

行政院原子能委員會  
106 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. 下列何者不是正確的體外曝露防護基本原則？ (1)適當地屏蔽輻射源 (2)接受曝露的時間越短愈好 (3)與射源距離愈遠愈好 (4)劑量與距離平方成正比

[解：]

(4)

2. 人體內所含的天然放射性核種以何者為主？ (1) $^{14}\text{C}$  (2) $^{40}\text{K}$  (3) $^{32}\text{P}$  (4) $^{15}\text{N}$

[解：]

(2)

3. 人類細胞週期(cell cycle)的哪一個時期對輻射最不敏感？

(1)  $G_1$  期 (2) S 期 (3)  $G_2$  期 (4) M 期

[解：]

(2)

4. 可用於偵測中子外洩的偵檢器是下列何者？

(1) Si(Li)偵檢器 (2)  $\text{BF}_3$  比例計數器 (3) Ge(Li)偵檢器 (4) 蓋革計數器

[解：]

(2)

5. 若由阿伐射線造成器官劑量為 2 Gy，則該器官之等價劑量為多少 Sv？

(1) 2 (2) 20 (3) 40 (4) 60

[解：]

(3)

解:  $2 \text{ Gy} \times 20 = 40 \text{ Sv}$

6. 已知 662 keV 光子與鉛(密度為  $11.3 \text{ g/cm}^3$ )作用的質量衰減係數( $\mu/\rho$ )為  $0.1084 \text{ cm}^2/\text{g}$ 、質量轉移係數( $\mu_{\text{tr}}/\rho$ )為  $0.0616 \text{ cm}^2/\text{g}$ 、質量吸收係數( $\mu_{\text{en}}/\rho$ )為  $0.0589 \text{ cm}^2/\text{g}$ ，請問 662 keV 光子平均轉移給電子的能量為多少 keV？ (1) 176 (2) 360 (3) 376 (4) 511

[解：]

(3)

$$662 \text{ keV} \times \frac{0.0616}{0.1084} = 376 \text{ keV}$$

7. 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法(whole body counting)來偵測? A. 氯-36( $^{36}\text{Cl}$ ), B. 銫-137( $^{137}\text{Cs}$ ), C. 氚( $^3\text{H}$ ), D. 碘-131( $^{131}\text{I}$ ), E. 鎝-99( $^{99}\text{Tc}$ )

(1) C (2) A B (3) A C (4) A C E

[解:]

(4)

上述之貝他射線校準用射源包括氯-36( $^{36}\text{Cl}$ ), 氚( $^3\text{H}$ )及鎝-99( $^{99}\text{Tc}$ )

8. 細胞受到輻射照射後, 下列敘述何者錯誤? (1) 間接作用大部分是輻射先跟水作用 (2) 間接作用的作用機率比直接作用大 (3) 間接作用會產生自由基 (4) 間接作用不會傷害 DNA

[解:]

(4)

間接作用產生的自由基會傷害 DNA

9. 相對生物效應(relative biological effectiveness, RBE)可用來評估特定輻射的生物效應, 其值與直線能量轉移(LET)有一定相關, 當 LET 為多少時, RBE 達到最大值?

(1) 1 keV/ $\mu\text{m}$  (2) 10 keV/ $\mu\text{m}$  (3) 100 keV/ $\mu\text{m}$  (4) 1000 keV/ $\mu\text{m}$

解:

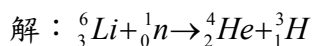
(3)

10. 使用  $^6\text{LiF}$  熱發光劑量做中子度量時,  $^6\text{Li}$  和中子發生作用後的產物為下列何者?

(1)  $^2\text{H}$  及  $^5\text{Li}$  (2) 中子及  $^6\text{Be}$  (3)  $^3\text{H}$  及  $\alpha$  (4) 質子及  $^6\text{Be}$

[解:]

(3)



11. 光子的能量為 1.25 MeV, 通量率為  $1 \times 10^6 / \text{cm}^2 \cdot \text{s}$ , 光子與空氣作用的  $\mu_{\text{en}} / \rho = 0.02666 \text{ cm}^2 / \text{g}$ , 試問空氣的吸收劑量率為多少 mGy/h?

(1) 19.2 (2) 29.2 (3) 32.2 (4) 39.2

[解:]

(1)

解:  $(1 \times 10^6 \text{ 光子/cm}^2 \cdot \text{s}) \times (1.25 \text{ MeV/光子}) \times (1.6 \times 10^{-13} \text{ J/MeV}) \times (0.02666 \text{ cm}^2/\text{g}) \times 1000 \text{ g/kg} \times 3600 \text{ s/h} = 192 \times 10^{-4} \text{ Gy/h} = 19.2 \text{ mGy/h}$

12. 1.3 MeV 的  $\gamma$  射線入射於水泥中，其平均自由行程約為多少公尺(m)？

(水泥的密度為  $2350 \text{ kg m}^{-3}$ ，對 1.3 MeV 的  $\gamma$  射線的質量衰減係數為  $0.0061 \text{ m}^2\text{kg}^{-1}$ )

(1) 0.02 m (2) 0.05 m (3) 0.07 m (4) 0.1 m

[解:]

(3)

註：平均自由行程  $L=1/\mu$

$$\begin{aligned}\mu &= (\mu/\rho) \cdot \rho \\ &= (2350 \text{ kg m}^{-3})(0.0061 \text{ m}^2\text{kg}^{-1}) \\ &= 14.3 \text{ m}^{-1}\end{aligned}$$

$$L = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{14.3} = 0.07 \text{ m}$$

13. 有能量均為 0.662 MeV 的光子輻射，射入 2 cm 厚介質中，若衰減係數分別為  $\mu = 0.1 \text{ cm}^{-1}$ ， $\mu_{\text{tr}} = 0.06 \text{ cm}^{-1}$ ， $\mu_{\text{en}} = 0.02 \text{ cm}^{-1}$ ，則每個作用之平均能量吸收為多少 MeV？

(1) 0.54 (2) 0.40 (3) 0.22 (4) 0.13

[解:]

(4)

解:  $\mu_{\text{en}} = 0.02 \text{ cm}^{-1} = \mu \times (E_{\text{en}}/E)$ ，

$$E_{\text{en}} = (0.02 \text{ cm}^{-1} \times 0.662 \text{ MeV}) / 0.1 \text{ cm}^{-1} = 0.13 \text{ MeV}$$

14. 已知游離腔的體積為  $0.5 \text{ cm}^3$ ，填充空氣，電容為 5 pF，在 STP 條件下操作此游離腔，輻射曝露前游離腔極間電壓(voltage across chamber)為 180 V，曝露後極間電壓為 168 V，請問曝露為多少 mR？ (1) 150 (2) 200 (3) 300 (4) 360

[解:]

(4)

$$\text{Exposure} = \frac{Q}{m} = \frac{5 \text{ pF} \times (180 \text{ V} - 168 \text{ V})}{0.5 \text{ cm}^3 \times 0.001293 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}} \times 3876 \text{ R} = 0.36 \text{ R} = 360 \text{ mR}$$

15. 一重量 70 kg 身高 160 公分參考人，靜脈注射入某放射性液 1 MBq，在短時間內均勻分布全身。設該放射性液每次蛻變射出 1 個平均能量  $\bar{E} = 1 \text{ MeV}$  的輻射，放射性半化期

為 15 小時，生理半化期為 11 天，得知全身之吸收分量為 0.3，則該參考人之總劑量約為多少  $\mu\text{Gy}$ ? (1) 2.47 (2) 50.6 (3) 53.5 (4) 941

[解:]

(2)

$$\text{放射性液的能量釋出率 } \dot{E} = A\bar{E}n = 1 \times 1 \times 1 \text{ MBq} \times \frac{\text{MeV}}{\text{tr}} \times \frac{10^6 \text{ tr/s}}{\text{MBq}} = 10^6 \frac{\text{MeV}}{\text{s}}$$

$$\text{全身吸收的能量率 } \dot{E}_{ab} = \phi \dot{E} = 0.3 \times 10^6 \frac{\text{MeV}}{\text{s}} \text{、起始吸收劑量率}$$

$$\dot{D}_0 = \frac{\dot{E}_{ab}}{m} = \frac{3 \times 10^5}{70} \frac{\text{MeV}}{\text{kg} \cdot \text{s}} \times \frac{1.6 \times 10^{-13} \text{ J}}{\text{MeV}} \times \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} \times \frac{10^6 \mu\text{Gy}}{\text{J/kg}} = 2.47 \frac{\mu\text{Gy}}{\text{h}}$$

$$\text{有效衰減常數 } \lambda_E = \frac{\ln 2}{15 \text{ h}} + \frac{\ln 2}{11 \times 24 \text{ h}} = 0.0488 \text{ h}^{-1}$$

$$\text{總劑量 } D = \frac{\dot{D}_0}{\lambda_E} = \frac{2.47}{0.0488} \frac{\mu\text{Gy} \cdot \text{h}}{\text{h}} = 50.6 \mu\text{Gy}$$

## 二、計算問答題：(每題 10 分，共 70 分)

1. 何謂內轉換(internal conversion)，請定義之，並說明其機制。

[解:]

原子核通過發射軌道電子，從激發態到較低能態的躍遷稱為內轉換。內轉換過程放出來的軌道電子稱為內轉換電子。

不能把內轉換過程認為是內光電效應，即認為原子核先放出光子，然後光子把能量交給核外的軌道電子而放出電子來。因為發生內轉換的機率可以比光電效應的機率大很多。內轉換過程不經過  $\gamma$  光子的產生。由於光子本身的自旋為 1，不能放射  $\gamma$  光子，而實驗發現放出內轉換電子。這就提供了內轉換過程不是內光電效應的一個證明。

內轉換過程中由於原子的內殼層缺少了電子而出現空位，外層電子則要來填補這個空位。於是與軌道電子捕獲情況類似，內轉換過程要伴隨特性 X 射線或鄂惹電子(Auger electron)

2. 某放射性核種每次蛻變僅 62% 的機率發射 1 MeV 光子，假設該核種存在甲狀腺中發生  $1 \times 10^6$  次蛻變，則這些光子授予肺的等價劑量為多少 Sv?

註: 肺 ← 甲狀腺的比吸收分數 =  $3.83 \times 10^{-6} \text{ g}^{-1}$

[解:]

解:

$$1 \times 10^6 \times 0.62 \times 1 \text{ MeV} \times 1.6 \times 10^{-13} \text{ J/MeV} \times 3.83 \times 10^{-6} \text{ 1/g} \times 10^3 \text{ g/kg} \times W_R (=1) \\ = 3.8 \times 10^{-10} \text{ Sv}$$

3. 假設入射光子的能量為 0.662 MeV，經過康普頓散射作用之後，回跳電子獲得 0.227 MeV 動能，試問散射光子的散射角度  $\theta$  是多少度？

[解：]

解： 散射光子的能量 = 0.662 MeV - 0.227 MeV = 0.435 MeV

$$\alpha = 0.662 \text{ MeV} / 0.511 \text{ MeV} = 1.2955$$

$$0.435 \text{ MeV} = (0.662 \text{ MeV}) / [1 + 1.2955 \times (1 - \cos \theta)]$$

$$0.435 = 0.662 / [2.2955 - 1.2955 \cos \theta]$$

$$0.9985 - 0.5635 \cos \theta = 0.662$$

$$\therefore \cos \theta = (0.9985 - 0.662) / 0.5635$$

$$= 0.3365 / 0.5635$$

$$= 0.5972$$

$$\therefore \theta = 53.3 \text{ 度}$$

4. 利用  $0.1 \mu\text{Ci } ^{137}\text{Cs}$  射源做輻射偵檢器計數效率校正。測量 4 分鐘得 80000 個計數，該偵檢器之背景測量 10 分鐘得 8000 個計數，

(a) 試計算淨計數率(cpm)及標準差？

(b) 該偵檢器之計數效率為多少 % ？

(c) 若擦拭  $100 \text{ cm}^2$  面積，以該偵檢器測得 10000 cpm，擦拭效率為 20%，試計算表面污染值多少  $\text{Bq/cm}^2$  ？

[解：]

$$\text{解: (a) } \left\{ \begin{array}{l} \frac{80000}{4} \pm \frac{\sqrt{80000}}{4} = 20000 \pm 71 \text{ cpm} \dots (1) \\ \frac{8000}{10} \pm \frac{\sqrt{8000}}{10} = 800 \pm 9 \text{ cpm} \dots (2) \end{array} \right.$$

$$(1)-(2) = 19200 \pm [71^2 + 9^2]^{1/2} = 19200 \pm 72 \text{ cpm}$$

$$(b) (19200 \text{ cpm}) / (0.1 \times 3.7 \times 10^4 \times 60 \text{ dpm}) = 19200 / 222000 = 0.0865 \\ = 8.65 \%$$

$$(c) (10000 \text{ cpm} - 800 \text{ cpm}) / (0.0865 \times 100 \text{ cm}^2 \times 60 \text{ 秒} \times 0.20) = 88.6 \text{ Bq/cm}^2$$

5. 一支游離腔的有效腔室體積為  $2 \text{ cm}^3$ ，在空氣( $1.293 \times 10^{-6} \text{ kg/cm}^3$ )中所收集到的電量為  $1 \times 10^{-10} \text{ C}$ ，請計算空氣克馬(Gy)。

[解：]

$$X = \frac{1 \times 10^{-10} \text{ C}}{2 \text{ cm}^3 \times 1.293 \times 10^{-6} \text{ kg/cm}^3} = 3.867 \times 10^{-5} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$$

$$K = 3.867 \times 10^{-5} \frac{\text{C}}{\text{kg}} \times \frac{1 \text{ ion}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ C}} \times \frac{34 \text{ eV}}{1 \text{ ion}} \times 1.6 \times 10^{-19} \frac{\text{J}}{\text{eV}}$$

$$K = 1.315 \times 10^{-3} \text{ Gy}$$

6. 一台診斷用 X 光機平均每週在峰值電壓 125 kVp、電流 192 mA 條件下運作 120 秒。非管制區走廊(佔用因數=1/4)離 X 光管距離 4 公尺，X 光管有用射束水平照射該走廊的時間佔 1/3，其餘時間垂直射向地面。使用 NCRP 第 49 號報告方法，為防護非管制區走廊(P=0.01 R/週)，請計算：

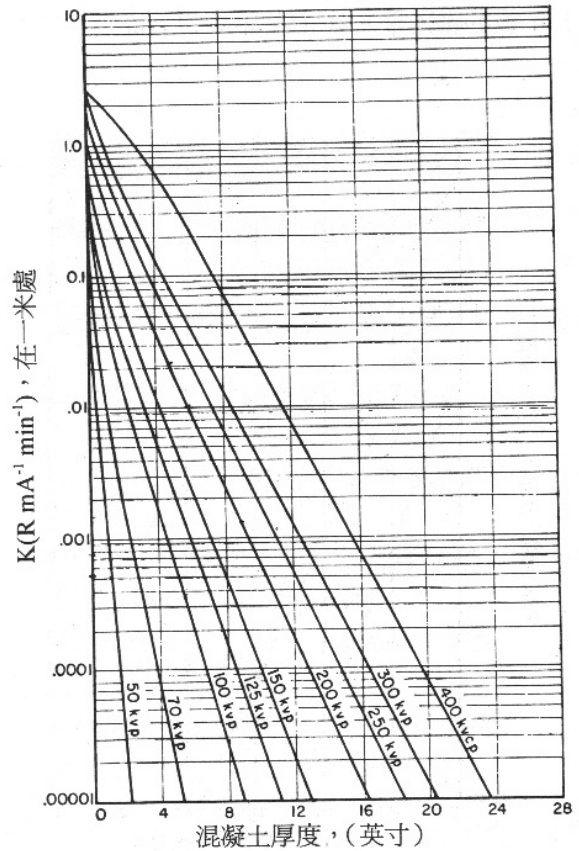
- (1) X 光機的週工作負載?
- (2) 混凝土防護屏蔽的最小厚度?

[解:]

$$(1) W = 192 \text{ mA} \times 2.0 \frac{\text{min}}{\text{week}} = 384 \frac{\text{mA} \cdot \text{min}}{\text{week}}$$

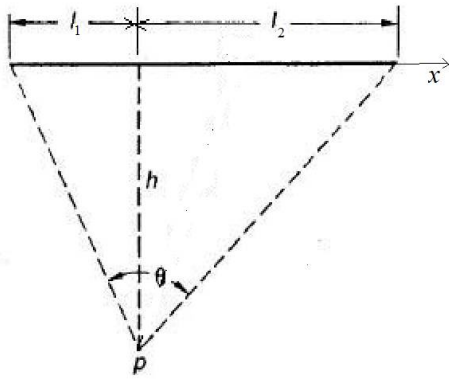
$$(2) K = \frac{Pd^2}{WUT} = \frac{0.01 \frac{\text{R}}{\text{week}} \cdot (4 \text{ m})^2}{384 \frac{\text{mA} \cdot \text{min}}{\text{week}} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{4}} = 0.005 \frac{\text{R}}{\text{mA} \cdot \text{m}^2}$$

由圖知，對應的混凝土厚度約為 4.0 英寸(10.16 公分)



7. 有一線段加馬射源(如下圖)，射源兩端的位置設為  $-l_1$  及  $l_2$ ，線段射源兩端與 p 點之夾角為  $\theta$  (徑度)，p 點離線段射源的距離為  $h$ 。線段射源之單位長度活度為  $C_l$ ，比加馬劑

$$\text{量常數為 } \Gamma。證明在 p 點之劑量率 \dot{D}_p = \frac{\Gamma C_l \theta}{h}。$$



[解:]

在線段射源上取一小段  $dx$ ，其位置在  $x$  處，該小段射源可視為點射源，其活度

$dA = C_l dx$ ，離  $p$  點之距離  $r = \sqrt{x^2 + h^2}$ ，則在  $p$  點之劑量率  $d\dot{D}_p = \Gamma \frac{dA}{r^2} = \Gamma \frac{C_l dx}{x^2 + h^2}$ 。

整段射源在  $p$  點之劑量率為  $\dot{D}_p = \int d\dot{D}_p = \int_{-l_1}^{l_2} \Gamma \frac{C_l dx}{x^2 + h^2} = \Gamma C_l \int_{-l_1}^{l_2} \frac{dx}{x^2 + h^2}$ 。

令  $x = h \cdot \tan \beta$ ，則  $dx = h \cdot \sec^2 \beta \cdot d\beta$  且  $x^2 + h^2 = h^2 \sec^2 \beta$ ，代入上式得

$$\begin{aligned} \dot{D}_p &= \Gamma C_l \int_{-l_1}^{l_2} \frac{dx}{x^2 + h^2} = \Gamma C_l \int_{-\tan^{-1}\left(\frac{l_1}{h}\right)}^{\tan^{-1}\left(\frac{l_2}{h}\right)} \frac{h \sec^2 \beta}{h^2 \sec^2 \beta} d\beta = \frac{\Gamma C_l}{h} \int_{-\tan^{-1}\left(\frac{l_1}{h}\right)}^{\tan^{-1}\left(\frac{l_2}{h}\right)} d\beta = \frac{\Gamma C_l}{h} [\beta]_{-\tan^{-1}\left(\frac{l_1}{h}\right)}^{\tan^{-1}\left(\frac{l_2}{h}\right)} \\ &= \frac{\Gamma C_l}{h} \left[ \tan^{-1}\left(\frac{l_2}{h}\right) + \tan^{-1}\left(\frac{l_1}{h}\right) \right] = \frac{\Gamma C_l \theta}{h} \end{aligned}$$