

行政院原子能委員會
110 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. 一位工人不小心打翻了 ^{32}P 溶液，污染他的皮膚 10 cm^2 ，污染活度為 3700 Bq ，則污染皮膚的劑量率為多少 Gy/h ？

(^{32}P 貝他粒子的平均能量 $\bar{E} = 0.7\text{ MeV}$ ，在組織之質量吸收係數為 $9.18\text{ cm}^2/\text{g}$)

- (1) 6.42×10^{-4} (2) 1.28×10^{-3} (3) 6.42×10^{-3} (4) 1.28×10^{-2}

[解：]

(1)

污染皮膚的表面濃度為 $C_a = 3700/10 = 370\text{ Bq/cm}^2$ ，

皮膚的敏感細胞位於 0.007 cm 深處，

污染皮膚的劑量率為

$$\begin{aligned} \dot{D}_b &= 0.5C_a \bar{E} \mu_{m,\beta}^m \exp(-\mu_{m,\beta}^m \times 0.007) = 0.5 \times 370 \times 0.7 \times 9.18 \times \exp(-9.18 \times 0.007) \frac{\text{Bq}}{\text{cm}^2} \frac{\text{MeV}}{\text{tr}} \frac{\text{cm}^2}{\text{g}} \\ &\times 1.6 \times 10^{-13} \frac{\text{J}}{\text{MeV}} \times 10^3 \frac{\text{g}}{\text{kg}} \times 1 \frac{\text{tr/s}}{\text{Bq}} \times 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} \times 1 \frac{\text{Gy}}{\text{J/kg}} = 6.42 \times 10^{-4} \left(\frac{\text{Gy}}{\text{h}} \right) \end{aligned}$$

2. 一束準直良好的射束含有 10^5 個光子，而光子能量為 10 MeV ，射束打在 20 cm 厚的碳塊上(密度 2250 kg/m^3)。 10 MeV 光子與碳作用的質量衰減係數(μ/ρ)為 $0.0196\text{ cm}^2/\text{g}$ ，質量吸收係數 (μ_{ab}/ρ) 為 $0.0138\text{ cm}^2/\text{g}$ 。請問在碳塊裡的 10 cm 深處 1 mm 厚 (在 10.0 cm 到 10.1 cm 間) 碳層的吸收能量(MeV)？

- (1) 207 (2) 876 (3) 1993 (4) 2200

[解：]

(3)

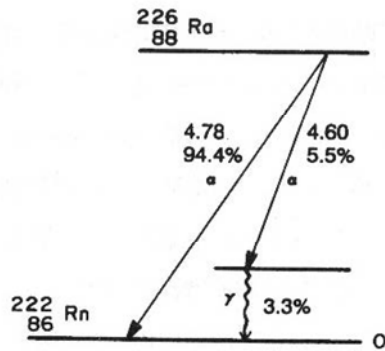
$$\Delta n = n_{10.0} - n_{10.1} = 10^5 \left(e^{-0.0196 \frac{\text{cm}^2}{\text{g}} \times 2.25 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 10.0} - e^{-0.0196 \frac{\text{cm}^2}{\text{g}} \times 2.25 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 10.1} \right) = 283$$

$$h\nu : \bar{E}_{\text{ab}} = \frac{\mu}{\rho} : \frac{\mu_{\text{ab}}}{\rho}$$

$$\text{所以吸收能量} = \Delta n \times \bar{E}_{\text{ab}} = 283 \times 10\text{ MeV} \times \frac{0.0138}{0.0196} = 1993\text{ MeV}$$

3. ^{226}Ra 原子核衰變至 ^{222}Rn 的核衰變如下圖所示，請問圖中的加馬射線其能量應為多少？

- (1) 0.18 keV (2) 4.60 keV (3) 180 keV (4) 4.78 MeV



[解：]

(3)

$$4.78 \text{ MeV} - 4.60 \text{ MeV} = 0.18 \text{ MeV} = 180 \text{ keV}$$

4. 有關充氣式偵檢器之特性，下列敘述何者正確？

- A. 蓋革計數器可以鑑別輻射種類及能量 B. $^{10}\text{BF}_3$ 比例計數器是一種中子偵檢器
 C. 游離腔最常填充 P-10 氣體 D. 蓋革計數器的氣體增殖率較比例計數器大

(1) ACD (2) ABD (3) 僅 BD (4) BCD

[解：]

(3)

5. 距離某一射源 1 公尺處之劑量率為 54 mSv/h，小明在距離此射源 3 公尺處作業 10 分鐘，則所接受的劑量約為多少 mSv？ (1) 1 (2) 2 (3) 3 (4) 4

[解：]

(1)

$$\frac{54 \text{ mSv/h}}{3^2} \times \frac{10}{60} (\text{h}) = 1 (\text{mSv})$$

6. 細胞週期中，對輻射敏感度由高至低排列何者正確？

(1) M、S、G2 (2) S、G1、G2 (3) M、G1、S (4) G1、M、S

[解：]

(3)

各細胞週期依敏感程度大小排序：G2、M > G1 > S

7. P-10 氣體所含之氬氣組成占比為多少%？ (1) 10 (2) 30 (3) 60 (4) 90

[解：]

(4)

比例計數器常用之 P-10 氣體之組成為：90% 氬氣(Ar)與 10% 甲烷(CH4)

8. 康普吞效應中，1 MeV 的入射光子經 90° 角的散射，試問其能量損失率約為多少%？

(1) 16.5 (2) 33.8 (3) 66.2 (4) 83.5

[解：]

(3)

[解:]

散射的入射光子的能量

$$E_{\gamma'} = \frac{0.511 E_{\text{incident } \gamma}}{0.511 + (E_{\text{incident } \gamma})(1 - \cos\theta)} = \frac{0.511 \times 1}{0.511 + 1 \times (1 - \cos 90^\circ)} = 0.338 \text{ MeV};$$

$(0.338 \text{ MeV} / 1 \text{ MeV}) \times 100\% = 33.8\%$ ，故入射光子其能量損失率約為
 $100\% - 33.8\% = 66.2\%$ 。

9. 下列同位素中，何者最適合做為熱中子偵測？

(1) ${}^7\text{Li}$ (2) ${}^6\text{Li}$ (3) ${}^{14}\text{C}$ (4) ${}^{60}\text{Co}$

[解:]

(2)

10. 有關輻射之健康效應區分，下列敘述何者正確？

(1) 確定效應其嚴重程度與劑量大小無關

(2) 確定效應無劑量低限值

(3) 機率效應其發生之機率與劑量大小成正比，而與嚴重程度無關

(4) 機率效應之發生可能有劑量低限值

[解:]

(3)

11. 有關輻射生物效應的敘述，正確的有哪些？

A. 皮膚損傷、紅斑屬全身急性效應

B. 胃腸症候群、脫毛屬局部急性效應

C. 造血症候群、中樞神經症候群屬全身急性效應

D. 癌症、眼球白內障屬於慢性或延遲效應

(1) 僅 AB (2) 僅 AD (3) 僅 CD (4) BCD

[解:]

(3)

A 及 B 錯誤原因：

皮膚損傷、紅斑屬局部急性效應。

胃腸症候群屬全身急性效應；脫毛屬局部急性效應。

12. 若 450 keV 的單能 γ 光子被效率為 11.5% 的無機閃爍偵檢器之 NaI(Tl) 晶體吸收，產生閃爍光子的平均能量為 2.5 eV，其中 70% 的閃爍光子到達光電倍增管的陰極，該陰極把 30% 的入射光子轉換成光電子。則平均每個被吸收的單能 γ 光子所產生的光電子數目為？ (1) 4.3×10^3 (2) 2.1×10^4 (3) 2.7×10^4 (4) 4.8×10^4

[解:]

(1)

$$\frac{450 \times 1000 \times 0.115}{2.5} \times 0.7 \times 0.3 = 4347$$

13. 若 8 MeV 的電子射束穿過 3 公分的軟組織($\rho = 1 \text{ g/cm}^3$)後，進入密度為 0.25 g/cm^3 的肺臟，則此電子射束穿過軟組織與肺的距離總共為多少公分？

- (1) 3 (2) 5 (3) 7 (4) 9

[解：]

(3)

8 MeV 電子射束在軟組織中的射程為 $8/2=4 \text{ (cm)}$

故 8 MeV 電子射束穿過 3 公分軟組織後，能量只剩下 2 MeV，在軟組織中僅可以再走 1 公分，此距離相當於可在肺中行走 $1/0.25=4 \text{ (cm)}$ ；

故軟組織及肺中總共可行走距離為 $3+4=7 \text{ (cm)}$

14. 規劃 X 光室的屏蔽時，不需要下列哪一項資訊？

- (1) 牆後有人存在的時間比例 (2) 主射束射至該牆的時間比例
(3) 輻射源至牆的距離 (4) 操作人員的上班時間

[解：]

(4)

15. 一個鈾 235 原子被誘發核分裂時，平均約釋出多少能量？

- (1) 200 MeV (2) 2 GeV (3) 200 keV (4) 511 MeV

[解：]

(1)

二、計算問答題：(每題 10 分，共 70 分)

1. 有一圓柱型偵檢器，它僅能度量到 γ -ray，其偵測面相對於某一點射源的角度為全立體角的 5%，射源活度 $1 \mu\text{Ci}$ ，此射源每次蛻變平均釋出 0.85 個 γ -ray，已知在 30 秒的度量，此偵檢器度量到 624 個 counts；移除射源後，背景 30 秒的計數為 58 counts，請問此偵檢器的真實計測效率(intrinsic counting efficiency, ϵ_{int})與絕對計測效率(absolute counting efficiency, ϵ_{abs})各為何？

[解：]

$$\epsilon_{\text{int}} = \frac{(624 - 58) \text{ counts}}{3.7 \times 10^4 \frac{\text{decay}}{\text{s}} \times \frac{0.85 \gamma}{\text{decay}} \times 30 \text{ s} \times 0.05} = \frac{566 \text{ counts}}{47175 \gamma} = 0.012 \frac{\text{counts}}{\gamma}$$

$$\epsilon_{\text{abs}} = \frac{(624 - 58) \text{ counts}}{3.7 \times 10^4 \frac{\text{decay}}{\text{s}} \times \frac{0.85 \gamma}{\text{decay}} \times 30 \text{ s}} = \frac{566 \text{ counts}}{943500 \gamma} = 6 \times 10^{-4} \frac{\text{counts}}{\gamma}$$

2. 一光子入射到鋁吸收體發生康普吞散射，康普吞電子被往前散射(電子散射角 $\phi = 0^\circ$)，在鋁吸收體的質量射程為 460 mg/cm^2 。試問：

(1) 康普吞電子的動能為多少 MeV？

(2) 入射光子的能量為多少 MeV？

($\ln E = 6.63 - 3.2376(10.2146 - \ln R)^{1/2}$ ， $R (\text{mg/cm}^2)$ ：電子質量射程； $E (\text{MeV})$ ：動能)

[解：]

(1) 康普吞電子的動能

$$\ln E = 6.63 - 3.2376(10.2146 - \ln(460))^{1/2} = 0.08767, \rightarrow E = e^{0.08767} = 1.09 \text{ MeV}$$

(2) 入射光子的能量 $h\nu$

電子散射角 $\phi = 0^\circ$ ，其散射光子之散射角 $\theta = 180^\circ$ ，康普吞電子的動能

$$E = h\nu \frac{\alpha(1 - \cos\theta)}{1 + \alpha(1 - \cos\theta)} = h\nu \frac{2\alpha}{1 + 2\alpha} = h\nu \frac{2h\nu}{2h\nu + 0.511}$$

$$2(h\nu)^2 - 2E(h\nu) - 0.511 \times E = 0$$

$$h\nu = \frac{2 \times 1.09 + \sqrt{(2 \times 1.09)^2 - 4 \times 2 \times (-0.511 \times 1.09)}}{2 \times 2} = 1.30 \text{ MeV}$$

3. 在一大氣壓、室溫 20°C 條件下，貝他粒子經過空氣、鋁擋片及 GM counter 的窗後，剛好完全被阻擋，其中鋁擋片(密度 2.7 g/cm^3)厚度為 2.5 mm ，GM counter 窗厚度為 2.0 mg/cm^2 ，貝他射源距離鋁擋片 4.8 cm ，請問貝他粒子的最大密度射程 (mg/cm^2)？

[解：]

$$\begin{aligned} \text{最大密度射程} &= 2.0 \frac{\text{mg}}{\text{cm}^2} + 2.7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 0.25 \text{ cm} + 0.001293 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times \frac{273}{273 + 20} \times 4.8 \text{ cm} \\ &= (2 + 675 + 5.8) \text{ mg/cm}^2 = 682.8 \text{ mg/cm}^2 \end{aligned}$$

4. 取樣時 Ra-226 的活度為 100 Bq ，子核 Rn-222 為 0 Bq ，樣品密封良好，請問分別經過 10 天與 30 天後，Rn-222 的活度為多少 Bq？(Ra-226 的半化期為 1602 年，Rn-222 的半化期為 3.8 天)

[解：]

$$A_2(t) = A_1(t) \times \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} [1 - e^{-(\lambda_2 - \lambda_1)t}]$$

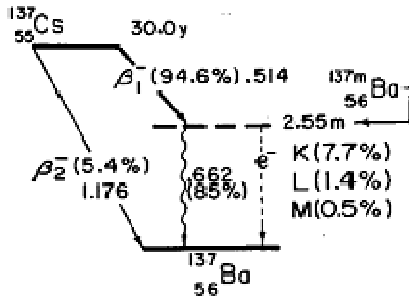
$$\because \lambda_2 \gg \lambda_1, \therefore \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \approx 1$$

$$A_2(t) = A_1(t) \times \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} [1 - e^{-(\lambda_2 - \lambda_1)t}] = A_1(0) [e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}]$$

$$A_2(10) = A_1(0) [e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}] = 100 \times \left[e^{-\frac{0.693}{1602 \times 365} \times 10} - e^{-\frac{0.693}{3.8} \times 10} \right] \cong 100 \times [1 - 0.1614] = 83.9 \text{ Bq}$$

$$A_2(30) = A_1(0) [e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}] = 100 \times \left[e^{-\frac{0.693}{1602 \times 365} \times 30} - e^{-\frac{0.693}{3.8} \times 30} \right] \cong 100 \times [1 - 0.0042] = 99.6 \text{ Bq}$$

5. 一活度為 100 Bq 之 Cs-137(半化期為 30 年)小射源被植入組織樣品中，試估計在植入 10 秒的時間內，在組織裡吸收的總輻射能量為多少 MeV。假設貝他及螢光/特性輻射之能量均被吸收，但加馬射線則完全逃逸，同時假設貝他的平均能量為最大能量的 1/3。(Cs-137 之衰變圖如下，輻射能量之單位為 MeV)



[解:]

因 $T_{1/2} = 30 \text{ y}$ ，10 s 左右的活度可視為固定值， $A_0 = 100 \text{ Bq} = 100 \text{ dis./s}$

\therefore 經 10 s 之衰變次數 = $100 \text{ dis./s} \times 10 \text{ s} = 1000$ 次蛻變

或可利用 $\Delta N = N_0 - N_0 e^{-\lambda t} = N_0 (1 - e^{-\lambda t}) = A_0 (1 - e^{-\lambda t}) / \lambda$

= $100 \times (1 - e^{-0.693 \times 10 / (30 \times 365 \times 86400)}) / [0.693 / (30 \times 365 \times 86400)] = 1000$ (次蛻變)

每次蛻變在組織裡被吸收的能量 =

$0.054 \times 1.176 \times 1/3 + 0.946 \times 0.514 \times 1/3 + (0.946 - 0.85) \times 0.662 = 0.2468 \text{ MeV}$

10 秒在組織裡被吸收的總能量 =

$0.2468 \times 1000 = 246.8 \text{ MeV}$

6. 請說明何謂 X 光機之有用射束、散射輻射、洩露輻射？

[解:]

1. 穿透過 X 光管射窗(window)的 X 光射束謂之有用射束。

2. 有用射束或主射束在其行徑中與物質發生相互作用而產生偏離其原有方向之輻射稱為散射輻射。

3. 從 X 光管管套外洩的輻射稱為洩露輻射。

7. 某長壽命放射性樣品經一計數器計測 10 分鐘，共計測 1426 個計數。之後拿走該樣品，計測 90 分鐘，共計測 2561 個背景計數，試問：

(1) 樣品的淨計數率及標準差為何？

(2) 為使求得之淨計數率能在 95% 可信度(confidence level)下與真值之誤差在 5% 之內，

則不重複測量背景之情況下，必須對該樣品計測多久時間？（請詳列算式）

[解：]

(1)

樣品計數率 $r_g = \frac{1426}{10} = 142.6$ (cpm), 背景計數率 $r_b = \frac{2561}{90} = 28.5$ (cpm), 淨計數率

$$r_n = r_g - r_b = 142.6 - 28.5 = 114.1 \text{ (cpm)}; \text{淨計數率標準差 } \sigma_{nr} = \sqrt{\frac{n_g}{t_g^2} + \frac{n_b}{t_b^2}} =$$

$$\sqrt{\frac{r_g}{t_g} + \frac{r_b}{t_b}} = \sqrt{\frac{142.6}{10^2} + \frac{28.5}{90^2}} = 3.8 \text{ (cpm)}$$

(2) 在 95 % 可信度(confidence level)下，其信賴區間為 $1.96 \sigma_{nr}$ ，若真值為 r_μ ，

$$\text{則 } |r_\mu - r| = 1.96 \sigma_{nr} = 5\% \times 114.1 = 5.71, \sigma_{nr} = 2.91 \text{ cpm} = \sqrt{\frac{r_g}{t_g} + \frac{r_b}{t_b}} = \sqrt{\frac{142.6}{t_g} + \frac{28.5}{90}} \rightarrow$$

$$t_g = 17.5 \text{ (min)}$$