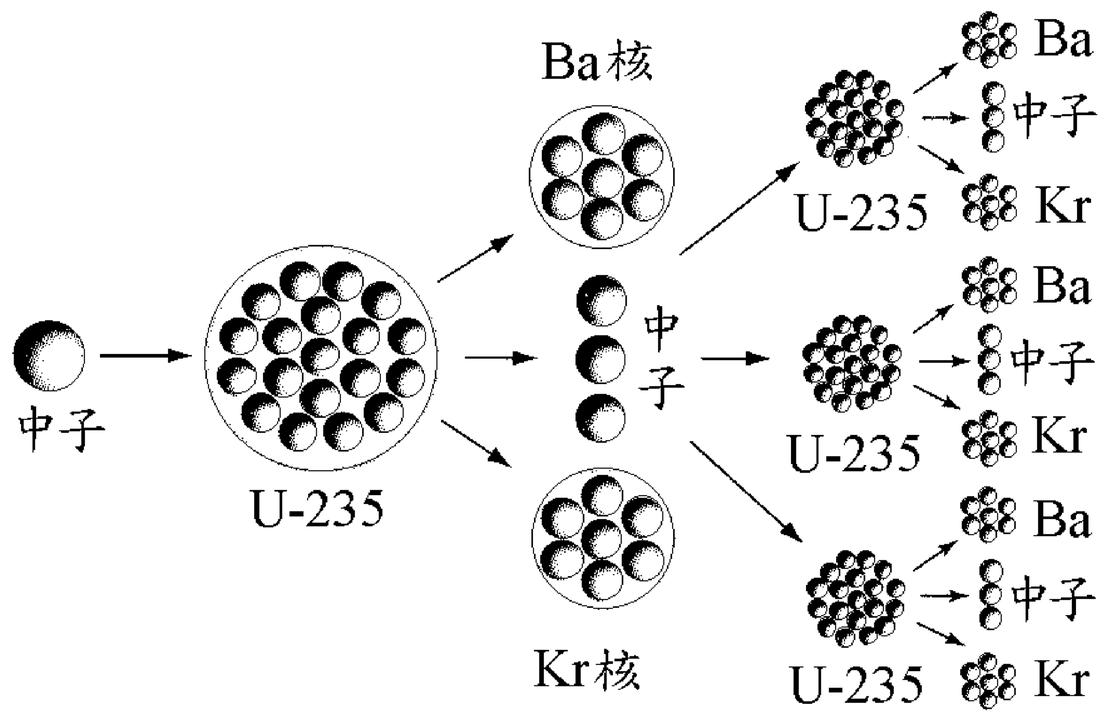
PHYSICS

第二十五章

原子核



_____年 _____班 _____號

姓名：_____

吳錫玠老師 編授

25-1 中子的發現

25-2 原子核的結構

一、原子核

1.原子核的發現：

1911 年間，英國物理學家拉塞福的α粒子散射實驗，證實了在原子的中心有帶正電的原子核存在，並推測出原子核的半徑僅約為10^{-15}公尺**(**稱為 **1 fermi**，中文稱為 **1** 費米，簡寫為 **1 fm)**的大小。

2.原子核的組成～～質子與中子：

(1)質子：**1914** 年，拉塞福用陰極射線轟擊氫原子，將氫原子的電子游離，他將氫原子稱為質子。質子電量為＋**e**，質量為1.673×10^{-27}公斤**(**或 **1.007825 a.m.u.)**，符號記為 **p**。

註：**a.**原子核或原子的質量，以原子質量單位**(a.m.u.**或 **u)**表之，**1 a.m.u.**＝1.66×10^{-27} **kg**。

b.原子核的大小常以費米**(fm)**為單位，**1fm**＝10^{-15}公尺。

(2)中子：**1920** 年夏天，拉塞福曾大膽假定原子核中存在中性粒子，此想法為當時大多數物理學家所懷疑。但拉塞福的學生查兌克，卻認真的擬定了探測中性粒子的計畫，在 **1932** 年 **2** 月 **17** 日，根據實驗結果正式發表發現了這個中性粒子～～中子。中子不帶電，其質量為1.675×10^{-27}公斤**(**或 **1.008665 a.m.u.)**，符號記為 **n**。

註：中子發現過程：

1930 年時，德國物理學家波特與貝克，用α粒子轟擊鈹，產生一種很強的射線，波特猜測此射線是一種γ射線。**1932** 年居禮夫婦的女兒伊玲．居禮**(Irene Curie**，法國人，**1897～1956**，**1935** 年諾貝爾化學獎**)**與女婿伊利約**(Frederic Joliot**，法國人，**1900～1958**，**1935** 年諾貝爾化學獎**)** 以α粒子束照射鈹**(Be)**板，發現被照射後的鈹板會產生出一種具有高穿透力的射線，這射線撞擊石蠟**(**飽含氫的物質**)**後，會擊出石蠟中的質子並有輻射線伴隨產生，但伊利約夫婦的理論模型卻不能解釋為何理論所得的γ射線的最高能量**(**約僅 **14MeV)**會小於實驗值**(**大約達 **50MeV** 左右**)**數倍。即造成石墨放出質子的射線，並不是γ射線。

當查兌克看了居禮夫婦的論文後，立刻設計一個新實驗來找出中子的質量。查兌克用α粒子撞擊硼原子。如以石蠟圍繞住硼靶，則在威爾遜雲霧室中，會看見由靶射出來的質子的軌跡。查兌克解釋這實驗結果乃係硼原子核被α粒子撞擊而分裂，放出一質量約略與質子相同，但不帶有電荷的中性粒子，這中性粒子再將石蠟中的氫原子的質子撞出，而在雲霧室中顯出軌跡。中性粒子因不帶電荷，故不呈現軌跡。查兌克把這種中性的粒子稱為中子**(neutron)**

為了測得中子的質量，他又分別以中子撞擊氫原子及氮原子，令射線中的中子質量為 $\mathbf{m_n}$，氫原子核質量 $\mathbf{m_H}$，氮原子核質量 $\mathbf{m_N}$，由動量守恆及力學能守恆公式，

氫原子核被撞出的速度為　$\mathbf{v_H}=\dfrac{2m_n}{m_n+m_H}\mathbf{v}$

氮原子核被撞出的速度為　$\mathbf{v_N}=\dfrac{2m_n}{m_n+m_N}\mathbf{v}$

所以　$\dfrac{v_H}{v_N}=\dfrac{m_n+m_N}{m_n+m_H}$

查兌克由實驗測得 $\dfrac{v_H}{v_N}\fallingdotseq 7.5$，由於 $\mathbf{m_N=7m_H}$，故知 $\mathbf{m_n\fallingdotseq m_H}$。

3.核力

中子與中子、質子與質子、中子與質子間(中子與質子也簡稱為核子)依賴核力(或強作用力)結合在一起。核力的特性為：

(1)核力與核子所帶的電荷無關。

(2)核力是一種短程力，其作用範圍比原子核的大小還小(約1.4×10^{-15}公尺以內)。在該力作用的區域內，其引力作用遠大於靜電作用力(核力比靜電力約大 **100** 倍)；在長距離範圍時(大於1.4×10^{-15}公尺)，此力迅速遞減，且遠小於靜電力。

(3)核子只與鄰近的核子有核力作用，無法與原子核中較遠處的核子發生作用(此性質稱為飽和性)。

4.原子序、質量數與核反應的平衡

(1)原子序：指原子核中所含的質子數，常以符號 **Z** 表之。原子序數 (也稱為原子序)也表示原子核所帶的電量。

(2)質量數：質子與中子數的總數目(或核子數的總合)，常以符號 **A** 表示。質量數也表示出原子核的質量。

(3)原子核的符號表示法：${}^{A}_{Z}X$，**X** 為元素符號，**Z** 為原子序數，**A** 為質量數。

例：原子序 **8**，質量數為 **16** 的氧原子核，表為${}^{16}_{8}O$(或表為 ${}^{16}\mathbf{O}$)，

原子序 **2**，質量數 **4** 的氦原子核，表為${}^{4}_{2}He$。

(4)核反應式的平衡：在方程式 ${}^{A_1}_{Z_1}a+{}^{A_2}_{Z_2}b\rightarrow{}^{A_3}_{Z_3}h+{}^{A_4}_{Z_4}k$ 中

$\mathbf{A_1+A_2=A_3+A_4}$；$\mathbf{Z_1+Z_2=Z_3+Z_4}$

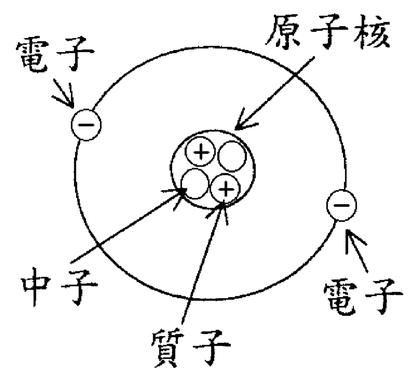
二、同位素

1.原子構造：

原子核　中子**(N)**

原子 { 質子**(P)** → 質量數**(A)**

電子**(e)**→原子序**(Z)[**質子數或電子數**]**



2.同位素的意義：原子序相同，質量數不同的元素。

例：${}^{15}_{8}O$、${}^{16}_{8}O$、${}^{17}_{8}O$、${}^{18}_{8}O$都是氧的同位素，而${}^{1}_{1}H$、${}^{2}_{1}H$(氘，記為 **D**)、${}^{3}_{1}H$(氚，記為 **T**)，則是氫的同位素。

(1)核的正電荷單位數 **Z**，確定了原子核外的電子數；亦即確定了該原子的化學性質等，確定了它在元素週期表中的位置。

(2)同位素不能用化學方法去分離它們，顯然在化學(元素)週期表上是佔同一位置的。故一個化學元素，有時由好幾個質量不同的原子混合而成的。

(3)同位素原子核的差別，乃在其所含的中子數不同。

(4)同位素化學性質相同而物理性質不同，可藉質譜儀來分離。

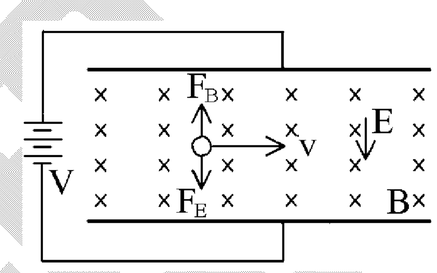
3.同位素的發現：

(1)天然放射性現象在十九世紀末發現以後，人們就察覺到許多放射性元素同一元素具有多種不同的質量數，它們在週期上佔有同一位置(同一元素)，於是命名為 **Isotope(iso**＝相同；**tope**＝位置**)**。

(2)非放射性元素的同位素則由 **J.J.**湯木生 **1910** 年起作研究，首先知道氖有質量數為 **20** 及 **22** 的同位素。

4.同位素的質量測定：

(1)速度選擇器：**(**自行閱讀**)**

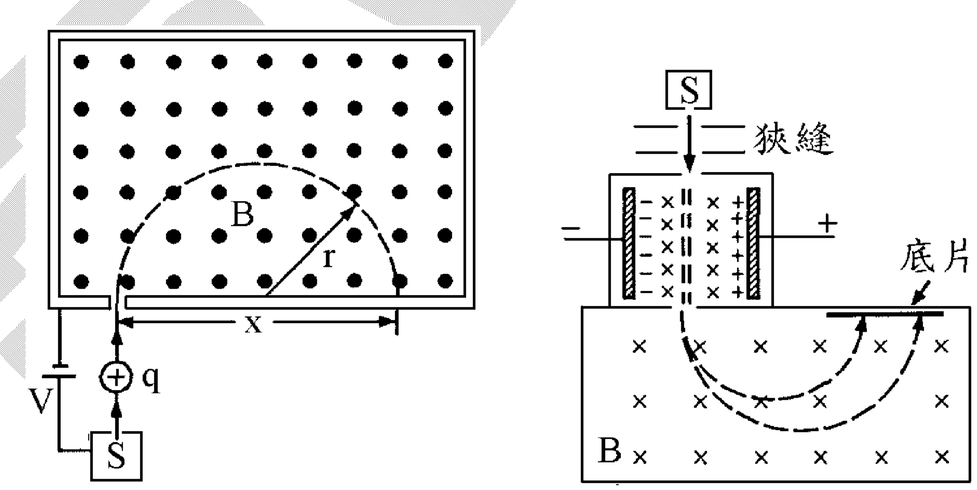


a.若一帶電荷 **q** 之質點以 $\vec{v}$ 之速度射入電場 $\vec{E}$ 與磁場 $\vec{B}$ 中，質點將受到電力 $\vec{F}_E$ 與磁力 $\vec{F}_B$，故作用於此質點之合力為 $\vec{F}=\vec{F}_E+\vec{F}_B$，上圖中為一平行板中之電場 $\vec{E}$，磁場 $\vec{B}$ 向紙面穿入。$\vec{B}=\mathbf{0}$ 時帶正電之質點僅受到一向下之電力 $\vec{F}_E=q\vec{E}$，故將沿拋物線運動。若加上磁場 $\vec{B}$，則質點將受到另一向上之磁力 $\vec{F}_B=qvB$。我們可以改變電場與磁場的大小，使作用於質點的電力與磁力大小相等而方向相反，即 **qE＝qvB**，則 $\mathbf{v}=\dfrac{E}{B}$

b.故質點所受之合力為零，將以速度 $\vec{v}$ 沿直線由平行板右端射出。由上述可知，若有一串質點束以不同之速度由左端射入平行板內，則僅有以 $\mathbf{v}=\dfrac{E}{B}$ 之特定速度的質點方可由右端射出，因此可應用作為一速度選擇器。

(2)質譜儀：

a.下圖所示為一質譜儀，可量度離子的質量。若一帶正電離子由 **S** 射入一速度選擇器**(**電場 $\mathbf{E_o}$ 由左向右，磁場 $\mathbf{B_o}$ 方向進入紙面**)**中，故射入磁場 **B** 之質點速度可知為 $v=\dfrac{E_o}{B_o}$。此離子進入磁場 **B(**穿出紙面**)**後，受磁力的偏轉作圓周運動，其半徑為 $R=\dfrac{mv}{qB}$，此半徑可由感光底片測量出來，故離子的質量即為 $m=\dfrac{qBR}{v}$



質譜儀常用來研究同位素，所謂同位素即各原子中所有之電子數目相同，但原子的質量並不相同，此種質量的差異係由於原子核中所包含的質子數相同，但中子數目不同所致。若一元素包含了不同的同位素，則可由質譜儀中感光底片的半徑位置不同而求得其不同之質量，並可由底片上各位置的感光度可判斷各種同位素在該元素中的含量百分比。

※中子的發現

例 1.查氏用下述的實驗發現了中子，『以 α 粒子打擊鈹金屬產生未知無帶電的粒子。此未知無帶電粒子又和氫及氮的原子核彈性碰撞後，射出氫及氮的原子核。』查氏量了和入射 α 粒子同一直線上射出的氫及氮的速度（V_H 和 V_N）之比 V_H/V_N 為何？（設氮的原子量為 14）答：7.5

類 1.設有一中子與一靜止之鉛原子核(質量約爲中子之 206 倍)作正面彈性碰撞，則碰撞後中子損失之動能約爲原動能的：(A)0.20% (B)1.9% (C)25% (D)99%。答：(B)

類 2.中子與下列何靜止的粒子碰撞時，中子的動能損失最大？ (A)氫原子 (B)電子 (C)一粒子 (D)氮原子 (E)鉛原子。答：(A)

類 3.根據物理史，下列關於電子、中子和原子核三者被發現的先後順序，何者正確？ (A)電子、中子、原子核 (B)中子、電子、原子核 (C)電子、原子核、中子 (D)原子核、電子、中子 (E)原子核、中子、電子。【85 推甄】答：(C)

類 4.（請將右邊適合的代碼填入左邊括號中）

(　)1.首位以人工方法使原子分裂	甲、貝克勒
(　)2.發現中子	乙、湯木生
(　)3.質能互換公式	丙、居里夫婦
(　)4.提出介子理論	丁、查兌克
(　)5.發現 U^{235} 的連鎖反應	戊、拉塞福
	己、愛因斯坦
	庚、湯川秀樹
	辛、歐本海默
	壬、費米
	癸、漢恩　答：1.戊；2.丁；3.己；4.庚；5.癸

類 5.若有任何物理問題，歡迎與老師聯絡
網站：大雞排物理

吳錫玠物理

※原子結構&原子序、質量數

例 2.已知某元素(M)之陽離子(M^+)中有 20 個中子，18 個電子，則此元素之原子序為_____。
答：19

例 3.原子核之半徑可表示 $R=1.3A^{1/3}\times10^{-13}$ 厘米，其中 A 為該原子核之核子數。設核子之質量為1.6×10^{-24} 克，則原子核密度（克/立方厘米）之數量級為： (A)1 (B)10^6 (C)10^{14} (D)10^{24} (E)10^{37}。答：(C)

類 1.如果以原子爲組成物質的單元，則直徑爲 0.1 毫米的一粒細砂含有的原子數目約爲多少？（選最接近的數量級） (A)10^6 (B)10^9 (C)10^{13} (D)10^{17}。【84 推甄】答：(D)

類 2.假設將原子核放大成半徑約爲 1 厘米之球，則按此比例放大之原子半徑約爲： (A)1 毫米 (B)10 釐米 (C)1 米 (D)1 仟米 (E)100 仟米。答：(D)

類 3.下列關於原子結構之敘述，正確者爲： (A)原子中大部分質量集中於核內 (B)同位素之原子具有相當之核電荷 (C)原子可獲得或失去電子，而不改變其核電荷大小 (D)中子爲原子核中正電的質點 (E)中子數與質子數之總和稱爲核的質量數。答：(A)(B)(C)(E)

類 4.某同位素符號 ${}^{A}_{Z}M$ 表示，則下列敘述何者爲正確？ (A)Z 是質量數 (B)A 是質量數 (C)Z 是原子核所帶之正電荷 (D)Z 是原子序 (E)A 是原子核中之質數與中子數之總和。答：(B)(C)(D)(E)

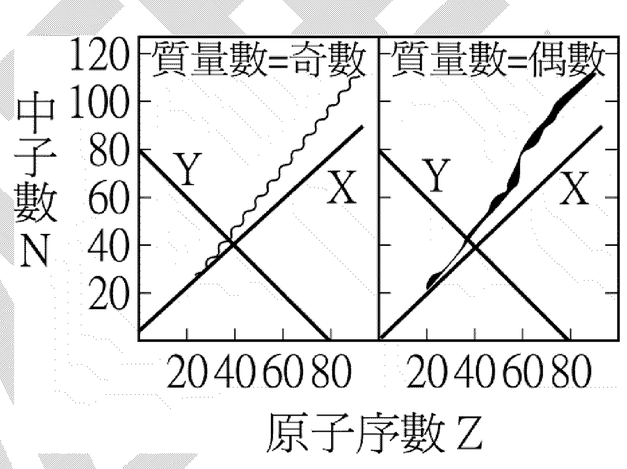
類 5.已知鈉（Na）的原子序是 11，質量數是 23，則一個中性的鈉原子內的中子數和電子數應該是多少？（每行各選一項，共應選二項）【85 推甄】
(1)中子數： (A)11 (B)12 (C)23 (D)34。答：(B)
(2)電子數： (A)11 (B)12 (C)23 (D)34。答：(A)

類 6.下列有關原子構造的敘述，何者正確？ 甲：原子的質量均勻分布在整個原子之間；乙：原子的質量絕大部分集中在原子核；丙：電子和質子的數目一定相等；丁：中子和質子的數目一定相等 (A)甲丙 (B)甲丁 (C)乙丙 (D)乙丁。【84 推甄】答：(C)

※同位素

例 4.假設氫原子有 ^{1}H，^{2}D 及 ^{3}T 三種同位素，含該同位素的分子所生成各種水分子，化學式分別為以 H_2、D_2、T_2 及 H_2O、D_2O、T_2O 表示，則： (A)於 STP 下氫的密度：$H_2<D_2<T_2$ (B)氫 1 克中的電子數：$H_2=D_2=T_2$ (C)氫 1 莫耳中的質子數 $H_2<D_2<T_2$ (D)於同溫同壓下水蒸氣密度：$H_2O<D_2O<T_2O$ (E)於 STP 下，氫 1 升中所含的中子數：$H_2<D_2<T_2$。

類 1.如附圖所示為已知之穩定同位素，縱軸為中子數 N，橫軸為原子序數 Z，直線 X 代表 N=Z，由圖可看出下列哪些性質？(A)直線 Y 上各點質量數相同 (B)穩定的同位素 N≧Z (C)質量數愈大的原子核，N 與 Z 的比值愈接近 1 (D)質量數為偶數的元素，有較多的穩定同位素 (E)穩定的同位素，N＜Z。答：(A)(D)



類 2.由手冊上查得某元素於自然界有三種同位素，資料如下表：

^{20}X	19.99244	90.92%
^{21}X	20.99396	0.257%
^{22}X	21.99138	8.823%

(1) ^{20}X 中的 20 表示什麼？ (2)已知 ^{22}X 之原子序為 10，則 X 中有幾個中子？ (3)X 元素之平均原子量應為多少？(要算至小數點後第四位)答：(1)質量數；(2)12；(3)20.1714

類 3.銅的原子量 63.54，已知它由兩種穩定同位素組成，組成比例為原子量 65 的同位素占 30%，則另一同位素的原子質量為： (A)61 (B)62 (C)63 (D)64 (E)65。答：(C)

類 4.同位素不能用化學方法加以區分，是因為： (A)核外之電子數不同 (B)核內之質量數不同 (C)核外最外層電子數相同 (D)核內之中子數不同。答：(C)

類 5.有關同位素的性質，下列各項何者正確？ (A)同位素具有完全相同的原子核 (B)同位素有完全相同的化學性質 (C)同位素核外有完全相同的電子數與電子結構 (D)同位素不能用化學方法分離 (E)將同位素 ^{238}U 與 ^{235}U 製成氣態氟化鈾後，可用氣體擴散的方法將二者分離。答：(B)(C)(D)(E)

類 6.下列敘述何者正確？ (A)同位素之差異，乃在於原子核中所含中子數目不同 (B) β 射線的游離能力較 α 射線為強 (C)放射性元素的衰變速率，不會受外界的影響 (D)康卜吞效應顯示 X 射線被散射時，有波動的特性。【78 三專】答：(A)(C)

25-3 原子核的放射性和衰變

25-4 半衰期

1.放射性元素的發現：

(1)1896 年法國人貝克勒**(A.H.Becquerel)**發現鈾礦**(**晶體**)**有放射性 ～～放出一種可使照像底片感光的一種**"**射線**"**。

(2)1897 年法國人居里**(P.Curie**，**1859～1906)**和他夫人瑪莉．居里**(Marie Curie**，**1867～1934)**發現鈓**(Thorium** 元素，原子序 **90)**和它的化合物，亦有放射性**(**他們創此「放射性 **radioactivity**」名詞**)**。

(3)1898 年居里夫婦更發現瀝青礦中可提鍊出一有效放射性的元素，命名為釙**(Polonium)**以紀念居里夫人的祖國波蘭。隨後發現鐳，但費四年的艱苦工作，始能由一噸的瀝青鈾礦渣提出足量的鐳，作原子量等的鑑定分析，居里夫婦可稱為放射性元素的發現和鑑定者。

2.放射性元素的研究：

(1)1898 年，紐西蘭人拉塞福**(E.Rutherford**，**1871～1937)**任教加拿大時，研究放射性，發現鐳元素放射有 α 射線及 β 射線，由實驗證明：

a. α 射線係帶有正電荷的質點，能游離化所經的空氣，祇能穿透數公分的空氣。後更證明 α 射線的質點，即係氦原子的核。

b. β 射線係帶負電荷的質點，其游離化能力較 α 射線為弱。由湯木生氏的實驗，它的電荷**/**質量的比值，和氣體放電管中由負極射出的電子的 $\frac{e}{m}$ 相同。後知 β 射線即係電子。

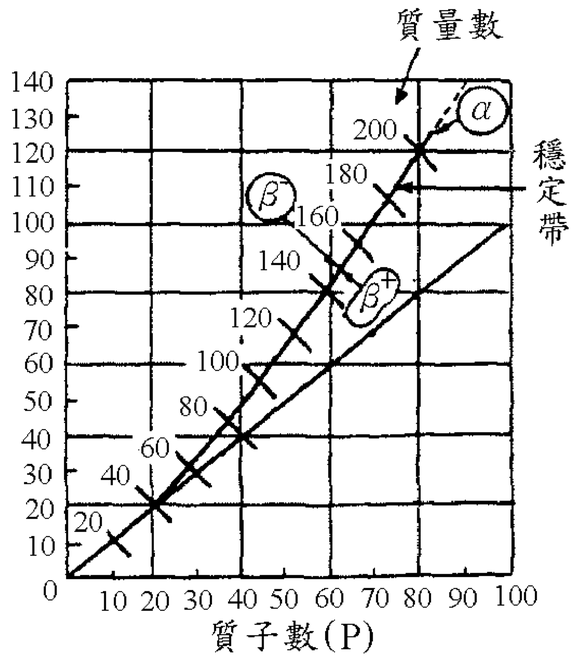
(2)1900 年法國科學家維拉爾得發現另一種放射現象，即 γ 射線。**1913** 年眾多科學家的努力，才完全確定　射線是電磁波，此係波長較一般 **X** 射線更短的電磁波**(**波長在 10^{-10} 公尺以下**)**。

註：放射性的研究，由拉塞福**(Rutherford)**與索地**(Soddy)**而大成。二人**(1902～1903** 年**)**發現放射性乃元素自然衰變的過程。

3.放射性元素的衰變～～亦稱蛻變**(Decay)**

(1)衰變的條件：

如右圖所示，凡核之組成位在穩定帶以外的，皆具有放射性，這些不穩定核**(**有的是天然存在的，有的是人造的**)**，就會自動地放出某種射線而趨近穩定帶。而這類不穩定原子核，便稱為具有放射性**(**原子序大於 **83** 的天然元素，都具有放射性**)**



(2)衰變的意義：

一個不穩定的原子核種，常常放出 α 粒子或 β 粒子或同時放出電磁波**(** γ 射線**)**而形成更穩定的核種。這種從一種核種轉化成另一種核種的過程叫做衰變。

4.放射線的種類與特性：

(1) α 射線：α 射線為氦原子核**(** $^{4}_{2}He$ **)**，原子核發生 α 衰變時，原子序減少 **2**，質量數減少 **4**。

例：$^{210}_{84}Po \rightarrow ^{206}_{82}Pb + ^{4}_{2}He$

※通常原子序大於 **83**，質量數大於 **200** 者常有此衰變。

(2) β 射線：β 射線為電子($^{0}_{-1}e$)，原子核發生 β 衰變時，原子序增加 **1**，質量數不變。　例：

$^{14}_{6}\mathrm{C} \rightarrow ^{14}_{7}N + ^{0}_{-1}e(\beta)$

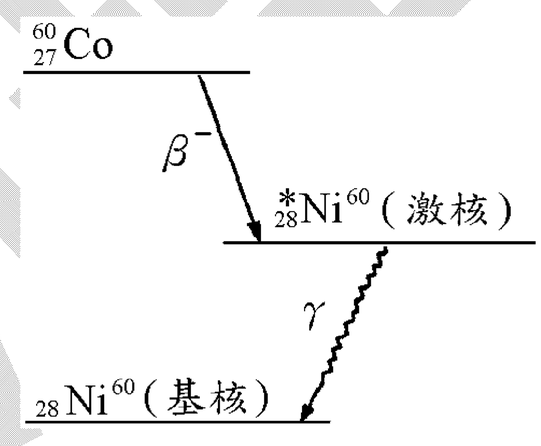
(3) γ 射線：γ 射線為電磁波，當原子核發生 γ 衰變時，原子序與質量數皆不變。

$^{A}_{Z}X \rightarrow ^{A}_{Z}X + \gamma$

※當一個原子核(父核或叫母核)放射 α 粒子或 β 粒子後所生的新原子核(稱為子核)往往仍在激態，正如同在激發狀態的原子和分子中一樣，它也會把能量以電磁波的形態放出來，原子核本身就回到最低能階的基態(此種轉變所需時間約 **10^{-12}sec**)。放出電磁波的波長通常比 **X** 光還短，我們叫它做 γ **-ray** 是由激核回至基核所放的能量。

例：$^{60}_{27}Co$(父核)$\rightarrow ^{0}_{-1}e(\beta) + ^{*}_{28}Ni^{60}$(子核)(激核)

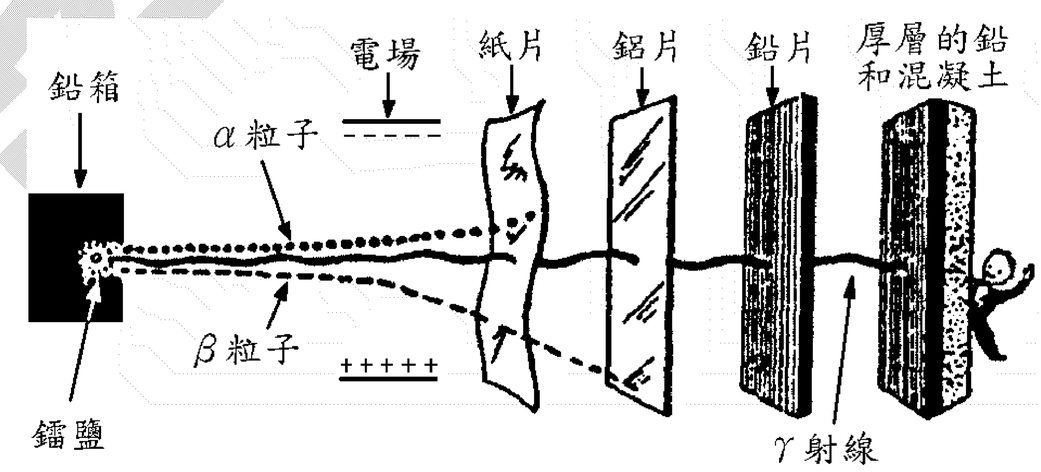
$^{*}_{28}Ni^{60}$(激核) $\xrightarrow{10^{-12}\,\mathrm{sec}}$ $^{}_{28}Ni^{60}$(基核)$+\gamma$

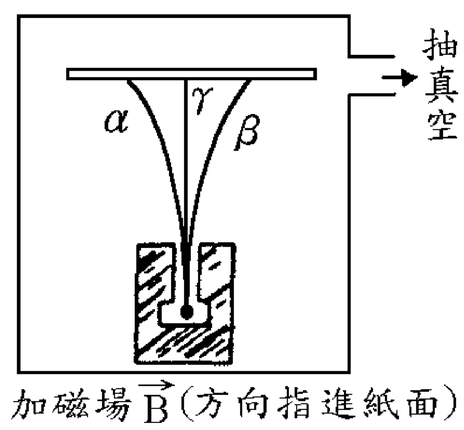


(4) 三種放射線的一些特性，表列如下：

放射線	α 射線	β 射線	γ 射線
本體	粒子 (氦原子核 He^{2+})	粒子 (電子 $^{0}_{-1}e$)	波長比一般 X 射線更短 (在 10^{-10} 米以下)的電磁波
電荷	2 正基本電荷	1 負基本電荷	不帶電
質量	約 4a.m.u.	約 0.00055a.m.u.	無靜止質量
速度	c/10～c/20	4c/10～6c/10	c(光速)
游離氣體能力	最強	其次(α 射線的 1/100)	最弱(β 射線的 1/100)
感光能力	最弱	其次	最強
穿透能力	最弱，一張紙片即可阻止	其次，2mm 厚鉛板可以阻止	最強，可穿透 1cm 厚的鉛板
電場影響	略向負極偏折	向正極作較大的偏折	不會偏折

註：**a.** 穿透能力比值為 α 射線：β 射線：γ 射線＝**1**：**100**：**10000**。





b. 在衰變過程中之核反應式必須滿足兩個條件：**(a)** 總質量數守恆，**(b)** 總電荷守恆

c. 天然放射性系列，連續蛻變後，皆生穩定鉛的同位素。

5. 衰變率～～亦稱放射活性，以 **R** 表之：

(1) 定義：單位時間內所產生的衰變原子核數

(2)數學式：$R=-\dfrac{dN}{dt}$　**(**$\dfrac{dN}{dt}<$**0** 即原子核數 **N** 隨時間而變少**)**

(3)單位：居里**(Curie)**＝**3.7**×**10**^{10} 蛻變/秒＝**1** 克鐳的衰變率

註：由經驗知衰變率與參加蛻變的原子核數 **N** 成正比，即

$$\frac{dN}{dt}\propto N\Rightarrow\frac{dN}{dt}=-\lambda N$$

～～λ：衰變常數**(**單位為 **1/**秒**)**

故 $\dfrac{dN}{N}=-\lambda\cdot dt\ \Rightarrow\int_{N_o}^{N}\dfrac{dN}{N}=-\int_0^t\lambda dt\Rightarrow\ln N-\ln N_o=-\lambda t$

$\therefore\ln\dfrac{N}{N_o}=-\lambda t\Rightarrow N=N_oe^{-\lambda t}$　……衰變定律

(N$_o$：原有原子核數；**N**：經時間 **t** 後未衰變的原子核數**)**

而 $R=-\dfrac{dN}{dt}=N_o\lambda e^{-\lambda t}=R_oe^{-\lambda t}$

(R$_o$：放射性元素原衰變率；**R**：經時間 **t** 後之衰變率**)**

6.半衰期～～亦稱半生期**(Half-life)**～～以 τ 表之：

(1)定義：放射性同位素之放射活性**(**或質量或原子核數**)**衰變成原來一半所需的時間。

(2)數學式：$\tau=\dfrac{\ln 2}{\lambda}=\dfrac{0.693}{\lambda}$

※證明：由 $R=R_oe^{-\lambda t}\Rightarrow\dfrac{R_o}{2}=R_oe^{-\lambda\tau}\Rightarrow\ln\dfrac{1}{2}=-\lambda\tau$

$\therefore\tau=\dfrac{\ln 2}{\lambda}=\dfrac{0.693}{\lambda}$

※由 $R=R_oe^{-\lambda t}$，得 $\dfrac{R}{R_o}=e^{-\lambda t}$

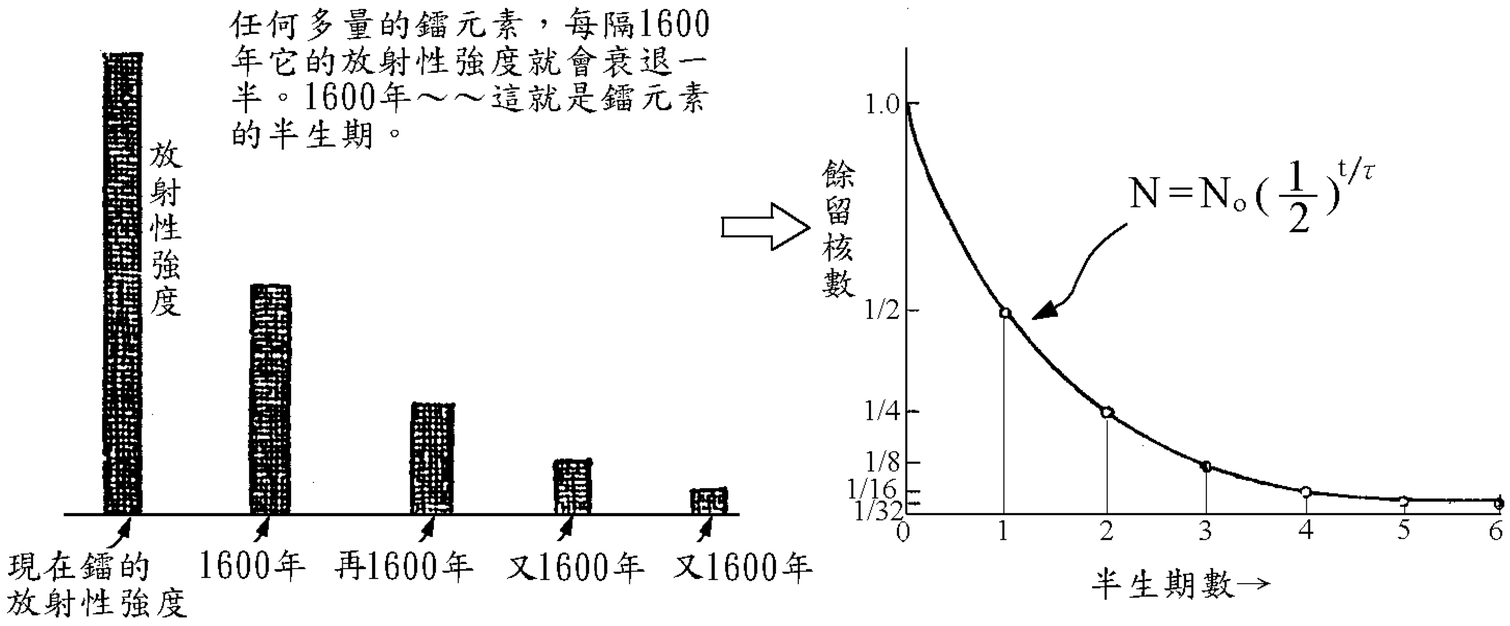
$\Rightarrow\ln\dfrac{R}{R_o}=-\lambda t=\dfrac{\ln 2}{\tau}t=\ln(\dfrac{1}{2})^{t/\tau}$

$\therefore\ \dfrac{R}{R_o}=\dfrac{N}{N_o}=\dfrac{I}{I_o}=\dfrac{m}{m_o}=\dfrac{\alpha}{\alpha+\beta}=(\dfrac{1}{2})^{t/\tau}$

m$_o$＝放射性元素原有之總質量；**m**＝經時間 **t** 後之剩餘質量

I$_o$：放射性元素原來的強度；**I**：經過時間 **t** 後的強度

$\dfrac{\alpha}{\beta}$＝經時間 **t** 後放射性物質與其衍生物質的含量比值



註：**a.**放射性元素的放射強度，與實際所含放射性元素的密度有關，而與其狀態**(**固態、液態、氣態**)**、溫度、壓力，結合狀態**(**元素或化合物**)**無關；且不同的放射性元素或同位素，半衰期的差異很大，從一秒鐘的十幾萬萬分之一到幾百萬年，放射性元素的半衰期愈短，放射活性愈強，愈危險，在自然界中的存量愈少。

◎例：由鐳衰變為氡的半衰期為 **1620** 年。故醫院的鐳，壽命很長，經過 **1620** 年，才衰減一半。

◎例：鈾**(**原子量為 **238** 的**)**的半衰期為 $\mathbf{4.5\times10^{9}}$ 年。這是約等於地球從開始到今的壽命。

◎例：氡的壽命則甚短，半衰期祇有 **3.8** 日。$\mathbf{Rn\rightarrow Po+\alpha}$　　**t＝3.8** 天

b.放射線必由原子核內放出，與原子核內的結構有關，而與原子核外的電子結構無關。

c.放射性遵守機率規則，換言之，一個有放射性的原子核，我們無從知道它將於何時作衰變；我們祇知道在它的半生期 **t** 中，它有一半的機會衰變。這個半生期，祇能由許多**(**極大數目**)**的**(**同樣的**)**原子核的衰變量定之。

d.把所有的品牌全都置換成保險套，然後再套上原本的 **Slogan**，嘿嘿嘿**~~**很正喔

百服寧保險套 ： 保護您！

青箭保險套 ： 你無法預料，何時你會需要它！

青箭分享包保險套 ： 更多片，可以和更多朋友分享！

媚登峰保險套 ：**Trust me you can make it** ！

飛利浦保險套 ：**Let`s make things better** ！

Pentium 保險套 ：**Intel inside** ！

可口可樂保險套 ： 擋不住的感覺！

NIKE 保險套 ：**Just do it**！

Konica 保險套 ： 它抓得住我！

麥當勞保險套 ： 都是為你！

HP 保險套 ： 買得聰明，用得安心！

永慶房屋保險套 ： 這是我們應該做的！

雀巢咖啡保險套 ： 滴滴香濃，意猶未盡！

西北航空保險套 ： 每五分鐘起飛一次！

摩托羅拉保險套 ： 良機在握，一觸即發！

IBM 保險套 ： 四海一家的解決方案！

蘇菲保險套 ： 好在有蘇菲！

最佳女主角保險套 ：**ARE YOU READY** ？

仁山利舒保險套 ： 又快又持久！

NOKIA 保險套 ： 科技始終來自於人性！

SKII 保險套 ： 你可以再靠近一點 ！

麥斯威爾咖啡保險套：好東西要跟好朋友分享！

菲夢絲保險套：現在妳相信我，以後妳會相信他 ！

克寧保險套 ： 讓你長的像大樹一樣喔 ！

鐵達時錶保險套 ：不在乎天長地久，只在乎曾經擁有**!**

※放射性物質&α、β、γ射線的特性

例 5.關於放射性強度的比較，正確者為(^{226}Ra 有放射性)； (A)1mol Ra >1mol $RaCl_2$ (B) 1mol Ra (30℃)> 1mol Ra (25℃) (C)1 克 Ra =1 克 $RaCl_2$ (D)1 克 RaO >1 克 RaS 。答：(D)

例 6.放射性元素之三種射線比較何者正確？ (A)穿透力 $\alpha > \beta > \gamma$ (B)感光作用 $\alpha > \beta > \gamma$ (C) 速度 $\alpha > \beta > \gamma$ (D)使氣體游離能力 $\alpha > \beta > \gamma$ (E) γ 射線的能量最高，因其波長較 X 光為短。答：(D)(E)

例 7.將 $^{4}He^{+}$、$^{5}He^{+}$ 經相同電位差加速後，垂直射入均勻磁場中，若 $^{4}He^{+}$ 之軌道半徑為 10cm，則經半圓周之後到達照相機的軟片上，兩者痕跡相距_____cm。答：$10\sqrt{5}-20$

類 1.元素是否具有放射性，乃是取決於下列哪一個因素？ (A)電子組態 (B)元素的化性 (C) 同位素的有無 (D)核的結構。答：(D)

類 2.下列有關α、β、γ三射線的性質，何者正確？ (A)α射線被拉塞福証實爲氦的原子核 (B) β射線被証實爲高能的電子束 (C)γ射線的速率最快 (D)γ射線的游離氣體能力最強 (E) γ射線的穿透能力最強。答：(A)(B)(C)(E)

類 3.關於原子核的α、β、γ衰變，下列敘述中，有哪些是正確的？ (A)若三種射線同時垂直射一磁場，則α射線和β射線沿相反方向作圓周運動，γ射線沿原方向直進 (B)α射線係氦 4 的原子核，,因而發生α衰變時，原子核的原子序減少 2，質量數減少 4 (C)β射線爲質子，故發生β衰變時，原子核的原子序少 1 (D)γ射線即中子，所以γ衰變時，原子序不變，而質量數少 1。【80 夜大】答：(A)(B)

類 4.下列爲有關放射性物質的敘述，何者正確？ (A)鐳元素只放射α射線 (B)α射線即是氦原子的原子核 (C)β射線即是電子 (D)γ射線比 X 射線的頻率爲高。答：(C)(D)

※α、β衰變

例 8.一放射性元素 A，經下列蛻變：$A \xrightarrow{\alpha} B \xrightarrow{\beta} C \xrightarrow{\alpha} D \xrightarrow{\beta} E \xrightarrow{\beta} F \xrightarrow{\alpha} G$，則下列各組何者為同位素？ (A)A、D (B)B、E (C)C、F (D)D、G (E)A、E。答：(B)(C)(D)

類 1.一 ${}^{238}_{92}U$ 原子核衰變成 ${}^{214}_{82}Pb$ 原子核，途中產生的α衰變和β衰變的次數分別以 m，n 表示，則（m，n）＝_____。答：（6，2）

類 2.關於核反應之敘述，下列何者正確？ (A)遵守原子不滅 (B)遵守能量不滅 (C)遵守電荷不滅 (D)遵守質量不滅 (E)遵守質量數不滅。答：(C)(E)

類 3.鉛的放射性同位素 ${}^{214}_{82}Pb$ 會進行 β 衰變成爲鉍，寫出核反應方程式。答：

$${}^{214}_{82}Pb \rightarrow {}^{214}_{83}Bi + {}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{0}\nu$$

類 4.寫出釷原子核 ${}^{232}_{90}Th$ 作 α 衰變之反應方程式？答：${}^{232}_{90}Th \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{228}_{88}Ra$

類 5.原子核作一次α衰變時，其原子序減少 2，質量數減少 4；作一次β衰變時，原子核內一中子放出一電子後變成一質子，因此質量數不變，但原子序增加 1。一 ${}^{238}_{92}U$ (鈾)原子核衰變成 ${}^{206}_{82}Pb$ (鉛)原子核。途中產生α衰變和β衰變的次數分別爲：(A)8 次和 3 次 (B)3 次和 5 次 (C)5 次和 6 次 (D)8 次和 6 次 (E)5 次和 3 次。【72 日大】【87 推甄】答：(D)

類 6.由 ${}^{235}_{92}U$ 開始行 7 次α及 4 次β衰變後，則產物的質量數爲_____；原子序爲_____。

類 7. ${}^{218}_{84}Po$ 逐步放射一個β粒子，2 個α粒子，再放出 1 個β粒子即變爲新元素 E_1。E_1 慢慢放射 1 個β粒子後再逐步放射 1 個α粒子及一個β粒子變爲穩定的元素 E_2，則： (A)E_2 是 E_1 的同位素 (B)E_2 不是 E_1 的同位素 (C)E_1 的質量數爲 210 (D)E_1 的質量數爲 212 (E)E_2 的質量數爲 206。答：(C)(E)

※半衰期

例 9.在活的生物體內，同位素 ^{14}C 與 ^{12}C 含量的比值為 10^{-13}。現有一古生物，其 ^{14}C 與 ^{12}C 含量之比值為 1.25×10^{-14}。已知 ^{14}C 的半衰期為 5730 年，則此古生物死時距今約為_____年。【87 日大】答：17190

類 1. $^{227}_{90}Th$ 是放射性同位素，發現經過 54 天後，其放射強度成爲原來的 12.5%， 其半生期爲多少天？再經過 54 天，其放射強度成爲最初的多少倍？答：18；1/64

類 2.一輻射鋼筋中，含甲、乙兩種不同的放射性物質，甲的放射性佔總放射性的 80%，乙則佔 20%。甲的半生期爲一年，而乙的半生期爲二年，甲乙衰變後之物質均無放射性，則下列何者爲正確？ (A)二年後剩餘的乙放射性爲原有乙放射性的 1/4 (B)二年後剩餘的甲放射性佔剩餘總放射性的 40% (C)四年後剩餘總放射性爲原來的 20% (D)四年後剩餘的甲放射性與乙放射性各佔剩餘總放射性的 50% (E)四年後剩餘的甲放射性爲原有乙放射性的 1/4。答：(D)(E)

類 3.鈾 $^{238}_{92}U$ 的半生期爲 45 億年，假如一礦石中含鈾 238 的質量爲 1 公斤，經過 90 億年礦石中，將有_____公斤的鉛 $^{206}_{82}Pb$（設鈾衰變後全部變成鉛 206）。答：0.65

類 4.當放射性質之放射強度減小至原來之 1/16 時，所經過之時間是半衰期的多少倍？ (A)2 (B)4 (C)6 (D)8。答：(B)

類 5.放射性同位素碳 14 之半衰期約爲 6000 年，碳 14 之量減少至原來 1/8 所需的時間爲：(A)480000 年 (B)36000 年 (C)18000 年 (D)9000 年 (E)750 年。答：(C)

類 6.某放射性元素之半生期爲 10 年，則蛻變此物之 87.5%所需時間爲： (A)87.5 年 (B)8.75 年 (C)12.5 年 (D)30 年。【65 夜大】答：(D)

類 7.當放射性質之放射強度減小至原來之 $\frac{1}{16}$ 時，所經過之時間是其半衰期的多少倍？ (A)2 (B)4 (C)6 (D)8 (E)16 倍。答：(B)

類 8.5 克 ^{14}C 經過 11460 年後，衰變成 ^{14}N 的原子有幾個？(^{14}C 半衰期 5730 年)答：1.58×10^{22}

※半衰期

例 10.某放射性元素 A 蛻變成新元素 B，半衰期為 T，今發現某化合物中 A、B 兩元素含量比 α ：β ，則此化合物存在的時間已有多久？答：$\dfrac{\log\left[\dfrac{\alpha+\beta}{\alpha}\right]}{\log 2}T$

類 1.有一放射性同位素，每經 1 小時其強度減爲原來的 9/10，則其半生期約爲_____小時。($\log 2=0.3010$; $\log 3=0.4771$)

類 2. ^{238}U 的半生期爲 4.5×10^{9} 年，^{235}U 的半生期爲 7.13×10^{8} 年，這兩種同位素目前在自然界的存在比例爲 140：1，假設地球形成時，這兩種同位素以相同的含量出現，依此資料求地球的年齡？答：60 億年

類 3.甲放射性元素在二年後，其中有 $\dfrac{35}{36}$ 衰變成乙元素，則第三年末含有乙元素的分數爲若干？答：$\dfrac{215}{216}$

類 4.某放射性元素蛻變 $\dfrac{1}{3}$ 需時 30 天，今有此元素 1 莫耳，問經過 10 天後尚剩下此元素若干莫耳？ (A) $(\dfrac{1}{3})^{1/3}$ (B) $\dfrac{1}{\sqrt{3}}$ (C) $\dfrac{1}{9}$ (D) $\dfrac{1}{27}$ (E) $(\dfrac{2}{3})^{1/3}$ 。答：(E)

類 5.某放射性元素 81 克，經放射 45 天後，剩餘質量爲原來之 1/3，待其放射至剩餘質量爲 1 克時，歷時若干天？ (A)90 天 (B)120 天 (C)150 天 (D)180 天。答：(D)

類 6.某放射性元素從每秒放出 6400 個 α 粒子時開始計時，4 天後每秒放出 1600 個 α 粒子，其半生期爲_____天。答：2

類 7.晚上 老公在床上看書 不時將手伸入老婆雙腿間　老婆便脫衣撒嬌

老公問:幹麻?

老婆反問:你手幹麻?

老公一本正經的說:濕濕手 好翻書

吳錫玠物理

※蛻變機率&放射性強度

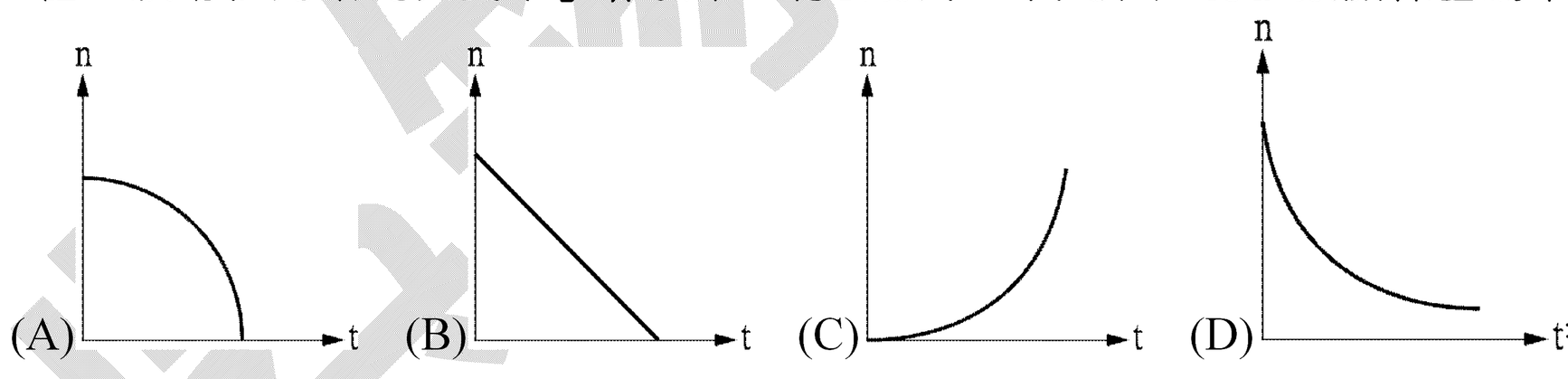
例 11.設某放射性元素之半衰期為 2 天，則該元素每一原子經過一天已行蛻變之機率為若干？【79 日大】答：0.293

例 12.【參考教材】0.001 克的 $^{226}_{88}Ra$，進行 α 衰變，若 $^{226}_{88}Ra$ 之半生期為 1620 年，則其衰變速率每分鐘可以產生多少個 α 粒子？答：2.16×10^{9} 個。

類 1.放射性元素每一個原子的蛻變機率與下列哪些因素有關？ (A)放射性元素的溫度 (B)放射性元素的化合狀態 (C)放射性元素的質量數 (D)放射性元素的狀態(如氣態或固態) (E)衰變所經過的時間。答：(C)(E)

類 2.某放射性元素，第一天衰變 1000 個原子，第二天衰變 900 個原子，則最初未衰變時之總原子數為： (A)10^4 (B)5×10^4 (C)3800 (D)7600 個原子。答：(A)

類 3.在「放射性元素之衰變率」實驗中，得計數率 n 與時間 t 的函數關係圖為下列哪一個？



答：(D)

類 4.一公克的鐳每秒鐘衰變的原子數作為放射性強度的單位，稱為 1 居里。鐳的原子質量為 A＝226 單位，半生期為 1580 年。問由 1 居里的放射性源每秒衰變的原子數是多少？【答】3.7×10^{10}

類 5.一考古學家從古城遺址中挖得一木炭，質量為 25 克的樣品，經測定發現每分鐘有 250 次的蛻變，而一般的二氧化碳中的碳，$^{14}_{6}C$ 與 $^{12}_{6}C$ 含量的比為一定值 1.3×10^{-12}，若 $^{14}_{6}C$ 的半生期為 5570 年，則此木炭的生存年代至少為若干年前？答：2220 年

吳錫玠物理

25-5 原子核的分裂與核能

25-6 原子核的融合與核能

1.核分裂的發現：

1934 年依里約-居禮夫婦用釙原子放出的 α 射線轟擊鋁箔，得到具有放射性的磷與正電子，其方程式如下

$${}^{27}_{13}Al + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{30}_{15}P + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{31}_{14}Si + {}^{0}_{+1}e \text{(正電子)}$$

依里約-居禮夫婦的實驗，引起義大利著名物理學家費米的注意，他認為用中子來轟擊原子核，比用 α 粒子好，因為中子不帶電，不受庫侖斥力的作用，可以更靠近原子核。**1934** 年 **3** 月開始，費米和他的同事，陸續以中子轟擊 **63** 種元素，並得出 **37** 種放射性元素。**(**費米也因為用中子轟擊原子核所獲得的成果，得到 **1938** 年諾貝爾物理獎**)**。當費米用中子轟擊週期表上最後的天然元素～～鈾，他認為可能得到超鈾元素**(**即原子序大於 **92** 的元素**)**，但實驗的結果卻發現，反應後的產物不只一種，且質量都與鈾不接近。費米對這樣的結果感到困惑，雖然德國科學家若達特，曾太膽認為鈾原子核發生分裂了，但是這種想法，不為費米所接受。就在此時，德國著名的分析化學家哈恩，與麥特納以及奧國人的夫瑞許，進行相同的實驗，並分析出產物為銀，因此哈恩認為鈾原子核吸收中子後，分裂為兩個重量相近的不同原子核。其中一個反應式如下所示

$${}^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{138}_{56}Ba + {}^{95}_{36}Kr + \mathbf{3}\,{}^{1}_{0}n$$

哈恩的這項發現，一方面正式宣告核分裂時代的來臨，另一方面也為他得到諾貝爾化學獎。

註：第 **2** 次世界大戰期間，美國為了提早結束這場戰爭，集合以美國物理學家歐本海默**(**被譽為原子彈之父**)**、義大利物理學家費米為首的眾多科學家與工程師，於 **1942** 年 **12** 月 **2** 日在芝加哥大學建立了人類史上第一個進行核分裂的原子，並在 **1945** 年 **7** 月 **16** 日，在美國新墨西哥州的沙漠中，成功試爆了第 **1** 枚殺傷力極大的原子彈。

2.核能：核分裂過程中，總質量發生減少，但釋出大量的能量。若反應過程中減少質量為 $\Delta\mathbf{m}$，則釋出的能量 $\mathbf{E=\Delta mc^2}$，式中 **c** 為光速。

註：當總質量減少 **1 a.m.u.**時，釋出的能量為 **931.5** 百萬電子伏特**(MeV)**。

※例：現以核分裂反應 ${}^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{133}_{51}Sb + {}^{95}_{39}Y + {}^{4}_{2}He + \mathbf{4}\,{}^{1}_{0}n + \gamma$　為例，

各粒子的質量分別為

${}^{235}_{92}U$ ＝**235.124 a.m.u.**、${}^{1}_{0}n$ ＝**1.00898 a.m.u.**、${}^{133}_{51}Sb$ ＝**132.931 a.m.u.**、

${}^{95}_{39}Y$ ＝**94.9441 a.m.u.**、${}^{4}_{2}He$ ＝**4.0038 a.m.u.**

此分裂反應之質量減少為 **0.215 a.m.u.**，對應釋出的能量為

0.215×931＝200 百萬電子伏特＝$\mathbf{3.2\times10^{-11}}$ 焦耳

若考慮 **1** 公克的鈾 **235** 時，則放出的能量為

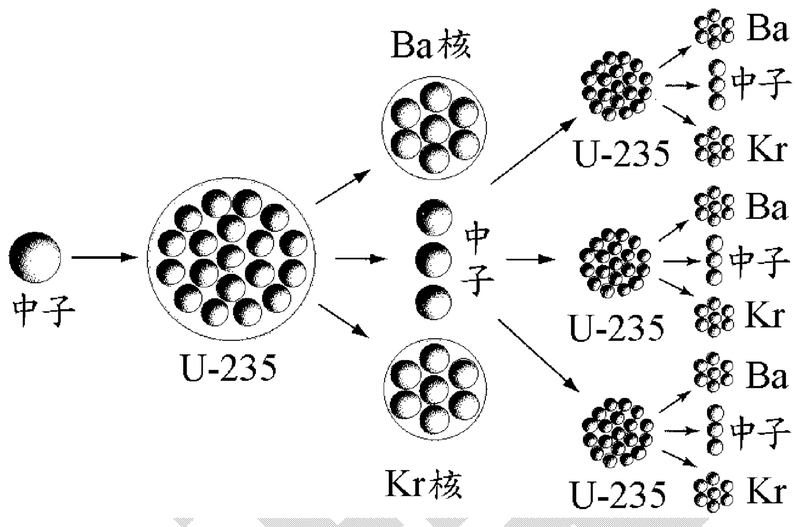
$(1/235)\times 6.02\times 10^{23}\times 3.2\times 10^{-11}\fallingdotseq 8.2\times 10^{10}$ 焦耳

註：已知 **1** 公斤的煤，釋放的熱量約為 2.5×10^{7} 焦耳，要產生與 **1** 公克鈾 **235** 分裂釋出的能量相同時，所需的煤為

$$\frac{8.2\times 10^{10}}{2.5\times 10^{7}}\fallingdotseq 3.3\times 10^{3}$$ 公斤或 **3.3** 公噸。

3.連鎖反應(鏈式反應)：

當慢中子碰撞鈾 **235** 時，會使鈾 **235** 發生分裂反應，其反應式如下



$$^{235}_{92}U+\mathbf{n}\rightarrow \mathbf{X}+\mathbf{Y}+\mathbf{b\ n}$$

式中 **X**、**Y** 表示分裂時，產生的新原子核；**b** 為分裂過程釋出中子的平均數。當新產生的中子再度碰撞其他的鈾 **235** 時，會釋出更多的中子與能量，這種反應稱為連鎖反應(鏈式反應)。

註：**a.**快中子與慢中子：

核分裂過程中所釋出的中子其動能太大(稱為快中子，其動能約為 **2MeV**)，無法造成連鎖反應，必須利用減速劑(如水、重水)使其降速為慢中子(或熱中子，其動能約為 **0.025eV**)後，才能造成連鎖反應。

b.連鎖反應兩次碰撞間的時間極短，約為 2×10^{-14} 秒。

c.反應速率的控制：

當慢中子的數量愈多時，核反應速率也愈快，因此要控制釋放能量的速率，就必須控制慢中子的數量。一般是利用可吸收慢中子的物質(如鎘、硼、鈴)，來控制核反應的速率。

4.核融合(核聚變)：

兩個較小質量的原子核，結合成為一個較大質量原子核及其他粒子的反應，稱為核融合(或核聚變)。核融合反應是宇宙中恆星能量的主要來源，如在太陽中所進行的質子-質子鏈(**p-p cycle**)反應，就是一種核融合反應，其反應過程如下

$2\,^{1}_{1}H+2\,^{1}_{1}H\rightarrow 2\,^{2}_{1}H+2\beta^{+}+2\nu$；$2\,^{2}_{1}H+2\,^{1}_{1}H\rightarrow 2\,^{3}_{2}He+2\gamma$；

$2\,^{3}_{2}He+2\,^{3}_{2}He\rightarrow 2\,^{4}_{2}He+2\,^{1}_{1}H+2\,^{1}_{1}H$

式中 $^{2}_{1}H$：氘，ν：微中子，β^{+}：正電子。

將三式相加，得 $6\,^{1}_{1}H\rightarrow\,^{4}_{2}He+2\,^{1}_{1}H+2\beta^{+}+2\nu+2\gamma+25\text{MeV}$

由上式知，當 **4** 個質子($^{1}_{1}\text{H}$)合成為 **1** 個氦原子核($^{4}_{2}\text{He}$)時，會放出 **25** 百萬電子伏特的能量。

註：**a.**要使兩個質子接近至核力發生作用(相距約 10^{-15} 公尺)，而變成 $^{2}_{1}\text{H}$ 時，質子動能必須能克服庫侖靜電斥力的位能

$$\mathbf{U}=\frac{9\times 10^{9}\times(1.6\times 10^{-19})^{2}}{10^{-15}}\fallingdotseq 2\times 10^{13}$$ 焦耳

若質子的動能來自熱運動，令其絕對溫度為 **T**，則

$$2\times 10^{-13}=\frac{3}{2}k_{B}T=\frac{3}{2}\times 1.38\times 10^{-23}\times T$$，得 $T\fallingdotseq 10^{10}\ \text{K}$。

此溫度比太陽內部的溫度還要高。實際上，考慮量子力學中特殊效應，發生融合的溫度只要 10^7 K 即可，但不論是 10^{10} K 或是 10^7 K，都說明了利用氫的融合反應會有多大的困難了。

b.核分裂與核融合的比較：

鈾的核分裂產物，具有強烈放射性，而氫的核融合反應產物，則無放射性。因此理論上，以氫的核融合反應來發電，應該是最好的選擇(一來燃料取之不盡，二來乾淨無污染)，但如前文所示，氫的核融合反應，必須在極高溫度與極大壓力下進行，且其產生的能量會在極短時間內釋出，很難控制其反應速率，因此，直到目前為止，所有的核能發電廠仍然是以污染度高的鈾核分裂，來進行發電。

※核能發電

例 13.一般核能電廠利用鈾同位素之核分裂產生之能來發電。下列有關此核反應之敘述，何者正確？ (A)所使用的鈾同位素為 $^{235}_{95}U$ (B)所使用的鈾同位素需受到質子的撞擊才能分裂 (C)此核分裂反應中，反應物之質量大於生成物之能量 (D)所使用的鈾同位素，每一莫耳分裂後所產生之能量，大約為燃燒一莫耳的碳所產生熱能的一萬倍 (E)此核分裂所放出的能量，主要來自分裂前後參與反應或所產生原子之電子組態之大幅改變。答：(A)(C)

類 1.關於核能發電，下列敘述何者正確？ (A)核反應時損失之質量轉化成能量用以發電 (B)收集原子核放射之電荷用以發電 (C)核反應時，原子外圍之電子全體釋出，收集後用以發電 (D)收集原子核中之中子動能加以發電 (E)以上皆非。【83 推甄】答：(A)

類 2.核電廠以鈾 235 爲燃料，以慢中子促使其分裂，利用這種核分裂反應所釋出的能量來發電。有關反應事件的敘述，何者錯誤？ (A)原子經過核分裂反應，反應前後的原子種類改變了 (B)有的反應生成物，帶有很強的輻射性 (C)比起煤或石油來，核燃料只以很少的質量就可產生很大的能量 (D)這種反應生成物的輻射性，經過低溫冷處理即可清除。【84 推甄】答：(D)

類 3.現行核能發電之技術，包含下列哪些物理過程？ (A)原子核分裂 (B)原子核融合 (C)熱能轉換成機械能 (D)核能轉換成熱能 (E)利用電磁感應發電。答：(A)(C)(D)(E)

類 4.有一天小明和小華騎機車超速，被警察攔了下來，警察說：「騎那麼快不怕死嗎？」

小明說：「不會呀！因爲上帝與我同在！」

警察又說：「那我要加開一張罰單」

小明說：「Why？」

警察說：「三人行，超載！」

※人工核反應

例 14.完成下列人工核反應式：

(1) ${}^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}\text{n} \rightarrow {}^{141}_{56}\text{Ba} + {}^{92}_{36}\text{Kr} +$ _____

(2) ${}^{14}_{7}N + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{17}_{8}\text{O} +$ _____

(3) ${}^{9}_{4}Be + {}^{4}_{2}He \rightarrow$ _____ $+ {}^{1}_{0}\text{n}$

(4) $2\,{}^{1}_{1}H + 2\,{}^{1}_{0}n \rightarrow$ _____ 答：(1) $3\,{}^{1}_{0}\text{n}$；(2) ${}^{1}_{1}H$；(3) ${}^{12}_{6}C$；(4) ${}^{4}_{2}He$

類 1.以 α 粒子撞擊氮原子核 ${}^{14}_{7}N$，其核反應可用下式表示（α 是 ${}^{4}_{2}He$；p 是質子）$\alpha + {}^{14}_{7}N \rightarrow$ O+p：則產生的氧原子核是下列的哪一種？ (A) ${}^{15}_{8}O$ (B) ${}^{16}_{8}O$ (C) ${}^{17}_{8}O$ (D) ${}^{18}_{8}O$ (E) ${}^{19}_{8}O$。【89 推甄】答：(C)

類 2.在下列質子撞擊氮核之反應中：${}^{1}\text{P} + {}^{15}\text{N} \rightarrow \text{X} + {}^{4}\text{He}$

所產生的 X 原子核為_____。（請寫出元素符號，原子序及質量數）【84 日大】答：${}^{12}_{6}C$

類 3.完成下列反應式：原子核作 α 粒子衰變，反應 ${}^{232}_{90}Th \rightarrow {}^{4}_{2}He +$ ？答：${}^{228}_{88}Ra$

類 4. ${}^{238}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow \text{A} \rightarrow {}^{0}_{-1}\beta + {}^{239}_{93}Np$，則 A 核為下列何者？ (A) ${}^{234}_{90}Th$ (B) ${}^{235}_{92}U$ (C) ${}^{239}_{90}Th$ (D) ${}^{239}_{92}U$。答：(D)

類 5.碳 14 同位素的生成是宇宙射線中高能量的中子撞擊氮 14 核而產生的，寫出此過程的核反應式。

答：${}^{1}_{0}n + {}^{14}_{7}N \rightarrow {}^{14}_{6}C + {}^{1}_{1}p$

類 6.鈽 239 核捕獲一中子後，分裂為兩個核，且放出三個中子，這兩個核其中一個是碲 137，另一個原子核是什麼？寫出此核反應式。答：${}^{1}_{0}n + {}^{239}_{94}Pu \rightarrow {}^{137}_{52}Te + {}^{100}_{42}Mo + 3\,{}^{1}_{0}n$

吳錫玠物理

※核能

例 15.鈾 235 的分裂：${}_{0}^{1}n+{}_{92}^{235}U\rightarrow{}_{56}^{143}Ba+{}_{36}^{90}Kr+3\cdot{}_{0}^{1}n$，其中各原子核的質量分別為

${}_{92}^{235}U$：235.043924u，${}_{56}^{143}Ba$：142.920483u，${}_{36}^{90}Kr$：89.919528u，${}_{0}^{1}n$：1.008665u，求

(1)一個鈾 235 分裂後所釋放的能量為何？

(2)若 1kg 的碳燃燒釋放出的能量為 3.29×10^{7} 焦耳，則 1kg 的鈾所釋放的能量為碳的幾倍？

答：(1) 2.78×10^{-11} J；(2) 2×10^{6}

類 1.核反應 ${}_{2}^{4}He+{}_{7}^{14}N\rightarrow{}_{8}^{17}O+{}_{1}^{1}H$，已知反應前後各粒子的質量為

${}_{2}^{4}He$：4.00260u，${}_{7}^{14}N$：14.00307u，${}_{8}^{17}O$：16.99913u，${}_{1}^{1}H$：1.00783u

(1)反應物的總質量與生成物的總質量，何者較大？答：生成物較重，重 0.00129u

(2)反應物不足的質量必須由何者提供？答：α 粒子的動能

(3)欲產生此一反應，所需 α 粒子的最小動能為何？答：1.92×10^{-13} J

類 2.核能電廠的核反應器內由於不斷的進行核反應，結果核燃料減少了 1 公克的質量。假設減少的質量全部轉換成電能，則可產生_____度的電能。（已知光速 c＝3×10^{8} 公尺/秒，1 度電能＝1 瓩-小時）【89 推甄】答：2.5×10^{7}

類 3.在核能發電過程中，產生 E 的能量，則核燃料的質量將減少多少？

(A) $\frac{E}{c}$ (B) $\frac{E}{c^{2}}$ (C) $c^{2}E$ (D) cE。答：(B)

類 4.以一個 α 粒子撞擊鈹產生核反應 ${}^{4}He+{}^{9}Be\rightarrow{}^{12}C+{}^{1}n$，它們的質量 ${}^{4}He$ 為 4.0026 a.m.u.，${}^{9}Be$ 為 9.0122 a.m.u.，${}^{12}C$ 為 12.0000 a.m.u.，中子 ${}^{1}n$ 為 1.0087 a.m.u.（1a.m.u.＝1.66×10^{-27} 公斤），則反應後 ${}^{12}C$ 與中子之動能和比 α 粒子之入射動能約多出：(A) 10^{-4} 焦耳 (B) 10^{-6} 焦耳 (C) 10^{-12} 焦耳 (D) 10^{-18} 焦耳 (E) 10^{-20} 焦耳。【79 日大】答：(C)

類 5.α 粒子就是氦的原子核，由兩個質子和兩個中子所組成。已知質子和中子的質量分別為 1.6726×10^{-27} kg 和 1.675×10^{-27}，而 α 粒子的質量為 6.6466×10^{-27}。若欲將 α 粒子內的 4 個核子分離開來，最少需要多大的能量？答：27.3MeV

※核融合

例 16.氘核與氚核融合的反應式：${}_1^2H+{}_1^3H\rightarrow{}_2^4He+{}_0^1n$，式中各粒子的質量分別為

${}_1^2H$：2.014102u，${}_1^3H$：3.016050u，${}_2^4He$：4.002603u，${}_0^1n$：1.008665u，求

(1)反應前後的總質量差？答：0.018884u

(2)可釋放的能量？答：2.826×10^{-12} J

(3)1 公斤鈾 235 分裂所產生的能量為7.12×10^{13}焦耳，則氘核與氚核融合時 1 公斤反應物所產生的能量應較大或較小？答：核融合較多(核融合可產生3.38×10^{14} J)

類 1.氘核對氘核的融合反應式爲${}_1^2H+{}_1^2H\rightarrow{}_2^3He+{}_0^1n$，兩氘核之間的距離必須小於$1.0\times10^{-14}$ m，兩者之間的核力才能克服庫侖斥力。

(1)計算在此距離時，兩者之間的電位能。

(2)兩氘核需有足夠的動能以克服此位能，若每個氘核的動能以 kT 來估算，求所需的溫度。

答：(1) 2.3×10^{-14} J；(2) 5.6×10^{8} K

類 2.在太陽內部進行的核融合反應，其系列過程的反應式分別爲

${}_1^1H+{}_1^1H\rightarrow{}_1^2H+{}_1^0e+{}_0^0\nu$

${}_1^2H+{}_1^1H\rightarrow{}_2^3He$

${}_2^3He+{}_2^3He\rightarrow{}_2^4He+{}_1^1H+{}_1^1H$ 三式，

求整個過程的淨反應式。答：$4{}_1^1H\rightarrow{}_2^4He+2{}_1^0e+2{}_0^0\nu$

類 3.有關核能之下列各項敘述中，何者爲正確？ (A)${}_{92}^{238}U$ 與中子撞擊後可產生核分裂之連鎖反應 (B)${}_{94}^{239}Pu$ 可由${}_{92}^{235}U$ 與中子撞擊後連續放出二個 β 粒子後即可獲得 (C)核融合是由較輕之核融合而成較重之核的反應，且必需在極高溫下進行 (D)氘核融合可氦核並放出鉅大能量 (E)核能的釋放不一定涉及核反應中核子質量的耗損。答：(C)

類 4.下列有關核反應的敘述，何者正確？ (A)核反應遵守能量守恆定律 (B)核反應遵守電量守恆 (C)核分裂反應後，總質量減少 (D)核融合反應後，總質量增加 (E)核融合的反應溫度比核分裂高。答：(B)(C)(E)