

原子砲術 及 原子彈

Robertson 著
張理京 譯



商務印書館發行

原子砲術及原子彈

Robertson 著

張理京 譯

商務印書館發行

中華民國三十七年七月初版

◆(57110)

原子砲術及原子彈一冊

Atomic Artillery

and the Atomic Bomb

定價 國幣 陸元

印刷地點外另加運費

Robertson

原著者 張理京

譯述者 張理京

發行人 朱經農

印刷所 商務印書館
發行所 商務印書館

* 版 權 所 有 *
* 翻 印 必 究 *

譯 者 序

原子能和原子彈這會事在兩年以前外界人還是很少聽到的，即使有人聽到了也不過半信半疑地在腦子裏留下一個問號而已。但現今這事不但爲了好奇心的緣故，並且實際上也有爲一般人所知道的必要了，第一譬如新聞記者要報道試驗原子彈的情形或與此相關的科學以及醫學上的消息時，除了一些奇怪的名稱之外至少還得瞭解這究竟是怎麼一會事。聯合國機構裏特別有一個原子能管制委員會，政治家教育家甚至經濟學家隨時都有遇到這件問題的可能，因爲這是影響國際間動盪局勢的一個重要因素，學醫和公共衛生的人對這事也有密切的關係，至於學科學的人更不必說了。生在現代的世界中使人都有一種感覺，好像知識方面的負擔是愈來愈重了。但這是似是而非的，科學的本性就是能把繁雜的知識變成簡易，因此學科學的人對於材料的增多是不必擔心的，譬如關於歷史長篇的記載，平常要費好幾天甚至好幾個月的功夫去閱讀的，若是攝成電影片之後，也許放映幾小時就能使觀者領悟。

譯者在去年三月間就開始譯「原子時代」(The Atomic Age Opens)一書。但其末後的三分之一都是些推測的話，這種想像

力我想一般人都是有的。譯這書是經比較好幾本同類的書而選定的。第一這書裏面的廢話少而內容好；其次原作者本人是這方面的權威，現為坎拿大皇家學會會長。他不但遠在 1937 年時已寫過類似的書（見原序）並且是應美國陸軍部製造原子彈負責人格羅烏斯中將之請而寫這書的。所以我們可以相信除了簡略以外這裏面所寫的材料都是極可靠的。

原子是不可見的，從原子核分裂出來的碎片更不能見，任何強有力的顯微鏡也不行。但科學家竟能測量原子質點所運動的距離等等，這要靠一種雲箱的裝置。書中的解釋時常提到雲箱和雲跡照片，爲了使讀者更能逼真明瞭起見，譯者特在書末加上「雲箱」一篇附錄，說明雲箱的機構。希望能夠對讀者有所幫助。

關於譯名方面在這裏要聲明的是幾個新的名詞。例如 Uranium 已通譯作鈾不成問題了，但是兩種新發現的元素鐳(Neptunium)和鐳(Plutonium)（準確一些說是新造出的兩種元素，因爲它們尚沒有發現存在於自然界任何物質中）還沒有統一的譯名，所以鐳和鐳不過是試譯的。選這兩個字作譯名的理由是若用金字旁加譯音則容易和不少別的元素相混，又因鈾的原名採取當時新發現的天王星，鐳的原名採取發現較晚的海王星而鐳的原名是採取了行星中最晚發現的冥王星，所以有這兩種元素的譯名。

譯者好些作為參考的新書大部是從北平美國新聞處圖書館借來的，承該處予我長期借閱的方便謹此誌謝。

理京。

原 序

整個科學史上恐怕沒有任何單獨的發現像發表第一個原子彈以後所受到的那樣戲劇性的歡迎。全世界都把這件發現當作頭等重要的新聞標題，日報上出現了關於原子彈長篇的記載，有意義的是原子彈對於軍事上的重要性雖並不爲人忽視，但一般都着重在這門最新科學的應用對於將來浩大的可能性。關鎖在原子核裏的能第一次被人大規模地釋放出來了。因此難免有人要說一個嶄新的時代誕生了，以後人類所需要的能不必再全靠油，煤和水力了。這個發明還引起了另外一種反應。因爲這用不着多大的想像力就可以認出一種危機——人誤用他所手創的傢伙將他自己以及他所有的東西都從地面上消毀乾淨。

因此自然有許多人要想知道一些關於原子彈的原理以及報章上所說的新的原子能時代究竟有多少真實性。在這本小冊子裏我們要用非數學的語言解答一些許多人要問的問題，本書係增訂作者 1937 年出版的「原子砲術」而成，當初那本書的目的是在「用淺近明顯的文字解釋近世物理學中一門特殊科學的有趣的事項」。原書的序上曾說：「讀者不必有專門技術上的知識可以從本書瞭解電子、正子、正電子、光子、中子及宇宙線的故事；可

以逐步知道各種射擊原子的戲法，如何將一種元素轉變為另一種元素以及從普通的鹽製造出放射性物質」。

因為「原子砲術」上所說的事增加一些材料之後，可以作為瞭解如何發現原子彈的基本知識，所以「原子砲術及原子彈」一書中可能利用原書大部分的材料，這本增訂的書中特別注重1937年以後這門科學上顯著的進展，尤其是鈾原子核分裂及連鎖反應可能性的發現。在本書內我們更可能充實討論下列一些「原子砲術」中所舉出的問題：「物質消滅轉變成能不僅是個空想，消滅物質而獲得能——這個觀念有驚人的可能性。我們以後能否控制原子的構造而裝馭它所放出的能？我們能否殲滅數公分的物質而利用其相當的能量？」再摘錄書上別處的一段話：「這可能性是異常的甚至是驚人的，消減少量物質所產生的能，若是用得不適當，會毀滅整個民族」。

原子核反應的結果所放出的能雖極端重要，「但原子砲術及原子彈」之所以能使我們有興趣者還有別的理由。這本書告訴我們一些關於特種砲術的研究，其中所用的砲彈是如此小的細粒，須要集合一百億億億之數纔能有一噸重；但它們的運動又是如此的迅速，若有機會能在不到一秒的時間內環繞地球，這本書又告訴我們如何製出人造放射性物質，如何將這些物質用來作為間諜探察人體內某種元素的性能，如何從盧則福勳爵第一次確

實證明元素變質的實驗之後又實際證明了少量物質的消滅可以生出相當量的能。(下略)

著者饒柏森 坎拿大皇家學會會長。

1945 年 9 月 3 日

譯者註：原序以下聲明對本書有關各方致謝，並稱此書係應製造原子彈的主持人美陸軍部格羅烏斯中將之請而寫者。
(1947 年 6 月 12 日)

目 次

第一章	成粒的物質.....	1
	元素及化合物 原子及分子 原子量	
第二章	推動帶電的質點.....	9
	兩種電 推動帶電的質點 電位差及電壓	
第三章	最輕的砲彈——電子.....	14
	陰極線 狀如太陽系的原子 電離 用電子射擊 由撞擊所產生的電離作用	
第四章	輕重的砲彈——正射線.....	26
	新的化學分析法 重水的發現 質子 質量與 能的相當 同位素的分離	
第五章	自然界的砲彈.....	45
	放射性元素的發現 阿爾法線倍泰線及嘎馬線 自然界的變質作用 人爲的變質作用 半生期 鈾的放射性	
第六章	非物質性的質量.....	59
	光子 光電效應 嘎馬線 測量能的單位—— 電子伏特	

第七章	宇宙線.....	67
	正電子 介子 宇宙線的本質 宇宙線的最終來源	
第八章	造出大砲來.....	79
	靜電發電機 迴轉子——走馬燈式的發射機	
第九章	近世鍊金術.....	90
	用質子作為砲彈 用雙質子作為砲彈 電荷驗算 另一種新的砲彈——中子 中子的重要性	
第十章	光子轟擊及一種新的驗算.....	104
	能量驗算的一個例子 我們能否從無中生有？ 用光子作為砲彈 中子的質量 一對電子配偶的出生 輻射能的放出 太陽的輻射及原子能	
第十一章	放射性元素的形成.....	116
	人造放射性同位素 放射性鈉 引人入迷的戲法 變出黃金來 鏷及鐳 用原子作為間諜	
第十二章	原子核的結構.....	125
	阿爾法質點的結構 是否尚有負子及小中子存在？ 原子核力 有什麼用？	
第十三章	原子核分裂及連鎖反應.....	136
	原子核分裂的發現 連鎖反應 減少中子逸散	

的損失 更進一步減少中子的損失，緩速劑的
應用 連鎖反應的控制 一九四二年十二月
二日

第十四章 原子炸彈..... 146

鐳的製造 製造鐳的工廠 用水冷卻 放射所
產生的危險 原子彈 一九四五年七月十八日
一九四五年八月五日 未來

跋..... 157

附錄 一雲箱..... 158

二中英文人名地名對照..... 163

原子砲術及原子彈。

第一章 成粒的物質

我們從小時起就熟悉周圍世界的某種現象，剛會走路的時候我們就知道行動的能力是受限制的，我們一不當心便會碰到桌子或椅子上去，或是偶而失去平衡會往下倒，但堅硬的地板又立刻擋住了我們的身體，人長大起來時的經驗也是一樣，不論是在走路或奔跑或開車，我們必須時時改變方向，避免和人或別的東西相碰，在通常所謂空間裏面，我們活動的自由因為有物質的存在而受到限制。

但我們不能就說限制我們活動的東西便是物質，因為若是沒有物質我們根本不能活動，火車及其所行駛的軌道是物質；船及其所通過的水，飛機飛艇及其所穿過的空氣也都是物質，我們要行動必須履在物質上，我們吃的是物質，若是多日不吃便無力轉動四肢，而四肢也是物質，離開物質我們實在不能想像世間的生活，固然我們熟悉像光波無線電波這類非物質性的東西，但二者都是從物質產生並且也要用物質才能覺察出來，電也是不可捉摸的東西，但它的效應都要藉物質才能表顯出來。

因此還在有史以前會思想的人就要想知道物質的構造和它的性質，紀元前數世紀時希臘哲學家已在思攷這個問題，我們若寫一篇文章述說這個問題的歷史，他們的思想是不可忽視的，他們給我們一個基本觀念——原子是物質的單位，原子這個名詞等到 1945 年八月中，全世界都已家喻戶曉了，那時現代科學研究上的造詣完成了原子彈，將來以原子能供給人生日用已不僅是個空談，這本小冊子要用普通的文字述說一些物理學上的故事，直到產生這種發明為止，要懂得這個故事，必須先知道原子和分子兩個名詞是什麼意思。

元素及化合物

所有地面上的物質可分兩類，第一類物質能爲人分解成兩種以上較簡單的物質，或者可以從較簡單的物質結合製成，這類物質名叫化合物，另一類物質不能被分解也不能從別的物质綜合製成，這一類物質叫做元素，水是化合物，因有電通過時水能分解成兩種氣體——氧及氫；反之適當混合這兩種氣體使其爆炸化合，則所得的結果是水，但是氧及氫都不能分解成更簡單的物質，所以它們是元素。

糖是含有碳、氧、氫三種元素的化合物，從鋪子裏買得的鹼是含有鈉、（一種輕金屬）氧、氫、碳四種元素的化合物，把銀白色的金屬鈉放在名叫氯的黃綠色氣體中就會起劇烈的作用互相化

合成常見的一種白色化合物——食鹽，但是像銀、銅、金、鐵、碘等物質不能分解成較簡單的物質，所以都是元素。

化學家的任務是研究化合物的分解，綜合以及各種化合物之間的反應，藉物理學家的幫助化學家已總共知道了九十四種元素並且苦心研究出無數化合物的性質和成分，遠在十九世紀初期化學家研究的結果已創出了兩條簡單而重要的定律。

第一條定律說，若是兩種或兩種以上的元素結合成化合物時，它們之間的比例常是一樣的，例若一兩重的氫終是和八兩的氧化合成水，（嚴格說起來水裏面氫氧的比例是 1.008 比 8，以後還要講到），二兩氫和十六兩氧化合，半兩氫和四兩氧化合，永遠接着這個比例，不會多也不會少，反過來說不論在多少水裏終含有一分重的氫和八分重的氧，這便是定比例定律的一個例子。第二個定律是，講到同樣的幾種元素結合成不同種化合物時的情形。我們最好也用一個實例來說明，含氧及氫的化合物不僅是水還有一種叫做過氧化氫，過氧化氫是一分重的氫和十六分重的氧化合而成，由此可見過氧化氫中和一定量氫結合的氧，恰好二倍於水中和同量氫結合的氧，這便是說明倍比例定律的一個例子，倍比例定律說：存在於不同化合物中相同元素的各相當量常成整數比。

原子及分子

上述兩個定律不過說明在現代科學上看來已是極古老的事實，但發現普遍的事實只是科學家工作的開端，他們最要的任务是找求這種事實的解釋，這兩個定律對本書一切問題的關係，乃是因爲用原子學說能圓滿解釋這兩件事實。

1807-1808 年化學家陶爾頓氏首創原子學說，根據這學說元素是由最微小，完全相同，不能再分而肉眼不能見的散粒——原子——所組成，這個觀念其實在陶爾頓的時代也並不新鮮，因原子這個名詞在人們口中已經流傳得很久，不過在以前從來沒有被人用在數量上解釋一種事實，古代希臘哲學家空洞不着邊際的推想和能夠用實驗證明的科學原理是炯乎不同的兩件事，陶爾頓的學說就屬於後者。

這樣說來元素參與化學變化的最小單位顯然就是陶爾頓氏所說的原子，形成化合物時兩種以上元素的原子結合成分子，而分子乃是化合物的最小單位，例如一個鹽的分子含有一個鈉原子及一個氯原子；一個水分子含有兩個氫原子及一個氧原子；一個糖分子含有十二個碳原子、二十二個氫原子及十一個氧原子。

若元素中的原子都相同，並且不能再分，那麼任何量化合物中所含的各種元素必有一定比例，若一個水分子含兩個氫原子及一個氧原子，則二分子水含有四個氫原子及兩個氧原子，一百

萬分子水含二百萬個氫原子及一百萬個氧原子，無論水的量有多少。這兩種元素的比例永遠是一樣的，第二個定律也很容易從此推出來，若一分子過氧化氫含有兩個氫原子及兩個氧原子，而一分子水含有兩個氫原子及一個氧原子，則不論這兩種化合物的量有多少，祇要它們含氫的量相等，第一種化合物裏含氧的量必是第二種化合物中所含氧的兩倍。

十九世紀中可以證明原子存在的證據愈到後來愈顯得確定，無數經化學家及物理學家實驗觀察過的現象，不論在性質上及數量上都可用原子學說預料或解釋，尤其是關於氣體性質的研究最為重要，根據所謂氣體運動學說，氣體中漫佈着迅速運動的分子，這些分子時時互相撞擊而改變運動的路線，它們也撞擊容器的四壁，物理學家就用這個觀念解釋氣體的壓力，說氣體的壓力是因其分子的撞擊所致；氣體的溫度增高分子運動的速度也增高，根據這觀念又很容易推出別的實驗定律，因而十九世紀的理論物理學講到原子與分子的存在已是確信無疑，馬克斯威爾說原子是「宇宙的基石」，自然造成變化無端的宇宙而其基本材料都是原子，岩石、花甚至人自身都不過是原子的集合體。

原子量

原子的存在既然已經有十九世紀的物理學家如此確信，我們便要問：原子的大小如何，重量如何？在解答這些問題之前我

們必須將原子的絕對重量和僅僅比較原子間重量的一組數字加以區別，從各種不同實驗所得的結果，我們可以確定地說一克氫之中有 600,000,000,000,000,000,000,000 個氫原子，假若你把這些原子排成一排須兩百萬個原子纔能有這本書上一個標點的寬度，像這樣以通用的單位所決定的數字叫做絕對數值，但我們所關心的祇是各種原子間的相對重量，至於原子的絕對重量怎樣求法，既非必需也非我們這裏所希望知道的。

各種原子的相對重量，可從下列兩項東西求得：(一)化合物中各元素的比例；(二)化合物分子中每種元素的原子數，故若水是由八分重的氧和一分重的氫化合而成，而一分子的水中有一個氧原子和兩個氫原子，則氧原子必為氫原子重的十六倍，求化合物中各元素的相對重量純粹是化學分析上的事，和原子學說及別的學說毫不相干，但決定分子內的原子數卻並不如此簡單，我們若要完全解釋這事便須遠離本題。我們祇須說明這數字是從定量化學分析的結果再利用 1811 年亞佛加特羅所創的一個原理而得來的，亞氏的原理說：在同溫度同壓力下，同體積的氣體含有同數量的分子：這原理是陶爾頓原子學說的推廣，並且還可以說明許多元素在正常狀態時其原子並非各自獨立而常結合成對（如氧、氫、氮、碘等）。這種成對的原子便是元素的分子，這原理對於決定化合物分子中各元素的原子數有重要的關係。

這樣我們可以給各種元素決定一個數字，使數字間的比例相當於原子質量之比，我們剛纔已說過若氫的原子量為 1 則氧為 16，用同一標準可得氮為 14，氯為 35.5，以及其他各元素的原子量。

這些數字便是原子量，決定原子量的確值是科學上極重要的工作，任何科學尤其是物理及化學的進展，全賴準確的測量，任何一門科學剛發展的時候，準確度常是不夠的，等到成立一種暫時假設的或互相對立的學說之後，孰真孰假必須由測量決定真偽，這樣愈到後來測量的程度愈準確，有時小數點後第五位數字可以忽略，但有時卻可以決定兩種見解的孰是孰非，求出準確數值的重要性，在決定原子量的時候便可以顯出來，我們以後就能知道。

原子量的值自然要隨第一個元素所指定的值而變，例若指定氫的原子量為二則所有別的原子量都須加倍，最初成立這一系數字時雖根據氫的原子量為一而決定，(這樣氧的準確原子量該是 15.87 而非 16.00) 但實際上今日所用的一切原子量都是根據氧為 16.000 而決定的，所以要改變這個作標準的理由是因為如此雖然使氫的原子量變成了 1.008，但卻可使別的許多原子量更近於整數值，書末第三表第四行是幾種元素的原子量。

從這表上我們可以看出一種重要的事實，許多元素的原子

量雖和整數值相近，如碳爲 12.0，鈉爲 23.0，但他種元素的原子量如氯爲 35.5，錫爲 118.7，卻顯然和整數相差極遠，若是所有的原子量都是整數或近乎整數，我們很容易想像一切元素的原子或許都是由氫原子造成的，這事雖和原子學說認爲一切原子不能再分的假定相矛盾，但在原子量未經準確測量以前確乎有人這樣想過，如 1815 年英國的物理學家漢勞特便是，但他的觀念並沒有生出什麼影響，因爲以後從準確的測量知道有些元素的原子量和整數相差太遠，但不久我們又知道漢氏所猜中的比他實在所想像到的事，還要深刻得多。

自十九世紀末迄今，不但證明了原子並非不可再分，並且還知道原子的構造極爲複雜，同元素的原子並不完全一樣，而各元素的原子都含有相同的成分，我們所要講的原子砲術對於發展這些觀念有很重要的貢獻，因爲射擊原子所用的砲彈大都是帶電的質點，又因射擊的方法不外乎利用電力，所以需要在下一章說明幾件關於電的基本事實。

第二章 推動帶電的質點

兩種電

用毛布或法蘭絨擦硬橡皮棒或火漆棒——用自來水桿筆代替也行——之後，棒就得到一種特性，把這棒拿到乾的碎紙片附近，紙片就被吸引起來，有的會豎立起來，有的甚至跳起來附在棒上，不但是紙片，別的小的乾的物件全都能被吸引，有時我們用絲線繫一個輕而小的通草球，把擦過的火漆棒硬橡皮棒放近去，也可以見到強烈的吸引力。

這種效果是因棒的表面所帶的電而產生，棒和法蘭絨或毛布緊密的接觸後，就會帶電而吸引輕的物質，英文裏電 electricity 這個字是從希臘文 electron 一字而來，這個希臘字的意思就是琥珀，因為紀元前六百年希臘哲學家推爾氏發現經過磨擦的琥珀能產生這種現象。

用絲綢擦乾的玻璃棒之後也有同樣的性質，也能吸引紙片和通草球，也能帶電，不過所帶的電和硬橡皮棒上的不同，這個不同之點和射擊原子的方法有關係，我們須要把它弄清楚。

要說出兩種電不同的地方，我們又得利用一個簡單的實驗，此番我們用三根棒；兩根是硬橡皮的，一根是玻璃的，用上述的

方法使三根棒都帶了電之後，把一根硬橡皮棒懸掛起來讓它能自由轉動，然後先把另一根硬橡皮棒靠近去，其次再拿玻璃棒靠近去，這樣我們一定可以看出兩種不同的情形，硬橡皮棒能把掛着的硬橡皮棒推斥出去而玻璃棒則能吸引掛着的硬橡皮棒，換言之掛着的棒為帶有同類電的棒所推開而為絲綢擦過帶電的玻璃棒所吸引，於是顯然生出一個結論：用毛布擦硬橡皮棒所生的電一定異於用絲綢擦玻璃棒所生的電。

十八世紀初發現這事的法國科學家杜費把這兩種電稱做樹脂性和玻璃性的電，這就是今日用符號 $-$ 及 $+$ 來代表的負電和正電，這兩個好像代數符號的名稱除了用來代表以及區別兩種電的不同外，沒有別的意義，我們需要反復記得的一件事是：同類的電相斥異類的電相吸。

磨擦物質的表面能够使物質帶電，有些物質帶的是正電——能够吸引帶電的硬橡皮棒；有些是帶負電的——能够推斥帶電的硬橡皮棒，我們若再留意一下又可發現另一件重要的事實：兩種物質互相摩擦之後，若一種物質帶正電則另一種物質必帶負電，故若火漆棒帶負電，則擦火漆棒的毛布或法蘭絨必帶正電；玻璃棒若帶正電，用來擦玻璃棒的絲綢必帶負電，這個原因極簡單，我們馬上就要講到。

推動帶電的質點

如圖 1 所示 M_1, M_2 為裝在絕緣架子上的兩塊金屬版，若要使兩金屬版各帶強度的正電及負電，其法可將絲綢擦過的玻璃棒反覆接觸 M_1 ，將法蘭絨擦過的火漆棒反覆接觸 M_2 ；或將 M_1, M_2 分別接到某種電氣裝置的兩頭上，至於這些電氣裝置的構造我們不必在此詳述，只要知道用在這上面的電氣裝置，不論是發電機、靜電機、誘導圈、乾電池或蓄電池，都是能把正電和負電分開使正電出現在一頭負電出現在另一頭的裝置，例如我們祇要把 M_1 及 M_2 接在靜電機的兩頭上，就有一邊帶正電另一邊帶負電。

如圖 1 之 P 假想有一個小的帶電質點在兩個荷電的金屬版之間，因小點 P 帶電所以就會受一版的吸引受另一塊版的推斥，若小點能自由運動而作用的力很大，則在未曾到達荷異性電的金屬版之前小質點已能有很高的速度，利用原理和此相仿的裝置，我們可以把帶電的原子(離子)以極高的速度運動前進。

電位差及電壓

帶電質點受電力作用所得的速度是原子砲術上一個重要的問題，這個速度由許多因素決定，例如質點的質量、作用力的大小以及作用時間的久暫，這些都是力學上的問題我們不必在此詳述，不過其中有個重要的因素在原子砲術上用得很普遍，我們

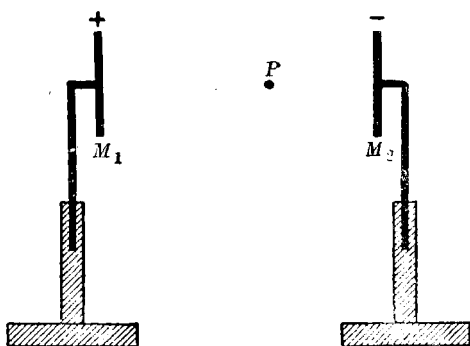


圖1. 若質點 P 帶正電, 就向帶負電的版 M_2 移動;
若 P 帶負電就向正電版 M_1 移動。

必須設法瞭解這個因素，一滴水因地心吸力從瀑布落下來的速度要看瀑布的高度如何，瀑布愈高或即兩個水面高度的差愈大，水滴的速度也愈快，我們可以藉兩平面間高度之差算出一滴水從上面落到下面時的速度，例如一滴水自由下落的速度經過 25 呎後是每秒 40 呎，經過 36 呎後是每秒 48 呎。

電學上有一種數量和高度的差極相仿，正像平常的東西受地心吸力從高處落向低處，帶電的質點（此地說的是帶正電的質點，若帶負電則運動的方向相反，）受電力的作用會從電位高的地方向電位低的地方移動，換言之若兩區域內或導體間有電力存在能使帶電的質點自一個區域移向另一區域，則此兩區域間有電位差存在，電位差的大小以伏特計之，家用電燈線兩端的電位差是 110 伏特或 220 伏特，汽車上每個蓄電池兩頭間的電

位差是二伏特，而接在 Δ 光管兩頭上的電位差有高至十萬伏特以上的。

若帶電質點由高電位移向低電位，換言之即帶電質點因電位差而自由移動時，質點運動的速度與電位差的大小有關，電位差低運動的速度也低，電位差高速度也高，正像下降物體的情形一樣。在圖 1 這種裝置中，我們若想使質點得到高速度須有兩個條件：（一） M_1 與 M_2 之間的電位差必須甚大；（二）質點須能自由運動不受阻礙，滿足第一個條件可以將誘導圈或他種電氣裝置發生高壓的兩端分別接在兩塊版上，這樣不但能使兩版各帶正負電並且能使其間的電位差有一萬至一百萬伏特，要滿足第二個條件須把 M_1 及 M_2 兩塊金屬版放在幾乎沒有空氣的管內，下章所討論的便是在這種管內加上高電壓時所發生的情形。

第三章 最輕的砲彈——電子

現今許多人都見慣了大小各城市中光彩耀目的電氣招牌，但見過這種電氣招牌的人不見得都知道這種光彩是因電流通過裝着氣體的細玻璃管而產生的，你若仔細瞧瞧這些電氣招牌一定不難看到玻璃管但也許你還不知道要使這些玻璃管發出彩色的光來，必須在管兩頭有金屬的地方加上電壓，加上電壓之後管裏面就有電流通過，把電流通過氣體中的事情在十九世紀末曾有充分的研究，並且從這些研究得到許多重要的結果，我們且看看這些結果是什麼。

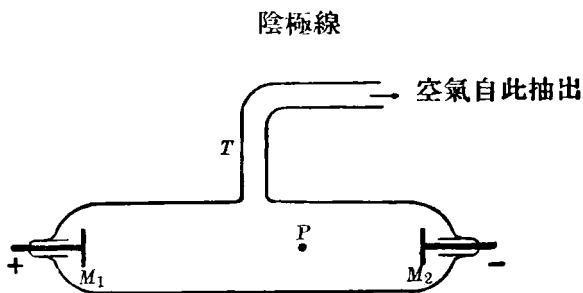


圖2. 若管內大部空氣抽出以後，帶負電的質點 P 會向正電極 M_1 移動；但若 P 帶正電則向負電極 M_2 移動。

如圖2所示管內 M_1 及 M_2 為兩塊金屬片——以後我們稱做電極；這兩個電極各自連到誘導圈的兩端， T 是通到抽氣機上的

支管，誘導圈開動時兩電極間產生高電壓，若同時把空氣逐漸從管內抽出，我們可以看到一種美的的現象，最初兩電極間產生一道柱狀的光，空氣慢慢變得更稀薄時光形狀漸變，先是管的中部變成窄細波狀的光，接着像電氣招牌一樣整個管都充滿了光；空氣更稀時管內就變成互相間隔一部分亮一部分暗的光，更變下去這現象又消失，光愈來愈暗，直到後來只剩一絲微弱的光，好像是從負極或即陰極的中心發出去一樣，這時管內已近乎真空，所剩的氣體只有原來的十萬分之一了。

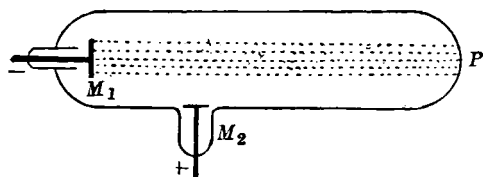


圖3. 點劃成的虛線代表一束陰極線。這時管內幾乎成爲真空，此陰極線從負極 M_1 附近沿直線前進。

這一線微弱的光是最初研究時極爲人注意的東西，這光從陰極發出來沿直線進行，就是所謂陰極線，陰極線是由某種東西流動而產生的，如圖3將管內的陽極移到一旁之後，陰極線仍沿直線向 P 射去而不彎曲，玻璃面上受陰極線射擊的地方有一片螢光，英科學家克洛克思作過一個類似的實驗，更明顯地證明了陰極線是沿直線進行的。若在圖3. 管內陰極 M_1 和另一端 P 之間加上一種障礙物，則射線經過的時候可以在另一端發螢光的

地方看出障礙物清晰的影子。

關於陰極線的性質曾經有人爭論過很久的時候，普通的光是沿直線進行的，並且也能產生清晰的黑影，但小的質點以高速度運動時也能如此，所以對於陰極線的性質自然發生兩種見解，第一種見解以為陰極線跟光一樣是一種以太的振動，另一種見解以為陰極線是帶電的質點，但結果實驗證明後者的見解正確。

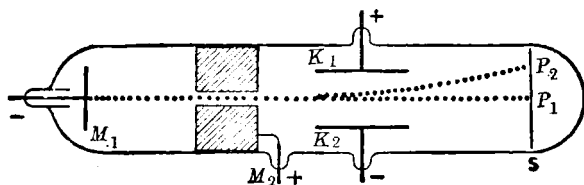


圖4. 虛線代表一束陰極線，此線從陽極的孔裏出來之後又經過金屬片 K_1 和 K_2 之間若 K_1 荷正電， K_2 荷負電，則窄細的一束陰極線不循直線擊在屏幕上的 P_1 點而偏向 P_2 點，由此可見陰極線是帶負電的。

證實第二種見解的許多實驗中我們現在只說一種，如圖4. 管內 M_1 是陰極，陽極 M_2 是中間各有一小孔的兩塊圓金屬片或中空的金屬圓筒，陰極線射到這種形狀的陽極之後便有一束窄細的射線從孔裏穿過去，管的另一頭是屏幕 S 上面塗有一種物質，受陰極線射擊時能發出螢光來，這樣穿過小孔的一束陰極線射在屏幕上時就能顯出一小點的亮光 P ，但僅是這樣還不足以顯出陰極線的特性，管內還得裝上別的花樣，在陽極 M_2 和屏幕 S

中間裝上兩塊金屬片 K_1 及 K_2 ，使陰極線通過時必經過 K_1 及 K_2 之間，平常的時候有這兩塊金屬片存在對射線沒有多大的影響。但若把金屬片各連接到蓄電池的兩頭使一邊爲正另一邊爲負，即當金屬片間產生電位差的時候，我們可以看到光點從 P_1 移到 P_2 的地方，這樣陰極線經過兩個帶電金屬片之間的電場時，它的路線受到偏折，從此可得一個結論：這些射線一定是由帶電的質點構成，這些質點爲一個金屬片所排斥而爲另一金屬片所吸引，因爲射線偏折的方向是靠近正電極而遠離負電極，所以質點一定是帶負電的。

不過最初證出陰極線性質的並非這個實驗，例如前此已有人證明陰極線通過磁鐵的兩極之間時也能偏曲，並且從此所得的結論也是一樣，但要瞭解從這個實驗所得的結論，需得多知道一點電的知識。等到後來證明用帶電的金屬片也能使陰極線偏曲時，陰極線是由負電質點構成的性質更是確立無疑了。

若認爲這個結論是對的話，馬上又生出許多問題：這些質點有多大？動得多快？是否全是大小一樣的？帶的是那一種電荷？解答這些問題祇要用一個和圖 4. 裝置相仿的管子實驗測量，譬如說測量屏幕上 P_1 至 P_2 的距離或即射線的偏折度是極簡單的事。我們不難知道這距離和所要求的幾個問題都有關係，質點的電荷愈大， K_1 及 K_2 間的電壓愈高，則使質點偏折的力量也愈大。

但重的質點比輕的質點難以偏折，運動迅速的質點也比慢的難以偏折，因之偏折度的大小不但和作用力的大小有關，並且也要看質點的質量及速度而定，有經驗的物理學家能用簡單的計算將這幾個因素連合寫成關係式，根據利用電場及磁場觀察計算所得的結果，我們可以知道下列幾件事情：

(一)陰極射線質點的質量約為氫原子的一千八百四十六分之一，而氫原子是以前所知道最輕的質點，射線中質點的質量不論用何種方法實驗總是一樣的，不論管的陰極是鐵、銅、銀、鉛或別的金屬，不論管內原有的稀薄氣體是空氣、氧、氫、二氧化碳或一切別的氣體，從陰極放出來的質點都有相同的質量，這是一個非凡的發現，從這裏我們至少發現了各種物質所共有的質點，原子不能再認為是不會分割或不可能分割的了，原子中一定含有這種質量幾乎是氫原子二千分之一的小質點。

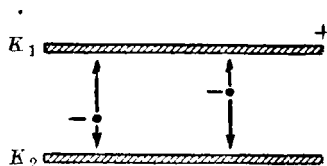


圖5. 密立根油滴實驗的原理——若油滴(圖中黑點)帶負電荷且在兩個帶電的水平金屬片 K_1 及 K_2 之間。若上面的金屬片 K_1 有正電荷，下面的一片有負電荷，則油滴受電力作用往上吸引，但同時既有重力作用往下吸引，故可調整電力平衡上下兩種力量使油滴懸在中間不動。

(二)每個陰極線質點所帶的負電量都恰相等，這個所帶的電量極小，管內每秒鐘須發出 1,000,000,000,000,000,000 個這樣的質點纔能有相當於通過二十瓦鎊

絲燈泡的電流，從以後的研究知道陰極線質點的電量是個自然單位。

最先確定這件重要事實的是密立根著名的油滴實驗，像別的名著實驗一樣這個實驗的妙處是在其裝置的簡單，用噴霧器把帶電的油滴噴到兩片有電荷的金屬版之間，平常一個油滴會因地心吸力慢慢下落，但如圖 5 所示若油滴帶負電而正電版在上面的時候，油滴又受到電力往上升的作用，這樣我們可以調整電力使和往下落的地心吸力和平衡，平衡之後，油滴便懸在空間，根據這個實驗所作的計算，可以得到油滴上電荷的確值，並且證明油滴上的電荷常等於陰極線質點的電荷或其整數倍，比這更小的電荷從未有過而比較大量的電荷都是這個電荷的倍數，本書中說到多少單位的電荷時，所指的就是這個特別單位。

(三)陰極射線的速度由陰極與陽極間的電位差決定，這種速度每秒鐘可達數千哩，這種速度和電位差關係好像下落物體的速度由下落的高度決定一樣，電位差為一萬伏特時射線的速度約為每秒三萬七千哩或即是光速的五分之一左右；電位差為十萬伏特時速度超過每秒十萬哩；百萬伏特時速度能有光速的百分之九十五，陰極射線無疑地是一種高速度的砲彈。

狀如太陽系的原子

在說到用陰極線射擊物質所產生的效果或損害以前，我們

需要重提原子的觀念，剛纔說過自從陰極線發現之後我們知道各元素的原子中一定都含有帶負電的質點，這個結論經過以後的研究都有極充分的證據，我們現在把這些質點稱做電子，電子在真空管中放射的現象就是陰極線，要使電子從原子中放出來有許多不同的方法，最普通的方法是使金屬變成赤熱，赤熱之後電子便從金屬裏蒸發出來，用科學術語來說這叫做熱性放射電子，有些無線電真空管裏可以看到發光的燈絲，就是爲了要使它放出電子而加熱的，圖 6 管中的燈絲 F 就是相當於圖 4 中的陰極，電流通過後燈絲便加熱，把燈絲的一端連到誘導圈的負極把管中的陽極連到誘導圈的正極之後所成的裝置，便是所謂電子槍中的主要部分。

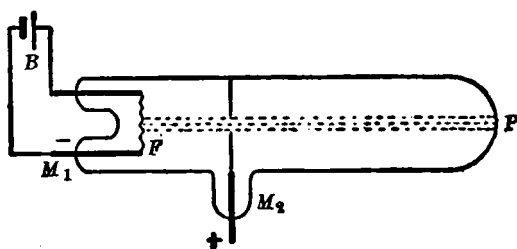


圖 6. 簡單的電子槍，——用電流通過細絲 F 使其受熱，電子便從 F 中解放出來，若在細絲和電極 M_2 之間加以電壓使 M_2 爲正極，則電子從燈絲射出穿過正極 M_2 的孔眼，然後再往前掃射。

原子中既含有電子，它的構造一定不簡單，並且原子本身既無帶電的現象，原子中一定又含有足夠的正電量能夠中和所含

電子上的負電量，那麼原子究竟是怎麼樣的東西？它的正電荷又在什麼地方？我們憑什麼去想像它？對這幾個問題可能有許多解答，經過多年之後纔有人想出了一個原子的模型，用這種原子模型敘述或解釋許多事實都極為方便，這樣的一個原子含有一個荷正電的核心或叫原子核，原子核的質量幾乎就是整個原子的質量，除此之外原子中還有幾個電子，各電子負電量之和剛好等於原子核的正電量，原子核及電子跟整個原子比起來都是渺小得很，若是把原子放大成一個直徑為 60 呎的球，原子核及電子比一粒沙子還大不了多少，根據這種看法原子就如同小型的太陽系，電子繞原子核旋轉正同行星繞太陽旋轉一樣，原子學說認為一切物質都是些小質點構成，但這些質點卻又非常稀疏，如同大洋裏面只含幾粒沙土一樣。

要分別各種不同的原子須要知道兩種數量：（一）原子量或即是和原子質量成比例的數字。（二）原子序數，這個數字的意義可用一兩個實例說明，我們有極充分的證據可以相信最輕元素氫原子中有一個帶負電的電子繞着一個帶同量正電的原子核旋轉；其次輕的元素氦原子中有兩個電子而其原子核帶二單位的正電荷；第三種輕元素鋰原子中有三個電子而其原子核帶三單位的正電荷；再如汞原子中有八十一個電子而其原子核帶八十單位的正電荷，原子序數就是原子核的正電荷數也就是正常

原子中的電子數，這樣說來氫的原子序數是 1，氦原子序數是 2，鋰原子序數是 3 而汞的原子序數是 80，近世物理學中原子序數比原子量更爲重要，因元素的化學性質由原子核四周的電子數目及其排列決定，而電子的數目就是原子序數。

電離

負電既受正電的吸引，因而每一電子受到原子核的吸力，所以電子若不轉動便會受吸引貼附在原子核上，但若加上一個向外的拉力也可能把電子從原子核的吸力圈中完全拉出來，這時原子核上的正電荷除了抵消其餘電子上的負電荷之外多出一單位來，這樣我們就有一個正的電離原子或簡稱之曰正離子，有時原子中失去兩個電子就成爲雙電荷的正離子，在這兩種情形下我們說原子被離化了，使電子離開原子的東西稱做電離因素，例如 X 光，鐳放射線中的噯馬線以及高速度的帶電質點都是，此外還有別的，以後就要講到，電子離開原子後常不獨立存在而依附在一個或幾個中性的原子或分子上形成負離子。

這樣說來，電決不是另外創造出來的東西而是包含在物質本身之內的，硬橡皮棒擦在毛布上時有一種作用（這種作用我們至今還不太明瞭）能將毛布上的電子運送到棒上，棒得了多少電子毛布就損失了多少電子，棒若得了一百萬單位的負電荷，毛布就多出一百萬單位的正電荷不能爲所損失的電子中和，因而毛

布就得到一百萬單位的正電荷。

電池和發電機並不能產生電而祇是能把正電和負電分開使兩接頭間產生電位差的裝置，電流經過一個線路時不過是電荷的移動——有時僅是電子單方向的移動；有時是正負兩種離子作反對方向的移動。

用電子射擊

有許多不同的方法可以把電子當作砲彈射擊，從這些方法中我們可以知道不少事情，而要述說這些事情足可以寫成一部書，這裏所寫的不過是籠統地說幾件有趣的結果。

陰極線或高速度的電子突然受到阻擋時能發出 X 光——大家所知道的一種不可見的光線，在 X 光管裏有一道電子射線擊在金屬做成的標靶上，被射擊的地方就發出 X 光來，渺小的電子射擊出去的時候我們肉眼看不見，但因射擊而在標靶上所生的熱是個確實的證據，X 光管中的標靶常熱得非常厲害，必須用特種方法避免溫度昇得太高，在用舊的 X 光管中我們很易看到被陰極線射擊的地方有個小孔，因這一部分地方受射擊時熱得很厲害竟至會使該處的金屬鎔解，受高速度陰極線射擊所產生的熱，確有人用來做一種小的真空爐子，要加熱的東西就預先放在陰極管內。

另外一件事與生熱的效應顯然不同——高速度陰極射線能

通過一層薄的金箔而不致產生損害，我們知道打仗時射擊砲彈爲的是要破壞目標，陰極線能破壞但又能逕自透過一層物質而不生損害，箔片誠然極薄(厚度不及二千分之一吋)。但也一樣受到射擊，可怪者在陰極線的真實性質尙未發現以前，這現象已受人注意，海爾次及雷拿兩位德國物理學家各在 1892 及 1893 年觀察過這種現象，雷拿並曾加以詳細的研究，如今有一種陰極線管，其一端是薄金屬片能讓電子穿到管外的空氣中，這種管就叫雷拿管，有時又稱做雷拿柯立芝管，因近時通用電氣公司研究員柯立芝曾將百萬伏特的電位差加在這種管上，產生極高速度的電子而作各種試驗。

用這種管子可以試驗在空氣中各種物質受電子射擊時的效應，柯立芝及其他研究者發現在管外這種陰極線的作用下能使酵素等產生丁種維他命；能使動植物產出新的種類；能使玻璃及其他物質變色；並且可以根據對於這種射線不同的反應鑑別藍寶石的真偽。

由撞擊所產生的電離作用

高速度電子的另一特性是能使它所穿過的氣體或蒸汽產生電離作用，速度太高的電子能一直穿過原子不生損害而速度太低的又沒有足夠的能量發生損害，但在一段很寬的速度範圍內運動的電子能夠使它所碰到的原子失去電子，我們知道原子失

去電子之後就變成正離子，因此高速度電子所經過的路線上有正離子作標記，用運動質點產生離子是使氣體導電最普通的一個方法，下面兩章要詳細討論這種產生離子的方法。

第四章 較重的砲彈——正射線

要想使含稀薄氣體的管內兩個電極之間通過電流，必須先使氣體離化，因為這種電流無非是由於正負兩種離子作反對方向的流動，這些離子的產生是由於撞擊的結果，並且還要靠時時存在的空氣中的散蕩離子，把電壓加到管的電極上時這些散蕩離子先受到推動，若管內是部份真空散蕩離子能够被推動相當的距離而不受阻礙，如此散蕩離子就可以得到足够的能去撞擊而使別的原子離化。原子離化後放出來的電子又受電力的推動而產生更多的離子，於是在極短時間內離子急劇累增，管內就有電流通過——陽離子向陰極流動陰離子及電子向陽極流動，若要得到陰極線，管內真空的程度必須很高，足能使陰極附近產生的電子在管內通行無阻，圖 7 表示氣壓不太低的管內通過電充滿了光並且都有正負離子存在時的情形。

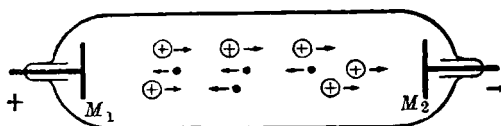


圖 7. 管內含有少量氣壓並不太低的氣體時，兩電極間許多正離子及負離子作反對方向的移動，正離子向負極 M_2 ，負離子向正極 M_1 ，

如圖 8 把管內的陰極穿孔，這樣流動正離子的存在便能很美麗的顯露出來，1886 年德科學家哥爾斯坦當管內氣體壓力適當的時候，在陰極 M_2 後面 B 這部份地方觀察到陰極上每個小孔後拖着細條的光線，那時電子及離子尚未發現，哥爾斯坦不知道這些穿過陰極小孔的射線是什麼性質，結它起名叫溝渠射線，直到 1898 年另一個德國人維恩將溝渠射線通過電場及磁場之後，使它產生和陰極線一般的偏折，證明了溝渠射線乃是帶電的質點，但溝渠射線和陰極線有三點極重要的區別：

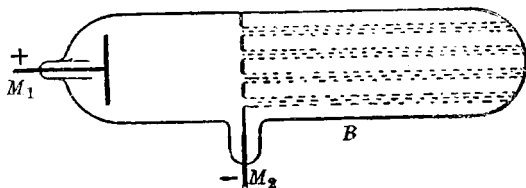


圖 8. 正離子通過負極 M_2 上所穿的孔後，在適當的氣壓下能如圖中虛線所示生出有色彩的線條。

(一)如圖 9 所示穿過兩帶電金屬片間一條窄細的溝渠射線向負極方面偏折，這和陰極線向正極方面偏折的情形不同，因此溝渠射線一定是荷正電的質點，這當然是能預料得到的，因這些質點就是流向陰極而穿過孔眼的正離子。最初研究這種射線的湯姆生就把它改名稱作正射線。

(二)使溝渠線偏折比較困難得多，並且必須用強力的電場和磁場，哥爾斯坦曾想用磁場使這些射線偏折但不能達到目的，

所以不易偏折的原因是正射線離子的質量比陰極線電子的質量大得多，我們前面講到陰極線的偏折時已經說過：質點愈重則使它偏折愈不容易。

(三)用測量陰極線同樣的方法測量正射線的偏折，知道此種射線質點的大小相當於原子，但其質量並不常相同，變換放電管中的氣體則正射線的質點也為之改變，我們既知道正射線是由放電管中的正離子構成，因之這事也在意料之中，若管內含氫則射線為氫離子，含氧則為氧離子，若管內含有氫氧兩種氣體，則射線中有氫離子及氧離子。

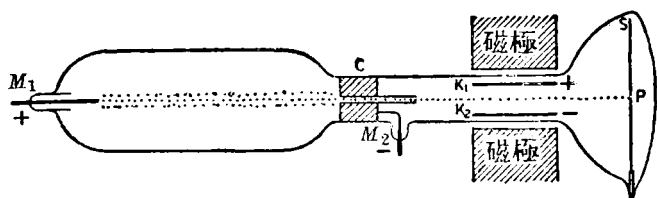


圖 9. 正射線分析管的簡圖，——圖中虛線表示正離子，其中一部分通過負極上之孔道後正常撞擊在屏幕 S 上之 P 點，但若 $K_1 K_2$ 兩片之間有電場，同時管子又放在兩磁極之間時因重離子為這兩種力場所偏折的程度比輕離子小，所以正射線中所含輕重不同的離子經過這兩種力場後就各自分離開來，第 10 圖即是正射線分析後在屏幕 S 上所顯出的形狀。

新的化學分析法

若正射線含有質量不同的離子，則通過電場及磁場的時候所含各種質量的離子就被分別出來，這就是湯姆生首先應用的正射線化學分析法，這個方法因其結果之重要所以有確實瞭解

的必要，當時湯姆生的方法應用如圖 9 所示的管子，射線穿過陰極 C 的細孔之後經過高度真空的區域，然後射到管末的屏幕 S （或照相版）上，屏幕上塗有一層物質能使射線所到的地方 P 發出亮光；若用照相版則對於射線的影響和感光一樣，圖 10 是湯氏原攝的一張照片，中間的點是受窄細而不經偏折的射線感光所致的。

但若射線經過帶電的片子 K_1 及 K_2 （即電場）之間同時又經過磁鐵的兩極間時，射線中的離子就被分別出來，若我們排列兩個力場使一個力場把質點依垂直方向推動而另一力場將質點依水平方向推動。這樣質量及電荷相同的質點，不論其速度如何，射到屏幕或照相版上時，總在同一條曲線上，這好像機關槍放出許

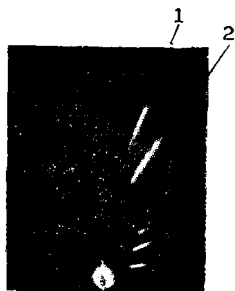


圖 10：正射線分析，每一羣離子打在照相版上成一線條，曲線 1 為氫原子，曲線 2 為氫分子，（最初拋物線正射線分析）。

多大小不同的子彈，這些子彈在到達靶子的途上受了兩種力的作用：一種力把子彈沿上下方向推動，另一種力把子彈往左右推動，有了這樣的裝置之後，同一種大小的子彈便打在靶子的一條曲線上，另一種大小的子彈打在靶上的另一條線上，若正射線中含有單電荷的氫原子，氧原子以及氮原子，照相版上便各有一條曲線相當於每一種原子所射到的地方，圖 10 上有四條這樣的曲

線，曲線 1 代表單電荷的氫原子，曲線 2 代表單電荷的氫分子，氫分子含有兩個氫原子故其質量為氫原子的兩倍。

這種分析法有許多優點，它能檢出極少量物質的存在，以湯姆生初時所作的研究為例，就可以顯出它的用途，將陰極線射到金屬版做成的陽極上，有時能使陽極版放出少量的氣態金屬，這些氣體中的有些分子便會參與放電作用，因此我們可以用正射線管將這些分子分析出來，用這個方法檢出元素的存在比分光鏡還要靈敏，它能使暫時的、不穩定的、一到放電停止便會變成他種物質的一羣原子顯露出來，並且能把所有參與放電的物質都記錄在照相版上，圖 11 是德科學家哈姆生用改良後的儀器所攝的圖片。

圖片上每一條線的旁邊註有一個數字，這些數字就是曲線所代表質點的原子量，這樣更可顯出正射線分析最大的優點，我們只要測量圖上各曲線間的相對位

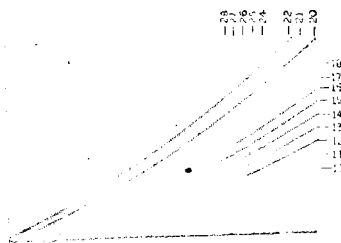


圖 11: 改良後之拋物線正射線分析照片，其中有氦之三種同位素，質量各為 20, 21 及 22。

移，便能準確比較原子量的數字，關於這事湯姆生用他自己原先所照得的曲線，已能得到顯著的結果，但近世科學上所要求的準確度，尚須將他的儀器加以改進，因此曾和湯姆生合作的艾斯敦

博士又設計新的儀器，使所得的結果更為準確，並且從此引起了許多重要的發現，因之使艾氏獲得納貝爾獎金，他及美國的班勃里、鄧普斯特等人的研究，在原子核物理學的發展史上佔極重要的地位。

近世科學家分析離子的儀器和原先的裝置一樣，要靠電場和磁場的適當配合使射線偏折，這種儀器構造上的詳細情形不必在此討論。但我們要注意從現代儀器上所攝的最後一張圖片與衆不同之點；湯姆生圖片上長的曲線在這圖上變成短的直線，讀者請看圖 12 及圖 13。



圖 12：分析離子用之質量分光譜，每一短線條為質量等於所註數字的質點，16 上之兩線條係由氧原子及質量幾乎相氧相等之一化合物分子所致。

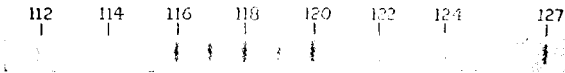


圖 13：另一質量分光譜，各線條除 127 外均為錫之同位素。

熟悉光學上分光譜圖片的讀者，可以從這些圖片上看出有相同的地方，含有多種光的射線經過三稜鏡後會散成光譜，將各部分的光分別顯現出來，用這方法也一樣地能把正射線中所含的各部份物質分別顯示出來，因之這種分析的儀器自然被人稱

作質量分光鏡了，每一條線代表一定質量離子的圖片稱做質量分光譜，從測量質量分光譜上線條間的距離可以求得準確的原子量。

重水的發現

用這種測量怎樣引起重水的發現是近世物理學上最能引人入勝的故事：1912年湯姆生分析放電管裏的物質，其中含有少量的稀有氣體氦——原子量為 20.2 的元素，他所攝得的圖片上不但有相當於原子量為 20 的曲線，還有一條曲線相當於原子量 22 的，當時雖不知有原子量為 22 的元素存在，但經實驗後證明這兩條曲線都氦是由產生的，1919年大戰終了後艾斯敦回復他的研究工作證明這個結論是真確的，元素氦是兩種原子的混合物：有一種的原子量是 20 ，另一種的原子量是 2.2 ，這兩種原子數量的比例正好使混合後的平均原子量等於 20.2 ——如同用化學方法所求得的原子量一樣。

根據陶爾頓的原子學說，每種元素的原子都是相同的，但這裏卻有個確鑿的證據——平常一種元素裏能夠有兩種原子量不同而化學性質相同的原子，這個結論實際上並不新奇，早先的實驗已證明不穩定的放射性元素中也有同樣的情形，科學家已熟知在放射性元素中有幾羣包含兩種或兩種以上的元素，每羣中各元素的原子，有同數的電子及相同的化學性質而質量不同。

1913年沙地把這樣一羣中的每個元素稱做同位素，湯姆生和艾斯敦的發現證明非放射性元素中也能有同位素存在，這也是個極重要的發現，質量光譜的形式改進之後，發現同位素是一般元素都有的而並不是例外情形，讀者請看書末第三表就可以知道，例如平常認為原子量是 118.7 的錫至少有十種同位素，其原子量自 112 起到 124 止，從書末第 1 頁圖 13 上可以看出其中有不少的同位素。

圖上每一種同位素代表錫，他們的質量雖不同，但原子序數，也就是原子核上的單位正電荷數或周圍的電子數，恰好都是 50，元素的化學性質由原子核以外的電子數決定，所以同位素的化學性質相同，不能用化學方法使其分離，每一種同位素都是元素錫，所以決定原子性質的不是原子的質量而是原子的序數，例如錫的標記是它的原子序數 50，銀的標記是 47，鈉的標記是 11，汞的標記是 88，這些都是元素的原子序數，此外甚且還有元素的種類不同而原子量相同的，例如金屬元素鈣的原子序數是 20，鈣有一種同位素的質量是 40，但氣體元素氫的質量也是 40，所差者是氫的原子序數為 18 而非 20。

若氦中有兩羣質量數為 20 及 22 的原子，那麼氦元素的原子量究竟是多少？求得的結果是否能和化學方法所決定的原子量 20.2 相符合？各種同位素的原子在化學反應中是伴在一起的，

所以用化學方法求得的原子量是個平均值，要從質量光譜上求這個平均值我們必須知道各同位素的相對數量，知道了相對數量之後便可用簡單的算術求原子量的平均值，例若籃子裏的柑子有一半是每個重十兩的，有一半是每個重十二兩的，則籃子裏每個柑子平均重十一兩，但若大多數的柑子是每個重十兩的，只有少數的柑子是每個重十二兩的，那麼柑子的平均重量一定和十兩差得近和十二兩差得遠，若我們知道兩種柑子各有多少個，平均重量就容易求得，同樣的道理我們若知道各種同位素相對的量，也可以從質量分光譜上各同位素的原子量求得平均值，各同位素相對量之比可以從質量光譜上各線條上點的濃密程度決定，因射在照相版上的離子數愈多，照相版線條上的點也愈密而顯得愈黑，氖質量光譜上相當於 20 線條上點的密度為 22 線條上密度的九倍，願意演算術的人不難從此算出兩種原子的平均原子量是 20.2 。

所以用質量光譜可以完全不賴化學方法求得元素的原子量，若是兩種方法都可靠的話，所求得的結果一定相符，1929 年有人比較兩種方法求得的數值，相差祇有萬分之一，符合的程度頗為可觀，同年又發現以前認為祇有一種同位素的氧（原子量為 16.000 ）也有少量質量為 17 及 18 的同位素，若所有原子量都是根據氧最主要一種同位素的質量 16.000 而定，則氧的平均原子

量當略多於 16.000 反之若仍把氧的平均原子量當作 16.000 而用化學方法決定其餘各原子量，則所得的值應該略小於質量光譜上求得值，平常時這個所差的數字極小，但測氫的原子量時兩種數字之差大於可能有的誤差，美國物理學家柏奇和孟德爾認為相差之所以過大乃是由於氫中有質量為二的同位素尚未為人發現，美國科學家尤萊、勃列克威德和穆非就利用質量分光鏡找求這種同位素，於是質量為二的重氫或氘就在 1932 年發現了。平常氫中所含的重氫祇有幾千分之一，但不久又有增加重氫濃度的方法，最後終於製出純粹的重氫來。

若重氫的發現不過另外多知道了一種同位素，這事也就不足為奇，但全世界科學家卻特別注意這個同位素，作了不少物理上和化學上的實驗工作，原因很簡單：論原子核上的正電荷及核外的電子數以及和這兩因素有關的各種性質，兩種同位素是像學生兄弟一樣沒有分別的，原子量之比近乎一的同位素，例如氯 35 及氯 37，其些許質量上的差異只有用極精密的方法纔能檢別出來。但像這兩種氫同位素的質量之差竟達一倍，其性質上的差異一定極為顯著，所以重氫發現後有人就用來在化學上和物理上作了幾百種的實驗，把重氫代替各種化合物中平常的氫之後，研究性質上所發生的差異。

這些化合物中最出名的就是重水，平常的水是氧和氫化合

的，重水是以重氫代替平常水中氫的化合物，這兩種水看起來沒有差別，性質卻大為不同，平常的水在華氏 32 度結冰 212 度沸騰；重水結冰的溫度是 38.8 度而沸騰的溫度是 211.45 度，平常的水能解渴重水卻不能，瑞典的韓森雖喝過三分之一盎斯的重水不會有中毒的現象，但即使喝了不打緊平常人也是喝不起的，因為製造幾兩重水極為費錢。

質子

我們知道從分析射線中的質點產生了決定原子量的物理方法，並且發現了許多元素的同位素特別是重氫，質量分光鏡對於物理學上的貢獻是在能準確測量各同位素的質量，以氧主要同位素的原子量 16.000 作標準我們以前提到的原子量都是整數：如氯兩種同位素的原子量為 35 及 37，氫同位素的原子量為 1 及 2，氖為 20 及 22，氧為 16, 17 及 18——但我們並沒有說明這些是否確切的數字，用現代經過改良之後的儀器我們可以準確測量分光譜上同位素曲線的位移，測量的結果知道所有同位素的質量幾乎全是整數，讀者請看下列第一表就可知道。

這個重要的結果使漢勞特的假設又以新的姿態出現，以前因為有些元素的原子量和整數相差甚遠，漢氏的假設（一切原子係由氫原子所構成）未曾受人重視，後來又發現一切同位素的原子量幾乎全是整數，使人想起氫原子（準確說是氫原子核或即質

子(該是造成別種比較複雜原子的基本單位,至少一切原子核爲帶正電的質子所構成的學說,已有人注意了。這事和陶爾頓的假設(同元素的原子完全相同且不可再分)差得更遠了,這樣不僅是原子連原子核(氫除外)的構造也是複雜的,但以先研究放射性元素的人早已提示過這個觀念。

第一表

根據 $16 \text{ 氧} = 16.000$ 而定的幾種同位素的準確質量:

元 素	質 量 數	準 確 質 量	元 素	質 量 數	準 確 質 量
氫	1	1.0081	硼	10	10.0160
重 氫	2	2.0147	硼	11	11.0129
氦	4	4.0039	碳	12	12.0039
銻	5	6.0168	氮	14	14.0075
銻	7	7.0182	氧	16	16.0000
銻	8	8.0080	氖	20	19.9989
電 子	—	0.00055			

質量與能的相當

質子和電子是構成原子的磚石,但這個假設和別的假設一樣須經過數量上的考驗,例如氦原子的質量是 4.004 ,根據假設氦原子中一定含有四個質子(註)。每個質子的質量是 1.008 ,但

$$\text{四個質子的質量} \quad = 4 \times 1.008 = 4.032 \text{ (註)}$$

$$\text{氦原子的質量} \quad = 4.004$$

$$\text{相差} \quad = 0.028$$

(註：這是約略的計算，忽去每個電子的質量 0.00055 ，但將數字校正後此地所要說明的事項仍屬真確。基於原子核由質子及中子構成的觀念作更準確的計算時，則相差當為 0.030 而非 0.028)

這簡單的算術式子表明四個正子合起來造成一個氦原子核時，總質量比結合以前減少了，但測量是很精確的，這個相差不能認為是由於實驗上的誤差，此地損失的是 0.028 單位的質量(見註)，照這樣說來 $2+2$ 不一定會等於 4 了，要解釋何以有這個相差的緣故，我們必須暫時離開正題。

十九世紀物理學和化學上的兩塊基石是物質不滅和質量不滅兩個定律，第一個定律說宇宙間所有物質的總和常是不變的，把二兩的化學藥品和二兩別的化學藥品混和，不論產出什麼東西，所得結果仍是四兩，就物質而論，二與二相加之變為四是誰也不敢懷疑的。

質量不變定律卻並不如此簡單，因為正和有些科學教科書上所說的相反，質量不是代表物質的量，也不僅是物質纔含有質量，這個量是代表物質的惰性，愈難推動的物質含有的質量愈大，愈難使其改變軌道的動質點，所含的質量也愈大。有一時期物理學家認為每件物體都有一定的質量，但他們漸漸又有別種想法了，十九世紀終了以前湯姆生用理論證明帶電物體的質量應隨其速度而變，即有所謂電磁質量的存在，這個理論經過德國科學家考夫曼用實驗證明，他證明電子運動愈快時愈難把它推

出軌道以外，因此質量也愈大，這樣質點在不同的情況下，必須認為具有不同的質量。

艾因斯坦的一個定律對於質量的觀念更爲新穎，根據這個從相對論推出的定律：(一)物體能量的增加即其質量的增加，(二)各種形態的能各具有一相當的質量。人跑路時具有運動能因而其質量略大於靜止的時候，這事聽來荒唐並且也難以覺察，甚至二百噸的火車頭每小時開行60哩時也不能察出有質量的增加，但不管能否察得出來，質量因運動而增加是真的，我們熟悉了原子中別的質點以後就要講到一個實驗，可以證明能與質量之爲相當，能與質量之相當已是近世物理學上最基本的觀念，其真確性已無人置疑，靜止的物質固然有質量，然而能也有質量。

若我們確信艾因斯坦的觀念，則質子結合時損失質量的問題立刻可以得到解答：四個質子拼成氦原子核的時候有能放在來，這能的相當質量即是所損失的0.028單位，物質消失了而能產生出來，若物質可以變成能，物質不滅定律就不容再存在；且同一質點的質量既隨速度而變，質量不滅定律似乎也一樣不容再存在了，這樣說起來物理科學上是否沒有永遠不變的東西？我們說有的——便是能量，十九世紀科學上的第三塊基石是能量不滅定律，二十世紀中雖創出了許多革命性的學說，這定律卻像磐石一般地不受動搖，一種能量以一切方法轉變成另一種能量

時，絕不會有絲毫的損失，一切能量的交易上收支永遠是平衡的，科學上決不會從無生有，每一次轉變時所產生的能量永遠等於所消耗的，這定律的可靠性雖不時受到威脅，但從來沒有被推翻過，這是物質科學上的基本原則。

若將這原則和艾因斯坦的質量能量相當律結合起來，則質量不滅定律仍能存在，因若能量不會減少質量也不會減少，運動得很快的質點所增加的質量，不過是代表他所獲得的運動能，也就是外力加在質點上的工作，當質點碰到標靶而靜止時便又失去這額外加上的質量，因相當於這額外質量的能已傳給了標靶或周圍的媒介質。

四個質子結合時有 0.028 單位的質量消失了，這質量並不會消失而以相當於這質量的能出現，不過 0.028 單位的靜止物質則不復存在，因此物質可以消滅而轉變成能不僅僅是一個猜想，殲滅物質就可以得到能，這觀念能產生驚人的後果，我們將來能否控制原子的構造而裝馭其所放出的能？我們將來能否殲滅少量的物質而利用其相當的能？若是能夠則消滅重一噸（即盎斯）煤塊所產生的能足夠供給二十五萬人一年之用的電力，對於靠着能的來源而生存的人類，這些問題是異常重要的。

自從本書第一版出刊以來，這問題已得到一部分的解答，原子彈已經製造出來了，原子核反應中由於物質消失所放出的能

已經可以爲人控制了，但在解釋這些驚人的發明之前，我們尚須多知道一些原子砲術上的事情。

同位素的分離

我們已知道一元素的各同位素如何能藉質量分光器記錄在照相版上，如何能從這些圖片上所作的測量求得同位素的原子質量及其相對量的多寡，但尚有一個更重要的實際問題是如何把各同位素分離開來，把每一種同位素收集起來再秤它的分量，在一瓶氫中有一份質量爲二的重氫便約有五千份質量爲一的氫，從平常的氫中分離出相當量的重氫是否可能？我們說是可能的。但因世人已知鈾對於原子彈的關係極大，我們先討論鈾同位素的分離。

鈾原子序數爲92，是一種極重的元素，其三種同位素的質量各爲234, 235及238，根據分析知道鈾234含量極少，鈾235佔全量一百三十九分之一，其餘的自然就是鈾238了。

聶爾、蒲士、鄧寧及葛魯斯曾用質量分光器從鈾238中分離出不到百萬分之一公分的鈾235，他們用這一點點微量的鈾235證明了鈾原子分裂時所放出大量的能是由於鈾235，因此以後研究原子彈的大問題，便在如何去製得大量的，含百分率極高的鈾235。

本書的目的不在詳細討論技術上的程序，但下述幾種增加

銻 235 濃度的方法，所用的基本原則不難瞭解，當為一般讀者所樂聞。

(甲)電磁方法

這方法原則上和質量分光器相同，元素的離子受電場作用增加速度後經過一個強力的磁場，離子便循着圓的路線運動(參閱書末第 4 頁圖 21)。因每一圓形路線的直徑隨離子的質量而

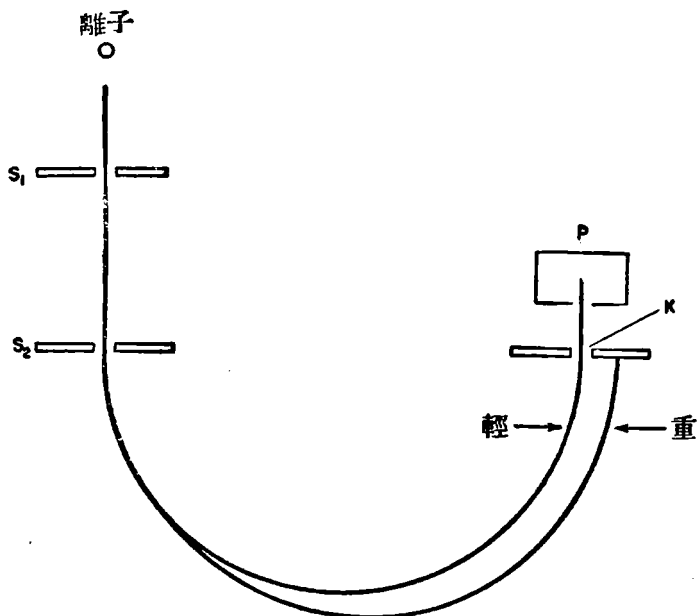


圖 13: A—元素兩種以上同位素離子的混合體，經過電場加速之後從 S_2 的縫裏出來，然後混合的離子經過強磁場，各種離子即行分離，每一種離子各循略為不同的圓弧軌道前進，如圖在 K 處開一適當的孔，即可將任何一種特殊的同位素收集起來。

異，故每一種質量不同的離子繞過半個圓圈後便分道揚鑣，射擊到障礙物上不同的地方，如圖 13 A 在 K 處開一適當的縫，則能在縫後的容器中，收集任何一種特殊的同位素。

經過許多實驗後知道這方法可用來大規模分離鈾 235，其最後製鍊的程序上並須用到加州大學世界最大迴轉子上的電磁鐵，由此可見這事的工程，關於這個迴轉子在第八章中還要提到。

(乙) 瀰滲法

兩種以上同位素的混合體在氣體狀態時，較重同位素分子運動的平均速度低於較輕同位素的平均速度，因此較輕一種的同位素比重的容易滲入一個有細孔的障壁，反復利用這個原則可以增加元素中任何一種同位素的含量。

這方法用來分離鈾的同位素也很成功，不過應用起來並不簡單，斯密士教授在他的報告中講到產生應用原子能的科學研究工作時，讚譽一羣科學家說他們「五年中不時在失望和悲觀的時期中工作，但最後終於見到有一個工廠建立起來，用這個方法圓滿地生產」。

(丙) 離心法

這方法的原理與奶油分離器的原理相同，若含兩種同位素的混合物以極高速度旋轉時就能將一部份同位素的分離，輕同位素的濃度能在轉軸的附近增加而重同位素則集積在邊緣，研

究原子的時候這方法曾被試用成功，但未曾用來大規模生產。

在離開本題以前再講一個製造重水的方法，氘的同位素發現後又有人知道平常的水大部份受電分解能成氧及氫之後，餘剩的水裏含有重水的濃度較大，由此顯然可知把電解過的水集合起來再電解可以繼續增加重水的濃度，這雖然並非製造重水的惟一方法，但也可說明製造方法的一個例子，研究原子彈的時候會有人研究過別種大規模生產重水的方法，至於重水和製造原子彈的關係以後還要講到。

第五章 自然界的砲彈

放射性元素的發現

欲使質子或任何種正離子獲得高速度去射擊原子，必須用極高的電壓或特殊的裝置使質點在一定間隔內受電壓的作用將速度增高到相當的大，但科學家不必全賴自己的裝置去獲得射擊原子的砲彈，自然至少有兩種來源供給他們這些武器，第一是放射性物質，第二是宇宙線。

十九世紀最後十年的中期是物理學史上結果實最多的一段時期，在那兩三年中電子， X 光以及放射性元素都一一發現了。但這些東西並非是獨立不相關的發現，科學和生活上的需要一樣，有了一件東西，就會引起別的東西，放射性物質的發現就是個極好的例子。有人看到 X 光管的管壁會放出強烈的螢光，於是認爲 X 光的來源和這些螢光有關係，法國科學家貝克萊就是這樣想的一個人，他把某種鈾光素的化合物曝在日光下使能發螢光，然後試驗它會不會放出 X 光來，結果他得到一種不可見的射線，但證明卻是和 X 光沒有關係的，並且平常的鈾化合物不必經日光曝曬或別的作用，都會發出能透過黑紙使照相版感光的射線，並且放射完全是由於物質的本性，加熱或冷卻不能增進

或終止它的放射。這種放射作用乃是該種化合物的自然性質，放射性物質於是發現。

這事發現後進展極快，不久又發現製出鈾的瀝青礦渣比純鈾化合物的放射性大得多，不久原籍波蘭的居禮夫人由她丈夫的幫助分離出釷及錒——都是放射作用極強的物質，釷元素的原子量是 226，其化學性質和鋇相似。

但我們特別需要知道的是放射性物質，所放出射線的性質而不是它們的化學性質，這些射線（不論是那一種）都有三個特出的性質：它們能使所經過的空氣或任何氣體發生電離，它們能和光，X 光或正射線一樣使照相版感光；它們射到某種物質上時能產生螢光。從射線所產生的離子效應，我們可以察出極少量放射性物質的存在，因此這個效應在研究放射作用時始終佔極重要的地位。放射性物質使照相版感光的效應引起貝克萊的發現，至於螢光效應大概許多人都已熟悉，夜光錶針面上所塗的就是含釷的物質。

阿爾法(α)線，倍泰(β)線及嘎馬(γ)線

這些射線是什麼東西？為什麼有這種性質？要得到解答莫如把釷的射線通過磁場，看看能不能像陰極線一樣的被磁場偏折，這樣發現了釷的射線可分三類：第一類很容易偏折並且從偏折的方向知道是荷負電的質點，這類射線名叫倍泰線，第二類射

線需要用強的磁場纔能偏折，並且偏折的方向和第一類射線相反，所以知道是荷正電的質點，這類射線名叫阿爾法線，第三類叫噶馬線，不能為磁場所偏折，所以一定不是由帶電的質點所構成，實際上噶馬線就和 X 光的性質相同，我們目前暫不討論，先說阿爾法質及倍泰線。

倍泰線是放射性物質所放出來的電子，速度不一定但可能超過光速的十分之九即每秒中六萬哩以上，要想使陰極線有最快的倍泰線的速度——光速的百分之九十九——必須有 300 萬伏特以上的電位差，因之倍泰線能通過幾厘厚的數層金屬片而在空氣中也能穿行十呎之遠，倍泰線穿過空氣的時候，其所經過的路線上有離子產生，我們看不見電子，也看不見離子，但魏爾遜首先在劍橋大學作過一個實驗，使每個離子成爲一個小水滴的中心，因而離子的存在可以藉肉眼觀察出來。

這個實驗的原理極爲簡單，空氣中充滿水蒸汽時若同時含有塵埃，則水蒸汽比無塵埃時容易凝結得多，有人說若是所有倫敦的煙塵能夠設法吸收不讓離開煙突跑到空氣中去，倫敦的霧不見得會比英國別處地方更多而更濃，這話是有物理學上正確的根據的，因爲有煙塵的小質點存在時，它的四周很容易有水凝結形成水滴，魏爾遜證明離子亦可用來當作水滴的核心，在實驗裝置上，使含水蒸汽而無塵埃的空氣中產生離子，然後讓空氣突

然膨脹而發生冰卻，水滴就凝在離子上面，通過一道光線之後這些小水滴便可以攝在照片上，成爲雲跡照片，每一個不可見的離子就成爲一個可見的水滴。

圖 14 上，運動太快而不能被撞出軌道外的倍泰線所經過的路線，照出來是形成直線的小白點，照片上的每一點代表一滴水因之代表一個離子，同圖內不規則的曲線代表運動慢而容易被撞出軌道外的電子。圖 21 及圖 22 中勻淨的曲線，表示快的帶電質點（例如倍泰線）經過均勻的磁場而偏折的情形。

我們已說過從阿爾法射線在磁場中曲折的方向知道它是荷正電的質點，測量偏折的程度以及直接決定它的電荷數之後，我們知道阿爾法質點的質量爲氫原子



圖 14： 快倍泰線的雲跡照片，直接上每一點代表凝結在離子上之水滴，離子存在之痕線代表倍泰線之路線，不規則之點狀曲線係由慢電子所致。

的四倍，所帶的電荷為兩單位正電荷，所有阿爾法射線的速度並不一樣，最快的可達光速的十分之一或每秒一萬八千哩。阿爾法線比倍泰線的穿透力小得多，一片紙或幾公厘厚的空氣就能完全把阿爾法線攔住。

阿爾法線的雲跡照片與倍泰線及一般電子射線的雲跡照片炯乎不同，圖 15 的照片表示兩個阿爾法質點的路線，將這照片和圖 14 或圖 22 比較，則見在阿爾法線的路線上不能看到代表水滴的單獨點子而祇能見到一條連續不斷的光線，這因為阿爾法線前進時產生的離子甚多，因之各小水滴連在一起不能分離，圖 15 的左邊可以看到一個質點的路線急劇折向右邊，然後在路線快要終了的地方又更為急劇地轉向左邊，



圖 15 兩個阿爾法質點的雲跡線，阿爾法線所產生的離子極多，因之每一小水滴不能分離而形成連續之線跡

這種突然的轉折是阿爾法質點靠近原子核的證據，平常阿爾法質點即使通過原子的時候也一直穿越前進不受偏折，但在太靠近原子核的時候，質點前進的方向就要像圖上一樣的發生轉折，將阿爾法射線射擊薄金屬片而研究此種偏折的現象可以計算原子核的大小以及想像出 21 頁上所說的原子的形狀（並請參閱圖 17）。

圖 16 很生動的表示一陣阿爾法質點離開放射性物質出來的情形，看了這樣現實性的照片之後我們不可能不認為原子是非常實在可靠的質點。原子實在性的另一個同樣肯定的證據是閃光鏡 (spintarioscope)。這個裝置是把一小點的放射性物質放在塗有硫化鋅的屏幕附近 用放大鏡在黑暗中向屏幕觀察可以見到有小的閃光不規則地跳動着，如同天際一角的星星忽隱忽現一樣，每一閃光表

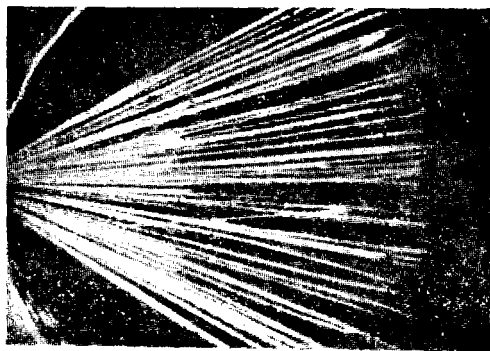


圖 16: 表示從一小點發出一陣阿爾法質點的雲跡照片注意各質點射程有長有短。

示有一個阿爾法質點打擊在屏幕上，這個玩具式的儀器會被人用來計算一定時間內離開放射性物質的阿爾法質點數，並且可

以決定阿爾法線和倍泰線能够在氣體中通行的距離。

自然界的變質作用

我們看書末原子量表上氦元素這一行，知道它的原子量是4 原子序數是2，放射性物質剛發現時，原子序數的觀念雖然尚未存在，但從阿爾法線及氦原子質量之相等，可見這兩種質點在實質上有相同之處，接着又有證據知道阿爾法質點就是失去了兩個電子的氦原子。氦有人發現存在於放射性礦物裏。1903年拉姆賽及沙地證明氦出現在鐳所放射出來的東西裏，這種氣體實際上就是鐳所製造出來的，最顯明的是1909年盧則福和羅合氏直接用實驗證明了這事，他們把放射性物質包藏在一個器皿裏，讓阿爾法線經過一個極薄的玻璃窗射到另一瓶裏收集起來，然後用分光鏡試驗證明瓶裏有氦存在，收集的阿爾法質點愈多，瓶裏氦的量也愈多，於是實際證明了阿爾法質點和電離的氦原子相同。許多年前卡文狄舒實驗室裏的一位研究者對這事確信到這種地步，甚至發抒寫成詩歌，以下就是其中的一段。

垂死的鐳原子，

剛當它爆裂以前，

四周飛繞着的小球，

聽得它說這幾句臨終的語言——

哎，我是個鐳原子，

我在瀝青礦裏出世，
但我馬上要變成氦，
我的精力正在消頹。

鐳元素既會放在氦性原子，那麼這些氦原子是從什麼地方來的？這問題和整個放射性現象不可分離，並且和近世原子砲術的研究有重要的關係。大部由於盧則福和沙地初期的研究，這問題現在已有了肯定的解答：放射性元素的原子核與普通元素的不同，乃是不穩定的，放射性物質的原子裏不時發生爆炸而從原子核裏放出阿爾法質點或倍泰質點，餘剩下來的就變成一個新原子的原子核，但通常這新原子也是不穩定的，因此早晚又爆炸一次變成第三種原子，這樣下去一直等到最後變成了穩定的原子。

舉個實例可以說得更清楚一點。金屬元素鐳放出阿爾法線之後變成發散的鐳或稱做氡，這是一種具有氣體性質的元素，這事並非鍊金術上的妄談而是一元素變成他元素的實在情形，人不能控制，但可以利用這個作用，許多製鍊鐳的工廠裏就專有設備收集這種鐳所放出的氣體，氡也是有放射性的，其原子爆炸的時候放出阿爾法線而變成固體物質鐳 A 的原子，分崩的過程連續下去，鐳 A 放出阿爾法線之後又生出好幾代的新原子——先變成鐳 B，鐳 B 放出倍泰線變成鐳 C，鐳 C 放出倍泰線變成

鐳 C' ，鐳 C' 放出阿爾法線變成鐳 D ，鐳 D 放出倍泰線變成鐳 E ，鐳 E 放出倍泰線變成鐳 F ，鐳 F 放出阿爾法線變成鐳 G 。等到變成鐳 G 的時候變化就停止了，因為鐳 G 是穩定的——就是普通的鉛，嚙馬線因為常和倍泰線在一起，並且不是帶電的質點，所以上面略去不講了。

由此可見鐳所放出的祇是阿爾法線，並沒有三種射線，但平常所得的鐳中各種分解的過程都在時時進行着，因之其中含有全族中各種放射物質，我們拿一點普通的鐳試驗時，所以就能觀察到三種射線。

上述的變質作用可以用最簡單的算術作數量上的證明，從鐳變成鉛的各種新陳代謝作用中，總共放出五個阿爾法質點，和四個倍泰質點，阿爾法質點的質量是 4.5 個阿爾法質點有 20 單位的質量，倍泰質點的質量比較起來極微，除了在特種計算上平常都可以忽略，因此若鐳的原子量為 226，鉛的原子量須是 226 減 20 等於 206，從質量分光譜上的數字，我們知道鉛有一種原子量為 206 的同位素，這個原子量和我們算得的數字完全相符，但遠在艾斯敦研究同位素以前，賀斯密在維也納用化學方法測算瀝青礦中鉛的原子量，所得的值也是 206.5。

現在再用原子序數來考驗放射性元素的變質作用，我們知道完全相同的原子必須要質量相同及原子核的正電荷數或原子

核周圍的電子數相同，阿爾法質點有兩個正電荷，損失五個阿爾法質點就一共要減少十個正電荷，倍泰線有一單位的負電荷，損失四個倍泰質點，就減少四個負電荷，減少四個負電荷就等於多出四個正電荷。所以損失五個阿爾法質點和四個倍泰線的結果是損失了十減四等於六個單位的正電荷，鐳的原子序數既是 88，所以鉛的原子序數應為 88 減 6 等於 82，正好和事實相符。

因此貴重的鐳最後會轉變成賤金屬鉛已無疑問，自然界的變質是走向墮落的方向，稀貴的東西會變成賤的，鍊金術士聽了真真是個不幸的消息。

人爲的變質作用

放射性元素的發現大大的增加了科學家射擊原子的武器，不論是射程和速度，倍泰線都超過了任何電子槍所能放出來的子彈，阿爾法線的砲彈又比以前所有的都來得重。因此這些大砲馬上就有人用來作進攻的武器，有些物質就要遭受阿爾法線猛烈的轟擊。

從原子能够分散的事實可知放射性元素的原子是複雜而且不穩定的，因而也可以推想穩定原子的構造也是複雜的，如是則原子核直接受到像阿爾法質點那樣重的砲彈轟擊之後一定會分崩成爲部分，這情形和僅從原子周圍放出幾個電子不同。移去原子核外一兩個電子並沒有把原子破壞，因爲離子(失去了電子的

原子)仍能吸收別的電子而回復成正常的原子,原子核打破後情形便不同,這是整個原子的破壞,但有兩個原因使要做成這事非常困難,第一所需要的能很大,第二必須恰好擊中在原子核上,有時高速度的阿爾法質點有足够的能量,但能够擊中在原子核上的機會異常之小,因原子核在原子中所佔的空間像蒼蠅在大教堂裏一樣。大多數射出去的阿爾法質點都一直通過原子而碰不着原子核,至多也祇能偶而移去外邊的一個電子。

有時靠近原子核的阿爾法質點就被偏折到一旁去,同時受打擊的原子核獲得動能而被推到另一傍去,圖 17 是阿爾法線射擊氮的雲跡照片,這圖便是一個極好的例,我們可以看到除了一個質點之外所有別的路線都是直的,在照片上可以清晰看到的這例外的一點,它所走的路線是個叉路,叉路上的一支是射出去的阿爾法質點被偏折後的路線,另一支是受打擊的氮原子核的路線。

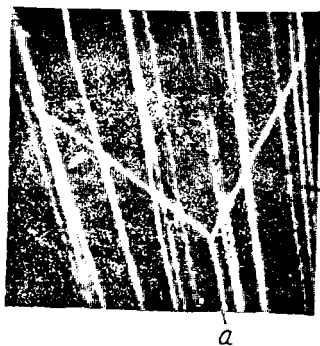


圖 17: - 阿爾法質點與氮原子核作分散之撞擊,沿 α 進行之阿爾法質點撞氮原子核而偏向叉路上之一支前進,被碰之氮原子核則沿另一支路運動。

有時射出去的質點正好迎頭打中在原子核上,若被打擊的原子核是像氫那樣輕的質點,這原

子核就以高速度被推往前去，最初有人用阿爾法線射擊氦被擊中的氫原子核(質子)就能使遠在阿爾法線射程之外的屏幕發出閃光。

有時射出去的阿爾法質點一直進到被射擊的原子核裏形成不穩定的原子核，然後不穩定的原子核再行崩散，崩散的結果發生變質，1919年盧則福用阿爾法線射擊氮而得氫就是這個作用，人把一種元素轉變成另一種元素要算這是第一次，轉變所產出的氫雖微少得不能用化學方法測知。但經用最嚴密的試驗證明其效果是不容置疑的——氮的原子核可以打碎而生出質子或即氫的原子核來，不過用這種方法製造氫很不經濟，因為要擊中一個氮原子核(也就是要製出一原子的氫)需要射出一百萬個阿爾法質點，但不管製出的氫有多少，這事卻證明了氮原子核裏也含有質子，以後幾年內又證明了從其他許多種原子裏也能擊出質子來，於是公認一切原子核乃是由電子及質子構成，但這問題我們現在還不能詳細討論，還需要多多知道別的射擊原子的砲彈。

以後我們要說到阿爾法質點和氮原子核作用放出一個質子的時候，又會造成一個氧的原子，這個轉變作用的雲跡照片是在圖18上，這照片是在盧則福氏的老牌實驗後幾年攝的，圖中叉路上長細的一支是質子的路線，第二支短而略為不規則的是氧的

路線。

半生期(Half-period)

本章前面說過放射性物質崩散的現象，我們知道鐳原子放出阿爾法射線之後變成釷，釷原子又變成鐳A的原子，這樣中間經過幾代一直到變成無放射性的鉛為止，但我們還沒有提到一定量放射性物質變成另一種物質所需要的時間，要完全明瞭放射性元素的同位素，我們不但要知道原子序數原子量以及射線的性質，還要知道一個表明時間的因素——半生期。



b

圖 18: 阿爾法質點與氮原子核作用散性之撞擊，沿 *b* 前進之阿爾法質點與氮原子核相碰而為氮原子核所扣留，結果產生崩散作用，又路左方細長之一支代表崩散所放出的質子之路線，右方粗短的一支為所放出氧原子的路線。

在任何放射性物質中，我們不可能預先知道一個特殊原子在什麼時候會爆炸，但我們卻不難從實驗決定使原有量的一半轉變成他種物質所需的時間，這所需的時間就是半生期，半生期的長短隨放射性元素而異，鐳的半生期約為一千六百年，釷為 3.82 天，鐳 A 為三分鐘，有些元素的半生期不到千分之一秒，還有些元素的半生期超過一百萬年以上。

鈾的放射性

半生期達幾百萬年的元素很有理由可以認為是穩定的，至少在其生命期內不會起變化，鈾的三種同位素嚴格說起來雖是放射性元素，但都可以說是屬於穩定的一類，鈾 234 的半生期略少於百萬年，鈾 235 及鈾 238 的半生期超過數百萬年。

值得知道的一件事——鐳是鈾的後代，鈾 238 慢慢老朽之後變成兩種短命的過渡產物以及鈾 234，鈾 234 再老朽而成爲錒 (Radium)，錒是另一種壽命極長的放射性元素，其緊接的後代即是鐳，但我們得在此地鄭重聲明：就原子能而論鈾的天然放射性和這事是毫不相干的。

第六章 非物質性的質量

光子

上章中講到噯馬線的時候僅短短地說噯馬線是性質和X光相似的射線，除此之外便不提了，但這祇是暫時的，噯馬線也是一種高速度的質點，要明白它在原子砲術上的重要性，我們必須先知道一些關於光的事情。

牛頓時有兩種關於光的學說，一種說發光體放出不可見而有實質的質點，這種質點射到眼睛裏就能生出光亮的感覺，另一種說光是一種波的現象，這波是由發光體的震動所致。十九世紀時證明了光加上光能夠變成黑暗，這件事實以及許多別的現象祇能用波的學說來解釋，在那一世紀中有利於光波學說的證據累積得如是之多，因而1889年德科學家海爾次說：「從人的觀點看起來，光波學說是已經確定的了」。他說這話的時候無疑地是深受了許多有利於馬克斯威爾電磁學說——光波學說的一種特殊形式——證據的影響，馬克斯威爾用理論證明光波必須和電磁波的性質相同，海爾次及他人以後的實驗明確證明了他所預料的事。我們知道光、紅內線、紫外線、X線、噯馬線、電波以及無線電波都是速度為每秒十八萬六千哩的電磁放射，它們之間性

質的不同完全是由於波長不同所致。

讀者都知道光是一種能，物質吸收太陽光就生熱，熱可以使水變成蒸汽推動機器，說到底實際上世間所有的活動都靠着太陽輻射出來的能，但這些輻射出來的能並非全在可見的光中，光裏面有一部分的波長較長於，而另一部分的波長較短於可見的光，但不論波長的長短一切電磁波都帶着能，這能可以用適當的方法吸收而使它顯現出來。

若光波是電磁性的則其來源必由於電，那麼什麼是光的來源，馬上我們就會想起盧則福原子的圖形來，這麼一想繞着原子核旋轉的電子正好當作發光的因素，根據十九世紀所有的力學定律及動電學定律，旋轉的電子應該會放出電波來，但物理學家想從原子中電子的運動去推出已知的光的定律時便無從着手，有許多最簡單的事實無法解釋，例如根據動力學定律，一個急速圍繞原子核旋轉的電子（例如在氫原子內）應該產生出一個連續的光譜——一條寬而不間斷的光帶，但實際上氫原子放出的光只佔有光譜上幾部分窄而孤獨的地方，對於每一個別種原子的情形也是一樣，十九世紀的動力學完全不能解釋在盧則福原子上所觀察到的放射現象。

要作使人滿意的解釋必須有完全新的觀念，給我們這觀念的便是德國著名科學家布郎克，他在1900年解決了一個多年來

爲世界大科學家所苦思不得的一個放射問題，他說放射能不像十九世紀動力學所說那樣是需要連續的，放射能是一陣一陣地，成爲名之曰量子的小束放射出來的，情形如同子彈從機關槍中放出來一樣，布郎克這個觀念雖然和有些十九世紀的信念直接矛盾，但他的學說起初並沒有使科學界發生驚異，也許其中一個原因是由於當初認爲這間歇性僅限於光的放射及吸收現象，放射出去之後能的傳播仍被認爲連續的均勻四散的，好像石頭擊在水面後水波從被擊的地方散佈出去一樣。但不久顯出創拓新觀念的又是艾因斯坦，他認爲在自由空間裏光也必須集中在稱爲光子的小束上。我們若把光源或任何電磁放射的來源比作機關槍，光子就好像從機關放射出去的子彈。這樣說來光子就是放射的微粒，其在空間進行的速度每秒達十八萬六千哩。

這好像又重復回到牛頓的觀念——有些地方說來確乎是的，不過牛頓的光粒是受通常力學定律作用的，而光子是非物質性的，光子惟有當每秒進行十八萬六千哩時始能存在，沒有這個速度光子就完全消失，但光子是實在有的，並且光子既能代表某些能量，因此也像物質的質點一樣具有質量，僅有質量而無物質的東西是難以想像的。要直接用實驗證明也不容易，不過證據是有的，當太陽全蝕時已得到確實可信的證據：星體發出的光靠得太陽够近時能見到稍有偏折，太陽吸引光子和吸引物質質點的

情形一樣。

光電效應

還有從別的許多證據，可以知道光線射在物質面上的時候，在有些方面和一陣雨點落下的情形一樣，光電效應的現象就是最顯著的一個例子，光落在某種金屬面上時，金屬面上就放出一道電子來，這便是所謂光電效應，使光線照耀可以產生電流而隔斷光線可以隔斷電流，這原理在近代工業上有許多應用，其中作為控制的器具是個光電管。

金屬受光照耀而放出電子——這件事實的本身並不能證明光是一束流動的微粒。因為沒有產生這個理論以前早有人知道光電效應，但仔細檢討光電效應中數量上的關係時，就知道祇能用光的微粒說纔能解釋，例如實驗證明從金屬面上出來的電子速度與光的亮度無關，與亮度有關的是放出的電子總數。但不論光的明暗程度如何，電子自原子中射出去的最大速度仍是一樣，不論光源遠在一哩外或近在一呎內，金屬上的電子同樣容易被拉出去，這是很特殊的現象，因若任何種波動都是如此，那麼湖裏投下一塊大石頭之後，遠處的小船和近處的一樣都會被傾覆，但我們知道水波的情形並不如此，若根據量子學說：放射能的傳播與水波不同，乃是集中在稱做光子的微粒裏，這樣就可以發生上述的情形，不論光源的遠近，光子射到一個原子上時，能的量

子便被吞嚥下去而傳給因光電作用所放射出去的電子。

這樣光子很容易被吸收而消滅，光子另外還有一個特性：它的能——也就是它的質量——是和光的種類有關係的。通常射線的波長愈短，光子的能或即質量也愈大，紅色光的光子質量甚小，須要增加二十四萬倍纔有慢電子的質量，波長較短的紫色光的光子質量比較大一些，但仍須增加十七萬倍纔能有電子的質量，波長極短、極易透過磚牆的X光，其光子的質量便大得多，穿透力最強的X光只須四個光子就有電子的質量。

噯馬線

我們以前說過噯馬線是性質和X線相同的電磁波，不過它的波長比X光還要短，噯馬線的穿透力極強能通過數吋厚的鉛，並且像阿爾法線及倍泰線一樣能使所經過的氣體離化，因其波長極短噯馬線光子的質量比X線光子的還大，波長最短的噯馬線，其光子的質量四倍於電子，所具的能相當於通過電位差兩百萬伏特的電子，由此我們可以想像到用噯馬線射擊原子一定能獲得成功。

若說噯馬線是和光線一樣的電磁波而同時又是質點，這話似乎非常矛盾。要解釋這種事如何可能，無疑地有不少困難，若僅說近世科學已證明質點(如電子及原子)有時候的性質好像一羣波動，仍不是一個解釋，不過這樣一說可以幫助讀者理解物的

本性中，似乎就存有某種對立性，物質和放射好像都有二重人格，它們都具有波的性質和質點的性質，這問題雖能引人入勝，但和本書的主題沒有直接的關係，所以祇說到此地為止。

X線和噁馬線光子又在另一方面顯出他們的特性以及他們有微粒性的證據，光子與電子（獨立的或與原子結合極鬆的電子）撞擊的時候，情形和彈子球互撞時相仿，撞過去的彈子球把一部分能傳給另一球，然後兩球從不同的方向滾開去，實驗證明如圖 19 當光子以 1 的方向前進碰到電子 P 時，把一部分的能傳給電子，電子便循 2 的方向

運動出去，光子減少了能量也就是減少了質量之後，循 3 的方向繼續前進，這情形極像書末第 3 頁圖 17 上阿爾法質點和氦原子相撞的情形，不過其中尚有一個重要的區別：物質性的阿爾法質點放棄一部分能而速度變慢時仍保持它的質量（除了相當於所損失能的極微質量之外）；非物質性的光子損失一部分能前進時質量減少了但速度仍不減。我們應當記得光子惟有在以光的速度運動時纔能存在。

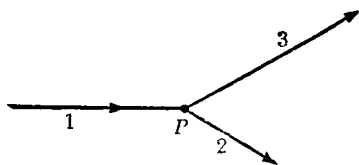


圖 19：循路線 1 前進的光子和自由電子 P 相撞之後，一部分的能傳給 P ，然後電子就依方向 2 前進。光子減少了能量之後繼續循方向 3 前進。

測量能的單位——電子伏特

光子可以看作是鬼魂式的東西，它雖無物質的形軀但卻具有能，而放射質點之所以能夠工作即因其所具之能，原子砲術上作準確計算的時候，必須知道每個砲彈上所具的能，因此需要知道這能怎麼量法，物體做工作時纔具有能，但除非有供給能的來源，任何情形下不能產生工作，工廠裏的電動機會使輪子轉動，但非得供給電能；發電機可以供給電能，但非要有水力或蒸汽機推動發電機磁場中的線圈；要使蒸汽機轉動起來，非得燒煤生熱不可；要使水下落，非得先把水落在高處；分析到最後，使煤藏有能以及把水提到高度的都是太陽，所以太陽是供給一切能的最終來源——例外的或許是原子能。

我們用不同的單位測量和各種事項有關的能，物理學家能量的單位是多少呎磅、爾格、或電子伏特，每月繳納電費的人也許熟悉另外一種能的單位——瓦時，或即電表上的度數，我們現在所要提的祇是其中一兩種單位，呎磅幾乎是顧名思義就可以知道的單位，質量下落到地上時有運動能，落下所經過的距離愈大，運動能也愈大，若一磅重的質量落下一呎距離所得的能量為一呎磅，則兩千磅的質量下落 300 呎的距離之後所得的能量為 $2,000 \times 300 = 600,000$ 呎磅。

我們以前所說原子砲術上的砲彈大多是帶電的質點，像陰

極線或正射線的質點是因受電場推動而獲得能的，在這種情形下所獲能量的大小要看質點上的電荷以及質點所經過地方的電位差而定，因任何質點的電荷常是電子的倍數，故電子通過電位差爲一伏特所得的能量乃是個自然的單位，這單位便是電子伏特，例如在十萬伏特的電極間行進的陰極線，其最大能量有十萬電子伏特，在同一管內如有一帶單位正電荷的離子例如氫離子，雖因其質量大得多而不能達到像電子一樣的高速度，但也可以得到同數量電子伏特的能。在這管子內如有正電荷爲兩單位的離子（缺少兩個電子的原子），這離子便能得到二十萬電子伏特的能。

阿爾法線及倍泰線所具的能雖非由於電位差而是由於原子爆炸時以高速度射出的運動能，但爲方便計也常用同樣的單位表示，速度略小於光速二十分之一的阿爾法質點有四百萬電子伏特的能，有的阿爾法質點所具之能有達八百萬電子伏特的，速度高的倍泰質點具有的能幾乎也有一樣的高。

用人爲的方法要使帶電質點獲得和這些數量相近的能，須有幾百萬伏特的高電壓，我們知道要獲得以及使用這樣高的電壓是一件極困難的事，而自然給科學家的放射性物質，卻能產出相當於複雜而昂貴的儀器所能放出的質點。

第七章 宇宙線

自然界給人有許多種砲彈，我們知道人類如何從萬物之母的土地上提鍊出放射性物質，這種物質不必用火藥或另加能量就會放出重的阿爾法質點，輕的倍泰質點以及迅速非凡的光子，因為這些武器無時無刻不在射出砲彈，所以使用時要特別當心，若口袋裏帶了少量的鐳，它的射線無情的攻擊會使身體發生危險，受鐳的灼傷甚且有性命之憂。

但自然還射出別種砲彈是我們所不能躲避的，任何時間任何地方都有一陣不可見的射線落下來經過我們的身體，每一個這種射線所具的能量都遠遠於任何放射性元素，我們不知道這些射線的來源在什麼地方，祇知道是從外面空間闖進來的，因此把它稱作宇宙線。

宇宙線發現於十九世紀之初，那時候科學家着重在研究空氣的電離現象。我們已知道阿爾法線及倍泰線穿過氣體的時候，它們的路線上會留下一連串的離子，因之放射性物質的附近常發生電離現象，藉這現象是探知放射性物質存在最靈敏的一種方法。若要測數量，只須有個裝置能夠顯出放射性物質所產生的電離程度，最簡單的這種裝置是金葉驗電器，其主要部分如圖

20 所示爲一絕緣的金屬棒 R ，棒的下端附有一薄的金屬片 L ，若使棒和薄片帶電，因同電荷相斥的緣故，金屬薄片就伸張開來，所帶的電荷愈大則張開的角度也愈大。若棍的絕緣優良金葉能繼續張開數小時之久可能至好幾天。但若附近有放射性物質，葉子馬上就會落下來，有時用不到經過一秒鐘的功夫，理由很簡單：空氣受放射性物質的離化之後就能生產正負離子。棒和葉若荷負電則能將正離子吸收，若荷正電則吸收負離子，於是棒和葉的電荷就慢慢消失而葉子就落下去，離化的程度愈強，葉子也落下得愈快。

若將驗電器遠離放射性物質，葉子張開的角度在一兩個鐘頭內看不出變化來。

但仔細觀察下可以看出它在極緩慢的下落，直到最後驗電器失卻電荷爲止，這事可能由於兩個原因或兩個原因之一：或許棍

周圍的絕緣體不太好，或許空氣中時時有少量的離子存在，仔細檢討這兩種可能性之後，我們發現雖然多少常有第一個原因存在，第二種原因的存在也是無庸置疑的：空氣中常有散蕩的離子存在。

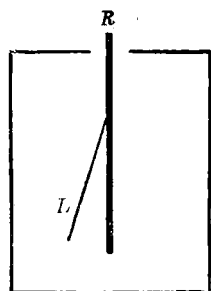


圖 20：驗電器的輪廓圖—— R 是裝在絕緣體上的金屬棒，下端附有一片小金葉 L ，棒上有電荷之後金葉 L 即能張開，若棒的附近有正離子或負離子存在，則和棒電荷不同的從離子漸漸被吸引到棒上，使棒失去電荷，因之離子的存在及電荷的消失可從金葉的逐漸下落知道。

空氣中既有離子，一定就有造成離子的因素，爲了要知道這因素是什麼東西，我們把驗電器的四周包裹了厚層的鉛和水，把它放在結冰的湖上以及大洋中心的船上，結果證明至少有一部分的散蕩離子是由於儀器外面一種穿透力極強的射線所致。這射線起初被認爲是存在於土中及空氣中微量放射性物質所發出的噯馬線。但在第一次歐戰前幾年有人用氣球把儀器裝到大氣上空作實驗，發現這個假設和事實不符，奧國人海斯和德國人科爾黑斯德證明這種射線的強度隨高度而增加，故其來源決非在地面。海斯的結論說這射線一定來自地球及其大氣層以外，乃是宇宙線。

確定了這射線的來源並非地面之後，尙未知道這些射線是什麼東西，來自什麼地方？高速度的電子能使空氣離化並且也有極強的穿透力，但同樣光子也是如此。宇宙線究竟屬於那一類？我們知道運動的帶電質點能受磁場偏折而光子不能。所以要決定這問題似乎不難，只須將射線通過強力的磁場，看看有沒有可能發生的偏折，有人這樣實驗過並且攝得許多美麗的雲跡照片，其外觀和倍泰線的雲跡照片一樣（見書末第4頁）。看了這些照片之後無人會懷疑產生這雲跡的射線不是帶電的質點，困難之點是在要判別這些帶電質點是否爲原來的射線，抑或是原射線射到物質上之後產生的二次射線？我們知道光子爲原子所吸收

的時候，能使原子放出電子，這帶電的質點也許是一次射線中的電子而原射線乃是週率極高的光子。也許原射線是不帶電荷的質點，而產生雲跡照片的質點乃是原射線打擊物質後產生的二次電子，所以從雲跡照片上觀察所得的質點。總共有好幾種可能的來源。

二十多年以來有不少的人想法研究這些射線的最後性質。在美國有兩批科學家集中研究這問題，領導者是密立根及康普敦(A.H.Compton)，兩人都是納貝爾獎金的得獎者，在歐洲也有許多科學家繼續海斯及科爾黑斯德的研究，高達 17 哩至 18 哩的高空上以及幾乎有三分之一哩深的海底下都曾有人用儀器觀測過，在高飛的飛機上以及侵入同溫層的氣球中都有記錄留下。科學家為研究宇宙線縱橫走遍了地球各部——從紐西蘭到南美，從北坎拿大到赤道，光是其中有一羣科學家就有一百個觀測所遍佈在地球各處，這樣獲得了許多有價值的報告和有利的證據，知道大部分的原始射線是由帶電的質點所構成的。但關於它的來源問題各方面的見解尚未一致。

就穿透力而論這些射線可分為適中的和強烈的兩種，穿透力較強的一種宇宙線發現在煤礦裏，經過 75 呎厚的鉛或幾百呎厚的水後還能夠檢驗出來。這樣驚人的穿透力說明其中有些射線具有異常大的能，估計其值當超過幾十萬萬電子伏特以上。

宇宙線從各處闖進到地面來，強烈的幾種宇宙線在任何一定地方的強度與四季晝夜都不生關係。但宇宙線在地球各處的強度卻不一樣，在赤道海面上宇宙線的強度雖小，往兩極去強度就逐漸增加，到緯度約四十度的地方強度最高，從同溫層裏的觀察知道高度約在 11 哩的地方，宇宙線的強度最大。

宇宙線強度隨緯度而變的事實又證明它至少有一部分是帶電的質點，通過地球大氣層的質點同時也通過地磁場，因之若質點是帶電的就會受到磁場的偏折，從物理學上簡單的定律可知帶電質點靠近地球時就會受偏折而遠離赤道。

總括說起來幾件顯明的事實已無問題，不論它的性質是原始的或二次的，從宇宙線中觀察到的這些質點比從實驗室裏所能產生的或從鐳所放出的遠為強烈。這些質點不斷地射擊着地球及地球上的東西，它們穿過我們的身體而覺不出有什麼損害，但宇宙線究竟是什麼東西？不論解答是怎樣，宇宙線是和兩種新質點有密切關係的東西，這兩種質點便是我們馬上就要講到的正電子和介子。

正電子

許多關於宇宙線的知識，是從雲跡照片上研究得來的，我們在雲箱的任一旁加上一種裝置，可以使宇宙線所產生的離子大為增多，並在箱內安置線路，使有宇宙線通過後可以立即攝得

雲跡照片。因箱既放在強磁場中，經過其間的任何射線若具有帶電的質點而運動並不太快時，射線就受偏線而走曲線，這樣攝得的照片已有好幾百張，著名的在美國有安特生在英國有勃拉蓋脫等人，從這些照片可以研究出不少顯然的結果，現在我們且看這些結果是什麼。

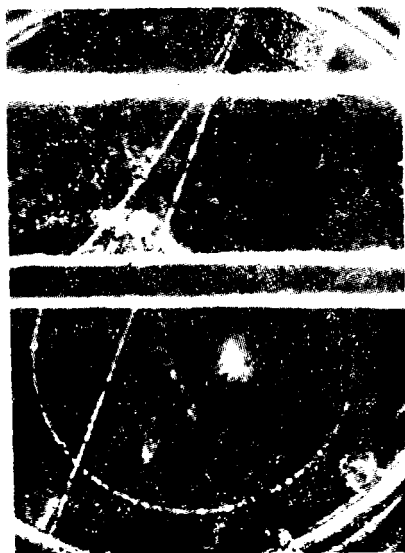


圖 21： 直的真線為極快的宇宙線，下方圓線為鉛版，圖中間兩條粗線條即是 γ 發出較慢之正電子之路線，恰成圓形之路線，表示運動不太快之帶電質點受均勻磁場作用之影響。

如圖 21 中我們有時可以發現一條走直線而不偏折的路線，從線上代表離子的點子看起來，可知

這路線相當於動得太快而不能被偏折的帶電質點，它的質量應和電子相仿，攝取這照片時有鉛版橫隔着雲箱，在這照片中我們看到慢得多的帶電質點，繞成圓形的路線，這慢的質點是由射入的電子擊到金屬鉛版上而從金屬鉛版放出來的，原先射入電子的路線就是照片左上方稍微彎曲的線條，所攝的照片常常比這圖更為複雜，有好幾條彎曲的路線，圖 22 便是個簡單的例子，在

這圖中有好幾條彎曲方向相反的路線，好像都是從箱底一點作為中心放射出來的一樣。

看來好像從同一點出發的一些質點，而路線的曲率相反，這件事充分說明所有的質點可分兩類：一類是帶正電荷的另一類是帶負電荷的，我們惟一所知道帶負電荷的質點是電子，但已知帶



圖 22：雲箱四周物質受宇宙線之射擊於 C 處放出一陣正電子及電子。注意圖中較慢之質點，其路線為圓之閉曲線。

正電荷的質點有阿爾法線及質子兩種，帶負電質點所偏折的路線上代表離子的小點，其形狀和倍泰線及高速度電子射線的相同，因之更顯然可見是電子的路線，並且根據所測得路線的曲率（以及假定路線上的質點就是電子）計算質點所含的能量，其數值和實際的穿透力相符，和這個曲率相反的路線，我們若把它當作質子的或阿爾法線的路線，計算之後就生出問題來，這路線的形狀和電子路線相同，和阿爾法線或質子粗而連續的路線迥乎不同。若是仍把這路線上的質點當作阿爾法線或質子，

再根據路線的曲率而計算質點所具的能，則所得的值太小，不足以解釋從實際觀察所得異常大的穿透力，所以各方面的證據都說明這路線上的質點是荷正電而質量相當於原子的，最初有人攝取宇宙線的雲跡照片時還不知道有這種質點存在，但安特生和勃拉蓋脫卻不得不推出這個結論來。

發現新的基本質點是件重要的事情，所以在發表以前安特生還得檢驗另外一種可能的情形。我們可以想像得到這曲率相反的路線可能是電子以反對方向進行的路線，因為往上行的負電質點和往下行的正電質點在同一磁場中偏折的方向相同。即使在同一點上有電子離開又有電子進去是極不可能的事，也得查究一番，要切實證明質點之為正的，必須先確實知道它路線的方向。安特生將一塊鉛板橫在雲箱的中間使宇宙線必須經過鉛板。經過鉛板後速度減小，速度減少就容易受磁場的偏折，因之射線的方向就更偏向曲的一方面，這樣安特生證實了他所假設的不錯而無疑地斷定了有正電子存在，電子的配偶已經找到，它的質量和電子相仿而電荷是正的。

我們已經提起過圖 22 中好像從一中心點發出一羣清晰可見的路線。這一羣的路線經過極仔細的研究之後，無疑地斷定是從雲箱四壁或周圍物質上，一個小點發出來的。各方面的現象說明它們是由原子核受宇宙線的射擊而產生的放射。高能量的質

點或光子射擊到原子核上，就會發出一陣高能量的電子及正電子，這是原子砲術上最使人驚異的現象。但這結果的正確解釋卻不易確定。電子和質子是否原先就在原子核中抑或是受衝擊交換能的結果而新產生出來的？第一種見解似乎極為自然，不過從實驗觀察所得的證據卻有利於第二種見解。這又是艾因斯坦質量相當於能的另一個例子：質點可以產生也可以消滅，至於圖上這一束射線的來源問題和整個原子核構造的問題有關，並且也是能解決後者這個問題時所要考慮到的許多因素之一。

正電子發現之後不久又知道不用宇宙線也能得到這種質點。例若愛馬線和原子核作適當的撞擊時會產生正電子及電子，圖 22 A 是這一對質點產生時的情形，並且說起來很有意義，在正電子發現以前不久英國著名物理學家狄萊克研究一種學說，正需要有這樣一個質點的存

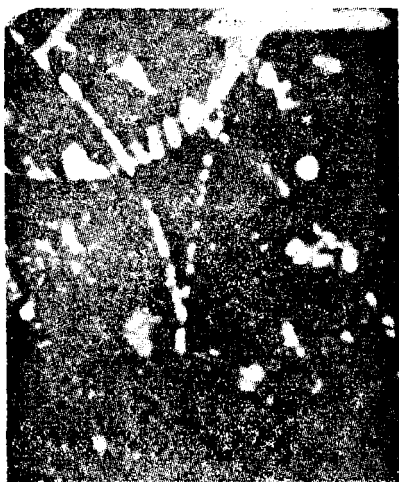


圖 23: A 一對電子配偶的出生，從同一點發出而彎曲方向相反之兩線痕表示愛馬線光子消失時所產生之一對正電子及電子。

在纔能使其學說完備，學理上的推測又有一次被實驗所證實了。

讀者也許覺得奇怪：電子既是無所不在的東西而正電子既是電子的配偶，爲什麼正電子發現得這麼晚而又這麼少？這是因爲正電子是壽命極短的質點，正電子一有機會立刻和電子結合，結合之後兩者都消失而產出光子。

介子(Mesotron)

正電子發現於1932年，5、6年之後美國物理學家安特生史屈里脫及史蒂文生各自用雲箱的實驗發現了另外一種新的質點——介子，這質點有時帶正電有時帶負電，它的質量約爲電子的二百倍，是一種極短命的質點——平均壽命不到百萬分之幾秒，在海平面上大部分的宇宙線是由介子構成的。據世界宇宙線權威史璜博士說，介子是一切物理界中穿透力最強的東西，由此我們可以解釋何以宇宙線能有如是強有力的穿透性。

但介子從那裏來的？由於其非凡的穿透力自然會有人假定它就是從外間進入大氣層的原始宇宙線。但各種證據說明它是在大氣中產生出來的。這書不是列舉這些證據的地方，但僅就其如此短命一點而論，即可知介子不能是原始射線中的質點。

宇宙線的本質

我們現在已顯然知道「宇宙線」並僅僅代表一種質點，它的本質極爲複雜。這問題現在雖然還沒有最後的論定。但下述幾件性質大致已爲科學家所公認。

至少有一部分從外面空間進來的宇宙是由質子構成的，進入大氣層之後有些質子到原子核附近就生出介子來，這個原因現在尚未明瞭。我們知道介子能穿過很厚的物質，介子穿過的時候能把原子中的電子打擊出去，而當中電子消滅的時候會產生出高速度的電子來。

宇宙線中高速度電子佔極重要的地位。有許多證據說明高速度電子和原子核作適當撞擊時會失去大部分的能而產出光子。這些光子和圖 22 A 的噯馬線一樣最後自行消滅而生出電子及正電子。產生出來的電子經過短短的一段路程之後又生出更多的光子，光子從而又生出更多的電子。如此連鎖式的倍增作用繼續下去，直到原有的能變得很低為止。

這樣我們知道宇宙線中含有電子、正電子、光子及介子，並且也許還有別的一兩種東西未曾提到。第一種是中子，乃是無電荷的質點，它的本質在第九章中要詳細說明。在這裏祇須知道當質子產出荷正電的介子時，質子便失去電荷而變成中子，第二種東西是單電荷的氦原子。據史璜博士說此種質點經中電子的作用而產生電子，但僅限於在大氣的上層。

宇宙線的最終來源

還有一個最後的問題，不論原始宇宙線的本質如何，這些質點所具有的能究竟是從那裏得來的？對這問題有好幾種解釋。最

有意思的要算研究宇宙線的知名學者密立根湮合及畢克令的解釋。他們說這能的來源是由於星球間的原子完全消滅時所放出的能量極大的射線。根據艾因坦斯的定律靜止的質量消滅會產生出能。贊同這一說的人指出星球之間的空間有氦、碳、氮、氧以及鈔原子的存在。而且有證據可以把宇宙線分成幾羣，每羣宇宙線所具的能相當於某種一定原子消滅時的能。

史璜博士舉出別的兩種可能來源。第一種能的來源是由磁場變動而產生的電動力——這又要看星體中是否可能有這種磁場存在。如有則荷電的質點受大電動力的作用會得到異常大的能。根據史璜第二個見解：在星際的空間可能發生類似地球上的雷電而產出二百萬萬伏特以上的電位差，但這都屬於猜測，我們必須言歸正傳回到原子砲術的本題上去。

第八章 造出大砲來

在講到放射作用這一章裏，我們說過 1919 年盧則福用阿爾法質點射擊氮而得到質子，阿爾法質點迎頭打在氮原子核上的時候，兩者互起作用放出氫原子核而造成一個氧原子。盧則福這個實驗以及以後許多類似的證明了幾件事情：（一）非放射性的元素受射擊之後能變成別種元素。（二）所謂穩定元素的原子核有複雜的構造。（三）質子是構成原子核的一部分東西。從此以後研究原子核的構造，成爲物理學上重要的問題。近幾年來這種研究更顯得重要，只要一翻任何一期用任何文字寫成的物理學雜誌，終有一兩篇文章討論關於原子核的構造。

研究原子核構造所用的許多方法，原理非常簡單而且明顯。把快的質點射擊到物質上，然後檢查從原子核上打出去的碎塊，要求射擊的效率高，必須儘量使直接命中的次數多，同時射出去的質點應具有高的能量，但原子核僅佔原子的極小部分，所以得到迎頭痛擊的機遇很少，在盧則福的實驗裏，百萬個射出的質點中只能有一個。因此增加命中次數的惟一方法只有增加射出質點的總數量。放射性物質供給的質點有限並且祇有阿爾法質點是惟一的重質點。但是用別種原子作爲射擊原子核的質點可能

效率更大。並且從理論方面說起來，質子應該比阿爾法質點更容易打進到原子核裏面去。

因此科學家計劃大規模攻擊原子核的時候，就想設計創出別種方法來，將大小如同原子的質點用高速度放射出去。要做到這事一個顯然的方法是將高電壓加到正射線放電管上去（見第 27 頁）。但直接用高電壓使質點得到阿爾法線一樣的速度需要一百萬伏特以上的電位差，產生和控制這樣的高電壓本身就是一個大問題。使用的時候還得非常當心。受高電壓的導體，若無優良絕緣或露出尖銳的邊稜時，就會有長的火花從導體跳到地面或牆上去。

我們並不需要詳細說明獲得高速度電離子的方法。在這裏不過將能够使讀者發生興趣的事情，簡短的說明一下，最初設計的方法是利用雷電所產生的高電壓。有兩個德國人勃拉虛及郎格在意大利素多雷雨的兩山峯間架起幾乎有半哩長的電纜，曾得到一千五百萬伏特的高電壓。這個方法的優點是費錢不多，但條件太受限制並且太不確定。雷雨不是要用到的時候就會來的，並且用的時候也免不了有危險，所以這方法不能普遍應用。

靜電發電機

直接得到電壓高至一千萬伏特最雄偉的裝置在美國已經製造成功。它的原理大致和幾十年前醫生診室以及物理實驗室中

常見的圓盤靜電發電機一樣，這個現代高電壓機的大部分是由美國學者溫特格拉夫所首創，因之稱做溫特格拉夫發電機，電機中有正電子不斷地加到一個絕緣的空心大圓球上，同時也有負電荷不斷地加在另一球上，直到後來兩圓球間的電壓達一千萬伏特之高。我們只要看看這發電機的大小就可知道工程的偉大，空心球的直徑是15呎，裝架球的絕緣柱子有24呎之高6呎之橫寬，裝這機器的地方是一間大的飛機庫房，絕緣柱子裝在鐵軌上的機車，每個柱子裏有一圈絲帶用馬達轉動，絲帶繞過柱子下面的一個滑輪，從開口處進入球裏，又繞過一個滑輪回往下去。一個柱子裏的絲帶有正電，絲帶進入球後便把正電荷留在球裏；另一個柱子裏的絲帶有負電，進球後便把負電留在球裏。這樣一個球上的正電荷愈積愈多，另一球上的負電荷愈積愈多，直到兩球間的電位差達到一千萬伏特，我們把放電管放在兩球之間，將這高電壓加到放電管上，管裏每秒鐘就會放出一萬萬億之多的高速離子，因為空心的導體上電荷常在外面，使用機器的人可以在球裏面工作毫無危險，科學家在他研究用的儀器裏面工作固然不是常見的事，但在這年頭還有什麼稀奇。

迴轉子——走馬燈式的發射機

在美國有人發明了一個不用高電壓而能獲得高速度離子的妙法，這個發明大部分應歸功於勞倫斯及李溫斯敦的研究，其法

是在一定間隔的時間內，用比較不高的電壓將離子按時推動一

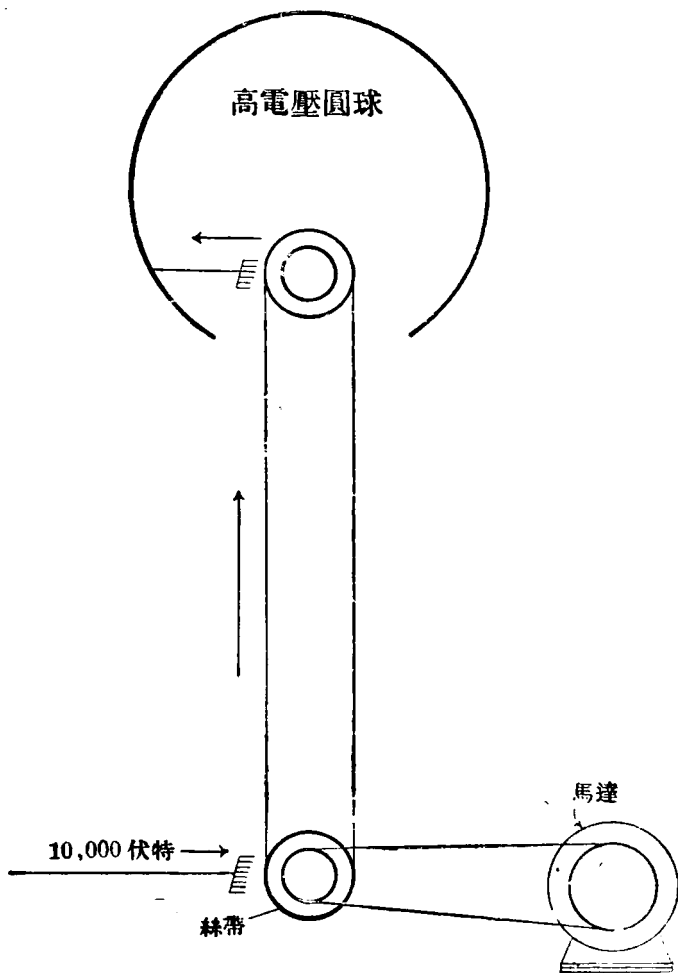


圖 23: B. 溫特格拉夫靜電發電機

下，使離子速度愈推愈快，直到最後的速度相當於受高電壓的作用一樣。孩童能把鞦韆蹬得很高就用同一原理，他必須在一定時間內用力蹬一下，然後鞦韆漸漸蹬高起來，離子在迴轉子中以低速度繞過半個小圈子後受了一次推動，速度便快一點所繞的下半個圈子也大一點；等繞完下半個圈子時又受一次推動，速度更增加以下半個圈子也更增大。這樣繼續下去直到最後離子運動得很快而它的能量有幾百萬電子伏特之數。圖 23 A 中虛點的曲線代表一個離子在迴轉子內所繞的幾個螺旋圈子。

要成功這樣一個裝置需有兩個條件：（一）離子必須繞着半個半個的圈子運動；（二）推動離子的時間要恰當。達到第一個條件可以應用一個讀者此刻已經熟悉的原理——運動的帶電質點

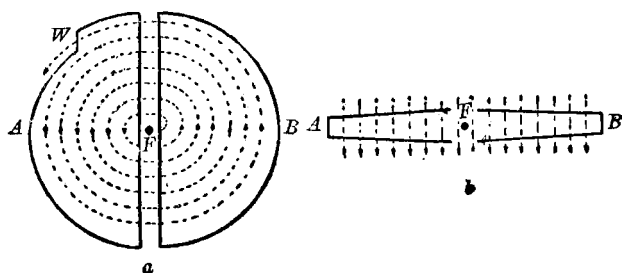


圖 23: A 及 B 表示迴轉子的兩個 D 形片。b 圖中虛線所示的箭頭代表磁場。若使 A 及 B 交互帶正負電，並且適當調整交互復換的頻率以及磁場的強度，則可使在 F 產生之離子沿螺旋路線飛繞（實際所繞圈數當比 a 圖中所示者遠多）直到最後以極高的速度自一溝窗 W 射出。

能受磁場偏折而走曲線或繞圈子。如圖 22 上我們看到電子或正電子在均勻的磁場內運動的路線是曲線，並且我們能夠證明這磁線乃是圓弧的一部分，質點運動愈快圓弧的半徑也愈大，並且不論運動速度的大小質點繞完半圓所需的時間常是一樣，換句話說運動快的質點，它的速度正好使它繞完半個大圓所需的時間和慢質點繞完半個小圓所需的時間一樣。

要使原子質點偏折必須有強的磁場。迴轉子上所用的大電磁鐵本身就是一件大工程。圖 24 即是勞倫斯教授用的迴轉子。這個迴轉子所用的電磁鐵，它的兩磁極的直徑超過 2 呎，磁鐵本身包含七段鑄鋼，全重約 65 噸。通過電流使鐵心磁化的銅絲線圈重約九噸全浸在油裏面，圖 24 上兩個像鼓狀的東西，就是礮磁線圈的外殼。

要滿足第二個條件——離子每繞過半圈後將它按時推動一下，我們利用高週率線路將高週率的交流電壓加在兩塊導體上。至於這種高週率線路就是普通無線電發射機上所用的，在這礮無需詳說。我們只要知道使兩塊導體間——如圖 23 甲上的 *A* 及 *B*——有幾千伏特的交流電壓並不困難。這樣從 *A* 正 *B* 負轉變成 *A* 負 *B* 正，能在一秒鐘內轉變幾百萬次。在實際的裝置上 *A* 及 *B* 為兩個中空的半圓盒子——常常稱作 *D* 形片，它的剖面形狀約如圖 23 乙，裝在強磁鐵的兩極之間。圖 24 的中部，可以

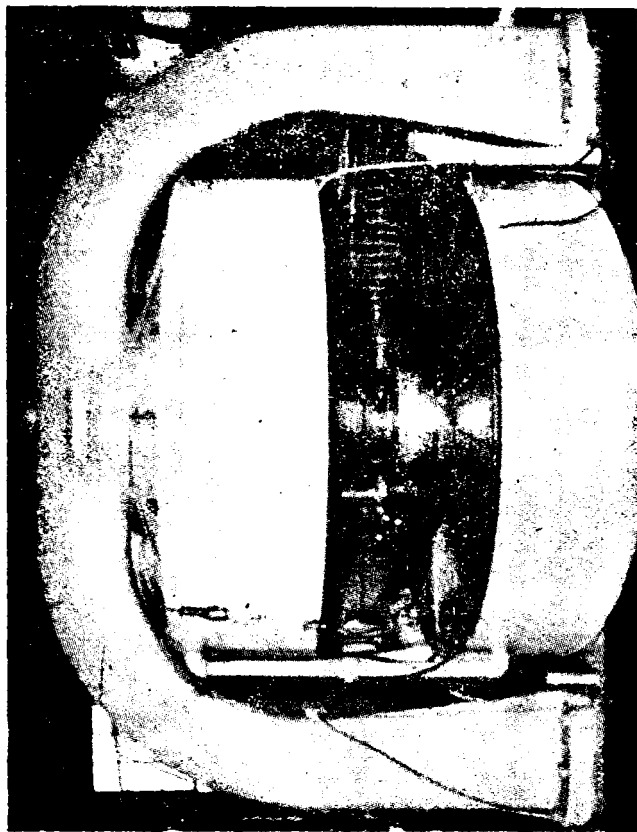


圖 24: 迴轉子, 兩個大鼓內包覆磁線圈。圖 23 所述之 D 形片即在大電磁鐵兩磁極之間。

清晰看到 D 形片的位置,圖 24 A 及 B 是 D 形片的圖樣。

使用這儀器的時候,先把空氣從盒中抽出去,在低的氣壓下讓些微的氣體——例如氫——進入裏面,然後用電流加熱的燈絲之類設法在盒的中部產生離子。選擇高週率電路及磁場強度的時候,務使 A 與 B 間電壓交替的時間和離子繞完半個圈子的

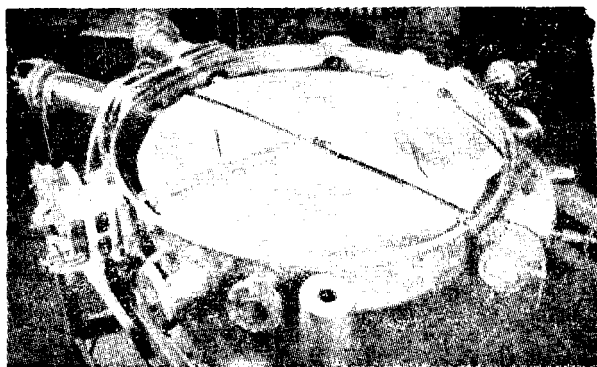


圖 24 A: 潑爾丟大學迴轉子中的 D 形片。

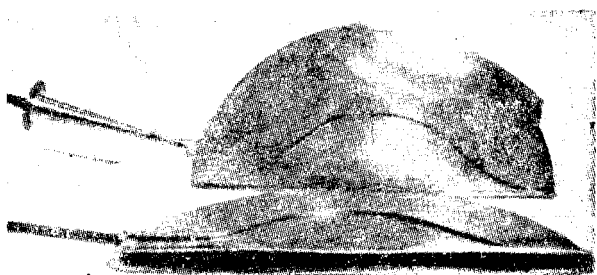


圖 24 B: 上圖 D 形片的另一照片。

時間相等。這樣一個離子能從 A 片推到 B 片，在 B 片內繞完半個圈子後又馬上被推到 A 片內。如此下去離子每繞半個圈子速度增高一次，繞的圈子也增大一次，因此速度愈轉愈快圈子愈轉愈大。等到離子剛繞到 D 形片邊緣的地方，就從一個窗口飛出去，到我們所要實驗觀察的箱子裏。

有時候離子會穿過薄金屬片的窗口進入四周的空氣中。這時離子撞擊空氣中的分子發出皂白光的光來，而離子射線的路程上就有一道皂白色的光，例如圖 25 所示。此照片爲勞倫斯教授所攝，離子射線爲迴轉子所產生的具有五百萬到六百萬電子伏特的雙質子(重氫的原子核)。

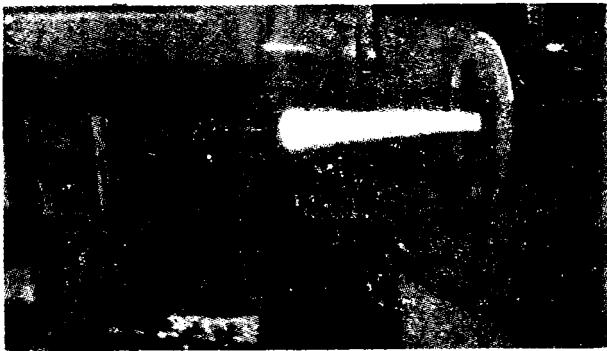


圖 25：自迴轉子中發出的強有力雙質子射線在空氣中所生的光柱。

若離子在迴轉子中總共繞了二百個整圈子而每次推動離子的電壓爲一萬伏特，則離子總共受了四百次的推動而獲得的能

量爲 $10,000 \times 400 = 4,000,000$ 卽四百萬電子伏特。

自從第一個迴轉子造成之後，各處就紛起仿造，因爲它對於研究上可能的用途極爲顯然。不久以後加州大學又獲得款項設計製造一個大迴轉子，可以產生一萬萬電子伏特的放射質點。上述的迴轉子若和這個大迴轉子比較起來不啻又是小巫見大巫了，它的電磁鐵是用三千七百噸 2 吋厚的鋼板做成。磁極的直徑超過 15 呎而兩極間的空隙約有 6 呎。這個大迴轉子因戰事發生而停止製造，但後來發現用電磁方法分離 235 可以大規模試用。製造這個大電磁鐵的工作又繼續下去。幸虧當初停止時原來的工程已進行得相當多，所以這個新的大電磁鐵很快就構造完成我們在 頁上已經說過這電磁鐵對於原子彈的發明極有貢獻。

這樣科學家可以用人爲的方法得到許多種能量極高的原子質點，用來射擊原子質點。不過迴轉子費用的浩大是一般實驗室所難購置的。製造迴轉子或高壓靜電機是規模極大的工程。加之用這種工具作研究需要許多有訓練的人材照管，所以這種研究工作祇能在幾個中心地點進行，盧則福最初變換物質的實驗，祇須有一個人用簡單的儀器觀測。從那時起等到用迴轉子研究已有了很大的進展。但原子核仍是頑抗不屈，所以還得想盡各種方法去擊毀它，若氦原子含有兩個質子和兩個中子，而我們對於結合時所損失質量的解釋是正確的話，則欲將氦原子核打破成質

子約需三千萬電子伏特的能。但氮原子核從來沒有被打破過。科學家自然要想盡一切方法造出有力的質點去轟擊原子核。下章我們來看看幾種轟擊所得的結果。

第九章 近世鍊金術

1919年盧則福首創的各種變換元素的實驗中，用來轟擊元素的質點是從放射性物質發出的阿爾法線，這些重質點射擊氮及其他元素時，百萬次中約有一次能夠迎頭擊中在原子核上，從原子核上打出一個氫原子或即質子來，被打出來的質子可以從屏幕上的閃光知道，有時屏幕和原子被擊地方的距離在一呎以外還能發出閃光。

用質子作為砲彈

發明了用人為的方法獲得高速度的原子質點以後，有人就用來作別種轟擊試驗，做如英國的考克羅夫特及華爾頓的研究，他們用質子作砲彈轟擊鋰而產生阿爾法線（氦原子核），這個實驗的原則極為簡單——用氫及鋰製出氦來，用正射線管裏發出來的快質子轟擊鋰做的標靶，能使質子所射不到的硫化鋅螢幕上發出閃光，從閃光的性質可以看出這閃光是因阿爾法質點射擊在螢幕上所致，以後又用雲跡照片毫無疑問地證明了這是事實——質子迎頭擊在鋰原子核上的時候產生出阿爾法質點來，並且從雲跡照片可以看出每一個被擊中的鋰原子會發出兩個阿爾法射線（請看圖 26）。這正是預料中應該發生的事情，我們

用極簡單的算術可以把這事能解釋明白，並且也是一切元素變質實驗中數字驗算的一個例子，在這特種變化中驗算的結果是：

$$7+1=4+4$$

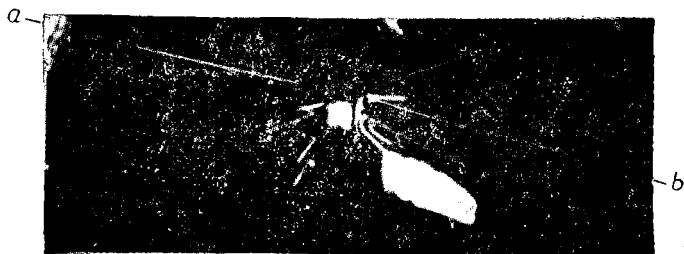
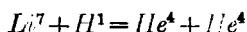


圖 26：雙質子轟擊鋰 6 原子同時放出之兩阿爾法質點循 a, b 兩道路線以反對方向射出。

我們看這驗算式究竟表示什麼意思，若我們把原子量都當作是整數值（以後要說明不是整數值的原因），則質子的原子量是一，阿爾法質點是 4，而鋰有原子量為 6 及 7 的兩種同位素，若有一個質子加入到鋰 7 的原子核中，不計能量轉變所產生的些微質量轉變（以後要計算到），則新原子核的總質量必是 8，但這原子量正好是氦原子或即阿爾法質點的兩倍，若新原子核是不穩定的而形成後馬上會分裂成兩個阿爾法質點，則數字驗算的結果和假設完全相符，我們在元素名稱的右上方寫一個數字表示原子的質量數——例如 ${}^7\text{Li}$ —— 元素轉變時的情形就可以用速寫法表示出來。下式是 ${}^7\text{Li}$ 被質子轟射所產生的變化。

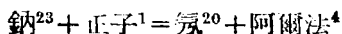
鋰⁷ + 正子¹ = 阿爾法質點¹ + 阿爾法質點¹。

科學家用符號 *Li* 代表鋰, *H* 代表氫, *He* 代表氦, 則上式更可以簡寫成:

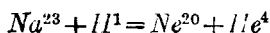


讀者若不慣用這種符號, 對於本書的瞭解也不會發生困難。

另外一個被質子轟擊而發生轉變的例子是:



這個式子的意思表示鈉原子核和質子作用產生元素氖及氦, 若用化學符號 *Na* 表鈉、*Ne* 表氖, 則上式可寫成。



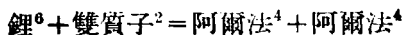
受質子射線而放出阿爾法質點的作用, 經仔細檢驗以後知道不必一定要用極高的電壓, 考克羅夫特及華爾頓用變壓器及其化裝置能得到七十萬伏特的電壓, 但僅用十五萬伏特也做成了上述的轉變實驗, 還有人甚至用二萬五千伏特的質子也能擊破原子核, 這種結果和近世理論物理學上的預料相符, 根據這種理論用低速度的離子穿破原子核有相當可能, 這可能性雖沒有像用高速度質點一樣的大, 卻有個一定的值, 經實驗研究的結果知道用二十五萬伏特的質子轟擊原子核時, 射出十億個中能有一個打中在原子核上, 用五十萬伏特的質子時能有十個打中在原子核上, 故若低速度的質點有足夠的數量, 也可以用來射擊原

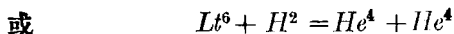
子核，所以凡任何能使放射質點增多的裝置，即使質點的速度不高，也可用來轟擊原子核，人造放射質點的產量可以超過世間所有放射性物質所生的質點，所以人爲產生放射質點的方法是極有價值的。

數量多的低電壓質點雖然也可用來轟擊原子核，但也不能完全不用五百萬伏特以上的高壓機，因爲原子核中的秘密剛在開始洩露出來，我們能夠去從裏面探得消息的一切方法都可能要應用到，並且一切原子核不一定都像鋰原子核那樣容易受打擊而起變化，在原子核的防禦工事尚未摧毀以前，也許要用到可能的極高電壓，凡是搜求得最勤苦的人，自然界就會給他最高的報酬。

用雙質子作爲砲彈

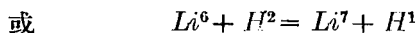
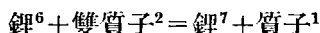
上章說過氫有兩種同位素——質量爲一的普通氫及質量爲二的重氫，重氫與普通氫的性質相差頗大，故另外有個名稱叫做氘，既有了氘自然有人要用它的原子核——雙質子——作爲轟擊的砲彈，我們用快雙質子射擊鋰之後，仔細檢查產生的結果，發現能有好幾種作用，有時像用質子射擊⁷鋰一樣，雙質子射到一個⁶鋰的原子核上時能放出兩個阿爾法質點，作用的轉變式如下：





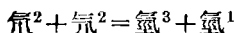
第 26 圖的雲跡照片上，可以清晰看到有兩個阿爾法質點從這個轉變產生而以反對的方向放射出去。

但有時鋰受到雙質子射擊能產生質子，最近有人把鋰的兩種同位素分離之後，分別試驗被雙質子射擊的反應，知道雙質子射擊 ${}^6\text{Li}$ 時放出強有力的質子，這結果證明雙質子和 ${}^6\text{Li}$ 有幾種不同的作用，正同我們可以有 $7+1=4+4=6+2$ 這幾種不同的加法，這第二種作用的變換式是

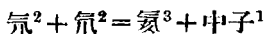


就是一個重氫的原子和 ${}^6\text{Li}$ 的原子結合之後生出一個普通的氫原子的 ${}^7\text{Li}$ 的原子。

用雙質子射擊氘原子的作用中有三種氫的同位素出現，其數字驗算為 $2+2=3+1$ ，其變換式為：



質量為三的氫的同位素，我們已知道有極少量的存在，但我們知道氘亦有質量為三的同位素，所以雙質子與雙質子之間的撞擊作用，可能產生另一種結果：



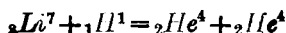
電荷驗算

要正確解釋原子核間作用所起的變化常常不很容易，我們除了質量上的數字驗算以外還要有更精確的驗算，這個問題等以後講到爲什麼質量不恰巧是整數的緣故，以及作用中所包括的能時再詳細討論，但研究雙質子射擊實驗中所放出碎片的性質及其所具的能，可以得出一個推論，我們現在將這個推論提一下：有許多物質，包括金和鉑等重元素在內，被快雙質子轟擊之後所放出的碎片中，有質子在內，這些質子所具的能可以從它離開原子核後運動的最大距離——質點的射程——而求得，這些放射出來的質子常可分爲好幾類，每類各具有不同的能，但在好些不同物質被雙質子轟擊後所放出的各類質子中，都含有一類具有某種能量的質子，有人認爲這是雙質子射擊別的原子時，有時也把自身擊破的證據，但把二分成兩個整數部分的方法祇有一種，就是一加一等於二，雙質子自身擊破時質量的數字驗算一加一等於二雖已不成問題，但我們不能就劇下結論說雙質子自身擊破後成爲兩個質子，因爲若是如此，則另外尚有一種簡單，然而重要的驗算未能滿足。

要明白這第二種驗算的性質，必須再重新提到一件事，就是要完全確定一個原子的種類，必須知道兩個數量：（一）原子的質量（暫時都認爲是成整數的）；（二）原子核的正電荷或即原子序

數，這樣我們知道氫的原子量是一，原子序數也是一，氦的原子量是二，但因氦是氫的同位素所以原子序數仍是一，氦原子核或即阿爾法質點的質量是四而原子序數為二；鋰的兩種同位素質量各為六及七，但原子序數都是三，當原子核間起作用的時候，因作用前後正電荷的總數不變，所以這作用還要滿足第二種數字驗算，例如 ${}^7\text{Li}$ 被質子轟炸的結果，每一個被擊中的鋰原子變成兩個阿爾法質點，這個作用中質量的數字驗算式已說過是 $7+1=4+4$ ，但尚有一電荷驗算式應是：

鋰原子序數 + 氫原子序數 = 氦原子序數 + 氦原子序數，所以電荷的數字驗算式是 $3+1=2+2$ ，若在元素化學符號的左下端記一數字代表原子序數，則質量驗算及電荷驗算式可以合併起來寫成



今若將雙質子的自身分裂作用試作電荷驗算，則可見其分裂後的碎片不可能為兩個質子，在分裂前一個雙質子的總電荷是一單位，但分裂後若是兩個質子，則其總電荷變成二單位，但實驗證明雙質子自身分裂既有質子放出，我們沒有別的法子，只能把驗算式寫成

$$\text{雙質子} = \text{質子} + ?$$

$$\text{質量數字驗算式爲：} 2 = 1 + 1$$

電荷數字驗算式爲： $1=1+0$

從上式看來問號所代表的一定是質量爲一而無電荷的質點，這就是中子。

另一種新的砲彈——中子

首先認爲有中子存在的人雖是賈德威，但劍橋大學、德、法、及英國的研究工作對於發現中子都各有貢獻，德國的倍克爾及波得用針（錳族的一種放射元素只放出阿爾法線而無倍泰線及噶馬線）所放出的阿爾法線轟擊某種物質——尤其是鈹——時，發現有一種射線能穿過相當厚的金屬片，他們認爲這射線的本質和噶馬線相同。

接着有蕭里歐及他的夫人（居里夫人的女兒）用更強烈的阿爾法射線證明：（一）這種新的二次射線能透過二吋厚以上的鉛板；（二）射線碰到石蠟等含氫極多的物質時會產生出能量很大的質子。我們現在注意產生質子的兩個步驟：阿爾法線先射擊到鈹上；鈹放出這種具有穿透力而認爲和噶馬線本性相同的射線；這種射線擊在石蠟上發出質子來。

這時賈德威出來了，在劍橋大學裏已經有人好幾次尋求一種沒有電荷而質量和質子相同的質點，遠在1920年時盧則福在他的講授中就提到有中子存在的可能，約在同時哈根斯在芝加哥指出：若是有這樣的一種質點存在，則從輕原子核構成重原子

核的問題可以大為簡化，賈德威認為這個從鉞放出來的射線之中，至少有一部分是中子，因此他就設法證明這件事實，至於證明時技術上的詳情，本書內不必討論，但其中幾個原則卻不難瞭解。

使石蠟放出質子來的顯然可知就是我們所要討論的這種射線，若是要知道石蠟放出來質子所具的能，我們祇須測量質子的射程，測量之後發現這些質子極不可能是被噶馬線所打出來的，因為若是如此則噶馬線的光子必須具有五千萬電子伏特的能，但這個數量遠超過這種射線可能有的能量，另一方面我們若假定射線是高速度的質點而質點的質量相當於質子的話，那麼這種射線碰到石蠟將質子射出的實際情形和預料相仿，這個道理好像一個砲彈射擊到另一砲彈上把另一砲彈打出去的情形一樣，但若假設射線是噶馬線，而質子是被噶馬線的光子所推出來的，則因光子的質量極小，這情形就好像假設一粒氣槍的小彈子打在砲彈上而把砲彈射出去一樣，於理不合。

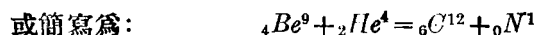
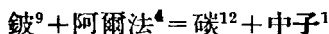
這種射線穿過厚鉛板之容易，說明它若是由質點構成的話，則質點一定不會有電荷，因為當一個正電荷質點穿過物質的時候，質點和附近的電子會產生很大的吸力，因之質點在物質中所經過的路線上有許多電子從原子裏拉出來使原子離化，這樣穿過物質的帶電質點，它的能就因此漸漸用掉而運動緩慢下來，但

若質點是不帶電的話就不會有這種作用，因之也不易緩慢下來，所以實際上大部分被擊中的原子核都是由於這種質點的被吸收，當一個不帶電的質點命中在原子核上的時候，所生變化的情形要看幾種因素決定：(一)原子核質量和中子質量的比較；(二)原子核的本性是否穩定；(三)中子的速度。我們現在先討論第一個因素，質量小而運動快的質點碰到一個重的質點時，就受反作用跳回去而所損失的能量極小；但若和輕的原子核相撞則運動質點的能量損失就大，上面所說這種射線通過鉛比通過輕的物質容易，證明它是質量遠小於鉛原子的中子，若是中子的質量和質子相仿的話，我們就很容易解釋為什麼中子經過含氫的物質後速度突然緩慢的理由，因若中子和質子的質量相仿，則二者直接相撞時中子會把大部分的能傳給質子。

賈德威認為鈹所放出的二次射線中有一部分是中子的假設，不久又有別的方法加以肯定，例如用那種射線轟擊氮及他種物質時所攝的雲跡照片中，發現有一兩條短的路線，這短的路線和鈹放出來射線的來源毫無連繫，這事並不難解釋：受打擊的鈹原子放出中子，中子穿過雲箱時不會產生離子，但中子撞到氮原子核的時候會留在原子核中而放出電離的質點，電離質點運動的路線就是照片上的短線條。

從變質的實驗證明了有新的基本質點——中子——存在，

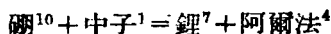
除了質子、雙質子、電子、光子以外還有中子。我們若要在卡文狄西實驗室裏建立一個碑紀念中子的發現，可以在上面寫這麼一段東西：

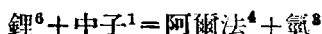


但得到中子的方法不僅止這一種，我們已經說過雙質子，可以分裂成質子和中子，後來又知道用高速度的雙質子轟炸幾種元素如鋰、硼及氫等是獲得中子的妙法。因此要得到中子，像迴轉子那樣能產生高速度質點的東西是不可省的。

中子的重要性

中子之所以爲物理學家所重視有兩個重要的原因：第一這是打擊原子核最有力量的質點。質子、雙質子及阿爾法線都是荷正電的質點，受到荷正電的原子核強大的斥拒力。但中子是不帶電的，所以當它靠近原子核時反而會受到原子核的吸力，有時中子的運動速度太快，靠近原子核不易爲原子核所扣留。但我們可以使中子經過輕的物質減低它的速度。中子轟擊原子核使發生轉變的效力極爲顯著，下面有兩個例子可以證明：





生物學上有些新的實驗中要用到中子射擊，從這些新的實驗無疑地可以發現新的有價值的知識。

中子射擊原子核使原子核崩散的效力最好從一個實例來看。譬如用已知速度最高的阿爾法質點射擊原子核，不能使原子序數大於 19 的元素變質。但用中子轟擊則原子量大的元素（如金的原子量為 197 原子序數 79）只能被崩裂，最初用中子射擊重元素的幾個實驗中，要推義大利物理學家費爾米所作的最為著名。從這方面的研究又能得出人造放射性物質，因此等下章講過人造放射性物質之後再講中子轟擊重元素的實驗。

現在我們要提到 99 頁上所講不帶電質質和原子核作用時有關的(二)及(三)兩個因素。最好舉幾個特別的例子就可以說明作用時中子的速度和原子核本性的重要。

(一)快中子跟輕元素例如氫的原子核相撞時速度就會降低，但別的輕元素如鋰及硼則能吸收中子。所以要想把中子的速度減低而同時又要避免中子被吸收——這是製造原子彈時一個重要的問題——能夠適用的輕元素祇有少數幾種：例如氫、重氫及碳。當這些元素作為減低中子速度之用時稱為緩速劑。

能量有五百萬電子伏特的中子和質子連續撞九次之後只剩原來能量的五千分之一，再撞過幾次後中子的能量祇有幾分之

一電子伏特了。這時中子的速度稱爲熱性速度。意思就是說它的速度和室溫時(華氏六十度左右)水分子運動的速度相仿了。熱性速度的中子在利用原子能時有重要的功用。

(二)熱性中子或即速度極低的中子,和鈾 235 的原子核作用,能使原子核分成兩半。這種重要的崩散作用特名之曰原子核的分裂,我們在十三章中再討論這事。

但熱性中子和鈾 238 相撞祇能發生微量的崩散作用。

熱性中子能爲元素鎳所吸收,這事在控制某種原子核反應時極爲重要,例如快中子經過石蠟水或碳而變成慢中子之後,若想控制慢中子射擊在物質上的數量可以在物質與水(或石蠟或碳)之間放入鎳條。這樣中子射到物質上的數量就看鎳條有多少決定,裝的鎳條若是能移動的話,我們就可以藉此控制中子射擊的數量。

(三)高速度中子和鈾 238 相撞時速度減低到相當的程度,但不會被原子核所扣留。中等速度例如能量有幾個電子伏特的中子和鈾 238 相撞時能被鈾原子扣留形成鈾 239,製造新元素鏷(Plutonium)的時候就利用這種原子核反應。

從以上幾個例子可知某種速度的中子和某種種類的原子核接觸起作用時,所生的反應是頗難預料的。這種原子核作用發生某一特別反應的或然率有時大有時小。這個或然率的數值專家

稱之爲截面，截面之值大多由實驗直接決定。

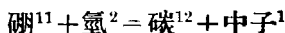
中子之所以受人重視的第二個原因，乃是因爲有了它之後原子核構造的問題便簡單起來，這問題以後還要講到，但這裏不妨先簡短的提一下。在中子發現以前一般認爲質量爲四原子序數爲二的阿爾法質點或氦原子核，乃是由四個質子及兩個電子所構成的。這個假設都能滿足質量及電荷數值。但我們也可以認爲氦原子核是由兩個質子及兩個中子所構成的，因雙質子有時能分裂成質子及中子，說明原子核構造中質子和中子比電子重要。也許我們可以說中子是質子及電子結合而成；但也許質子是由中子和正電子結合而成的，這幾種可能性我們決不能置之不論。不過最爲簡單的一種假設是把質子和中子當作原子核構造上最基本的磚石。這種假設尤其對於研究同位素特別顯得有價值，因各同位素的原子電荷都相同而質量相差爲一或一的倍數。這種質量上的增加而無電荷的增加，顯然是由於加入中子所致，但這問題以後還要提到。

第十章 光子轟擊及一種新的驗算

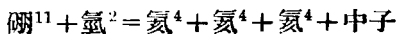
上章說過原子核受轟擊而產生變質的幾個例子，我們知道用阿爾法質點當作砲彈可以從原子靶裏打出質子或中子來，而用質子或雙質子或中子當作砲彈可以得出阿爾法質點，這些質點的產出是由於射出的質點和被轟擊的原子核起作用而致，這種作用所生的影響非常深刻，能使作用的雙方都失卻本性並且殉身而產出新的原子，例若鋰的原子核與雙質子結合的結果產生鋰 7 的原子核及質子。

此種變質作用中最後的生成物常常不易確知，並且除極少數的情形外變質後產生的量極為微小，不能用化學方法衡量或鑑別出來，必須要用間接的方法測定，例如我們可以考驗雲跡照片上離子的路線，觀察放出質點的射程，再作質量及電荷的驗算，但即使這些測算已無問題，我們還不能確定最後的生成物，看下列幾個例子就可以知道。

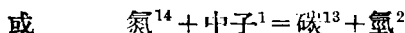
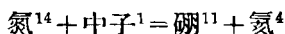
用雙質子轟擊硼時放出中子，這事沒有疑問，有疑問的是下面那一種解釋是正確的。



抑或



又如用中子轟擊氮，可列兩種作用都可能發生：



在這幾種情形下質量及電荷驗算都能滿足，所以要決定究竟發生的是那一種反應，還須有另外一種驗算，這種驗算比質量及電荷驗算深刻得多，謹嚴得多，我們在決定原子核反應的生成物以前必須通過這個考驗。這好像最後決定一切疑難案件的最高法庭，為方便計，我們把這種考驗稱之曰能量驗算，現在我們且看這是怎麼一會事。

前面說過一切反應前後能的總量常是不變，這個原理雖如磐石一樣不為二十世紀中物理學上革命的觀念所推翻；但要準確運用時須考慮到艾因斯坦的質量和能量相當律，我們記得為了解釋四個質子(或兩個質子兩個中子)結合成氦原子核時所損失 0.030 單位的質量，會應用這定律，說明所損失的質量即相當於四個質點結合時所放出的能量，艾因斯坦的定律可以用符號寫成簡單的關係式：

$$E = MC^2$$

其中 E 代表相當於質量 M 的能量，而 C 表示光速，用數字來說，就是相當於質量為一原子單位的能量 E 約有十億電子伏特(準確說是九億三千三百萬電子伏特)，故若有一氦原子被消滅

(質量爲一)則其相當的能量約有十億電子伏特，任何原子核的作用中若有 0.001 單位的質量消失，則所放出相當的能量約有一百萬電子伏特。

艾因斯坦的定律也可以寫成：

$$M = \frac{E}{C^2}$$

這式就是上一式，不過表示的方法兩樣，所着重的也是另一會事，即是任何數值的能量都有相當的質量，例若迴轉子放出五百萬電子伏特的質子，這時質子因爲具有這一項運動能，所以質量比靜止增多 0.005 單位。

這個應用在原子核反應上的能量驗算也就是二十世紀的能量不減定律，我們可以這樣說：

包括一切質量的相當能量之總能量，在作用前後不變，或即一切質量之和包括自由能的相當質量在內，在轉變前後相同。

能量驗算的一個例子

鋰 7 受正子轟擊時產出阿爾法線或氦原子核，在這個反應中一個質子和鋰原子核結合後有兩個阿爾法質點以反對方向放射出去，測量雲跡照片上這些阿爾法質點的射程，我們可以準確算出每一質點離開出生地後所具之能，例如從有一個實驗中證明用三十萬電子伏特的質子轟擊鋰時放出兩個阿爾法質點，每個質點具有八百七十萬電子伏特的能，故整個原子核的反應可

以寫成：

$$\text{鋰}^7 + \text{氫}^1 + 360,600\text{ev.} = \text{氦}^4 + \text{氦}^4 + 8,700,000\text{ev.} + 8,700,000\text{ev.}$$

現在我們用質量分光譜上所求得的準確質量數，計算轉變前後總質量的相當值。

轉變前

鋰 7 原子的質量	= 7.0182
氫 1 原子的質量	= 1.0081
三十萬電子伏特的相當質量	= 0.0003
總值	= 8.0266

轉變後

兩個氦原子的質量 = 2×4.0040	= 8.0080
八百七十萬電子伏特的相當質量	= 0.0093
八百七十萬電子伏特的相當質量	= 0.0093
總值	= 8.0266

在測量的誤差範圍內兩邊的總值恰好相等，這樣艾因斯坦的質量與能量相當律，由實驗得到直接的證明，並且又證明了能量不滅定律亦適用於原子核的轉變作用。

從上例可以知道能量驗算比質量驗算或電荷驗算精細得多，並且除非質量的值知道得很精確根本就不能作能量驗算，因

爲 0.001 的質量單位相當於一百萬電子伏特的能，所以用質量分光譜決定質量值是件極重要的事，艾斯敦、班勃里及其他學者總是不斷地想法增進測量上的準確度，要決定一個原子量的確值以前，必須比較許多不同觀測所得的結果，然後在已知轟擊能量及放出能量的任何原子核反應中，將各種質量值代入作一次重要的測定，看那一個值能滿足能量驗算，然後再定取捨，有時驗算的結果不能像上例一樣恰好符合，這樣作原子核轉變實驗的人便要查究質量分光譜上的值是否準確，並且把實驗研究得更仔細，一直到所得的值能滿足能量驗算而又和質量分光譜上的結果相符，37 頁第一表中的數值是用這種方法經過好幾遍校對纔得到的。

我們能否從無中生有？

上面從能量觀點詳細討論的一個例子中，我們可以見到用一個三十萬電子伏特的質子轟擊鋰會放在兩個阿爾法質點，而每個阿爾法質點具有八百七十萬電子伏特的能，所以在這個轉變作用中得出的能量幾乎是原用能量的 60 倍，這種轉變作用看起來似乎是很有進益的一會事，但這不過表面上看起來如此，實際上卻不然。因爲要能有一個質子打中在鋰原子核上必須射出一千萬個質子，這一千萬個質子除了一個以外其餘的絲毫沒有碰到鋰原子核的機會，因此它們的能是完全白白消耗的，倘若把

這些消耗的能也計算在內，我們就知道從這種轉變產生能是極不經濟的方法，自然界對於她所秘藏的能是保衛得很週密的。

用光子作為砲彈

由四個質子（或兩個質子兩個中子）結合成氦原子核時，所損失 0.030 單位的質量，已經知道是四個質點結合時放出能的相當質量，在這情形下所放出的能量不是質點的運動能（因為沒有質點放射出來），而是輻射或即一種電磁波，少量的物質消失相當量的輻射能產生。

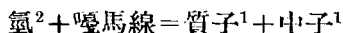
前面又說過輻射作用也能消失而變成作工的能量，例如第六章提到過的光電效應——原子吸收輻射中的光子之後便放出電子來，這時輻射作用供給能把電子從原子核的吸力場中拉出來。

同一章裏面我們又說過有時光子和自由電子相撞，將一部分的能讓給電子，光子就帶着較小量的能前進，在這情形下入射的一部分輻射能變成一個電子的運動能。

如此原子核因吸收輻射能而被崩散的情形也在我們的意料之中，要發生這種作用，被原子核吸收的光子必須有足夠的能量可以將原子核的各部分折散，例如欲將氦原子核折散成兩個質子及兩個中子，至少需要相當於 0.030 質量單位的能，我們知道 0.001 質量單位約相當於一百萬電子伏特的能，所以光子的能須

有三千萬電子伏特纔能使氦原子核崩散，但這樣有力的輻射線尚未爲人得到，因之氦原子核也未曾用這方法破裂過。用術語說氦原子核的「團結力」非常之強。

不過重氫原子核中的團結力卻祇略大於二百萬電子伏特，能量超過這數值的光子是有的，例如從放射性物質釷 c'' 放出的嘎馬射線，它的光子就有二百六十二萬伏特的能，賈德威及哥爾特哈勃曾用這種光子打破雙質子，這作用非常簡單即



我們已經說過從某種實驗上顯出重氫的原子核(雙質子)轟擊之後可能折散成爲質子及中子，上例即用光子衝擊雙質子直接將這兩種質點折散出來。

這個原子核折散的作用滿足質量驗算 $2 = 1 + 1$ 及電荷驗算 $1 = 1$ ，還有能量驗算是準確測量中子質量的一個妙法，我們不妨作一個簡單的數字演算。

中子的質量

我們先把重氫原子的質量加上二百六十二萬電子伏特的相當質量，寫在資產負債表的貸方，重氫準確的原子量是 2.0147 單位，再根據艾因斯坦定律二百六十二萬電子伏特的相當質量是 $2.62/9.33 = 0.0028$ 單位，所以表上貸方的總數是 $2.0147 + 0.0028 = 2.0175$ 。

在借方我們記上氫原子(其原子核即為質子)的質量 1.0081, 加上尙未知道的中子質量, 再加這些質點在分裂後所具動能的相當質量, 賈德威及哥爾特哈勃測量質子所產生的離化程度, 算出質子和中子具有約五十萬電子伏特的能, 這能量的相當質量為 0.0005 單位, 所以總數應是 $1.0081 + 0.0005 = 1.0086$ 再加上未知的中子質量。

因為兩個總數都要相等所以:

$$2.0175 = 1.0086 + \text{中子的質量。}$$

$$\text{或 中子質量} = 2.0175 - 1.0086 = 1.0089$$

綜合雙質子分裂前後的事實, 我們可以把表平衡起來。

分裂前

$$\text{重氫原子的質量} = 2.0147$$

$$\text{嘎馬線光子的相當質量} = 0.0028$$

$$\text{總數} = 2.0175$$

分裂後

$$\text{氫原子的質量} = 1.0081$$

$$\text{動能的相當質量} = 0.0005$$

$$\text{中子質量} = 1.0089$$

$$\text{總數} = 2.0175$$

一對電子配偶的出生

這樣我們已有很充分的證據相信物質轉變成能，並且知道輻射能可以消失而把原子核拆開，但還有更奇怪的事情是噯馬線的光子能消滅而產出一對子女——正電子及電子，正電子發現之後不久，有人知道用波長極短的光子通過物質之後很容易產生正電子，例如用波長適當的噯馬線通過鉛層就能發出正電子來。

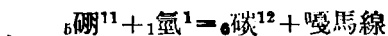
英國美國以及歐洲大陸上許多著名的科學家如賈德威、勃拉蓋脫、安特生、居禮柔里歐、馬特諾等人都仔細研究過這種現象，公認正電子及電子常在同時產生出來，他們作能量驗算之後有確鑿的證據知道光子在原子核附近可以完全消滅或消滅一部分，而產生出一對正負電子來，這是放射能直接變成物質的一個例子、在這個轉變中原子核是幕後的拉線人不直接參與作用，僅僅是一種控制作用的因素。

讀者請看本書第 75 頁圖 22A，即是一對正負電子出生的情形。

輻射能的放出

本章以前所討論的質子和鐳的作用中，因物質消失而放出的八百七十萬電子伏特的能是動能，也就是高速度阿爾法質點放射出來時所帶的運動能，但有時原子核的反應也常放出輻射線或光子來，下面的作用就是一例，這例並且還可以當作艾因斯

坦定律 $E=MC^2$ 的證明：



像這種原子核反應叫做單純的扣留(Simple capture)。

因	${}^{11}\text{硼}$ 的質量爲	11.0129
	${}^1\text{氫}$ 的質量爲	1.0081
	總質量爲	12.0210
而	碳的質量	12.0039
	相差	0.0171

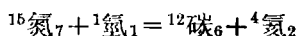
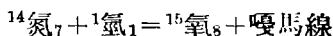
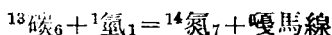
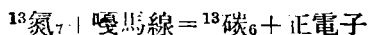
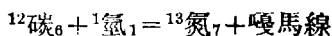
所以在這轉變作用裏物質損失了 0.017 單位質量，應用 0.001 單位質量約相當於一百萬電子伏特的關係，這個質量應該約相當於一千七百萬電子伏特的能，從實驗知道這反應中嘜馬線的最大能量是一千六百六十萬電子伏特，所以理論和事實相符，這又是少量物質消失相當能量出現的證據。

太陽的輻射及原子能

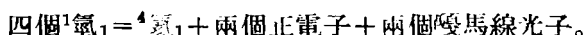
太陽輻射能的來源是利用大量惰性物質的消失而放出能的一個明顯例子，這學說幾年前爲倍特所創，至今已被公認，我們祇要先想一想這件基本的事實：太陽自從幾百萬年以來每秒鐘向空間發出 100,000,000,000,000,000 瓦時的能量，若用這能的相當質量來代表我們可以說太陽在每一分鐘內放出二億五千萬噸的輻射能，然後我們要問：什麼東西是產生這大量能的

來源？

據倍特說這能的來源在原子裏，乃是由下列的原子核反應而來。



我們若將這些方程式中同在等號一邊的各相加起來，就能消去不少項目而得出一個較簡的式子。



所以以上的轉變作用就一望而知是從氫製造氮的作用，並且我們知道要製造一個氮原子當然需要四個氫原子，式中出現的兩個正電子是由於質子（ ^1H 的原子核）變成中子而產生的，因氮原子核為兩個質子及兩個中子所構成。

我們以前說過氮原子核中約有三千萬電子伏特的團結能，換句話說就是每當四個氫原子結合成一個氮原子的時候約有這許多能量放出，但我們要問：這個作用能圓滿解釋所觀察到太陽的能嗎？當然能夠，我們若計算太陽每一克物質中的質子（而質

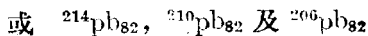
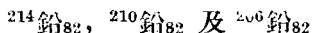
子——氫——是星體中存量最多的一種元素),就知道由上述作用所產生的能,可以供給太陽必需的能量達三百萬萬年之久,瓊斯爵士也說過意思相仿的話:「若太陽含氫僅有千分之五,太陽現時的輻射能還可以維持二百億年之久,但我們可以確信太陽含氫的量是超過此數的」。

從前面的這一系列方程式——有時稱作碳的循環 Carbon Cycle ——我們可以知道太陽中氫的含量一定會慢慢減少,氮的含量一定會逐漸增加而碳與氧的含量不變。有意義的是我們用分光鏡觀察星體的結果發現衰老的星體含氫比幼壯的星體為少。

第十一章 放射性元素的形成

第五章中我們說過有些稱為放射性的元素能自行放出阿爾法質點或倍泰質點或嘜馬質點，並且又說過這些射線的產生是因為這種元素的原子核是不穩定的——能夠不時爆裂而放出質點，當一個原子核由於爆裂的結果射出一個含有兩個正電荷的阿爾法質點時，剩下原子核的原子序數一定比原來少二，而另一方面放出了一個負電荷的倍泰線之後剩下的原子核中會多出一個正電荷來因而原子序數會增加一。

因此一族放射性元素發生一連串的爆裂作用時，相繼各代間的原子序數有時會增加有時會減少，並且常常相同的原子序數可以出現在好幾代中，例如在錒的一族裏我們發現錒 *B*，錒 *D* 及錒 *G* 的質量雖各為 214、210 及 206，但他們的原子序數都是 82，我們知道這三種同位素中兩種是不穩定而有放射性的，因他們能爆裂變成別的東西，但第三種錒 *G* 不會崩裂而是鉛的穩定原子，這個例子就說明原子序數為 82 的元素在自然界中有不穩定放射性的同位素以及穩定的同位素，這三種同位素可以寫成：

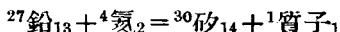


人造放射性同位素

轟擊原子的重要結果之一，是發現了以前認為只有穩定同位素的元素，也能製造出放射性的同位素，我們試看下述幾個例子。

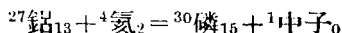
柔里歐夫婦在法國發現鉛箔被阿爾法質點轟擊幾分鐘之後，轟擊終止鉛箔就能放出正電子來，他們把鉛箔遠離阿爾法線之後拿到驗電器的旁邊，發現能像天然放射性物質一樣使驗電器失去電荷，鉛所得的放射性消失很快，約在三分鐘內便只減到一半，不過放射作用是不可否認的，鉛受阿爾法線的轟擊能暫時發生放射作用，這究竟是怎麼一會事？

考驗鉛被阿爾法轟擊後所放出的東西，有時是質子有時是中子和正電子，放出質子時的轉變式如下：



這個轉變式能滿足質量驗算及電荷驗算，轉變的產物是質子及原子序數為 14 的穩定元素矽的一種已知同位素。

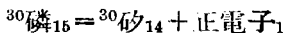
但產生中子的必須是下列的轉變式



這個轉變後的產物是一個中子及一個元素，因為原子序數是一五所以這元素一定是磷，磷是常人都知道的元素，有一種質量為 31 的穩定同位素，但尚不知有質量為 30 的同位素，於是柔

里歐夫婦認為這種磷的同位素是不穩定而有放射性的，而正電子就是它爆裂時所放出的，總結起來作用的情形是這樣的：阿爾法線轟擊鋁的時候造出一些磷 30 的同位素來，轟擊停止以後鋁箔中便填充着這些不穩定有放射性原子，這些原子爆裂時放出正電子。

正電子既是帶有一正電荷而質量微不足道的質點，故放出正電子後原子核的質量幾乎不變而原子序數減少一，這樣新原子核的原子序數就是磷的原子序數 15 減 1 變成 14，原子序數為 14 的元素一定是矽，所以這個放射分裂作用可以寫成



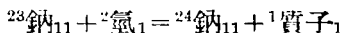
這便是約在三分鐘內一半的不穩定磷原子變成了矽。

為要區別一元素的不穩定放射性同位素及穩定放射性同位素，我們在元素前面冠以放射性幾個字表示不穩定的一種，這樣鋁被阿爾法線轟擊而產生的、半生期約為三分鐘的放射性磷，以後提到時就稱做放射性磷。

放射性鈉

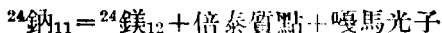
發現人造放射性元素後不久又知道許多元素都有放射性同位素，質子、雙質子及中子都可以用來轟擊製造放射性元素，在意大利有費爾米等用中子轟擊不少元素，在美國有勞倫斯等用迴轉子作許多轟擊的實驗，其中最有意思的要算用迴轉子放出

的雙質子轟擊鈉而產生的放射性鈉（鈉和氯化化合物的食鹽也可用來代替鈉）。這個作用的轉變式是



從轉變式可見作用中 23 鈉的原子俘住了一個雙質子或即重氫的原子核（原子序數一質量二）而放出質子或即氫原子核（原子序數一質量一）之後，新原子的原子序數仍和鈉原子相同，所以這新原子仍是鈉，所差的是質量增加了一變為鈉 24。

同位素鈉 24 自然界中沒有存在，是不穩定而有放射性的，它的原子核爆裂時放出倍泰線（電子）及嘎馬線，放射性鈉爆裂時的轉變式為

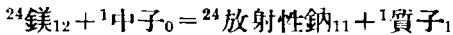


放射性 24 鈉和放射性 30 磷有兩個重要的不同之點：（一）鈉 24 所放出的是電子而不是正電子；（二）一定量之半的放射性鈉爆裂成穩定的鎂須要經過 15 小時以上，故放射性鈉的平均壽命遠較放射性磷為長。

最近勞倫斯等用強烈的雙質子射線所製出放射性鈉的分量，使人相信人造放射性物質可以補充並且可能代替天然的放射性物質，這是個重要的結果，因世界上鐳的產量有限而至今放射性物質是極為需要的，用五百萬電子伏特的雙質子射擊鈉一天內所產的放射性鈉，它所放出嘎馬線的強度相當於價值一萬

美金的鏹所放出的。

另一種製造放射性鈉 24 的方法是用中子轟擊鎂(原子序數 12 質量 24), 這個作用的轉變式是



引人入迷的戲法

我們知道中子、質子、雙質子、氦原子核及光子都可用來轟擊使原子核發生轉變, 我們已知各元素的同位素約有二百八十種而至少在理論上每一種都可以用來被這些質點轟擊, 因此原子核物理學家該有一千四百種不同的轟擊法, 這種轟擊的工作在許多研究中心正在進行, 而每天的報導幾乎對於原子核的攻擊都有進展, 但這個工作繁複的程度從下面幾個例子可以得到些概念。

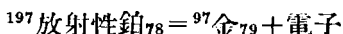
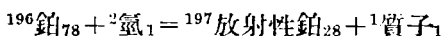
用雙質子轟擊硫(原子序數 16)的實驗, 據已知者可以形成三種不同的放射性元素, 第一種的半生期 3 分鐘, 第二種 33 分鐘, 第三種 14 天, 這件事情是可能的, 因硫有三種同位素, 質量各為 32、33 及 34。這三種同位素在平常的硫中都有存在, 因此硫被轟擊之後每一種同位素都能轉變成不同的放射性元素, 我們祇須說出三種生成的放射性元素各為 30 (放射性磷) $_{15}$, 34 (放射性氯) $_{17}$, 32 (放射性磷) $_{16}$, 喜歡自己找出解答的讀者可以從此得出轉變方程式來, 這事不像併方塊字一樣的費時間, 但至少也一樣的有

意思。

以上是從同一種物質轉變成三種不同的放射性元素，反之同一種放射性元素可以從幾種不同的轉變形成，最好的一個例子便是放射性鋁，這種放射性同位素曾用五種不同的方法製成——用中子或雙質子轟擊²⁷鋁，用中子轟擊²⁸矽或³¹磷，以及用阿爾法轟擊²⁶鎂。

變出黃金來

古代鍊金術士勤苦搜尋哲人之石，想把賤金屬變成黃金，但是沒有成功，近世的鍊金術士比較成功一點，因為他們最近已從別的物质中變出黃金來了。所可惜的是變出來的分量微乎其微，更可惜的是轉變成黃金的是鉑——比黃金還要貴重的金屬，轉變作用時短命的放射性鉑是過渡產物，轉變式如下。



這個方法是不會有人去搶專利權的。

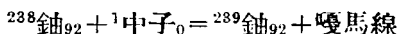
鐳(Neptunium)及鐳(Plutonium)

自從原子彈宣佈以後，鐳這個名詞已在通俗報章雜誌上出現了不少次數，這是原子序數為94的新元素，其發現其實早在1934年之後的幾年，當時原子核物理學家正在勤求一種原子序數大於鈾(原子序數為92)的元素，由這個研究於是引起了原子

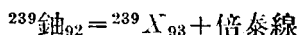
核分裂的發現以及證明了兩種新元素——鏷及錒——的存在。原子核分裂是一種新的原子核反應，因為其特別重要，我們將在下一章詳細討論，我們現在先討論新元素的發現。

第九章裏已經提到用中子比較容易使原子核發生變化，所以最重的鈾元素自然免不了要用來被各種速度的中子轟擊一番，因為中子和原子核的反應中，一個中子被扣留的情形極易發生，便有人認為從這種作用極可能造成一個不穩定的同位素鈾 239，這個結果後來固然被發現了，尤其是當中子能量在 25 電子伏特的時候，最易發生。

從許多研究所得的結果，證明這時發生下列的單純扣留作用：



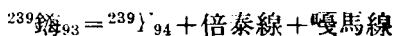
鈾 239 是不穩定的同位素，其半生期為 23 分鐘，崩散時放出倍泰線或即電子，因之其原子序數增加一，鈾 239 崩散的作用如下：



這樣看來 X 一定是原子序數為 93 的新元素，它的名稱就叫鏷。

從實驗知道鏷也是不穩定的，它的半生期祇有 2、3 天，崩散時放出倍泰線及嘎馬線，於是崩散的結果原子序數又增加到 94

而作用如下：



Y 是第二種稱做鏷的新元素，鏷和鏷不同是比較穩定的元素，它雖放出微弱的阿爾法射線，但半生期極長，可以和鈾 234, 235, 238 諸同位素一樣算作穩定的元素。

鏷的重要性是因為它能起原子核分裂。

用原子作為間諜

放射性同位素有一個有趣的用途，因其結果之重要，所以在繼續講述本題以前，略談如何用原子作為偵查或指示劑的方法。

要知道這事何以可能，必須記得規定一種元素身分的標記是它的原子序數也就是原子核的電荷數或原子核周圍的電子數，凡原子序數相同的同位素，它們的化學性質都是相同的：第 11 章頭一段裏我們說過同位素中可以有一種或一種以上是有放射性的，例如鏷 B 及鏷 D 的化學性質和鋁一樣。鏷 E 和鏷的原子序數都是 83 因之化學性質也是一樣而這兩種同位素的混合物不能用化學方法分離。

遠在人造放射性元素發現以前，因為極微量的放射性物質，可從它射線所生的電離現象檢察出來，已有人知道用極微量的放射性同位素作為追蹤劑，譬如一個人吞服了大量的穩定元素鏷及其少量的不穩定同位素鏷 E 之後，則不論身體上那一部分

有鈹的地方，都可用靈敏的電離裝置探出放射性同位素所發出的射線，這樣就可以從外面探知鈹的存在。

發現了能製造幾百種穩定元素的放射性同位素以後，原子在各方面作為追蹤劑的用途更為重要，舉一兩個例：譬如許多人都知道碘對於甲狀腺的重要性，等到發現了有放射性的碘後，可以把含有少量放射性碘的碘劑注入體內，然後用剛纔說過的方法證明「正常的及有病的甲狀腺，在碘劑治療後幾分鐘內都會從血液中吸收碘」。據這一方面的專家伊凡思說：做這一類的研究時幾十億乃至幾十萬億的正常原子中只要有一個原子作為追蹤劑。

半生期為 14.3 天的放射性磷亦普遍用來研究動植物的新陳代謝作用，例如將微量的放射性磷混入普通的磷化合物如磷酸鈣內，則藉此可以知道骨骼裏的磷原子常為新的磷原子所代替，在植物中同一個磷原子可以在數天之內從一個葉子移動到另一個葉子上。

再舉一個例可以說明放射性鈉的用途，若在通常的鹽水（氯化鈉）中加入微量的放射性鈉，把這種鹽水注射到一隻手內，則 20 秒鐘之後作為追蹤劑的放射性鈉原子會出現在另一隻手上。

第十二章 原子核的結構

急於要想知道原子能和原子炸彈的讀者可以略去這一章逕看下一章不致發生什麼困難。

我們曾從十九世紀中葉認為不可分裂的原子說起，但到後來這馬克斯威爾所謂「不可毀滅的宇宙基石」結果卻有複雜的構造。發現了原子外層有數目不同的電子以後，接着又有充分可信的證據知道帶正電的原子核心也有複雜的構造，我們發現放射性物質的原子會放出阿爾法質點，以及質點轟擊原子核的反應中有質子及中子放射出來，我們又從研究宇宙線發現了負電子的配偶正電子，並且後來知道某種人造放射性原子會放出這種質點。

這樣看來原子的構造一天比一天顯得複雜，同時這些基本質點如何結合成各種原子就成爲一件極關重要的事情，對於這問題的解答現在尙還非完滿，但大部從轟擊原子實驗所得的結果我們對這問題的認識已有不少的進展，現在我們且看已能想像出什麼圖形來，可以幫助我們瞭解原子構造的新觀念。

作爲開端我們先說盧則福的太陽系原子型是比以前更顯得肯定了，我們仍認為原子有一重而帶正電荷的核心，四周繞着帶

負電的電子，而電子的數目正够和電子核的正電荷中和，今日實驗物理學和理論物理學所要研究的不是原子的構造問題，而是原子核本身的構造問題，我們要問：原子核是什麼東西構成的？所發現的基本質點增多之後這問題更難以回答了，阿爾法質點（質量四原子序數二）雖然並非基本質點，但質子、中子、電子及正電子是必須都要考慮到的（見第二表），並且事實上放射性元素的原子爆炸時以及原子核的轉變中都放出阿爾法質點來，因此它在原子核的結構上一定有特別的地位，除此之外並且還有介子。

第二表

質點	電 子	正 電 子	質 子	中 子
電 荷	-1	+1	+1	0
質 量	0.00055	0.00055	1.0076	1.0089

不論原子核的基本成分是什麼東西，它們結合起來的電荷數和質量數一定要和原子核的實際數值相符，因一切同位素的準確質量值和整數相差極微，我們自然要認為原子核中含有質子或中子或各有幾個這兩種質量為一的質點，例如質量為二的重氫原子核可能有三種結構：兩個質子，兩個中子，一個質子及一個中子，兩個質子或兩個中子的質量之和可以稍大於結合後原子核的質量，因我們已經說過質點融合時有少量的物質消失

轉變成能。

要決定這三種可能的結構中那一種是重氫原子核的結構，我們須看原子核的電荷數或即原子序數，重氫的原子序數是一所以它原子核中各部分電荷之和一定是一，兩個中子結合不是重氫的原子核因為沒有電荷，兩個質子結合也不行因為電荷數是二而不是一，所以祇有質子和中子結合纔能構成重氫的原子核，實際上我們在 110 頁上已知道重氫的原子核吸收光子之後可以分解成質子及中子，所以關於重氫原子核的構造似乎很少疑問的了。

但是我們還可以有別的方法來說明重氫原子核的構造，兩個中子和一個正電子或兩個質子及一個電子結合都可以得出質量二原子序數為一的質點來，我們能夠不計這些可能的結構嗎？在中子和正電子沒有發現以前，我們把一切原子核都認為是由質子和電子構成的，例原子序數為 7 的氮 14，我們認為是由 14 個質子及 7 個電子所構成的，用這種方法解釋原子核的構造雖然能夠符合質量數及電荷數，但卻有說不通的地方，我們不必提到技術上的詳細情形，只說出一個主要的說不通的地方，也許不難為一般讀者所瞭解：原子核的扭轉率——可以測算也可以用實驗決定的一個數值——是和原子核中質點總數之為奇數或偶數有關係的，奇數質點所得的扭轉率和偶數質點的結果不同，氮

原子核若是由質子及電子所構成的則一共有 14 加 7 等於 21 個質點——是個奇數，但把氮原子核的質點數認為奇數而測算的扭轉率和實驗所得的不符，而認為偶數時則結果和實驗相符，所以質子和中子構成原子核的理論有強力的證據。

現今一般認為所有原子核是由質子及中子構成的，例如有三個質子及三個中子的鋰六原子核正好使結合後的質量為六原子序數為三，這個原子核中再加上一個中子使質量增加一原子序數不變便得到同位素鋰七的原子，同樣阿爾法質點一定含有兩個質子及兩個中子，如此重原子核的構造似乎也很簡單，但我們卻不能這樣輕易把電子及正電子擱置不論，因為實驗的事實已確定不論是天然的人造的放射性同位素都有放出這兩種質點來的，若不是在原子核裏它們是從那裏來的？若是從原子核裏放出的那麼這些質點一定也是原子核的一部分，這個反對的理由很充分不過結論卻不能下得太快，魔術師變出來的兔子你不一定會相信真的是從帽子裏生出來的，正電子和負電子的產生也許還可以用別的方法解釋，至少理論物理學家從研究整個原子核構造的結果已認為倍泰線中的電子原先並不存在在原子核裏，他們認為這些電子是原子核爆裂時纔出現的，難道這又是從無中生有嗎？不，這不過又是從能轉變成物質的一個例子（見 113 頁）而已。

若我們承認電子或正電子是在放出之時出生的，那麼就該發生一個有趣的結果：每當放出一個正電子的時候原子核中的質子一定要變成中子，而放出一個電子的時候原子核中的中子一定要變成質子，這個理由不難明白，放出電子後正電荷總數增加一而質量幾乎不變，因之就要多出一個質子（使正電荷增加一）減少一個中子（使總質量不變）。因此我們可以寫成下式：

$$\text{中子} = \text{質子} + \text{電子}$$

同理放出一個正電子的時候有一個質子變成中子所以：

$$\text{質子} = \text{中子} + \text{正電子}$$

阿爾法質點的結構

本章的目的不是要討論許多種原子核的構造，因為這樣就顯得太單調並且也不能幫助讀者有新的瞭解，不過氦原子核或即阿爾法質點卻有值得注意之處，這種質點雖然從來不曾被分裂過，但根據前述的證據我們知道它是由兩個質子及兩個中子構成的，在更早以前我們說過四個質子結合成一個阿爾法質點時損失 0.030 單位的質量，因為中子的質量幾乎和質子一樣，所以兩個質子和兩個中子結合的結果也無甚差別，它們所損失的質量也一樣代表質點結合時所放出的三千萬左右電子伏特的能。

根據這個解釋我們知道要把一個阿爾法質點分裂成它的各

部分須要給它這許多量(三千萬電子伏特)的能,這種分裂至今還沒有做成過,阿爾法質點是特別穩定的東西,它的團結力約有三千萬電子伏特,但我們試看雙質子(或重氫),它的原子核的團結力可以從下式中質量的關係找出來:

質子的質量 = 1.0076 (氫原子的質量減去電子)

中子的質量 = 1.0089

雙質子的質量 = 2.0147

質子和中子在結合前質量之和是 $1.0076 + 1.0089 = 2.0165$ 單位,結合後質量變成 0.0142 質位,所以損失的質量是 2.0165 減去 2.0142 等於 0.0023 單位,這些質量所代表的能不到二百五十萬電子伏特,因此雙質子的團結力比阿爾法質點小得多了,並且能量超過二百五十萬電子伏特的放射質點並不稀罕,所以將雙質子分成兩部分並非難事。

阿爾法質點則不然,一旦結合之後就保持不散,因此整個的阿爾法質點從複雜的放射性原子核中放出來也就不足為奇,它是一種穩定的二次基本質點,有兩件事可以證明此說:(一)質量為四的倍數的原子核——例如鈹(8),碳(12)及氧(16)——都比別的同位素穩定,(二)原子序數 30 以下,原子序數為 $2M$ 質量為 $4M$ 的原子(M 為整數)比別種原子多,這是因為原子核愈穩定,自然界發生任何爆炸時愈不易使其破裂,因之其存在的種數也

愈多。

還有在某種轟擊實驗時（例如 91 頁上質子轟擊鋰的實驗）產生阿爾法質點，這又是阿爾法質點穩度性較大的另一個證據，自然界有個定律說一切作用中要把存儲的能量儘量減少，譬如在高處的重物時時要趨向地面使其位能減到最小，捲緊的彈簧時時要放鬆開來，同樣在基本質點重行組合的時候，總要使最後的總質量儘可能的減少，阿爾法質點形成時有相當大量的物質減少，因之趨向形成阿爾法質點的作用極為可能。

總結起來說，原子核物理學研究所得的結果，認為質子及中子是構成原子核的基本磚石，至於阿爾法質點雖非基本質點，但因其穩定性甚大，故在原子核結構中亦有獨一無二的地位；還有電子及正電子乃是在原子核起轉變時所產生的，不過對於原子核構造問題的研究目今尚在初期，最後的解答——若是科學上任何基本問題可能有最後解答的話——尚待無數理論上及實驗上的研究。

是否尚有負子及小中子存在？

我們並不確定知道基本質點是否僅僅是第二表中所列出的一些，譬如我們要問是不是還有質子的配偶負子——荷負電而質量和質子相同的質點？從間接的證據已經指出可能有這種質點存在，但這尚不過是一種可能，再如說是否還有小中子——

質量和電子或正電子相仿甚或更小而無電荷的質點——存在？這種質點存在的可能性常有人討論到，因為如有這種質點存在，則有些似乎和能量不滅定理相悖的事實就可以用來解釋而不致相悖了，認為有小中子存在的理由本質上不難瞭解，例如在放出倍泰線的有些原子核轉變中，我們有確實的證據知道原子核的能量在放射前和放射後相差一個確定的數目，平常我們可以合理的預料射出倍泰線（及其相伴嘎馬線）所具的能量應等於原子核所減少的能量，但實際上倍泰線射出時具有大小不同的能量，而有些能量太小不能代表原子核所損失的能量，因此有人猜想還有小中子和倍泰線相伴射出去而小中子所具的能即是消失的能，不過這種質點是極難捉摸的，因為目前還沒有人能探獲它。

原子核力

本書中大部限於解釋實驗上的問題，但是一切實驗後面都有個基本原理，理論物理學家的工作是和實驗研究同時進行的，研究原子核構造的問題時便是一例，我們試想一個需要解決的問題。例如將原子核內質子及中子團結在一起的是什麼一種性質的力量？兩億五千萬個原子排起來只能有一吋長而原子核只有原子的萬分之一，在這樣小的一個球裏如¹⁰⁹銀₄₇的原子核中卻有47個質子及62個中子緊緊團在一起而不易分離，根據電學定律我們知道像質子一樣同荷正電的質點靠近時要互相推

斥，因此我們知道原子核中各質點間一定還有極大的吸引力，當質點充分接近時這些力量竟有這麼大，那麼這些力量的性質如何？這是理論物理學家需要解決的問題之一。

還有爲什麼同位素銀 109 是穩定的而銀 108 有放射性？又如溴 80 是有放射性的但有兩種不同的轉變法，同一種同位素如溴的這兩種東西——或稱作同位素的同素體——之間有什麼差別？介子怎樣來的？這些問題以及別的問題已逐漸由實驗物理學家及理論物理學家合作解答出來，關於介子我們知道湯川已在 1935 年前從理論上推想到有這種質點的存在。

有什麼用？

讀者免不了要問：知道了原子核的構造有什麼用？能對誰有好處？爲什麼要製造出一些費錢而又費功夫的儀器而目的僅僅爲了要打破原子？回答這些話可以提出不少理由來，第一許多科學家在實驗室中化了很久很倦的工夫，是否爲了直接求人類幸福的緣故乃是很有疑問的，會思想的人生下來就有一種難治的願望——想知道自然界的秘密，他常常向自然提出許多「爲什麼」的問題而非要知道才罷休，他有一種內在的召喚力量迫使他爲滿足智慧上的好奇心而工作，任何種創造都會給予人以喜悅，而發現新事實及新原則所生的喜悅更大，絕對的真理是自來不能達到的目標，不過往這目標上去的路程雖崎嶇而費力，卻能

使旅行者看到新的美麗的事物和景緻。

這些話固然不差，但同時人爲滿足他智慧的好奇心而出發探索自然的秘密時又常在另一方面得到報酬；起初像是無實際價值的發現到以後應用起來卻能給人類造無限的福，舉個例來說許多年前有人發現金屬絲赤熱而放射電子——熱性放射電子——的現象後，研究放射性定律——例如放射和溫度的關係——的科學家在當時決不會想到和實際上應用的關係，他們僅爲的是要明瞭這作用的過程，但他們研究工作的直接收穫是熱絲X光管以及無線電機裏用的真空管，最先研究光電效應——即光照到金屬上面放射電子的效應——的科學家也是如此，但他們研究的結果給我們今日不少光電池的應用，康普敦 (K. T. Compton) 博士說戰前僅是美國一國無線電工業的營業數值已達五千萬美金之多。

再如馬克斯威爾研究電磁騷動傳佈的數學定律時也不會夢想到他的工作能產生全世界的無線電交通，這幾個例子不過說明表面上看來毫無實用的科學研究並非真的沒有實用。現在甚至唯利是圖是精明的買賣人也相信這話了。大工廠設了大規模的研究實驗室讓許多科學家自由研究，並且鼓勵他們澈底進行所研究的事項而不論研究的結果是否能獲得專利，廠主們知道一旦有了基本的發現之後，早晚可以增加廠裏的利潤。

研究轟擊原子的人從來沒有想到實際上的結果。但甚至這些研究也能產出實際結果來，放射性物質如放射性鈉已能製出相當的數量供給研究醫學之用或作為追蹤劑。中子已有人用在生物學的研究上，其可能產生的結果是沒有人敢預料的。

最驚人的是在 1945 年夏原子核反應所放出的能真的為人所應用了，以下幾章我們要講這件事如何做成功。

第十三章 原子核分裂及連鎖反應

原子核分裂的發現

這本書裏有不少地方說過原子核反應中可以有少量物質消失而生出相當量的能，又說過太陽所生巨量的能可以用氫製造氮原子的過程來圓滿解釋，我們是否能控制原子核反應而利用它所放出的能？照 40 頁上所說這種事情可能產生的結果是驚人並且可以唬倒人的，消滅少量物質所產生的能若是誤用了可以消滅整個的民族，但如 108 頁上所說當時作者對於這問題並不十分擔心，因為要使有一個原子核起反應而放出幾百萬電子伏特的能，我們需要射出並且消耗幾百萬個質點。

這個視為無虞的信念等到 1938 年發現了原子核分裂反應之後就蕩然無存了，原子核的分裂反應會放出大量的能，並反應一旦開始之後就會自動延續下去。

發現這事的不僅是一個國家，1938 年德國的韓安和斯托拉斯曼繼法國居禮及薩維珠的研究之後發現用中子轟擊鈾所產生的三種放射體，性質的鉬相同，因此他們結論鈾和中子作用的產物是鉬，像鈾這樣的重元素（原子序數 92）和中子結合之後再拆散成爲較輕的元素鉬（原子序數 56）是新奇而出乎意表的現

象，然而這事却是確有發生而無疑的。

接着研究這事的是斯德哥爾摩科學院物理研究所的馬特諾女士及哥本哈根理論物理學院的費里虛，他們從理論方面研究這問題得到結論說：「性質不穩定的鈾原子核扣留一個中子以後可以分裂成約摸相等的兩個原子核，」他們把這現象稱為原子核的分裂並且預料「分裂後的兩個原子核會互相推斥而得到約為兩萬萬電子伏特的總運動能。」

倘若這個解釋是正確的話，分裂後產生的高速度運動質點應能在短射程內使空氣產生強烈的電離，不久費里虛用實驗證明這確乎是事實。

原子核分裂發現後美國和歐洲的科學家都考察過這現象而得到不少的知識，下列是幾件特別顯著的事實，其中對於發展原子能及製造原子彈特別重要者在右邊有一線條表明。

(一) 每一個原子核分裂所放出的能達二萬萬電子伏特。

(二) 除鈾以外鈾 (thorium) 鏷 (protoactinium) 及釷 (plutonium) 被中子轟擊時都會發生原子核分裂。

(三) 用阿爾法質點，雙質子及嘜馬線轟擊都能發生原子核分裂。

(四) 熱性中子(慢中子)及快中子都能使鈾 235 分裂，而尤以熱性中子更容易使分裂發生，熱性中子也能使釷分裂但對於

鈾 238 的影響極微。

(五)當某一種中間速度時鈾 238 能將中子扣留而不起分裂的可能性極大。

(六)鈾分裂時放出高速度的中子。

(七)高速度中子與鈾 238 相撞可以不致被扣留或發生分裂作用,但結果速度減小。

(八)分裂的結果雖然最後產生穩定的元素如碘 127,氙 131 及鐳 139,但這些穩定物質都是從中間的放射性物質連續轉變而來的,例如穩的碘 127 是由放射性銻 127 轉變成放射性碲 127 而後生成的結果;穩定的鐳 139 是從放射性氙 139 轉變成銫 139 再轉變成銀 139 而最後轉變成鐳。

因此發生分裂的即使是小片的鈾,其附近亦有強烈的放射作用。

就利用原子能的觀點而論,鈾原子核分裂之所以重要有兩個原因:(一)單獨一個原子核分裂時放出的大量的能,(二)有發生連鎖反應的可能。

第一項原子核分裂放出二萬萬電子伏特的能,大部是分裂後兩大塊高速度質點互相離開時的運動能,我們要問這作用中的能是從那裏來的?這問題的答案是根據一件很有趣的事實而來,原子量介於極輕的元素如氫、鋰等與極重的元素如鐳、鈾等

之間的元素，其原子核中每一個質點(質子或中子)的質量小於輕元素或重元素中每一個質點的質量，例如鈾 238 的準確質量是 238.14，因之其原子核中每一中子或質子的平均質量是略大於一，再如鎂 138 的原子質量為 137.916，因之其 138 個中子及質子的平均質量略小於一，另一個分裂後所產生的鐳 139，其原子質量為 138.955，因之原子核中 139 個質點的平均質量也略小於一，所以像鈾那樣的重元素分裂而產生中等原子量的鎂及鐳時，所損失的物質質量便轉變成能，利用 0.001 原子單位質量相當於一百萬電子伏特能的關係，可以計出分裂後產生的能約有二萬萬電子伏特。

二萬萬電子伏特的能用瓦時來算固然是極小的數值，但若有足夠的原子發生分裂其結果所生的能極大，若一噸鈾的原子全部分裂，結果放出的總能約有兩萬萬瓦時。

連鎖反應

我們已說過利用正子轟擊鋰所生的能是極不經濟的方法，像這種原子核崩散的現象是由於外間質點的轟擊所致，而射出的幾百萬個質點中只有一個能夠使原子核崩散，鈾分裂的情形便不同，因分裂是由於中子的轟擊而分裂作用時又能生出中子，因此可能使分裂一開始之後，從分裂作用所產生的中子或其一部分更能起新的分裂作用，因此能放出更多的中子而發生連鎖

反應繼續放出能來，若能放出時的速度極快便是爆炸作用而可以用來作炸彈，若放出的能緩慢而且可以控制，就成爲供給人類利用的新能源。

讀者須得瞭解像這種或任何種形式的連鎖反應，舉一個常見的例子——燃燒，火一燃着之後祇要燃料不盡火就會繼續燃燒下去，火柴先把要燃燒一部分的溫度升高到發火點之後，這一部分所生的熱又足夠把隣近部分的溫度升高到發火點，如此連鎖作用繼續下去一直到全部燃料都燒着爲止，燃燒雖然是包括有原子在內的一種連鎖反應，但和我們說的原子核連鎖反應不能混爲一談，燃燒時碳原子和氧原子結合成一氧化碳或二氧化碳，這兩種氣體不過仍是碳和氧兩種原子的化合物，但原子核反應中原有的原子完全消失而產生新的原子來。

其次我們看看鈾起連鎖反應而繼續分裂的可能性，第一要記住若無一次分裂的結果只放出一個中子就不可能發生連鎖反應，因爲若是如此則無一個放出來的中子必須要使另一個鈾原子起分裂，這事我們已經說過是不可期望的，因爲中子容易被鈾²³⁸的原子所扣留而鈾²³⁸的原子有鈾²³⁵的一百三十九倍，但容易起分裂的祇是鈾²³⁵這一種同位素，所以若每一次分裂祇放出一個中子，這唯一的中子便容易爲鈾²³⁸所扣留而連鎖反應就此中斷。

但是什麼條件纔能發生連鎖反應？顯然的必須要在分裂一開始的時候就產生出足夠的中子，使它們除了被鈾 238 扣留以及其他損失之外剩下的中子還能繼續引起分裂，假設有少量的鈾正在起分裂作用而某一瞬間內有一百萬個中子放出來，其中有許多要遭受損失不起作用，但有些中子可以引起更多的分裂，若繼續新產生的中子數超過一百萬，分裂作用就會連貫下去，但若不夠一百萬則連鎖反應就會很快的中止，所以要發生連鎖反應中子的數目應該維持不減再好能稍有增加。

因此我們需要考察能使中子損失而不起作用的一切方法，其中重要的有兩個：（一）鈾原子自身及鈾中雜質的原子或周圍物質的原子扣留中子而不起分裂，我們已經說過中子在某種速度的時候極易為鈾 238 原子扣留而形成鈾 239，（二）中子逸出所用的鈾外，因為有些中子顯然不會經過鈾原子核的附近而逕自逸出鈾體之外。

科學家為欲獲得連鎖反應必須減少被扣留而不分裂的中子以及逸出鈾體外中子的損失，同時並須增加分裂時所產生的中子數。

減少中子逸散的損失

要減少中子逸出鈾體的損失只須增加鈾的體積，因為面積愈大逸出的中子愈多而體積愈大產生的中子也愈多，讀者當

記得球的表面積和半徑的平方成比例，而球的體積和半徑的立方成比例，故若半徑增加一倍則表面積變成四倍而體積變成八倍，因此鈾的體積增加時和表面積有關的作用(例如中子的逸失)不如和體積有關的作用。(例如中子的產生)增加得顯著，要作成能發生連鎖反應的一堆鈾，先要計算必須有多大的體積纔能補償自表面逸散的中子損失，第一個發生連鎖反應的鈾堆一共用了一萬二千四百磅的鈾及其氧化物。

再進一步減少中子的損失

平常鈾礦中的雜質會吞嚥太多的中子而不起分裂，因之不能發生連鎖反應，我們必須要把這些雜質除去，所以要獲得鈾的連鎖反應的許多次要問題中需要解決的是在獲得大量的鈾礦，然後提煉原料而製出純鈾，坎拿大能供給大量的鈾礦所以原料不成問題，至於提煉問題亦經幾個大廠家和科學家圓滿解決，所以在 1941 年年底時美國所有的鈾雖不過 30 克但不到一年之後已經有六噸的鈾可以利用了。

我們知道主要起分裂的是鈾 235，鈾 238 容易扣留中子(尤其是中等速度的)而不起分裂，所以若能把鈾 235 提煉出來或鈾 235 的含量增多，則應用時可以減少中子被扣留的損失而同時增加分裂所產生的中子數，因此要得到連鎖反應以及發明原子彈的一個大問題是提煉鈾 235，這問題我們在第四章裏已提到過，

在當初提供製造原子彈可能的報告中估計所需鈾 235 的量不能少於兩千克，但由於「特別順利」的準備工作而從質量分光器上製出的鈾 235 僅是極微的量，因此這問題的浩大可想而知，勞倫斯每小時內祇能鍊出微量頗為純淨的鈾 235，但是大工廠用大規模的不同方法終於解決了這問題而鍊出大量的鈾 235，尤其成功的是利用大迴轉子中大電磁鐵的那個方法。

緩速劑的應用

我們說過熱性中子比快中子容易使鈾 235 分裂，因此增加分裂效應的另一方法是把分裂時放出的高速度中子變慢，101,2 頁上已提過當中子撞到某種稱為緩速劑的輕原子時速度就會減低下來，高速度中子和氫、重氫或碳的原子經過少數幾次撞擊後就會減低到熱性速度。

因此要發生連鎖反應的鈾體內就得裝入這種緩速劑，因為應用上的方便以及淨鍊的比較容易所以石墨是一種主要的緩速劑，分裂所產生的中子經過 40 公分厚的石墨之後就會把速度減低到熱性值，平常的水以及重水都可以作為緩速劑，以前報上常有人提到德國人製造重水研究原子彈的事因為用重水中重氫的原子作緩速劑比碳更為有效，並且由於吸收所致的損失（常有一些可能）亦比石墨為少，但是用石墨作緩速劑卻顯然方便得多。

緩速劑施用時的方法甚多，例如將鈾與碳做成一個均勻的

混合體，但這有個嚴重的缺點，即當中子的速度尚未十分減低以前會碰到鈾 238 而被扣留，因此試驗連鎖反應的鈾堆中，鈾及氧化鈾塊間須隔以層層的石墨，第一個產生連鎖反應的塊堆中，石墨成爲磚狀而層層堆積起來，而每隔一層石墨塊的角上鑲有一塊鈾，這一堆東西裏面含有一萬二千四百磅的鈾。

連鎖反應的控制

即使發生連鎖反應已經成功還需要解決一個重要的控制問題，這問題可以分作兩方面須看目的是爲產生控制的能抑或是爲製造一個炸彈，若目的是在產生應用的能，則必須能夠隨時使作用開始或停頓，若目的是在製造一個炸彈則控制問題就在如何引起爆發並且使在投彈之後一定的時間爆發，現在我們所討論的僅限於控制原子能的產生。

這件事情是可能做到的，我們在 101,2 頁上說過有幾種物質尤其是鎢和硼對於慢中子有高度的吸收作用，發生連鎖反應的鈾及石墨的裝置設計成功之後，若要控制連鎖反應祇須把含硼或鎢的條片插入或移去即行，若將鎢條移去作用就開始，再插入作用便又停止，斯密士教授「原子能應用在軍事上的方法」一文中提到第一個著名的連鎖堆時說：「有鎢條插入許多隙縫中，」當要使連鎖堆作用時可抽去鎢條只剩最後一條，連鎖堆的構造事先已調整好，所以能使最後一根鎢條略爲抽動時連鎖反應就會

開始，產生能的速度就可以藉移動最後一根鑷條的位置來調節。

還有遲中子的放出又可以增進控制的效率，鈾原子核分裂後仔細檢查所放出中子的結果，證明所有的中子並非在同時立刻放出來，其中有百分之十的中子是延遲到百分之一秒後放出來的，還有更少的中子延遲到一分鐘之後，這放射中子的延遲無異使連鎖反應稍為懈怠下來，因之易於為鑷所控制。

讀者此時一定會發生一個問題：連鎖反應堆中既無特別產生中子的來源，那麼使作用開始的幾個中子是從什麼地方來的？回答很簡單——大氣中常有從宇宙線產生的散蕩中子存在並且還會偶爾發生自動的分裂作用。

一九四二年十二月二日

依照上述維持連鎖反應所需要的條件而設計的連鎖堆結果是試驗成功了，1942年12月2日是以後歷史上劃時代的大日子，因為那就是連鎖堆試驗成功的一天，原子核裏的能第一次為人所利用了，把這種能源供給日用之需不再是一種無聊的夢想了，這個連鎖堆在開始時所產的能固然祇有二分之一瓦，但十天以後便增高到二百瓦，不久當又能製造出可以產生幾千瓩的連鎖堆來，原來製造連鎖堆的目的若是祇為供給日用，本書就可以在此作一個愉快的結束，不幸當初目的並非如此，所以本書還需要添上最後的一章。

第十四章 原子炸彈

鐳的製造

前幾章裏雖然說過提煉大量的鈾 235 是和放出原子能有關的一個大問題，但迄今為止還沒有聽說真有應用純鈾 235 的事，上章連鎖反應堆中所用的鈾是含有鈾 235 的通常的鈾，若問題是在製造一個炸彈需要的情形便不相同了，這時候目的是在使極短時間內由於快中子而產生爆炸性的連鎖反應，因快中子和慢中子都可使鈾 235 分裂，故若這種同位數很快的集合成夠大的體積時，就可以預想到有猛烈的爆炸發生，這時候當然用不着有緩速劑了，根據最初的估計認為製原子彈需鈾 235 的量不能少於二千克亦不必多於十萬克（各約為四磅及二千磅，）根據每一個原子核分裂放出的能是二萬萬電子伏特，估計一千克的鈾 235（若其總能量的十分之一是以爆炸的形式放出的話）約相當於兩千噸的 *TNT* 炸藥，若原子彈裏應用鈾 235 的話，製造時必須提煉大量的這一類同位素。

但是除此之外還有別的方法，鐳也能為快中子所分裂因之也適於用作爆炸的原料，第十一章裏我們說過鐳是由鈾 238 扣留中等速度的中子製成的，還有說到鈾中發生連鎖反應的可能

性時，我們說過從分裂所產生的中子所以會損失的一個原因是被鈾238的原子所扣留，因此在連鎖反應堆裏終會有幾個中子附在鈾 238 的原子上形成鈾 239，然後再如 122 頁上所述的，鈾 239 經過兩次崩散之後轉變成錒，因為自然產出的鈾中鈾 238 的量是鈾 235 的一百三十九倍，顯然可見利用連鎖反應堆製造錒比提鍊鈾 235 好得多，至少錒可以補充鈾 235 作為爆炸的原料，事實上當初製造連鎖反應堆的目的不是在產生可以控制的原子能而是在產生製造原子彈用的錒。

根據每個原子核分裂產出二萬萬電子伏特的能以及其他的數字材料，我們不難算出若每天要製造一千克的錒則連鎖反應堆中須放出約一百萬瓩或約十億瓦的能，但第一個製成的連鎖堆祇能產出二百瓦，所以要用這一個連鎖堆製造一千克的錒需時約一萬四千年。這可以說明製造原子彈所要解決問題的規模，第一個連鎖反應堆製成後不到三年內大量生產的廠家已能製出所需要錒的數量。

製造錒的工廠

這本書裏不能詳細講到大規模的工程事項，以下所寫的不過要使讀者瞭解這件工程的浩大以及其中須要克服的困難和危險，第一個產生二百瓦的連鎖反應堆製成以後，就在德納西州克林頓地方建立一個生產一百萬瓦的連鎖堆廠，預期要製出相當

量的鎳並且研究從鈾堆中提鍊這種元素的方法，這個提鍊問題當然大部是屬於化學方面的問題，以後又建立了規模更大的廠家，具有百萬瓩以上的連鎖反應堆以及大規模提煉鎳的各種設備，這些廠址是在德納西州橡崗的克林頓工程所以及華盛頓州哥倫比亞河旁的韓阜，經過不到二年橡崗克林頓工程所附近就成了一個居民七萬五千人的城市，從這一點就可以見到工程之偉大。圖 27 的照片是進行這件極端秘密工程的工廠外觀。讀者看了之後當比說話的描寫還要深刻。這些工廠的內容至今還沒有完全發表，至於工作情形我們只知道在韓阜第一個大的連鎖堆

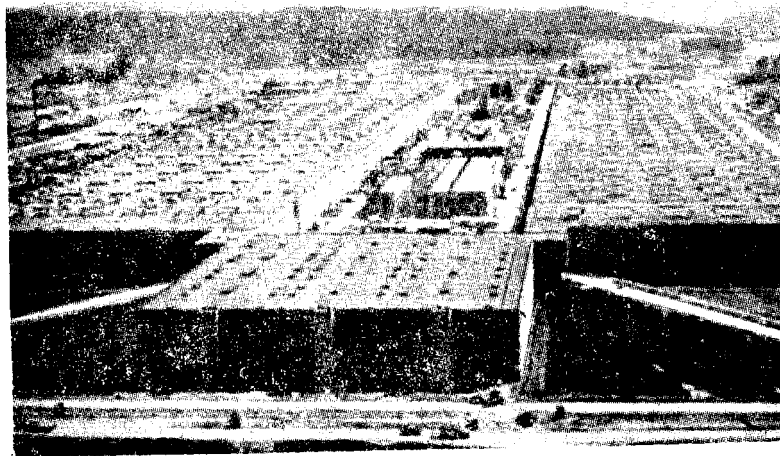


圖 27：橡崗克林頓工程所一處大製造廠的空中照片。

於 1944 年九月開始工作」，而「至 1945 年夏所有連鎖反應堆及化學提煉工廠的工作進行得比預期的更爲完滿」。

下面還有些別的詳情可以說明本書所要解釋的基本原則。

用水冷卻

原子核分裂時所放出的能大部分是分裂碎片所具的運動能而這種能便會轉變成熟，因此在一個百萬瓩反應堆的工廠裏，其中一個重要的裝置是在設法除去所產生大量的劇熱，冷卻這劇熱所用的水量約相當於中等都市的用水量，在韓阜供給冷卻水的來源是哥倫比亞河，河水經過冷卻管流回河裏之後整個河身都變熱了。

放射能所產生的危險

138 頁中說過分裂所產生的穩定元素如鉍及鐳是一連串放射變化後的最終產物，我們也已經說過產出鏷時所發生的放射變化，因此在一個大連鎖堆中常積有大量的放射性物質；具有各種的放射能，這種放射能是極爲危險的，因之使員工和放射線遮隔是大工廠中的一個大問題，連鎖堆必須放在可以吸收放射線的鋼筋水泥厚牆中。對於連鎖堆的操作都須在遙遠控制，從堆中移出含鏷的鈾滓時仍得有遮隔避免放射作用，甚至在提煉的時候也得在遮隔箱中用遙遠控制操作，放射性的氣體和溶礦滓時的酸霧都得用高的烟突放出去，此外還要確保放射性的氣體混

入大氣之後不致危及四週附近的居民。

不必說避免任何種放射線連(中子在內)危害的預防措施是都經採納了的，爲了保障員工的健康每個工人的身分證裏都有一小片不曝過光的乾片，這些乾片能受大部射線的作用而感光，然後定期檢查一次根據片上感光的程度以確定攜帶的人員有否受到射線的打擊，由此可見工作謹慎之一斑。

原子彈

這些大工廠中一切工作的目標是製出大量的鈾 235 或釷以備製造(若是可能的話)原子彈，除克林頓及韓阜兩工程所外新墨西哥州洛薩拉摩沙漠地方於 1943 年春在歐本哈謀爾博士主持之下成立了第三廠專爲製造原子彈之用，現在全世界人士都知道他們是製造成功了，知道這個方法的人極少，本書作者幸喜不是其中的一個人，與原子彈有關的操作雖需要秘密，但其中有些顯明的原則，尤其是和本書有關的，卻不妨繼續再說一些。

本章起首時短短說過製造原子彈的目的是利用爆炸性連鎖反應所放出的能，這問題包括：(一)須能控制炸彈在需要時爆發而不能在需要爆發以前發生危險，(二)須有極迅速的連鎖反應使彈體未曾爆散以前，其中大部的物質都經過原子核分裂作用。

防止爆炸性的或漸進性的連鎖反應是可能的，142 頁中已說過起原子核分裂的物質非要達到某種臨界體積時決不可能發

生連鎖反應，起初研究的時候有人認為臨界體積可能極大，因之不宜製造可以攜帶的炸彈，但後來證明臨界體積並不如是之大，因而欲防止連鎖反應可將起原子核分裂的物質分成小於臨界體積的單塊，起爆時這些小單塊必須很快的湊合一起使其總合後的體積大於臨界體積，要減除爆發過早的危險可藉吸收中子的物質減少四周的散蕩中子數，但我們得記住一旦各部分湊合而使爆炸性連鎖反應開始的也是這些散蕩中子。

要防止彈體內爆炸物分散太快因而減低爆炸的效果，我們可以在彈外包一層重的物質，利用它的惰性以延長彈體爆成碎片的時間，同時包塞了一層重的物質之後可以使向外逸出的中子折回彈內，因之減少中子的損失也就是減小了臨界體積，（同樣包塞在連鎖反應堆中的石墨也能減小臨界體積）。

關於起爆的事我們已經說過所需要的不過是一種裝置，能把發生原子核分裂的各部分彈體很快的靠攏在一起，所用的裝置以及控制的方法除了斯密士教授在報告中所提示的話以外，別的我們現在還不知道，他說：「要把原子彈各部分很快的靠攏一起的方法，最明顯的是把一部分當作彈丸向作為標靶的另一部分射去」，讀者可以從此憑自己的想像力去設計適當的裝置。

1945年7月18日

原子彈製成了，除了1942年十二月二日以外還有這一天是

值得一提的，因為在那一天早晨五點半做完了第一次的試驗而最後目的已無疑地達到了。人已製成了毀滅性可怖的東西，自然界本身也反襯出成功了這件事情的可怖性，直到試驗時最後的一刻天空中雷雨交作，慘厲的現象連沙士比亞也不能形容得更甚。用麥克白的話來說：「這是多災多難的一夜」，炸彈放在鋼塔頂上，最近的觀察者在六哩之外，然後在黑暗中原子彈爆炸了。

主持整個原子彈事宜的是葛羅夫斯中將，他的副手法拉爾少將報告爆炸時的結果說：「閃光所產生的效果無法形容，整個區域都為灼熱的光所照耀，它的強度有日中時太陽光的數倍，光的顏色是金、紫金、青蓮、淺白乃至藍色，附近山系中每一個頂峯谷底以及高崗都為這光照得分外美麗，這美麗的程度不能描寫祇能想像……起爆三十秒鐘之後先來一陣疾風向人和物緊緊推壓。接着馬上就聽到巨大可怖而歷久不散的雷吼，似乎警告着末日的來臨，使我們覺得渺小的凡人犯了瀆神的罪，竟敢玩弄了全能者所保有的能」。

放出原子能的事是美國陸軍方面，大工業以及各國幾千個最聰明的科學家通力合作的結果。爲了這事所化的錢有二百億美金，美國各大學如哥倫比開、芝加哥及加州大學等對這件事都有異常重要的貢獻，還有英美坎三國之間密切的合作，英國科學

家慷慨地合夥交出他們的知識，英國著名原子核物理學權威如考克羅夫特博士及賈特威博士也渡洋來美參加研究，坎拿大不但供給了許多原料並且在國立研究院的鐵甲保障之下實施了「獨立自治領內最廣泛的研究方案」。

一九四五年八月五日

1945年八月六日杜魯門總統發出一個文告開首說：「十六小時以前有一架美國飛機在日本的陸軍基地廣島投下了一個炸彈，兩個炸彈的威力比兩萬噸的TNT炸藥還大……那是一個原子彈」。

未來

我們瞻望未來馬上就會發生兩個問題：（一）我們能否有希望為平日有益的目的去裝馭及應用原子能？（二）人會不會用自己所手創的東西去毀滅自己？我們謹對這問題發表幾點評述作為本書的結束。

科學家已由連鎖反應堆證明了原子核作用所產出的原子能可以被放出來並且可以被控制。那是個了不起的發現，不過要把放出的能裝馭起來使機器開動又另是一會事，經過了很久的時期之後燃燒所能發出的能纔為蒸汽機所利用，我們還得記住在產生連鎖反應以前須要費去數量可驚的能。但是從另一方面說有了這樣的發現之後，我們有理由期望集中心力研究原子能有

益用途的科學家，會漸漸學得如何應用的方法，但進展的過程是逐步的。用原子能開動大郵船的方法在幾年以內恐怕還不會實現。

對於最近的將來，原子彈的問題是比較重要得多了，關心人類福利的人都會對這事發生許多政治上及倫理上極端重要的問題。這些問題雖然不在本書範圍之內，但作者願在此說出他的希望，認為像這樣可能引起大患的東西必須要立刻用來產生國際觀念，不然人類會走向毀滅的路上，「至於原子能如何可以成為維持世界和平的一個強而有力的勢力，我將要更加考慮，向衆院提出更多的建議」。杜魯門總統用這句話結束他的文告，這不過是個希望。

最後說一句話，原子彈的可怕誠然如是，它的應用卻不過是幾世紀來進行已久的一種程序到了最高的蘊積點，科學家發現了新的真理，這些真理有時被人用到好的地方，有時被人用到壞的地方，發明被人誤用而產生惡果是不是科學家的罪責？關於這問題作者在幾年前曾寫過下列的一段話。

事實是這樣的，每當人吞食了智慧之果的時候，他就可以選擇為善或為惡，僅是因為科學知識的被人誤用，我們自然不當責備發現真理的人，所生的罪過是於人類缺乏善意的結果，並非科學家本身帶有任何罪惡。創世紀裏所說的少年人被拉麥殺死

的時候，拉麥一定檢起第一件能夠拿到手上的傢伙，但殺人的是他不可控制的怒氣而不是那件傢伙，使用不當的罪不應歸過於科學而應歸過於人類的缺乏正義感，科學家和其餘各行各業的人一樣無辜也一樣有罪。若我們希望有一種善能戰勝惡的進步，人與人間以及國與國間應該要有更多的善意，而不是要減低科學的程度。

科學家是否應拒絕為原子彈而工作？是的，有些人是拒絕了。但這是自來一個基本的倫理問題，讓讀者自己去求解答吧。

第三表 幾種元素的原子序數原子量及其穩定的同位素

元素	符號	原子序數	原子量	同位素的質量
氫	H ¹	1	1.0081	1,2,3.
氦	He	2	4.004	3,4.
鋰	Li	3	6.94	6,7.
鈹	Be	4	9.02	9.
硼	B	5	10.82	10,11.
碳	C	6	12.01	12,13.
氮	N	7	14.01	14,15.
氧	O	8	16.00	16,17,18.
氟	F	9	19.00	19.
氖	Ne	10	20.18	20,21,22.
鈉	Na	11	23.00	23.
鎂	Mg	12	24.32	24,25,26.
鋁	Al	13	26.97	27.
矽	Si	14	28.06	28,29,30.
磷	P	15	30.98	31.
硫	S	16	32.06	32,33,34.
氯	Cl	17	35.46	35,37.
氬	A	18	39.94	36,38,40.
鐵	Fe	26	55.84	54,56,57.
銅	Cu	29	63.57	63,65.
鋅	Zn	30	65.38	64,66,67,68,70.
銀	Ag	47	107.88	107,109.
錫	Sn	50	118.70	112,114,115,116,117,118,119,120,122,124.
鋇	Ba	56	137.36	130,132,134,135,136,137,138.
鉑	Pt	78	195.23	192,194,195,196,198.
金	Au	79	197.2	197.
汞	Hg	80	200.61	196,198,199,200,201,202,204.
鉛	Pb	82	207.22	204,206,207,208,234,235,238.
鈾*	U	92	233.1	234,235,238.

*鈾是有放射性的，但其半生期極長故可認作是穩定的元素。

跋

原作者饒柏森 (J. K. Robertson) 爲坎拿大奎恩斯大學物理系主任，曾在劍橋大學卡文狄西實驗室隨湯姆生爵士 (Sir J. J. Thomson) 從事研究，現爲坎拿大皇家學會會長，其著作尙有放射性物理學等專門書籍。

譯者從事將此書改成中裝的工作，雖自信已盡了最大努力，但本人學識淺陋尙祈海內賢達不吝賜教爲幸。

譯者理京識。

1947年6月10日。

附 錄

一 雲箱

雲箱的故事是蘇格蘭人和霧的故事，一個蘇格蘭人穿過蘇格蘭地方常見的霧中時，停下來注視那透過霧層的可愛的陽光。他是個具有研究性的人，因此就詫異什麼東西會產出這許多不同的色彩。從那時起魏爾遜就開始走上往劍橋大學做教授的路。這一切好像是神話。

但雲箱本身並非是個神話，這件東西乃是今日原子核物理學家最有用的工具。雲箱能使物理學家攝取他所擊破的原子的照片——說得準確一點就是原子破裂後碎片所經過路線的照片。如是一個原子射出去打擊另一個原子的路線，以及撞擊後碎片所經過的路線，都可以給科學家以直接的視覺上的證據。根據這些材料以及力學上的基本定律科學家可以計算出起撞擊時原子核間能的轉移。

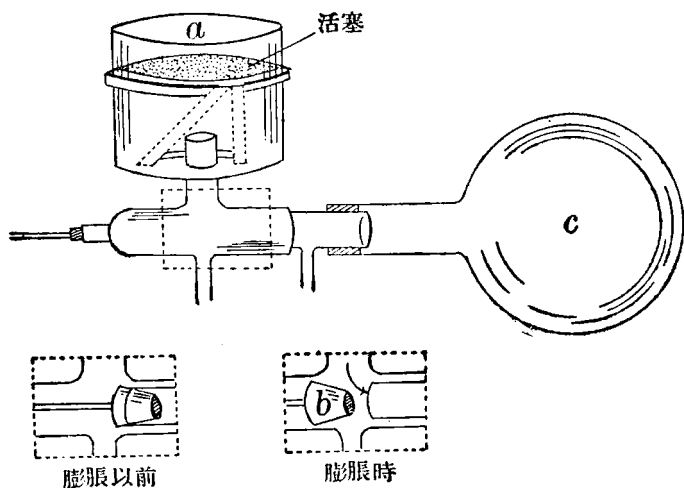
魏爾遜那天在蘇格蘭站着看霧的時候，心裏還想不到會產生這個現代的應用，他作研究的第一步工作是用人工產生霧。在一定的溫度下空氣和足量的水相接時，空氣中就含有飽和的蒸汽，水瓶裏裝滿了一半水時的情形便是如此。飽和氣體中水蒸汽

的份量隨溫度而變；一般溫度增高時飽和氣體內所含的水蒸氣量也須增多，若飽和氣體的溫度突然冷卻，則氣體內所含的水蒸氣過多而產生過飽和現象，依據過飽和程度的不同，蒸汽或仍存在於氣體中或凝結成爲霧或雨滴而和氣體脫離。

使氣體膨脹是最主要的一種冷卻法，一切人工冷卻器都用這個原理。在魏爾遜的實驗上最簡捷最方便的冷卻法是使飽和氣體自身膨脹。這位蘇格蘭人最初的實驗確乎是研究霧的顏色，他發現在某種膨脹的情況下能產生濃霧，光透過霧後的顏色隨膨脹的程度或過飽和的程度而異。不過關於霧本身的問題比它的顏色有趣得多。例如在那一種情形下剛好能產生霧以及是最後霧和雨的分界線。在有些膨脹的情形下若飽和氣體是潔淨無塵的話不會有霧或雨產生。

要確切瞭解雲箱須要明白「膨脹比值」這一個名詞的意思，膨脹比值是氣體膨脹後與膨脹前的體積之比。例如十立方公分的氣體膨脹成二十立方公分時的膨脹比值爲 2.0；若膨脹成十二立方公分則比值爲 1.2。魏氏最初研究出這膨脹比值有幾個臨界值，膨脹比值爲 1.25 或較小時潔淨空氣中的水蒸汽不會凝結。比值稍大於這數時水蒸汽就凝結成雨或小水滴。但若膨脹比值大於 1.38 時雨突然變爲濃霧。魏爾遜就研究光透過這霧濃後所產生的色彩。

1929年魏爾遜設計了一個新的雲箱是一切現代雲箱的範本。從附圖上我們可以看出雲箱工作的情形。是圓柱形的箱身，其直徑約為一呎，四周及箱頂全是玻璃俾能見到箱內的雲霧。 a 之下為一活塞，當活塞突然下降時箱的體積變更而使氣體產生所需要的膨脹，膨脹的過程必須迅速纔能發生充分之冷卻，因在膨脹頃刻之後箱內氣體的溫度一部分由於四壁傳入之熱而又行上昇。若膨脹緩慢則當膨脹之際氣體已開始變熱。魏氏使 a 內氣體膨脹的方法是將活塞以下的氣體瞬時之間移去。為要使空氣突然移去活塞以下的空間與 c 瓶之間有粗管相連。 c 瓶口有一橡皮塞 b 堵住，使塞瓣脫離瓶口時只須將連在塞上的桿子緊緊一



魏爾遜雲箱

拉。應用雲箱時先將 c 瓶中的空氣全部抽出，將瓶口的瓣塞 b 放開後活塞下的空氣便衝入瓶內而活塞遂急速下降。

魏氏發現膨脹時如雨點的水滴係由蒸汽凝於離子上而形成，塵埃亦能使水滴產生，普通的雨滴大部就是水蒸汽凝結在雨滴上而成。但在雲箱中潔淨無塵時，作為小水滴核心的只剩離子，因為有這現象雲箱在原子核物理學上纔有如此重要，每一個離子是一個水滴的中心，因此排算出水滴的數目就可以知道離子數。

若雲箱膨脹後立即有一阿爾法質點射入，則質點路上的離子都成為水滴凝結的中心，阿爾法質點經過的路線上就有一條緊密相連的水滴作為記號，為使小水滴或阿爾法質點的路線明顯可見，可以用強烈的水銀燈光通過雲箱，並且將雲箱的底漆成黑色將白色水滴的路線顯映出來。將照相機鏡頭放在雲箱上於「適當時間」攝影可以留下路線的永久記錄。

「適當時間」這句話中隱藏着使用雲箱的技術上許多困難之點，因雲箱的溫度在五分之一秒內即行回升，故觀測必須在雲箱變熱水滴消失以前完竣。這不過是困難之一，其次是存在於雲箱附近的散蕩放射，膨脹時通過雲箱的任何射線都會產生電離作用而留下小水滴所形成的路線。這些散蕩的路線必須除去，除去的方法是在箱頂玻璃與活塞之間加弱的電場。一切小水滴因

係由離子形成所以帶電能爲上下兩面所吸收，因此小水滴可以凝結在器壁上而不干擾別的路線，又因路線係由帶電的質點形成，電場對於的路線的影響是先使路線變寬終於將離子分成兩羣，例如正的離子向下而負的離子向上。

一旦膨脹完成之後離子上的水滴形成得極快，因這些水滴比較極重，所以在電場中的運動極慢。這對於「適當時間」又是一個限制，因若要使路線沒有分散的機會，阿爾法質點必須緊隨着膨脹之後射入。若在膨脹完成之前射入，則離子尙未爲水滴凝住時即行分散，若質點在膨脹後隔太久的時間射入則雲箱已變熱而不復產生水滴。

使用雲箱時要將各種操作依適當的時機進行，必須有精細的配合時間的裝置。魏爾遜利用重物的落下作一巧妙裝置，先將瓣塞拉開然後使質點射入箱內最後使燃着弧光燈而攝取照片。

現代雲箱上經過改變的地方不多，魏氏後來曾用橡皮膜代替活塞，當膜下空氣移去時膜即下陷而膜上的空氣即爲之膨脹，至於魏氏利用重物下落配合操作時機的裝置已用一種電路來代替。每次膨脹之後電路能使雲箱恢復原狀可以立即重作試驗。

二 中英文人名地名對照

A

安特生	Anderson
艾斯敦	Aston
亞佛加持羅	Avogadro

B

班勃里	Bainbridge
貝克萊	Becquerel
倍特	Bethe
柏奇	Birge
勃拉蓋脫	Blackett
蒲士	Booth
波德	Bothe
勃拉虛	Braoch
勃列克威德	Brickwedde

C

賈德威	Chadwick
考克羅夫特	Coekeroft
康普敦	Compton, A. H. (69)
康普敦	Compton, K. T. (134)
柯立芝	Coolidge
克洛克思	Sir William Crookes
居禮	Curie
居里-柔里歐	Curie Jnliot

D

陶爾頓	Drlton
狄萊克	Dirac

杜費	Du Fay
鄧寧	Duniung

E

艾因斯坦	Einstein
伊凡斯	Evans, R. D.

F

法拉爾	Farrell, Thos. F.
費爾米	Fermi
費里虛	Frisch

G

哥爾特哈勃	Goldhaber
哥爾斯坦	Goldstein
葛魯斯	Groose
葛羅夫斯	Groves

H

哈安	Hahn
韓森	Hansen, Klaus
哈根斯	Harkins
哈姆生	Harmoen
海爾次	Herts
海斯	Hess
賀斯密	Honigschmid

J

傑斯	Jeaus
柔里歐	Joliot

K

考夫曼 Kaufmann
科爾黑斯德 Kohlhörster

L

郎格 Lange
勞倫斯 Lawrence
雷拿 Lenard
李溫斯敦 Livingstone

M

馬克斯威爾 Maxwell
馬特諾 Meitner
孟德爾 Mendel
密立根 Millikan
穆非 Murphy

N

涅合 Neher
牛頓 Newton
聶耳 Nier

P

畢克林 Pickering
濮勞特 Prout

R

拉姆賽 Ramsay
羅合氏 Royds
盧則福 Rutherford

S

薩維珠 Savitch
沙地 Soddy
斯密士 Smyth
史蒂文生 Stevenson
斯托拉斯曼 Strapmanr
史屈里脫 Street
史璜 Swann

T

推爾氏 Thales
湯姆生 Thomson
杜魯門 Truman

U

尤萊 Urey

V

溫特格拉夫 Van de Graaff

W

華爾頓 Walton
維恩 Wien
魏爾遜 Wilson

