

彈子原與能子原

陳嶽生編

原

自書逾期罰

金堂書

共

八

月

共

日

原子能與原子彈

——核物理學發凡——

陳嶽生編

開

華
南
大
學
出
版



原子能與原子彈

(核物理學發凡)

三十七年八月初版

每冊定價國幣一元六角

編著者 陳 嶽 生

發行者 關 明 書 店
上海福州路
代表人范洗人

印刷者 關 明 書 店

有著作權 ■ 不准翻印

(79 P.) K

核

曹 序

陳子嶽生，好學之士也。近於授課之餘，編成‘原子能與原子彈’一書，索序於予。予觀其書，篇幅雖小，而體系完備，材料可靠，插圖醒目，行文流利，對於現代青年之從事科學研究者，實為有益之作。

書中所載核反應之分類，中質子數比與安定性之關係，遲發中子與鈾固之控制，爆炸理論及原子彈之效率，中鈾提取法之理論與實際，各種高能量粒子產生器之討論及性能，聚變與裂變之對比，臨界體積之討論，廣島被炸之官方報告等等，均屬本書之特色。而發展年表之搜輯，尤見編者之經營也。

曹惠羣 民國三十六年十月於上海

姚 序

提倡科學，在我國已經喊了幾十年了；其結果，除富有的人們，得能享受人家現成的科學之賜而外，僅有少數不計利鈍的科學家在艱苦中奮鬥而已。人人都說現在是原子時代了，但是在我國所見者，不過作為商業廣告的什麼‘原子糖’‘原子筆’之類。要找一本有系統而明白易曉的‘原子書’，恐怕還是不大容易。

大夏大學教授陳嶽生先生最近寫成‘原子能與原子彈’一書，源源本本，從最基本的原子觀念說起，一直到原子能的應用，搜羅周詳，文字流暢，深入淺出，引人入勝。書中力避艱難的數學，而奧妙的理論還是能曲曲道出。即使初中學生，稍有理化常識，亦不難一讀。所用譯名，除教育部已有公布者外，都是經再三考慮過的，簡捷而不失原意。本書對於我國科學普及化，是有相當貢獻的。

姚啓鈞三十六年十月於上海大同大學

自序

講論原子能的零碎文章，整本書籍，用中文寫成的也已不在少數，但是有的太散漫，有的太偏重描摹，有的太專門，都不能使一般的讀者，對於原子能和原子彈有正確的概括的認識，並對於原子核的基本知識有初步的全盤的領悟；除非他能博覽，他能遍讀。這對於一般的讀者似乎不是一個經濟的辦法。因此，我就寫成了這本小書，希望它可以適應一般讀者的程度與需要。

全書大部分以最近美國海軍部准許刊行的關於核物理學的材料為根據，並參考 Smyth, Born, Loeb, Wilson, Grim-schl, Richtmyer, Birkhoff 等等的著述，以及新出版的中外雜誌與通俗書籍二十餘種，編為一個有獨立系統的整體。數學的公式並不摒除，惟仍以不涉高深為原則。凡對中等數學及初等理化已有相當了解者，閱讀本書是應該不覺得困難的。

正像任何專門研究一樣，原子能的研究也可以納入四個題目：（一）純粹學術性的研究——原子核物理學；（二）有利人羣的效果——工業及醫學方面的應用；（三）有害人羣的效果——原子武器的製造；（四）發展簡史。本書第一至第七章講的是第一個題目，第八至第十章講的是第二個題目，第十一章講的是第三個題目，第十二章講的是第四個題目。

名詞方面，差不多全照通行的規定，但有少數出於新撰。我將 'transformation' 譯作 '轉變'，以別於普通的變化；又因為 'disintegration' 既譯作 '蛻變'，'decay' 既譯作 '衰變'，故將 'fission' 譯作 '裂變'，'fusion' 譯作 '聚變'，以收統一之效。

‘pile’一字我譯爲‘圍’，似比較‘堆’字好一些，因爲‘圍’有四面包圍及儲藏的意思，而且形狀也有些和所謂‘uranium pile’的‘pile’相同。‘particle’一字用來指原子內的各‘子’時，它的意思並不是一個‘mass-point’，而是一個‘minute part of matter’，所以我們不必拘泥於力學上的意思，定要把‘minute part of matter’也譯成意義不符合的質點。有人說，可以譯成質粒，但是我們也未嘗不可將它譯成能粒，因這些粒是具有雙重性格的。我以爲原子、分子、電子、中子、等等既然都是‘子’，而‘particle’一字指的就是這一大批‘子’，那麼爲何不將它譯成‘粒子’呢？所以我在本書中用此字指這些‘子’的時候，將它譯成‘粒子’，不過在討論力學上的問題時，仍保留‘質點’的舊名。‘deuteron’一字，有人譯爲‘陽雙質子’，殊嫌不妥，因爲它是一個質子和一個中子結合而成的。所以我乾脆把它譯成‘氘子’。關於名詞的話，即此而止。不過還得聲明一句，本書中所有新撰的譯名，也只好算是我所提出的愚見罷了。

宇宙射線對於介子及介子對於原子核的關係，這方面的學說，尙在初生階段中，故本書未曾收入。第十二章發展年表，亦祇輯到原子彈在廣島長崎投下爲止，因爲這是一個天然的段落。

至於原子能的前途，爲禍爲福，現尙在未定之天。不過最近密立根博士有一段談話，卻值得轉錄於此。他的大意是：

‘鈾祇占地殼百萬分之六，雖不像黃金那樣的希罕，卻也是夠希罕的了。……即使別種重元素也有用爲原子能源的可能性，世界的原子能源還是有限得很。這些東西是容易用完的，所以價值必將愈來愈貴。利用氫元素的聚變以求原子能的釋放，也像太陽上的過程一樣，這在地球上

一種永遠做不到的事情。世界上重要產鈾區祇有四處，比屬剛果，捷克斯拉夫，加拿大的大熊湖，以及美國科羅拉多州西南部。原子彈的新資源也許可以發見，但是鈾必將成爲極希罕的元素，所以鈾不應該用爲主要燃料或供大規模發電之用。……原子炸彈與原子能對人類的最大益處，還是在於使人類徹底了解，侵略性的戰爭有絕對消除的必要。

又據波斯特博士(Dr. Lyle B. Borst)最近在美國工程師協會開會時宣稱，原子能可與煤競爭而爲能源，須在十年二十年之後。最初的應用或許在艦船及潛艇方面。由此可知，至少在十年之內，原子能的應用將專限於軍事方面。這種情形，實在是很危險的。我深望我在兩年前的預測，沒有說中。

本書得在開明書店印行，多虧了老友顧均正先生的幫助和督促。他對於本書的內容，也提供過很多好的意見，‘裂變’一名就是他的建議。又蒙曹惠羣師及姚啓鈞同學作序，黃藝農先生繪圖，盧錫疇先生鄭續女士等任校讎之責，統此一併道謝，書中錯誤脫漏之處，在所難免，尙希讀者隨時予以指正。

硯廬主 民國三十六年十月於上海大夏大學

目 次

第一章 物質的結構: 分子和原子.....	1
物質的不連續性(1) 氣體分子運動說(2) 原子(6) 熱能與化學反應(7)	
第二章 原子的結構: 質子, 電子以及中子.....	11
物質的電性(11) 羅德福—波爾原子型(13)	
第三章 核的結構: 聚變與裂變	19
同位素(19) 核液比喻(22) 聚變與裂變的激發能(27)	
第四章 核轉變: 鐳與放射蛻變	30
鐳的放射性(30) 放射衰變(34) 核的轉變(36) 韋爾生霧室(38)	
第五章 核轉變續: 質量與能量的等價	43
核轉變與核裂變(43) 核反應中的質量變更(43) 核反應的預示(46) 聚變分數(46) 熱核反應(49) 核裂變(51)	
第六章 核轉變的種類: 各附重要例子	52
五類核轉變(52) 第一類——中子誘發核反應(52) 第二類——氘子誘 發核反應(54) 第三類——氚發射粒子誘發核反應(56) 第四類——質 子誘發核反應(59) 第五類—— α 射線誘發核反應(61) 核轉變的彙 述(62)	
第七章 高能粒子的產生: 靜電機與迴旋加速器	65
轟擊原子核所用粒子的來源(65) 最初所用獲得高能粒子的方法(66) 范德格拉夫靜電高壓機(69) 迴旋加速器(73) 倍加器(78) 其他 產生高能粒子的機器(80)	

第八章 鈾的裂變:曼哈坦區..... 82

用中子轟擊原子核(82) 鈾的裂變(83) 曼哈坦區的工作(88) 離心機法(89) 擴散分離法(92) 熱擴散法(95) 電磁分離法(95) 產鈾問題提要(97)

第九章 慢中子反應:鎔的製造,漢福德廠..... 99

怎樣補救中子的損失(99) 臨界體積(100) 慢中子反應(103) 遲發中子(108) 延緩劑(109) 鈾圓的輸出功率(111) 鎔——漢福德計劃(111)

第十章 原子炸彈與廣島:爆炸的理論與實際..... 115

爆炸概論(115) 原子炸彈的拼合與起爆(121) 原子炸彈的爆炸效果(122)

第十一章 原子能的面面觀:生物學及醫學上之應用..... 124

三個重要問題(124) 工作人員的保護(126) 治療上的應用(127) 生物學研究方面的用處(128) 原子能之和平時代的應用(128)

第十二章 發展小史:從臆說到原子炸彈的誕生..... 134

附 各種單位轉換互算表..... 148

第一章

物質的結構：分子和原子

1. 【物質的不連續性】 關於原子和分子，我們多少總聽到過一些，把這些聽到過的暫時忘掉一下，然後查考查考我們自己對於週遭世界的觀念，這倒是一件很有益處的事情。查考的時候，讓我們祇拿五官所感覺到的來做根據，這樣便是天真的辦法。譬如說，有一塊鉛，我們要考究它的結構。假使這塊鉛是一個每邊長六英寸的立方體，我們可以把它切成較小的立方體，毫無困難。即使要把它切成每邊十分之一英寸，甚至每邊百分之一英寸那樣小的小立方體，也是辦得到的。再要切得小一點呢？也還是可以，祇要我們有細巧的機器。有一種精密的劃線機，能在一英寸之內劃分一萬條線；我們若用同樣精細的劃分機，就不難把鉛塊切成每邊一萬分之一英寸的立方體了。

照這樣說來，我們有了適用的機器，便可以把鉛塊愈切愈小。但是要問，有沒有最小的限制呢？有的，假使我們要保留鉛的性質，就有最小的限制。我們祇管切而再切，切到每邊約為 10^{-8} 厘米時 ($10^{-8} = \frac{1}{10^8} = 0.00000001 =$ 一萬萬分之一)，倘若再切下去，就要不成其為鉛了。這最小的鉛粒子，依舊保留着鉛的各項特性的，我們就叫它做鉛的分子。對於其他任何物質，我們也作同樣的規定：任何物質的最小粒子，依舊保留着該物質各項特性的，便是該物質的分子。

我們的思想，當然不必限於固態物質。設想把一滴水分而又分，直分到成功了水的分子為止。分子是小極小極的東西，所以在很少量的物質裏面，也就有很大很大的數目。例如一茶匙的水中，便有 10^{23} 個水分子（在1的後面跟着23個圈，說起來便是一千萬萬萬萬萬）。凡是普通的液體與固體，密度相差不大的，分子結構不太複雜的，一茶匙大小的體積裏，差不多都有這麼多的分子。

氣體的密度比液體與固體小得多；所以，在同樣大小的體積中，任何物質成氣態時的分子數，比了成固態或液態時的分子數少得多。譬如加熱於一茶匙的水，讓它變成蒸汽，它的壓力等於大氣壓力，那麼它的體積就有300立方英寸左右。體積的增加在一千倍以上，而分子數並未增加，所以我們不得不斷定，蒸汽或氣體的大部分是真正虛無的空間。這一定是對的，除非分子本身也跟着膨大。然而分子膨大的假定已被證明是不確的。

從上面的論述，可知氣體或蒸汽並非連續的物質，只是很大的虛無空間，其中散布着物質的分子罷了。即使是比較緊密的固體和液體，它們所佔空間的大部分，也都可以證明它是虛無的空間。這一層，下文就要講到。

2. 【氣體分子運動說】 氣體有很多通常的性質，可以根據分子的假定加以解釋。

我們都知道，在裝有活塞的圓筒中，活塞與筒底之間的氣體，它的體積是可增可減的；在活塞上加重壓力，這一團氣體的體積便減少，壓力減輕，它的體積便增加。又若加熱於此氣體，並不改變它所受的壓力，那麼它便要膨大；冷卻的時候，體積便縮小。倘然在冷卻的過程中，欲保持體積不變，則活塞上

的壓力必須減低。

從這樣的觀察，就產生了所謂氣體分子運動說 (kinetic theory of gases)。簡單的說來，這種學說所假定的是：氣體分子猶如堅硬的小球，且在容器中久動不息，依很高的速率在種種方向內飛來飛去。又因分子與分子間的空隙很大（就分子的大小比較而言），所以它們總能夠在飛行一段距離之後，再互相碰撞，或同容器壁碰撞。當真碰上了，也是完全彈性體的碰撞；換句話說，毫無能量的損失，動能僅從此一分子移到別一分子上去而已。假使氣體冷卻，它的分子便動得慢些；假使受熱，便動得快些。

我們對於氣體所作的觀察，有很多可以用這些假定來解釋。氣體的壓力，即由分子向容器壁屢屢撞擊而生。假使容器的容量（亦即氣體的體積）減少，那麼分子便將擠得格外緊一些；於是在一定的時間內分子撞擊器壁的次數也格外多一些。因此，壓力便增加了。一定量的氣體，它的體積與壓力之間，有一個很簡單的關係，用式子來表示，便是

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 = \text{常數},$$

式中的 P 是壓力， V 是體積，右下角的數字指的是開始情況與最後情況。氣體的質量當然必須始終不變，而 P 與 V 的單位也必須前後一貫。此外，從開始情況到最後情況，溫度也必須不變。

溫度對於氣體的效應，也可以用氣體分子運動說來解釋。氣體受熱時，它的分子動得格外快，因此對於容器壁有更多更猛的撞擊。這更多更猛的撞擊使我們覺得氣體的壓力已經增

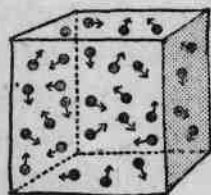


圖1 依照氣體分子運動說，氣體分子在容器中永動不止。

加。假使一方加熱於氣體，一方欲維持它的原來壓力，則氣體的體積非增加不可，因為分子對器壁的撞擊既然格外猛烈，則每秒鐘對一定面積的撞擊次數必須減少，方可維持原來的壓力，而體積的增加，可使分子疎散，也就可以減少分子撞擊器壁的次數了。體積不變時，壓力與溫度的關係是

$$P_1/T_1 = P_2/T_2;$$

壓力不變時，體積與溫度的關係是

$$V_1/T_1 = V_2/T_2.$$

這裏的 T 是氣體的溫度，用絕對零度以上的度數來表示。絕對零度是分子運動完全停止時的溫度，又是理論上不可以超過的最低溫度。它的數值是攝氏溫標零下 273° ，即華氏溫標零下 460° 。

關於氣體有一個更有用的概念，包藏在所謂亞佛加德羅定律 (Avogadro's Law) 之中。該定律說：在等壓力等溫度下的等體積氣體含有等數的分子。這條定律，起初根據着各種氣體化合時加以觀察而得的實證，現在更有物理學方面很多實驗的證明。從這條定律，還引出了不少有用的結論。

我們還要回頭再講一講關於氣體分子的運動和碰撞。一個氣體分子在剛剛碰撞第二個氣體分子後而又與第三個氣體分子碰撞以前所行路程的平均值，在物理學上稱為平均自由路程 (mean free path)。氣體分子的平均自由路程，其長

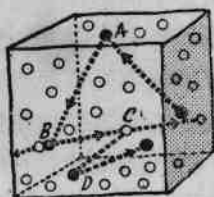


圖2 氣體分子的平均自由路程。粗虛線虛擬一個分子(用黑點代表，以別於用圈代表的其他分子)的一段路程，此分子在 A 與 D 處撞擊器壁，在 B 與 C 處碰撞別的分。在 B, C 之間不再與此外的分子碰撞時所行的平均距離，叫做平均自由路程。

短視氣體本身的溫度，壓力以及性質而定。在平常的壓力與溫度之下，凡是普通的氣體，其分子的平均自由路程大約在 10^{-5} 厘米左右。

我們切勿貿然斷定，一切分子的結構都很簡單，須知有許多分子都是很複雜的。上文為簡明起見，我們曾假定氣體分子是球狀，然而多數分子並非球狀。實際上，從極簡單的氮分子到很複雜的玻璃分子，蛋白質分子或合成橡皮分子，大小和結構都相差得很遠。複雜的分子，它們的克分子量有高到一百萬克的。所謂克分子量的定義，可以說是某種物質一定數目的分子的質量（用克做單位）。這個固定的數目叫做亞佛加德羅常數（Avogadro's number），約等於 6.0×10^{23} 。這個數目，記得也好，不記得也好，所須記住的是根據上述克分子量定義而得的一個重要結論。因為一個克分子量的一種物質所含有的分子數（即是亞佛加德羅常數），等於一個克分子量的任何別種物質所含有的分子數，所以單個異種分子的質量比（分子量的比）即等於克分子量的比。這就是我們要記住的重要結論。

若要知道分子有多大，那麼下述測定油分子直徑的簡單實驗，可使我們略得其梗概。取油少許，稱定其質量，然後舖在水面上，成薄膜一層。用一邊活動的鐵絲框圍住此薄膜，再將活動的一邊向外拉開，拉到一定地位時，即見油膜伸展到最大限度，過此限度，油膜即被撕裂，而顯出破綻來。我們很合理的可以假定，油膜伸展到最大限度，它的厚度便祇有一個分子的直徑，所以不能再拉，一拉便要破裂。測定這框子所能拉到的

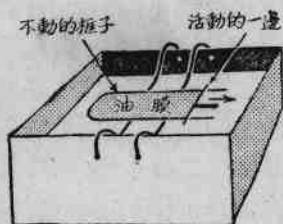


圖 3 決定油分子的直徑。

最大面積，並用另外獨立的實驗決定油的克分子量。從這兩個數值以及油的質量，即可推得油的分子個數。然後再推算每個油分子所佔的面積，由此即可算出油分子的直徑。我們的答案是：——油分子直徑 = 10^{-8} 厘米左右。普通分子的直徑，差不多也是這樣大。

我們都已知道，分子是保留着某物質各項特性的最小粒子。地球上既有盈千累萬種不同的物質，就非有盈千累萬種不同的分子不可。例如水分子、糖分子、鹽分子、玻璃分子、氫分子等等，都是各不相同的。化學家所知道的天然產物質，何止數十萬種，然而化學家還嫌不足，合成了人造絲、耐綸、人造橡皮、蘇發藥物、各種染料，把許多分子剪裁搭配，以求成品之適合於他們的特殊需要。時至今日，他們已經合成了五十萬種以上自然界中找不到的不同的分子。此後呢？我們當然沒有理由說他們不能夠再造出更多的新型分子來。因此，除了用組成物質的分子來區別物質之外，倘然沒有別的更簡單的分類方法，那麼化學必將比現在更為繁複，不但使一般人目迷五色，而且要使一般化學家也覺得眼花撩亂了。總算僥倖，我們還有更進一步的物質分類法。

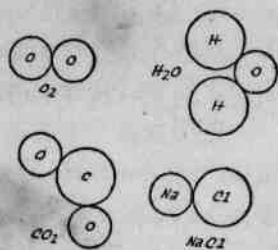


圖 4 簡單物質的分子。

3. 【原子】 化學家把分子再加剖析之後，發覺這些盈千累萬的物質，實由少數基本的物質組織而成，這些基本物質便是九十二種安定元素，和它們的幾百種同位素（解釋見下文），再加以幾種新近發見的不安定元素。凡是元素，都不能用任何化學方法分成更簡單的物質。這便是我們給元素下的定義。

把元素分成不可再分（再分即不成其為原來的元素）的最小粒子，我們稱之為原子。我們有氧、碳、氫、鐵、鉛等等元素，我們就可以談到這些元素的原子。不過有些物質如糖，卻非元素，因為它是碳、氫以及氧的原子所組織成功的，這些原子化合起來便成為糖的分子。糖分子是可以用化學方法分成較小較簡單的單位的，所以我們不能有糖原子。同樣，食鹽是氯原子和鈉原子的化合物（ NaCl ），所以也祇有食鹽分子而無食鹽原子。

4. 【熱能與化學反應】在適當的條件之下原子互相化合而成分子時，常有能的效應伴同發生。（有少數物質的分子由單個原子所成，例如氮與氫。）例如一磅氫與八磅氧化合（或說燃燒）而成九磅水時，就有約 60,000 英國熱單位（btu）的熱能放出來。一個英國熱單位的熱可使一磅水的溫度昇高華氏一度。所以一磅氫與八磅氧化合時放出來的熱，可使 340 磅水的溫度從冰點昇到沸點，也可以使 44 磅冰變為蒸汽。像這一類的化學反應叫做放熱反應（exothermic reaction）。

假使要從這九磅的水，再得原來的氫與氧，我們就必須加入 60,000 btu 的熱能，或他種形式的等值之能，方始可以把水分子分解。要達到這個目的，有兩條路：一是加熱於水，熱到充分高的溫度；一是通電流入水。後一個辦法比較實際一點，所需等值的電能，約為 16 仟瓦小時（即通俗所謂電表上的 16 度）。用這樣大的能量，祇能把九磅的水分子分解，成為氫原子與氧原子，可見它們的化合為水分子，必有很大的力把它們束縛在一起。

還有一種收熱反應（endothermic reaction），必須加入熱能以使反應進行；這種反應的例子也很多。例如我們取一磅氫