行 政 院 原 子 能 委 員 會
九十五年度第一次輻射防護人員測驗試題
輻射防護**師**級：**專業科目** 解答

1. 說明布拉格—戈雷原理(Bragg-Gray principle)，及該原理成立的條件。(10%)

測量固體吸收輻射能量的一種原理。此原理指出：若在適當厚度的固體中有充有氣體的微小空腔，且空腔的尺寸小到不足以影響初始輻射與二次輻射在固體中的分布，則單位固體體積所吸收的能量與單位質量氣體中的游離量 J 有以下關係：

$$E=SJW$$

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。

2. 何謂質能轉移係數(mass energy transfer coefficient，μ_{tr}/ρ)？(10%)

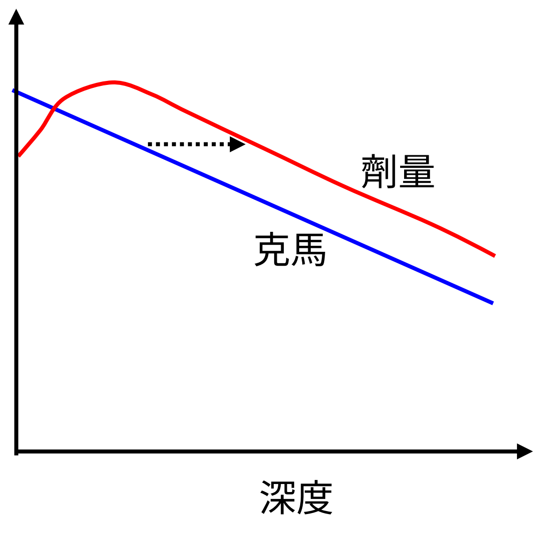
某物質對不帶電游離粒子的質能轉移係數μ_{tr}/ρ是 dE_{tr}/EN 除以 ρdl 所得的商，即

$$\mu_{tr}/\rho = \frac{1}{\rho EN} \cdot \frac{dE_{tr}}{dl}$$

其中，E 為每一粒子的能量（不包括靜止能量）；N 為不帶電游離粒子數；dE_{tr}/EN 為入射的不帶電游離粒子在密度為 ρ 的物質中穿行距離 dl 時，其能量中由於相互作用而轉移為帶電粒子動能的那部分所佔的分數；dE_{tr} 實際上是由於不帶電粒子作用所釋放的所有帶電粒子初始動能的總和。

質能轉移係數的單位：$m^2 \cdot kg^{-1}$；$cm^2 \cdot g^{-1}$。

3. 請定義克馬(kerma)與吸收劑量的意義，繪圖並解釋高能量光子打到水介質後，克馬與吸收劑量間的關係。(12%)

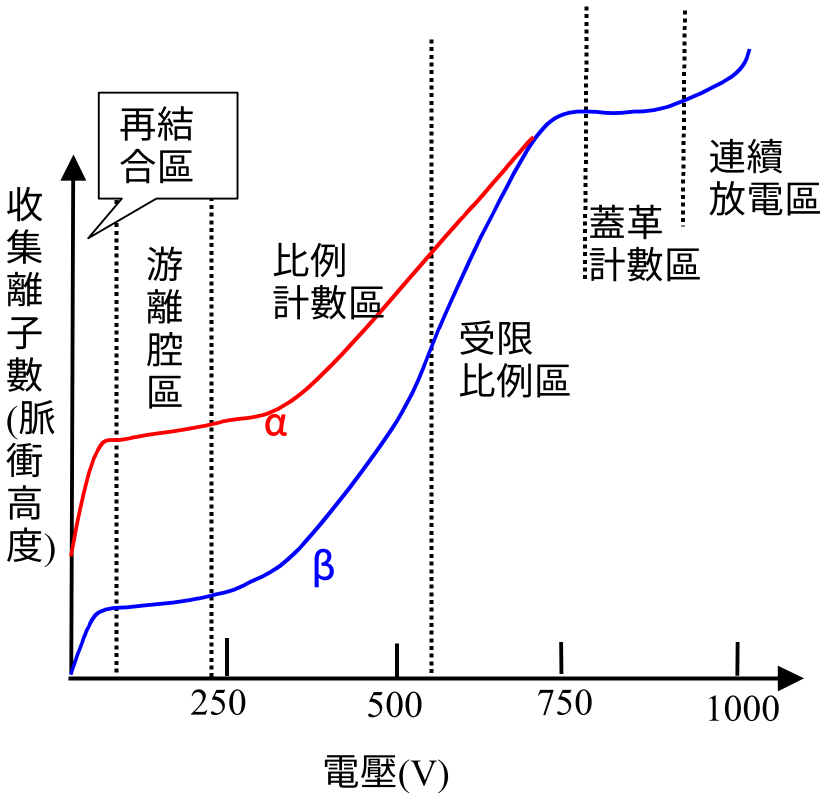


克馬的定義：間接游離輻射(光子和中子)劑量相關連的一個量是由該輻射在單位質量介質釋放出的所有帶電粒子的初始動能。這個量的單位與吸收劑量的相同，它稱為克馬(Kinetic Energy Released per unit Mass，kerma, (“單位質量釋放的動能”之縮寫))。

吸收劑量定義為”任何類型的游離輻射在任何靶中被單位質量物質吸收的平均能量”。吸收劑量的單位，J kg^{-1}，稱為戈雷(Gy)。

隨著介質深度的增加，光子通率由於介質的衰減而持續減小，因此克馬也逐漸減小。在未達到電子平衡時，劑量隨深度逐漸增加。在大約電子射程的深度，劑量逐漸減少。由於劑量是由上游克馬(圖中箭頭所示)產生的電子所造成，因此劑量在各個深度都比克馬高。

4． 繪圖並解釋充氣式偵檢器在不同電壓下的各種工作區，並指出α粒子與β 粒子的反應在各區有何不同？(10%)



A.此曲線可分為六區，各區的意義列述如下：

1. 再結合區又稱複合區

在這區中因電場強度低，祇有一部份的離子對被收集到，其他的離子對重新結合而未被收集到。當偵檢器的電壓增高時，離子的速度增加，可供再結合的時間縮短，再結合逐漸減少，因而收集到的離子對逐漸增加。

2. 游離腔區

本區的意義為，當所加的電壓適當時，所有的離子對全被吸收。本區的曲線甚為平坦，意即雖然所加的電壓有所變化，但收集到的總電荷不變。

3. 比例計數區

在這區中有二次游離產生。一次游離產生的電子因其加速度甚大足以再生游離，此種產生二次游離的程序稱之為氣體增幅(gas multiplication 或 gas amplification) ，其倍數以 M 表示。收集到的電荷等於一次電荷乘以 M。偵檢器的放電直到氣體中所有的電子全被趕到收集極時停止。

4. 受限比例區

在本區所收集的電荷逐漸與一次游離無關。在圖中可見α粒子與β粒子所造成的游離，當電壓增加時，所收集的電荷是一樣(兩條曲線合而為一)。偵檢器不利用這一區來操作。

5. 蓋革計數區

在這一區，因電場強度極高，祇要產生一對離子對就可使其中的氣體完全游離。

6. 連續放電區

在這一區，電場強度強到足以使其中的原子自行游離並開始放電。偵檢器不利用這一區來操作。

B. β 電子產生之脈衝信號外形類似α粒子，但高度較低。兩個曲線在蓋革計數區重合為一。

5. 某試樣中含 2.3%的鈉，今以通量率 $3.0\times10^{11}cm^{-2}\cdot s^{-1}$ 的熱中子照射此試樣 0.1g，照射時間 10 分鐘，請問照射終了時，$^{24}Na/^{23}Na$ 原子數比為多少？【$^{23}Na(n，\gamma)^{24}Na$ 反應截面積 $5.3\times10^{-1}b$，亞佛加厥數 $6.02\times10^{23}mol^{-1}$，$^{24}Na$ 半衰期 15h】(10%)

照射時間 t，活度 $A=\dot{\Phi}\sigma N(1-e^{-\lambda t})$

飽和係數 $S=(1-e^{-\lambda t})$，當 $t<<T_{1/2}$ 時，$S=\lambda t$

設未照射前 ^{23}Na 的原子數目為 N

照射後生成的 ^{24}Na 的原子數目為*N

生成子核種數量 N*，$\because A=\lambda N^*$，$\therefore N^*=\dot{\Phi}\sigma Nt$

照射後 ^{23}Na 的數量 $N_{23}=N-N^*$　與 $N_{24}(=N^*)$的比值為：

$N^*/N_{23}=N^*/(N-N^*)=1/[(N/N^*)-1]$

$(N/N^*)=N/\dot{\Phi}\sigma Nt=1/\dot{\Phi}\sigma t$

$=1/(3.0\times10^{11}\times5.3\times10^{-1}\times10^{-24}\times60\times10)=1.05\times10^{10}$

因此 $^{24}Na/^{23}Na=1\times10^{-10}$

6. 已知 ^{136}Cs（半衰期 13.7 天）經β^-發射蛻變成 ^{136m}Ba（半衰期 0.4 秒），而經 ^{136m}Ba 由γ發射蛻變成穩定的 ^{136}Ba（$^{136}Cs \rightarrow ^{136m}Ba \rightarrow ^{136}Ba$）。(1)試計算 ^{136}Cs 的蛻變常數；(2) 試計算 ^{136}Cs 的比活度；(3) t = 0 時純 ^{136}Cs 樣本的活度為 10^{10}Bq，試問在 t_1 = 13.7d 到 t_2 = 13.7d + 5s 之間約有多少 ^{136m}Ba 原子蛻變？(12%)

(1)$\lambda = 0.693 / T = 0.693 / (13.7 * 86400) = 5.85 * 10^{-7}\ s^{-1} = 0.0506\ d^{-1}$

(2) $SA = 4.17\times10^{23} / MT = 4.17\times10^{23} / 136\times13.7\times86400$

$= 2.590\times10^{15}$ Bq/g $= 2.59\times10^{18}$ Bq/kg

(3) t = 0 時，^{136}Cs 的活度　A = 10^{10} Bq

在 t_1 = 13.7d (恰為 ^{136}Cs 的半化期) 時，^{136}Cs 的活度為 5 * 10^9 Bq，此時，^{136m}Ba 的活度也為 5×10^9 Bq。之後 5 秒內，^{136m}Ba 的活度一直等於 5×10^9 Bq，即每秒蛻變 5×10^9 個 ^{136m}Ba 原子核，故 5 秒內蛻變的 ^{136m}Ba 數目為 $5\times5\times10^9 = 2.5\times10^{10}$ Bq。

在 t_1 = 13.7d 到 t_2 = 13.7d + 5s 之間有 2.5×10^{10} Bq ^{136m}Ba 原子蛻變

7. 某低背景值環境下的平均計數率為 3 cpm，請問在 2 分鐘的計數期間，將記錄到 4 個計數之機率為何？(已知柏松分布為 $P(X = x) = \frac{m^x e^{-m}}{x!}$) (6%)

2 分鐘的期望值 $= m = 3\text{ cpm} \times 2\text{ min} = 6\text{ counts}$

$$P(X = 4) = \frac{6^4 e^{-6}}{4!} = 0.134$$

8. 某個長壽命放射性樣品在計數器內測量了 10 分鐘, 共記錄了 1426 個計數。之後拿走樣品，用 90 分鐘測得 2561 個背景計數。(a)求樣品的淨計數率及其標準差。(b)若計數器對這個樣品的計數效率是 28%，求該樣品的活度(以 Bq 作單位)及其標準差。(8%)

a. 淨計數率 = 1426/10 – 2561/90 = 114.1 cpm

標準差 = $\sqrt{\dfrac{1426}{10^2}+\dfrac{2561}{90^2}}$ =3.82 cpm

b. 活度 = r/ε= 114.1/0.28 = 407 dpm = 6.78 Bq

該活度的標準差 = σ/ε=3.82 cpm/0.28 = 13.6 dpm = 0.227 Bq

9. 能量為 1MeV 之平行光子射束, 垂直入射在 1.2㎝ 厚的鋁板(ρ =2.7g/㎝^{3})上，入射率為 1000/sec。鋁的質量衰減係數(mass attenuation coefficeint)和質能衰減係數(mass energy-absorption coefficeint)分別是 0.0620㎝^{2}/g 和 0.0270 ㎝^{2}/g，試問：(a)有多少比例的光子沒有發生作用就穿透出去？(b)鋁板每秒鐘吸收多少能量？(c) 如果能量轉移係數(mass energy-transfer coefficeint)是 0.0271 ㎝^{2}/g，則傳遞給鋁板電子的初始能量中有多少比例是以制動輻射發射出去？(12%)

a、 衰減係數是 $\mu = 0.062\times 2.07 = 0.167\text{cm}^{-1}$

因此沒有發生作用之比率為 $e^{-0.167\times 1.2} = 0.818$

b、 能量吸收係數 $\mu_{\text{en}} = 0.027\times 2.07 = 0.0729\text{cm}^{-1}$

因此能量被吸收之比率為 $1-\ e^{-0.0729\times 1.2} = 0.084$

鋁板每秒鐘吸收能量為 $1000/\text{sec}\times 1\text{MeV}\times 0.084 = 84.0\text{MeV/s}$

c. $$g = 1.-\frac{\mu_{en}}{\mu_{tr}} = 1.-\frac{0.027}{0.0271} = 0.0037$$

10. 已知 8 MeV 光子與電子間的康普頓碰撞截面是 5.99×10^{-30} m²，試求水之康普頓散射之線性衰減係數？(10%)

水的電子密度為 $n = 6.02\times10^{23}\times\frac{10^{6}\,\text{gm}^{-3}}{18.0\text{g}}\times 10\text{e} = 3.34\times10^{29}\,\text{e}/\text{m}^{3}$

故康普頓散射之線性衰減係數為

$$\sigma = n\ {}_{e}\sigma = 3.34\times10^{29}\,\text{e}/\text{m}^{3}\times 5.99\times10^{-30}\,\text{m}^{2} = 2.06\text{m}^{-1}$$