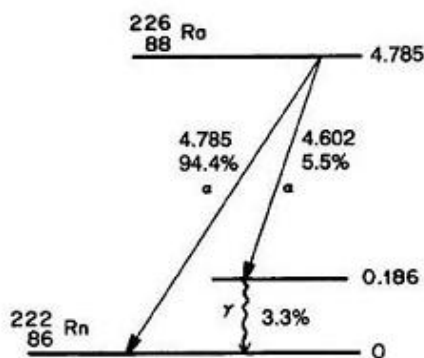
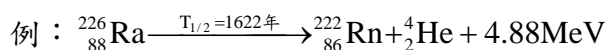


第五章 衰變種類與天然輻射

5-1  $\alpha$ 衰變

- 常發生於質量重的不穩定原子核， $\alpha$ 粒子就是氦的原子核。欲發生此反應，母核的質量需大於反應後子核加上 $\alpha$ 粒子的質量。因為釋出的總能，幾為 $\alpha$ 粒子所獲取，因此衰變放射出 $\alpha$ 粒子的能量可視為單一能量，一般在 6 MeV 左右。

● 通式： ${}^A_Z X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2} Y + {}^4_2 \text{He} + Q$



背誦：能量 Y 軸，原子序 X 軸。

- 以大寫 M 表示原子質量(含電子)，以小寫 m 表示原子「核」質量

$$Q = (m_X - m_Y - m_\alpha) \cdot c^2$$

$$= (M_X - M_Y - M_{\text{He原子}}) \cdot c^2$$

複習：1 amu·c<sup>2</sup> ≈ 931.5 MeV

- $\alpha$ -decay 所釋出的能量(Q)是由二者粒子分取，依動量守恆定率，可發現分得的能量和其質量成反比。

所以上例中， $\alpha$  粒子將獲得  $\frac{222}{222+4} \times 4.88 = 4.79\text{MeV}$ ，

而氡氣(Rn)將獲得  $4.88-4.79=0.09$  MeV，釋出的能量為單一能量。

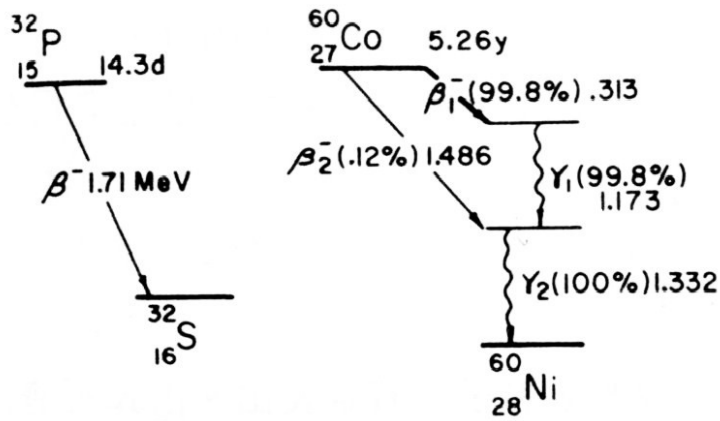
1. ( ) 一個  $^{238}\text{U}$  開始衰變，至穩定的  $^{206}\text{Pb}$ ，共釋出多少個  $\alpha$  粒子與  $\beta^-$  粒子？(A) 6 個  $\alpha$ 、8 個  $\beta^-$  (B) 8 個  $\alpha$ 、6 個  $\beta^-$  (C) 4 個  $\alpha$ 、10 個  $\beta^-$  (D) 10 個  $\alpha$ 、4 個  $\beta^-$
2. ( )  $^{226}\text{Ra} \rightarrow ^{222}\text{Rn} + \alpha + \Delta Q$ ， $^{226}\text{Ra}$  質量為 226.0254 amu， $^{222}\text{Rn}$  質量為 222.0175 amu，則  $\Delta Q=4.93$  MeV，請問 He 原子的質量為？(A) 3.9057 amu (B) 3.9659 amu (C) 4.0005 amu (D) 4.0026 amu
3. ( ) 在  $\alpha$  衰變中，衰變能量 Q 大部分轉化為：(A) 子核的動能 (B)  $\alpha$  粒子的動能 (C) 子核的位能 (D)  $\alpha$  粒子的位能
4. ( )  $^{226}\text{Ra}$  蛻變至  $^{222}\text{Rn}$  的基態釋出 4.88MeV 的能量，下列那一種能量分配的方式正確？(A)  $\alpha$  獲得 0.09MeV， $^{222}\text{Rn}$  獲得 4.79MeV (B)  $\alpha$  獲得 4.79MeV， $^{222}\text{Rn}$  獲得 0.09MeV (C)  $\alpha$  及  $^{222}\text{Rn}$  各獲得 2.44MeV (D)  $\alpha$ 、 $^{222}\text{Rn}$  及微中子各獲得 1.63MeV

### 5-2 $\beta^-$ 衰變：

- $\beta^-$  就是帶負電的電子，即 negative electron，或 negatron，發生此衰變母核原子的質量需大於反應後子核原子的質量。
- Decay 前後，子核將比母核之原子序增加 1，但質量數不變(即 A 不改變，母核與子核為 isobars)。

$$\text{通式： } {}_Z^A\text{X} \rightarrow {}_{Z+1}^A\text{Y} + {}_{-1}^0\beta + \bar{\nu} + Q$$

$$\text{例： } {}_{15}^{32}\text{P} \xrightarrow{T_{1/2}=14.3\text{天}} {}_{16}^{32}\text{S} + {}_{-1}^0\beta + \bar{\nu} + 1.7\text{MeV}$$



- 以大寫  $M$  表示原子質量(含電子)，以小寫  $m$  表示原子「核」質量

$$Q = (m_X - m_Y - m_{\beta^-} - m_{\bar{\nu}}) \cdot c^2$$

因為  $m_{\beta^-} = m_{e^-}$ ，且  $m_{\bar{\nu}} \ll m_{e^-}$ ，反微中子的質量輕到目前還無法準確量測

$$Q = (m_X - m_Y - m_{e^-}) \cdot c^2$$

$$= (M_X - M_Y) \cdot c^2$$

- 因為有反微中子( $\bar{\nu}$ )搶分釋出的核能( $Q$ )，所以每次 decay 電子所得之能量不太相同，一般平均為總能之三分之一。
- 因為  $\beta^-$  decay 釋出的能量是由三者粒子分取，依動量守恆定律，三者各別之獲取能量與三者互相散開之角度有關，角度不同獲取的能量不同。而實際上，每次  $\beta^-$  decay，「子核、 $\beta^-$  粒子、反微中子」三者的相互角度不會相同，致每次 decay 後，三者分取的能量比例不一，有時  $\beta^-$  粒子較多，有時反微中子較多。一般而言， $\beta^-$  粒子分取的平均能量約為釋出總能的  $1/3$ 。
- 純  $\beta^-$  decay：是指母核 decay 到子核基態的過程，僅有  $\beta^-$  釋出，而無  $\gamma$  ray 的釋出。常考的純  $\beta^-$  decay 核種計有： $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{32}\text{P}$ 、 $^{35}\text{S}$ (硫)、 $^{90}\text{Sr}$ (銦)、 $^{90}\text{Y}$ (鈹)，需背。

- 5 ( ) 關於「微中子」，何者正確？(A)質量和正子相當 (B)不帶電 (C) $\alpha$  decay 會釋出微中子 (D)英文為neutron
- 6 ( ) 關於  $\beta^-$  衰變的敘述，何者錯誤？(A) $\beta^-$  粒子的平均動能約是最大動能的三分之一 (B) $\beta^-$  衰變屬於 isobaric transformation (C) $\beta^-$  衰變和 EC 衰變互做競爭 (D) $\beta^-$  衰變後子核種的原子序比母核種的原子序多 1
- 7 ( ) 利用原子爐製造的同位素，大部分進行那一種衰變？(A) $\beta^+$  (B) $\beta^-$  (C) $\alpha$  (D)EC

- 8 ( )  $^{60}\text{Co}$  的衰變? (A)  $^{60}\text{Co} \xrightarrow{5.26\text{年}} ^{60}\text{Fe} + {}^0_{+1}\beta + \nu + \gamma_1 + \gamma_2$
- (B)  $^{60}\text{Co} \xrightarrow{5.26\text{年}} ^{60}\text{Ni} + {}^0_{-1}\beta + \bar{\nu} + \gamma_1 + \gamma_2$  (C)  $^{60}\text{Co} + {}^0_{-1}\text{e} \xrightarrow{5.26\text{年}} ^{60}\text{Fe} + \nu + \gamma_1 + \gamma_2$
- (D)  $^{60}\text{Co} \xrightarrow{5.26\text{年}} ^{60}\text{Ni} + 2 {}^0_{-1}\beta + {}^0_{+1}\text{p} + \gamma$
- 9 ( ) 請問為何 $\beta^-$ 衰變，從原子核釋出的電子，其能量不一? (A)因為衰變的同時，從原子核釋出的反微中子也會帶走部份能量 (B)因為原子核隨後還會釋出能量不等的 $\gamma$ 射線 (C)因為此原子核可能也會作EC衰變 (D)因為此原子核可能也會作 $\beta^+$ 衰變
- 10 ( ) 碳(C，原子序=6)的穩定核為 $^{12}\text{C}$ ，請預測 $^{14}\text{C}$ 做何種decay? (A)阿伐衰變 (B) $\beta^+$  decay或EC (C) $\beta^-$  decay (D)核融合
- 11 ( ) 已知： $^{32}\text{P}$ 原子的質量：31.973909 amu， $^{32}\text{S}$ 原子的質量：31.972073 amu，則 $^{32}\text{P} \rightarrow ^{32}\text{S}$ 行 $\beta^-$  decay，則放出的能量(MeV)? (A)0.001836×931+1.02 (B)0.001836×931 (C) 0.001836×931-0.511 (D)0.001836×931-1.02

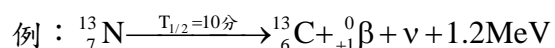
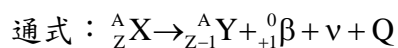
### 5-3 $\beta^+$ 衰變：

- $\beta^+$ 就是帶正電的電子，稱為正子。即 positive electron，或 positron。
- $\beta^+$ 和 $\beta^-$ 互為反粒子，二者之電性相反，質量相同。
- 當 $\beta^+$ 動能損失後，很容易與電子發生互毀(annihilation)作用。在我們真實的世界裡，當「粒子」碰上「反粒子」，將起質能互換作用，即雙方粒子不見了(質量消失了)，轉化以光子能量釋出。依 $E=mc^2$ 的方式轉換成光子的能量(能量守恆定律)。
- 轉換成的光子，因仍需滿足「動量守恆定律」，遂以二道相反(180度)的光束射出。
- 「粒子」撞上「反粒子」的例子，如：「正子」+「電子」；「質子」+「反質子」；

「微中子」+「反微中子」…等。

- 12 ( ) 一個 3 MeV 的正電子和一靜止的電子產生互毀作用，則所輻射的總能量為多少 MeV? (A) 4.02 (B)3 (C)1.98 (D)1.02
- 13 ( ) 反質子為帶負電荷的質子，若一個質子和一個反質子發生互毀時，會放出多少能量? (A)1.022 MeV (B)2.044 MeV (C)1.86 GeV (D)3.72 GeV
- 14 ( ) 一靜止質量為 938.4 MeV 且帶有 100 keV 動能的質子與一帶一單位負電荷且靜止的反質子發生互毀反應則所釋放出的總能量為：(A)100 keV (B)938.4 MeV (C)938.5 MeV (D)1876.9 MeV
- 15 ( ) 在發生互毀效應時，二個互毀光子會沿著相反方向而行的原因為何?(A)能量守恆 (B)動量守恆 (C)電荷守恆 (D)質能守恆
- 16 ( ) 下列何者並非高能電子射線與物質作用所產生的現象?(A)能量連續性的損失 (B)電子路徑產生偏折 (C)會產生 bremsstrahlung radiation (D)會產生 annihilation radiation

- 欲發生此衰變，母核質量需超過子核質量 1.02 MeV 以上，方能為之。 $\beta^+$  decay 的子核將比母核之原子序減少 1，但質量數不變(即 A 不改變，母核與子核為 isobars)。



- 以大寫 M 表示原子質量(含電子)，以小寫 m 表示原子「核」質量

$$Q = (m_X - m_Y - m_{\beta^+} - m_\nu) \cdot c^2$$

因為  $m_{\beta^+} = m_{e^+}$ ，且  $m_\nu \ll m_{e^-} (= m_{e^+})$

$$Q = (m_X - m_Y - m_{e^+}) \cdot c^2$$

$$= (M_X - M_Y - m_{e^+} - m_{e^-}) \cdot c^2$$

$$= (M_X - M_Y) \cdot c^2 - m_{e^+} \cdot c^2 - m_{e^-} \cdot c^2$$

$$= (M_X - M_Y) \cdot c^2 - 0.511\text{MeV} - 0.511\text{MeV}$$

$$= (M_X - M_Y) \cdot c^2 - 1.02\text{MeV}$$

- 和  $\beta^-$  decay 道理相同，因為有微中子( $\nu$ )搶分釋出的核能，所以每次 decay 電子所得之能量不太相同。
- 釋出的  $\beta^+$  粒子很快會失去其動量，當  $\beta^+$  粒子動能接近零時，附近的帶負電的電子 ( $\beta^-$ ) 會與其結合，此正反粒子結合後消失，激出二道方向相反，能量各為 0.511MeV 的  $\gamma$ -ray。PET，正子釋出斷層掃描攝影，即是利用些短半衰期做  $\beta^+$  decay 核種注入人體，爾後同時量測此二道相反方向的  $\gamma$ -ray 之原理設計成。

17 ( )  $^{15}\text{O}$  會經由  $\beta^+$  蛻變產生穩定的核種，則新產生的核種與  $^{15}\text{O}$  是屬於 (A)isotope (B)isotone (C)isobar (D)isomer

18 ( ) 母核與子核的能量差異至少要大於多少 MeV， $\beta^+$  衰變才會發生？(A)0.51 (B)1.02 (C)1.63 (D)2.04

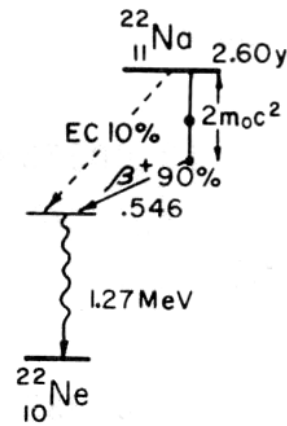
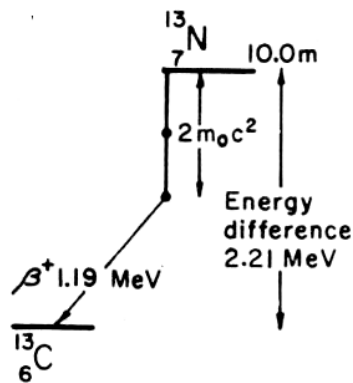
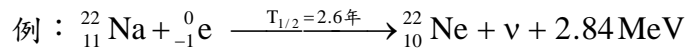
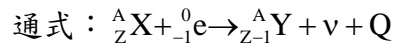
19 ( ) 已知母核做  $\beta^+$  decay，且母核 X 原子的質量 = A amu，子核 Y 原子的質量 = B amu，請問母核 decay 時，釋放出的總能量 (MeV)？(A)(A-B)×931.5-1.02 (B)(A-B)×931.5 (C)(A-B-1.02)×931.5 (D)(A-B-0.511)×931.5

20 ( ) 關於  $\beta^+$  decay，何者錯誤？(A)和  $\beta^-$  decay 是互為競爭的 decay (B)母核原子質能需大於子核原子 1.02MeV 方能發生此 decay (C)將有微中子產生 (D)隨後會有互毀反應發生

21 ( ) 迴旋加速器所產生的放射性藥物最主要是利用藥物內的：(A)特性輻射 (B)制動輻射 (C)電子捕獲 (D)正子衰變

### 5-4 電子捕獲：

- electron capture, EC。不穩定的原子核從原子核外的電子軌域中吸入一電子，與核內的一顆質子結合變成中子，並釋出微中子。
- EC 的子核將比母核之原子序減少 1，但質量數不變。



- 釋放出的能量  $Q$

$$Q = (m_X + m_{e^-} - m_Y - m_{\nu}) \cdot c^2$$

因為  $m_{\nu} \ll m_{e^-}$

$$Q = (m_X + m_{e^-} - m_Y) \cdot c^2 - B.E._{\text{電子}}$$

$$= (M_X - M_Y) \cdot c^2 - B.E._{\text{電子}}$$

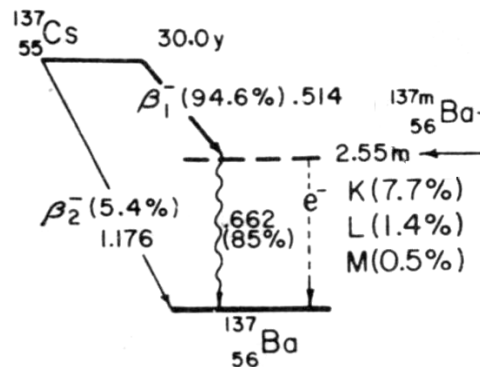
B. E. 是 binding energy (束縛能) 的縮寫。

- $\beta^+$  decay 和 EC，均能將母核中的一個質子變成一個中子，所以當原子核內有過多的質子時，可經由  $\beta^+$  decay 和 EC 達到減少質子、增加中子，即提昇  $n/p$  值的目地。因此，我們也稱  $\beta^+$  decay 和 EC 這二種 decay 為互為「競爭」的機制。例如： ${}^{22}\text{Na}$  的半衰期為 2.6 年，其做  $\beta^+$  decay 的機率有 89%，而做 EC 的機率有 11%。

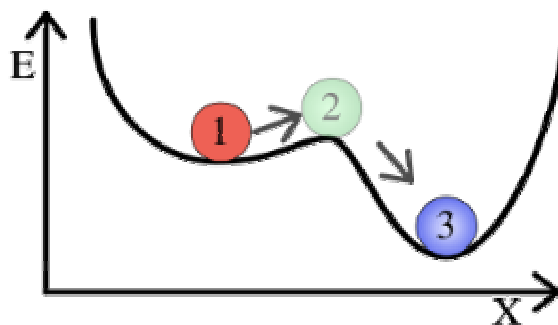
19. ( ) electron capture 後，母原子核的質子數(Z)及質量數(A)的變化為: (A)Z+1, A 不變(B)Z-1, A 不變(C)Z-1, A+1(D)Z 不變, A 不變
20. ( )  $^{12}\text{N}$ (原子序 7)將做正子衰變，請問衰變後的子核，位於能階圖的(A)右上方 (B)右下方 (C)左上方 (D)左下方
21. ( ) 比較核衰變後之母核與子核，發現母核比子核原子序多一，母核與子核質量數相等，而核衰變之 Q 值等於 0.5MeV。此一核衰變是什麼？(A) $\beta^-$  衰變 (B) $\beta^+$  衰變 (C) $\gamma$  衰變 (D)電子捕獲

### 5-5 isomeric transition, 同質異能遞移

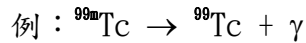
- 同質異能遞移的過程將釋出  $\gamma$  ray。釋出  $\gamma$  ray 前後的核種，稱為 isomers (譯成：同質異構物)，具有相同的元素(同 Z)，同質量數(A)，但不同的能階狀態。以 Cs-137 之 decay scheme 說明之。



- metastable, 介穩態或暫穩態  
metastable 的 m, 就是 Tc-99m 的 m。下圖為 metastable 的示意圖，球由左上方滑下，①處之球位置即是 metastable 之意，而最下方③處則為 stable 之意。







- 內轉換(Internal Conversion)

不穩定的原子核，常藉由 $\alpha$  decay、 $\beta$  decay 等將原子核趨於穩定，其間常伴隨  $\gamma$  ray 的釋出。唯此  $\gamma$  ray 不一定被觀查到，因為它( $\gamma$  ray)可能在原子內將能量全部轉移(換)給電子軌道上的電子，此電子被稱為「內轉換電子」。

$$\text{K.E.}_{\text{內轉換電子}} = h\nu - \text{B.E.}_{\text{電子}}$$

K. E. 是 kinetic energy (動能)的縮寫。

B. E. 是 binding energy (束縛能)的縮寫。

- 內轉換係數(internal conversion coefficient)

或稱「內轉換額(internal conversion yield)」，

K 層電子轉換的相對機率，可用 K 層內轉換額， $\alpha_K$  表示

$$\alpha_K = \frac{\text{內轉換K層電子數}}{\text{射出原子的}\gamma\text{數量}}$$

- Auger electron

翻譯「鄂惹電子」或「奧杰電子」，又稱 A-J electron。

被特性輻射擊出的電子，稱為 Auger 電子。

$$\text{K.E.}_{\text{AJ電子}} = \text{特性X光能量} - \text{B.E.}_{\text{電子}}$$

Auger 電子可以用電子軌域躍遷的方式表示：

例：KLM Auger 電子=是指 L 層的電子，躍遷至 K 層的電洞，釋出的特性輻射將 M 層的電子擊出，此被擊出的電子稱為 KLM Auger 電子，其動能= $E_K - E_L - E_M$ 。

- 螢光產率(fluorescent yield)

「螢光」指特性 X 光

$$\omega_K = \frac{\text{K特性X光數量}}{\text{K層電洞數量}}$$

若沒有標示 K，則直接以  $\omega = \frac{\text{特性X光數量}}{\text{電洞數量}}$ ，計算之。

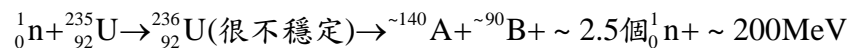
原子序大者，螢光產率較大；原子序小者，螢光產率較小，相對即 Auger electron 產率較大。

22. ( ) 物質之內轉換額越大，則產生的什麼越大？(A)內轉換電子 (B)內層電子數 (C)從原子核射出的 gamma ray 數量 (D)射出原子的 gamma ray 數量
23. ( ) 物質之螢光產率越大，則產生的什麼越少？(A)特性 X 光數量 (B)Auger 電子數 (C)K 層的電洞數量 (D)制動輻射數量
24. ( ) 鎢原子 K 層束縛能為 70 keV、L 層的束縛能為 12 keV，M 層的束縛能為 3 keV，請問 KLM 電子的動能？(A)9 keV (B)46 keV (C)55 keV (D)64 keV
25. ( ) 鎢原子之 K 層束縛能為 70 keV、L 層的束縛能為 12 keV，M 層的束縛能為 3 keV，請問 LMM 電子的動能？(A)6 keV (B)46 keV (C)55 keV (D)64 keV
26. ( ) 若原子軌道上 K 層電子束縛能為 40 keV，M 層為 0.8 keV 時，經由 L 層到 K 層間能接轉換而射出 24.2 keV (動能) M 層軌道電子 (鄂惹電子)，則 L 層電子之束縛能為多少 keV？(A)15 (B) 15.8 (C) 39.2 (D)23.4
27. ( ) 一 X 光能量 50 keV，與鎢原子 (K 層束縛能為 70 keV、L 層束縛能為 12 keV，M 層束縛能為 2.5 keV) 發生作用，並將能量完全交給被游離的電子，請問被游離後電子「可能」的動能？(A)12keV (B)14.5keV (C)38keV (D)50keV
28. ( ) 請問鎢靶的  $K_{\beta}$  為何？(A)54keV (B)59 keV (C)67 keV (D)74 keV
29. ( ) 下列何者正確？(A)內轉換伴隨放出制動 X 射線 (B)內轉換時將伴隨放出微中子 (C)內轉換可能伴隨放出 Auger 電子 (D)K 電子捕獲後不可能 K 特性輻射

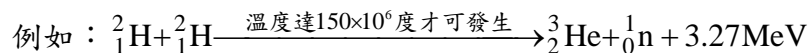
30. ( ) 已知有相同200個原子，其K層各有一個電洞，若最後有132個Auger電子釋出至原子外，請問這群原子的螢光產率=? (A)0.34 (B)0.52 (C)0.66 (D)1.94
31. ( ) 已知有相同200個不穩定的原子核，每個原子核將釋出一個gamma ray，若最後有132個內轉換電子釋出至原子外，請問這群原子核的內轉換係數=? (A)0.34 (B)0.52 (C)0.66 (D)1.94
32. ( ) 經過3次LMM及6次KLM Auger後，共產生多少個L及M的空位? (A)9、6 (B)9、3 (C)12、6 (D)6、12

### 5-6 核分裂與核融合：

- 核分裂(nuclear fission)，重的原子核裂成幾塊較小的原子核過程，一般是分裂為二塊，例如：中子誘發  $^{235}\text{U}$  分裂成一塊質量數接近 140 的原子核，另一塊約為 90 的原子核，其可能的反應式之一為：



- 核融合(nuclear fusion)，輕的原子核熔合結成較大的原子核過程。在溫度達 1,500,000 度時，可進行氘核的融合反應，



33. ( ) 核子反應器中所進行的連鎖核分裂為：(A)自發分裂 (B)光子誘發分裂 (C)中子誘發分裂 (D)質子誘發分裂
34. ( )  $^{235}\text{U}$  在原子爐反應分裂最後形成  ${}_{40}^{90}\text{Zr}$  及  ${}_{60}^{143}\text{Nd}$ ，請問 該反應包含幾次 $\beta^-$ 衰變? (A) 8 (B)6 (C)4 (D)2

35. ( ) 中子誘發  $^{235}\text{U}$  ( $Z = 92$ ) 在原子爐反應分裂最後形成  $^{90}\text{Zr}$  ( $Z = 40$ ) 及  $^{143}\text{Nd}$  ( $Z = 60$ )，請問該反應釋出幾個中子？(A) 1 (B) 2 (C) 2.5 (D) 3
36. ( ) 每一克  $^{235}\text{U}$  分裂所放出的能量為何？(A)  $8.2 \times 10^{10}$  J (B)  $8.2 \times 10^{12}$  J (C)  $8.2 \times 10^{14}$  J (D)  $8.2 \times 10^{16}$  J
37. ( ) 以中子誘發  $^{235}\text{U}$  分裂反應，請問分裂後的二個子核有何特性？(A) 原子序分別約為 90 與 140 (B) 質量數分別約為 90 與 140 (C) 原子序分別約為 110 與 120 (D) 質量數分別約為 110 與 120

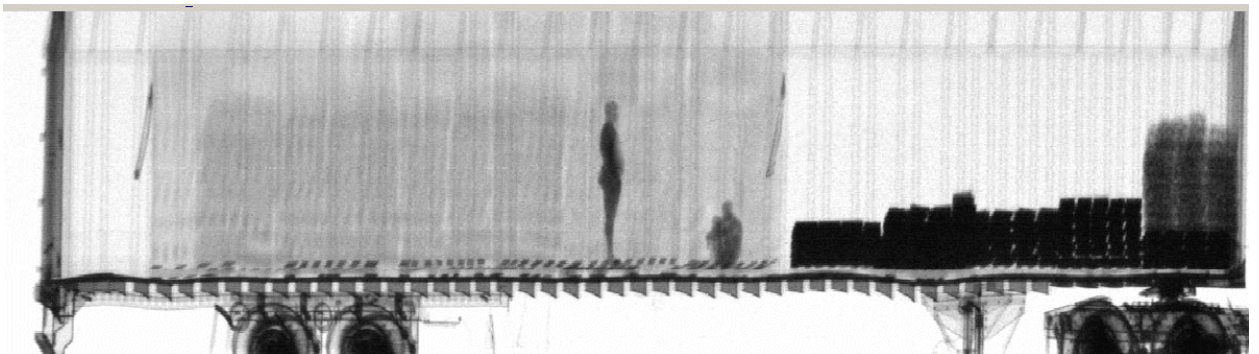
### 5-7 天然輻射

- 原子序 1~92(鈾)之元素為天然存在的元素，原子序 92 以上為人工元素。所有元素大於 82(鉛)均具放射性，並經一長系列與長時間的衰變，直到衰變成穩定的鉛(Pb)為止。
  - 天然放射性核種，可分成  $^{232}\text{Th}$ ( $4n$  系列)、 $4n+1$  系列已衰變殆盡、 $^{238}\text{U}$ ( $4n+2$  系列)、 $^{235}\text{Ac}$ ( $4n+3$  系列)為首，三支不同的放射衰變系列；最後衰變至  $^{208}\text{Pb}$ 、 $^{206}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}$ 。
  - 天然放射性核種，除三支不同的放射衰變系列外，還有  $^{40}\text{K}$ 、 $^3\text{H}$  及  $^{14}\text{C}$ 。
  - $^{40}\text{K}$  的半衰期和地球相當，所以迄今仍未 decay 光。而是由宇宙射線與穩定元素作用產生， $^3\text{H}$  主要存在於  $\text{H}_2\text{O}$ ；而  $^{14}\text{C}$  主要存在於  $\text{CO}_2$  中，半衰期 5730 年，可用於年代斷定。
  - 天然背景輻射包括：宇宙射線(每升高 1500 m，宇宙射線增加一倍；一次宇宙射線為質子、二次宇宙射線為  $\mu$  介子)、地表輻射、氡及其子核輻射(經呼吸進入人體，造成的劑量最大)。
  - 氡，是鈍氣，主要是指  $^{222}\text{Rn}$ ，半衰期 3.8 天； $^{220}\text{Rn}$  地球產量也不少，但因其 55s 的短半衰期，致來不及冒出至空氣的環境中，即已 decay。
38. ( ) 天然放射性物質，那一系列目前已衰變殆盡？(A)  $4n$  系列〔釷 232〕 (B)  $4n+1$  系列〔鏷 237〕 (C)  $4n+2$  系列〔鈾 238〕 (D)  $4n+3$  系列〔鈾 235〕
39. ( ) 經呼吸進入人體的氡氣，是天然輻射的最大來源，請問一般生活環境中的氡氣主要是那一系列的核種？(A)  $4n$  (B)  $4n+1$  (C)  $4n+2$  (D)  $4n+3$
40. ( ) 天然輻射源甚多，其中有：(A) 來自土壤的鉀 40 (B) 來自建築物的鈷 60 (C)

來自水中的鋇 90 (D)來自岩石中的鐵 55

41. ( ) 人體內的天然放射性核種中，以何者的活度最大？ (A)鈣-40 (B)鎂-40  
(C)鈉-40 (D)鉀-40
42. ( ) 背景輻射中之體內曝露最主要的輻射源是：(A)宇宙射線 (B)Rn-222  
(C)Rb-80 (D)K-40
43. ( ) 目前地球上的  $^{40}\text{K}$ ，主要存在的原因是？(A)4n 系列最終衰變至  $^{40}\text{K}$  (B)人工  
加速器不斷製造產生 (C)宇宙射線和氫氣作用不斷產生  $^{40}\text{K}$  (D)其半衰期和  
地球相當
44. ( )  $^{238}\text{U}$  經過一長系列的衰變，最後形成的穩定鉛，請問此鉛的質量數？(A)205  
(B)206 (C)207 (D)208

- Gamma-ray Image of a truck taken with a [VACIS](http://en.wikipedia.org/wiki/VACIS) (Vehicle and Container Imaging System)，資料來自 [http://en.wikipedia.org/wiki](http://en.wikipedia.org/wiki/VACIS)



- 98 年公務人員特種考試關務人員考試：

資料來自：<http://www.moex.gov.tw/ct.asp?xItem=16249&ctNode=2631>

…。關務人員並分關務、技術兩類，各分為監、正、高員、員、佐五官稱。本部為應財政部所屬關務機關特殊業務用人需要，依法舉辦關務特考。

二、本考試依「公務人員特種考試關務人員考試規則」規定，設有三等考試、四等考試及五等考試，各等別並分設關務類及技術類二類別，三等考試設 10 類科，四等考試設 7 類科，五等考試設 2 類科，惟每年所設之等級、類科，仍須配合用人機關當年任用需要，予以設置。至其應試科目，三等考試列考 7 科（含普通科目 2 科，專業科目 5 科），四等考試列考 5 科（含普通科目 2 科，專業科目 3 科），五等考試列考 4 科（含普通科目 2 科，專業科目 2 科）。…

98 年公務人員特種考試關務人員考試等別、科別及暫定需用名額表

等別	類別	科別	暫定需用名額		
			名額	合計	總計
三等	關務類	財稅行政	5	63	253
		關稅法務	8		
		關稅會統	3		
	技術類	資訊處理	5		
		機械工程	9		
		電機工程	9		
		化學工程	8		
		紡織工程	5		
		輻射安全技術工程	5		
		藥事	6		
四等	關務類	一般行政	22	186	
		關稅會統	18		
	技術類	資訊處理	12		
		機械工程	35		
		電機工程	37		
		化學工程	35		
		紡織工程	27		
五等	技術類	船舶駕駛	4	4	

- 98年公務人員特種考試關務人員考試三等考試，輻射安全技術工程應試科目：共七科，分別是一、國文（作文、公文與測驗），二、法學知識（包括中華民國憲法、法學緒論），三、輻射安全，四、原子能法規（包括原子能法及其施行細則、游離輻射防護標準、放射性物質安全運送規則、非醫用游離輻射防護與檢查），五、英文，六、可發生游離輻射設備，七、密封放射性物質。
- 月薪約 50,000 元，是公務人員，有退休金。這條路似也不錯！