

最新世界名著

核能索源

(上冊)

沙慕爾 葛萊斯棟 原著

鄭振華 楊覺民
江祥輝 曾明哲 合譯
黃海永 鄭德昌

原子能委員會補助
國家科學委員會

國立編譯館出版
臺灣書店印行

中華民國六十一年十月初版

最新世界名著 核能索源

版權所有・翻印必究

定價：上下兩冊共新臺幣叁佰壹拾伍元

原 著 者	沙 慕 爾	葛 萊 斯 棟	
譯 者	鄭振華 楊覺民	江祥輝 曾明哲	黃海永 鄭德昌
譯權所有人	國 立	編 譯 館	
補 助 機 關	原 子 能 委 員 會	國 家 科 學 委 員 會	
發 行 人	趙 雲	溪	
發 行 印 刷	臺 灣 書 店		

臺北市重慶南路一段十四號
業務部電話 313875 號
門市部電話 378120 號
郵政劃撥 7821 號

原 序

在預備“核能索源”第三版的時候，我的目標仍然和以前兩次高度成功的版本相同。那就是用最少量的數學以簡單的語言來敘述所謂“核能”這個名詞所包覆的科學領域中最重要的發展。和以前的版本一樣，這本書盡可能順著歷史的發展。然而無可避免地有些題目較為艱深，有些讀者可以選擇地使用這本書。爲了幫助這些讀者，我特地在章節之間列入一些相近的章節，俾供交互對照參考。

應很多讀者的要求；我在每一章末加一張進一步閱讀用的書目以及一些可以找到引文的出處，參考書籍是從 1958 年以後出版的數千冊有關核能的書籍中挑選出來的，可以分成下列幾類，歷史性的回溯，半通俗性論述，專門性教科書，和評論。後者主要是爲了專門的讀者，特別加註星號以資區別。我並沒有把一些原子和原子核物理的一般性教科書包括進去，因爲這類書籍種類繁多，並且隨時都有新書出版；然而這些書顯然也是進一步的資料來源。

在準備這本書出版的時候，許多曾經幫助過的人們，無論他們的名字是否列在下面，我希望能夠表達我誠摯的謝忱：我特別向美國原子能委員會軍事應用處處長葛勞生（D. L. Crowson）准將，洛色

拉莫士科學研究所所長布雷德褒雷（N. E. Bradbury）博士致謝，由於他們的協助使我能從事這項工作，我也要謝謝洛色拉莫士科學研究所副所長裴爾却（P. E. Belcher）先生，美國原子能委員會科學資料處處長白郎克（E. J. Brunenkant）先生，及他屬下的工作人員，特別是客北（J. D. Cape）先生在行政事務上的幫忙，最後還要加上幾位洛色拉莫士科學研究所的同仁，並感激美國原子能委員會屬下各研究所的協助，然後我再向下列幾位致謝：克恩（C. P. Keim）博士（橡岑國家研究所）、馬登（J. H. Martens）先生（亞岡國家研究所）、白士登（D. Puleston）先生（布魯克赫文國家研究所）及R. K. 華克林（Wakerling）博士（加州大學勞忍斯輻射研究所）。

沙幕爾·格拉斯東

新墨西哥州·洛色拉莫士

1967年8月

核能索源

寫在第三版前面

人類歷史上許多重大的轉變常會由於一個人及時解決當時的需要而得以加速進展，核子科學及核工業深慶能有這樣的一個人——沙慕爾·格拉斯東博士。

當核能衝破隱蔽的障礙，在這種新的力量為人類效力之前，急切地需要一些闡釋和澄清的工作，就在這個時代我們幸運地能獲得格拉斯東博士精湛的學識，以獻身於這項工作為職志！前後十九年中，他為美國原子能委員會寫了十一部有關原子核科學的教科名著，每一本在它的範疇中都是一個典型。確信今天的原子核科學家和原子核工程師，他們的學識，大部份就是得自這些書籍。並且直到今天，還以權威性的參考資料反覆地翻閱它們。

格拉斯東博士所有的作品中（包括核能以外的學科中二十多本著作及無數的論述）發行最廣的，可能要算是這本核能索源（*Source-book on Atomic Energy*）係第一版在1950年出版，1958年再版，現在要發行它的第三版，單就英文版的銷售量就已經超出了十萬本，並且曾被翻成蘇俄、日本、西班牙、波蘭、南斯拉夫和韓國等國的語文。

我們認為這本書文筆精確流暢，組織嚴謹，優雅，在科學性的著作中確是不可多得的範本，希望它將繼續在未來的歲月中為科學家、工程師、教師、學生、作者和編者竭其所能。

美國原子能委員會主席
格林·S·謝博

目次

第一章	原子理論之基礎·····	1
第二章	電與物質的基礎·····	37
第三章	能量及輻射·····	99
第四章	原子的結構·····	141
第五章	自然放射現象·····	197
第六章	同位素·····	229
第七章	核輻射的偵檢和度量·····	291
第八章	核輻射·····	357
第九章	荷電粒子之加速·····	417
第十章	核反應與人工放射性·····	493
第十一章	中子·····	569
第十二章	核力與核結構·····	621
第十三章	核分裂·····	679
第十四章	核能的利用·····	725
第十五章	核反應器·····	803
第十六章	合成元素·····	891
第十七章	同位素和輻射的利用·····	947
第十八章	生物效應與輻射防護·····	1047
第十九章	宇宙綫·····	1093
第二十章	基本粒子·····	1139

第一章

原子理論之基礎

原子觀念

原子的早期歷史

1.1. 廣義的物質原子結構，可以追溯至大約兩千五百年前，古希臘的學者，甚至更早期的印度哲學家。在西元前五世紀希臘原子學派的倡導者劉西布（Leucippus）和他的學生德馬丁（Democritus）教導他的學生們，所有的材料最終是由非常微小，不可分割的單位所組成的；德馬丁（Democritus）稱之為 *atoma*（原子）*；這些教材受到伊壁鳩魯（Epicurus）的支持，而他的觀念最後在西元前一世紀劉克丁（Lucretius）著名的拉丁長詩 *De Rerum Natura*（意為關於自然界的事物）中詳細說明，然而這種思想並沒有什麼進展，主要是由於深具影響力的希臘哲學家亞里斯多德（Aristotle）（西元前384年—322年）的反對。至此，原子學派的觀念被擱置了好幾百年。一直到歐洲文藝復興之後學術活動活躍的時期，才又復活。在西元

* “原子”這個名詞的字源是來自兩個希臘字，*a*（不），*temnein*（分割）也就是某些不可分割的東西。

十六和十七世紀，像在義大利的伽利略（Galileo Galilei），法國的笛卡爾（René Descartes）和英國的培根（Francis Bacon），波義耳（Robert Boyle），和牛頓（Isaac Newton）都贊同自然界物質並非連續的，而是由許多無限小的粒子或原子所組成的。

道爾頓和原子論

1.2. 一直到十九世紀，化學家的工作把原子從模糊的哲學上的想像轉變成實質的真實。物理學家更進一步以許多發現奠定基礎，發展了物質內部結構的細微知識。

1.3. 近代原子論的創始通常歸功於英國籍的教師道爾頓（John Dalton），（圖1.1）。他由於觀察氣體對水和其他液體的可溶性而對這項題目發生興趣，他在原子論的發展中所扮演的角色，雖然是最重要的，但常被一般人所誤解，德國的物理化學家紐司脫（W. Nernst）稱道爾頓的貢獻為：“以一種近代科學的努力，（它）像長生鳥從古希臘哲學的灰燼中升起。”這種誤解可以由道爾頓1808年出版的化學哲學的新系統證實，在這本書裏，他把原子當作化學結構單位的概念詳細地討論。



圖 1.1 道爾頓（John Dalton）
（西元1766年—1844年）

1.4. 考察物質的存在，像水就有氣態（水蒸氣），液態，和固態（冰）三態，道爾頓寫道

：這些觀察用不著語言就可以導出似乎四海皆準的結論；所有具有可感覺大小的物體……是由無數的小粒子，或原子，藉吸引力結合在一起。“似乎四海皆準”這個片語是有意義的，它表示物質的原子觀念已經被全世界所接受。人們贊同道爾頓是受惠於牛頓，他曾經閱讀過西元 1810 年一月牛頓在皇家學院所發表的講演，他寫道“牛頓證實了……一種彈性的流體〔即氣體〕是由許多小粒子或物質的原子所組成的！”

1.5. 無可置疑的，同時代的愛爾蘭化學家白萊海金斯（Bryan Higgins）（西元 1737 年—1820 年）和他的姪兒威廉海金斯（William Higgins）（西元 1769 年—1825 年）曾經在道爾頓之前幾年明白地表示過原子結合的論題，那為什麼後者被認為是原子論的建立者？答案是因為道爾頓定了原子論的量。由闡明不同原子彼此間重量的關係，他把一種真實的感覺導入純抽象的觀念。在一篇 1803 年十月向英國曼徹斯特，文學及哲學學會，提出的論文，道爾頓寫道：“據我所知，探查物體極微細粒子（原子）的相對重量是一項全新的論題，最近我在這項探查工作上所獲得的進展已經有了驚人的成功！”雖然大部份他所量出來的重量後來都被證實是錯誤的，但是道爾頓是一個播種者，而前頭的其他幾位只不過是翻動過泥土罷了！

1.6. 西元 1925 年哈佛大學勞威爾（Lowell）講座，英美哲學家懷海德（A. N. Whitehead）以近代世界的科學為題說道：考察人類的思想史，必須決定一個時期把實體的主流和偶然心存的無預期結果的思想分開，在十八世紀，每個受過良好教育的人士都閱讀劉克丁（Lucretius）之作品並享受原子的概念，但是道爾頓使它在科學的主流中具有有用的功能是一項創新的見解，古代思想家的原子說在本質上幾近於一種模糊的哲學臆測，但是道爾頓所宣佈的理論是專門的，他所提供的解釋，至少闡釋了許多化學事實，並且更為重要的

是成為進一步實驗與研究的指針。

1.7. 從道爾頓開始，原子假說在科學，起初是在化學上，後來在物理學上日益重要。真的，有些科學家，其中幾位是深具影響力的人物，像德國物理化學家歐斯特華德（Wilhelm Ostwald）就懷疑原子的存在，然而在本世紀的初期，這些反對者，一一都被駁。目前有許多論據有利於物質的原子結構，並且相信這種觀念將被全世界公認為證據確鑿的事實而非僅僅是一種理論。^{*}

化學元素

四元素理論

1.8. 當原子觀念正確發展的時候，另外一項也是根據希臘哲學的重要理論，正經由人類知識的香火而傳遞下來。恩北多克爾斯（Empedocles）在西元前五世紀沈思宇宙的組成時，引發了一種想法；把萬物的組成歸之於四種“元素”：火、土、水和空氣。就如同原子一樣，印度思想家可能比希臘人早一步有這種想法，可是目前的見解溯及後者遠較前者為直接，由於獲得亞里斯多德和其他人有力的支持，四元素理論在兩千多年前就被廣泛地接受，雖然離它的真正內涵還有些含糊。

1.9. 某些學者無疑地把元素歸之於土、火、水和空氣等材料，而其他的人把它們認為是自然界物理屬性的代表或本質。例如亞里斯多德直覺地認為所有的物質（Substance）是由一些他叫做 *hyle*（原

^{*}事實可以做如下的定義：具有肯定的證據證實某些事物的確實存在，而一項理論或假說純粹是一種觀念上企圖解釋或說明已知的事實。事實被認為是固定及不容辯駁的，而理論當被證明不適合時可以被改變或推翻。

料或材料)*的原始純質(Substance)所組成的。而這種東西可以包含不同量的四種性質或“本質”，熱、冷、乾和濕，像空氣是熱而且濕，水是冷而且濕，火是熱而且乾，以及土是冷而且乾等。材料和材料間的不同點在於這些原始性質的變化，然而基本物質永遠是一樣的。

1.10. 很顯然的，就因為這種四元素理論的闡釋，而使一些古代鍊金術士花了好多力氣想把一些平常的金屬變成黃金，幾百年來所有的嘗試最後都完全失敗，然而在目前，由於有關原子知識的累積，故意把一種元素變成另一種元素已成為一樁尋常的事。(參考第十章)

元素和化合物

1.11. 雖然亞里斯多德學派的理論遲到十七世紀還廣泛地被接受，但終於有人懷疑它是否有能力解釋不同形式的物質本性；其中較為有力的反對是由愛爾蘭人波義耳(Robert Boyle)在西元 1661 年倫敦出版的一本書懷疑的化學家(*The Sceptical Chymist*)裏提出的，在這本書他寫出對元素的闡釋，他寫道：“我所謂的元素，就如同那些化學家們所謂的本質那樣的簡單明瞭，某些原始而且簡單，或者完全不相混的東西，它並非由其它物體或其它元素組成的，…而是那些混合的複合物的成分，並且他們最終溶解在這些混合物中…我決不能視任何物體為一種真正的本質或元素……它們不全是均勻的，但可以進一步溶於任何不同的物質裏，他們是非常微小的！”

1.12. 曾經有人爭論上述的觀念並非為波義耳所創始，這些論點我們可以從上面引文開頭的前幾句話找到證據——“就如同那些化學

*後來，在十三世紀羅格培根(Roger Bacon)改稱為原質(*protyle*)，來自 *proto* 和 *hyle*，意為第一或最初的性質。

家所謂的本質那樣的簡單明瞭”。無論如何，波義耳是把演變中的近代觀點中的元素性質的基本概念表達出來了。然而這些概念對科學思想產生真正的影響，却是一個多世紀以後的事！西元 1774 年法國科學家拉瓦錫（A. L. Lavoisier）證明空氣至少是兩種氣體的混合物，（這兩種氣體現在叫做氫和氧），而不是一種簡單的物質，接著在西元 1781 年英國的白里斯萊（Joseph Priestly）和卡文狄需（Henry Cavendish）證明水是氫和氧組成的，四元素理論終於被放棄了！取而代之的是西元 1789 年拉瓦錫建立的元素近代觀念！“我們用元素這個名稱……來表示我們分析能力所能達到最後限度的物體。”元素可以被認為只含有一種物質，並且不可能以已知的方法分割成任何更為簡單的純質。

1.13. 根據這個基礎，拉瓦錫用一張表列了三十三種基本純質代替了希臘哲學家的四元素理論，而其中二十多種一直到現在仍舊被認為是元素，西元 1819 年以前，瑞典化學家本石里（J.J.Berzelius）使這個數目增加到 50，目前地球上確實存在的元素有九十多種之多，還有一些可以用其它方法獲得，這些方法我們將在第十六章討論。所有的材料至少含有一種元素，假如二種或三種以上的元素以化合的程序組合在一起，其產生物就叫做化合物。

元素的定義

1.14. 到本世紀的初期，化學元素一直簡單地定義為一種無法分割成其它形式的物質。當發現由一種元素瞬時轉變成另一種元素的放射性現象（參考第五章），以及發展使許多元素轉變和分裂的方法後（參考第十章），下一個精確的定義就成為不簡單的事了！在下面幾章我們就可以看到，無論是瞬時或人為方法促成的轉變，通常牽涉

到大量的能量。而另一方面，化學反應所牽涉到的能量屬於較小的數量級。因此我們可以把元素描述為不能以化學反應，即能量相當小的反應；分解成形式更簡單的物質，或是不能由這些更簡單的物質經由化學反應產生的物質，叫做元素。雖然這個定義有些模糊*，然而在目前，毫無疑問地能把二種純質到底是元素還是化合物分辨出來。目前許多可行的試驗是藉其特殊的物理性質，如光譜、質譜和X射線，來鑑別元素。

1.15. 原子現在可以定義為：元素中之可能最小者或終極的粒子，每一種元素具有其特性的原子。我們將可以在第四章看到原子還有其內部結構，並且可以分成次原子粒子，然而這些粒子，在自然界中大部份帶有電荷，不含有元素的特性，因此就保留元素的同一性質而言，原子可以認為是不可分的。

元素符號和化學式

1.16. 爲了以圖形來表示組成化合物的元素，道爾頓爲原子引進一組符號。氧原子用圓圈來表示，氫原子用一個圓圈中間加一點，氮原子用圓圈中間加一豎來表示。這種形式的符號不儘在考慮化合物的時候感到累贅，並且每發現一種新元素，就產生發明一種適當符號的問題。這項困難終於被本石里（Berzelius）克服，他設計一套方法表示元素和化合物，沿用至今。

1.17. 本石里（Berzelius）在他的論文“論化學比例的理論”（西元1819年巴黎出版）建議“化學符號必須使用字母，以不破壞本文而便於書寫和印刷爲原則”，並且應該“利用每一種元素拉丁

*元素較爲精確的定義是：帶有相同核電荷的原子所形成的物質（參考第四章）

名稱開頭的字母”，因此，氧（拉丁文 oxygenium）以 O 為符號，氫（hydrogenium）以 H 為符號，銅（Cuprum）以 Cu，金（Aurum）以 Au，銀（Argentum）以 Ag，及其他 * 化合物的符號，通常叫做化學式，就是把適當的元素符號連在一起加註號碼來表示化合物中同一元素原子的個數。例如，水由兩個氫原子和一個氧原子組合而成，其化學式為 H_2O ，硫酸含有兩個氫原子，一個硫原子，四個氧原子組成其化學式為 H_2SO_4 ，以此類推。

決定原子量

道爾頓的原子量系統

1.18. 如前所述，道爾頓嘗試決定原子相對的質量或重量**可能是他對原子理論的最大貢獻！當然，實際的原子實在太小，不可能直接去測量它的重量，因此，較為簡便的方法是以它們的重量和一個特殊原子的重量相比較，為了達到這個目的，道爾頓選擇了他所認為最輕的元素，恰巧，也是所有元素中最輕的元素——氫原子。因此我們定氫原子為單位重量，而其它原子的重量就以氫原子量為準。

*有些符號，例如 O 和 H 是由法文或其它原文拉丁化而來的，全部近代元素符號的表列在第 1.37 節。

** 雖然在這裏質量和重量當作同義詞來看待，實際上，嚴格地說，它們必須有所分別，質量是物體中物質多少的量，而重量是地心引力施於物體的力的大小，雖然“原子質量”一辭較為精確，但通常我們習慣用“原子重量”，至於“原子質量”目前用在其它特殊的意義上（參考第 6.63 節）

（譯者註）“原子質量（atomic mass）”和“原子重量”（atomic weights）部頒中譯名稱為“原子量”。

1.19. 獲得原子量的實際方法是藉關於原子性質的一些假說和原子間組合的方式決定的。在上面提過的化學哲學的新系統中道爾頓寫道：物體（例如水）的最小粒子是否完全相同，也就是具有同樣的外表（即大小和形狀），是一個相當重要的問題。就我們所知，沒有理由疑慮它們各則有所不同；假如真的有其不同存在，它們必須在組成的元素，也就是氫和氧，也有其不同。那幾乎不可能使我們相信不同的粒子聚集在一起會相同地均勻。……因此我們可以下結論，所有均勻物體的最小粒子，其重量、外形等等完全相同，也就是說，每一個水的（最小的）粒子彼此完全相同，每一個（最小的）氫粒子必定和其它氫粒子完全相同，以此類推……

“化學分析和合成只不過是把粒子彼此分開或聚集在一起，化學作用並不能使物質新生或毀滅，……所有我們所能產生的改變包括把結合或聚合在一起的粒子拆開，或是把分離的粒子連在一起。

“假如有兩種物體，A和B用來聚合在一起，下面就是它們產生聚合的秩序，開頭非常簡單：也就是，1原子的A + 1原子的B [= AB] ……，1原子的A + 2原子的B [= AB₂] ……，2原子的A + 1原子的B [= A₂B]，依此類推。”

1.20. 簡單地說，道爾頓的結論歸納成三方面：一種已知純質的最小粒子，無論是元素或化合物，其形狀，大小和重量都相同，化學反應不能使其性質有任何改變，僅只能改變其排列，而原子間的化合，依照最簡單的整數比，從AB起，然後是AB₂等等，假如一種已知元素的原子彼此相像，並且不受化學作用的改變，從化合物分析所決定的原子相對重量，必須是一個一定的常數，雖然真正決定相對的原子是使用了上述的第三項假設，而其結果假如沒有前面兩項假設，將屬無意義。

1.21. 道爾頓進行的步驟，可以參考他估計氧原子量的程序說

明如下：在那個時代，氫和氧只有一種已知的化合物——水——因此道爾頓依照他所發展的原理，假設它具有可能的最簡成份，也就是一個氧原子和一個氫原子化合而成，即 HO 。根據分析，他找到水是由一份重量的氫七份（後來顯示是八份）重量的氧化合成的，由此也假設氫的重量是一，氧的相對重量是七——正確值是八。也就是說，根據道爾頓，一個氧原子的重量是七倍——事實上是八倍——的氫原子重量。同樣地，由於假設氮的化學式為 NH ，氮的原子量相對於氫的原子量為五，——比較精確的值為4.7。

當量

1.22. 擱下道爾頓實驗上的誤差不談，有些他的原子量，像上面提到的氧和氮並不正確。矛盾的原因在於他假設簡單的化學式為 AB ，就像水為 HO ，氮為 NH ，是錯誤的；目前已經知道水的正確表示應該是 H_2O ，氮應該是 NH_3 。道爾頓所決定的就是通常所謂的元素當量（*Combining weight or equivalent weight*），也就是一種元素組合或取代——即相當於——一份重量的氫所需要的重量。*

1.23. 假如化合物的化學式真正是 HX ，例如 X 是氯元素，在這種情形下，原子量和當量相同，然而在其他情形下，原子量為當量的整數倍。很容易瞭解，這項倍數，通常叫做元素的原子價，等於一個已知元素的原子所能化合或取代的氫原子原子數。以水的化學式 H_2O 為例，兩個氫原子和一個氧原子結合，氧的原子價為二，並且原子量剛好是當量的兩倍。因此，假如道爾頓使用的水的化學式是正確的，他將會得到氧原子量是七的兩倍，即14，相對於氫，而較為精

*按照目前原子量系統，氫原子量以1.00797為基準，而不是剛好為1。（參考1.24節）