

行政院原子能委員會
102 年度第 2 次「輻射防護師」測驗試題
專業科目

一、單選題：(每題 2 分，共 30 分，答錯不倒扣)

1. X 光管產生 X 光的量 (光子數)是由下列何者決定？

- (1)X 光管的材質 (2)管電流(mA)與曝露時間(s)的乘積
(3)管電流(mA)與管電壓(kVp)的乘積 (4)X 光管的真空度

[解：]

2

2. 計算銫 137 (Cs-137)射源的屏蔽時，下列何種作用可以不予考慮？

- (1)光電效應 (2)康普頓效應 (3)成對效應 (4)合調散射

[解：]

3

3. 有關游離輻射對細胞的效應，下列敘述何者正確？

- (1)在高氧狀態下，細胞有保護作用較不易受到傷害
(2)硫氫化合物會增加細胞中因輻射所誘發的自由基
(3)維生素 C 可以還原自由基而減少傷害
(4)細胞的存活率會因輻射劑量的增加而增加

[解：]

3

4. 下列敘述何者正確？

- (1)特性 X 射線的能量是連續性能譜
(2)特性 X 射線由原子核發出
(3)特性 X 射線是單一能量
(4)鎢靶被電子射線撞擊，不會產生特性 X 射線

[解：]

3

5. 下列量與單位的組合，何者為正確？

- (1)曝露量： $\text{Gy} \cdot \text{kg}^{-1}$ (2)蛻變常數： $\text{s}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$
(3)平均自由行徑： m (4)吸收劑量： Sv

[解：]

3

6. 假設一放射性同位素的 K、L、M 層電子束縛能分別為 70 keV、11 keV、及 3 keV，則下列何者不可能為鄂惹電子(Auger electrons)的動能？

- (1) 56 keV (2) 48 keV (3) 30 keV (4) 5 keV

[解：]

(3)

解: $70-11-11 = 48$ ， $70-11-3 = 56$ ， $11-3-3 = 5$

7. 使用直線加速器 25 MV 的 X 光治療病人，有些正常的氧原子會被高能量 X 光撞擊而將中子打出去，形成 ^{15}O ，請問 ^{15}O 的特性為何？

- (1)將釋出 β^+ (2)將行內轉換 (3)將釋出 β^- (4)將分裂成 $^7\text{Li}+2\alpha$

[解：]

1

8. 關於相對生物效能(RBE)的敘述，下列何者為非？

- (1)RBE= D_x/D ，D 為一輻射產生某一特定生物終點(biological endpoint)的劑量， D_x 是指 250 kVp 標準 X 射線產生相同生物終點的劑量
(2)輻射的能量直線轉移(LET)越高，RBE 值也越大
(3)分次照射的次數會改變 RBE 值
(4)RBE 值會隨生物終點的不同而改變

[解：]

2

9. 同源重組修復(homologous recombination repair)是針對何種 DNA 傷害的修復？

- (1)鹼基傷害(base damage) (2)單股斷裂(single-strand break)
(3)雙股斷裂(double-strand break) (4)DNA 蛋白質交聯(DNA-protein crosslink)

[解：]

3

10. 100 GBq 的 ^{226}Ra (半化期 1600 年)的質量約為多少克？

- (1)2700 (2)1000 (3)100 (4)2.7

[解：]

4

$$\text{註：} A = \lambda N = 100 \times 10^9 \text{ Bq} \therefore \lambda = \frac{0.693}{1600 \text{ y}^{-1}} = \frac{0.693}{1600 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60} \text{ (s}^{-1}\text{)}$$

$$N = \frac{W}{A} \times 6 \times 10^{23} = \frac{W}{226} \times 6 \times 10^{23}$$

綜合計算得 2.7 g

11. 在標準狀況下，體積為 1 cm^3 的空氣腔曝露在輻射場中產生 3.336×10^{10} 庫倫的電量，求空氣所吸收的劑量為多少 Gy？(空氣密度= 1.293 kg/m^3 ， $W/e=33.85$ 焦耳/庫倫)

- (1) 1.02×10^{-2} (2) 0.51×10^{-2} (3) 0.873×10^{-2} (4) 0.751×10^{-3}

[解：]

3

$$\text{解：} [(3.336 \times 10^{10} \text{ C}) / (1.293 \times 10^{-6} \text{ kg})] \times 33.85 \text{ J/C} = 0.00873 \text{ J/kg}$$

12. 放射性核種 A 和 B 的半化期為 T_A 和 T_B ，比活度為 S_A 和 S_B 。其相互關係如下：

$$T_A = 6T_B, 2S_A = S_B$$

請問 2 個核種的質量 M_A 和 M_B 之比，其正確的 M_A/M_B 的比值為何？

- (1) $\frac{1}{2}$ (2) $\frac{1}{3}$ (3) $\frac{1}{4}$ (4) $\frac{1}{5}$

[解：]

2

$$S_A = \frac{226 \times 1600}{M_A \times T_A}, \quad M_A = \frac{226 \times 1600}{S_A T_A}$$

註：
$$M_B = \frac{226 \times 1600}{S_B T_B}, \quad \frac{M_A}{M_B} = \frac{S_B T_B}{S_A T_A} = \frac{S_B T_B}{\left(\frac{1}{2} S_B\right) \times 6 T_B} = \frac{1}{3}$$

13. 下列細胞存活曲線相關參數所表示的意義何者錯誤？

- (1) D_0 指細胞存活率以指數方式減少至原始值的 37% 所需的劑量
 (2) D_0 指初始斜率， D_1 指末端斜率
 (3) D_{10} 指細胞存活率減少至原始值的 10%
 (4) $D_{10} = 2.3 \times D_0$

[解：]

(2)

14. Na(Tl)閃爍體測得 ^{137}Cs 662 keV 光子的康普吞邊緣(Compton edge)為多少 keV？

- (1) 151 (2) 184 (3) 478 (4) 511

[解：]

3

註 $E' = 662 / [1 + (662/511)(1 - \cos 180^\circ)] = 662 / [1 + (662/511)(2)] = 662 / 3.59 = 184 \text{ keV}$ ，
 $662 - 184 = 478 \text{ keV}$

15. 以小空腔度量輻射劑量，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) 與小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 = 阻擋本領， S_Δ = 限制性阻擋本領)

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

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

[解：]

(2)

二、計算問答題：（每題 10 分，共 70 分）

1. 試說明如何使原子的內層(K 層)軌道電子被游離而形成空位的機制方法。當 K 層軌道電子被游離形成空位後，會有那些反應隨著發生？

[解：]

(1) 當入射光子與內層軌道電子產生光電反應時，K 層電子被游離。

(2) 當產生電子捕獲反應(EC)時，K 層電子被抓入原子核內。

(3) 當產生內轉換反應(IC)時，原子核的能量直接傳遞給 K 層軌道電子，而將之游離。當 K 層軌道出現空位時，外層電子(L 或 M 層)會躍遷進入遞補 K 層空位而產生特性輻射(K_X 光)或鄂惹電子(Auger electrons)。

2. 請說明等效劑量和等價劑量，及其差異。

[解：]

等效劑量是以組織或器官中一個點的吸收劑量乘以該點處的輻射射質因數 Q 。單位為西弗。

等價劑量是以器官或組織的平均吸收劑量乘以輻射加權因數 W_R ，而 W_R 是以入射到身體的輻射種類和能量(對體外曝露)或從輻射源放射的粒子的種類和能量(對體內曝露)來選取的。單位為西弗。

等價劑量與等效劑量不同之處在於：

計算等效劑量的輻射射質因數 Q 是按輻射的直線能量轉移(LET)而定；計算等價劑量的輻射加權因數 W_R 則是依據輻射在低劑量率時誘發機率效應的相對生物效能(RBE)值選取的。

3. 已知硼-10 對熱中子(thermal neutron)的吸收截面為 3900 邦(barn)，則對 62.5 eV 之中子，吸收截面為何？

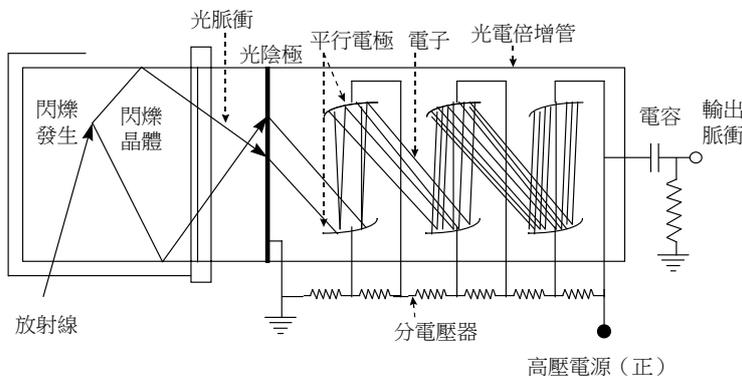
[解：]

$$\frac{\sigma_{62.5\text{eV}}}{\sigma_{\text{熱中子}}} = \sqrt{\frac{KE_{\text{熱中子}}}{KE_{50\text{eV}}}} = \sqrt{\frac{0.025\text{eV}}{62.5\text{eV}}} = 0.02$$

$$\sigma_{62.5\text{eV}} = 3900\text{ b} \times 0.02 = 78\text{ b}$$

4. 請畫圖並說明碘化鈉閃爍偵檢器(含光電倍增管)的作用原理。

[解：]



- a. 閃爍體吸收輻射後，將電子激發至激態並陷入活化體能階上。
b. 陷入活化體能階的電子回到基態，以螢光釋出過多的能量。

- c. 螢光打到光電倍增管的光陰極上，光子被吸收並放出電子。
- d. 電子向另一個正電極(dynode)加速而放大，產生4至6倍的二次電子。
- e. 正電極的電壓後一級比前一級高，因此電子逐級被吸收而放大，產生極多的電子。最後一級電極的輸出是電流脈衝，其高度正比於原始輻射的能量。

5. 一個活度為 30 mCi 之 ^{137}Cs 密封射源，距其 1.5 米處的劑量率為多少 mSv/h？若於此距離位置的人員劑量率需低於 $1.5 \mu\text{Sv/h}$ 以下，試問大約需多少 mm 的鉛罐屏蔽？ (^{137}Cs 比加馬發射 = $2.86 (\text{mSv} \cdot \text{m}^2)/(\text{h} \cdot \text{Ci})$ ，鉛對 ^{137}Cs 半值層 = 5.5 mm)

[解：]

(a) $0.03 \text{ Ci} \times 2.86 (\text{mSv} \cdot \text{m}^2)/(\text{h} \cdot \text{Ci}) \times 1/(1.5 \text{ m})^2 = 3.81 \times 10^{-2} \text{ mSv/h}$

(b) $(1.5 \mu\text{Sv/h}) / (38.1 \mu\text{Sv/h}) = 0.0394 < (1/32)$ ，約需 5 個半值層， $5.5 \text{ mm} \times 5 = 27.5 \text{ mm}$

6. 假設 1.00 MeV 的光子在碳的質量衰減係數(μ/ρ)為 $0.0636 \text{ cm}^2/\text{g}$ ，碳密度(ρ)為 2.250 g/cm^3 ，試計算碳的：

- (a) 直線衰減係數(μ)；
- (b) 原子衰減係數(μ_a)；
- (c) 電子衰減係數(μ_e)。

[解：]

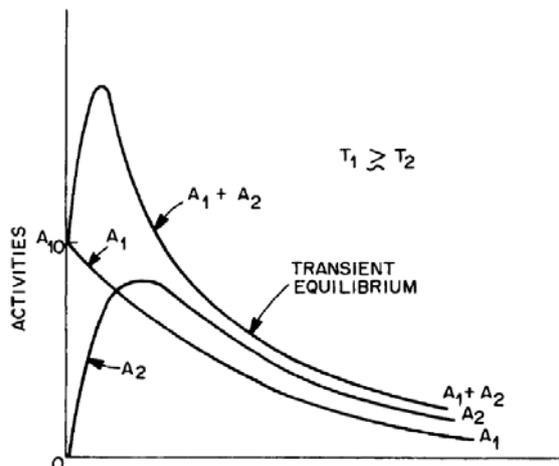
解: (a) $\mu = (\mu/\rho) \times \rho = 0.0636 \text{ cm}^2/\text{g} \times 2.250 \text{ g/cm}^3 = 0.143 \text{ 1/cm}$

(b) $\mu_a = \mu / (\text{原子數}/\text{cm}^3) = (0.143 \text{ 1/cm}) / [2.250 (\text{g/cm}^3) \times (6.02 \times 10^{23} \text{ 原子}) / 12 \text{ g}] = 1.27 \times 10^{-24} \text{ cm}^2/\text{原子}$

(c) $\mu_e = \mu / (\text{電子數}/\text{cm}^3) = (0.143 \text{ 1/cm}) / \{ 2.250 (\text{g/cm}^3) \times [(6.02 \times 10^{23} \text{ 原子}) / 12 \text{ g}] \times 6 (\text{電子}/\text{原子}) \} = 2.11 \times 10^{-25} \text{ cm}^2/\text{電子}$

7. 串行衰變 $^{99}\text{Mo} \rightarrow ^{99\text{m}}\text{Tc} \rightarrow ^{99}\text{Tc}$ ，其中 ^{99}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，之後以母核活度同樣的衰變速率而下降，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。