

原子與核物理學概論

(第三版)

奧登堡著
張桐生譯

臺灣中華書局印行

原子與核物理學概論

Introduction to
ATOMIC AND NUCLEAR PHYSICS

THIRD EDITION

By
Otto Oldenberg

張桐生譯

臺灣中華書局印行

中華民國五十八年十月二版

原子與核物理學概論（全一冊）

基本定價三元二角正

（郵運滙費另加）

原著者
譯者
張 桐 生

Otto Oldenberg

發行處
印刷者
劉 克 震

臺北市重慶南路一段九十四號

臺灣中華書局印刷廠

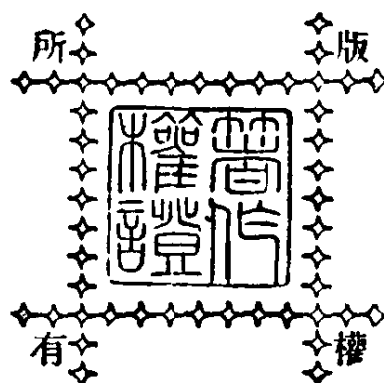
臺北市西園路二段一六巷五〇街六號

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

弁 言

此譯著原書爲奧登堡 (Otto Oldenberg) 著 "Introduction to Atomic and Nuclear Physics" 1961 年印行之第三版。

奧登堡教授就其在美國哈佛大學講授“原子物理學”課程之歷久經驗與心得，於 1949 年刊行其“原子物理學概論”一書。之後修訂，並添進固態物理部份，於 1954 年刊行該書之第二版。繼再修訂重寫，並添進原子核物理學理論與實驗之晚近發展部份，於 1961 年發行此書，另名爲“原子與核物理學概論”。

奧登堡此書之著述與修訂，着意在實驗事象與理論觀念之連繫討論。材料力求充備，敷陳力求平易，深入淺出，條析分明，切符今日一般大學學生繼求了解近代物理學精義之需用。此殆爲此書印行以來，風行各大學之原因。

譯者希望此書對於國內青年，志在近代科學與技術者，有所助益，特不揣謏陋，迺譯推介。惟書篇數十萬言，設有疏漏，尙祈海內賢達，隨時指正，俾於再版時更正之，毋任感荷。

張 桐 生 謹 識

五十二年十二月於成功大學物理系

原書序言

本書係依照著者在哈佛大學所講授之課程漸次寫定者，其對象以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，因其困難之本質不在數學，故微積分尚非切需。初學讀者所感覺困難者，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者，當爲一最佳之訓練。

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，例如在討論波爾學說時，則高深理論研究之報告與實驗結果事象之比較，當爲審度該學說真實性所不可缺少者。在其它事例中，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，不致信以爲已經獲得此項知識之最後結論也。在此第三版中，原子核物理學之資料，更予加重。電子旋轉與核旋轉之效應有仔細討論。

本書之著述，著者曾引用歷久教學經驗，將有些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，學生仍以自尋解答爲是，不可依賴提示。關於將有些部份移入習題一事，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觀念有一深刻之印象，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：2.9, 2.10, 3.15, 3.16, 3.17, 4.19, 6.2, 7.10, 7.12, 9.6, 9.7, 9.8, 11.15, 11.19, 15.19, 15.20, 16.17, 17.15, 18.1.〕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。

相對論並非專屬原子物理學之一部份，而為一比較普遍之學說。故此書對於相對論並未作一有系統之處理，僅對其最有關之算式——質能互換關係式——述其推演之步驟。

在所有一切算式中，均採用米-仟克-秒單位制。若採用絕對電磁單位制，則除靜電學中之庫侖定律外，本書中其它各算式均無變更。此種有關變更列於附錄一中，附錄三為基本常數之表，列示米-仟克-秒單位制及電磁單位制。

著者對於哈佛大學 E. H. Avrett 先生，P. E. Le Corbeiller 博士，J. N. Palmieri 博士，W. M. Preston 博士，E. M. Purcell 博士，A. R. Robinson 博士，M. Shaw 小姐，W. M. Walsh 博士，美國軍校 B. W. Bartlett 上校，阿爾巴馬工科專校 H. Carr 教授，東南密蘇里州立大學 H. A. Mangan 教授，南達可塔州立大學 W. E. Nickell 教授，中國臺灣成功大學張桐生教授，米爾斯大學 R. Wistar 教授，以及普渡大學 R.M. Steffen 教授提供若干有助之指示，誠致謝意。

錢陀 奧登堡

原子與核物理學概論

目 錄

原書序言

第一篇 從化學與氣體之研究 所示之物質構造

緒 論	1
第一章 化學中之原子假說	3
1-1 重量之定量分析，原子之存在	3
1-2 氣體之體積定量分析，亞佛加德羅規則	3
1-3 價	5
1-4 原子量與分子量	5
1-5 質量之一新單位	6
第二章 氣體	9
2-1 實驗	9
2-2 氣體動力說	10
2-3 馬克士威之速度分布	11
2-4 氣體之比熱	13
2-5 布朗運動	15
2-6 平均自由路程	16
2-7 分子質量與大小尺寸之估計	17

第二篇 電之電子構造

第三章 e/m 之測定	21
3-1 法拉第之電解定律	23

3-2	陰極射線質點之 e/m	23
	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	
3-3	正射線質點之 e/m	38
3-4	質量與能量等值.....	41

第四章 電子電荷之測定46

4-1	密立根之實驗.....	46
4-2	原子與分子之質量.....	49
4-3	電子伏特.....	50

第三篇 光之量子構造

第五章 光電效應與光量子54

5-1	實驗事象.....	54
5-2	電磁說之失敗.....	58
5-3	量子論.....	59
5-4	光電效應之應用.....	62
5-5	從光化學所得之證明.....	63
5-6	波動力學.....	64

第四篇 原子之電子構造

第六章 從 α 射線之散射顯示有核原子67

6-1	有核原子之發現.....	67
6-2	原子核之電荷.....	72
6-3	原子核之尺寸大小.....	72

第七章	氫原子之光譜與波爾學說	75
7-1	氫原子光譜	75
7-2	以輻射電磁說解釋輻射之失敗	79
7-3	引力運動複習	79
7-4	波爾學說	82
7-5	結果	86
	a. r 與 v 之數值。 b. 能階圖。 c. 激發能與游離能。	
	d. 并合規則。 e. 波爾磁子。	
7-6	應用於氫游子	89
	a. 近似之處理。 b. 核之相對運動。	
7-7	進一步之發展	92
第八章	比較複雜之光譜	97
8-1	較重原子之光譜	97
	a. 能階圖。 b. 遷移率。 c. 激發能與游離能。 d. 介穩能階。 e. 空間量子化, 電子旋轉, 則曼效應, 核旋轉。	
	f. 斯特因-舅拉西實驗, g. 定量光譜分析	
8-2	分子光譜	108
第九章	基本過程	111
9-1	用控制之電子撞擊所發生之激發與游離	111
9-2	經過氣體之放電	115
	a. 在放電中之過程。 b. 陰極射線與正射線。 c. 極光。	
9-3	高溫之激發與游離	119
9-4	吸收光譜	120
	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。	
9-5	應用於天文物理學	126
9-6	螢光	127
9-7	刺門效應	129
9-8	化學過程產生光	131

9-9	光發生化學過程·····	131
9-10	第二種撞擊·····	131
9-11	受激狀態之半化期·····	133
第十章	元素週期表·····	136
10-1	化學諸性質之概觀·····	136
10-2	有核原子·····	138
10-3	稀有氣體電子構造之穩定性·····	138
10-4	稀有氣體之鄰近元素與彼等之游子·····	139
10-5	極性分子與晶體·····	139
10-6	在溶液中之游子·····	140
10-7	金屬導電·····	140
10-8	重原子之電子構造·····	141
10-9	關於非極性分子與晶體·····	142
10-10	庖立原理·····	143
第十一章	X 射線·····	146
11-1	x 射線之性質·····	146
	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。	
11-2	x 射線光譜·····	159
	a. 連續發射光譜。 b. 銳線發射光譜; 摩色勒圖。 c. 電子殼學說。 d. 基本過程。 e. 關於進一步之發展。	
11-3	昆普吞效應·····	172
11-4	應用·····	175

第五篇 物質之波性

第十二章	波動力學簡介·····	180
12-1	電子之繞射·····	180

12-2 波動力學.....	188
----------------	-----

第六篇 固體狀態

第十三章 金屬、絕緣體、半導體.....	192
----------------------	-----

13-1 金屬導電性，自熱金屬發射電子.....	192
13-2 金屬之比熱.....	195
13-3 絕緣體與半導體；晶體計數器.....	197
13-4 雜質之效應，電導體.....	199

第七篇 原子核構造

第十四章 穩定同位素	202
------------------	-----

14-1 儀器設備.....	202
14-2 整數規則.....	205
14-3 物質之構造.....	206
14-4 與整數規則之偏差.....	209
14-5 同位素之豐富率.....	212
14-6 同位素之分開.....	215
14-7 核磁矩.....	216
14-8 普遍規則.....	218
14-9 應用.....	219

第十五章 自然遞變與放射性	222
---------------------	-----

15-1 發現與基本性質.....	222
15-2 放射性射線；觀測方法.....	224
a. α 射線。 b. β 射線。 c. γ 射線。	
15-3 半化期與放射平衡.....	237
15-4 放射系.....	241
15-5 原子核學說.....	244

15-6 應用.....	246
第十六章 人工遞變與放射性	251
16-1 人工遞變之發現.....	251
16-2 中子.....	253
a. 中子之發現。 b. 中子為構造之基元。 c. 原子量與束合能。 d. 旋轉。	
16-3 正子.....	259
16-4 對偶毀滅；對偶產生.....	260
16-5 人工放射現象；中子反應.....	263
16-6 產生高能質點之機器.....	267
a. 產生高電位差。 b. 直線加速器。 c. 定頻率迴旋加速器。 d. 同步迴旋加速器。 e. 貝他加速器。 f. 同步加速器。	
16-7 高能質點之偵檢.....	276
16-8 百萬電子伏特能量之範圍；核反應；彼等之生成物；同素異性體；反應能；截面； p - p 與 n - p 力.....	277
16-9 十萬萬電子伏特能量級；核力，基本質點.....	281
第十七章 分裂與熔合	287
17-1 超鈾元素.....	287
17-2 鈾分裂.....	288
17-3 分裂之學說.....	291
17-4 原子炸彈.....	294
17-5 核反應器.....	296
a. 歷史與目的。 b. 構造與操動。 c. 工業應用之展望。	
17-6 中子物理.....	303
17-7 核反應器與迴旋加速器之應用.....	303
17-8 星球中之氫熔合.....	306
a. 碳循環。 b. 同位素與元素之豐富率。	

17-9 在地球表面上之氫熔合·····	310
第十八章 宇宙射線 ·····	315
18-1 基本觀測·····	315
18-2 初射線·····	317
18-3 轉變過程·····	319
18-4 第二次射線·····	323
18-5 來源·····	323
結 論 ·····	326
附錄一 單位 ·····	327
附錄二 教室表演與實驗室實驗 ·····	329
附錄三 常數 ·····	333
附錄四 元素之週期表 ·····	334
附錄五 輕中性原子之質點與穩定同位素 ·····	335
附錄六 用α質點散射法量度核電荷 ·····	336
附錄七 質量與能量等值 ·····	338
附錄八 參考資料 ·····	341
附錄九 答案 ·····	345
人名索引 ·····	352
標題索引 ·····	355

緒論

當吾人研究原子學說時，吾人即可對新舊物理學說得一對照。在力學中之學說，係列示諸物理量之相互關係，而此諸物理量，均爲可以直接觀測者。在光學中，則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，殊不若水波之可以爲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，殆猶遠較開濶。此似乎爲吾人研究原子物理學之最大困難。

即雖在本世紀之初，原子學說之早期發展期間，此隙縫之濶，猶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，因爲無人曾見其爲個別質點也。就此存疑論之另一方面言，吾人今日被邀相信：吾人已知甚爲複雜之原子之各部，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，該核爲 80 個“質子”與約爲 120 個“中子”所構成，四周有 80 個“電子”環繞之。吾人亦經見告：此諸電子分爲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。

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？吾人試爲比較吾人今日與古希臘人所用之方法。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，吾人之物理與化學定律，均盲無所知之時，德謨卡(Democritus)即教以一切物質乃無限數不可分割之極小質點所構成。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。劉克條斯(Lucretius)繼謂“正與少數字母之情況相同，由於少數字母排列地位之不同，而形成天空、海洋、地球或太陽各字，少數原子，亦因彼等之位置與運動情況不同，而形成許多不同之物質。”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。因爲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。

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對一學說之價值有一審度之標準。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，觀側之光譜線。在課室講授時，應盡量用實驗表演此類事實。至於學說也，例如氫原子之波爾(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。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，能够預測其結果，吾人即接受此一學說。是則一修習原子學說之學生，當其回憶原子學說最近之出色成就時，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？吾人將限制吾人於偶發之歷史事蹟，惟吾人之主要方法，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，乃顯示學說與若干似乎不相關之現象之結合能力。

第一篇 從化學與氣體之研究 所示之物質構造

吾人起始研究原子物理學，即須對於某數實驗結果，以原子存在之論證解釋之。就習常言，此類實驗與其詮釋，係隸屬於化學而不屬於物理。吾人設想讀者對於化學之基本原理，已經熟悉。因此，吾人乃將此複雜之論證，祇作一扼要之複習，即如何自實驗觀測，導致物質之原子說，亞佛加德羅假說(1811)，以及分子式。

嗣後在氣體動力論中，亦用此相同之假說。此不僅解釋氣體定律，並且亦解釋放電，陰極射線，正射線，光譜學及天文物理中許多現象。

第一章 化學中之原子假說

1-1 重量之定量分析，原子之存在 定比定律云：相同之化合物，均含相同之元素成相同之質量比。此定律益以倍比定律云：當相同之兩元素A與B形成一個以上之化合物時，此與相同量之B所結合之不同量A，成小整數比。

在1803年，道爾頓(Dalton)跨一大步形成理論化學之基礎。彼應用歷久模糊之原子假說，對此兩經驗定律作成定量之解釋。彼假設每一元素為原子所構成，此原子為甚小而不可再分之質點，各原子均為同種並有相同之質量。在一化合物中，則為不同種類之原子之結合。

1-2 氣體之體積定量分析，亞佛加德羅規則，吾人之兩定律尚不足提供化學者所習知之分子式。另外之證據得自1808年給呂薩克在同溫同壓情況下，所作氣體體積之量度。例如，彼量得1立方厘米之氫與1立方厘米之氯形成2立方厘米之氯化氫。彼所得之普遍定律為：在一化學反應中，所用氣體及所產生氣體之體積，各成小整數比。

此定律以亞佛加德羅假說(1811)解釋之。此假說為：在相同溫度與壓力情況下，相同體積之所有一切氣體，有相同數目之分子。試為討論

上例，吾人可謂1立方厘米之氫含有 n 個分子。於反應完成後，氯化氫有 $2n$ 個分子，因其佔據2立方厘米也。吾人得一結論，即：每1氯化氫分子所含之氫原子，僅為每1氫分子所含氫原子數之一半。最簡單之假說即每一氫分子含2個氫原子（寫作 H_2 ），而每1氯化氫分子僅含有1個氫原子。此相同之論證實用於氯與氯化氫之關係，因如上所云，1立方厘米之氯供應2立方厘米氯化氫所需之全體氯原子也。是則吾人得氫之分子式 H_2 ，氯之分子式 Cl_2 及氯化氫之分子式 HCl 。此相同之論證，導致氧之分子式 O_2 ，及水之 H_2O 。

此論證亦實用於複雜之分子式。故此為一重要之附加事實，即：迄今無任何氣體分析逼使吾人假設在一氫分子中有兩個以上之原子。因此，吾人接受在此所推證之最簡化學式。吾人一經接受此諸化學式後，繼此所作氣體體積之量度乃依相似之論證以導致其它氣體元素與化合物之分子式。

往後吾人將提及關於分子組成之結果，已贏得三種不同觀測結果之證實，此即比熱（第2-4節），光譜（第8-2節）及正射線（第3-3節）。例如，可以明示，氫經放電激發所發射之光，於光譜儀分析之，顯示雙原子分子之所有一切特性。故習用分子式無疑的正確代表分子構造。

顯然，亞佛加德羅論證絕非為一得自實驗數據之嚴格結論。所足提請注意者，為此處所採納之普通步驟，係就假說作成結論，以與觀測事實比較，從而驗證假說。

亞佛加德羅之規則可以述之如次：在標準狀況下（ $0^\circ C$ 與 1 大氣壓），一立方厘米之任何氣體所含之分子數為一普遍常數。“普遍”一辭，乃指適用於任何氣體之意，而與各該化學性質無關也。從歷史意義言，此為一不經常之情況，因其僅推斷一重要普遍常數之存在，而並無對其數值之任何估計。亞佛加德羅僅能辨證單一分子係小至不能明察，輕至不能衡量而已。因此每立方厘米之分子數當為甚大。之後，經過半世紀以上，才獲得個別分子大小與重量之初步估計值，至於此諸數量之精密測定，則為亞佛加德羅之發現後一世紀以後之事矣（第4-2節）。

1-3 價 吾人已經獲知鈉（ Na ）與其相類元素可以形成氧之化合物（氧化物）成分子構造為 Na_2O 者，此乃代表1氧原子有與2鈉原