

115年公務人員高等考試三級考試試題

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。

註：使用電子計算器計算之試題，須詳列解答過程。

一、使用高純鍺偵檢器 (high-purity germanium detector, HPGe) 近距離量測一密封鈷-60 射源，能譜中可見 1.173 MeV 與 1.332 MeV 的全能峰，並可辨識康普吞邊緣、回散射峰，以及約 2.505 MeV 的加總峰。已知電子靜止質量能量為 0.511 MeV。請回答下列問題：

(一)針對 1.332 MeV 加馬光子，計算康普吞邊緣及回散射峰所對應的能量。

(6 分)

(二)說明兩個全能峰與 2.505 MeV 加總峰的形成機制。(5 分)

(三)說明 HPGe 偵檢器相較於 NaI (Tl) 閃爍偵檢器的主要優點，並列出 HPGe 偵檢器的一項實務限制。(4 分)

二、使用兩支石墨壁通氣式空氣游離腔，在水中相同位置量測一光子射束，已知：

- 甲游離腔的石墨壁質量厚度為 0.180 g/cm^2 ，收集電荷為 2.76 nC。
- 乙游離腔的石墨壁質量厚度為 0.480 g/cm^2 ，收集電荷為 2.62 nC。
- 兩支游離腔的空腔體積均為 0.600 cm^3 。
- 石墨中次級電子的最大射程為 0.420 g/cm^2 。
- 空氣在 22.0°C 、760 mmHg 下的密度為 $1.196 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ 。
- 量測時的溫度為 30.0°C ，氣壓為 740 mmHg。
- 離子再結合修正因子為 1.012，極性效應修正因子為 0.997。
- 兩支游離腔均可視為小空腔。
- 可忽略其他擾動修正，以及石墨壁對量測位置光子能譜及能量通量的擾動。
- 石墨對空氣之平均非限制碰撞質量阻止本領比：1.115。
- 石墨對空氣之平均限制碰撞質量阻止本領比：1.098。
- 水對石墨之平均質量能量吸收係數比：1.036。
- 水對石墨之平均質量衰減係數比：1.120。

請依據 Spencer-Attix 空腔理論，選擇適當的游離腔讀值及相關輻射作用係數，並詳細敘明選擇依據，再計算量測時空腔內的空氣質量、修正後電荷及水吸收劑量。(25 分)

三、某作業場所的中子場可近似分為熱中子與快中子兩群，使用小型及大型 Bonner 球於相同位置量測，屏蔽前、後的量測時間均為 600 s，且計數均已扣除背景。

- 小型 Bonner 球對熱中子與快中子的平均反應係數分別為 4.00×10^{-4} 及 $0.500 \times 10^{-4} \text{ count}\cdot\text{cm}^2/\text{n}$ ，屏蔽前、後計數分別為 4300 及 10040。
- 大型 Bonner 球對熱中子與快中子的平均反應係數分別為 1.00×10^{-4} 及 $3.00 \times 10^{-4} \text{ count}\cdot\text{cm}^2/\text{n}$ ，屏蔽前、後計數分別為 2800 及 2740。
- 同一受照組織對熱中子與快中子的通量至吸收劑量轉換係數分別為 10.0 及 300 $\text{pGy}\cdot\text{cm}^2/\text{n}$ ，輻射加權因數分別為 2 及 10。
- 屏蔽前加馬射線劑量貢獻可忽略，屏蔽後另量得捕獲加馬射線（neutron-capture gamma rays）吸收劑量為 0.300 mGy。

假設屏蔽後輻射場穩定，且等價劑量與作業時間成正比，請回答下列問題：

- (一)分別計算屏蔽前、後於 600 s 量測期間累積的熱中子與快中子通量，以及該組織於屏蔽前、後的總等價劑量。若單次作業等價劑量不得超過 5.00 mSv，計算屏蔽後的最長作業時間。(18 分)
- (二)屏蔽後小型 Bonner 球的計數明顯增加，但總等價劑量反而降低，說明其原因。由射源側至人員側寫出中子吸收層、次級加馬屏蔽層及減速層的合理排列順序。(7 分)

四、某密封銫-137 (Cs-137) 點射源作業區，未設屏蔽時，距射源 1.00 m 處的周圍等效劑量率為 6.00 mSv/h，工作人員每週工作 5 日，每日執行下列作業：

- 在操作位置 A 停留 6.00 min；位置 A 距射源 2.00 m，射源與人員間已有厚度 0.500 cm 的鉛屏蔽。
- 在巡檢位置 B 停留 2.00 min；位置 B 距射源 4.00 m，射源與人員間無鉛屏蔽。

已知銫-137 主要加馬射線在鉛中的線性衰減係數為 $\mu=1.20 \text{ cm}^{-1}$ ，假設射源可視為點射源，作業期間活度不變，並忽略散射輻射及增建效應（buildup effect），本題將周圍等效劑量 $H^*(10)$ 視為工作人員有效劑量的保守估計。請回答下列問題：

- (一)計算工作人員在既有配置下的每週周圍等效劑量。(8 分)
- (二)若每週周圍等效劑量的控制目標為 0.100 mSv，且新增鉛屏蔽僅設置於操作位置 A，計算理論上所需增加的最小鉛屏蔽厚度。(7 分)

五、某病人接受鎂-68 (Ga-68) 放射藥物檢查，腎臟內活度可視為兩個指數衰減成分之和，兩成分的初始活度分別為 55 MBq 與 20 MBq，有效半衰期分別為 20.0 min 與 50.0 min，已知：

- Ga-68 的物理半衰期為 67.7 min。
- 腎臟自體吸收劑量係數為：

$$S_{K \leftarrow K} = 0.0200 \frac{\text{mGy}}{\text{MBq} \cdot \text{h}}$$

忽略其他器官對腎臟的交互劑量及子核貢獻。請回答下列問題：

- (一)分別計算兩成分的生物半衰期，再計算腎臟的總時間積分活度、總核轉變次數及自體吸收劑量。(12 分)
- (二)計算檢查後前 120 min 的時間積分活度占全時間積分活度的比例，並說明器官劑量評估為何不能僅使用物理半衰期。(8 分)