

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
輻射防護員級：專業科目

1. 請說明醫用 X 光機為什麼要加濾片？它在輻射防護上的影響為何？ (10%)

參考答案：醫用 X 光機產生的 X 光能量，自 0 至 kVp 呈現一連續能譜。其中高能量 X 光因穿透人體時被不同組織(骨骼、軟組織、肺等)吸收的量不相等，故在 X 光片上呈現黑白對比的影像。而大多數低能量 X 光因穿透不了人體，故對影像沒有貢獻，但卻容易造成很大的皮膚劑量。為了減少病患的皮膚劑量，輻射防護中規定 X 光機必須加裝濾片，以濾掉對影像無益但增加皮膚劑量的低能量 X 光。

2. 什麼是淨計數率(net counting rate)及其標準差(standard deviation)？如何才能降低此一標準差？ (10%)

參考答案：測量放射性物質的活度時，樣品的總(gross)計數除以總計數時間稱為總計數率，而儀器的背樣(background)計數除以背景計數時間稱為背景計數率。將總計數率減去背景計數率，即得樣品的平均淨計數率。因為理論上計數率呈現一常態分布(normal distribution)，所以使用淨計數率的標準差代表此一分布的範圍大小。換言之，測量所得之淨計數率落在平均淨計數率加減一個標準差範圍內的機率，理論上等於 68%。

3. 何謂直線能量轉移(LET)？為何引進此概念，其取值變化又與何種劑量有關？(10%)

參考答案：直線能量轉移(linear energy transfer, LET)，通常以 L 表示，為帶電粒子 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

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

考慮到產生吸收劑量的帶電粒子的生物效應而對該吸收劑量加權，引進了射質因數，而射質因數(Q)與水中直線能量轉移 L 的函數成依存關係。其取值變化會影響到射質因數 Q 的值。而等效劑量 H=DQ，所以其取值變化與等效劑量有關。

4. 何謂弱穿輻射(weakly penetrating)與強穿輻射(strongly penetrating)？ (10%)

參考答案：在均勻、單向輻射場中，對人體的某一給予特定取向而言，如果皮膚敏感層的任何小塊面積所接受的等效劑量比有效劑量大 10 倍以上，則此輻射稱為弱穿輻射。

對於某一給予特定的均勻、單向輻射場和人體取向，如果任何小塊面積皮膚敏感層所接受的等效劑量比有效劑量的 10 倍更小，則此輻射稱為強穿輻射。(此處 10 倍係對應於 ICRP 建議的皮膚等效劑量和有效等效劑量限值之比)。

5. 何謂輻射的“直接”和“間接”效應？對每一種效應舉例說明之。(10%)

參考答案：輻射對細胞的生物學效應是由直接和間接作用造成的。直接效應是由輻射本身的初始作用產生的，例如，分子本身被輻射游離引起 DNA 鏈斷裂是

直接效應的例子；而輻射產生的反應產物在稍後時刻由於化學變化侵蝕 DNA 鏈，則是間接效應。直接效應是在射線通過後的瞬間($\leq 10^{-15}$)中發生的，間接效應是照射後經由各種間段顯現出來的。射線產生被游離的水分子 H_2O^+ 和被激發的水分子 H_2O^* 以及自由的亞激發電子是直接效應，之後產生 H_3O^+ ， OH ， e_{aq}^- 、 H 和 H_2 以及之後的生物化學變化是間接效應。

6. 何謂克馬(kerma, K)，它與能通量(energy fluence)的關係為何？(10%)

參考答案：克馬是一個很重要的量，它是描述不帶電游離粒子與物質相互作用時，把多少能量傳給了帶電粒子的物理量。在輻射防護中，常用克馬的概念計算輻射場量，推斷生物組織中某點的吸收劑量，計算中子吸收劑量等。

克馬 K 是不帶電游離粒子與物質相互作用時，在單位質量的物質中產生的帶電粒子的初始動能的總和，定義為 dE_{tr} 除以 dm 所得的商，即

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm}$$

其中， dE_{tr} 是不帶電游離粒子在特定物質的體積元內，釋放出來的所有帶電粒子的初始動能的總和； dm 為所考慮的體積元內物質的質量。

當提到克馬時，必須指明介質和所要研究點的位置（不同介質， μ_{tr}/ρ 不同）。物質中克馬的大小，反映著不帶電游離粒子交給帶電粒子能量的多少。

克馬 K 的單位： $J \cdot kg^{-1}$ ，專用名詞是戈雷，符號是 Gy，

$$1Gy = 1 J \cdot kg^{-1}$$

對於一種給定的單能不帶電游離粒子的輻射場，根據能通量 Ψ 和質能轉移係數 μ_{tr}/ρ 的定義，我們可以得到輻射場中某點的的克馬 K 與能通量 Ψ 存在如下的關係：

$$K = \Psi \cdot (\mu_{tr}/\rho)$$

其中， μ_{tr}/ρ 是物質對指定能量的不帶電游離粒子的質能轉移係數，它表示不帶電游離粒子在物質中轉移給帶電粒子的動能佔其總能量的分數； Ψ 是不帶電游離粒子的能通量，它表示進入單位截面的球體內的所有不帶電粒子能量之和。

由上式可以看出：物質中某點，不帶電粒子的能通量 Ψ 越大，則該點上的克馬 K 亦越大，因此，由不帶電游離粒子釋放出來的帶電粒子的全部初始動能就越多。

對於單能輻射情況，能通量與粒子通量 Φ 的關係可寫成

$$\Psi = \Phi \cdot E$$

因此，克馬 K 又可寫成

$$K = \Phi \cdot \frac{\mu_{tr}}{\rho} \cdot E$$

7. 人體中平均含鉀量為 0.2%， ^{40}K 在鉀元素的豐度比為 0.0117%，體重 65 公斤的人身體中含 ^{40}K 的活度為多少？【 ^{40}K : $T_{1/2}=1.28 \times 10^9$ y，原子量 = 39.0983U， $A=6.022 \times 10^{23}$ ， $\ln 2=0.693$ 】(10%)

參考答案：

65 kg 的人體中含 ^{40}K 的量： $65 \times 0.002 \times 1.17 \times 10^{-4} = 1.521 \times 10^{-5}$ kg

$$1.28 \times 10^9 \text{ y} \cong 4.03822 \times 10^{16} \text{ s}$$

$$\therefore A = \frac{0.693 \times 6.022 \times 10^{23}}{4.03822 \times 10^{16} \times 39.0938 \times 10^{-3}} \times 1.521 \times 10^{-5}$$
$$\cong 4019.7 \text{ Bq}$$

8. 鈷 60 的加馬射線常數比(specific gamma-ray constant)為

$$\Gamma = 3.7 \times 10^{-4} \frac{\text{mSv} \cdot \text{m}^2}{\text{h} \cdot \text{MBq}}$$

。今有一鈷 60 點射源活度為 10 微居里，其外有一厚度

為 1 公分的鉛板(鈷 60 加馬射線在鉛中的半值層為 1.2 公分)，試問距離此射源 2 公尺處的加馬射線劑量率等於多少 mSv/h？ (10%)

參考答案：

$$\dot{H} = \Gamma \frac{A}{r^2} e^{-\mu x}$$
$$= 3.7 \times 10^{-4} \frac{\text{mSv} \cdot \text{m}^2}{\text{h} \cdot \text{MBq}} \times \frac{10 \times 3.7 \times 10^{-2} \text{ MBq}}{2^2 \text{ m}^2} e^{-\frac{0.693}{1.2} \times 1}$$
$$= 1.92 \times 10^{-5} \frac{\text{mSv}}{\text{h}}$$

9. 從 ^{99}Mo 的射源中萃取出 37MBq(1mCi)的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 。一年後將此 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 排放至環境，請問 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的子核 ^{99}Tc 的活度為多少？對環境影響如何？【 ^{99}Mo : $T_{1/2}=66\text{h}$ ； $^{99\text{m}}\text{Tc}$: $T_{1/2}=6\text{h}$ ； ^{99}Tc : $T_{1/2}=2.13 \times 10^5 \text{ y}$ 】 (10%)

參考答案：

$$.7 \times 10^7 \text{ s}^{-1} = \frac{0.693}{2.16 \times 10^4 \text{ s}} N \quad (6\text{h} = 2.16 \times 10^4 \text{ s})$$

$$N = 1.16 \times 10^{12} \text{ atoms } ^{99\text{m}}\text{Tc}$$

^{99}Tc 的活度

$$A = \lambda N = \frac{0.693}{6.72 \times 10^{12} \text{ s}} \times 1.16 \times 10^{12} \text{ atoms} \quad (2.13 \times 10^5 \text{ y} = 6.72 \times 10^{12} \text{ s})$$
$$= 0.12 \text{ s}^{-1} = 0.12 \text{ Bq}$$

因 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 衰變成 ^{99}Tc 後的活度甚低，對環境無放射性污染之虞。

10. 某放射性同位素半化期為 2 d，進入體液中之活度為 $5 \times 10^6 \text{ Bq}$ ，試問在 4 天末有多少活度保留在該隔室中？又該核種在體液中生物半化期為 0.25d。(10%)

參考答案：

據題意知： $T_R = 2 \text{ d}$ ， $q_a(0) = 5 \times 10^6 \text{ Bq}$

體液中活度滯留分數為： $\exp[-\lambda_{\text{eff}} \times t]$

故 $q_a(t) = q_a(0) \times \exp[-\lambda_{\text{eff}} \times t]$

$$\lambda_R = \frac{0.693}{T_R} = \frac{0.693}{2} = 0.35 \text{ d}^{-1}$$

$$\lambda_a = \frac{0.693}{T_a} = \frac{0.693}{0.25} = 2.77 \text{ d}^{-1}$$

$$\lambda_{\text{eff}} = \lambda_R + \lambda_a = 0.35 + 2.77 = 3.12 \text{ d}^{-1}$$

代入上式得：

$$\begin{aligned}q_a(4) &= q_a(0) \times \exp[-\lambda_{\text{eff}} \times 4] \\&= 5 \times 10^6 \exp[-3.12 \times 4] \\&= 19 \text{ Bq}\end{aligned}$$

答：在 4 天末，體液中還有 19 Bq 的活度。