

核能安全委員會
113 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. 動物腫瘤的生長分率(growth fraction)的值，大致落在哪一區段？

(1) 0.5 %到 2 % (2) 3 %到 5 % (3) 5 %到 20 % (4) 30 %到 50 %

[解：]

(4)

2. 若水的比熱為 1 cal/g，1 Gy 的劑量可以使 1 kg 水溫度上升多少？(1 cal 約為 4.2 J)

(1) $2.4 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}$ (2) $4.2 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}$ (3) $2.4 \times 10^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}$ (4) $4.2 \times 10^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}$

[解：]

(1)

$$1 \text{ cal} = 4.2 \text{ J}$$

$$\frac{1}{4.2} \text{ J/kg} = 1000 \text{ g/kg} \times 1 \times t$$

$$t = 2.4 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}$$

3. 若有一偵檢器的范諾因數(Fano factor, F =觀察到的變異數/卜松預測的變異數)為 0.1，如果要達到能量解析度的統計極限為 0.5%時，則每一個脈衝荷電載體的最小數目為多少個？ (1) 22090 (2) 32900 (3) 42030 (4) 51600

[解：]

(1)

$$R_{\text{statistical limit}} = 2.35 \times \sqrt{\frac{F}{N}} \Rightarrow 0.5\% = 2.35 \times \sqrt{\frac{0.1}{N}} \Rightarrow N = 22090$$

4. 某器官 40 公克，接受 0.1 焦耳的貝他輻射，其吸收劑量約為？

(1) 2.5 Gy (2) 2.5 Sv (3) 25 Gy (4) 25 Sv

[解：]

(1)

$$0.1 / 0.04 = 2.5 \text{ Gy}$$

5. 將鈷-59 放在原子爐以穩定中子通量率照射三年，再經半年衰變，其活度為飽和活度的多少%？(已知鈷-60 之半化期=5.26 年)

(1) 93.6 (2) 63.0 (3) 32.7 (4) 30.6

[解：]

(4)

活化元素的活度為 $A(t, t') = N_i \sigma \phi (1 - e^{-\lambda t}) e^{-\lambda t'}$ 、飽和活度 $A_s = N_i \sigma \phi$ 。 $\lambda = \frac{\ln 2}{5.26} = 0.1318 \text{ y}^{-1}$

$$\frac{A(t, t')}{A_s} = (1 - e^{-\lambda t}) e^{-\lambda t'} = (1 - e^{-0.1318 \times 3}) e^{-0.1318 \times 0.5} = 0.3266 \times 0.9362 = 0.306 = 30.6\%$$

6. 內轉換電子、奧杰電子(Auger electron)、制動輻射、 α 、 γ 、 β^- 等六種輻射中，能譜為連續分布的共有幾種？ (1) 1 (2) 2 (3) 3 (4) 4

[解：]

(2)

制動輻射、 β^-

7. 一核醫藥物經注射後長期積聚於肝臟(視同不排除)，其核種的物理半化期為 6 小時，則該放射性藥物在肝臟內的有效半化期為多少小時？

(1) 3 (2) 6 (3) 12 (4) 無限大

[解：]

(2)

$$\frac{1}{\frac{1}{\infty} + \frac{1}{6}} = 6$$

8. 下列何者偵檢器可保存於室溫，但操作時需以液態氮冷卻方可使用？

(1) 矽鋰偵檢器 (2) 蓋革偵檢器 (3) 高純鍺偵檢器 (4) 液態閃爍偵檢器

[解：]

(3)

9. 對等向性(isotropic)的射源而言，真實計測效率(intrinsic efficiency, ϵ_{int})、絕對計測效率(absolute efficiency, ϵ_{abs})及立體角(Ω)之關係式為：

(1) $\epsilon_{\text{abs}} = \epsilon_{\text{int}}$ (2) $\epsilon_{\text{abs}} = 1/\epsilon_{\text{int}}$ (3) $\epsilon_{\text{abs}} = \epsilon_{\text{int}} \times (4\pi/\Omega)$ (4) $\epsilon_{\text{abs}} = \epsilon_{\text{int}} \times (\Omega/4\pi)$

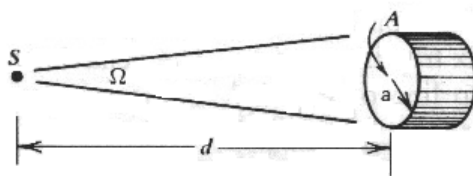
[解：]

(4)

10. 有一圓柱型偵檢器，其輻射入射面之半徑為 2 cm，距點射源距離 6 cm，請問立體角(Ω)等於？ (1) 0.11 (2) 0.22 (3) 0.32 (4) 0.40

[解：]

(3)



$$\Omega = 2\pi(1 - \frac{d}{\sqrt{d^2 + a^2}}) = 2\pi(1 - \frac{6}{\sqrt{6^2 + 2^2}}) = 0.32$$

11. 活度 2 mCi 之核種(半化期=3.83 天)，永久置於病人體內，求此核種在體內的總衰變次數？ (1) 3.526×10^{13} (2) 3.526×10^{14} (3) 4.786×10^{13} (4) 4.786×10^{14}

[解：]

(1)

$$\frac{2 \times 3.7 \times 10^7 \frac{1}{\text{秒}}}{0.693} (1 - e^{-\lambda \cdot t}) = 3.526 \times 10^{13} \times 1$$

$$3.83 \times 24 \times 3600 \text{ 秒}$$

12. 貝他衰變、正子衰變及電子捕獲(electron capture)三種反應中，母核和子核是同重素的有幾種？ (1) 0 (2) 1 (3) 2 (4) 3

[解：]

(4)

13. 某人單次攝入 6.3×10^3 Bq 的某放射性核種，造成其體內某器官接受了 3.2 mSv 之約定等價劑量，若僅此一器官受到曝露，該器官之組織加權因數為 0.05，若以輻射工作人員 5 年累積之有效劑量限值為考量基準，則該放射性核種之年攝入限度為多少 MBq？

(1) 0.21 (2) 0.48 (3) 0.62 (4) 0.79

[解：]

(4)

單次攝入 6.3×10^3 Bq 造成之約定有效劑量 = $3.2 \text{ mSv} \times 0.05 = 0.16 \text{ mSv}$

$$\frac{0.16}{6.3 \times 10^3} = \frac{20}{x}, \quad x = 7.88 \times 10^5 \text{ Bq} = 0.79 \text{ MBq}$$

14. 國際放射防護委員會 (ICRP) 103 號報告證實了胚胎發育過程，在著床前期子宮接受多少 Gy 以下的輻射劑量，很少會有胚胎致死的現象？ (1) 5 (2) 2 (3) 1 (4) 0.1

[解：]

(4)

15. 下列關於輻射生物效應中線性無閾值(LNT)模式的敘述何者正確？

A.劑量與生物效應之間有閾值

B.癌症與遺傳效應屬於 LNT 模式

C.發生效應的機率與劑量成比例增加

(1)僅 AB (2)僅 AC (3)僅 BC (4) ABC

[解：]

(3)

LNT 模式:發生效應機率與所受劑量大小成比例增加，此種效應之發生無劑量之低限

值。例如癌症形成與遺傳效應等

二、計算問答題：(每題 10 分，共 70 分)

1. 原子核 ^{226}Ra 衰變至 ^{222}Rn 的核衰變如圖所示，請問 1000 個 ^{226}Ra 原子蛻變至 ^{222}Rn 時：

(1) 釋放的總 α 能量為多少 MeV？

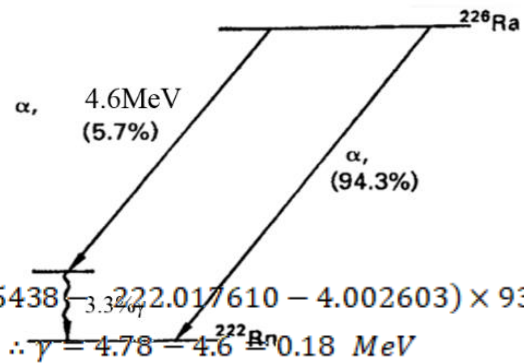
(2) 釋放的總 γ 能量為多少 MeV？

(3) 會釋放多少個內轉換電子？

($M_{\text{Ra}} = 226.025438 \text{ amu}$ ；

$M_{\text{Rn}} = 222.017610 \text{ amu}$ ；

$M_{\text{He}} = 4.002603 \text{ amu}$)



[解：]

$$Q = (M_{\text{Ra}} - M_{\text{Rn}} - M_{\text{He}}) \times 931.5 = (226.025438 - 222.017610 - 4.002603) \times 931.5 = 4.87 \Rightarrow E_{\alpha} = 4.78 \text{ MeV} \quad \therefore \gamma = 4.78 - 4.6 = 0.18 \text{ MeV}$$

($E_{\alpha} = Q \times 222/226 = 4.78 \text{ MeV}$)

$$(1) 1000 \times (0.057 \times 4.6 + 4.78 \times 0.943) = 4769.7 \text{ MeV}$$

$$(2) 1000 \times 0.033 \times 0.18 = 5.94 \text{ MeV}$$

$$(3) 1000 \times (0.057 - 0.033) = 24$$

2. 在溫度 20°C 、氣壓 684 mmHg 的環境下，使用有效體積為 0.6 c.c. 的游離腔測得電量為 20 nC，請問曝露(exposure)為多少倫琴(R)？(校正條件為 1 大氣壓、 0°C)

[解：]

$$\text{Exposure} = \frac{20 \times 10^{-9} \text{ C}}{0.6 \text{ cm}^3 \times (0.001293 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times \frac{273}{273 + 20} \times \frac{684}{760}) \times \frac{\text{kg}}{1000 \text{ g}}} = 0.031 \frac{\text{C}}{\text{kg}} \times \frac{3876 \text{ R}}{1 \frac{\text{C}}{\text{kg}}} = 119 \text{ R}$$

3. 吸入可溶性的 ^{210}Po 粒子，其中 50% 活度轉移到血液中，轉移到血液中的 ^{210}Po ，假設分別有 0.15、0.1、0.1 和 0.65 的分率去到肝臟、腎臟、脾臟和所有其他的組織。假設 ^{210}Po 進入這些組織後的生物半化期是 50 天。請問由於吸入 1 Bq 的 ^{210}Po 粒子所造成的肝臟 ($m = 1400 \text{ g}$) 劑量是多少 Sv？(已知 ^{210}Po 的物理半化期為 138.4 天且是 100% 的 α 衰變，衰變後 α 粒子的能量為 5.3 MeV，子核的反跳(recoil)能量為 0.1 MeV。)

[解：]

^{210}Po 是 100% 的 α 衰變，每次衰變釋放 5.3 MeV 的 α 粒子與 0.1 MeV 子核的反跳(recoil)，若是在肝臟內衰變，則這些粒子的能量會 100% 沈積在肝臟 (吸收分率 AF 為 100%)，這些粒子的輻射加權因數(w_R)為 20

$$E = 5.3 + 0.1 = 5.4 \text{ MeV}$$

^{210}Po 的有效半化期(T_{Eff})： $1/T_{\text{Eff}} = 1/T_B + 1/T_{1/2}$

代入 ^{210}Po 的半化期($T_{1/2}$)為 138.4 d，生物半化期(T_B) 50 d

$$T_{\text{Eff}} = 36.7 \text{ d}$$

$$\lambda_{\text{Eff}} = 0.693 / T_{\text{Eff}} = 0.019 \text{ d}^{-1}$$

初始活度 $1\text{Bq} = 1\text{dis/s}$

^{210}Po 在肝臟的總衰變次數

$$U_s = A_s(0) / \lambda_{\text{Eff}} = (1\text{dis/s} \times 0.5 \times 0.15) \times (86400\text{s/d}) / 0.019 = 3.43 \times 10^5\text{dis}$$

肝臟的劑量，主要來自 ^{210}Po 在肝臟的沉積

$$\text{肝臟 } m = 1400\text{g} = 1.4\text{kg}$$

$$H_{50}(T \leftarrow S)_R = U_S \frac{Y_R \times (E \times w_R) \text{AF}(T \leftarrow S)_R}{m_T} \times 1.6 \times 10^{-13} \times \frac{1\text{Sv}}{\text{effective J/kg}}.$$

$$\begin{aligned} H_{50}(\text{肝} \leftarrow \text{肝}) &= 3.43 \times 10^5 \times (100\% \times 5.4 \times 20 \times 1) / 1.4 \times (1.6 \times 10^{-13}) \times 1 \\ &= 4.24 \times 10^{-6}\text{Sv} = 4.24\text{ }\mu\text{Sv} \end{aligned}$$

4. 假設鈹-137 光子和靜止電子發生 Compton 碰撞，當光子散射角為 60 度時，散射光子及回跳電子各獲得多少能量(keV)？

[解：]

散射光子能量：

$$h\nu' = h\nu \cdot \frac{1}{1 + \alpha(1 - \cos\theta)} = 662\text{keV} \cdot \frac{1}{1 + \frac{0.662}{0.511}(1 - \cos 60^\circ)} = 401.8\text{keV}$$

$$\text{回跳電子的能量} = 662\text{keV} - 401.8\text{keV} = 260.2\text{keV}$$

5. 能量 500 keV 窄射束的 X 光子垂直射入鉛板，若鉛板的質量衰減係數為 $0.15\text{ cm}^2/\text{g}$ ，鉛板的密度為 11.4 g/cm^3 ，試問：(1)鉛板的線性衰減係數為何？(2)鉛板的半值層為何？(3)若要將此窄射束入射光子的數目減少為入射值的 1/5，需要多厚的鉛板？

[解：]

$$(a) \mu = \left(\frac{\mu}{\rho}\right)\rho = 0.15 \times 11.4 = 1.71\text{ cm}^{-1}$$

$$(b) \text{HVL} = \frac{0.693}{\mu} = \frac{0.693}{1.71} = 0.41\text{ cm}$$

$$(c) N = N_0 e^{-\mu x}, (N/N_0) = e^{-\mu x}, x = (-1/\mu)\ln(N/N_0)$$

$$x = \ln(1/5)/(-1.71) = 0.94\text{ cm}$$

6. 對一位 60 公斤體重的人員進行全身計測，測得體內 ^{40}K 的活度濃度為 55 Bq/kg ，則請計算此人體內所含(1) ^{40}K 有多少克？(2)天然鉀元素約為多少克？(^{40}K ： $t_{1/2}=1.28 \times 10^9$ 年， ^{40}K 在鉀元素的豐度為 0.0117%)

[解：]

(1) 此位 60 kg 的人體中含 ^{40}K 的總活度： $55\text{ Bq/kg} \times 60\text{ kg} = 3300\text{ Bq}$

$$A = \lambda N = \frac{0.693}{1.28 \times 10^9 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60} \times N = 3300$$

故此人體內 ^{40}K 的原子數 $N = 1.92 \times 10^{20}$ 個

$$\text{所含 } ^{40}\text{K} \text{ 的重量} = \frac{1.92 \times 10^{20}}{6.02 \times 10^{23}} \times 40 = 1.28 \times 10^{-2} (g) = 12.8 (\text{mg})$$

(2) 此人體內天然鉀 K 的重量 = $12.8 \text{ mg} / (1.17 \times 10^{-4}) = 1.09 \times 10^5 \text{ mg}$ ，約為 109 g

7. 一個蓋革計數器計測實驗去計算其鑑別時間。對射源 A 每秒的計數為 1182、射源 A 與射源 B 一起計測的計數率為 2063、射源 B 每秒的計數為 1223、背景計數率可以忽略，請計算：(1)該計測系統的鑑別時間及(2)射源 A 經校正後的計數率。

[解：]

$$(1) \text{鑑別時間 } \tau = \frac{N_A + N_B - N_{AB}}{2N_A N_B} = \frac{1182 + 1223 - 2063}{2 \times 1182 \times 1223} = 1.18 \times 10^{-4} \text{ s}$$

$$(2) \text{射源 A 經校正後的計數率 } N_{cA} = \frac{N_A}{1 - N_A \tau} = \frac{1182}{1 - 1182 \times 1.18 \times 10^{-4}} = 1374 / \text{s}$$