

原子物理學概論

奧登堡著

張桐生譯

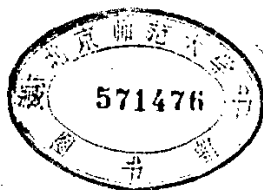
臺灣中華書局印行

791/173/16

原子物理學概論

Otto Oldenberg 著

張桐生 譯



臺灣中華書局印行

中華民國六十一年三月六版



著者 譯者 發行人 印刷者 發行處

原子物理學概論 (全一冊)

基本定價三元二角正

(郵運滙費另加)

Otto Oldenberg

張 桐 生

臺灣中華書局股份有限公司代表

劉 克 寰

臺北市重慶南路一段九十四號

臺灣中華書局印刷廠

臺北市雙園街六〇巷九〇號

臺灣中華書局

臺北市重慶南路一段九十四號

郵政劃撥帳戶：三九四二號

Chung Hwa Book Company, Ltd.

94, Section 1, South Chungking Road, Taipei, Taiwan, Republic of China

(臺總) 戊華

JYI 1173/16

弁 言

成功大學物理系於今春（省立工學院時代），仿國外著名工程學院之先例，爲工學院學生開「近代物理」選修課程，旨在授與學生適合工程需要之近代物理知識。譯者擔任斯課，首先決定講授一個具體單元——原子物理學，繼則選用美國哈佛大學教授奧登堡所著原子物理學概論（Otto Oldenberg: Introduction to Atomic Physics, 1954, 2nd. ed.）爲教本，選用教本之初，譯者先訂下三原則：

- （一）教本內容程度，須與大學物理學者銜接，不瀕等；
- （二）文字敘述，必須清楚，要深入淺出；
- （三）要有習題。

凡此，均在使學生能預習複習，善自體味研究，用輔教室講授之不足，亦所以引導學生研究原子物理學之志趣也。譯者終於選用奧登堡之書者在此。

譯者本昔日譯述「大學物理學」之一貫旨趣，譯述此書。

在譯述此書期間，承原著者奧登堡教授多予協助，並惠寄原書刊誤表一份，使譯本能在原本刊誤更正前，先得更正。共愛護我國學者之盛情，彌足珍貴。

此書專門名詞與人名之翻譯，爲一大難。除少數可遵屑部頒規定名詞者外，大多數學者，譯者則僅能根據譯名之通則，試譯應用，並附以英文原詞，藉資參照。

譯者譯述此書，雖竭盡心智，求其至善；但疏漏之處，仍不敢信其絕無。故亟希海內賢達，隨時指正，俾於再版時更正之。

最後，譯者對於中華書局將此書提前趕排，使其能在譯者遠行前，藏事印行，深爲感謝。

張桐生謹識

四十五年八月於成功大學物理學系

原書序言

本書為著者在哈佛大學講授原子物理學概論一課程所漸次寫定者。在此一版本中，關於原子核物理學，宇宙射線諸章，均有澈底之增益；並且增加一章，將固體狀態作一扼要之敘述。

本書之著述，以供修畢一年物理學課程與普通化學課程之讀者為主。就了解原子物理學之基本觀念言，微積分尚非切需。初學讀者所感覺困難之處，尚不在數學，而在如何能澈底了解吾人之原子構造之詳細學說。此項學說，雖表面上與觀測事象有甚遠之距離，然全係根據於實驗結果之啓示。因此，本書乃特別重視學說與觀測事象間之關係。本書之主旨，在訓練學生了解與審度原子學說，而非強其斷然接受也。此一方式，對於任何科門之科學學生，凡欲審度當代研究結果，以及有志於從事研究工作者，當為一最佳之訓練。在可能情況下，本書多利用歷史陳述，討論各種偉大發現之經過。有少數事例中，例如在討論波耳學說時，則高深理論研究之報告與實驗結果事象之比較，當為審度該學說真實性所不可缺少者。在若干其它事例中，則亦述及其比較進步之發展，其目的在使讀者對本書所述云云，不致信以為已經獲得此項知識之最後結論也。不過，有諸進步學說，例如黑體輻射、原子之向量模型，欲作一詳細之敘述，輒須比較高深之數學，由於初學讀者之數學訓練不夠，難望其能滿意。因此，對於此類學說，以其屬於高深課程範圍，故本書僅作一扼要之敘述。

本書之著述，著者曾引用歷久教學經驗，嘗將有諸有關部份移入習題中。如果此類習題，對初學讀者確有困難者，則附以提示問題。不過，學生仍以自尋解答為是，不可依賴提示。關於將有諸部份移入習題一事，有兩種作用。第一，可以鼓勵學生之興趣，此乃因使其自身有一參與研究之機會；第二，可以使學生對習題中之物理概念有一深刻之印象，而非徒使其作數學演算也。運用此一方法，將許多演算問題僅量移入習題中，結果使課本中之算式減少，是更見本書之非數學性也。不過，當讀者逐題演算時，即會發現有許多顯然缺乏數學演

證之處。有諸習題爲高級物理學生所設者，有諸習題則爲普通簡單者。此種排列方法，使講授教師可以將比較困難之問題捨去，以適合於僅讀一年物理學課程學生之需用。比較困難之問題如下：3.9, 3.10, 6.15, 6.16, 6.17, 7.19, 9.2, 10.12, 10.14, 12.7, 12.8, 12.9, 14.15, 14.18, 14.19, 16.13, 17.18, 17.19, 18.15, 19.14, 20.2。

本書所用符號，係採用美國物理學教師聯合會之一委員會所推薦者。

在哈佛大學講授此課程時，係輔以許多實驗表演。至有若干實驗，須要較長之時間者，則留作學生於修習原子物理學高等實驗課程中，自行實驗。課本中之實驗陳述簡闕者，在附錄中則有比較詳細之指導。

本書教材，適用於兩學期之課程。如必須改作一學期講授，著者以爲講授教師僅可將化學基本原理與氣體動力說，講一扼要之提綱。在往後諸章節中，亦可將許多詳細陳述，以提要替代之。

著者對於美國軍校之 B. W. Bartlett 上校，Alabama 工業專科學校之 Howard Carr 教授，哈佛大學之 Frank S. Ham 先生，P. E. Le Corbeiller 教授，R. H. Milburn 博士，及 J. M. Teem 先生之若干有助之指示，甚爲感激。並且對於哈佛大學 Cecilia a-P yne Gaposchkin 博士之若干指示，誠致謝意。

裴陀 奧登堡

緒論

當吾人欲求了解原子學說時，吾人即可對新舊物理學說得一比照。在力學中之學說，乃所以列示諸物理量之相互關係，而此諸物理量，均為可以直接觀測者。在光學中，即在學說與觀測結果間，有一確定之隙縫。例如，吾人觀測某種有規則之明暗條紋，而以光之波動說解釋之，然光波也者，殊不若水波之可以為吾人之感官直接接受也。在原子物理學中，理論觀念與實驗事象間之隙縫，殆猶遠較開闊。此似乎為吾人研究原子物理學之最大困難。

即雖在本世紀之初，在原子學說之早期發展中，此隙縫之滿，直使一傑出之化學學者，雖其終日恃原子之觀念而工作，仍曉諭其學生不可盡信原子之存在，因為無人曾見其為個別質點也。就此存疑論之另一方面言，吾人今日被邀相信：吾人已知甚為複雜之原子之各部，與其各部間如何工作。例如，吾人見告：每一汞原子之組成，有一已知質量與電荷之原子核，該核為80個“質子”與約為120個“中子”所構成，四週有80個“電子”環繞之。吾人亦經見告：此諸電子分為已知數目之羣排列之，每一電子均有一已知量之質量與電荷，每一電子當其依照已知定律吸收或發射光時而能變更位置，惟此種定律，乃與初等物理中者相差遠甚。吾人甚至斷言：吾人能够對原子核作一相當仔細之描述。如果1900年，有一物理學家遭逢如此之近代言論，相信彼將因為超出想像而全予摒棄；因為即雖時至今日，仍無人可以分出單一之原子而予以考察，一如一鐘錶工人，考察其鐘錶之齒輪者然。吾人之感官所能示知吾人者，僅為汞汽經電火花放電所發射之某種色光而已。

究竟係用何種研究方法，引領吾人遠離直接觀測至如此之甚？吾人藉助兩個有歷史性之事例，解釋如何作成相反兩方向之研究。就吾人今日之態度言，兩者均待批判。不過，其經過則有助於吾人對近代研究方法之了解。

約在一千年前，回教世界時代，在物理學方面有一重要之發展。

彼時也，凹鏡、凸鏡、光之折射、以及其它許多現象，均有有系統之觀測與描述。此類實驗之仔細描述，乃導致許多重要之發現。若問可否導致發現原子及其性質耶？此自無可能，因為原子超出直接觀測之範圍。原子之直接觀測，須待近代高等精密技能之發展，時至1951年，吾人方可直接觀測單一之原子。

雖然，原子之觀念，猶較回教科學早十一世紀。此乃示吾人如何向兩相反方向研究之事例。古希臘人渴望在直接觀測之範圍外，追求奧秘。約在西元前400年，元素、化合物、以及吾人之物理與化學定律、均皆無所知之時，德謨卡 (Democritus) 即諄諄說教：

……質點之爲數無窮，不可分割，各不相同，且爲數射運動者。除真空中外，瀰漫宇宙。當彼等相互接近並且纏結時，一部份其結爲水，一部份爲火，一部份爲植物，一部份爲人。不過，天地萬物均爲原子所構成。彼等不能從無中生有，亦不能從現存物件中滋生，此因原子爲不變者。正如所有悲劇與喜劇均爲一小組相同字母所寫成，天地萬物亦爲一小組相同原子所構成，祇其居不同位置與作不同運動耳。

希臘字 Atomos [英文中之原子 (atom) 一辭，係從此希臘字轉變而來] 爲不可分割之意。此乃原子觀念之首現。然則是否吾人可謂德謨卡發現物質之構造耶？以吾人今日嚴謹之態度言，自不容吾人接受此意。因為德謨卡並未具任何實驗事象，以證實其新觀念，而僅係憑其直覺與其信心，認爲日常所接觸之複雜事物，均有其簡單結構而已。

試再舉另一事例，說明如何同樣應用上述直覺觀念，導致一錯誤之方向，如導致上述之正確方向者然。此可就希臘人之宇宙觀念述之。約在西元前350年，亞里斯多德 (Aristotle) 教以地球不動，並居於宇宙之正中一說。之後一世紀，彼之說法乃爲 Aristarchus 所反對，Aristarchus 斷言地球係繞太陽旋轉，其旋轉之路徑爲一圓周，而以太陽居於軌道之中心。雖則在今日吾人接受後一宇宙圖形，但吾人並不視 Aristarchus 爲發現太陽中心體制者，此因彼並未提供實驗結果，以證明太陽中心體制，如何優於亞里斯多德之地球中心體制也。對於此一新體制觀念，世人均稱爲哥伯尼體制 (Copernican system)。哥伯尼在其後1800年，亦用此相同基本觀念，惟彼躍進一步，即用此觀念以解釋甚爲複雜之某種觀測。彼用以解釋行星之軌道，此爲天文觀測者認爲甚爲複雜者，彼認爲若從太陽之一行星——地球——觀之

，行星之軌道，直爲一繞日旋轉之簡單軌道耳。此一發現之歷史，乃足以說明爲何吾人不視德謨卡爲物質構造之發現者之原因。只因其未能以觀測事象，證明其觀念之正確性也。關於此後之一步驟，係爲之後22世紀道爾頓所作。吾人作此批判，追溯至2000年前之往事，殊無損於吾人對於希臘哲學家之崇敬。希臘哲學家在對人類思想上確已躍進一大步。彼等有自由之思想，以摒棄人類爲宇宙中心之質朴觀念。在人眼視覺範圍以外，彼等得見一自然之領域，其中容有不同之活動定律。例如，日常經驗中，物質可以無限分割一事，容非真確者。彼等設想，在甚大規模與甚小規模之事物中，容亦有完全不同類型之有秩序之自然結構存在。此諸觀念之起源，可以從希臘辭彙“原子(atom)”與“宇宙(cosmos)”二字之來源見之。

在批判回教與古希臘物理學家之兩相反方向之思想路線以後，吾人進而推究何者爲吾人認爲最有收穫之研究途徑。此答案爲兩方法之聯合。近代原子學說之成立，一方面爲想像，以引領吾人遠超吾人之感官所及；一方面吾人主張吾人有一學說價值之標準。吾人審度一學說，係從其對於衆多觀測事實，是否可由統一基礎而推演之能力考究之。關於此種觀點之事例，詳於本書之各章中。至吾人斷然接受者，僅爲觀測之事實，例如，觀測之光譜線。在課室講授時，應盡量用實驗表演此類事實。至於學說也，例如氫原子之波耳(Bohr)學說，不能從觀測事實推演而出。故學說決不若觀測事實之確定。即雖在吾人之初期處理上，吾人亦必須接受此用於研究上之嚴謹態度，審度一學說之價值，應從其對於衆多觀測事實，能否有一致圖案之能力衡度之。此一觀念爲本書全書所共守。吾人試將吾人之標準，用比較直截之辭句述之：如果一學說可以使吾人對於一迄今尚未進行之實驗，能夠預測其結果，吾人即接受此一學說。是則一修習原子學說之氣餒學生，當其回憶原子學說最近之成就時，即會獲得信心；從原子學說，預知鈾元素在經過很繁複之處理後，即會發生一種反應，立刻釋出駭人聽聞之巨量能量，原子炸彈之爆炸，使此學說之價值，昭然若揭。

尚有另一方面以了解原子學說者。人類如何可以發現遠超其感官所及之構造耶？此一問題之答案，使吾人重視歷史之發展，如何從一

先前之發現孕育出次第之發現？何種觀念引導發現者之工作？吾人之主要方法，爲究清基本原子物理學之邏輯結構，此即，將每一實驗之意義，表現於吾人之理論圖案上。因此，吾人乃係將吾人之實驗結果，依照逐步理論上之了解，以作成系統之排列，並且每一新理論步驟之建立，必須有實驗之證明。此一方法，乃顯示學說與若干表面不相關之現象之結合能力。

吾人將吾人之討論，依照學說觀點排列之。此乃訓練學生從物理與化學之不同領域祈求實驗，以支持此相同之理論觀念。吾人從最廣義之原子構造討論開始，此即從化學所啓示之物質構造（第一篇）以及氣體現象（第二篇）開始。之後，吾人講電之構造（第三篇）以及光之構造（第四篇）。再往後，關於單一原子構造之詳細討論，自應分爲核外電子（第五篇）及原子核（第六篇）兩部份。最後在第七篇中，吾人對波動力學作一扼要之敘述，此一部門係爲替代牛頓力學，而支配原子物理學中最小質點之運動現象者。

學者在其修習原子物理學之廣闊領域中，作其複雜之經歷時，必須隨時記取任何仔細之觀念，在整個領域中之重要性。爲此，特將原子物理學之概觀編成一表以輔助之。在此表中，將各組實驗列於左列創列項下，其在理論知識上之意義，則列於其相當之右列學說項下，藉資參照。

本書旨在作一系統之概述，殊不能將每一新實驗及新觀念之緩慢發展作詳細之陳述。例如，電子電荷之初次量度，係1909年密力更（Millikan）用油滴實驗法所量出一事，即爲誤引者。一方面，此一陳述乃忽視初期工作者用水滴法所得之結果；若從另一方面言，亦忽視密力更及其若干同伴克服艱難之十年努力，而在甚久後恢復工作之勇氣。此一事例，說明本書中若干之扼要歷史陳述，須另加解說，方稱完備。

原子物理學

觀 測	學 說
第一篇 從化學所示之物質構造	
化學事實	原子與其相對重量，道爾頓，1803；亞佛加德羅規則(Avogadro's rule)，1811
第二篇 氣 體	
一氣體之壓力、溫度、與比熱；布朗運動(Brownian motion)	氣體動力說，始於1848
第三篇 電之電子構造	
A. e/m 之測定	液體中游子之 e/m ；一基本電荷之存在，1881
經過液體之放電；法拉第定律(Faraday's laws)，1833	陰極射線為自由電子所組成，湯姆孫(J. J. Thomson)1897
陰極射線質點之 e/m	陽極射線為自由正游子所組成
陽極射線質點之 e/m	質量與能量等值，愛因斯坦(Einstein)，1905
高速情況下 e/m 之減小	
B. e 之測定	基本電荷之測定；原子與分子之質量
密力更油滴實驗，1909	
第四篇 光之構造	
光電效應1887，1916	光為量子所組成，其能量為 $h\nu$
昆吞普效應 (Compton effect)，1923	蒲郎克 (Planck)，1900；愛因斯坦，1905

第五篇 原子之電子構造

A. 有核原子 α 質點之散射	重而荷正電之核，其四週繞以電子， <u>羅祚福</u> (Rutherford)，1911
B. 電子構造 氫原子光譜 重原子光譜 觀測方法 元素週期表 X 射線	波耳學說，1913 <u>外層</u> 電子之能階 基本過程 稀有氣體電子構造之穩定性 <u>內層</u> 電子羣
C. 固體狀態 傳導，比熱	固態之量子論

第六篇 原子核之構造

同位素，1920	原子核為少數種類之質點所構成；構成核之能量
自然放射，1896	重核之自行蛻變
元素之人工遞變，1919，1932； 人工放射，1934；鈾分裂，1939	原子核人工遞變；中子，1932
宇宙射線，1912	宇宙來源之最大能量之射線；正子 (positron)，1932；介子 (meson) 1937

第七篇 物質之波性

電子之繞射，1927	物質之運動為波所支配，戴波格里 (de Broglie)，1922；海聖堡 (Heisenberg)，喬奴丁格 (Schrödinger)，1925
------------	--

原子物理學概論

目 錄

緒論

第一篇 從化學所示之物質構造

第一章 原子假說與亞佛加德羅規則.....	1
1-1 定量分析；元素之存在.....	1
1-2 重量之定量分析；原子之存在.....	1
1-3 關於氣體體積之定量分析；亞佛加德羅規則.....	2
第二章 化學中之結果與定義.....	5
2-1 價.....	5
2-2 原子量與分子量.....	5
2-3 質量之一新單位.....	6

第二篇 氣 體

第三章 壓力與溫度.....	10
3-1 實驗.....	10
3-2 氣體動力說.....	12
3-3 馬克士威之速度分布.....	14
第四章 氣體動力說之實驗.....	18
4-1 分子速度之測定.....	18
4-2 氣體之比熱.....	19
4-3 布朗運動.....	22

第五章 平均自由路程、關於進一步之發展24

5-1 平均自由路程24

5-2 分子質量與大小尺寸之估計25

第三篇 電之電子構造

65

第六章 e/m 之測定27

6-1 法拉第之電解定律27

6-2 陰極射線質點之 e/m 30

a. 電與磁之偏轉。 b. 電加速與磁偏轉。 c. 螺旋線法，電子顯微鏡。 d. 電場電子顯微鏡，個別原子之觀測。 e. 陰極射線示波器

6-3 正射線質點之 e/m 46

6-4 質量與能量等值49

第七章 電子電荷之測定56

7-1 密力更之實驗56

7-2 分子與原子之質量59

7-3 電子伏特61

第四篇 光之量子構造

第八章 光電效應與光量子81
.....65

8-1 實驗事象65

8-2 電磁說之失敗69

8-3 量子論71

8-4 光電效應之應用75

8-5 從光化學所得之證明76

8-6 昆普吞效應支持量子論77

8-7 波動力學簡介78

第五篇 原子之電子構造

第九章 從 α 射線之散射顯示有核原子	81
9-1 有核原子之發現	82
9-2 原子核之電荷	87
9-3 原子核之尺寸大小	87
第十章 氫原子之光譜與波耳學說	91
10-1 氫原子光譜	91
10-2 以輻射電磁說解釋輻射之失敗	95
10-3 引力運動複習	95
10-4 波耳學說	97
10-5 結果	102
a. r 與 v 之數值。 b. 能階圖。 c. 激發能與游離能。	
d. 並合規則。 e. 波耳磁子。	
10-6 應用於氦原子	105
a. 近似之處理。 b. 核之相對運動。	
10-7 關於進一步之發展	108
第十一章 比較複雜之光譜	114
11-1 較重原子之光譜	114
a. 能階圖。 b. 遷移率。 c. 激發能與游離能。	
d. 介穩能階。 e. 關於進一步之發展。 f. 定量光譜分析。	
11-2 分子光譜	123
第十二章 基本過程	126
12-1 用控制之電子撞擊所發生之激發與游離	126
12-2 經過氣體之放電	130
a. 在放電中之過程。 b. 陰極射線與正射線。 c. 極光	

12-3	高溫之激發與游離	134
12-4	吸收光譜	135
	a. 氣體之銳線吸收光譜。 b. 氣體之連續吸收光譜； 游離層。 c. 氣體、液體、與固體之比較。	
12-5	應用於天文物理學	141
12-6	螢光	142
12-7	刺門效應	144
12-8	化學過程產生光	146
12-9	光發生化學過程	147
12-10	第二種激發	147
12-11	受激狀態之壽命期	149
第十三章 元素週期表		156
13-1	化學諸性質之概觀	156
13-2	有核原子	158
13-3	稀有氣體電子構造之穩定性	158
13-4	稀有氣體之隣近元素與彼等之游子	159
13-5	極性分子與晶體	159
13-6	在溶液中之游子	160
13-7	金屬導電	160
13-8	重原子之電子構造	161
13-9	關於非極性分子與晶體	162
13-10	關於進一步之發展	163
第十四章 X射線		168
14-1	X射線之性質	168
	a. 發現。 b. X射線管。 c. X射線所產生之效應。 d. 強度、劑量、與硬度。 e. 偏極化。 f. 繞射； X射線分光計。 g. 其它光學性質。 h. 電子電荷之 測定。	

14-2	x 射線光譜.....	181
	a. 連續發射光譜 o b. 銳線發射光譜; 摩色勒圖 o	
	c. 電子殼學說 o d. 基本過程 o e. 關於進一步之發展 o	
14-3	昆普吞效應.....	194
14-4	應用.....	198
		214
第十五章 固體狀態.....		203
15-1	金屬導電性; 電子發射.....	203
15-2	金屬之比熱.....	206
15-3	絕緣體與半導體; 晶體計數器; 照像片.....	208
15-4	半導體中之電子與洞電導體.....	210
第六篇 原子核構造		
第十六章 同位素.....		214
16-1	儀器設備.....	214
16-2	整數規則.....	217
16-3	物質之構造.....	218
16-4	與整數規則之偏差.....	221
16-5	同位素之豐富率.....	224
16-6	同位素之分開.....	227
16-7	核磁矩.....	228
16-8	普遍規則.....	230
16-9	同位素之應用.....	231
第十七章 自然遞變與放射性.....		235
17-1	發現與基本性質.....	235
17-2	放射性射線; 觀測方法.....	237
	a. α 射線 o b. β 射線 o c. γ 射線 o	