

行政院原子能委員會  
九十六年度第二次輻射防護人員測驗試題  
輻射防護師：專業科目

一、填充題(每格 2 分，共 30 分)

1. 已知鋁箔( $^{27}_{13}\text{Al}$ )的密度為  $2.7 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ，請計算在 1mm 厚的鋁箔中，每  $\text{cm}^2$  有 (1) 個電子。 [ $7.83 \times 10^{22}$ ]

解：  $1\text{mm} \times 1\text{cm}^2 = 0.1\text{cm}^3$

$$0.1\text{cm}^3 \times 2.7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 0.27\text{g}$$

$$\frac{0.27}{27} \times 6.02 \times 10^{23} \times 13 = 7.83 \times 10^{22}$$

2. 已知某核種之初始活度為  $A_0$ ，衰變常數為  $\lambda$ ，若 y 軸為活度(A)，x 軸為時間(t)，則  $A=A_0e^{-\lambda t}$  曲線下的總面積 ( $= \int_0^{\infty} A_0e^{-\lambda t} dt$ ) = (2)。 [ $\frac{A_0}{\lambda}$ ]

解：

此題主要考物理觀念(平均壽命之原始定義)，當然直接積分也可解答。

時間從 0 積分到無限大，即總核種數量( $N_0$ )均 decay 完，所以積分面積=  $N_0$

因為  $A_0 = \lambda N_0$

所以  $N_0 = \frac{A_0}{\lambda}$

3. 已知鉛(密度 $\rho$ 為  $11.4 \text{ g cm}^{-3}$ )對  $10\text{MeV}$  光子的(1)質能吸收係數  $(\mu_{\text{en}}/\rho)=0.0325 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$  , (2)質能轉移係數  $(\mu_{\text{tr}}/\rho)=0.0418 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$  , (3)質量衰減係數  $(\mu/\rho)=0.0497 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ 。請問此能量之光子在鉛中的 mean free path=\_\_\_\_(3)\_\_\_\_ cm , 二次電子初始動能中以制動輻射發射出的分數為 : \_\_\_\_ (4) \_\_\_\_ 。

[1.765 , 0.2225]

解 :

$$\text{mean free path} = \mu^{-1} = \frac{1}{\frac{\mu}{\rho} \times \rho} = \frac{1}{0.0497 \times 11.4} \text{ cm} = 1.765 \text{ cm}$$

$$\therefore \frac{\mu_{\text{en}}}{\rho} = \frac{\mu_{\text{tr}}}{\rho} (1-g)$$

$$.0.0325 = 0.0418 (1-g)$$

$$g=0.2225$$

4.  $^{111}\text{In}$  的比活度(Specific activity)為多少\_\_\_\_(5)\_\_\_\_ mCi/mg?

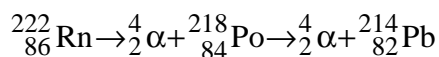
$$4.22 \times 10^5 \text{ mCi/mg}$$

5.  $^{222}_{86}\text{Rn}$  將以  $\alpha$  decay 至 RaA , RaA 再以  $\alpha$  decay 至 RaB , 請問 RaA

是指\_\_\_\_(6)\_\_\_\_ , RaB 是指\_\_\_\_(7)\_\_\_\_ (請寫出元素符號與質量

數) 。 [ $^{218}\text{Po}$  ,  $^{214}\text{Pb}$ ]

解 :



6. 已知熱中子反應式  ${}^1\text{H}(n, \gamma){}^2\text{H}$  的捕獲截面是 0.33 barn，請問同樣的反應式，中子能量為 20 eV 時的捕獲截面=\_\_\_\_(8)\_\_\_\_\_。

[0.01167 邦]

解：

熱中子最可能的能量為 0.025 eV

一般而言，動能 100 eV 以下的中子，其吸收截面( $\sigma$ )正比於速率的倒數( $1/V$ )

$$\text{即 } \frac{\sigma_{20\text{eV}}}{\sigma_{0.025\text{eV}}} = \frac{V_{0.025\text{eV}}}{V_{20\text{eV}}} = \sqrt{\frac{E_{0.025\text{eV}}}{E_{20\text{eV}}}} = \sqrt{\frac{0.025\text{eV}}{20\text{eV}}} = 0.0354$$

$$\sigma_{20\text{eV}} = 0.0354 \times \sigma_{0.025\text{eV}} = 0.0354 \times 0.33\text{b} = 0.01167\text{b}$$

7.  ${}^{235}\text{U}$  衰變至穩定的  ${}^{207}\text{Pb}$ ，經過\_\_\_\_(9)\_\_\_\_\_次的 decay 及\_\_\_\_(10)\_\_\_\_\_次的 decay。(9) 7、(10) 4
8. 針對中子的屏蔽設計須考慮哪幾個重點：①\_\_\_\_(11)\_\_\_\_\_、②捕獲減能後的中子、③\_\_\_\_(12)\_\_\_\_\_ (11) 快中子緩速或減能，(12) 衰減所可能引起的加馬輻射。
9. 某輻射工作人員之前四年接受的有效劑量分別是：12 mSv、5 mSv、8 mSv、10 mSv，請問此工作人員第五年最多可接受有效劑量\_\_\_\_(13)\_\_\_\_\_ mSv。

(以民國九十四年十二月發布的游離輻射防護安全標準為依據)

[50]

解：

劑量限度規定：每連續五年週期之有效劑量不得超過 100 mSv，  
且單任何單一年內之有效劑量不得超過 50 mSv。

$$100 \text{ mSv} - 12 \text{ mSv} - 5 \text{ mSv} - 8 \text{ mSv} - 10 \text{ mSv} = 65 \text{ mSv}$$

此值超過一年不得超過 50 mSv，所以第 5 年最多為 50 mSv。

10. 接續上題，第五年之上半年中，其性腺( $W_T=0.2$ )接受等價劑量 20 mSv，肺( $W_T=0.12$ )接受了 50 mSv，甲狀腺( $W_T=0.05$ )接受了 200 mSv，餘組織或器官均未接受劑量，請問此工作人員上半年接受了     (14)     mSv 的有效劑量；請問下半年最多僅可再接受     (15)     mSv 的有效劑量，方不致超過法規標準。 [20、30]

解：

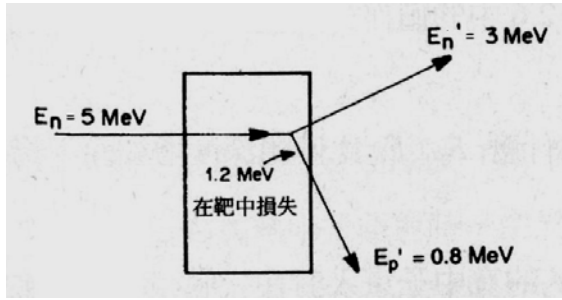
$$\text{上半年接受之等效劑量} = 20 \times 0.2 + 50 \times 0.12 + 200 \times 0.05 = 4 + 6 + 10 = 20$$

(mSv)

$$50 \text{ mSv} - 20 \text{ mSv} = 30 \text{ mSv}$$

## 二、問答與計算(每題 10 分，共 70 分)

1. 5 MeV 的中子( $E_n=5 \text{ MeV}$ )在 1 克的靶中與質子單次碰撞，質子獲得 2.0 MeV 的動能，並在靶內損失 1.2 MeV 的能量，如下圖。



請計算靶接受的吸收劑量及其 Kerma 值。

[ $1.92 \times 10^{-10}$ 、 $3.20 \times 10^{-10}$ ]

解：

$$D_{\text{吸收}} = \frac{\Delta E_{\text{吸收}}}{\Delta m} = \frac{1.2 \text{ MeV}}{1 \text{ g}} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \times \frac{1.6 \times 10^{-13} \text{ J}}{1 \text{ MeV}} = 1.92 \times 10^{-10} \text{ Gy}$$

$$\text{Kerma} = \frac{\Delta E_{\text{質子初始動能}}}{\Delta m} = \frac{2 \text{ MeV}}{1 \text{ g}} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \times \frac{1.6 \times 10^{-13} \text{ J}}{1 \text{ MeV}} = 3.2 \times 10^{-10} \text{ Gy}$$

2. 一游離腔偵檢器校正於攝氏 20 度，760 毫米汞柱之大氣壓下，若此游離腔在攝氏 25 度，589 毫米汞柱之大氣壓下使用，當讀值顯示曝露率為 10 mR/hr，則其修正後之曝露率應為？

$$10 \frac{\text{mR}}{\text{hr}} \times \frac{760}{589} \times \frac{273 + 25}{273 + 20} = 13.1 \frac{\text{mR}}{\text{hr}}$$

3.  $^{140}\text{Ba}$  可衰變到  $^{140}\text{La}$ ，其半衰期為 12.8 天， $^{140}\text{La}$  可衰變到穩定的  $^{140}\text{Ce}$ ，其半衰期為 40.5 小時，一個放射藥師剛從  $^{140}\text{Ba}$  中分離出所有的  $^{140}\text{La}$ ，此時量得  $^{140}\text{Ba}$  的活度是 1000 MBq。請問再分離出最大量的  $^{140}\text{La}$  需要等待幾小時？

$$\lambda_{Ba} = \frac{0.693}{12.8d} = 0.054 \frac{1}{d} \quad \lambda_{La} = \frac{0.693}{40.5hr} \times \frac{24hr}{1d} = 0.41 \frac{1}{d}$$

$$t_m = \frac{\ln\left(\frac{0.41}{0.054}\right)}{0.41 - 0.054} = 5.69d = 136.5hr$$

4. 一個 100 keV 的光子射束，其通量率為  $6.6 \times 10^5 \frac{1}{cm^2 \cdot s}$ ，

$$\mu_{en} = 0.0231 \frac{cm^2}{g} \text{， 請問其曝露率為多少 } \frac{C}{kg \cdot s} \text{？}$$

$$\dot{X} = \frac{1X}{34Gy} \times \frac{6.6 \times 10^5}{cm^2 \cdot s} \times 100keV \times \frac{1.6 \times 10^{-16} J}{1keV} \times 0.0231 \frac{cm^2}{g} \times \frac{1000g}{1kg} = 7.17 \times 10^{-9} \frac{X}{s}$$

5. NaI(Tl) (密度為  $3.67 \text{ g cm}^{-3}$ ) 對 500 keV 的光子其質量衰減係數為  $0.09 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ，請問垂直入射的光子在 4 cm 厚晶體中發生相互作用的百分率為多少%。 [73.3]

解：

$$\mu = \frac{\mu}{\rho} \times \rho = 0.09 \frac{cm^2}{g} \times 3.67 \frac{g}{cm^3} = 0.33 cm^{-1}$$

$$\frac{n}{n_0} = e^{-\mu l} = e^{-0.33 cm^{-1} \times 4 cm} = 26.7\% = \text{光子穿越的百分率}$$

所以發生作用的百分率 =  $100\% - 26.7\% = 73.3\%$

6. 試對下列診斷 X 光室，計算主屏蔽(primary protective barrier) 所需之衰減值 K ( $R \text{ mA}^{-1} \text{ min}^{-1} \text{ at } 1 \text{ m}$ )：125 kVp, 300 mA min per week, use factor = 1, occupancy factor = 1/4, X 光管至屏蔽距離為 5 m, 屏蔽外每週劑量限度為 2mR。

$$K = \frac{Pd^2}{WUT} = \frac{0.002 \times 5^2}{300 \times 1 \times 1/4} = 6.66 \times 10^{-4} (R \cdot mA^{-1} \cdot \min^{-1} \text{ at } 1m)$$

7. 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 radiation peak) 分別位於多少能量？
- [511、341、170]

解：

全能峰或稱光電峰 = 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)。

$$\text{此電子可獲得之最大能量} = \frac{2 \cdot (0.511)^2}{0.511 + 2 \cdot 0.511} = 0.341(\text{MeV})$$

回散射鋒：511-341=170 keV