行政院原子能委員會

111 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. 假設某一放射性物質為點射源，其活度為 A，蛻變時射出單一能量 E 的加馬射線，加馬射線的產生率為 f，被空氣吸收的直線吸收係數為 μ，空氣密度為 ρ。離此點射源距離 r 處的吸收劑量率為 $\dot{D}$，下列何者的表示是正確的？

(1) $\dot{D}=\frac{A}{r^2}\frac{Ef\mu}{\rho}$ (2) $\dot{D}=\frac{A}{r^2}Ef\mu$ (3) $\dot{D}=\frac{A}{4\pi r^2}\frac{Ef\mu}{\rho}$ (4) $\dot{D}=\frac{A}{4\pi r^2}Ef\mu$

[解：]

(3)

2. 某單一動能電子束，以速率 v 入射到某物質內，假設該物質的原子序為 Z，則該物質對此電子束的阻擋本領(stopping power) S 與電子速率 v 及物質原子序 Z 的關係，下列何者正確？ (1) $S\propto Z/v^2$ (2) $S\propto Z/v$ (3) $S\propto v^2/Z$ (4) $S\propto v/Z$

[解：]

(1)

阻擋本領 $S=\frac{dE}{dx}=\frac{2\pi q^4 NZ\times(3\times10^9)^4}{E_m(v/c)^2\times(1.6\times10^{-6})^2}\left\{\ln\left[\frac{E_m E_k\beta^2}{I^2(1-\beta^2)}\right]-\beta^2\right\}$，所以 $S\propto Z/v^2$

3. 某一非常高能量的光子與物質發生康普吞作用，若光子的散射角為 60 度，請問何者為真？ (1)散射光子能量為 1.022 MeV (2)散射光子能量為 0.511 MeV (3)被撞電子動能為 1.022 MeV (4)被撞電子動能為 0.511 MeV

[解：]

(1)

說明:

$$h\nu'=\frac{h\nu}{1+\frac{h\nu}{0.511MeV}(1-\cos\theta)}\overset{\because h\nu>>1}{\cong}\frac{h\nu}{\frac{h\nu}{0.511MeV}(1-\cos60^o)}=\frac{0.511MeV}{0.5}=1.022MeV$$

4. 急性全身輻射曝露造成的急性效應中，下列何者所需的劑量最高？

(1)呼吸系統症候群 (2)中樞神經系統症候群 (3)造血症候群 (4)腸胃症候群

[解：]

(2)

5. 輻射對細胞的直接效應包含哪些？ A.胺基酸支鏈脫氫作用 B.脂肪酸形成過氧化酸 C.胺基酸支鏈斷裂 D.巨分子鏈斷裂
(1) ABCD (2)僅 ABC (3)僅 BCD (4)僅 ACD
[解：]
(1)

6. 人類全身受 X 光或 γ 射線照射的 $LD_{50/60}$ 劑量？
(1) 1~2 Gy (2) 3~4 Gy (3) 6~7 Gy (4) 9~10 Gy
[解：]
(2)

7. 若以鈷-60 照射 0.1 ml 之硫酸亞鐵水溶液(G value =15.5)後，經計測推估產生了 6.2×10^{10} 個新的生成物(Fe^{3+})分子，問此硫酸亞鐵水溶液被照射了多少戈雷(Gy)的吸收劑量？（硫酸亞鐵水溶液之密度ρ=1.024 g/cm^3）
(1) 6.40×10^{-8} (2) 6.25×10^{-7} (3) 6.40×10^{-5} (4) 6.25×10^{-4}
[解：]
(4)
G value =15.5 代表經鈷-60 照射後，每吸收 100 eV 能量會有 15.5 個 Fe^{3+}產生，故若產生 6.2×10^{10} 個 Fe^{3+}則表示吸收之能量：

$$\frac{6.2\times10^{10}}{15.5}\times100\,\text{eV}=4\times10^{11}\ \text{eV}\times1.6\times10^{-19}\ \text{J/ eV}=6.4\times10^{-8}\ \text{J}$$

吸收劑量：

$$\text{D}=\frac{E}{M}=\frac{6.4\times10^{-8}(J)}{0.1(cm^3)\times1.024(g/cm^3)\times0.001(kg/g)}=6.\ 25\times10^{-4}\ \text{Gy}$$

8. 1 WL (working level) 是指在一公升的空氣中，短半化期氡的子核最終將釋出多少 α 粒子的能量？ (1) 34 MeV (2) 3700 MeV (3) 1.6×10^4 MeV (4) 1.3×10^5 MeV
[解：]
(4)

9. ^{2}H、^{3}He 及 ^{39}K、^{40}Ca 這兩組核種皆屬於？ (1)同位素(isotopes) (2)同重素(isobars) (3)同質異能素(isomers) (4)同中子素(isotones)
[解：]
(4)

10. 某間放射攝影室每週要照 350 位病人，每位病人照三張影像，每張影像最大使用 50 mAs，請問工作負荷(workload)為何？
(1) 150 mAm (2) 150 mAs (3) 1050 mAm (4) 875 mAm

[解：]

(4)

350 × 3 × 50 mAs / 60 s/m = 875 mAm

11. 下列四項對 TLD 的敘述有哪幾項正確？ A.輝光曲線下的面積可用來評估輻射劑量 B.電子陷阱的深度決定輻射劑量高低 C.迴火時間大於加熱計讀時間 D.電子陷阱位於晶體價帶 (1)僅 AB (2) ABC (3) BCD (4)僅 AC

[解：]

(4)

12. 假設某輻射試樣計測 10 分鐘之計數率為 4000 cpm，則在 68%信賴水準下之百分標準差為多少%？ (1) 3 (2) 2 (3) 1 (4) 0.5

[解：]

(4)

$4000\ \text{cpm} \pm (4000\ \text{cpm} / 10\ \text{min})^{1/2} = (4000 \pm 20)\ \text{cpm}$

$(20 / 4000) \times 100\% = 0.5\ \%$

13. 物質的螢光產率(fluorescent yield)愈小，產生何種輻射愈多？

(1)內轉換電子 (2)光電子 (3)鄂惹電子(Auger electron) (4)康普吞電子

[解：]

(3)

14. 距離鈷-60 點射源 2 m 處之劑量率為 125 mSv/h，若忽略增建因數，今距離射源 7 m 處加裝 36 mm 之鉛屏蔽，則該處劑量率降至多少 mSv/h？（鈷-60 之半值層為 12 mm Pb）

(1) 0.78 (2) 1.28 (3) 2.56 (4) 3.43

[解：]

(2)

$$\dot{D} = 125 \times \frac{2^2}{7^2} \times \frac{1}{2^3} = 1.28$$

15. 光電倍增管(PMT)的功能為何？

(1)增加離子對的數量 (2)增加螢光的數量 (3)增加電子的數量 (4)增加 X 光的數量

[解：]

(3)

二、計算問答題：(每題 10 分，共 70 分)

1. ^{68}Ge-^{68}Ga 孳生器之母核 ^{68}Ge 的半化期為 271 天，子核 ^{68}Ga 的半化期為 68 分鐘，如果開始時有 10 mg 的 ^{68}Ge，試問：

   (1)經過多久時間 ^{68}Ga 的活度會達到最大？

   (2)如果此時分離 ^{68}Ga 可得到多少 μg 的 ^{68}Ga？

   [解：]

   (1) $t_{maxd} = \frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} ln \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{1}{0.611 - 1.07\times10^{-4}} ln \frac{0.611}{1.07\times10^{-4}} = 14.16\ hr$

   $\because \lambda_1 = \frac{0.693}{271 \times 24} = 1.07 \times 10^{-4} hr^{-1}, \lambda_2 = \frac{0.693}{68 \div 60} = 0.611 hr^{-1}$

   (2)經過 14.16 小時已經達成平衡$\therefore N_1\lambda_1 = N_2\lambda_2$

   $$\frac{10}{68} \times 6.02 \times 10^{23} \times \frac{0.693}{271 \times 24 \times 3600} = \frac{a}{68} \times 6.02 \times 10^{23} \times \frac{0.693}{68 \times 60}$$

   $\therefore a = 1.74 \times 10^{-3} mg$=1.74 μg

2. 單能的 450 keV γ 射線在 NaI(Tl)晶體中被吸收時的效率為 12%，閃爍光子的 75%以平均能量 2.8 eV 到達光電倍增管(PMT)的陰極，約 20%閃爍光子轉換為光電子。

   (1)試計算每吸收一個 γ 光子所產生的閃爍光子平均數 (3%)

   (2)試計算平均每個 γ 光子產生多少光電子 (3%)

   (3)試計算入射光子為從光電倍增管的陰極產生一個光電子平均消耗的能量(W 值)是多少？(4%)

   [解：]

   (1)12%效率產生可見光的總能量為 450 keV x 0.12 = 54.0 keV，閃爍光子的平均數約為 19285 (54000/2.8= 19285)個。

   (2)到達光電倍增管陰極的平均光子數約為 14464 (19285 x 0.75 =14464)，產生一個脈衝的平均光電子數為 0.20 x 14464 = 2893

   (3)W = 450000/2893 = 156 eV/光電子

3. 為生產 ^{60}Co 射源，將 50 克 ^{59}Co (100%豐度) 樣品置放於通量率為 10^9 $cm^{-2}s^{-1}$ 的熱中子射束下照射，已知其熱中子捕獲截面為 37 邦，試問若要製造出 1 mCi ^{60}Co 需要多少天照射時間？

   [解：]

   $\lambda N = \Phi\sigma N_T [1-\exp(-\lambda t)]$

   $\Phi\sigma N_T = 10^9 \times 37 \times 10^{-24} \times 50/59 \times 6.02 \times 10^{23} = 1.887 \times 10^{10}$ (Bq)

   $1.887 \times 10^{10} \times [1-\exp(-\lambda t)] = 3.7 \times 10^7$ (Bq)

   t = 5.44 (天)

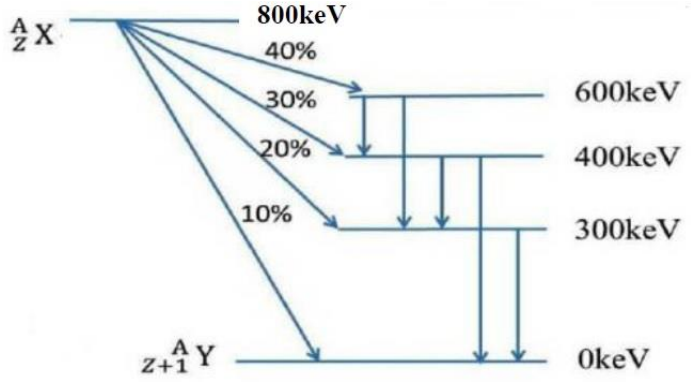
4. 下圖為核種 ${}^{A}_{Z}X$ 蛻變為核種 ${}^{A}_{Z+1}Y$ 之衰變圖(decay scheme)，請回答下列問題：

(1)核種 ${}^{A}_{Z}X$ 蛻變為核種 ${}^{A}_{Z+1}Y$ ，屬於下列哪一種蛻變？(α 蛻變、β^- 蛻變、β^+ 蛻變、電子捕獲)

(2)射出的貝他粒子有幾種能量？每一種貝他粒子最大能量分別為多少 keV？總平均能量為多少 keV？

(3)射出的加馬射線有幾種能量？每一種加馬射線分別為多少 keV？

(4)若 ${}^{A}_{Z}X$ 進行 1000 次蛻變，則射出多少個貝他粒子？多少個加馬射線？



[解：]

(1)原子序增加 1、質量數不變，為 β^- 蛻變。

(2)射出的貝他粒子有 4 種，最大能量分別為 800 keV (800-0，有 10%)、500 keV (800-300, 有 20%)、400 keV (800-400,有 30%)及 200 keV (800-600，有 40%)，總平均能量

$$\overline{E} = \frac{1}{3}(800\times 0.1 + 500\times 0.2 + 400\times 0.3 + 200\times 0.4) = 127keV$$

(3)射出的加馬射線有 4 種，能量分別為 400 keV(400-0)、300 keV(600-300 及 300-0)、200 keV(600-400)及 100 keV(400-300)。

(4)每次蛻變都有貝他粒子射出，但只有 90%加馬射線射出；所以 1000 次蛻變，則射出 1000 個貝他粒子、900 個加馬射線。

5. 某工作場所長期有 ^{137}Cs 與 ^{131}I 空浮微粒，假設平均濃度分別為 10 Bq/m^3 與 20 Bq/m^3，若工作人員整年在此環境下工作，且未採取任何防護措施，則：

(1)其吸入的 ^{137}Cs 核種所造成的約定有效劑量為多少 mSv？

(2)吸入 ^{137}Cs 與 ^{131}I 造成的總約定有效劑量為多少 mSv？

（假設在輕度工作情況下，呼吸率為 20 L/min；約定有效劑量轉換因數：^{137}Cs 的 h(g)＝6.7×10^{-9} Sv/Bq，^{131}I 的 h(g)＝1.1×10^{-8} Sv/Bq；工作人員一年工作時數為 2000 小時）

[解：]

工作人員一年工作時數為 2000 小時，則一年在工作場所之呼吸量為：20 L/min × 10^{-3} m^3/L × 60 min/h × 2000h/y = 2400 m^3

(1) ^{137}Cs 核種所造成的約定有效劑量為

10 Bq/m^3 × 2400 m^3 × 6.7×10^{-9} Sv/Bq = 1.61 ×10^{-4} Sv = 0.161 mSv

(2) ^{131}I 核種所造成的約定有效劑量為

20 Bq/m^3 × 2400 m^3 × 1.1×10^{-8} Sv/Bq = 5.28 ×10^{-4} Sv = 0.528 mSv

總約定有效劑量為 0.161+0.528 = 0.689 mSv

6. 有一輻射計測系統，其整體計測效率 $\varepsilon = 0.2 \pm 0.02$，計測某樣品時間 $t = 10 \pm 0.1$ (秒)，共測得 400 計數。若背景輻射可忽略，則該樣品的活度應標示為何？
(含標準差，單位為 Bq)
[解：]
計數 $N = 400$，則計數標準差 $\sigma_N = \sqrt{N} = 20$
計數率 $R = \frac{N}{t} = \frac{400}{10} = 40cps$，則計數率標準差
$\left(\frac{\sigma_R}{R}\right)^2 = \left(\frac{\sigma_N}{N}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_t}{t}\right)^2 = \left(\frac{20}{400}\right)^2 + \left(\frac{0.1}{10}\right)^2 = 2.6 \times 10^{-3}$，$\rightarrow \sigma_R = \sqrt{2.6 \times 10^{-3}} R = 2.04cps$
活度 $A = \frac{R}{\varepsilon} = \frac{40}{0.2} = 200Bq$，則活度標準差
$\left(\frac{\sigma_A}{A}\right)^2 = \left(\frac{\sigma_R}{R}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_\varepsilon}{\varepsilon}\right)^2 = \left(\frac{2.04}{40}\right)^2 + \left(\frac{0.02}{0.2}\right)^2 = 0.0126$，$\rightarrow \sigma_A = \sqrt{0.0126} A = 22.5Bq$
活度應標示為 $A = (200 \pm 22.5)Bq$

7. 某人誤食 1.0 MBq 的 ^{137}Cs，它在人體內滯留的特徵可使用二隔室模式描述與計算之，即 $q(t) = 0.1 \times q_o e^{-(\frac{0.693}{2天} \cdot t)} + 0.9 \times q_o e^{-(\frac{0.693}{110天} \cdot t)}$，已知 ^{137}Cs 每單位累積活度的吸收劑量 S(body←body)為 3.8×10^{-6} Gy/MBq-day，請問此人前 30 天接受的吸收劑量(Gy)？
[解：]
對隔室 1：30 天的累積活度(發射輻射) = N_o-N=

$$\frac{A_{1o}}{\lambda}(1 - e^{-\frac{0.693}{2天} \cdot 30天}) = \frac{0.1 \times 1MBq}{\frac{0.693}{2天}} \cdot 1 = 0.289 \text{ MBq} \cdot 天$$

所以 D_1(30 天)=0.289 MBq·天×3.8×10^{-6} Gy/MBq-day=1.09×10^{-6} Gy
對隔室 2：30 天的累積活度(發射輻射) = N_o-N=

$$\frac{A_{20}}{\lambda}(1 - e^{-\frac{0.693}{110天} \cdot 30天}) = \frac{0.9 \times 1MBq}{\frac{0.693}{110天}} \cdot (1 - 0.828) = 24.6 \text{ MBq} \cdot 天$$

所以 D_2(30 天)=24.6 MBq·天×3.8×10^{-6} Gy/MBq-day=93.48×10^{-6} Gy
二隔室合計為 $D_1 + D_2$=94.57×10^{-6} Gy=9.46×10^{-5} Gy