

化學新元素 與週期表

魏和祥

私立淡江大學化學系

只要受過中等教育的人，都不會對化學元素的週期表有所陌生，但是正對週期表上的元素感到興趣或深入瞭解則不多，尤其對整個週期表上的元素的生成過程及其特色或是元素的生老衰死，以及新元素的發現等問題感到深厚的興趣，也只限於少數放射化學，核物理學家而已。然而處於物質創造文明的時代裡，我們對於構成物質的新元素，已經不能不加以留意，尤其到底化學元素種類數目界限如何？又週期表上，這些新元素的位置又如何？將來的物質世界又將如何？對於學習以研究物質為目的的化學來說，提高好奇心與求知欲是非常重要的。本文擬就最近週期表上增加的新元素及以待尋找的新元素，如何去合成，如何去尋找等問題詳加予介紹，更談論到週期表的界限。

人工合成的元素與命名法則

到1925年，人類從地球上自然界中，找到原子序第75號元素——銻(Re)之後，週期表上，從原子序1號到92號元素之間，第43，61，85，87號等四種元素的位置依然空白。1930年代，人類已經知道，從自然界中要找到這四種安定的元素或同位素是已經沒有多大的希望。因為核化學及核物理的進展，可推知這四種元素不可能存在於自然界中的理由。然而，隨着核化學及核物理的進展，人類已經不但有辦法尋回這四種元素，同時對比第92號鈾元素更重的元素也可以由人工合成的方式來製造。首先利用原子核反應的合成方法製造元素是在1937年，由Perrier博士與Segre博士，利用重氫原子(D)撞擊鉬元素的同位素 ^{98}Mo 而進行 $^{98}\text{Mo}(d, p)^{99}\text{Mo}$ 核反應而生成放射性的 ^{99}Mo ，再經 ^{99}Mo 放射 β^- 粒子，而生成 ^{99}Tc 的。由於是人類第一次利用人工合成的元素，因此命名此元素為鐳Tc，即Technetium之縮寫，表示人工的意思。隨後第87號銣(Fr)(1939年)，第85號砹(At)(1940年)，第61號鉕(Pm)(1947)等元素相繼被人工合成成功。從此，門得烈夫週期表，從第1號到92號的元素，不但填滿，同時到了1961年，元素增加到第103號鏷(Lr)元素。這些新增加的元素都是由人工合成而產生的。到1976年為止，人工合成的新元素已經達到第107號，從第104到107號元素的命名，至今因美國與蘇俄對新元素發現的爭執，尚未做決定。例如第104號元素蘇俄命名為Ku(Kurchatovium)(為發現者之姓)，美國命名為Rutherfordium。第105號蘇俄命名為Ns(Niels Bohr)，美國命名為Hahnium。幾年來在IUPAC(國際純正及應用化學聯盟)會上都不能下定論，後來，在1977年於華沙(Warsaw)召開的第29屆IUPAC總

會，採納 1976 年世界無機化學命名委員會所提出的，凡原子序超過 100 以上之元素之命名暫訂案。根據此案，原子序 100 以上之元素命名，就如下列方式：

原 子 序	英語組織命名	元素記號
101	Un-nil-unium	Unu
102	Un-nil-bium	Unb
103	Un-nil-trium	Unt
104	Un-nil-quadium	Unq
105	Un-nil-pentium	Unp
106	Un-nil-hexium	Unh
107	Un-nil-septium	Uns
108	Un-nil-octium	Uno
⋮	⋮	
110	Un-un-nilium	Uun
⋮		
130	Un-tri-nilium	Utn

[註]：數字之代號為：0 = nil, 1 = un, 2 = bi,

3 = tri, 4 = quad, 5 = pent, 6 = hex,

7 = sept, 8 = oct, 9 = enn.

元素的半島與島

從一般基本認識來說，自然界中元素的存在與否，是由元素的壽命來決定，通常若比地球的年齡（約 46 億年）短，則元素或同位素就不安定，甚至不存在於自然界中。例如第 43、61、85、87 等元素中，壽命最長的同位素，都比 46 億年短得很多，因此，不會有安定同位素的存在，至於其原因，限於篇幅，在此暫且不談。

我們發覺，從 93 號元素開始，元素的壽命開始逐漸地縮短，到了第 104 號元素，最長命的同位素已經以秒計算，第 107 號元素就只有 10^{-8} 秒的壽命。因此，越往高原子序，元素的壽命就更短，當短到可能連儀器都無法辨認的時候，人工合成新元素的希望也就渺茫了。當然，這是根據核物理上的，原子核液滴模型構造來說明的。原子核越重，帶正電荷的質子增加，過份密集於原

子核內，自然地由斥力而產生原子核分裂，這是所謂自發核對裂 (Spontaneous nuclear fission)。常用的自發核對裂半生期的理論式，可以用下式為代表：

$$\log T_{1/2} (\text{秒}) = 157 - 3.75 \frac{Z^2}{A}$$

Z 是原子序，A 是質量數。從式中可知，當 $Z^2/A = 45$ 時，則 Z = 110 號元素同位素的半生期 $T_{1/2} = 10^{-12}$ 秒，可說已經達到化學研究的極限。因此人工合成新元素，隨着原子序的增加也就更困難。假如按上述之理論式來看，則更重的元素，所謂超重元素 (Super-heavy elements, 簡稱 Sh) 之發現的可能性將更悲觀。

從另一方面，根據原子核的殼構造 (Shell structure) 理論來看，若把原子核內的質子及中子，按軌道排列，如同核外電子排列一樣，在某一定的數值，就會獲得特別安定狀態的事實，

此數值稱為「巧數」(Magic number),即當 Z 或 $N=2, 8, 20, 28, 50, 82, 126, 184$ 時。其中除 $N=184$, $Z=126$ 及 184 未知之外,其他都是已知的安定元素,例如 $^{208}_{82}\text{Pb}_{126}$, $Z=82$, $N=126$, 為雙重巧數(Double magic),是已知最安定的同位素。根據此理論,1966年,梅爾氏(Myers)等人提出新的理論式,計算結果,認為目前已知的安定或壽命較長的元素之領

域,構造一半島型狀,能看到陸地的半島的尾端,隔了一個海峽,緊接着一準安定的砂州,稱為錒系砂州(Actinoid sand bar),此範圍大約在 $A=220$ 以上(亦即超重領域),在此砂州上會出現一個有陸地的島嶼上,有安定的超重元素存在。同時預言,當 $Z=114$, $N=184$ ($A=298$)的元素,很可能就是一安定的元素。綜合上述元素的半島,砂州及島的說明,如圖1所示則更

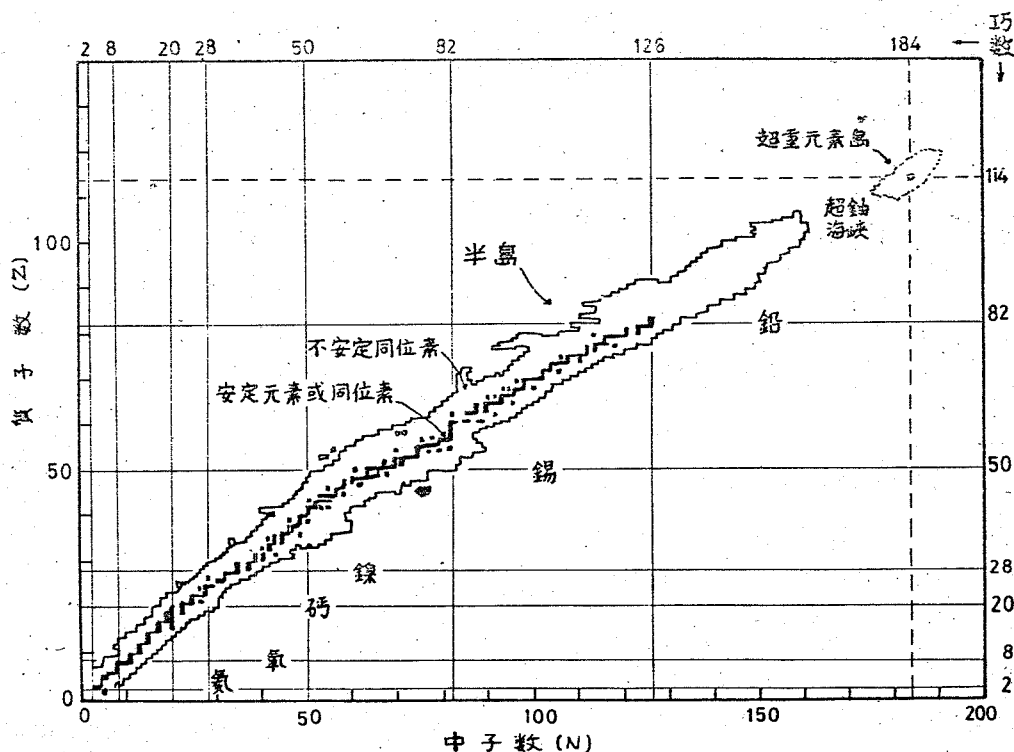


圖1. 已知安定同位素(●), 不安定同位素(○)之半島及預測之超重元素之島

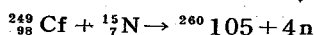
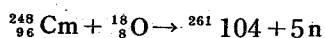
為明瞭。元素的安定與否,決定在核內中子數與質子數之比 N/Z ,而構成一半島型曲線,此曲線,稱為 β -安定曲線。圖中,在半島的右下方的海洋是 N/Z 偏高者,原子核會進行 β -衰變,而進入安定的半島內。而在半島之左上方是 N/Z 偏低者,原子核會行 β^+ -衰變或核外軌道電子捕獲,而至安定的半島上之元素。若 N/Z 值過低或

過高,而且 β -衰變時間極端短暫,這些同位素或元素,如同茫茫大海,不易存在。在地圖的最右上方,即錒系砂州,州上有一島嶼,所謂超重元素島(Super heavy-element island)。

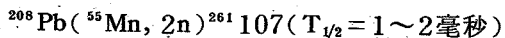
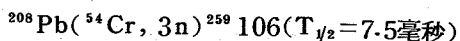
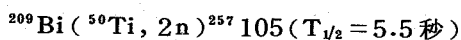
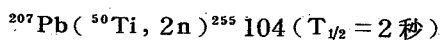
如何發現新元素

目前,新元素的發現,所進行的方法;可分

為使用粒子加速器的核反應法及自然界中尋找的方法。用加速人工合成法，在原理上很簡單，是利用核融合 (Nuclear fusion) 的道理，將兩個輕的原子核在高能下產生結合變成較重的元素。原理簡單，但是實驗技術及設備費昂貴，這種方法，目前，只有美、蘇及歐洲聯合研究中心等擁有高能加速器的地方，才能做新元素的探求。例如，美國柏克萊 (Berkeley) 加州大學的勞倫斯輻射研究所 (Lawrence Radiation Laboratory) 有重離子直線型加速器 HILAC (Heavy ion linear accelerator)，曾經用來加速 $^{18}_8\text{O}$ 及 $^{15}_7\text{N}$ 等原子核分別進行下列核反應，發現第 104，105 號元素。



另一方面，蘇俄 Flerov 博士領導的 Dubna 研究所，利用直徑 200 及 300 公分的迴旋加速器 (Cyclotron)，可以加速質量達 40 ~ 60 的粒子。Flerov 在 1976 年發表，他們的研究報告，其中包括了 104 ~ 107 號元素的合成：



至於利用加速器合成超重元素，到目前尚未成功。例如，美國利用加速 $^{48}_{20}\text{Ca}$ 到達 255 MeV 高能碰擊 $^{248}_{96}\text{Cm}$ 核合成 $^{296}_{116}\text{Sh}_{180}$ ，即第 116 號元素，在理論上應可以產生，但是由於在合成途中，又起核分裂的結果，沒有合成成功。另外對第 114 號元素，也曾用 $^{40}_{18}\text{Ar}$ 去與 $^{248}_{96}\text{Cm}$ 融合，欲生成 $^{284}_{114}\text{Sh}$ 也沒有成功。蘇俄 Dubna 的 Flerov 也曾利用加速的 $^{50}_{22}\text{Ti}$ 核碰擊 $^{238}_{92}\text{U}$ 及 $^{244}_{94}\text{Pu}$ ，欲合成 114 號及 116 號元素，都沒有成功。但是他認為加速 $^{48}_{20}\text{Ca}$ 至 255 MeV，照射 $^{244}_{94}\text{Pu}$ 時即產生第 114 號元素，有成功的希望，但到現在尚未有成

功的報告。歐洲共同研究中心之質子加速器，曾經將質子加速至 1 ~ 5 GeV 的高能以照射 $^{74}_{34}\text{W}$ 元素，欲合成 110 ~ 114 號元素，也沒有成功。

另一方面，從自然界中尋找，可由地球上的礦物，與太空寄來的信件 (隕石及宇宙線) 中尋找。太陽系所構成的元素是由於高溫之星球內部進行的熱核反應所生成的，但是元素的壽命若比星球的年齡短的話，則安定的元素就不易存在。但從超新星 (Super Novae) 爆炸瞬間時所生成的元素中，很可能發現新元素或超重元素，這可以從宇宙線中觀測，可是至目前為止也還沒有重大發現。從地球岩石及隕石內尋找，是利用超重元素在礦岩中自發核對裂所遺留的痕跡 (Fission track) 來推斷。本來這種方法是用來做岩石或玻璃等年代推定，但是最近，蘇俄的 Flerov 等人曾將鉛礦切成薄片，經化學處理，曾稱在顯微鏡中，發現第 114 號元素，但後來被否定。1975 年，美國的 Gentry 博士也宣稱發現第 124 號及 126 號元素，他利用 5 MeV 能量的質子射線照射雲母岩，由高分解能的放射探測器，觀測其特性 X-線光譜的細微構造，判斷是 124 及 126 號元素，這是一次較為成功的例子。但是，由於無實質上的提出更明確的證據，目前依然在追試中。不管如何，人類已經登上了新元素的砂州上了，而且也逐漸進入這新元素的金銀島上，尋得寶藏，只是時間的問題。

未來的元素週期表

在新元素的發現的過程中，最要緊，還是在化學性質的檢定。新元素的化學性質，可以從週期表上的週期及元素之性質相近之族屬來預測。如此，就預先須知新元素在週期表上的位置。我們知道，在一般教科書的長短型週期表，最後一個元素是鏷，其原子序是 103。這剛好添滿 5 f 軌道內電子。因此，從第 104 號元素開始，應該

114 號元素是在 Pb 的同族，門德烈夫稱為 eka-Pb 。因為 Pb 是一非常安定的元素，此乃第 114 號元素的存在一直被關心的道理之一。再者，第 119 號元素是鹼金屬 eka-Fr ，第 120 號 ($8s^2$) 是鹼土金屬 eka-Ra 。再下去，則 121 號為 $7d$ ，122 號～138 號為 $5g$ ，這是 g 軌道開始出現，其特性是有趣的。而 140 號到 153 號為 $6f$ 稱為 eka-actinide ，這個區域， $6f$ ， $5g$ 的外圈電子軌道 $8s$ ， $8p$ 之能量相差甚小，因此，其原子價可預知是多樣性的。

	I H																	2 He										
1s	3 Li	4 Be																	5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne				
2s2p	11 Na	12 Mg																	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar				
3s3p	19 K	20 Ca																	21 Sc→	22-30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr		
4s3d4p	37 Rb	38 Sr																	39 Y→	40-48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe		
5s4d5p	55 Cs	56 Ba																	57 La	58-70 Ce→Yb	71 Lu→	72-80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
6s5d4f6p	87 Fr	88 Ra																	89 Ac	90-102 Th→No	103 Lr→	104-112	113 114	115 116	117 118			
7s6d5f7p	119	120	121-138 5g	139	140-152 7d, 6f	153-162 6f→7d→	163	164	165	166	167	168																
8s8p7d6f5g	169	170	171-188 6g	189	190-202	203-212	213	214	215	216	217	218																
9s9p8d7f6g	s-元素		g-元素		f-元素		d-元素		p-元素																			

綜合上述之未來元素之週期表位置，可以從第 2 圖表來瞭解。從這新週期表，可發現一有趣的現象，即被稱為巧數 $Z = 164, 114, 82, 50$ 的元素，在週期表上都是同族的元素。雖然，原子核內之安定（即元素之安定）與否與核外之電子狀態沒有直接關係，但是，這些元素在同一族，實在是很奇妙的偶然。這也是化學元素週期表

的科學藝術吧！最後，再讓筆者來介紹一下，專家對未來的新元素第 114 號的 $^{298}_{114}\text{Sh}$ （所謂 $\text{eka-}^{298}\text{Pb}$ ）之物理化學性質之預測與 $^{208}_{82}\text{Pb}$ 元素做一比較，做為本文之結束。

鉛與114號元素之性質比較

性 質	$^{208}_{82}\text{Pb}$	$^{298}_{114}\text{Sh}$
電子組態	$\text{Xe} + 4f^{14}5d^{10}6s^26p^2$	$\text{Rn} + 5f^{14}6d^{10}7s^27p^2$
遊離能 (eV)	7.4	8.5
氧化數(原子價)	+2(+4)	+2
密度 (g/cm ³)	11	14
熔點 (°C)	327	67
沸點 (°C)	1620	147

參考資料

1. V. I. Gol'danskii., " New Elements in

the Periodic Mendeleev Systems ",
J. Chem. Education 47, 406 (1970).

2. K. Sakamoto., " The Super-heavy Elements " Chemistry 26, 1074 (1972) (Japanese).
3. R, S. Lewis, B. Srinivason, E. Anders, *Science*, 190, 1251, 1262 (1975).
4. 吉原賢二, 田中信行, " 「週期表」之化學與核種圖表之化學 " 化學の領域 35, 710 (1981).

三百年的難題

勇清

十七世紀中葉, 法國是世界上數學研究的中心地帶, 這期間, 法國出現不少位偉大的數學家, 如 Rene Descartes (1596 — 1650), Pierre de Fermat (1601 — 1665), Gilles Persone de Roberval (1602 — 1675), Girard Desargues (1591 — 1661), Blaise Pascal (1623 — 1662)。其中的 Pierre de Fermat 是我們要在這裡談談的。

在數學史上, Fermat 這個名字可以與數學上稱為數論的這個分支並列, 為什麼呢? 主要的原因是由於 Fermat 在數論中的卓越貢獻, 另一方面是由於他給後世留下了一個多少人奮鬥了三百餘年都還無法得出完全解答的問題。這個問題很容易說明: 是不是對每個 ≥ 3 的正整數 n , 方程式 $x^n + y^n = z^n$ 都沒有正整數解? 這個問題稱為 Fermat 最後問題。

Fermat 在他的一本書上作註解說: 「我有一個美妙的方法可證明這種方程式沒有正整數解, 不過, 篇幅太短寫不下。」

對於一些較小的 n 值, 方程式 $x^n + y^n = z^n$ 沒有正整數解這件事實, 已在十七、十八、十九世紀中被證明了。但是, 是不是對每個 ≥ 3 的正整數 n 都有相同的結論, 却一直沒有人能給以完整的答案。不過, 數學家們也不必氣餒, 因為就數學而言, 這個問題能否得到答案所代表的意義並不大, 倒是十九世紀以來, 爲了探求這個問題的答案因而發展出來的數學成果——代數數論, 已足以被列為數學史上的一份不朽的獻禮。

與 Fermat 最後問題有關的一件趣事是: 1908 年, 德國數學家 P. Wolfskehl 曾經捐了十萬馬克給德國數學會, 聲明做為第一位解決 Fermat 最後問題者的獎金。當然, 現在還沒有人得到這筆獎金。