

漢譯世界名著

新鍊金術

盧德福著
葛培根譯

商務印書館發行

漢譯世界名著

新鍊金術

Lord Rutherford 著
葛培根譯

商務印書館發行

目 次

放射性蛻變.....	2
基本質點	
高速質點的檢查.....	10
膨脹法 電的方法	
α 質點所產生的元素轉變.....	17
中子的發現 放射體的產生	
人工方法轉變.....	28
結論.....	40

新鍊金術

在這次講演中，作者想把近來元素轉變的研究情形簡單敘述一下。所取题目的意義，就是針對着兩千餘年來對人類具有非常魔力的舊式鍊金術作一個對照。早在西歷紀元初年的時候，人們就有一種信念，以為物質可以轉變。中世紀的時候，人們還不斷的追求點金石，想把一種元素轉變成另外一種元素，尤其是想把普通金屬變成金與銀。這種觀念所以能夠長時期存在，大半是受了亞力斯多德的物性哲學的影響。依他的說法，所有的物體都是由一種相同的原始物質以及土、風、水、火四種元素所形成。這四元素之所不同的，僅僅是他們具有冷、濕、熱與乾各種性質在程度上的不同而已。加多或減少這幾種物質性的程度，物質的性質就會改變。鍊金家既然有了這種概念，所以他們覺得，祇要找到適當的方法，就可以將一種物質轉變成另一種物質。在有化學的初期，那時候化學化合方面的知識還知道得很少，有些物質因為化學作用而改變了牠們的外形同性質，這些事實都足以支持他們的信念。過些時候，竟有人聲稱他們發現了這個大祕密，但是我們絕對不相信他們曾製造出一絲一毫金子來。我們倘若用現在的眼光看回去，可以知道，要想那樣輕而易舉的去令元素轉變是不會有希望的，除非是靠了實驗家去探求。由於實驗科學的發展和化學知識的不斷進步，物質轉變的觀念纔被擯棄，而歇止了牠對於知識進步的影響。不過舊的鍊金術觀念在一般人的腦子中還是固

持着，那些自欺欺人的甚至還聲稱他們已經有了祕訣，用轉變方法去大量製造金子。這種騙人的妄言，常常因為他們的巧妙說法，而使人家說服，甚至於有一個時期弄得那些最頑固的財政家也坐臥不安。我們知道，用新的方法去產生極少量的金子是可能的，不過要用價值更貴的鉑作為原料去轉變。

由於化學知識的進步，舊的元素轉變的概念已經站不住腳了。我們已經知道，所有的物質可以分解成八十幾種或者更多不同的元素。這些元素的原子是永恆不變的，不可毀滅的。凡是我們可能支配的一些普通的物理和化學力量，無論如何也不能改變元素的原子，但是這種原子永恆不變的觀念在一九〇二年受到了一個強烈的打擊，因為那時候發現有兩種有名的元素，鈾同釷的原子，確確實實是有蛻變的現象，不過蛻變的速度非常慢而已。這兩種重元素可以放射有透射性的射線，可以使照相底片感光，並且可以會帶電體放電。由這兩點便發現了放射現象，同時得到一個結論，就是原子可以轉變。這種放射現象，就表示原子的不安定性。當一個原子極劇烈的分裂時，就放出一個高速 α 或 β 質點， α 質點是帶電的氦原子，質量為四，牠射出的速率大約每秒一萬英里。 β 質點就是普通質量極輕的負電子的一個別名，牠射出的速度更快。有時候，在蛻變的程序中還隨同產生一種有透射性的，屬於 X 射線一類的 γ 射線。

放 射 性 蛻 變

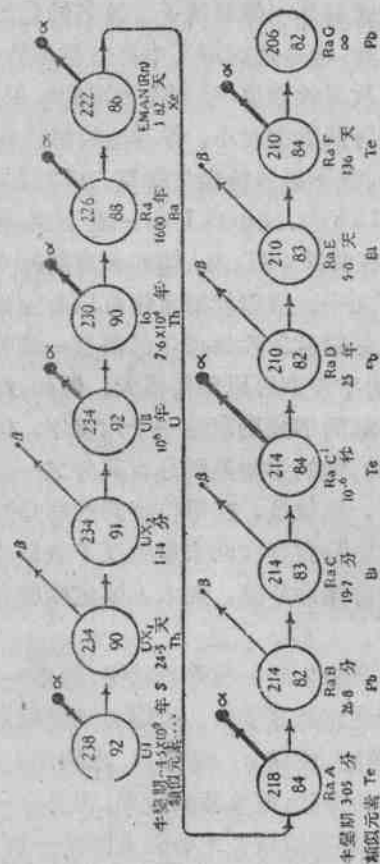
假若我們有一克鈾，那麼每秒鐘內大概有兩萬四千個原子分裂並且放出 α 質點。但是一克鈾元素中的原子也是太多

了，僅僅半克的鈾要用這種速度去蛻變，就約需四十五萬萬年。當質量為 238 的鈾原子放出一個質量為四的 α 質點後，結果生成一個原子質量為 234 的新原子。這個新元素的原子也非常不安定，牠很快的再度分裂，每個原子放出一個高速 β 質點。這種蛻變程序，一經開始，就會繼續許多階段，每一個不安定的原子又會變成另外一個新原子。著名的鐳元素就是從鈾開始蛻變而得來的，牠是鈾蛻變系中第五個產物。

放射性物體的放射性強度，要看牠放出的輻射而定，放射性強度與時間成幾何級數而減小。假若牠的強度在時間 T 內減小到一半，這時間我們也叫牠做半變期，在時間 $2T$ 內，牠便減小到 $1/4$ ，在時間 $3T$ 內，減小到 $1/8$ ，一直下減。我們可以很容易的計算出來，在時間 $20T$ 內，牠的強度將減小到不及牠原來數值的百萬分之一。這個放射定律可以普遍適用於所有放射性物體，不過每種放射性物體自己都有一個特定的半變期，而且各種元素的半變期可以差得很大。例如，鈾的半變期是四十五萬萬年，鐳的半變期卻是一千六百年，但是鐳有一個產物名叫鐳 C' 的，牠的半變期祇是百萬分之一秒。這個定律說明了一個事實，那就是，在單位時間內所分裂的原子的數目，平均總是與當時尚存在而未變的原子數目成比例。假若每個原子都依機會律而分裂，那末上述定律應為當然的結果。

鈾的蛻變系中所發生的一些奇妙結果，如第一圖所示，圖中各圓圈表示連續生成的原子核。蛻變的半變期寫在各圓圈的下面，放射出的質點，或為 α ，或為 β ，也指示出來。要準確討論這蛻變系成立的方法，需要時間太多，但是有一點值得我們注意的，就是連貫整個蛻變系中各個關係的一個簡單性。

我們知道，一個元素的化學性質是被牠的原子序數所決定的，原子序數乃表示原子核中電荷的自然單位，因為電也是有原子性的，所以原子核的電荷總是用整數表示，這個數目從最輕元素氫的 1 直到最重元素鈾的 92。每個原子的原子序數，以及牠的原子質量（以氧等於 16 為標準）均寫在圈中。



第一圖 鈾系元素。含圓圈內上方的數字代表原子質量，下方數字表示原子序數及核電荷。粗箭號的長度表示 α 質點所能通過的相對距離。

α 或 β 質點都是從原子核本身放出。假若放出的是帶兩個單位正電荷，質量是四的 α 質點，那麼剩餘的原子核的原子序數便減小兩個單位，同時質量減小四個單位。反之，若放射出的是 β 質點，因為 β 質點帶一個單位負電荷，所以核電荷結果增加一個單位。又因為 β 質點的質量極輕，所以新原子的質量大致可以說跟原來一樣。根據這幾種輻射性質，我們得到幾條簡單的結論。並且可以用牠圓滿解釋這長蛻變系中所有元素的原子序數和質量。現在質量與能量之間的相當關係已經成立。設若已知釷的原子質量，那麼祇要知道 α 質點（氦核）的精確質量，以及放射出的 α 質點或 β 質點的動能極大值，便可以準確的算出蛻變系中所有原子的原子質量。這蛻變系的最後產物已不再有放射性，牠的原子序數與鉛完全相同，不過原子質量是 206 與普通鉛的 207.2 不同。

我們現在知道得很清楚，大多數的元素都是一些同位素的混合物。同位素就是具有相同的核電荷，而質量不同的原子。愛斯通（Aston）告訴我們，普通鉛至少含有三種同位素，牠們的原子質量是 203, 207, 208，其中以 206 的存量最多。釷系的最後產物，我們普通稱為釷鉛，就是普通鉛的同位素之一（203）。從一個年代久的釷礦中分出的鉛，主要是鉛同位素 206。我們還要注意的，釷系中還有兩個鉛的放射性同位素，原子序數都是 82，那就是質量為 214 的鐳 B 和質量為 210 的鐳 D。

這裏還應該提到的，就是元素釷和錒也有一個類似的長蛻變系，釷系的最後產物，也是一種鉛的同位素，質量是 208，而不是 206 的釷鉛。從一個純釷礦所分出的鉛，主要是同位素 208。錒系的最後產物，也是一種鉛的同位素，不過質量是

207。很明顯的，三個蛻變系的最後產物都是鉛的同位素，不過牠們的原子質量不同而已。

這些連續產生的放射性元素，牠們的化學性質和物理性質的特殊變化，我們可以用鐳的蛻變為例去說明。鐳在純粹狀態時是金屬，牠的化學性質與鋇相似。牠以 1600 年為半變期分裂放射出 α 質點，結果自己變成一種極重的放射性氣體，鐳射氣，我們現在叫牠氡。這種氣體的性質不活潑，根據這一點我們應該把牠歸到著名的惰氣族裏面去，氦、氖、氬等都是惰氣，不過這個射氣的原子比起鐳原子來還要不安定。在 3.8 天內便有一半分解。這種強放射性我們可以用一個簡單的實驗去說明。用十分之一立方毫米的鐳射氣，在普通壓力下使牠進到一個抽空的玻璃器中，玻壁上塗有熾光性硫化鋅，器中立刻發生明亮火花，因為大量的 α 質點在鐳射氣分解時放射出來，劇烈的轟擊到硫化鋅上所產生。

我們還應牢記的，就是原子轉變時所放出的能量，主要是變成 α 及 β 質點的動能，這種動能比最利害的炸藥中每個原子所放出的能量還要大。假若我們取一克純粹的鐳鹽，把牠裝在一個玻管中，那麼從鐳和鐳的產物放射出的 α 質點就被鐳鹽本身或者被玻壁吸收，結果牠們的運動能量自然而然的完全變成熱能。有一部份高速 β 質點以及大部份 γ 質點都穿過玻壁。由於放熱的結果，我們發覺裝有鐳的玻管，牠的溫度常常比牠週圍要高幾度。放熱的程度將隨時間而減弱，直到減小到一半的時候，需要一千六百年。 α 質點在穿過物質的時候，失去牠的速度，最後又失去牠的電荷，變成普通氦原子。我們祇要將鐳鹽加熱或者溶解，氦就可以放出來。放射性物體的龐大放熱量，最好用一個變化更快的生成物去說明，例如鐳射

氣，牠的半變期是 3.8 天。從第一圖可以看到，當射氣放射出一個 α 質點以後，便產生四個變化極快的產物，鐳 A，鐳 B，鐳 C，和鐳 C'，其中有兩個放射 α 質點，兩個放射 β 質點。當鐳射氣通到一個封閉的玻璃管中幾小時以後，鐳射氣與牠的四個生命極短的產物之間便達到一種平衡狀態，於是產物的放射強度便隨着射氣的蛻變而變化。經過一兩個月以後，差不多所有的射氣都完全成了鐳 D，鐳 D 的半變期比牠的蛻變產物鐳 E 和鐳 F 都長（二十五年），以至於這些產物的蛻變又要受鐳 D 的半變期的影響了。

設若我們假想能獲得一公斤鐳射氣，將他通到一個抗熱的封閉器中去，過了兩小時以後，放出的熱約相當於兩萬仟瓦。除非將盛器極端充分的冷卻，否則牠一定會熔化。這種放熱效應也隨射氣的蛻變而漸漸減弱，過了 3.8 天便減弱到一半。兩個月以後大部份的鐳射氣都消失了，封閉器內所剩的全是從 α 質點衍生出來的氦氣，牠的容積為原來鐳射氣的三倍，同時在盛器的四壁還覆有一層鐳 D，共重 946 克，鐳 D 是一個蛻變較慢的鉛的放射性同位素，原子量是 210。假設我們將實驗繼續作兩百年，那麼鐳 D 將大部份消失，而變成一種不活潑的鉛同位素，原子量為 206 的鐳鉛。由於鐳 F 也放射 α 質點，氦的體積結果增加成原來的 $4/3$ 倍。

最值得我們注意的，就是這一系列的最後產物，鐳 F，或是普通所稱的鈾，乃是一八九七年居里夫人從鈾礦中分離出來的第一個放射性元素。

根據前面所列出的，我們當然可以相當有把握的指出這樣一個實驗中的一切結果，可是實際上卻是不可能的，因為供給一公斤的射氣，大約須要兩百噸鐳，而現在全世界所分離出

來的鐳大概總量還不到一公斤。我們不能做這個大規模的實驗也是幸事，否則那種龐大的能量放射，放射出相當於一千仟瓦的透射性 γ 射線，對於附近人士的健康，必有極大的影響。

不過我希望這種假想的實驗可以給讀者一個印象，知道放射變化中放射能量的龐大，以及鐳射氣變成氦和鐳鉛這個過程的激烈。所有這些放射性蛻變都是瞬時的，不可控制的，極熱和極冷都不能對這種自然程序發生絲毫影響，我們僅僅祇能夠注視着或者去研究這種奇妙的變化，但是我們絲毫無法去改動牠們。

這種放射變化的程序在兩個最重的元素，鈾同釷中表現得最明顯，在另外幾個元素中也微微有這種放射現象，不過大多數的元素通常均不表現絲毫放射性。所以我們有理由下一個結論說，這些元素的原子在我們地球上的普通情況下，永遠是安定的。最近幾年來，我們發現了種種方法，不但可以用人工方法將一個元素轉變成另外一個元素，並且可以製成許多新的放射性元素。這些放射性元素也是根據天然放射性元素的變化定律而變化。這方面的知識可以說是多年來熱烈研究所得的結果，也可以說是研究物理學中這種最基本問題的有力量，新的研究方法發展的結果。

基本質點

由於放射性物體的蛻變，我們知道重原子核的成份大概是高速度 α 質點和 β 質點。後來對於普通元素的轉變知識加以研究後，纔確定還有幾種基本質點存在。這些質點都是原子核爆裂的時候放出來的，最重要的是質子，中子，重質子及正電子。質子就是電荷為一，核質量為1.0076的氫原子核的

一個別名。中子是一個不帶電荷的質點，質量比質子稍大，即1.0090，我們知道，這兩種質點，質子與中子，是互相有密切關係的，而且我們相信，由於原子核中存在着一種龐大的能量，我們可以將中子去掉一個負電子變成一個質子。反之，將質子加上一個電子，便變成一個中子。不過這種互相變化我們還沒有確實的證明，由一些普通的現象中，我們相信這兩種質點間是有相當連繫的。假設中子是質子與電子的密切結合體，乃是非常自然的事情，不過要解釋這兩種質點的質量差，還是相當困難。（此問題近來已由我國鄔保良教授之靜核構造理論圓滿解釋——譯者註。）

α 質點是帶兩個電荷的氦核，牠的核質量是4.0029。尤賴（Urey）不久以前發現普通氫中總有少量質量為二的氫同位素存在，這一個發現對於物理學與化學都有極大的重要性。若將普通水不斷的電解，便可以得到純粹重水，其中質量為一的氫被質量為二的氫同位素所取代。這種水約比普通水重百分之十一，而且牠的冰點，沸點也都與普通的不同。重氫的化學符號是D。在重氫中放電，於是便有些重氫原子失去一個負電子，變成一個帶正電荷的游子，這些游子就名「重質子」。我們知道，普通氫的游子，名叫「質子」。因為這兩種游子常常被用作高速質點去轟炸物質，所以需要有不同的名字去區別一下。我們將要看到，高速質子和高速重質子，也如同 α 質量和中子一樣，拿去轉變許多元素都非常有效。由直接實驗所得的現象，也告訴我們，重質子是質子和中子的密切結合體。

質量極小，與負電子相反的正電子，也有時在一些轉變作用中出現。這個不可揣摸的質點，乃是安德生（Anderson）幾年前作宇宙線實驗的時候最先發現的。我們現在可以在實驗

室中通高能量 γ 射線於物質，以產生少量正電子。當某些種輕元素被 α 射線轟炸時也可以放出正電子。正子一名，常常用以代替正電子，我們都認為牠的質量也是同負電子一樣輕，不過電荷相等而相反。

另外兩個相當輕的元素，或者也可以說是氫同氦的新同位素，那就是 ^3H 及 ^3He ，他們也在某些轉變作用中出現。這兩種同位素都非常安定，不過在普通物質中還沒有發現過。最初有人認為 ^3H 在製備重水的時候存在，但是後來的研究也並沒有證明這一點。

高速質點的檢查

我們知道，從放射性物體內放出的輻射，都有一種特殊性質，牠們可以使帶電體放電。因為高速 α 或 β 質點在通過一種氣體的時候，能夠產生許多帶正電和帶負電的質點，也就是我們通常所稱的游子。這種電離作用實際上乃是由於高速質點的衝擊，將原子或分子的外層電子移去的結果。於是這些游子在氣體中依電場方向運動，正游子向負電極移動，負游子則反之。這兩種游子反方向的運動情形與通過氣體的電流有關。

在發現放射現象的初期，大家都是利用這種電的方法去研究或比較放射性物的效應，他們用驗電器或靜電計為量度的工具。這種電的方法，用去檢查少量放射性物質非常方便，現在要測量比較容易量的效應的時候，仍舊用這個方法。

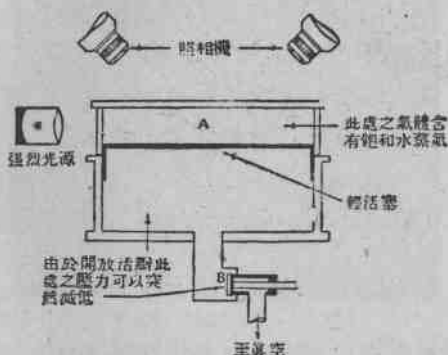
近年來，元素轉變的知識所以有劇速的進步，大部份是由於發現了檢查及計數高速單個原子的有效方法的緣故。這些

方法主要還是根據質點通過氣體時的電離作用。

膨脹法

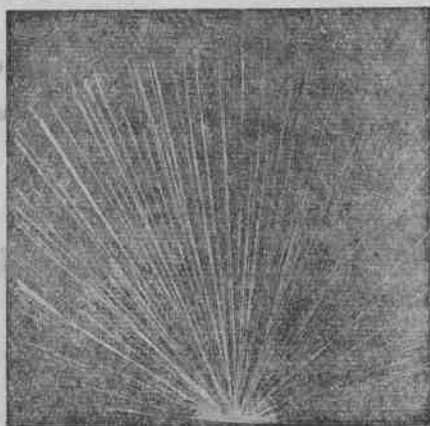
這些方法中最奇異的要算是威爾生教授(Prof. C. T. R. Wilson)所發明的方法了,他的方法的原理是由於高速質點所產生的游子,在某種情形下可以當作水蒸氣的凝結核。於是每個游子便變成一滴水的中心。因為每一個高速 α 質點可以在氣體中產生十萬對以上的正游子和負游子,所以這些飛躍而過的質點在氣體中的徑跡(track)就變成一條可以看得見的水線了。膨脹以後再用實體照相機將這徑跡照下來,可以清楚的看出牠在空間中的位置。

這個方法所用的儀器名叫「霧室」(cloud chamber)或者「膨脹室」,如第二圖所示,圖旁並附有註釋。霧室乃是一



第二圖 威爾生膨脹室由於下方壓力之減低,輕活塞突向下降落。活塞上部之氣體(A),先膨脹,後冷却,使成過飽和水蒸氣。此種水蒸氣即在帶電質點(游子)上凝結為小水滴,室內情形經玻璃壁可用光線照明,室內之水滴所散射之光可用上方之照相機攝影之。

個圓柱體，A 處充滿飽和水蒸氣。例如，設若在膨脹的時候，有一個 α 質點通過這氣體，又當膨脹調節到了適當的時候，在 α 質點通過的路線上，每一個游子就變成凝結中心，於是質點的徑跡便清楚可見了。 α 質點所產生的徑跡就如照片一所示。此處的 α 質點乃是從曝露到鈾射氣中去過的一小塊金屬所產生，這塊金屬是放在膨脹室的裏面。這金屬表面上留有極薄一層鈾 C 和鈾 C'。鈾 C' 所放射的 α 質點速度極大，牠在空氣中的射距是 8.6 厘米。鈾 C 射出的 α 質點的射距較短 (4.8 厘米)，在照片上可以看出牠與那些高速 α 質點的徑跡混在一起。



照片一 (蔡德維教授攝)

從鈾 (C+C') 放射出的 α 質點的徑跡，兩組在空氣中的射距各為 8.6 與 4.8 厘米。

大多數 α 質點在氣體中都是走直線，徑跡的終點表示 α 質點的速度已降低到一個極小值，小到不足以再產生游子。 β 質點通過氣體時的徑跡，與較重的 α 質點的徑跡又有些顯著

的不同。第一， β 質點的路線不是那樣稠密，因為 β 質點在單位路程上的電離能力較小的緣故，這一點很容易從照片二中 β 質點所產生的徑跡看出來。高速 β 質點的直線徑跡，就在那些連續的點滴上表示出，這些點滴互相分離得相當遠，甚至一一可數。再者，輕 β 質點比同速度的 α 質點容易變得偏斜，因為 β 質點在牠的路程上會與原子相撞。這一點可以從照片上那些較短的歪曲的徑跡看出，這些徑跡的終點處特別寬，因為 β 質點的速率減低，而同時電離作用加強的緣故。



照片二（威爾生教授攝）

射距約為一厘米的光電子的徑跡，牠們是由鎢的 K 輻射所產生。（能量約為21,000伏特）直徑跡是含更高能量的電子生成，或者是宇宙輻射所致。

照片三上的 β 射線的徑跡比較有趣，牠表示 β 質點在通過氣體的時候所發生的一些非常事變。從左邊開始的一條長路程，很尖銳的轉了一個直角。這時因為 β 質點撞到了一個重原子核的結果。從主路線分歧出來的短路線，乃是 β 質點撞擊到某些原子所產生的副電子（secondary electron）的路線。

這些飛躍而過的 β 質點的能量和速度，可以直接在一個均勻的磁場中量度牠的徑跡的曲率而定，假若場與牠的運動方向垂直，那麼 β 質點走圓周，假若場的強度大，而 β 質點不頂快，那麼 β 質點在氣體中所產生的徑跡可以連續畫幾個圓周。磁場對於質點方向的偏斜還要看質點的電荷是正或負而

定。假若質點運動時的方向是已知，我們立刻便可以用這種方法分別出這路線究竟是一個正電子或一個負電子所產生的。

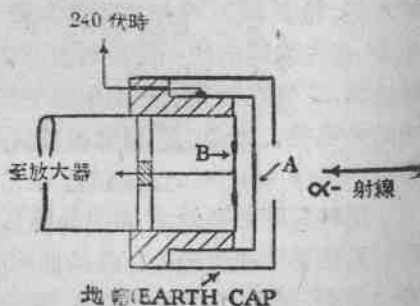


照片三（威爾生教授攝）

一個光電子的徑跡，這個光電子是由能量為 40,000 伏特左右的 X 射線的吸收所產生。徑跡最初很直的一部份，因為遇到一個原子核，所以發生一個大偏轉。在徑跡的末端，當其速度趨向終末的時候，我們可以清楚的看到牠電離密度的增加，以及因衝擊而發生的曲率。

電的方法

在許多實驗中，計數在一定時間內進入到檢查室中的質點的數目，也是非常重要的一件事。最簡單是用電的方法去計數。做的方法在圖三有說明。例如，設若我們計數 α 質點。讓這些質點在通過檢查室時通過金屬箔片 A，然後又被一個平行的絕緣片 B 所阻。



第三圖 計數器

再加上充分的電壓使兩板片間的游子很快的移動到兩個電極