

行政院原子能委員會

九十八年度第二次輻射防護人員測驗試題

輻射防護師級：專業科目

一、填充題(每格二分，共三十分)

1. 劑量限制系統的基本原則為(1)正當化、(2)輻射防護最適化和(3)個人劑量限度。

2. 水中最大的射程為 5mm 的 β 射線，在標準狀態的空氣中最大射程為(4)3.9 m。

解： $\rho = 1\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$

$$\rho \cdot R = 1 \times 0.5\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$$

空氣 $\rho = 0.00129\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$

$$R = \frac{0.5}{0.00129} = 388\text{cm} = 3.9\text{m}$$

3. 人體中平均含 18% 重的碳元素，體重 70kg 的人，身體內含 ^{14}C 總活度為多少？(5) 3150 Bq (^{14}C 在體內的比活度為 0.25/g 碳)

解： $70 \times 10^3 \times 0.18 \times 0.25 = 3150\text{Bq}$

4. ^{238}U 蛻變至 ^{206}Pb ，所產生的 α 蛻變數為(6) 8 與 β 蛻變數為(7) 6。

5. 100GBq 的 ^{226}Ra (半衰期 1600 年)的質量(克)為多少？(8) 2.7 克。

解： $-\frac{dN}{dt} = \lambda N$

$$100 \times 10^9 = \lambda N$$

$$\lambda = \frac{0.693}{1600 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60} \text{ s}^{-1}$$

$$N = \frac{W}{A} \times 6 \times 10^{23} = \frac{W}{226} \times 6 \times 10^{23}$$

$$100 \times 10^9 = \frac{0.693}{1600 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60} \times \frac{W}{226} \times 6 \times 10^{23}$$

$$W = 2.74(\text{g})$$

6. 兩個半值層(Half Value Layer)再加上一個什一層(Tenth Value Layer)的屏蔽，可使原來的窄射束輻射強度衰減成幾分之幾？(9) 1/40。

7. 如果一束 5 cm^2 的帶電粒子束全部被一個游離腔吸收，產生的飽和電流為 $1 \mu\text{A}$ ，若 $W = 30 \text{ eV/離子對}$ ，則此射束的平均強度 = (10) 3.75×10^{13} $\text{eV cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。

解：

$$\frac{10^{-6} \times 30}{1.6 \times 10^{-19} \times 5} = 3.75 \times 10^{13} \text{ eV cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

8. 國際組織 ICRP 全文為 (11) International Commission on Radiological Protection。

9. ${}_{11}^{22}\text{Na}$ 蛻變成 ${}_{10}^{22}\text{Ne}$ ，89.8% 經由正子蛻變，過程中會出現 (12) 179.6 % 0.511 MeV 的光子。

10. 游離輻射的間接作用是輻射和水作用，產生很多具有未配對電子且極不穩定的 (13) 自由基。

11. ${}^{218}\text{Po}$ 的半化期為 183 s，若其活性濃度為 93 Bqm^{-3} ，則其原子數密度為 (14) $2.45 \times 10^4 \text{ m}^{-3}$ 。

解：

$$N = \frac{A}{\lambda} = \frac{93}{0.693/183} = 2.45 \times 10^4 \text{ m}^{-3}$$

12. 某核種(半化期 T_1)蛻變為子核，此子核再經半化期 T_2 蛻變為穩定核種，若 $T_1 \gg T_2$ ，在長期平衡時，子核原子數目 N_2 與母核原子數目 N_1 的比值為 (15) T_2/T_1 。

二、問答與計算題(每題十分，共七十分)

1. 請解釋布拉格-戈雷原理(Bragg-Gray principle)，及該原理成立的條件？(10%)

解：布拉格—戈雷原理：測量固體吸收輻射能量的一種原理。這個原理指出：若在適當厚度的固體中充有氣體的微小空腔，且空腔的尺寸小到不足以影響初級輻射及次級輻射在固體中的分布，則單位固體體積所吸收的能量 E 與單位質量氣體中的游離量 J 有如下關係：

$$E = SJW$$

式中： J 為單位體積氣體中所產生的離子對數； W 為在該種氣體中產生一對離子所需的平均能量； S 為固體和氣體對二次電子阻止本領之比值。

利用此原理可以構成外插游離腔、布拉格-戈雷空腔游離腔、空氣壁游離腔、組織等效游離腔等，用以測定介質對輻射的吸收劑量或曝露量。

2. 請定義等價劑量(equivalent dose)。及詳述其與等效劑量(dose equivalent)的不同點為何？(10%)

解：等價劑量的定義為

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

式中 $H_{T,R}$ 為 R 類輻射在組織或器官 T 中所致的等價劑量； $D_{T,R}$ 為 R 類輻射在組織或器官中所致的平均吸收劑量； W_R 為 R 類輻射的輻射加權因數。

等價劑量與等效劑量不同之處在於：

等效劑量是以組織或器官中一個點的吸收劑量乘以該點處的輻射射質因數 Q ，而等價劑量是以器官或組織的平均吸收劑量乘以輻射加權因數 W_R ，而 W_R 是以入射到身體的輻射種類和能量(對體外曝露)或從輻射源放射的粒子的種類和能量(對體內曝露)來選取的。

計算等效劑量的輻射射質因數 Q 是按輻射的直線能量轉移(LET)而定；計算等價劑量的輻射加權因數 W_R 則是依據輻射在低劑量率時誘發機率效應的相對生物效能(RBE)值選取的。當然，在相當多的情況下，兩者在取值上是相差無幾的。

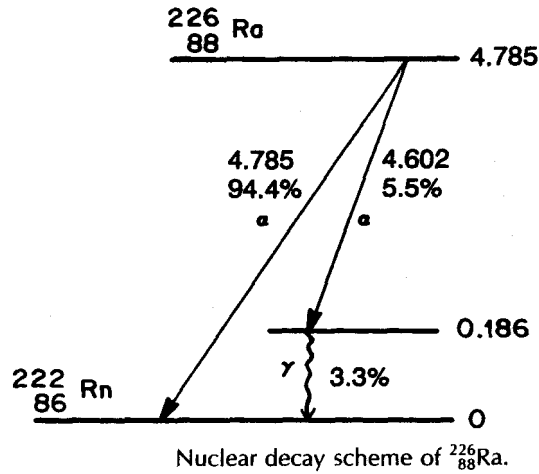
3. 請解釋蓋革計數器淬熄(quenching)的作用並說明內部淬熄及外部淬熄的方法。(10%)

解：在蓋革管中，當所有電子被陽極收集之後，由於部分原子由激態回到基態時會放出光子，光子經光電效應又會產生另一電子，故將發生一個接一個的突崩。因此只要有一個地方發生游離，即發生一次接一次的突崩，到最後因正離子在陽極絲附近的累積造成電場強度降低才停止。此時正離子則漸往陰極移動，若此正離子有多餘的能量，將於和管壁中和時，可使管壁材料游離後放出電子，此電子經氣體增殖後，將產生假訊號，為了防止這種現象，則必須採行加入淬熄(quenching)氣體的內部淬熄或控制電路的外部淬熄。

內部淬熄的方法係在筒內充入5-10%的淬熄氣體，通常係比主氣體分子構造較為複雜而且游離能較低的氣體，例如乙醇(ethyl alcohol)和甲酸乙酯。正離子與淬熄氣體碰撞後，將使正電荷傳遞給淬熄氣體，帶正電的淬熄氣體分子到達陰極後可獲取電子恢復中性，但多餘的能量使分子本身分解而不使陰極表面再放出電子。由於氣體須被分解以完成其作用，故在有用壽命期間，氣體將慢慢被消耗，在 10^9 個計數之後就無效了。如果使用氯氣或溴氣為淬熄氣體，則因分解後能再自行結合，計數器的壽命較長。

外部淬熄一般以外加電路使高壓在每個脈衝之後自動降低到無法再產生進一步的氣體放大的強度，降低的時間約為幾百微秒。然其缺點是計數率會偏低。

4. ^{226}Ra 的衰變圖如下。請問 1 Ci 的 ^{226}Ra ，在 1 秒內發生內轉換(internal conversion)的次數為多少？假設內轉換發生在 K 層，而 K 層電子的螢光產率(fluorescence yield)為 0.7，請問離射源 0.5 公尺處的 Kx-ray 通量率為多少 $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$? (10%)



答：① $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$

1 秒內發生內轉換的次數：

$$3.7 \times 10^{10} \text{ s}^{-1} \times (5.5\% - 3.3\%) = 0.34 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$$

② 離 1m Kx-ray 的通量率

$$\frac{8.14 \times 10^7 \times 0.7}{4\pi r^2} = \frac{8.14 \times 10^7 \times 0.7}{4 \times 3.1416 \times (0.5)^2} = 1.81 \times 10^8 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

5. 電子加速器運轉時，若手指被 2 MeV 的電子束照射 1 秒，此時被照射的部位平均吸收劑量為多少戈雷(Gy)？[電子射束： 10^9 個電子/秒，電子射束的直徑 = 5 mm，電子在手指中能量損失為 $2 \text{ MeV} \cdot \text{cm}^2/\text{g}$ (10%)

答：

$$2 \frac{\text{MeV} \cdot \text{cm}^2}{\text{g}} \times 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 2 \text{ MeV/cm}$$

$$\frac{2 \text{ MeV}}{2 \frac{\text{MeV} \cdot \text{cm}^2}{\text{g}}} = 1 \text{ g/cm}^2$$

$$D = \frac{2 \text{ MeV} \times 10^9 \text{ s}^{-1} \times 1 \text{ s} \times 1.6 \times 10^{-13} \text{ J/MeV}}{1 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^2 \times \pi (0.25 \text{ cm})^2}$$

$$= 1.629 \text{ Gy}$$

6. 一個由 ^{35}S (半化期 = 87.44 d) 和 ^{32}P (半化期 = 14.29 d) 混合的放射性樣本，在 $t=0$ 時， ^{35}S 的活度佔 20%， ^{32}P 的活度佔 80%，試問經多少時間後， ^{35}S 和 ^{32}P 的活度會相同？ (10%)

答:

$$20 \times e^{-(0.693/87.44)t} = 80 \times e^{-(0.693/14.29)t}$$

$$e^{(0.693/14.29)t - (0.693/87.44)t} = 80/20 = 4$$

$$0.693(1/14.29 - 1/87.44)t = \ln 4$$

$$t = 2/0.0585 = 34.19d$$

7. 動能小於 2.5 MeV 的電子在樹脂(Lucite, 密度 $\rho = 1.19 \text{ gcm}^{-3}$) 中的射程(單位為 gcm^{-2}) 與動能 T (單位為 MeV) 之間的經驗關係為 $R = 0.412T^{1.27-0.0954\ln T}$ 或 $\ln T = 6.63 - 3.24(3.29 - \ln R)^{1/2}$ ，試求 2.0 MeV 電子在穿過 3 mm 厚的樹脂時，損失多少能量？ (10%)

答:

$$R = 0.412(2.0)^{1.27-0.0954\ln(2.0)} = 0.412 \times 2.3 = 0.948(\text{gcm}^{-2})$$

$$3\text{mm} = 3 \times 10^{-1} \times 1.19 = 0.357(\text{gcm}^{-2})$$

$$R' = 0.948 - 0.357 = 0.591$$

$$\ln T' = 6.63 - 3.24(3.29 - \ln R')^{1/2} = 0.3$$

$$T' = 1.35\text{MeV}$$

$$T - T' = 2.0 - 1.35 = 0.65\text{MeV}$$