

行政院原子能委員會

九十三年度第一次輻射防護專業測驗試題

輻射防護師級：專業科目

1. 為什麼阻擋本領(stopping power)及射程(range)適用於荷電粒子與物質的作用，而不適用於光子與物質的作用？（10%）

參考答案：荷電粒子的游離能力較強，稱為直接游離粒子(directly ionizing particle)，它與物質作用之能量損失，屬於連續減能(continuous slowing down)。由於荷電粒子在物質中的能量損失或射程，與其對應之平均值之間的差異不大，因此使用阻擋本領(單位距離內的平均能量損失)及射程(總行進距離)描述荷電粒子與物質的作用，十分洽當。相反地，光子屬於游離能力較弱的間接游離粒子(indirectly ionizing particle)，它只需與物質作用一次即可損失全部能量，故非連續減能。由於光子在物質中的能量損失或射程，與其對應之平均值之間的差異很大，所以使用阻擋本領及射程描述光子與物質的作用，並不洽當。

2. ICRP-26 建議的輻射工作人員劑量限度為一年 50 毫西弗，ICRP-60 則建議調整為五年 100 毫西弗。請問 ICRP-60 調整此一劑量限度的依據是什麼？什麼是輻射健康損傷(detriment)？（10%）

參考答案：ICRP-60 定義的健康損傷(detriment)，包括：致命癌症的機率、致命癌症之壽命折損的嚴重程度加權、非致命癌症、嚴重遺傳效應等四項。ICRP-60 根據日本長崎、廣島兩地原爆生還者的流行病學研究，採用相乘模式(multiplicative model)求得：一西弗有效劑量引起工作人員之健康損傷為 $5.6 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ 。而 ICRP-26 則採用相加模式(additive model)求得：一西弗有效等效劑量引起工作人員之機率效應風險為 $1.65 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ 。基於此一對健康效應風險的改變，ICRP-60 建議將 ICRP-26 之工作人員的劑量限度，由一年 50 毫西弗調整為五年 100 毫西弗。

3.ICRP-30 將呼吸道劃分為數個隔室(compartment)以推算體內劑量。請指出這些隔室，並定義 AMAD 與 D/W/Y。(10%)

參考答案：ICRP-30 將呼吸道劃分為：鼻咽(NP)、氣管與支氣管(TB)、肺(P)、淋巴(L)等隔室。放射性懸浮體在這些隔室的沉積分率，與這些懸浮體的粒徑及化合物種類有關。AMAD(activity median aerodynamic diameter)表示懸浮體的活度中數空氣動力學直徑，AMAD 愈大懸浮體在 NP 中的沉積分率就愈大，AMAD 愈小懸浮體在 P 中的沉積分率就愈大。又 D(day)/W(week)/Y(year)表示放射性懸浮體在肺部之生物滯留時間，分別代表：小於十天、介於十天至一百天、大於一百天。

4. 何謂線能 (lineal energy) 與直線能量轉移 (LET)? 又兩者有何區別。(10%)

參考答案：線能 (lineal energy, y)，定義為在一小體積單元中由單次事件授予的能量， ε ，與穿過該小體積單元的各向同性弦長的平均值， \bar{x} ，之比，即：

$$y = \frac{\varepsilon}{\bar{x}}$$

線能是一個機率量，與 LET 的單位相同(LET 是一個非機率量，它是帶電粒子沿路徑的能量損失率的平均值)。

直線能量轉移(linear energy transfer, LET)，通常以 L 表示，為帶電料子 dE 在物質中穿行單位長度路程 dl 時，由於與電子碰撞而損失的平均能量，即

$$L = \frac{dE}{dl} \quad \text{單位：Jm}^{-1} \text{ 或 keV}\mu\text{m}^{-1}$$

鑒於測量 LET 譜在技術上有很多困難，而對於許多輻射場卻不難測得線能及其頻率的分布以及劑量的平均值，故曾有人提議在輻射防護工作中用線能 y 代替 LET，作為定義射質因數的基礎。但用線能的缺點包括需要規定該參考體積的大小。(通常假定該參考體積是球形)。對於任何一種特定的選擇似乎都沒有一個足以令人信服的理由，而 y 的分布與這種規定有關。此外，與弦相關聯的概念似乎不適宜用於電子的曲折路徑方面，特別是在低能量處。

5.請詳述下列名詞之含義：

(a) 周圍等效劑量[ambient dose equivalent, $H^*(d)$] (5%)

(b) 個人等效劑量[personal dose equivalent, $H_p(d)$] (5%)

參考答案：

(a) 輻射場中 P 點處的周圍等效劑量 [ambient dose equivalent , $H(d)$], 是齊向擴展場在 ICRU 球中沿輻射場逆向半徑在深度 d 處產生的等效劑量。對於強穿輻射, ICRU 推薦的深度 $d = 10$ mm, 對於弱穿輻射, 對於皮膚, $d = 0.07$ mm; 對於眼球水晶體, $d = 3$ mm (習慣上, ICRU 指定深度是用 mm 為單位的)。一般來說, $H(d)$ 之測量要求輻射場在儀表線度內是均勻的, 而且儀表有著各向同性的回應。

(b) 個人等效劑量 [personal dose equivalent, $H_p(d)$], 是在人體指定點下方深度 d 處軟組織中的等效劑量。對於弱貫穿輻射推薦的 d 值為, 對於皮膚, $d = 0.07$ mm, 對於眼球水晶體, $d = 3$ mm, 對於強貫穿輻射, $d = 10$ mm。可以用佩帶在人體表面的校正過的偵檢器, 外面包覆以適當厚度的組織等效材料來測量個人等效劑量 $H_p(d)$ 。

6. 有一個 1.8 kBq 的 ^{133}Ba 與 0.5 kBq 的 ^{137}Cs 之混合點射源, ^{133}Ba

的空氣克馬率常數為 $0.0704 \mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, ^{137}Cs 的空氣克馬率常數為 $0.0771 \mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 。請計算離此點射源 30 公分的位置滯留 5 分鐘之空氣克馬為多少？（10%）

參考答案：

$$K_{\delta} = \frac{\Gamma_{\delta} A}{l^2}$$

$$\therefore K_{\delta}(\text{Ba}) = \frac{\Gamma_{\delta} A}{l} = \frac{0.0704 \times 1.8 \times 10^{-3}}{(0.3\text{m})^2} = 1.408 \times 10^{-3} (\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1})$$

$$K_{\delta}(\text{Cs}) = \frac{0.0771 \times 0.5 \times 10^{-3}}{(0.03)^2} = 4.283 \times 10^{-3} (\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1})$$

在 5 分鐘之空氣克馬

$$K_{\delta}(\text{Ba}) = \frac{1.408 \times 10^{-3}}{\frac{60}{5}} = 1.173 \times 10^{-4} \mu\text{Gy}$$

$$K_{\delta}(\text{Cs}) = \frac{4.283 \times 10^{-3}}{\frac{60}{5}} = 3.57 \times 10^{-5} \mu\text{Gy}$$

$$\therefore K_{\delta} = 1.173 \times 10^{-4} + 3.57 \times 10^{-5} = 1.53 \times 10^{-4} \mu\text{Gy} = 0.153 \text{nGy}$$

7.一放射治療用之 ^{60}Co 點射源($\Gamma=3.7 \times 10^{-4} \text{mSv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)的活度為 500 Ci , 距主屏蔽的距離為 3 公尺 , 屏蔽外為非管制區 , 而 $T=1/4$, $U=1/2$, 求屏蔽之 transmission, K。又假設屏蔽為混凝土(HVL=6 cm , B(buildup factor)=10) , 求屏蔽的厚度。(10%)

參考答案：

$$\begin{aligned}
\dot{H} &= \Gamma \frac{A}{r^2} \times T \times U \\
&= 3.7 \times 10^{-4} \frac{\text{mSv} \cdot \text{m}^2}{\text{MBq} \cdot \text{h}} \times \frac{500 \times 3.7 \times 10^4 \text{ MBq}}{3^2 \text{ m}^2} \times \frac{40 \text{ h}}{\text{wk}} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{2} \\
&= 3803 \text{ mSv/wk} \\
K &= \frac{\frac{1 \text{ mSv}}{y} \times \frac{y}{50 \text{ wk}}}{3803 \frac{\text{mSv}}{\text{wk}}} = 5.26 \times 10^{-6} \\
5.26 \times 10^{-6} &= 10 \times e^{-\frac{0.693}{6} T} \\
T &= 125 \text{ cm}
\end{aligned}$$

8. 一輻射作業場所內的設備需要人員進入維修，該場所受到 ^{137}Cs 的污染，空氣中的 ^{137}Cs 濃度等於推定空氣濃度 (DAC) 的 100 倍。一輻射工作人員今年已經接受了 15 毫西弗的深部等效劑量，請問他最長能在此場所內工作多少時間而不致超過年劑量限度？（10%）

$$\begin{aligned}
\therefore \frac{C \times T}{\text{DAC} \times 2000 \text{ h}} + \frac{H_d}{50 \text{ mSv}} &= 1 \\
\frac{(100 \text{ DAC}) \times T}{\text{DAC} \times 2000 \text{ h}} + \frac{15}{50} &= 1 \\
T &= 14 \text{ h}
\end{aligned}$$

9. 一游離腔之腔壁材料為鋁，腔中空氣的體積為 10 cm^3 ，腔壁對於空氣的質量阻擋本領比 (relative mass stopping power) 為 1.3。今將游離腔置入加馬輻射場中，測得 10,000 個離子對 (ion pairs)。請問利用 Bragg-Gray 原理，求得的腔壁吸收劑量等於多少戈雷？（10%）

$$\begin{aligned}
D &= \frac{10000 \text{ ip} \times \frac{34 \text{ eV}}{\text{ip}} \times \frac{1.6 \times 10^{-19} \text{ J}}{\text{eV}}}{10 \text{ cm}^3 \times 0.001293 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times \frac{\text{kg}}{1000 \text{ g}}} \times 1.3 \\
&= 5.5 \times 10^{-9} \text{ Gy}
\end{aligned}$$

10. 200 百萬貝克的 ^{210}Po (半衰期為 138 天) 相當於幾克的 ^{210}Po ?

(10%)

$$\begin{aligned}\therefore \text{S.A.} &= \frac{N_A \lambda}{A} \\ &= \frac{6.02 \times 10^{23} \frac{\text{atom}}{\text{mole}} \times \frac{0.693}{138 \times 86400 \text{s}} \times \frac{\text{Bq}}{1 \frac{\text{atom}}{\text{s}}}}{\frac{210 \text{g}}{\text{mole}}} \\ &= 1.67 \times 10^{14} \frac{\text{Bq}}{\text{g}} \\ \therefore \frac{200 \times 10^6 \text{Bq}}{1.67 \times 10^{14} \text{Bq/g}} &= 1.2 \times 10^{-6} \text{g}\end{aligned}$$