

科學圖書大庫

# 保健物理

—輻射防護原理—

譯者 楊哲遂 何耀峯 范治九  
施純寬 鄧希平  
校閱 翁寶山

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

# 保 健 物 理

—輻射防護原理—

譯者 楊哲遂 何耀峯 范治九

施純寬 鄧希平

校閱 翁寶山

批  
判  
山

談

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會

# 科學圖書大庫

監修人 徐銘信 科學圖書編譯委員會主任委員  
編輯人 林碧銓 科學圖書編譯委員會編譯委員

版權所有

不許翻印

中華民國六十五年九月十七日再版

## 保健物理 —輻射防護原理—

基本定價 2.20

譯者 楊哲遂 何耀峯 范治九 施純寬 鄧希平  
國立清華大學核子工程系學士

校閱 翁寶山 國立清華大學教授兼保健物理系主任

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(63)局版臺業字第0116號

出版者 財團法人臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686號  
發行者 財團法人臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第15795號  
承印者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號 電話9719739

# 我們的工作目標

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

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

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

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

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

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

茲特掬誠呼籲：

**自由中國大專院校之教授，研究機構之專家、學者，與從事工業建設之工程師；**

**旅居海外從事教育與研究之學人、留學生；**

**大專院校及研究機構退休之教授、專家、學者**

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

徐氏基金會 敬啓

中華民國六十四年九月

W-1505/22

# 序 言

由於游離輻射在科學與工業上的應用不斷的擴張，因而需要大量具有防護游離輻射危害知識的人。這些人包括了教師、研究人員、技術員、管理人員、公共衛生人員、醫事人員以及其他各類的專門人員。在這些人員中所具有的各種不同經驗、知識和訓練，足以表現出游離輻射應用的範圍與程度。

此書是介紹一些關於輻射防護的原理。同時將一些輻射防護與應用上較重要的數字資料，儘量的列於書中。假定讀者在閱讀此書以前並未具有關於這方面的知識，所以所有的理論都儘量設法用最簡單的原理來描述，因此本書對於那些稍微具有物理、化學、生物及數學知識的讀者，初次研究這門學問頗為適用。本書所有的數學結果都用最簡單的原理推演出來，所以只要具有基本的代數知識就可以一步一步看出這些數學結果的推演過程。不過有時仍不可避免的要用一些基本的微積分，但是書面上文字的解釋，足以使得那些對於數學結果遠較對於數學上細節討論更有興趣的讀者，能夠清晰的了解。

「輻射防護原理」對於各種的游離輻射都能夠適用，不過在考慮這些原理的應用時，特別強調比較可能發生的普遍情況。輻射防護問題常常與某些工作發生關係，例如操作反應器的時候，或者是在高級的實驗室裏，為了尋求學術上某些專門問題的解答而使用游離輻射。

本書的第一章是對輻射防護作一個概略的介紹，解釋其重要性及一些基本前提。

第二、三、四章是介紹一些基本的物理事實，例如物質的構造、放射現象及游離輻射與原子的作用等。

輻射劑量方法將在第五章討論，關於輻射單位的名稱在目前是一個很大的問題。國際放射性單位委員會最近對於這些名稱的更換曾作了介紹，這些問題將在第五章裏面加以討論。

第六章是討論游離輻射所引起的生物效應。近年來由於輻射防護技術不斷的進步，已使得這方面工作人員受到的輻射暴露，能維持在很低的限度下。因此他們身體受到危害的可能性是非常的小。但是在另一方面，由於游離

#### IV

輻射應用不斷的擴張，因此使得今日暴露於輻射下的人數較從前為多，所以在最近幾年裏，輻射防護的重心已經由對受到輻射本身的危害轉移到對他們後代所產生的影響上去了。也因為如此，本章強調輻射對於遺傳的危害遠超過了它對於受到照射者自身的危害性。

第七、八、九三章主要是國際放射性防護委員會對體內輻射與體外輻射所作的介紹。

第十章是討論放射性同位素實驗室設計的原理。

第十一章是討論輻射度量的方法，如何確定所受到的輻射，未超過最高的輻射劑量。

附錄 A 是書中一些單位的簡單討論。根據我教書的經驗，這些單位的複習是很受學生歡迎。因為在一般基本的物理課程中很少介紹這些單位。

附錄 B 是解答一些輻射防護問題方面很有用的資料。

書目（見第 239 頁）乃是關於輻射防護知識方面一些非常有用的書籍。

非常感謝那些允許我採用他們的資料於此書中的人。尤其感謝國際原子能總署及國際放射性防護委員會，讓我採用他們出版書籍中的精華及一些資料。

我非常感謝我的朋友與學校在我寫此書時對我的鼓勵。

我也很感謝出版商，他們的幫助與意見在許多方面都是非常珍貴的。

# 目 錄

## 序 言

## 第一章 輻射防護.....1

- 1.1 引言.....1
- 1.2 輻射防護原理.....2

## 第二章 物質與輻射.....7

- 2.1 物質的構造.....7
- 2.2 物質的原子理論.....7
- 2.3 原子的結構.....7
- 2.4 原子核.....9
- 2.5 原子的電子.....18
- 2.6 電磁波.....21
- 2.7 游離.....26

## 第三章 放射性與 X 射線.....28

- 3.1 放射性.....28
- 3.2 放射性衰變的形式.....37
- 3.3 衰變程度.....40
- 3.4 核反應.....42
- 3.5 產生 X- 射線.....47

## 第四章 游離輻射與物質之互應作用.....52

- 4.1 輻射衰減與吸收.....52
- 4.2 吸收係數.....54
- 4.3 吸收過程.....60
- 4.4  $\beta$ -射線與物質之互應作用.....66
- 4.5  $\alpha$ -射線之吸收.....68
- 4.6 中子吸收.....69

## 第五章 輻射劑量測定術.....70

- 5.1 引言.....70
- 5.2 輻射單位.....70
- 5.3 強度、暴露劑量與吸收劑量.....72
- 5.4 劑量等值 ( R. B. E. 劑量 ).....76
- 5.5 放射性同位素的輻射暴露.....80
- 5.6 X- 射線的照射.....86

## 第六章 游離輻射的生物效應.....88

- 6.1 引言.....88
- 6.2 細胞的構造.....88

- 6.3 細胞的分裂.....89
- 6.4 細胞的游離輻射效應.....96
- 6.5 游離輻射的遺傳效應.....98
- 6.6 游離輻射的軀體效應.....104
- 6.7 摘要.....106

## 第七章 輻射防護基本標準.....107

- 7.1 國際放射性防護委員會的勸告.....107
- 7.2 輻射暴露的種類.....107
- 7.3 「最大許可劑量」的觀念.....110
- 7.4 職業性暴露 ( A 類 ) 的最大許可劑量.....113
- 7.5 特殊團體的暴露.....117
- 7.6 一般公眾所受之暴露.....117

## 第八章 體內輻射的防護.....120

- 8.1 引言.....120
- 8.2 有關體內輻射方面國際放射性防護委員會的勸告.....120
- 8.3 最大許可暴露值的計算.....123
- 8.4 在空氣中多水中核種的濃度.....125

## 第九章 體外輻射的防護.....130

- 9.1 引言.....130
- 9.2 X- 射線的防護.....131
- 9.3 由密封輻射源放出的伽馬射線的防護.....136
- 9.4 操作輻射源時對伽馬射線的防護.....138

## 第十章 放射性同位素實驗室之設計.....144

- 10.1 緒論.....144
- 10.2 放射性核種之分類.....146
- 10.3 放射性同位素實驗室之分類.....146
- 10.4 放射性同位素實驗室的設計佈置.....147

## 第十一章 輻射防護度量.....153

- 11.1 引言.....153
- 11.2 輻射防護的責任.....153
- 11.3 個人所受到暴露的測量.....154
- 11.4 環境照射之測量.....161

## 附錄 A 單位.....164

## 附錄 B 對於輻射問題有關的資料用.....166

## 索引.....241



# 第一章 輻射防護

## 1.1 引言

自從十九世紀末發現了輻射後，游離輻射例如X射線以及由放射性物質發出的輻射等，它們對於生物體所造成的危害越來越為明顯。從那時以後，尤其是在最近的二十五年裏，X射線及其他輻射的使用，更急劇的增加。

直到二次大戰的末期，這方面的發展主要是X射線的各種不同應用和放射性元素鐳在醫學上的應用。然而1932年發現了放射性元素可以用人工製造之後，而發現了核分裂的現象，更由於核分裂現象的發現，因而導致了核武器的發展以及如何去控制核反應和利用它巨大的能量。由於這些發展，今日已能够把所有的元素製造成為放射性的形態。這些放射性形態的元素有許多是非常有用的。在目前這些應用已經擴展到了科學技術的各部門中，所以今日從事於輻射的人數已比二十年前超過了許多。而且輻射的應用似乎仍在不斷的擴張，因而在將來高度工業化的社會中，必然會有更多的人員從事於輻射的工作。

原子能的發展無論是在武器或是在和平用途上，都會引起一個國家許多人民受到輻射照射。這是為什麼呢？我們可以舉例來說明；例如一座核能發電廠萬一發生了意外事件，則這整個地區所有的人都必將會多少的受到一些輻射的照射。

這些事實說明了我們在發展這種科學的時候，必須要能够同時保證我們所受到的輻射暴露是在一定的標準之下，而且這個標準是一些權威人士認為可以接受的。因此我們必須重視「保健物理」或是「輻射防護」。

雖然游離輻射會產生生物效應，影響到那些受到照射人員的健康或是他們的後裔，但是我們卻不能由這些生物效應來確定他受到了多少的輻射暴露，我們更沒有辦法由自己的感覺來偵測到游離輻射。因此常常在不知不覺中造成了嚴重的生物傷害。雖然大家都知道游離輻射會造成生物傷害，但是卻一直沒有辦法得到一些關於這方面的定性資料，一直到一種度量游離輻射的

## 2 保健物理—輻射防護原理

方法爲大家所接受。

在建立輻射防護制度方面，第一個最有意義的進展就是在1928年訂立了輻射劑量的單位，這種單位稱爲侖琴 ( roentgen ) 我們會在第五章裏面討論。在1928年以前，雖然大家都曾努力設法去了解並且減低輻射的危害，但是由於缺乏一個可被接受的輻射劑量單位，所以他們受到了極大的困擾。在此以前是採用生物體量度的辦法。輻射劑量被稱爲「紅斑劑量」( erythema dose )，它的定義是「能够使皮膚變爲紅色所需要的輻射量」。由於個人體質不同，這種單位很明顯是不準確的。

侖琴是1928年在瑞典首都斯德哥爾摩 ( Stockholm ) 召開的第二屆國際放射學會議時訂定的。同時也設立了國際X射線及鐳防護委員會(International X-ray and Radium Protection Commission ) 後來這個委員會變成了今日的國際放射性防護委員會 ( International Commission on Radiological Protection )

這個機構提供了許多關於輻射防護原理的介紹，同時建議每一個國家之類似委員會，應當有權利與責任把這些原理介紹給每一個國家，並配合每個國家之環境與需要。

由於從事輻射工作人員每日所能承受最高輻射量的名稱也有許多爭論，在以前這個名稱叫做「耐受劑量」( tolerance dose )，這個名稱導致了嚴重的誤解。後來改用「最大許可劑量」( maximum Permissible dose ) 它受到較多數人的歡迎，然而這個名稱還是易於導致錯誤的解釋，於是又有人建議改爲「防護守則」( Protection guide ) 的名稱。這個名稱的目的是要指出輻射防護的標準並不能很硬性的規定，而且在我們目前的知識中仍有許多的缺陷，現在用的標準到了以後可能又會有所修正。在本書中將採用「最大許可劑量」的名稱，因爲這個名稱是被國際放射性防護委員會所採用的。應解釋爲：「每日所能夠接受的最高輻射暴露限度」。但是有時爲了某些緊急情況或是特別情形，必須接受超過此限度的輻射量，也是許可的。

### 1.2 輻射防護原理

本節是討論一個在保健物理上被大家所共同承認的事實，那就是說任何的輻射暴露都會造成生物傷害，即使是極輕微的輻射量，這種傷害仍不可避免。換言之，不管訂立何種的輻射防護標準，我們都必須承認；凡受到了輻射暴露就會造成生物傷害。這使得我們面臨到如何建立職業人員與非職業人員所能夠接受的輻射劑量標準的問題。在1956年以前，防護的標準是一個人

所受到的輻射量在他這一生中，不會產生出任何可以觀察得到的效應。雖然我們知道受到了輻射就會造成生物的傷害，但是這個傷害在人的一生中，並未顯現出來。也不會受到任何的痛苦，因此在那時認為這種防護的標準是可以接受的。然而事實上真正的情況是要比這個複雜得多了。因為造成了生物傷害，即可能會產生遺傳的效應。雖現人所受到的輻射量不足以使他在這一生中受到痛苦，但是由於遺傳的效應，可能會使得他的後裔受到危害。這種考慮到遺傳效應的劑量標準，是比前面所說的僅在一個人本身一生中能夠產生出可以觀察得到的效應的劑量標準要低得多了。目前輻射防護的依據乃是根據國際放射性防護委員會在最近（1959）所作的介紹：

「輻射防護的目的是在防止或減低人類身體的傷害並減低人類遺傳惡化的可能性。」

關於「最大許可劑量」，國際放射性防護委員會的解釋是：

「所謂許可劑量，就是說這種劑量在我們目前的知識裏，造成身體上或是遺傳上嚴重傷害的可能性，可以說是幾乎沒有的。換句話說，在這種劑量下，要能產生出任何效應的話，那僅可能是在非常有限的人當中。因此在這種劑量下，受到輻射暴露的人，以及一些醫學權威人士，都認為是可以接受的。一些嚴重的疾病例如白血球過多症，只要我們受到的輻射量是在許可劑量下的話，這種病症發生的可能性，實在是非常的微小。」

上面的敘述說明了游離輻射的應用，無可避免的都會有許多危險發生，但是假如我們考慮當輻射劑量維持在很低的時候，這種危險發生的可能性，與今日日常生活中許多可能發生的危險來比較的話，再加以考慮應用游離輻射所得到的利益的話，則它實在是應當被所有的人接受。因此「輻射防護」可說是一種「冒險的哲學」，也就是說要能够使得輻射的應用對人類造成的害處與利益達到平衡。有一個很偏極的見解，就是說不管爲了任何目的，都絕對不該使用輻射。假如真是如此的話，那麼在診斷上非常有用的X射線就不能再使用了，處理疾病時也不能再使用任何的輻射。所有的核能計劃也都將停止。可是事實上輻射對整個社會和人類的益處實在太大了，很明顯的不該停止使用

然而從危險與利益平衡的觀點來看，則它與現代生活中許多被接受的事件，並沒有差別。其實我們只要稍微的想一想就可發覺，今日許多的工作都具有相當之危險性，而這些工作却是被大家認為可以接受的，它們的危險程度決不會亞於輻射的應用，因此對我們來說游離輻射的應用不應該再是一個

進退兩難的問題了。

輻射防護的基本哲理可說就是要把輻射應用所得到的利益與他的危險性達到平衡，而且要儘量降低危險性，以使得這種危險低於由輻射應用得到的益處。基於上述的理由，輻射防護政策的目標，乃是防止所有不必要的輻射暴露。我們必須認清任何的輻射暴露都會造成生物傷害的事實，而這種傷害的代價實在是太高了。因此所有不必要的暴露絕對不該接受。爲了達到這個地步，當然必須教導所有的輻射工作人員與那些可能會受到輻射暴露的人員關於這方面的知識，以及由輻射所造成的危害範圍。到了將來，輻射暴露對人體造成的傷害，我們必能更爲了解，而且輻射防護的方法也必將更爲有效。可是我們必須要知道，輻射防護的標準，是從不會向最高處修正的。以前的標準，在今天可能已無法適用。到了將來可能又會有更好的修正。由圖1-1可以看出輻射防護的標準是越來越爲嚴格。

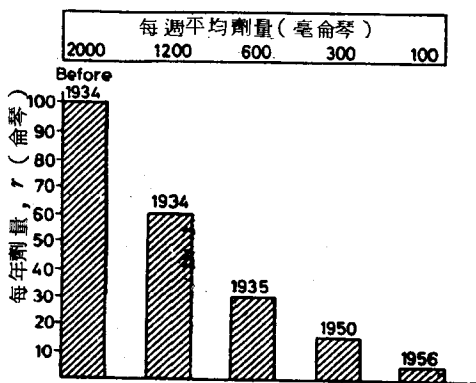


圖 1-1 輻射防護標準的進展

### 1.2.1 背景輻射

關於輻射防護的一些知識，我們將在第五章與第六章討論。我們必須知道不管輻射的防護是多麼地嚴密，或者是使用游離輻射時，控制是多麼地嚴密，可是全世界的人類仍然無可避免地會受到輻射的暴露。這是因爲在我們的環境中，總是有輻射的存在，這種情形早在遠古時代就已開始了。因此無論我們在使用游離輻射是多麼的小心，仍然無法使一般人所受的輻射暴露減爲零的境界，這就是因爲有所謂的「背景輻射」( background radiation )

存在。背景輻射的強度是隨地區而不同的，它使得我們受到少量的輻射暴露，這在國際放射性防護委員會訂立防護標準時，是一個須要詳細考慮的問題。

人體由於背景輻射而受到暴露，這是由體內輻射與體外輻射共同造成的。體外輻射主要的是宇宙輻射 ( cosmic radiation ) 和地域性輻射 ( local radiation ) 兩種。宇宙輻射是由外太空進入地球的，區域輻射則是由身體附近的放射性物質造成的。這些放射性物質雖很少量但廣泛的分散在大自然界裏，而且在空氣中還有放射性元素氡的分布。體內輻射是由於身體內部有放射性物質造成的，這種輻射絕大部分是由<sup>40</sup>K產生，<sup>40</sup>K是自然元素鉀的構成成分之一。表1-1是由背景輻射造成輻射暴露的一些數據資料，這些數據是隨地區的不同而有很大的差別的。由此表可知，不管我們是多麼地小心，要使得一個人每年所受到的輻射劑量約低於0.1雷得 (rad) 仍是無法辦到的。因此我們訂立防護標準時，所要考慮的問題不僅是我們能够承受多少的輻射量，還要考慮除了背景輻射外，我們還能再承受多少的輻射而不致發生危害。在第六章裏我們將可看到國際放射性防護委員會在決定輻射工作人員與一般人員所能够接受的劑量率 ( dose rate ) 時，背景輻射是佔著一個相當重要的地位。

表1-1在「正常」背景輻射區域性腺的劑量率

| 輻射源                                         | 性腺年劑量 ( 雷得 ) |
|---------------------------------------------|--------------|
| 體外輻射                                        |              |
| 宇宙射線 ( 海平面 )                                | 0.028        |
| 區域性 $\gamma$ 射線 ( 英國 Leeds 地區 )             |              |
| 室內78毫雷得 / 年                                 | 0.043        |
| 室外48毫雷得 / 年                                 |              |
| 空氣中的氡 ( Radon ), $3 \times 10^{-12}$ 居里 / 升 | 0.001        |
| 體內輻射                                        |              |
| <sup>40</sup> K                             | 0.020        |
| <sup>41</sup> K                             | 0.001        |
| 氡 + 衰變產物, $3 \times 10^{-12}$ 居里 / 升        | 0.002        |
| 每年總劑量                                       | 0.095        |
| 三十歲時的劑量                                     | 2.85         |

\*當有 $\alpha$ -輻射之存在如計入其比較生物效應 ( RBE ) 值，則性線劑量之單位為侖目。

## 參 考 文 獻

<sup>1</sup> TAYLOR, L. S. *Nucleonics* (1963), p. 59.

<sup>2</sup> MEDICAL RESEARCH COUNCIL. *The Hazards to Man of Nuclear and Allied Radiations*, Publ. Cmd. 9780 (1958), p. 112, H.M.S.O.

## 第二章 物質與輻射

爲了要討論輻射防護，我們必須先討論一些關於物質結構與起源的基本概念，以及游離輻射的性質。

### 2.1 物質的構造

早在兩千年前希臘的哲學家們就已經注意到了一個問題，就是物質是不是有很好的結構。這個問題在十九世紀以前有許多人提出不同的意見，但是這些意見都不能堅固地建立於實驗的證據上，直到十九世紀初才由道爾頓、亞佛加厥和普羅特 ( Dalton, Avogadro and Prout ) 提出假說，建立了原子理論的基礎。

### 2.2 物質的原子理論

我們在很早以前就知道自然界中存在著許多非常小的基本化學物質（我們稱它作元素）。自然界中所有存在的物質都是由這些元素的不同組合而構成的。根據原子理論，所有物質都是不連續的。一個元素的最小單位稱爲原子，它能夠單獨存在並且仍然能表現出這個原素所具有的性質。至於化合物的最小單位則被定義作「分子」。

如果我們還要做再進一步的分離仍然是可以的，不過這樣分離出來的粒子，他的性質與原來的原子或是分子就完全不同了。分子是由許多的原子組成的，最簡單的分子僅由一個原子的構成。但是一些大的分子卻常常包含數以千計的原子。

原子是非常小的，大約來說，它的直徑是  $10^{-8}$  厘米。在絕大部分的實際情況中，所牽涉到的原子或是分子的數目都是非常大的。舉例來說，一克的水，它所包含的分子數目是  $3 \times 10^{23}$  個，每一個水分子又包含了兩個氫原子和一個氧原子，因此一克的水包含  $39 \times 10^{23}$  個原子。

### 2.3 原子的結構

在道爾頓與亞佛加厥的發現後，大家都以為原子是一個很堅實的物體，沒有辦法把它再作進一步的分離了，然而到了二十世紀初，證明了這個想法是不正確的。在1897年第一個從事原子結構的解釋，因而導致發現電子是湯姆遜（J. J. Thomson）。隨後在1911年，拉塞福及他們的同伴又使得這方面的發現達到高潮。1913年波爾（Bohr）再作了更進一步的發展，終於建立了原子結構的理論。本書中關於原子的描述是根據拉塞福一波爾的原子理論。雖然這種簡單的理論很能滿足我們的目的，不過我們必須知道，有許多時候，仍需要波動模型來代替這種原子模型才能解答問題。即便如此，原子結構方面還是有許多的問題無法得到解答，因此我們仍須要再發現一些新的理論，以求得這些問題的解答。

### 2.3.1 基本粒子——質子、中子與電子

根據拉塞福一波爾的理論，我們可以解釋許多的現象。他們假設所有的原子都是由三種基本粒子構成的，這三種粒子是電子、質子和中子。讀者必須要能熟悉這些基本粒子的特性以及它們相同與相異的地方。表2.1即是這些粒子的性質。

表 2.1 一些重要粒子的物理常數

| 名稱     | 符 號               | 質 量                     |          | 電 量<br>(庫侖)              |
|--------|-------------------|-------------------------|----------|--------------------------|
|        |                   | 克                       | 原子量單位    |                          |
| 質子     | p                 | $1.672 \times 10^{-24}$ | 1.00759  | $1.602 \times 10^{-19}$  |
| 中子     | n                 | $1.675 \times 10^{-24}$ | 1.00898  | 0                        |
| 電子(具他) | $e^-$ 或 $\beta^-$ | $9.109 \times 10^{-28}$ | 0.000549 | $-1.602 \times 10^{-19}$ |
| 正子     | $e^+$ 或 $\beta^+$ | $9.109 \times 10^{-28}$ | 0.000549 | $+1.602 \times 10^{-19}$ |
| 微中子    | v                 | 遠小於電子的質重                |          | 0                        |
| 阿爾伐    | $\alpha$          | $6.646 \times 10^{-24}$ | 4.00280  | $+3.204 \times 10^{-19}$ |
| 氦核     | d                 | $3.344 \times 10^{-24}$ | 2.01416  | $+1.602 \times 10^{-19}$ |

下面幾點是關於這些粒子的一些重要性質，必須要特別的注意。第一，它們的質量都非常的小，這可由下面的說明看出。凡是任何可以看得到的東西，好像一克的水，它裏面含有的原子數目是非常巨大的，而原子又是由這些粒子構成的，它們的質量自然是非常小的。第二，中子與質子的質量是幾乎相等的，但並不是完全相等，電子的質量則比這兩者都要小許多，它大約只有質子質量的  $1/2000$ 。第三，質子與電子都是荷電的，但中子則如其名字一樣，是中性不荷電的。質子與電子所具有的電量是一樣的，但是質子



的電荷是正的，而電子的電荷則是負的。

這三種粒子—質子、中子和電子可以被認為無法再分離了。它的意義，我們可以舉例來說。例如任何數值的電量，它所具有的電荷數目必定是整數的。所以電量的大小必是  $n \times 1.602 \times 10^{-19}$  庫侖， $n$  是一個整數。因此  $3.0 \times 10^{-19}$  庫侖的電量是不可能存在的，因為這種數目的電量它所具有的電荷數將是一個分數而不是整數。所以電荷量與物質一樣都是不連續的，這個觀念我們必須要熟記住，它是常常用到的。

所有的原子都是由質子、中子和電子組成的。最簡單的原子僅由一個質子和一個中子組成，它就是氫原子。較複雜的原子則包含了許多的質子、中子和電子。重的原子所具有的質子與電子數目常超過 90，中子數目則超過 150，這使得我們對於原子的結構發生了許多問題。例如，這些電子、質子和中子在原子中是如何排列的？一個原子包含了多少的電子？原子內質子、中子和電子的數目是不是有一定的極限？假如所有的物質都是由這三種基本粒子所構成的原子所組成的，那麼它們的化學性質是由什麼因素決定的？現在讓我們來討論這些問題。

## 2.4 原子核

根據實驗上的顯示，原子中所有的質子和中子都是結合在一起的，它們形成了一個中心核，我們稱它做為原子核。至於原子中的電子，則是圍繞在原子核外，如同太陽系中行星圍繞太陽一樣。這種原子結構的概念是由拉塞福在 1911 年提出來的。他的這種理論實在太驚人了，因為他沒有假設原子是一個堅實的物體，卻假設每一個原子都如同是一個小的太陽系，原子中絕大部分都是空的（圖 2-1）

拉塞福還證明了原子核的直徑大約是  $10^{-13}$  厘米，也就是說原子核的直徑大約是原子直徑的  $1/100,000$  因此原子核所佔的體積大約僅是原子體積的  $1/10^{15}$  不過原子中所有的質量幾乎都集中在原子核中，這是由於電子的質量與質子和中子相比時，實在是太小了，原子核的質量密度約是  $10^{18}$  克／立方公分！

根據原子核的模型，原子將不再被認為是一個具有一定體積的堅實物體了。但是我們可以認為它具有一個有效體積（effective size），這會在第四章裏討論。由該章將可知道原子的有效體積是一個可變的量。此外也有人認為原子核的大小是固定的，這個想法也需加以修正，因為它的有效體積也是一樣會隨環境而改變的。