrow ^{99}\text{Tc}$ ，其中  $^{99}\text{Mo}$  半化期 66 小時， $^{99\text{m}}\text{Tc}$  半化期 6 小時，試繪圖顯示母核種、子核種的活度隨著時間經過的變化圖，同時亦繪出母核與子核的總活度變化，並說明變化趨勢之意義。

[解：]



$A_1$  = 母核活度

$A_2$  = 子核活度

子核活度  $A_2$  初始增長達到某一極大值，之後與母核活度等比例下降，此情形即為瞬時平衡(transient equilibrium)。總活度也達到某一極大值，但如圖所示，達到最大值的時刻早於子核活度達到最大值的時刻。建立瞬時平衡的時刻  $t$  取決於  $T_1$  和  $T_2$  各自的大小。當  $T_1$  稍大於  $T_2$  ( $T_1 \geq T_2$ ) 時，活度隨時間變化的函數關係。最終將達到瞬時平衡，這時所有活度( $A_1$ 、 $A_2$  和  $A_1 + A_2$ )全都以母核的半化期  $T_1$  衰變。

5. X 光與物質間的交互作用有哪五種？並解釋之。

[解：]

合調散射：X 光能量小於 10 keV，會藉由合調散射與物質作用。

光電效應：X 光會與內層軌域電子發生游離作用，X 光不會被散射，而是完全被吸收。

康普吞效應：X 光會與外層軌域電子起作用，不僅會散射出 X 光，降低其能量，並造成原子的游離。

成對發生或三項發生：當入射 X 光具有足夠能量時，在原子核或電子附近，受到強大力場影響，X 光會轉換為正負電子出現。

光核反應：X 光能量大於 10 MeV，會直接被原子核吸收，進而發射核子或其他碎片。

6. 一井型游離腔(假設偵測效率 100%)受  $5 \times 10^5$  貝克之阿伐射源照射，阿伐射線之能量為 4.75 MeV，試問：

(a) 游離腔內產生之電流為多少安培？

(b) 假若游離腔含  $0.6 \text{ cm}^3$  空氣，則測得劑量率每小時多少 Gy？

(空氣之 W 值 = 33.97 eV/離子對，空氣密度 =  $1.293 \text{ kg/m}^3$ )

[解：]

$$(a) 5 \times 10^5 (\text{衰變/秒}) \times 4.75 \times 10^6 (\text{eV/衰變}) \times [1/(33.97 \text{ eV/離子對})] \times 1.6 \times 10^{-19} (\text{C/離子}) \\ = 1.1 \times 10^{-8} \text{ C/秒} = 1.1 \times 10^{-8} \text{ A}$$

$$(b) [5 \times 10^5 (\text{衰變/秒}) \times 4.75 (\text{MeV/衰變}) \times 1.6 \times 10^{-13} (\text{J/MeV}) \times 3600 (\text{秒/小時})] / \\ [0.6 \text{ cm}^3 \times 1.293 \times 10^{-6} (\text{kg/cm}^3)] = 1.76 \times 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{小時)} \\ = 1.76 \times 10^3 \text{ Gy/小時}$$

7. 一含有 2.7 Ci 活度的某核種，均勻散佈在半徑 30 公分的球體純水溶液中，已知其比加馬發射(specific gamma-ray emission)為  $7.82 \times 10^{-8} \text{ Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ，發射之  $\gamma$ -ray 對水的平均能量吸收係數為  $3.27 \text{ m}^{-1}$ ，請問球心處的劑量率( $\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ )？

[解：]

$$\dot{D} = \frac{2.7 \text{ Ci} \times \frac{3.7 \times 10^4 \text{ MBq}}{1 \text{ Ci}}}{\frac{4}{3} \pi (0.3 \text{ m})^3} \cdot \frac{7.82 \times 10^{-8} \text{ Sv} \cdot \text{m}^2}{\text{MBq} \cdot \text{h}} \cdot \frac{4\pi}{3.27 \text{ m}^{-1}} \cdot (1 - e^{-3.27 \times 0.3}) = 0.166 \frac{\text{Sv}}{\text{h}}$$