

行政院原子能委員會
九十九年度第二次「輻射防護師」測驗試題
專業科目

一、填充題(每格 2 分，共 30 分)

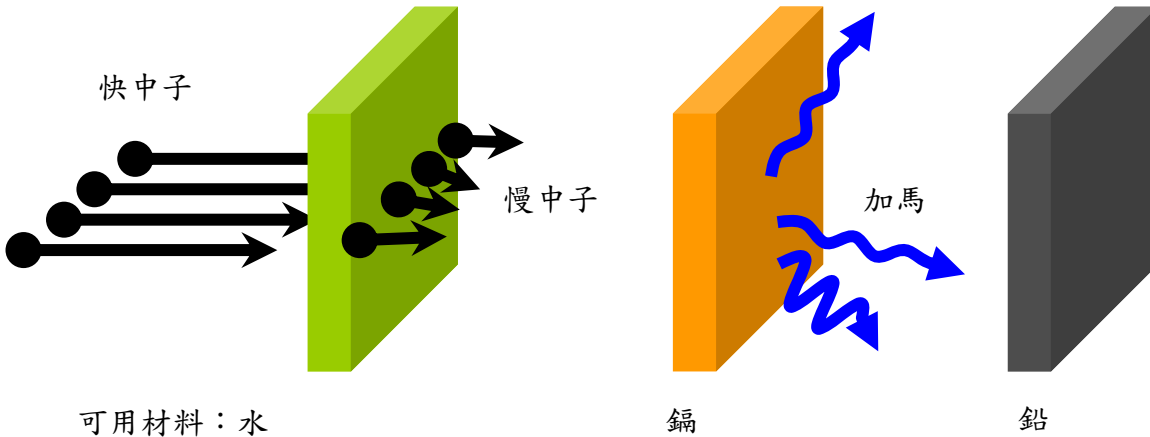
1. 已知鎢原子之K層束縛能為70 keV、L層的束縛能為12 keV，M層的束縛能為3 keV，請問KLM電子的動能= (1) 55 keV
2. 鈷六十治療機的輸出，每個月約衰減掉 (2) 1.1 %
3. 以游離腔度量空氣中某點的曝露=4.1 R(倫琴)，請換算此點的空氣吸收劑量約為 (3) 36 mGy
4. 2.5 eV 之中子對核反應的截面積，是熱中子對核反應的截面積的 (4) 0.1 倍
5. 每次 ^{235}U 原子之熱中子分裂將釋出 (5) 200 MeV 的能量
參考答案：
$$\left[\frac{1}{235} \times 6.02 \times 10^{23} \text{ fission} \times 200 \text{ MeV/fission} \times \frac{1.6 \times 10^{-13} \text{ J}}{1 \text{ MeV}} = 8.2 \times 10^{10} \text{ Joule} \right]$$
6. 已知 10 MeV 的電子在水中的射程 R 及制動輻射產率 B 分別為 4.917 g/cm^2 及 0.0404，則其在水中的平均游離阻擋本領等於 (6) 1.95 MeV · cm^2/g 。
7. 請寫出內轉換(IC)的英文全名：(7) internal conversion。
8. 已知 20 MeV 光子束在水中之質量衰減係數為 $0.0182 \text{ cm}^2/\text{g}$ ，則其在水中的平均射程(mean range)為 (8) 55 cm，半值層為 (9) 38 cm。
9. 內轉換電子、鄂惹電子、制動輻射、特性輻射、 β^+ 粒子及 β^- 粒子，能譜為連續分布的共有 (10) 3 項。
10. 請寫出 ^{22}Na 核種電子捕獲(EC)衰變的反應式。(11) $^{22}_{11}\text{Na} + {}^0_{-1}\text{e} \rightarrow ^{22}_{10}\text{Ne} + \nu$
11. 若計數樣品與背景可利用時間共 40 分鐘，初步得到背景值約是 25 cpm，樣品約是 225 cpm，為使統計誤差最小，試問樣品及背景計測各分配多少分鐘？(12) 30，(13) 10
12. 如果一放射同位素的物理半衰期(T_p)比生物半衰期(T_b)短許多，此同位素的有效半衰期大約等於 (14) T_p
13. 試寫出氚的衰變反應式：(15) $^3_1\text{H} \rightarrow ^3_2\text{He} + \beta^- + \nu$

二、問答與計算題(每題 10 分，共 70 分)

1.若使用三層材料做為快中子的屏蔽，請問第一、二、三層材料選用原則為何？原因為何？

參考解答：

中子的屏蔽：(1)首先需用質量輕的物質將快中子合緩成慢中子，(2)再用吸收慢中子高的物質吸收慢中子，(3)最後還得考量吸收慢中子後所誘發釋出加馬射線之屏蔽。



2.在一塊碳裡面有一個 1 cm^3 之空氣腔，這塊碳曝露在鈷-60 所發射的加馬射線裡，在空腔裡產生和收集到 3.8×10^{-8} 庫侖之電荷。已知 $\rho_{\text{air}}=0.001293 \text{ g/cm}^3$ ， $(\frac{S}{\rho})_{\text{air}}^{\text{碳}}=1.009$ ， $w=33.85 \text{ eV/ion pair}$ ，試決定碳壁的吸收的劑量。

參考解答：

$$D_{\text{air}} = \frac{\Delta Q}{\Delta m} \times w = \frac{3.8 \times 10^{-8} \text{ C}}{\rho \cdot V} \cdot w = \frac{3.8 \times 10^{-8} \text{ C}}{0.001293 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 1 \text{ cm}^3 \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}} \times 33.85 \frac{\text{J}}{\text{C}} = 0.995 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 0.995 \text{ Gy}$$

應用 Bragg-Gray principle

$$\frac{D_{\text{wall}}}{D_{\text{air}}} = (\frac{S}{\rho})_{\text{air}}^{\text{wall}} = (\frac{S}{\rho})_{\text{air}}^{\text{C}} = 1.009$$

$$\text{所以 } D_{\text{wall}} = 1.009 \times D_{\text{air}} = 1.009 \times 0.995 \text{ Gy} = 1.004 \text{ Gy}$$

3.有一個電子具有 5 MeV 的動能，試問其(1) 靜止質量合多少 MeV？(2)該電子運動時的質量 m 與靜止質量 m_0 的比值，(3)電子速度 v 與光速 c 的比值

參考答案：

(1) 0.511 MeV

$$(2) \frac{mc^2}{m_0c^2} = \frac{5.511}{0.511} \Rightarrow \frac{m}{m_0} = 10.785$$

$$(3) m = \frac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

$$\frac{m}{m_0} = \frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}} = 10.785$$

$$\frac{1}{1-v^2/c^2} = 10.785^2 = 116.025$$

$$116.025 - 116.025v^2/c^2 = 1$$

$$v^2/c^2 = \frac{115.025}{116.025} = 0.992$$

$$v/c = 0.996$$

4. 將 2 克 ^{59}Co 樣品置於通量率為 10^{12} 中子/cm²·s 的原子爐內 2 年，若鈷的截面為 37 邦 (barn)，而原子量為 58.94 克， ^{60}Co 的半衰期為 5.27 年，則其產生 ^{60}Co 的原子數為多少？

參考答案：

$$\lambda N = A_s(1 - e^{-\lambda t})$$

$$= N_t \sigma \Phi (1 - e^{-\lambda t})$$

$$= \frac{2 \times 6.02 \times 10^{23}}{58.94} \times 37 \times 10^{-24} \times 10^{12} (1 - e^{-\frac{0.693}{5.27\text{y}} \times 2\text{y}})$$

$$= 1.75 \times 10^{11} \text{ Bq}$$

$$N = \frac{1.75 \times 10^{11}}{4.17 \times 10^{-9}} = 4.20 \times 10^{19} \text{ 個 } ^{60}\text{Co} \text{ 原子。}$$

$$\lambda = \frac{0.693}{5.27\text{年} \times 365\text{天} \times 24\text{時} \times 60\text{分} \times 60\text{秒}}$$

$$= \frac{0.693}{1.66 \times 10^8 \text{秒}} = 4.17 \times 10^{-9} \frac{1}{\text{秒}}$$

5. 假設 ^{35}S 均勻分佈於罌丸 (罌丸重 18 克)，其初始吸收劑量率為 3×10^{-3} Gy/Day，試計算 (1) 10 天內罌丸之累積吸收劑量？(2) 無限長時間後罌丸之總劑量為多少 Gy？(^{35}S 在罌丸內之有效半衰期為 77 天)

參考答案：

$$(1) D = \int_0^t \dot{D}_0 e^{-\lambda t} dt = \dot{D}_0 \int_0^t e^{-\lambda t} dt = -\frac{\dot{D}_0}{\lambda} e^{-\lambda t} \Big|_0^t = \frac{\dot{D}_0}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t})$$

$$D_{10} = \frac{\dot{D}_0}{\lambda} (1 - e^{-\lambda \times 10}) = \frac{3 \times 10^{-3} \text{ Gy/d}}{\frac{0.693}{77\text{d}}} (1 - e^{-\frac{0.693}{77} \times 10}) = 2.87 \times 10^{-2} \text{ Gy}$$

$$(2) D_{\infty} = \frac{\dot{D}_0}{\lambda} = \frac{3 \times 10^{-3} \text{ Gy/d}}{\frac{0.693}{77\text{d}}} = 0.333 \text{ Gy}$$

6.以 HPGe 偵檢器度量 ^{137}Cs 光子能譜(能量為 662 keV),試問康普吞邊緣(Compton edge) 及回散射峰(backscattered radiation peak)分別位於多少能量?

參考答案:

康普吞邊緣(Compton edge),是光子(662keV)與 HPGe 偵檢器發生康普吞作用,轉交給電子最大可能的能量(發生在光子 180 度散射)。此電子可獲得之最大能量

$$= \frac{2 \cdot (0.662)^2}{0.511 + 2 \cdot 0.662} = 0.478\text{MeV}, \text{ 所以光子若與 HPGe 發生 Compton effect, 造成的散射電}$$

子(或康普吞電子)的能量從 0 到 478 keV,而在 478 keV 處形成一較陡降之邊緣。

回散射峰(backscattered radiation peak),因其能量為 $662 - 478 = 184$ keV,是發生在回散射(180 度)的光子,此光子若再發生光電效應將能量轉由光電子呈現則為回散射峰。

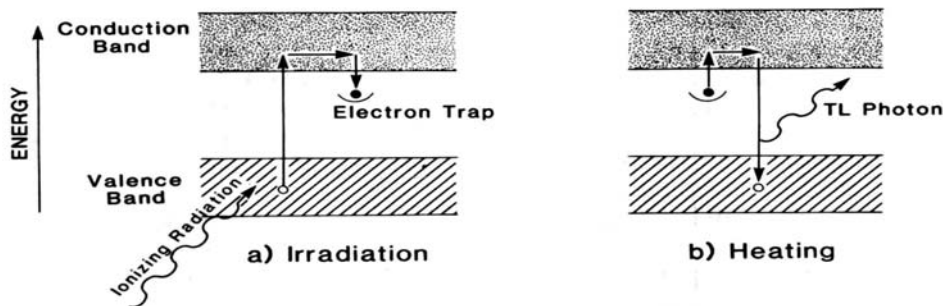
7.(1)請寫出熱發光劑量計的英文全名及簡寫

(2)繪簡圖並說明熱發光劑量計的工作原理

參考答案:

(1)thermoluminescence dosimeter, TLD。

(2)熱發光劑量計的工作原理如下:



此為固態物理簡單示意圖,電子原處於 Valence band(價電子帶,或稱為基態),經游離輻射照射後,電子將從 Valence band 跳到 Conduction band(傳導帶)。因此在 Valence 將留下一個電洞(vacancy),它將在 Valence band 游動。而被激發的電子將在傳導帶游動,直到再掉落 Valence band(基態),或掉入電子陷阱(trap)。此陷阱常為所額外加入的元素造成,例如: $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$, Dy 為造成 trap 的原因。若掉入電子陷阱內,將待在陷阱內一長段時間。將此受照射後的 TLD,加熱(約 300°C),則在陷阱內的電子會吸收此能量而跳躍至傳導帶,接著大部份再降階釋能躍遷至價電子帶。而所釋出的能量我們稱為螢光(fluorescence)。如此加熱釋出螢光的過程,稱為「熱發光(thermoluminescence, TL)」。將加熱溫度與 TLD 釋出 TL 的數量,可繪製所謂的「輝光曲線」,分析輝光曲線可以反推算入射的輻射量,再推論有多少劑量。