

部定大學用書

近代物理學

(上 冊)

國立編譯館大學用書編審委員會主編

王碩輔編著

國立編譯館出版
正中書局印行



版權所有

翻印必究

中華民國五十三年五月臺初版
中華民國六十五年九月臺七版

部定 近代物理學 全二冊
大學用書

上册 基本定價 三元二角

(外埠酌加運費滙費)

主編者 國立編譯館大學用書編審委員會
編著者 王 碩 輔
出版者 國 立 編 譯 館
發行人 黎 元 譽
發行印刷 正 中 書 局

(臺灣臺北市衡陽路二十號)

海外總經銷 集 成 圖 書 公 司
(香港九龍油麻地北海街七號)

海 風 書 店
(日本東京都千代田區神田神保町一丁目五六番點)

東 海 書 店
(日本京都市左京區田中門前町九八番地)

新聞局出版事業登記證 局版臺業字第〇一九九號(4514)申
(500)

序

編者近幾年教授近代物理學，深感此科西籍名著雖多，然因深淺不一，初學者必須多方參考，難免吃力費時，復感此科中文書籍較為缺乏，遂不揣非學，參考國外有關諸書，將其基本觀念，基本原理，重要定理，各種問題之解法，擷英取華，尤注意公式之導證，匯編是書，以適合今日大學教課及一般參考之兩種用途。

自量子力學由 Heisenberg 及 Schrödinger 分別提出後，原子物理之發展乃突飛猛進，故吾人若欲詳細討論原子，原子核及其他有關問題，則必須引用量子力學。編者有鑑於此，特於本書中第九、第十一、第十二及第十三章中介紹初等程度之量子力學，以便探討本書第十四章以後之諸問題。

本書專門名詞，多採自教育部頒佈之物理學名詞，原子能名詞及化學名詞等。未頒佈之名詞，則依照國內所通用者，或由編者自擬。但人名除極少數外均書以原文，而未用譯名。

本書上册之內容多取自下列各書，其中尤以採用 (1) (5) (7) 三書較多，謹向各該書著者表示謝意。

- (1) H. semat: Introduction to Atomic and Nuclear Physics.
- (2) F. K. Richtmyer, E. H. Kennard and T. Lauritsen:
Introduction to Modern Physics.
- (3) Robert S. Shankland Atomic and Nuclear Physics.
- (4) Max Born: Atomic Physics.
- (5) L. Pauling and E. B. Wilson: Introduction to Quantum Mechanics.
- (6) W. Heisenberg: Physikalische Prinzipien der Quantentheorie.
- (7) E. Shpolski: Atomic Physics.
- (8) 朝永振一郎：量子力學。

本書係屬初版，欠妥之處在所難免，尙望讀者不吝指正爲幸，

王碩輔謹識

中華民國四十九年五月於東海大學

近代物理學 上册

目 錄

緒 論

第一章 原 子 及 電 子

§ 1-1 十九世紀中葉以前的原子說.....	6	§ 1-4 密力更油滴實驗.....	15
§ 1-2 電子的發現.....	8	§ 1-5 陽極射線.....	18
§ 1-3 帶電質點在電場及磁場中的運動.....	9	§ 1-6 質譜儀與同位素.....	21
		§ 1-7 原子模型與 α 質點之散射.....	26

第二章 電磁輻射之古典說

§ 2-1 振動偶極子的電磁輻射.....	35	§ 2-6 振動偶極子的強迫振動.....	52
§ 2-2 振動偶極子的總輻射及平均輻射.....	37	§ 2-7 Fourier 積分與連續光譜.....	57
§ 2-3 非諧振動子與 Fourier 級數.....	39	§ 2-8 軌道磁矩與 Larmor 理論.....	60
§ 2-4 非諧振動偶極子的電磁輻射.....	44	§ 2-9 Zeeman 效應.....	63
§ 2-5 振動偶極子的阻尼運動.....	46		

第三章 X 射線與結晶

§ 3-1 X 射線之發現.....	71	§ 3-5 Bragg 公式.....	79
§ 3-2 X 射線之發生方法.....	71	§ 3-6 X 射線繞射之 Debye Scherrer 法.....	83
§ 3-3 X 射線強度之測定.....	73	§ 3-7 結晶與空間格子.....	85
§ 3-4 X 射線之繞射.....	75		

§ 3-8 格子常數的測定.....90	§ 3-11 X 射線之吸收97
§ 3-9 X 射線之折射91	§ 3-12 原子內電子數之推定.....99
§ 3-10 X 射線之散射93	

第四章 量子論之起源

§ 4-1 能量均分定律..... 102	§ 4-7 Wien 輻射公式..... 121
§ 4-2 氣體比熱..... 105	§ 4-8 Planck 輻射公式及能 量子的發現..... 126
§ 4-3 固有振動..... 107	§ 4-9 固體比熱的 Einstein 理論 129
§ 4-4 固體比熱..... 111	§ 4-10 固體比熱的 Debye 理論 131
§ 4-5 熱輻射..... 113	
§ 4-6 Rayleigh-Jeans 輻射 公式..... 116	

第五章 相 對 論

§ 5-1 牛頓力學中之相對性原 理..... 138	§ 5-5 空間及時間之相對性..... 147
§ 5-2 Michelson-Morley 實 驗..... 140	§ 5-6 速度之界限及速度變換... 149
§ 5-3 狹義相對論之原理..... 143	§ 5-7 質量與速度之關係..... 151
§ 5-4 Lorentz 變換 144	§ 5-8 能量及動量..... 153
	§ 5-9 Hamilton 函數..... 157
	§ 5-10 廣義相對論..... 159

第六章 光 量 子

§ 6-1 光量子假說..... 164	§ 6-4 Compton 效應..... 174
§ 6-2 空洞能量的漲落..... 165	§ 6-5 回跳電子..... 178
§ 6-3 光電效應..... 170	§ 6-6 光之質點性與波動性..... 180

第七章 氫原子光譜與能階

§ 7-1 光譜..... 183	§ 7-5 氫原子本爲二體問題..... 196
§ 7-2 氫原子的明線光譜..... 184	§ 7-6 量子論與古典論間之關係 200
§ 7-3 根據 Rutherford 原子 模型解釋原子發光..... 187	§ 7-7 氫原子的連續光譜..... 202
§ 7-4 Bohr 理論..... 191	§ 7-8 廣義量子條件..... 204
	§ 7-9 氫原子之定態..... 208

§ 7-10 Franck-Hertz 實驗..... 213	§ 7-13 選擇定則..... 224
§ 7-11 空間量子化..... 215	§ 7-14 平面轉動體..... 226
§ 7-12 Bohr 相當原理..... 222	§ 7-15 箱中的質點..... 228

第八章 物 質 波

§ 8-1 均一介質中之單色平面 波..... 231	§ 8-4 物質波..... 238
§ 8-2 波動方程式..... 232	§ 8-5 物質波之實驗..... 242
§ 8-3 平面波之重疊..... 235	§ 8-6 物質波之折射..... 246
	§ 8-7 測不準原理..... 248

第九章 波 動 力 學

§ 9-1 Schrödinger 波動方程式 254	§ 9-5 Hermite 多項式及諸振 動子的波動函數..... 270
§ 9-2 自由質點..... 257	
§ 9-3 箱中的質點..... 259	§ 9-6 箱中的質點(三次元)..... 277
§ 9-4 諧振動子..... 264	§ 9-7 隧道效應..... 283

第十章 氫 狀 原 子

§ 10-1 氫原子..... 288	§ 10-4 氫原子的 Schrödinger 函數..... 303
§ 10-2 Legendre 多項式及 Legendre's associated 函數..... 298	§ 10-5 氫原子的正常狀態及其 分佈函數..... 305
§ 10-3 Laguerre 多項式及 Laguerre's associated 多項式..... 300	§ 10-6 鹼金屬之原子光譜..... 309
	§ 10-7 價電子模型..... 313

第十一章 量子力學之諸原理

§ 11-1 線型算子..... 318	§ 11-7 平均值..... 346
§ 11-2 Hermite 算子..... 322	§ 11-8 力學量成爲定值的或然率 349
§ 11-3 正交函數系..... 324	§ 11-9 共同固有函數..... 351
§ 11-4 量子力學的主要算子..... 330	§ 11-10 Heisenberg 不等式..... 354
§ 11-5 Schrödinger 方程式..... 333	§ 11-11 量子力學與古典力學間 的關係..... 357
§ 11-6 廣義的 Schrödinger 方程式..... 343	

第十二章 方 陣 力 學

§ 12-1 行列代數·····	366	§ 12-5 波動力學與方陣力學的 關係·····	389
§ 12-2 Heisenberg 理論·····	373	§ 12-6 角動量·····	396
§ 12-3 運動方程式·····	378	§ 12-4 諧振動子·····	385

第十三章 攝動理論及輻射

§ 13-1 有心力場中兩個電子的 問題·····	406	(退化情形)·····	420
§ 13-2 未含時間的攝動理論 I (未退化情形)·····	408	§ 13-4 含有時間的攝動理論·····	424
§ 13-3 未含時間的攝動理論 II		§ 13-5 光之發射及吸收·····	427
		§ 13-6 原子定態遷移的或然率·····	429
		§ 13-7 選擇定則·····	435

第十四章 電 子 之 自 轉

§ 14-1 電子之自轉說·····	444	§ 14-4 鹼金屬之原子光譜(續)·····	454
§ 14-2 Stern-Gerlach 氏實驗 ·····	447	§ 14-5 反常 Zeeman 效應·····	456
§ 14-3 光譜線之精細構造·····	448	§ 14-6 Paschen-Back 效應 ·····	463
		§ 14-7 Stark 效應·····	465

第十五章 多 電 子 原 子

§ 15-1 互換退化·····	471	§ 15-5 鹼土金屬之原子光譜·····	492
§ 15-2 氮原子·····	477	§ 15-6 構造複雜的原子及同電 子數游子之光譜·····	497
§ 15-3 Pauli 原理·····	483	§ 15-7 元素之週期表·····	499
§ 15-4 氮之光譜項·····	486		

第十六章 X 射 線 譜

§ 16-1 連續 X 射線·····	508	§ 16-5 X 射線臨界電壓 ·····	526
16-2 標識 X 射線譜之分析·····	512	§ 16-6 磁譜儀·····	528
§ 16-3 X 射線吸收光譜 ·····	518	§ 16-7 X 射線項 ·····	529
§ 16-4 X 射線的能階圖 ·····	521	§ 16-8 Auger 效應 ·····	531

附 錄

附錄 I 由振動偶極子所建立的 電磁場.....	534	附錄 IV 磁鐵在磁場中之位能.....	544
附錄 II 線之振動.....	537	附錄 V 根據相對論討論原子能 階.....	544
附錄 III 絕熱不變量.....	541	附錄 VI Dirac 電子理論	548

緒 論

物理學是自然科學的一部門，係研究能量及物質之科學。此定義與化學不能有明顯之區別，自不待言。許多工程學科雖亦討論物質及能量，但其觀點係偏重於應用方面。

任一種自然科學的研究目的，均是企圖獲得有系統而有組織之知識。物理學之開始成為科學亦是以此為起點，不僅敘述所得各種事實，並闡明各事實間之相互關係。

任何物理現象經詳細研究後，常可獲得一種結論，以表明在某種情況下必發生某種事實。當將此結論應用於多種類似物理現象若均能適合，則此結論即成為一物理定律 (Physical law)。例如牛頓 (Newton, 1643-1727) 由落體及行星等之運動，導出宇宙間任二物體之間有互相吸引之力的定律。於是研究物理學之目的，在得各種廣義的物理定律，進而探求能闡明一切自然現象之廣大而普遍的物理定律，如是所得的任何定律，如能以數學表示，則可認為至善者。

一物理定律之證明，有時用直接法，即由觀察與實驗等而得的種種事實，直接推出定律，例如由落體及行星之運動而推出萬有引力定律。但物理學中之諸基本定律多賴間接法始能予以證明，所謂間接法即是由經驗或假設先立學說，然後由此學說推論所得各種之結果，均能符合實驗，而構成一定律。

物理學的途徑，是由上古，中古的先哲，不斷的努力，將它開拓出來，然因遠古時的數學還幼稚，實驗儀器又極簡陋缺乏，所以有關物理的研究，可以說均基於想像而不基於實驗，乃自然哲學式的研究。物理學脫離了遠古的自然哲學式的研究，而成為一建立於實驗上的學問，可以說開始於伽利略 (Galileo, 1563-1642)，我們都知道他

運用巧妙的實驗方法及簡單的數學，發現單擺的原理及落體的運動定律。又用望遠鏡發現太陽的黑斑及木星的衛星等，使物理學變為實驗科學，不再是哲學的產物了。到了牛頓的時代，數學更為發達，微積分學已經應用到物理學上。牛頓又發現萬有引力，對於星球的運行，得到有利的說明，並發現力學三大定律，奠定了物理學的基礎。

在力學外的另一部門，電學，肇始於紀元前約 600 年，在古代希臘，由被摩擦的琥珀吸引小而輕的物體之發現即已開始，可是這種難以思議的現象，在當時並沒有受到注意，並延續了將近 2290 年之久，直至紀元 1600 年英人吉爾伯特 (William Gilbert, 1540-1603) 又研究這種現象，發現許多物體有同樣之性質，並且從希臘字意義為琥珀之 *elektron* 創造了電 *electric* 一個新字，以敘述此種現象。約數年後用電之英文字 *electricity* 作此種作用之名詞。自此此門之研究進步甚速，又發現有正負兩種電荷的現象，乃創造了兩種電液的學說。富蘭克林 (Benjamin Franklin, 1706-1790) 則認為正負電荷現象乃是一種簡單電液盈虧的結果。

電磁學中之另一部門——磁學，係起始於古代希臘對鐵礦 Fe_3O_4 (此鐵礦之英文名詞為 *Magnetite*, 今譯為磁鐵礦) 吸引鐵屑之觀察。在 19 世紀以前，尚不知磁與電有何種關係，而認為它們是二種不同之科學。及至 19 世紀初葉奧斯特 (Hans christian Oersted, 1777-1851) 發現電流帶有磁之現象始知電與磁不是各自獨立之科學。19 世紀初葉有關電磁學之另一重大之發現，可以說是由法拉第 (Michael Faraday, 1791-1867) 所提出的如電磁誘導等之電磁現象及力線，前者對近代整個物質文明有極重要的貢獻，後者對後來的物理學之理論觀念上，有極基本性的影響。繼法拉第之後，便有馬克士威 (James

Clerk Maxwell 1831-1879) 更從理論上給電磁現象加以整理，以數學方式，得一包括全部電磁現象的電磁理論，後人稱之為馬克士威電磁理論。

自 19 世紀起，物理學的另一部門——光學，也開始有新的重要發展。古代的希臘哲人曾想像光為粒子所組成，後由牛頓倡導此一學說。可是，和牛頓同時代的虎克 (Robert Hooke) 另提出光為波的意見，繼由荷蘭物理學家惠更斯 (Christian Huygens, 1629-1695) 將虎克的思想發揚光大，而構成光之波動說。因在牛頓時代用光之質點說，很容易解釋光之直進等現象，故多數人均贊成光之質點說，此種學說一直到 19 世紀開始，仍佔優勢。及至 19 世紀之初葉，由英人楊 (Thomas Young, 1773-1829) 及法人夫累涅爾 (Augustin Fresnel, 1788-1827) 分別發表光之干涉現象，此種現象為光之質點說所不能解釋，從波動立場却可予以解釋，光之波動說於是進一步得到新的佐證，光的波動說又告復活。為解釋光波如何經由空間行動，當時物理學家就臆想空間是充滿了一種所謂以太的媒介物。待馬克士威提出光之電磁波說以後，大家更相信光之波動性。於 1895 年，荷蘭大物理學家勞藍滋 (H.A. Lorentz, 1853-1928) 將馬克士威之成就擴大，建立著名的勞藍滋電子學說，以解釋物質之發光及吸光。

自然界中之熱現象很早就為科學家們所注意。在早期為解釋熱之各種現象或效應，曾認為物體中有稱為熱質 (Caloric) 或熱之一物，出入於其間，熱質說是否真確之重要問題於 1798 年為倫福德 (Count Rumford, 1753-1814) 提出，他對於大砲穿孔，曾作多次實驗，他使用的鑽較鈍，鑽下的物質雖然甚少，但生大量之熱，可使適量之水不用火熱而達沸騰。他由此實驗得一結論：所生之熱量，並不與鑽下的

粉末量成正比，係與取得粉末所需之機械功成正比。次年臺維 (Humphrey Davy, 1778-1829) 曾做相似而更顯著之實驗，即將溫度在冰點以下之兩塊冰互相摩擦在真空中亦能熔解，此顯示熱為機械作工而生，自此以後，對於熱由機械功而發生，或由熱而發生機械功之觀念，漸為世人所承認。後由焦耳 (James Prescott Joule, 1818-1889) 及其他學者做較精密之實驗，才確定功量等於一定熱量，奠定了能量不減定律。在另一方面，由 Clausius (1822-1888) 及 Kelvin (1824-1907) 等學者之研究建立了所謂熱力學第二定律，便發展了熱力學。19世紀中後葉更有分子運動論之發展，雖在當時尚無原子，分子存在之直接實驗證明，但由此可予許多與熱有關的現象以基於力學的解釋。當此種觀念被引入物理學中，便產生了統計力學。它在目前物理中為一重要的基本科學。

在 19 世紀末葉有些物理學家認為有關物理方面的重大發現，大致均已完成並且讚美 19 世紀所有學說的精華。有位名物理學家在 1893 年一次演說中曾說：今後從事物理工作者，除了改良以往實驗的精度以外，不會再有重要的事情可做。可是，兩年之後，在 1895 年 12 月 28 日由倫琴 (W.C. Röntgen, 1845-1923) 提出 X 射線之發現。隨後又由拍克勒爾 (Antoine Henri Becquerel, 1852-1908)，及居禮夫婦 (P. Curie, 1859-1906; Madama Marie Curie, 1867-1934) 相繼提出放射性的發現，湯姆孫 (J.J. Thomson, 1856-1940) 提出電子的發現。自此以後，物理學又開始有最新的重大發現。

在近五十餘年中，有許多新的重大發現，開拓了許多新的學識領域如相對論，量子力學，固體物理及原子能等。愛因斯坦 (Albert Einstein, 1879-1955) 所倡導的相對論，及海森柏 (Werner Heisenberg

1901-) 與喜熱定格 (Schrödinger, 1887-) 二人所提出的量子力學，使物理學本身發生革新的機運，物理學即跨進新時代。所以今日就把19世紀末葉以前的物理學劃為古典物理學，而將 19 世紀以後最近六十年來的物理學劃為近代物理學。本書便是敘述這六十年來的物理學。

第一章 原子及電子

§ 1-1 十九世紀中葉以前的原子說

若把物質連續不斷的分割下去，有時能得一不失其本性，且不能再分割的顆粒，此種顆粒稱為原子 (Atom)。原子一詞，係從希臘字意義為不可分的 *Atomos* 轉變而來。首先從原子觀點研討物質構造的人，是希臘哲學家 *Leukippos* (紀元前450年)，後由他的學生 *Democritus* (紀元前 460-370 年) 予以發展。*Democritus* 的學說，認為原子是組成萬物的基本要素，它們是不可再分割的微粒，佈滿於宇宙間，是永遠不息地運動着，由於雜亂的碰撞而結合，於是乃生萬物。

Democritus 的學說演至紀元前第四世紀，大哲學家 *Aristotle* 乃創物象說，並主張物質為連續的，而代替了原子說。他的學說可以說是依據 *Empedocles* 的學說而建立的。*Empedocles* (紀元前490-430年) 學說，以土，空氣，火，水四者為物質之基本要素，而萬物均由此四者組成。*Aristotle* 的學說，不僅影響了那個時代的判斷，亦控制整個西方哲學家達二千年之久。依此學說，能滋生一種物質可變成其他物質的見地，以至後來生產了一種不科學的鍊金術，鍊金家的主要目的是想將賤金屬變為貴金屬，這種想法在斯時雖屬徒勞無益，然對科學之發展亦不無貢獻。

及至十七世紀時，英人波義耳 (*Robert Boyle*. 1627-1691) 對四要素學說，予以強烈的評擊，並力倡科學學說之建立必須求之於實驗，又建議物質可分為化合物及元素，化合物是可以用化學方法使其分解的一種物質，元素是不能以化學方法分解的一種物質，元素之所以相異係因其原子內部構造不同，如分解或化合般的化學變化，係因此等元素之分離或結合而引起，並臆想有如今日稱之為電子般之物為原子

內部構造要素。原子說從此由自然哲學家移交予化學家，物理學家。到了十八世紀，由於化學實驗技術的發展，氫氧氮等元素便相繼被發現，波義耳的學說由此建立了基礎。隨後法國化學家 Lavoisier (1743-1794)，根據一連串的實驗，證明燃燒為物質的氧化現象；在每一化學反應中，其產物的重量恰等於構成反應所需物質的重量，此即質量不減律。待此項結果被提出以後，像波義耳倡導的原子說漸為世人所注意。俟在化學上發現定比定律及倍比定律，原子說更為盛行。英人道爾頓 (John Dalton, 1766-1844) 爲了要解說質量不減定律，定比定律及倍比定律，遂於 1803 年創一新原子說，給理論化學奠定了基礎，使化學躍進一大步。其大意謂：每一物質係由若干原子所組成；同屬一元素的原子均有相同的質量，相同的性質；相異元素的原子則互異；一化合物係由少數不同種類原子之結合；任一化學變化只是原子間的分離或結合而已，原子則不能創生亦不能毀滅。科學家們曾用此說，說明了質量不減，定比及倍比等定律之存在。

在 1808 年，又有法國化學家給呂薩克 (J.L. Gay-Lussac) 提出氣體反應定律，此定律謂：在化學反應中，所產生的氣體之體積與參與反應的氣體之體積，有一個簡單的比例。此亦是對原子說最有力的辯論據點。繼此一定律亞佛加德羅 (Avogadro, 1776-1856) 又提出：「在同溫同壓之情況下，同體積之一切氣體，含有同數分子」之定律，依此可辨清分子與原子間的區別，即原子為元素的最小單位，分子為幾個原子所成，乃是化合物的最小單位。

及至 1829 年，化學家們又想找出元素性質與其原子量間的關係，此項工作終為蘇俄科學家門得列夫 (D. I. Mendeleiev, 1834-1907) 所完成，當他在 1869 年發表了週期律後，原子說更有一大躍進。

後來物理學家又從力學立場，依據物質係由分子或原子所成的思想，來研討氣體的狀態，而形成所謂氣體運動論之學說。此後，物質構造之質點說的見解，漸由化學領域擴展到物理學的領域。

§ 1-2 電子的發現

據電解實驗結果，為游子所搬運的電荷常為一最小電荷之整數倍。此不但顯示電有最小單元，並表明原子非如 Leukippos 及 Democritus 等哲人所說為不可再分者。又顯示原子構造與電有關。及至陰極射線的發現（1879年），大家始相信之。

(i) **真空放電** 在含有電極之玻璃管內，導入水銀柱高度約為數毫米之低壓氣體，而使其在兩極間感應放電時，則可見非常美麗之光輝，此管稱為蓋斯勒管 (Geissler's tube)。今若於裝有圓板形電極之圓筒形玻璃管中，導入低壓空氣，使其放電，如圖 1-1 所示，則見接近陰極之 a 部，呈現紫色的光，稱之為陰極光 (Cathode glow)。

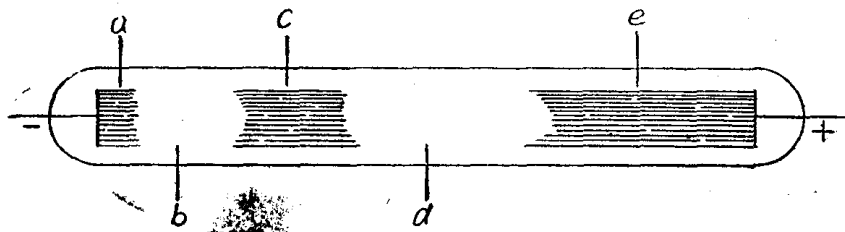


圖 1-1

其次為暗區 b，稱為克魯克斯暗區 (Crookes dark space)，或稱為第一暗區。再次為微薄之紫光部份 c，稱為陰光 (Negative glow)。又 d 之部份因與克魯克斯之暗區相似，故稱為法拉第暗區 (Faraday dark space)，或稱為第二暗區。e 為佔有管內之大部份明暗相間之紅色燦爛鱗片，稱為陽光 (Positive glow)。當兩極間之距離變化時，a, b, c, d 各部均無影響，惟陽光部份 e 稍有增減而已，其狀態如圖 1-2 所示。



圖 1—2

(ii) **陰極射線** 蓋斯勒管內的氣壓更低時（大約為 10^{-3} 毫米水銀柱），則管內不見光輝，僅有帶黃綠色的螢光，呈現於陰極相對的玻璃壁上（此種管名曰克魯克斯管），因此管內的現象，係自陰極向陽極射出，故稱之為陰極射線 (Cathode ray)。陰極射線除發生螢光作用外，從實驗尚知它具以下的性質：（1）陰極射線沿直線進行，（2）陰極射線依磁場而偏轉，（3）陰極射線帶有負電，（4）陰極射線能透過薄層物質，（5）陰極射線能作機械功，（6）陰極射線與克魯克斯管內的氣體及組成電極之物質無關。由此等性質，吾人可得一結論，即陰極射線乃是帶有負電且與物質無關之質點（在原子物理學中亦稱質點為微質點，微粒，粒子）所成的急流，此種質點很顯然是由組成物質的原子或氣體原子中逸出的，此種質點今日通稱為電子 (electron)。

§ 1-3 帶電質點在電場及磁場中的運動

一帶電荷 e 之質點因電磁場而受的力 (Lorentz) F

$$\mathbf{F} = e\mathbf{E} + \frac{e}{c}[\mathbf{v} \times \mathbf{H}] \quad (3-1)$$

$\mathbf{E}$ 為電場強度， $\mathbf{H}$ 為磁場強度， $\mathbf{v}$ 為質點的速度， c 為光速。茲為便於