

6. 何謂淺部等效劑量(H_s)和深部等效劑量(H_d)？請問 H_s 及 H_d 的測量是否可以取代皮膚及深部器官或組織的實際等效劑量？說明其理由。(10%)
7. 考慮一能量為 0.3MeV 的加馬射束。若光子通量率為每平方公尺每秒 2000 個光子，而空氣的溫度為 20 °C，試求射束中一點的曝露率為何？(空氣的密度為 $1.293 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^3$ ，能量吸收係數 $\mu_{ab} = 3.46 \times 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$) (10%)
8. 現有一個銅壁的充空氣的小空腔游離腔，其腔壁厚度等於電子最大射程。空腔體積為 0.100 cm^3 。空氣密度為 0.001293 g/cm^3 ，給定的加馬射線曝露量產生了 $7.00 \times 10^{-10} \text{ C}$ 的電荷。(10%)
 - (a) 試求在空腔空氣中的平均吸收劑量。($\bar{W}_{air}/e = 33.97 \text{ J/C}$)
 - (b) 應用布拉格戈雷(Bragg-Gray)原理，估計在臨近的銅壁中的吸收劑量，假設穿越空腔的電子之平均能量 $\bar{T} = 0.43 \text{ MeV}$ 。(對 0.43MeV 之電子質量阻止本領 $S_{cu} = 1.419 \text{ MeV cm}^2/\text{g}$ ， $S_{air} = 1.868 \text{ MeV cm}^2/\text{g}$)
 - (c) 假設 \bar{T} 的誤差是 34%，則可能有的能量值為 0.65 MeV，試以 $\bar{T} = 0.65 \text{ MeV}$ 重做(b)。並給出由此造成 D_{cu} 的百分誤差。(對 0.65MeV 之電子質量阻止本領 $S_{cu} = 1.312 \text{ MeV cm}^2/\text{g}$ ， $S_{air} = 1.7245 \text{ MeV cm}^2/\text{g}$)
9. 若一薄 LiF 劑量計，受到 $T_0 = 20 \text{ MeV}$ ，通量為 $3 \times 10^{15} \text{ e/cm}^2$ 的電子束的照射，試求其劑量(Gy)。(不考慮 δ 射線 χ 電子射束的質量衰減係數： $1.654 \text{ MeV cm}^2/\text{g}$) (10%)
10. 請敘述中子與物質作用的機制。中子屏蔽的問題須考慮哪幾個重點，又如何選擇屏蔽材料？(10%)

行政院原子能委員會
九十四年度第一次輻射防護人員專業科目測驗解答
輻射防護師級：專業科目

(每題 10 分，共 100 分)

1. 請說明使用非密封射源時，防止體內曝露的具體有效方法。

解：

2C 的 原 則	(1) 封閉(contain)：使射源不與人體直接接觸。例如收納於容器、使用手套工具箱(glove box)。 (2) 集中(concentrate)：防止射源分散，集中管理。例如射源保管、射源濃縮分離。
3D 的 原 則	(3) 稀釋(dilute)：使用低濃度的射源。例如添加載體，低濃度溶液的稀釋。 (4) 分散(disperse)：實施排氣、廢液的稀釋等。例如大型排氣機、稀釋槽的使用。 (5) 除污(decontaminate)：除去放射性污染。例如除污、使用氣櫃。

2. 當 1mg 的 ^{137}Cs 與 ^{137m}Ba 平衡時有多少克的 ^{137m}Ba 會產生? ($^{137}\text{Cs} \rightarrow ^{137m}\text{Ba} \rightarrow ^{137}\text{Ba}$; ^{137}Cs $T_{1/2}=30\text{yr}$; $^{137m}\text{Ba}=2.6\text{min}$)

解： ^{137}Cs 與 ^{137m}Ba 為長期平衡，平衡時 $N_2\lambda_2 = \lambda_2 N_1^0$

$$\frac{10^{-3}}{137} \times 6.02 \times 10^{23} \times \frac{0.693}{30 \times 365 \times 24 \times 3600} = \frac{x}{137} \times 6.02 \times 10^{23} \times \frac{0.693}{2.6 \times 60}$$

$$\Rightarrow x = 1.65 \times 10^{-10} \text{ g}$$

3. 使用窗型 GM 計數管測定放射性活度。

- (1) 首先決定背景值，在無射源狀態計測 10 分鐘，3 次的計數值各為 550、510、540。請問背景計數率(s^{-1})及其標準差為何？
- (2) 其次，測定位於 GM 計數管前 5 cm 處的 ^{60}Co 射源，計測時間 5 分鐘，5 次的計測值各為 480、525、495、510、490。請問包含背景值的計數率(s^{-1})及其標準差為何？又其淨計數率(s^{-1})及其標準差為何？（此時忽略分解時間之影響）
- (3) 最後，相同位置放置一活度為 5000 Bq 的 ^{60}Co 標準射源，計測時間為 5 分鐘，2 次的計數值為 151,600 及 148,400。考慮其分解時間 $300\mu\text{s}$ ，請問其計數率(s^{-1})為何？
- (4) 因此，待測 ^{60}Co 射源的放射性活度及其標準差為何？

解：

- (1) $(550+510+540) \pm (\sqrt{550+510+540}) = 1600 \pm 40$
 $1600/(60 \times 30) \pm 40/(60 \times 30) = 0.89 \pm 0.022 [s^{-1}]$
- (2) $480+525+495+510+490 = 2500$
 $2500/(60 \times 25) \pm \sqrt{2500}/(60 \times 25) = 1.67 \pm 0.033 [s^{-1}]$
 $(1.67-0.89) \pm \sqrt{(0.033^2 + 0.022^2)} = 0.78 \pm 0.040 [s^{-1}]$
- (3) $(151,600+148,400)/(60 \times 10) = 500$
 $500/(1-300 \times 10^{-6} \times 500) = 588 [s^{-1}]$
- (4) 計數效率： $588 / 5000 = 11.76\%$
 $0.78/11.76\% \pm 0.040/11.76\% = 6.67 \pm 0.34 [\text{Bq}]$

4. 假設 ^{35}S 均勻分佈於睪丸(睪丸重 18 克)，其第一天之吸收劑量率為 10^{-3} Gy ，試計算(1)5 天內睪丸之累積吸收劑量？(2)無限長時間後睪丸之劑量負擔(dose commitment)？(^{35}S 在睪丸內之有效半化期為 77 天)(10%)

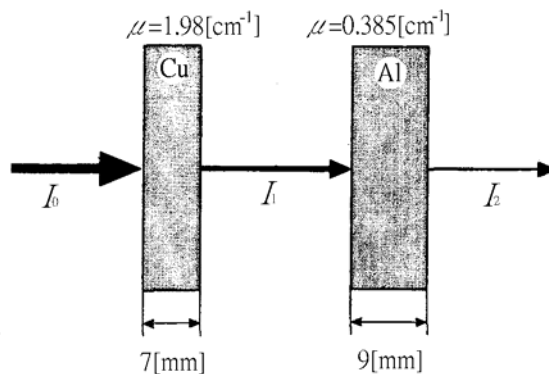
解：

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

$$D_5 = \frac{\dot{D}_0}{\lambda} (1 - e^{-\lambda \times 5}) = \frac{10^{-3} \text{ Gy/d}}{\frac{0.693}{77d}} (1 - e^{-\frac{0.693}{77} \times 5}) = 4.89 \times 10^{-3} \text{ Gy}$$

$$(2) D_\infty = \frac{\dot{D}_0}{\lambda} = \frac{10^{-3} \text{ Gy/d}}{\frac{0.693}{77d}} = 1.11 \times 10^{-1} \text{ Gy} = 0.111 \text{ Gy}$$

5.如圖示，150keV 的光子對銅的直線衰減係數為 1.98cm^{-1} ，鋁的直線衰減係數為 0.385cm^{-1} 。設 150keV 的 X 射束首先通過 7mm 厚的銅板，然後再通過 9mm 厚的鋁板，請問通過銅及鋁板的 X 射束之透過率為多少？



解：設銅的半值層(HVL)= $d_{1/2}(\text{Cu})$ ，鋁的 HVL= $d_{1/2}(\text{Al})$ 。

$$d_{1/2}(\text{Cu}) = 0.693 / 1.98\text{cm}^{-1} = 0.35\text{cm} = 3.5\text{mm}$$

$$d_{1/2}(\text{Al}) = 0.693 / 0.385\text{cm}^{-1} = 1.8\text{cm} = 18\text{mm}$$

$$I / I_0 = \left(\frac{1}{2}\right)^{\left(\frac{7}{3.5} + \frac{9}{18}\right)} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\left(2 + \frac{1}{2}\right)} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{5}{2}} = \frac{1}{\sqrt{32}} = \frac{1}{5.656} = 0.1768 = 17.68\%$$

6.何謂淺部等效劑量(H_s)和深部等效劑量(H_d)？請問 H_s 及 H_d 的測量是否可以取代皮膚及深部器官或組織的實際等效劑量？說明其理由。

解：

在評估有效等效劑量過程中，須知道人體各組織或器官的平均等效劑量，以

便與其相對應的加權因數相乘後再相加以求總和，因而得知該次曝露的有效等效劑量。但在實際工作時，不可能對每個人體的組織或器官的等效劑量皆加以度量，故為簡化一般輻射防護工作的執行，我國法令定義淺部等效劑量為假體表面下 70 微米深處的等效劑量，而以假體表面下 0.01 公尺深處的等效劑量為深部等效劑量。在一般輻射工作場所情況下， H_s 的等效劑量遠較人體皮膚所接受的平均劑量大，而 H_d 的等效劑量亦較人體大部分器官或組織所接受的平均等效劑量高，故以 H_s 及 H_d 的測量值取代皮膚及深部器官或組織的實際等效劑量值，通常是保守的安全做法，而且也是比較實用的做法。

7. 考慮一能量為 0.3MeV 的加馬射束。若光子通量率為每平方公尺每秒 2000 個量子，而空氣的溫度為 20 °C，試求射束中一點的曝露率為何？(空氣的密度為 $1.293 \times 10^{-6} \text{ kg/cm}^3$ ，能量吸收係數 $\mu_{ab} = 3.46 \times 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$)

解：空氣中的曝露率為

$$\dot{X} = \phi \times E \times 1.6 \times 10^{-13} \times \left(\frac{\mu_{ab}}{\rho} \right) \times \frac{1}{34}$$

(a) $\rho = 1.293 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^3$ 的計算

$$\begin{aligned} \dot{X} &= 2000 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} \times 0.3 \text{ MeV} \times 1.6 \times 10^{-13} \frac{\text{J}}{\text{MeV}} \left(\frac{3.46 \times 10^{-5} \text{ cm}^{-1}}{1.293 \times 10^{-12} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}} \right) \times \frac{1}{34 \frac{\text{J}}{\text{kg}}} \frac{\text{C}}{\text{kg}} \\ &= 7.56 \times 10^{-9} \text{ C/kg} \cdot \text{s} = 7.56 \times 10^{-9} \times \frac{293}{273} = 8.11 \times 10^{-9} \text{ C/kg} \cdot \text{s} \end{aligned}$$

(b) $\rho = 1.293 \times 10^{-6} \text{ kg/cm}^3$ 的計算

$$\begin{aligned} \dot{X} &= 2000 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} \times 0.3 \text{ MeV} \times 1.6 \times 10^{-13} \frac{\text{J}}{\text{MeV}} \left(\frac{3.46 \times 10^{-5} \text{ cm}^{-1}}{1.293 \times 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}} \right) \times \frac{1}{34 \frac{\text{J}}{\text{kg}}} \frac{\text{C}}{\text{kg}} \\ &= 7.56 \times 10^{-15} \text{ C/kg} \cdot \text{s} = 7.56 \times 10^{-15} \times \frac{293}{273} = 8.11 \times 10^{-15} \text{ C/kg} \cdot \text{s} \end{aligned}$$

原試題 $1.293 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^3$ 有誤，應該是 $1.293 \times 10^{-6} \text{ kg/cm}^3$ 。考生以 $1.293 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^3$ 或 $1.293 \times 10^{-6} \text{ kg/cm}^3$ 計算的話，均給分。

8. 現有一個銅壁的充空氣的小空腔游離腔，其腔壁厚度等於電子最大射程。空腔體積為 0.100 cm^3 。空氣密度為 0.001293 g/cm^3 ，給定的加馬射線曝露量

產生了 7.00×10^{-10} C 的電荷。(10%)

- (a) 試求在空腔空氣中的平均吸收劑量。($\bar{W}_{\text{air}}/e = 33.97 \text{ J/C}$)
- (b) 應用布拉格戈雷(Bragg-Gray)原理,估計在臨近的銅壁中的吸收劑量,假設穿越空腔的電子之平均能量 $\bar{T} = 0.43 \text{ MeV}$ 。(對 0.43MeV 之電子質量阻止本領 $S_{\text{Cu}}=1.419 \text{ MeV cm}^2/\text{g}$, $S_{\text{air}}=1.868 \text{ MeV cm}^2/\text{g}$)
- (c) 假設 \bar{T} 的誤差是 34%,則可能有的能量值為 0.65 MeV,試以 $\bar{T}=0.65 \text{ MeV}$ 重做(b)。並給出由此造成 D_{Cu} 的百分誤差。(對 0.65MeV 之電子質量阻止本領 $S_{\text{Cu}}=1.312 \text{ MeV cm}^2/\text{g}$, $S_{\text{air}}=1.7245 \text{ MeV cm}^2/\text{g}$)

解：

$$(a) \quad D_{\text{air}} = (7.00 \times 10^{-10} \text{ C} \times 33.97 \text{ J/C}) / (0.100 \text{ cm}^3 \times 0.001293 \text{ g/cm}^3) \\ = 0.1839 \text{ Gy}$$

$$(b) \quad D_{\text{Cu}} = 0.1839 \times (1.419/1.868) = 0.1397 \text{ Gy}$$

$$(c) \quad D_{\text{Cu}} = 0.1839 \times (1.312/1.7245) = 0.1399 \text{ Gy}$$

$$(0.1399 - 0.1397) / 0.1397 = 0.14\%$$

9.若一薄 LiF 劑量計,受到 $T_0 = 20 \text{ MeV}$,通量為 $3 \times 10^{15} \text{ e/cm}^2$ 的電子束的照射,試求其劑量(Gy)。(不考慮 δ 射線)(電子射束的質量衰減係數: $1.654 \text{ MeV cm}^2/\text{g}$)

解：

$$D = 3 \times 10^{15} \frac{e}{\text{cm}^2} \times 1.654 \frac{\text{MeV} \cdot \text{cm}^2}{\text{g} \cdot e} \times 1.602 \times 10^{-13} \frac{\text{J}}{\text{MeV}} \times 10^3 \frac{\text{g}}{\text{kg}} = 7.95 \times 10^5 \text{ Gy}$$

10.請敘述中子與物質作用的機制。中子屏蔽的問題須考慮哪幾個重點,又如何選擇屏蔽材料?

解：

- (1) 彈性碰撞,中子與靶核碰撞而損失能量,損失的能量轉移成靶核的動能。彈性碰撞的結果,會使快中子能量遞減,方向改變。
- (2) 非彈性碰撞,入射中子把一部分能量傳給靶核並使靶核激發,當受激核返回基態時,通常會放出 γ 射線。對於重元素而言,非彈性碰撞的作較為重要。
- (3) 快中子與物質碰撞減速為熱中子後,被吸收體的原子核捕獲的機會大

增。中子被捕獲的結果，靶物質被活化，同時釋出輻射（如 α 粒子、質子、 γ 射線等）。重要的中子捕獲反應如 $^{14}_7\text{N}(n, p)^{14}_6\text{C}$ 。此外，熱中子被 ^{233}U 、 ^{235}U 或 ^{239}Pu 等核種捕獲，其複合核會產生分裂反應並放出巨大能量，這就是核能發電的原理。

中子的屏蔽：

中子的屏蔽問題包括了三點：(1)快中子緩速或減能，(2)捕獲減能後的中子，(3)衰減所可能引起的加馬輻射。捕獲快中子之前必須先將其緩速，而下列二種作用可使快中子緩速：

(1) 中子與重元素（特別是鐵）起非彈性碰撞，中子能量大於 1MeV 者，作用尤其顯著。

(2) 中子與輕原子核，例如氫，起彈性碰撞。

中子被緩速成為熱中子後，再被屏蔽的原子核捕獲而起(n, γ)作用，將產生 γ 射線，故除了考慮屏蔽中子的物質外，還須考慮屏蔽所產生的 γ 射線才行。質量數小的元素是優良的中子緩和劑，因此水、塑膠、石臘、鈹及石墨等為一般中子屏蔽的材料。但選取屏蔽中子的物質時，尚應考慮(1)能否有效降低快中子的能量，(2)對熱中子捕獲截面積是否夠大，(3)對其產生的 γ 射線是否亦為有效屏蔽。