

科學圖書大庫

原子與原子核

譯者：孟憲鈺

校閱：翁寶山

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

原子與原子核

譯者：孟憲鈺

校閱：翁寶山

徐氏基金會出版

我們的工作目標

文明的進步，因素很多，而科學居其首。科學知識與技術的傳播，是提高工業生產、改善生活環境的主動力。在整個社會長期發展上，乃對人類未來世代的投資。從事科學研究與科學教育者，自應各就專長，竭智盡力，發揮偉大功能，共使科學飛躍進展，同將人類的生活，帶進更幸福、更完善之境界。

近三十年來，科學急遽發展之收穫，已超越以往多年累積之成果。昔之認為若幻想者，今多已成為事實。人類一再親履月球，是各種科學綜合建樹與科學家精誠合作的貢獻，誠令人無限興奮！時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就科學人才，促進科學研究與發展，尤為社會、國家的基本使命。培養人才，起自中學階段，此時學生對基礎科學，如物理、數學、生物、化學，已有接觸。及至大專院校專科教育開始後，則有賴於師資與圖書的指導啓發，始能為蔚為大器。而從事科學研究與科學教育的學者，志在貢獻研究成果與啓導後學，旨趣崇高，彌足欽佩！

本基金會係由徐銘信氏捐資創辦；旨在協助國家發展科學知識與技術，促進民生樂利，民國四十五年四月成立於美國紐約。初由旅美學人胡適博士、程其保博士等，甄選國內大學理工科優秀畢業生出國深造，前後達四十人，惜學成返國服務者十不得一。另曾贈送國內數所大學儀器設備，輔助教學，尚有微效；然審情度理，仍嫌未能普及，遂再邀請國內外權威學者，設置科學圖書編譯委員會，主持「科學圖書大庫」編譯事宜。以主任委員徐銘信氏為監修人，編譯委員王洪鎰氏為編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱工作。「科學圖書大庫」首期擬定二千種，凡四億言。門分類別，細大不捐；分為叢書，合則大庫。為欲達成此一目標，除編譯委員外，本會另聘從事

11/11/607/06

翻譯之學者五百餘位，於英、德、法、日文出版物中精選最近出版之基本或實用科技名著，譯成中文，供給各級學校在校學生及社會大眾閱讀，內容嚴求深入淺出，圖文並茂。幸賴各學科之專家學者，於公私兩忙中，慨然撥冗贊助，譯著圖書，感人至深。其旅居國外者，亦有感於為國人譯著，助益青年求知，遠勝於短期返國講學，遂不計稿酬多寡，費時又多，迢迢乎千萬里，書稿郵航交遞，其報國熱忱，思源固本，至足欽仰！

今科學圖書大庫已出版一千餘種，都二億八千餘萬言；尚在排印中者，約數百種，本會自當依照原訂目標，廣續進行，以達成科學報國之宏願。

本會出版之書籍，除質量並重外，並致力於時效之爭取，舉凡國外科學名著，初版發行半年之內，本會即擬參酌國內需要，選擇一部份譯成中文本發行，惟欲實現此目標，端賴各方面之大力贊助，始克有濟。

茲特掬誠呼籲：

自由中國大專院校之教授，研究機構之專家、學者，與從事工業建設之工程師；

旅居海外從事教育與研究之學人、留學生；

大專院校及研究機構退休之教授、專家、學者

主動地精選最新、最佳外文科學名著，或個別參與譯校，或就多年研究成果，分科撰著成書，公之於世。本基金會自當運用基金，並藉優良發行系統，善任傳播科學種子之媒介。尚祈各界專家學人，共襄盛舉是禱！

徐氏基金會 敬啓

中華民國六十四年九月

前 言

在這本書裏，一些和「原子與原子核」構造的有關內容，摘自作者所著的一本涵義較廣的書—「物質，地球及天空」(Matter, Earth and Sky)。在本書內又增加相當數量的題材；尤其是在原子核物理和基本粒子部份。

著 者

作者簡介

喬治·蓋蒙 (George Gamow) 在 1904 年出生於蘇俄的奧蒂莎 (Odessa in Russia)。1928 年畢業於列寧格列德大學 (University of Leningrad)。在哥丁根大學 研究了一年之後，蓋蒙教授 應 波爾教授 之邀，在哥本哈根理論物理研究院 研究一年。以後的幾年跟隨拉塞福爵士 (Lord Rutherford) 和他的同事在劍橋 (Cambridge) 一起工作。

在 1928 年，蓋蒙教授 對放射性的過程發生興趣，根據新發現的波動力學原理而發展出一個放射性衰變的理論。不久，把他的放射性衰變理論擴張到人工原子核衰變上，而奠定了把原子核視為非常稠密的「核流體」的細微液體之理論基礎。

蓋蒙教授 曾先後任教於列寧格列德大學 與華盛頓大學 (Washington University in Washington D.C)。現在在波德的科羅拉多大學 執教。(University of Colorado) 他曾為一般讀者寫了一些書而榮獲 1956 年由 UNESCO (聯合國文教組織) 頒發普及科學的「卡林伽獎」(Kalinga Prize)。

目 錄

第一章	哲學以及化學領域裏的原子.....	1
第二章	物質的電性.....	11
第三章	具有輻射能的量子.....	33
第四章	波爾原子.....	43
第五章	粒子的波動性.....	53
第六章	自然放射性.....	65
第七章	人工核子遞變.....	77
第八章	原子核結構.....	85
第九章	大規模核子反應.....	99
第十章	神秘的粒子.....	115
索引	127

第一章

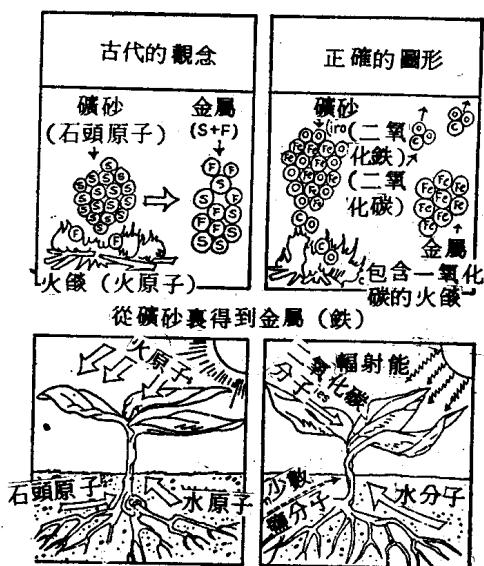
哲學以及化學領域裏的原子

(古希臘人的觀念)

古希臘時代的哲學家們探索着萬物的本質，懷疑到「組成世界多種不同種類的物質，乃是由幾種簡單的元素結合而成。」德漠克烈特 (Democritus) (紀元前五世紀) 認為有四種基本的物質即空氣、水、石頭和火；皆由大量而極小的質點——原子 (atoms) 所構成。在希臘文中 atoms 一字即「不可分割」的意思。組成空氣的原子被假定為具有「輕」及「乾燥」的性質，水的原子具有「重」及「濕」的性質，石頭的有「重」及「乾燥」的性質，而火的原子則有「極易變動」，「滑」和「熱」的性質。基於上述的觀念，希臘哲學家試圖解釋物質不同的轉換是由於組成物質的原子漸變的結果。他們相信一顆生長中植物所具的物質是由土壤所提供水及石頭的原子和太陽光所供給的火原子所組成的。用近代化學術語來說，木頭的分子式是 SWF ，其乾燥性是由於水原子逃逸的結果， $SWF \rightarrow SF + W$ ，燃燒木材是使乾木頭變成火原子（火燄）和石頭原子（灰）， $SF \rightarrow F + S$ 。金屬則是由石頭原子和不同數量的火原子所組成的， SF_n （火原子被假設為使金屬具有光澤的元素）。鐵被假定含有較少的火原子而金被認為含最多量的火原子。礦砂在熔爐裏形成金屬被想像成由於礦砂的石頭原子與火燄的火原子結合而成， $S + nF \rightarrow SF_n$ 。因此把通常的金屬如鐵及銅中的火原子加多而轉變成金，似乎是合乎邏輯的。這種觀念，一直持續到中世紀，當時鍊金者不斷的努力以把普通金屬變成昂貴的金屬。

今天我們知道這種觀念完全錯誤，因為金屬本身即是基本物質而礦砂則否，並且在熔爐裏的石礦，並不是加上火原子便可以變成金屬，而相反地，是從氧化物（礦砂）把氧減掉而變成純金屬。而且，生長的植物是從空氣中獲得二氧化碳，從土壤中獲得水份。（氫+氧），日光則提供了能量以促使這些簡單的成份變成複雜的有機體。近代化學裏與古希臘觀念的差異由圖 1 可看出。雖然他們的分析和解釋完全錯誤，但是較複雜的化學物質是由許多極小的簡單元素所構成，這種觀念在基本上是正確的，而且構成近代化學的

2 原子與原子核 基礎。



一顆植物的生長
圖 1. 在化學中二種錯誤的觀念與二種正確觀念的對照圖。

原子量和原子價

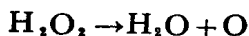
從元素到形成不同的化合物最重要的事實皆包含在所謂定比定律裏 (law of constant proportion)，它指出「不同化學元素形成某特定化合物時，其相對量經常保持着一定的比例。」因此，當我們把氫與氧的混合氣體放置在一個容器內，並且用電弧火花引燃它，會產生猛烈的化學反應（或爆炸）而形成了水。假定原來氫與水的重量比例為 1:8 這個反應是完全的並且不殘留任何氣體。如果原先氫與氧的比例並非 1:8，其結果會剩下多餘的氣

體。(此時存在着另一種氫氧化物叫過氧化氫其氫氧之重量比為1:16)。

定比定律是由英國化學家，道爾頓 John Dalton (1766~1844)，所提出的，說明在化合物形成中，原子與原子結合的情形。爲了要解釋上述關於水與過氧化氫的事實，我們可以假定氫原子與氧原子的重量比為1:16。在過氧化氫裏相對於每一氧原子就有一氫原子存在，但在水的情形却是每一氧原子就相當有二個氫原子存在。因此用H代表氫原子，O代表氧原子，並且使用一個寫在字母下方的小數字代表每一種類的原子個數，我們可以表示這二種物質的化學組成如下：



用第二種方式表示過氧化氫，指出了這種分子比最普通的化合物——水，多了一個氧原子。而實際上，過氧化氫是一種不穩定的物質，它同時會依照下列方程式自然地分解：



在這個反應過程中放出的自由氧原子具有極強的氧化性質，這種性質使H₂O₂得以用在各種漂白的過程，而且它能使一個黑髮女孩變成一個淡金髮的女孩而已。

同樣的，氧與碳結合產生二氧化碳CO₂，或者，在氧不足夠情形下燃燒，產生一氧化碳CO。與過氧化氫相反的是一氧化碳缺少了一個氧原子，極欲從那些不能緊緊抓住氧原子的分子中搶奪額外的氧原子。在一氧化碳裏，碳與氧重量比為3:4，也可寫成12:16。因爲氧原子量訂為16(即：它爲氫原子重量的16倍，目前我們可以把氫原子的重量當作單位重量。)碳的原子量爲12，碳與氫結合，而成一種叫「甲烷」(methane)或「沼氣」(marsh gas)的氣體。在甲烷裏，碳與氫之比為1:3或4:12，但是，12是一個碳原子的重量，所以甲烷的分子式爲CH₄，現在讓我們考慮一個比較複雜的例子；分析乙醇(ethylalcohol)，知其具有52.5百分比的碳，34.8百分比的氧和13.0百分比的氫。由於52.5/34.8的比是1.50，而碳與氧的原子量的比僅爲0.75，我們可以得知相對於每一個氧原子必有二個碳原子存在。如果每一氧原子僅相當於一個氫原子的存在，則二者百分比的比例是1/16 = 0.0625，但實際上的比例數是13.0/34.8 = 0.375，即六倍大。因此，對每一氧原子必須相當有六個氫原子對應存在，故乙醇的分子式應爲C₂H₆O。

原子與一個或更多的原子結合的能力稱爲「化學原子價」(chemical

4 原子與原子核

valency) 可用基本的方式來表示，把每一原子之間畫上一串環鈎，以便能與其他原子的環鈎相結合。截至目前我們所考慮到的例子裏我們一直把氫原子價當作1，氧為2，碳為4。原子依照這個方式形成分子，即所謂的分

表 1. 不同化合物的分子構造

水		$\text{H}-\text{O}-\text{H}$
過氧化氫		$\text{H}-\text{O}-\text{O}-\text{H}$
二氧化碳		$\text{O}=\text{C}=\text{O}$
一氧化碳		$\text{C}=\text{O}$
甲烷		$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$
乙醇		$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$
氫氣		$\text{H}-\text{H}$
氧氣		$\text{O}=\text{O}$
臭氧		

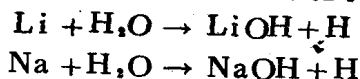
原子價的“環鈎”亦能用在同樣的原子相互間的束縛而形成簡單化學物質如「雙原子」或「三原子」分子，如在表 1 最後三行所指出，也可以在他的化學元素或更複雜的化合物發現同樣的關係。

談到化學原子價，我們必須提出六種特別的元素：氫(H)，氦(He)，氪(Kr)，氖(Ne)，氡(Rn)和氙(Xe)。它們不具有任何化學原子價。這些元素的原子不具任何化學親和性，而獨自存在；它們也不像其他原子經常自己形成一對，因此這些分子經常是「單原子」的。與化學上「鈍性」緊密的連在一起的事實即是這六個物質皆為氣體，而且僅在低溫才液化。用其本身顯明的性質，我們稱他們為鈍性氣體(noble gases)或稱稀有氣體(rare gases)實際上，它們在地球上是非常稀少的。誠如每人所知，氦是用於充填在氣球和飛船裏以避免着火、氖，當電荷放電時能放出燦爛的紅光，故用於廣告的燈光信號。

週期律

雖然按照字母的順序來排定化學元素在編目上較為便利，但若依照其原子量遞增的序列排定更為合理。在做這件事之中，我們發現了明顯的規則而導致化學家對元素作一合理的分類。按照原子量遞增的順序排列，我們得到下列結果：氫(H)，氦(He)，鋰(Li)，鈹(Be)，硼(B)，碳(C)，氮(N)，氧(O)，氟(F)，氖(Ne)，鈉(Na)，鎂(Mg)，鋁(Al)，矽(Si)，磷(P)，硫(S)，氯(Cl)，氬(Ar)，鉀(K)，鈣(Ca)，釷(Th)，鈦(Ti)，鈮(V)，鉻(Cr)，錳(Mn)，鐵(Fe)，鈷(Co)，鎳(Ni)，銅(Cu)，鋅(Zn)，鎳(Ga)，錳(Ge)，砷(As)，硒(Se)，溴(Br)，氪(Kr)，銣(Rb)，銣(Sr)，鈾(Y)，鈳(Zr)，鈮(Nb)，鉬(Mo)，鎳(Tc)，鈳(Ru)，鈳(Rh)，鉛(Pb)，銀(Ag)，鎘(Cd)，銦(In)，錫(Sn)，銻(Sb)，碲(Te)，碘(I)，氙(Xe)，銻(Ss)，鋇(Ba)，鏷(La)，等等。我們首先注意到，鈍性氣體有一顯明的分配規則，用斜體字表之，按上面的序列，氦前面僅有一個元素，在氦與氖中有七個元素，在氖與氬中間有另外的七個元素，在氬與氡間有十七個元素，在氡與氙之間有另外的十七個元素。最後，在氙與氡之間有三十一個元素，氡是所知的鈍性氣體中最重的。

緊接着鈍性氣體的元素，鋰、鈉、鉀、銣及銻等，在化學與物理學上都極其相似，它們全部都是質地輕，銀白色而具有高度化合力的金屬。假如我們滴一些這種元素到水裏，它會產生像下面的強烈化學反應：



.....

放出氫而與水形成相當的「氫氧化物」(結構式為 $\text{Li}-\text{O}-\text{H}$ 等)。在這些反應中放出的氫能夠燃燒而具有金屬因蒸發而產生的特性顏色火燄(鈉為黃色,鉀為紅色,等等)。這些元素與氫和氧結合形成「氫化物」和「氧化物」像 LiH ($\text{Li}-\text{H}$), Li_2O ($\text{Li}-\text{O}-\text{Li}$), 等等之中,看出它們的原子價為1,通常在化學上稱這些元素為鹼金屬(alkali metals)。

在鈍性氣體的右邊第二行;像鈹、鎂、鈣、鐳、鋇、鐳等也形成相同的一群叫鹼土金屬(alkali-earth metal)。正像它們名字所指出的一樣,它們與鹼金屬相似,但是,它們較重而較鹼金屬難起反應。它們與水反應,產生了像 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ($\text{H}-\text{O}-\text{Ca}-\text{O}-\text{H}$)的化合物,與氫及氧結合,產生了像 CaH_2 ($\text{H}-\text{Ca}-\text{H}$)和 CaO ($\text{Ca}=\text{O}$)的化合物,這表示它們的原子價是2。同樣的,我們發現在左邊的第三組:硼、鋁…等,具有的原子價是3,這類的化合物像氧化硼是 B_2O_3 ($\text{O}=\text{B}-\text{O}-\text{B}=\text{O}$), 氫氧化鋁 $\text{Al}(\text{OH})_3$, 等。

現在,讓我們看看鈍性氣體左邊的元素,我們將發現它們非常相似,但與金屬則絕不相似。這類是由氟、氯、溴、碘、砒所組成的,叫做鹵族元素(halogens)。它們與鹼族及鹼土族元素有很強的親合力,形成的化合物像 NaCl (一般餐桌上的食鹽)和 CaBr_2 等,表示它們所具有的原子價是1。在鈍性氣體左邊的第二行元素、氧、鋁等……。相互之間亦很相似,具有的原子價為2。

在十九世紀中,一些化學家注意到當化學元素按照原子量的增加排列的話會有着相同的一群元素存在,並且具有一定的週期性。但是實際上排列這些元素成一週期表的最重要步驟是由蘇俄化學家,門德雷夫(Dmitri Mendeleev (1834-1907)在1869年所完成的。但是門德雷夫的研究工作是不完善的,因為在他那時候,所知道的化學元素表是極不完全的,尤其是鈍性氣體的存在則尚存疑。而在前面所列元素如銦、鎳、鎳、鎳和鈳等都未發現。以致在上列順序裏,除了前兩個週期外,都十分不規則。遂使他深信在自然界的元素的順序必有一個規則的週期性,門德雷夫做了一個大膽的假設,即是他的週期表與預測的週期性所產生的偏差乃是由於當時的化學發展情況下,所無法發現的一些存在於自然界中的元素。因此,當他在製表的時候,留下了一些空位置以便使將來發現的元素填滿。他給這些「未發現元素」的名稱和形式,在相鄰這些元素的同族元素名稱前冠以“eka”或“dui”;梵文裏即是「第一」和「第二」的意思。在某種情形下,他為了要使元素的化學性質呈現週期性;而把按原子量排列的秩序顛倒。使用他那具有空白

位置的週期表，而能根據已被確定為六個「未發現元素」的鄰居的性質，預測它們的化學和物理性質。他稱這些元素為第一硼(eka-bocon，第一鋁(eka-aluminum)，第一矽(eka-silicon)，第一錳(eka-manganese)，第二錳(dvi-manganese)和第一鉬(eka-tantalum)。他的預測與實際上觀察到的「未發現元素」而終究發現的鈳、鎳、鎳、鎳*、鈳和鈳的性質相當一致。正如我們在表 2 的例子，我們比較門德雷夫為他假設的第一矽元素與實際上所觀測到的性質，這個元素是由德國化學家微克雷(Winkler)在門德雷夫週期表提出後十五年所發現的，稱它的名字為「鎳」。

表 2

門德雷夫對第一矽的預測 (Es) (1871)	微克雷對鎳的測定結果 (在 1886 年發現)
原子量大約 72	原子量 72.6
可用 Na 還原而會從 EsO_2 或 K_2EsF_6 得到	是用 Na 還原從 K_2GeF_6 得到
可能是黑灰色金屬具有高熔點，密度約為 5.5	是熔點為 $958^\circ C$ 的灰色金屬，密度為 5.36
加熱能形成 EsO_2 ，具有高熔點密度為 4.7	與氧反應形成 GeO_2 ，熔點 $1,100^\circ C$ 密度 4.7
硫化物 Es_2S_3 不溶於水但溶於硫化氫	GeS_2 不溶於水但溶於硫化氫

在化學發展過程中，這是何等美妙的預測呀！

對存在於週期系統裏的元素從 1 (即氫) 開始計數，我們得到所謂元素的原子序 (atomic number)。因此，碳的原子序是 6，汞為 80，而鈾是 101。六個惰性氣體的原子序是 2, 10, 18, 36, 54 和 86，在化學週期性上形成重要的界標。像在圖 2 利用一個三度空間螺旋結構，可以非常容易的代表元素的週期系統。在結構圖中脊骨的那條縱行包含了從氫到氫所有的鈍性氣體。在右邊相鄰的一行是鹼族金屬，但是氫放在最頂端，因為它的化學性質與鹼族金屬相似。而左邊圍繞着鈍性氣體那行的一行是鹵族。從

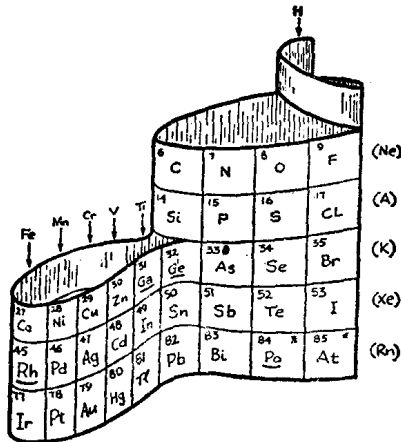


圖 2. 元素的週期系統用像裹傷的綑帶來代表。在另一頁的圖表表示這二個環帶的反面。目前原子序中，在第 101 個時把帶子割斷了。有一個星的記號表示這個元素是不穩定的(放射性的)，括弧裏的星註記號是表示在正常穩定元素存在時有放射性同位素。在元素符號下有一條底綫的元素其性質是由門德雷夫所預測的。

氫到鐵和從氦到氯的頭二個週期，每一個週期都包括 8 個元素，並且勻整地陷入圖中，但下一個週期却包括了 18 個元素而形成了一個問題。根據化學性質，在氫之後的三個元素（鉀、鈣和釷）必須放在前一個週期的三個相當的元素（鈉、鎂和鋁）之下，在氫前面的元素（鉀、鈉和溴）應該在氫前面（磷、硫和氯）之下，而且好像是沒有位置留給剩下的 11 個元素（從鈦到鋳）。爲了處理這個困難，我們把鈦和鋳（二者皆與矽相似）放在矽下面，而且給剩下的九個元素（釩到鎳）加上了額外的一圈。同樣情形在下一個以及以後的週期發生，這額外所加的一圈一直持續到最後一個已知的元素的順序裏口從第五個週期開始，我們碰到更爲麻煩的同類事件，而不得不再加上一圈，以便解決多出 14 個額外的元素（從銻到鐳）即所謂稀土元素的困難。在稀土族以下的第六及第七個週期所加之圈乃是由天然和人工放射性元素所形成的。

現在事情是變的極其複雜，門德雷夫看到時也許會感到恐懼，但它實際是如此。雖然如此，但仍不願圖表的複雜（它反應出原子內部構造的複雜），在圖 2 的元素週期系統對不同元素的性質提供了非常好的代表方式。

