

行政院原子能委員會
111 年度第 2 次「輻射防護員」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. 下列何種偵測器無法鑑別光子輻射能量？

- (1)比例計數器 (2)蓋革計數器 (3)半導體 (4)碘化鈉

[解：]

(2)

2. 如果入射電子與 X 光靶原子的內層軌域電子作用，會產生何種輻射？

- (1)制動輻射 (2)散射光子 (3)連續輻射 (4)特性輻射

[解：]

(4)

3. 用偵檢器做放射活度計數，欲使百分標準差為 2.5 %，則所需之計數為？

- (1) 800 (2) 1600 (3) 1800 (4) 2500

[解：]

(2)

$$\text{標準差 } \sigma = \sqrt{N} / N \text{ 為 } 2.5\% = 0.025 \Rightarrow \sqrt{N} / N = 1 / \sqrt{N} = 0.025 = 1/40 \Rightarrow \sqrt{N} = 40,$$

$$\text{則 } N = 40^2 = 1600$$

4. 關於 β 輻射的防護下列何者錯誤？

- (1)射源屏蔽的厚度要大於 β 粒子的射程 (2)屏蔽 β 輻射最好直接使用高原子序的物質
(3) β 輻射與鄰近的物質作用可能產生制動輻射 (4)聚乙烯適合作為 β 輻射的射源屏蔽

[解：]

(2)

5. 某次實驗中用單靶一次擊中回應函數 $S/S_0 = e^{-1.6 D}$ 來描述細胞存活率，D 的單位是 Gy，則照射 1 Gy 劑量在給定靶中，擊中 2 次的機率約為多少%？

- (1) 46 (2) 64 (3) 74 (4) 80

[解：]

(2)

$$(1 - e^{-1.6 \times 1})^2 = 0.64 = 64\%$$

6. 某樣品計測 3 分鐘得總計數 39，背景計數 10 分鐘得 10 計數，若儀器效率為 20 %，則樣品活度為多少 Bq？ (1) 1 ± 0.175 (2) 1 ± 0.312 (3) 1 ± 0.537 (4) 1 ± 0.823

[解：]

(1)

$$\left(\frac{39}{3 \text{ min} \times 60 \frac{\text{s}}{\text{min}}} - \frac{10}{10 \text{ min} \times 60 \frac{\text{s}}{\text{min}}} \right) \pm \sqrt{\frac{39}{(3 \text{ min} \times 60 \frac{\text{s}}{\text{min}})^2} + \frac{10}{(10 \text{ min} \times 60 \frac{\text{s}}{\text{min}})^2}}$$
$$= 0.2 \pm 0.035 \text{ cps}$$
$$\frac{0.2}{20\%} \pm \frac{0.035}{20\%} = 1 \pm 0.175 \text{ Bq}$$

7. 請將以下細胞依其輻射敏感度排序(從最敏感到最不敏感)：

- A.成熟淋巴球(mature lymphocytes) B.腸內絨毛細胞(intestinal crypt cells)
C.神經細胞(nerve cells) D.紅血球細胞(red blood cells)
E.成熟精原細胞(mature spermatocytes)

(1) ABCDE (2) AECBD (3) ABEDC (4) ACEBD

[解：]

(3)

8. 下列有關物理量轉換的敘述，何者正確？

- (1)要轉換能量轉移係數(energy transfer coefficient)為能量吸收係數(energy absorption coefficient)，需要阻擋本領(stopping power, S)值
(2)要轉換曝露為空氣克馬，需要射質因數(quality factor, Q)值
(3)要轉換直線能量轉移(linear energy transfer, LET)為比游離(specific ionization)，需要每次游離所需要的能量 W 值
(4)要轉換空氣吸收劑量為組織吸收劑量，需要相對生物效能(relative biological effectiveness, RBE)值

[解：]

(3)

能量轉移係數(μ_{tr})與能量吸收係數(μ_{ab})，依物質與光子能量而定，不需要物質對帶電粒子的阻擋本領值。

克馬 $K = \frac{d\bar{E}_{tr}}{dm} = \phi \left(\frac{\mu}{\rho} \right) \bar{E}_{tr}$ 、曝露 $X = \frac{q_e}{E_{ip}} D = \frac{q_e}{E_{ip}} \phi \left(\frac{\mu}{\rho} \right) \bar{E}_{ab} = \frac{q_e}{E_{ip}} K$ ，不需要射質因數。

直線能量轉移 L_{Δ} ，比游離 $S.I. = \frac{L_{\Delta}}{W}$ ，需要 W 值。

$D_{tiss} = D_{air} \left(\frac{\mu_{ab}}{\rho} \right)_{air}^{tiss}$ ，不需要相對生物效能(RBE)值。

9. 光子與物質作用時，下列哪一種情況較容易發生光電效應？

- A.光子能量較大時 B.光子愈接近原子核的內層電子，愈容易發生光電效應
C.物質原子序愈大 D.束縛能很小的電子

(1) AB (2) BC (3) CD (4) AD

[解：]

(2)

10. $^{18}_9\text{F} \rightarrow ^{18}_8\text{O} + \beta^+ + \nu$ 反應常用於正子攝影中，該反應產生之 β^+ 粒子的最大能量為多少 MeV？(^{18}F atomic mass = 18.000937 amu； ^{18}O atomic mass = 17.999160 amu；電子靜止質量 = 5.48×10^{-4} amu；1 amu 之能量為 931.5 MeV)

(1) 0.511 (2) 0.634 (3) 1.022 (4) 2.044

[解：]

(2)

$$\Delta E = [18.000937 - 17.999160 - 2 \times 5.48 \times 10^{-4}] \times 931.5 = 0.634 \text{ MeV}$$

11. 5 Ci 之點射源($\Gamma=0.5 \text{ R}\cdot\text{m}^2/\text{Ci}\cdot\text{h}$)發射的加馬射線，經過兩個半值層(HVL)屏蔽的衰減後射入人體。已知人體至射源的距離為 5 公尺，問人體處的曝露率為多少 R/h？ (1) 0.0075 (2) 0.015 (3) 0.025 (4) 0.06

[解：]

$$(3) \quad \dot{X} = \frac{\Gamma \cdot A}{d^2} \times \frac{1}{2^2} = \frac{0.5 \frac{\text{R}\cdot\text{m}^2}{\text{Ci}\cdot\text{h}} \times 5 \text{ Ci}}{5^2 \text{ m}^2} \times \frac{1}{2^2} = 0.025$$

12. 為何空氣被廣泛用作游離腔填充氣體，但很少被用於比例計數器？

(1) 氧氣的電子親和力高 (2) 氧氣活性大 (3) 水蒸氣易使線路生鏽 (4) 氮氣易使線路生鏽

[解：]

(1)

氧氣的電子親和力高，降低氣體放大率

13. 弗立克(Fricke)劑量計是利用下列哪項作為輻射偵測的原理？

(1) 游離 (2) 激發 (3) 熱變化 (4) 化學變化

[解：]

(4)

14. 下列何者錯誤？

(1) $20 \text{ fBg} = 2 \times 10^{-2} \text{ pBg}$ (2) $100 \mu\text{Sv} \cdot \text{MBg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} = 10^2 \text{ pSv} \cdot \text{Bg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$

(3) $100 \text{ fm}^2 = 10^{-15} \text{ m}^2$ (4) $0.1 \text{ nJ} \cdot \text{kg}^{-1} = 10^2 \text{ pGy}$

[解：]

(3)

15. 若某一空浮性放射性物質，其有效劑量轉換係數 (DCF) 為 $5.0 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$ ，則在工作場所中吸入該放射性物質的推定空氣濃度(DAC)約為多少 Bq/m^3 ？

(1) 315 (2) 417 (3) 550 (4) 730

[解：]

(2)

$$\text{DAC} = \frac{ALI}{2400} (\text{Bq/m}^3) = \frac{\left(50 \frac{\text{mSv}}{\text{y}}\right)}{\left(5.0 \times 10^{-8} \frac{\text{Sv}}{\text{Bq}}\right) \times 1000 \frac{\text{mSv}}{\text{Sv}} \times 2400 \frac{\text{m}^3}{\text{y}}} = 416.7 \text{ Bq/m}^3$$

二、計算問答題：(每題 10 分，共 70 分)

1. (1) 8 MeV 光子行康普吞散射反應，試求電子能獲得的最大回跳能量有多少？
(2) 8 MeV 光子在康普吞散射反應中失去 95 % 的能量，試求其散射角(θ)。

[解：]

$$\begin{aligned} (1) \quad 8 \text{ MeV} &= 8 \text{ MeV} / [1 + (8/0.511) \times (1 - \cos 180^\circ)] \\ &= 8 \text{ MeV} = 8 \text{ MeV} / [1 + (8/0.511) \times 2] \\ &= 8 \text{ MeV} = 8 \text{ MeV} / [32.311] \\ &= 7.75 \text{ MeV} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (2) \quad 8 \text{ MeV} \times 0.05 &= 0.4 \text{ MeV} = 8 \text{ MeV} / [1 + (8/0.511) \times (1 - \cos \theta)] \\ &= 8 \text{ MeV} / [1 + 15.656 \sim 15.656 \cos \theta] \\ 0.4 \times 16.656 &- 0.4 \times 15.656 \cos \theta = 8 \\ 6.662 &- 6.262 \cos \theta = 8 \\ \cos \theta &= -(8 - 6.662) / 6.262 = -0.2137 \\ \theta &= 102.3^\circ \end{aligned}$$

2. 一個 60 g 的人體器官，每秒從 X 射線輻射場中吸收 120 keV 的能量，試問
(1) 平均吸收劑量率為多少？ (2) 平均等價劑量率為多少？

[解：]

$$(1) \quad 1.2 \times 10^5 \times 1.6 \times \frac{10^{-19} \text{ J}}{0.06 \text{ kg}} = 3.2 \times 10^{-13} \text{ Gy/s}$$

$$(2) \quad \text{光子的輻射加權因子為 1，平均等價劑量率 } 3.2 \times 10^{-13} \text{ Sv/s}$$

3. 若 400 keV 之窄射束光子垂直入射在 2 mm 厚之鐵板上，試問：

- (1) 有多少比例(%)的光子會在這鐵板上發生作用？
(2) 如欲使未發生作用而穿透的光子比例降至 10%，估計鐵的厚度應要多厚？
(400 keV 光子在鐵的 $\mu/\rho = 0.092 \text{ cm}^2/\text{g}$ ，鐵的密度 $= 7.86 \text{ g/cm}^3$)

[解：]

- (1) 光子穿過 2 mm 厚之鐵板而未發生作用的比率：

$$N(x)/N_0 = e^{-\mu x} = e^{-(\mu/\rho) \times \rho \times x} = e^{-0.092 \times 7.86 \times 0.2} = e^{-0.1446} = 0.8654$$

$$\text{發生作用的比率} = 1 - \text{未發生作用的比率} = 1 - 0.8654 = 0.1346 = 13.46\%$$

- (2) 欲使未發生作用而穿透的光子比例降至 10%，

$$N(x)/N_0 = e^{-\mu x} = e^{-(\mu/\rho) \times \rho \times x} = 0.1$$

$$\text{即 } e^{-0.092 \times 7.86 \times x} = e^{-0.723x} = 0.1$$

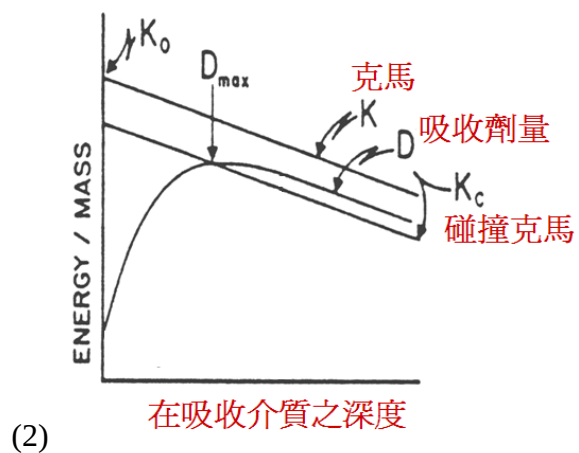
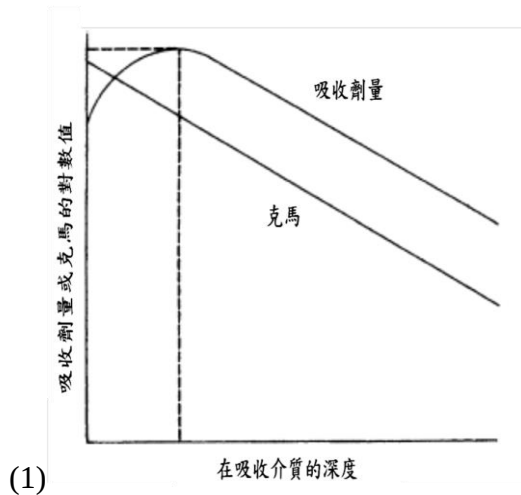
$$-0.723x = \ln 0.1$$

$$x = 3.185 \text{ (cm)}$$

4. 請繪圖並說明光子輻射在介質中不同深度處之克馬與吸收劑量的變化。(請考慮輻射衰減情況)

[解:]

隨著吸收介質的深度增加，因光子通率連續地減少，克馬連續地減少。吸收劑量在介質表面時較小，隨著深度增加，吸收劑量會先增後減，最大劑量發生在接近原始游離二次電子最大射程的深度。繪圖如下之(1)或(2)均可，(1)中之克馬係指碰撞克馬。



5. 放射性物質侵入體內的途徑包括哪些？

[解] 放射性物質侵入體內的途徑包括：

- (1) 食入。
- (2) 由呼吸道吸入。
- (3) 經由外傷傷口侵入。
- (4) 經由無外傷的皮膚吸收(碘、氫)，經由毛孔侵入人體。

6. 某放射性核種經 5 天蛻變後，剩下原來的 40%，試求：

- (1) 蛻變常數(λ) (2) 半化期($T_{1/2}$) (3) 平均壽命

[解:]

(1)

$$\frac{A}{A_0} = e^{-\lambda t}, \lambda = \left(-\frac{1}{5} \ln 0.4 \right) = 0.18 \text{ d}^{-1}$$

$$(2) T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} = \frac{0.693}{0.18} = 3.85 \text{ d}$$

(3)平均壽命 = $1.44 \times 3.85 = 5.54 \text{ d}$

7. 容積為 1 公升的空氣游離腔，在標準狀態下(氣溫 273 K，760 mm 汞柱氣壓)作為環境偵測器使用，若測得電流為 1×10^{-13} 安培，請問曝露率為多少 $\mu\text{C}/(\text{kg} \cdot \text{h})$ ？

[解：]

$$\begin{aligned} [1 \times 10^{-13} \text{ C/秒}] / [1 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \times 1.293 \text{ kg/m}^3] &= 7.73 \times 10^{-11} \text{ C}/(\text{kg} \cdot \text{秒}) \\ &= 7.73 \times 10^{-5} \mu\text{C}/(\text{kg} \cdot \text{秒}) \\ 7.73 \times 10^{-5} (\mu\text{C}/(\text{kg} \cdot \text{秒})) \times 3600 \text{ 秒/小時} &= 2.78 \times 10^{-1} \mu\text{C}/(\text{kg} \cdot \text{h}) \end{aligned}$$