

行政院原子能委員會
九十四年度第二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

1. 解釋下列 ICRP 60 報告中之專用術語 (每小題 5%，共 20%)

(1) 器官或組織 T 中的平均吸收劑量 (D_T)

(2) 器官或組織 T 中的等價劑量 (H_T)

(3) 有效劑量 (E)

(4) 通量 (Φ) 及通量率 ($\dot{\Phi}$)

解：

(1) 器官或組織 T 中的平均吸收劑量 (D_T)

某一指定組織或器官，T，中的平均吸收劑量 (mean absorbed dose)， D_T 如下式

$$D_T = \frac{1}{m} \int_{m_T} D dm$$

式中， m_T 是該組織或器官的質量，D 是在質量單元 dm 中的吸收劑量。

在指定組織或器官中的平均吸收劑量， D_T ，等於授與該組織或器官的能量， ϵ_T ，與該組織或器官的質量 m_T 之比值 (即 $D_T = \frac{\epsilon_T}{m_T}$)。

在體外曝露的情況下，指定組織或器官的平均吸收劑量與周圍輻射場有關並與人體在輻射場中的取向和線度有關。

在某一指定器官中的平均吸收劑量有時稱為器官劑量 (organ dose)。

(2) 器官或組織 T 中的等價劑量 (H_T)

等價劑量：輻射 R 在器官或組織 T 中產生的等價劑量。

H_T 是器官或組織 T 中的平均吸收劑量 $D_{T,R}$ 與輻射加權因數 W_R 的乘積，即

$$H_{T,R} = D_{T,R} \cdot W_R$$

若輻射場是由具有不同 W_R 值的不同類型的輻射所組成時，等價劑量為

$$H_T = \sum_R W_R D_{T,R}$$

等價劑量的單位是 $J \cdot kg^{-1}$ ，稱為西弗 (Sv)。

(3)有效劑量(E)

ICRP 第 60 號出版物中用有效劑量取代了有效等效劑量，省略了“等效”二字，有效劑量的表達式為

$$E = \sum_T W_T H_T$$

其中， E 為有效劑量， H 為器官或組織的等價劑量， W 為組織加權因數，有效劑量與有效等效劑量的主要變化體現在 W 的概念和數值上：

(4)通量(Φ)及通量率($\dot{\Phi}$)

通量 Φ 是 dN 除以 da 所得的商，其中 dN 是射入截面積為 da 的球體內的粒子數，因此有：

$$\Phi = \frac{dN}{da}$$

其中 dN 是入射到截面為 da 的球體內的粒子數。這裡所謂“入射到”或稱“進入”，強調只穿過一次，並只考慮進入，不考慮流出。或，粒子通量的定義：在空間給予定點處射入以該點為中心的小球體的粒子數 dN 除以該球體的截面積 da

$$\Phi = dN/da$$

通量率或稱粒子通量率 (fluence rate, $\dot{\Phi}$)，(ICRU33 號報告中則以 ϕ 表示)，就是單位時間內進入單位截面球體內的粒子數，即 $d\Phi$ 除以 dt 所得的商，其中 $d\Phi$ 是時間間隔 dt 內通量的增量，即

$$\dot{\Phi} = \frac{d\Phi}{dt}$$

2. 何謂質能吸收係數 μ_{en}/ρ (Mass energy-absorption coefficient, μ_{en}/ρ)? (10%)

解：

由不帶電游離粒子轉移給二次帶電粒子的動能，其中有一部分可能轉變為制動輻射，而有一部分真正被物質所吸收了（通過游離和激發）。質能吸收係數就是扣除了制動輻射損失的能量後，真正被物質吸收的那部分能量所佔的分數，其嚴格定義如下：

某物質對不帶電粒子的質能吸收係數 μ_{en}/ρ 是質能轉移係數 μ_{tr}/ρ 和 $(1-g)$ 的乘積，即 $\mu_{en}/\rho = (1-g) \cdot \mu_{tr}/\rho$ 其中， g 是二次帶電粒子在物質中發生制動輻射而損失能量的分數。

質能吸收係數的單位： $m^2 \cdot kg^{-1}$ ； $cm^2 \cdot g^{-1}$ 。

3. 取一古代木料的燒灰試樣按既定步驟加以處理而成為二氧化碳，得 $^{14}\text{CO}_2$ 的放射性比活度為 228 Bq/g。另外，以相同的步驟對尚存活的微生物所得的 $^{14}\text{CO}_2$ 的放射性比活度為 918 Bq/g。請問該古木灰的年齡為多少？
(^{14}C 之半衰期為 5730 年) (10%)

解：

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{5730} = \frac{0.693}{5730} = 1.21 \times 10^{-4}$$

$$\ln\left(\frac{N_0}{N}\right) = \lambda t$$

$$\ln\left(\frac{918}{228}\right) = \lambda t$$

$$t = \frac{\ln 4}{\lambda} = \frac{\ln 4}{1.21 \times 10^{-4}} = 11457 \text{ 年}$$

該古木灰的年代約為 11457 年

4. 一組織等效壁為 1 mm 厚而內徑為 10 cm 的球形游離腔，標準狀態下組織等效氣體的莫耳組成為：30.01% 的 CO_2 ，1.74% 的 N_2 ，67.92% 的 CH_4 ，0.33% 的 C_2H_6 。此組織等效游離腔受到數 MeV 的中子照射，電流強度為 $6 \times 10^{-10} \text{ A}$ ，求此時授予組織等效壁的吸收劑量為何？(產生每離子對需要 30.5 eV) (10%)

解：

$$\begin{aligned} M &= 44 \times 0.3001 + 28 \times 0.0174 + 16 \times 0.6792 + 30 \times 0.0033 \\ &= 24.7 \end{aligned}$$

標準狀態下，1 mol 氣體體積為 22.4 l，故填充氣體的質量

$$m = 24.7 \times \frac{\left(\frac{4}{3} \pi \times 5^3\right)}{22400} = 0.577 \text{ (g)}$$

$$\begin{aligned} & (6 \times 10^{-10} [\text{A}=\text{C/s}] \times 30.5 \times 1.6 \times 10^{-19} [\text{J}]) / 1.6 \times 10^{-19} [\text{C}] \\ & = 1.83 \times 10^{-8} [\text{J/s}] \end{aligned}$$

因此，吸收劑量率

$$1.83 \times 10^{-8} [\text{J/s}] / (0.577 \times 10^{-3} [\text{kg}]) = \underline{3.17 \times 10^{-5} [\text{Gy/s}]}$$

5. 以 GM 計數器測定 ^{32}P 待測試樣的計數率，測得 3400 ± 100 cpm。事先以 ^{32}P 標準試樣求得此計數器之計數效率為 $(10.7 \pm 0.3)\%$ 。請計算條件不變下，此待測試樣之放射性活度、標準偏差與相對標準偏差（背景值可忽略）。（10%）

解：

$$\text{放射性活度}(D) = \text{計數率}(n) / \text{計數效率}(e)$$

$$A = 3400 / 0.107 = 31776 \text{ dpm}$$

$$\begin{aligned} \text{標準偏差}(\sigma) &= (n/e) \sqrt{(\sigma_n/n)^2 + (\sigma_e/n)^2} \\ &= (3400/0.107) \sqrt{(100/3400)^2 + (0.003/0.107)^2} \\ &= 1291 \text{ [dpm]} \end{aligned}$$

$$D \pm \sigma = 31776 \pm 1291 \text{ [dpm]}$$

$$\begin{aligned} \text{相對標準偏差}(\sigma_r) &= (\sigma/D) \times 100\% \\ &= \underline{4.1\%} \end{aligned}$$

6. 使用活度為 370 MBq 的 β 點射源 10 分鐘，請計算以指尖皮膚為入射面的吸收劑量與等效劑量。（射源與指尖的距離為 10 cm，皮膚對此 β 的平均阻止本領 = $1.9 \text{ MeV} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ， $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ ）（10%）

解：

此 β 點射源 10 分鐘的衰變數為

$$370 \times 10^6 [\text{s}^{-1}] \times (10 \times 60) [\text{s}] = 2.22 \times 10^{11}$$

指尖皮膚入射面的通量為

$$2.22 \times 10^{11} \times (4\pi \times 10^2 [\text{cm}^2])^{-1} = 1.77 \times 10^8 [\text{cm}^{-2}]$$

以平均阻止能計算指尖皮膚入射面的吸收能量

$$1.77 \times 10^8 [\text{cm}^{-2}] \times 1.9 [\text{MeV} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}] = 3.36 \times 10^{14} [\text{eV} \cdot \text{g}^{-1}]$$

$$3.36 \times 10^{14} [\text{eV} \cdot \text{g}^{-1}] \times 1.6 \times 10^{-19} [\text{J} \cdot \text{eV}^{-1}] = 5.38 \times 10^{-5} [\text{J} \cdot \text{g}^{-1}]$$

$$= 5.38 \times 10^{-2} [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$$

$$= 5.38 \times 10^{-2} [\text{Gy}] = \underline{53.8 \text{ mGy}}$$

$\therefore \beta$ 射線的射質因數為 1 \therefore 等效劑量為 53.8 mSv

7. 某實驗室固定在每月 1 日使用 37MBq 的 ^{32}P 、每月 15 日使用 3.7MBq 的 ^{137}Cs 做實驗，各產生約 50 公升的廢液，其中之放射性活度確認為使用活度量度的 1/1000 以下。實驗產生之廢液先置於一廢液槽內，請計算月底（以 4 週計）可否將此廢液排放出去？ ^{32}P 與 ^{137}Cs 的排放濃度限值各為

0.3Bq/cm³、0.09 Bq/cm³；³²P 與 ¹³⁷Cs 的半衰期各為 14 天、30 年。(10%)

解：

³²P 的半衰期為 14 天，至月底排放時約經 2 個半衰期，廢液共有 100 公升，其中 ³²P 的放射性濃度為

$$37 \times 10^6 \times \frac{1}{1000} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{(100 \times 1000)} = 0.0925 [\text{Bq} \cdot \text{cm}^{-3}]$$

廢液中 ¹³⁷Cs 的放射性濃度為

$$3.7 \times 10^6 \times \frac{1}{1000} \times \frac{1}{(100 \times 1000)} = 0.037 [\text{Bq} \cdot \text{cm}^{-3}]$$

排放廢液中有 2 種以上核種存在時，各核種放射性濃度與其排放限度值之比的和小於 1 時，即可排放。

$$\frac{0.0925}{0.3} + \frac{0.037}{0.09} = 0.308 + 0.411 = 0.719, \text{ 故此廢液可以排放。}$$

8. 某一輻射從業人員操作 37MBq 的非密封射源，胸部配戴之劑量計與此射源的距離為 40 cm，劑量計測得之 β 射線之劑量為 1 mSv，請問此人操作射源時間為何？(β 射線在人體的阻止本領為 0.20 MeV·m²·kg⁻¹，1 MeV = 1.6×10⁻¹³J) (10%)

解：

活度 A 的射源於胸部的通率

$$\Phi = \frac{A}{4\pi R^2} = \frac{37 \times 10^6}{4 \times 3.14 \times (0.4)^2} = 1.84 \times 10^7$$

$$\begin{aligned} \dot{H} &= \Phi \cdot S \cdot w_R \\ &= (1.84 \times 10^7) \times (0.20) \times (1.6 \times 10^{-13}) \times 1 \\ &= 5.89 \times 10^{-7} \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \\ &= 5.89 \times 10^{-4} \text{ mSv} \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t = H / \dot{H} &= \frac{1}{5.89 \times 10^{-4}} = 1698 \text{ s} \\ &= \underline{28.3 \text{ min}} \end{aligned}$$

9. 通常評估偵檢器之能量解析度(energy resolution)是以其光峰之半峰全寬度(FWHM)來考慮;根據一 NaI 偵檢器與多頻道分析儀(MCA)所得之一組數據如下:

頻道數	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
計數/頻道	16	31	42	71	101	132	144	130	99	73	39	29	17

已知此一多頻道分析儀每一頻道代表 1.5 keV, 請由以上資料估算 FWHM 為多少 keV? (5%)

解:

由資料知:全高為 144 counts/頻道

半高為 72 counts/頻道, 其全寬約為 33-27= 6 頻道數

$$\text{FWHM} = 6 \times 1.5 = 9.0 \text{ keV}$$

10. 請計算 ^{111}In 的比活度(Specific activity)為多少 mCi/mg? ($T_{1/2}=67$ h)(5%)

解: 設 In-111 有 1 mg, 其原子數 N 為 $(1 \times 10^{-3} \times 6.02 \times 10^{23}) / 111$

$$\lambda = 0.693 / (67 \times 60 \times 60) \text{ sec}^{-1}$$

$$\begin{aligned} A = \lambda N &= (0.693 \times 10^{-3} \times 6.02 \times 10^{23}) / (67 \times 60 \times 60 \times 111) = 1.56 \times 10^{13} \text{ dps} \\ &= 4.22 \times 10^5 \text{ mCi} \end{aligned}$$

$$\therefore \text{specific activity} = 4.22 \times 10^5 \text{ mCi/mg}$$