

類 科：輻射安全
科 目：放射物理學與輻射劑量學
考試時間：2小時

座號：_____

※注意：(一)可以使用電子計算器。

(二)不必抄題，作答時請將試題題號及答案依照順序寫在試卷上，於本試題上作答者，不予計分。

(三)本科目除專門名詞或數理公式外，應使用本國文字作答。

一、一束 6 MV 的醫療直線加速器產生的光子束照射於水假體上，探討深度劑量分布與能量轉移機制。請回答下列問題：

- (一)請比較克馬 (Kerma)、碰撞克馬 (collision kerma) 與吸收劑量 (absorbed dose) 三者之定義、單位與物理意義，並說明它們在帶電粒子平衡成立與不成立下之關係。(8分)
- (二)在皮膚表面至最大劑量 (D_{\max}) 深度之間，吸收劑量小於碰撞克馬，請說明原因。(5分)
- (三)若某一深度處的碰撞克馬為 1.5 Gy，且假設該點達帶電粒子平衡，則此點的吸收劑量為多少？請說明。(4分)
- (四)若水假體中某 6 MV 光子束的百分深度劑量 (percentage depth dose, PDD) 曲線圖中， D_{\max} 出現在 1.5 cm 深處，試問：若表面劑量為 25%，則 PDD 曲線中從表面至 D_{\max} 過程中，可能出現何種物理交互作用影響？對治療有何啟示？(8分)

二、一球體水體 (密度假設為 1 g/cm^3)，半徑為 2 cm，含有均勻分布之放射性核種 $^{22}_{11}\text{Na}$ ，其比活度為 10^5 Bq/g 。

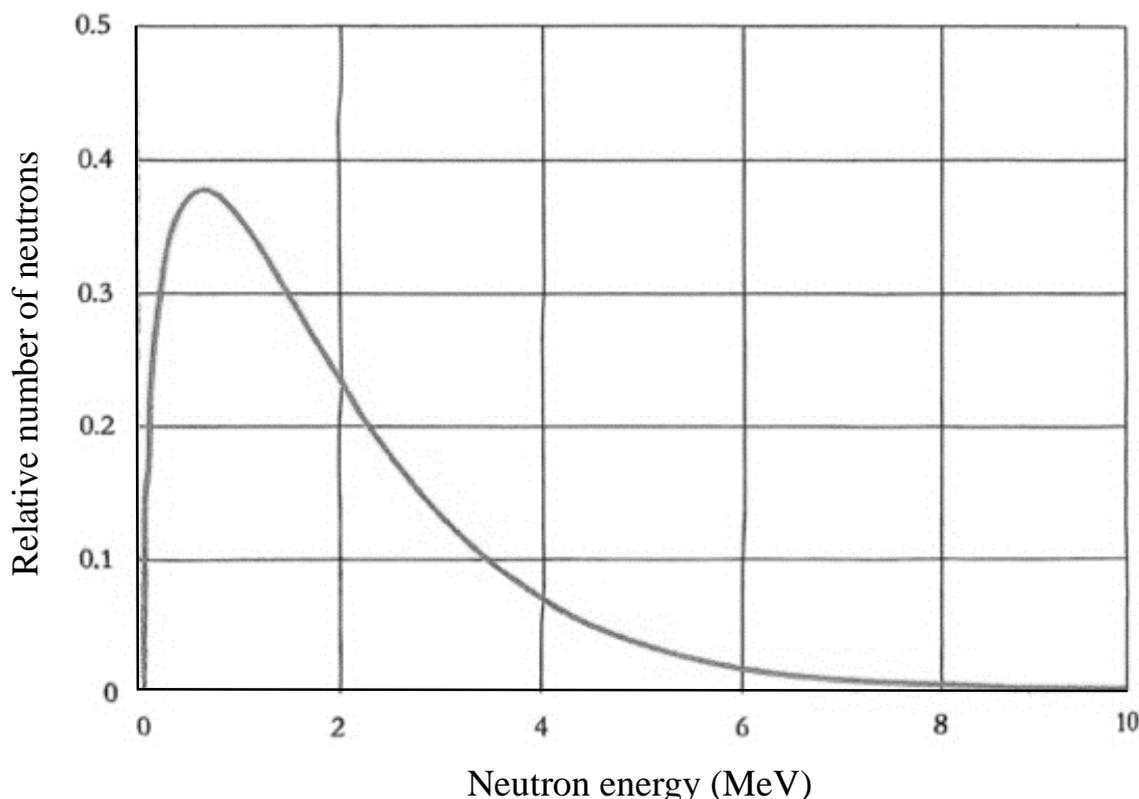
已知：

- $^{22}_{11}\text{Na}$ 以 90.5% 機率發射最大能量與平均能量為 0.546 與 0.216 MeV 之 β^+ 。
- 產生 2 顆 0.511 MeV 互毀光子。
- β^+ 為短射程粒子，在此幾何下產生 CPE，可全數沉積能量。
- γ 光子穿透力強，需考慮吸收分率 (已知 $\mu_{\text{en}}^{0.511 \text{ MeV}, \text{H}_2\text{O}} = 0.033 \text{ cm}^{-1}$)。

請回答問題：

- (一)計算在一週內 β^+ 所貢獻的吸收劑量 (Gy)。(6分)
- (二)計算 0.511 MeV γ 光子在球體中心之吸收分率 (AF)。(6分)
- (三)計算 γ 光子在一週內對球體中心之吸收劑量 (Gy)。(7分)
- (四)合併總劑量並說明 β^+ 與 γ 對中心劑量的主導性差異。(6分)

三、在一研究設施中，一位研究員於設備維修時意外曝露於中子輻射。設施內部中子通量率為 $2.5 \times 10^5 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$ ，中子來自 U-235 分裂，具多能譜分布，如圖所示。該研究員曝露時間為 10 分鐘，主要照射部位為膝部肌肉組織。



已知：

- 對膝部肌肉組織，分裂中子能譜下的吸收劑量轉換係數（DCF）為： $DCF_{\text{muscle}} = 320 \text{ pGy} \cdot \text{cm}^2/\text{n}$ 。
- 蒙地卡羅模擬已確認劑量貢獻以中子與氫彈性散射為主。
- 肌肉密度為 1.06 g/cm^3 ，可假設受照區域厚度為 3 cm、橫截面積為 300 cm^2 。

請問：

- (一)根據給定條件，計算該研究員膝部肌肉組織吸收的中子劑量（單位：mGy）。（8分）
- (二)說明為何中子劑量計算不容易直接用公式，而需依賴 DCF 或蒙地卡羅模擬？（5分）
- (三)說明中子與人體組織互動時，主要貢獻吸收劑量的兩種物理機制。（6分）
- (四)圖顯示 U-235 分裂產生的中子能譜廣泛分布，請說明如何將此能譜應用於 DCF 劑量轉換？（6分）

四、某醫療設施欲對一個 10 mCi 的 P-32 點源進行屏蔽。請問：

- (一)若欲完全阻擋該源所釋放的 β^- 粒子，至少需要多少壓克力 (polymethyl methacrylate, PMMA) 厚度作為主要屏蔽層？(5 分)
- (二)在該厚度之壓克力外緣處，由於 bremsstrahlung 造成的光子輻射對人體組織的吸收劑量率 (Gy/h) 為何？假設點源幾何，並以平均 β 能量估算。(10 分)

已知：

- P-32 最大 β^- 能量為 1.711 MeV，平均能量約 695 keV。
- P-32 活度為 3.7×10^8 Bq。
- β 對能量為 700 keV 時的 bremsstrahlung yield 為 0.00232。
- PMMA 密度為 1.19 g/cm^3 ，1.75 MeV β 在 PMMA 中射程為 0.8751 g/cm^2 。
- 光子質量能量吸收係數 (μ_{en}/ρ) 在 0.695 MeV 處為 $0.0322 \text{ cm}^2/\text{g}$ 。

五、某實驗室使用 NaI (Tl) 閃爍體偵檢器進行 γ 射線強度測量，設置於距離一 Cs-137 放射源 1 公尺處。已知偵檢器的效率對 662 keV γ 射線為 25%，探測到的計數率為 2000 cps。

請問：

- (一)該放射源在 1 公尺處的 γ 光子通量為多少？(2 分)
- (二)若空氣的質量能量吸收係數 $\mu_{\text{en}}/\rho = 0.030 \text{ cm}^2/\text{g}$ ，請估算此位置空氣中的吸收劑量率 ($\mu\text{Gy/h}$)。(4 分)
- (三)請說明 NaI (Tl) 偵檢器在 γ 劑量率監測上可能出現的兩項誤差來源，並說明改進方法。(4 分)