

萬 有 文 庫

第 二 集 七 百 種

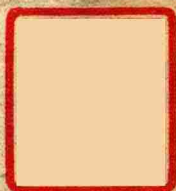
王 雲 五 主 編

自 然 之 機 構

安 德 拉 德 著

何 育 杰 譯

商 務 印 書 館 發 行





自 然 之 機 構

著 德 拉 德 安

譯 杰 育 何

自 然 科 學 小 叢 書

編主五雲王
庫文有萬
種百七集二第

The Mechanism of Nature
究必印翻有所權版

中華民國二十四年九月初版

原 著 者

E. N. da C. Andrade

譯 述 者

何 育 杰

發 行 人

王 雲 五
上海河南路

印 刷 所

商 務 印 書 館
上海河南路

發 行 所

商 務 印 書 館
上海及各埠

◆C五二三

書



圖一 拉率福特(五十五)創原子核學說者。

著者原序 節譯

每當茶餘酒後，輒有非科學界人，舉一二近時物理之成績以相詢；并求予用簡易通俗之辭解釋之。是固爲予所樂聞，但有時頗感其困難：因問者對於物理知識及科學方法，俱毫無根柢，譬猶某種化合物，雖頗欲吸收水汽，但在極度乾燥狀況中，非先略爲沾潤，欲其驟吸多量水汽，殊不易也。

欲求一簡明之書，各部分俱略涉大概，可適應彼等之需要者，此時實不可得。彼等遂強予供給是類之書；并告予曰：

「一、須簡約，因我等年齡已大，不能長注意於獨門知識。

二、須淺明，因職業上諸問題已使我等昏眩疲憊，不能再有餘力以從事於新問題。

三、勿過於帶課室臭味，因我等不能有此忍耐心，亦無強迫義務，再讀教科書。」

去歲暑假之暇，予卽本此旨以寫是書。將物理學基本部分作一概略，舉最近所得之進步以詮釋之。未習物理學者亦能於一二小時內畢事，俾得一充分的開始，以後遇有特殊部分之單篇通俗

論文，或報章時有登載之新發現，庶可理會其含蓄之意義乎？

一本小冊子而冠以長篇序言，是猶對一盤菲薄肴饌作冗長之禱告。予不至有此荒謬之舉。但予所呈之草具，雖不足一飽，然品質純正，且富於滋養性，如能引起讀者食慾，適彼供應豐富之所，求享一盛餐焉，是則予之所企望也。

譯者附語

下列數端，請讀者注意：

(一)書中所用「兆」字，義爲百萬。

(二)人名、地名及其他須附原文之字，另有中西文對照表附於卷末。書中遇有此類之字，僅標以(一)(二)等號碼，概不附寫原文，讀者可從表中檢得之。

(三)原書足注，附於每章之後。被注字句，則標以(註一)(註二)等字。

(四)書中字句右側有直線者，與原本用斜體字之處相當。

(五)書中間有譯者附注處，注後俱標有「譯者」二字以明責任。此純爲一般讀者起見，對於高明，自無需譯者之喋喋。

(六)書中各部分所述之結果，不知費卻多少人之腦力與時間，又不知經過多少次之嘗試與失敗，方得有寥寥數語之斷定，望勿視爲野人無稽之言，徒供談助。

目錄

著者原序 節譯

譯者附語

第一章	何謂物理學	一
第二章	熱與能	一四
第三章	聲音與振動	三五
第四章	光與輻射	五一
第五章	電與磁	八四
第六章	量子論	九九
第七章	原子	一一一
中西文對照表		一四五

自然之機構

第一章 何謂物理學

「物理學欲在物理的領域內將世界改造，用純粹的三段法，從業經認可之公理演繹之。」——蒲邁塞（一）

舉凡人生所遇各事，不論關於物質方面或精神方面，加以考慮，設法制成一有系統之計畫；藉此計畫，使貌似衝突者得以調和，混亂者可根據基本原理以簡約之；是皆哲學家應做之工作。人類為能思想之動物，時時有問題發生，譬如善惡問題，生死問題，或發自學語之小孩，或發自迴憶之老年，或發自疾痛憂患之人，哲學家對此種種無盡的「何故」，（三）須思有以解答之。如外表及實在之本性，真實及虛偽之意義，吾人知識之範圍及含蓄，美的觀念之旨趣等，為哲學家所應研究之困難問題；往往牽涉甚廣，迷惑不定，有時欲將問題本身敘述清楚，已覺甚難，求其詳細的解決，自更

不易。新的見解雖時有發現，但此種新見解之發現，是否可視爲一實在進步，吾人無從斷定之。

科學家工作之範圍，不若是之廣汎，其問題爲無盡的「如何」，（三）非無盡的「何故」。研究資料純爲由觀察而得之各種事實，設法將其排成系統，如果有數個原理承認在先，則此類成系統的事實發生，可證明其爲當然之效果，且同時可得尋覓新事實之途徑。科學家以事實爲唯一重要之物，故對於原理，祇擇其適合於事實者；至於原理是否絕對真確，科學家不去過問，如其所產效果與自然現象相符合，至少暫時的可視爲真確。所以科學的基本原理，往往稱爲資用的假說，因創造此種假說之唯一目的爲欲設立一個基礎，在此基礎之上可構造一個系統，與從物質界實地測得之結果相比較，不發生衝突。如能獲得一個新的原理，其所包括之現象，範圍較前爲大，吾人視此種之獲得爲一個進步。

所以一個學說遇不能適用時，可委棄之而另覓新的；是不能視爲科學方法之失效。試以原子說之歷史爲例：（註一）四十年以前，人皆承認原子略與極微的檯球相似，爲堅硬不可分裂之物，每一元素各有其特殊之原子，與他元素之原子根本不同。用此假說，足以解釋氣體諸性質，因如設想

此類原子能依力學上之定律而運動，吾人可用數學方法推得其各種結果，此各種結果與實驗所得之氣體性質相符合。再設想此類原子間有一種互相吸引力量，或化合力，吾人可解釋化學上之普通現象。後來電子發現，電子比原子輕得甚多，因而想及各種原子或由電子組合而成。再從放射現象，知有數種元素，如鐳族各元素等，能放射帶電之質點，所以此類原子不但包含此類質點為其構造之一部分，其內部必備有許多能量，供給輻射之用。當時有一問題焉：即承認此內部之能乎？抑放棄能量不滅之原理乎？因放射性元素向外放能，而外間並未有能注入；當時雖有人主張將能量不滅原理廢棄，但此原理用途廣大，無廢棄之可能。無論如何，放射現象使吾人不能不將原子不可分裂之觀念打破，因放射性元素之原子能放出其本身之一小部分，而變成他元素之原子也。以後研究之結果，迫使吾人設想原子構造似一極微小的太陽系，原子的質量凝集於其中心之微核，其餘部分則為電子，有比較寬大之空間間隔之；此書之末章，當將此種構造詳細討論，并當敘述惟此種構造始能解釋之數個奇異現象；此處所說之數語，已足顯出原子學說在一代中間經過多大之變化。

評論家不將質問乎？「四十年前，物理學家謂原子是堅硬的，不能分裂的，自始即已完成，沿用亦無缺憾，至今日忽云：原子具一種疎鬆的構造，且易於碎裂，并謂放射性原子能自己破裂，而變成較簡單之原子，甚至於揣想較重的原子，原係較輕原子組合而成，令吾人從何置信乎？一代以前所明確承認之學說，此時即委棄如遺，則此番所發表之學說，何從使吾人確知其可恃？」對此質問，可答之如下：——吾人對於學說，並不要求其絕對真確，一個學說，譬如新原子說，稱其有大價值時，祇因吾人如認此說為真確，則所遇之各現象俱為吾人之所預期，物理學家所研究之自然界，其所表顯宛如有原子存在，且原子性質宛然與原子說所賦與者相同。舊的原子觀念，對於彼時所遇各現象，均能有美滿解釋，此時對於比較簡單問題，吾人仍繼續使用，因此類問題，如參入原子構造的觀念，徒然引起無謂之糾紛也；但欲解釋放射現象及光譜現象，則非使用此學說之新的特點不可。此外，新學說比舊學說尚有一優點：因新學說所使用之終究的基本物祇有兩個，即質子與電子（見第七章），解釋事物時，使用此類基本物之數愈少，其學說愈為精美。新原子說雖精美，但吾人不能視之為最後之學說，將來新的發現，或須迫使吾人不得不將其所含各點加以變更，但由其現在成

續觀之，則將來之所變更者，恐亦不過是枝節問題而已。對於現在，此學說爲一極好的費用假說，因向來無定律之事實，可使之有定律，向來視無關係之數個現象，使人得知其關係，並且使吾人得將已知之事實，排成較前方便而有理之秩序，指導吾人使得新事實之發現，其成績確甚偉大，足使此說成立，但不是最後的。總之，科學是活的，活的東西當然要發展。

或有人要再進一步，設想原子、電子及原子構造爲確實存在。但無論視原子爲確實存在之物與否，對於學說之有效與否，不生影響；因無論原子爲假設的，或實有的，學說之用途不因之而稍變，其能將各事實排成秩序也無異，其能指導吾人得新發現也亦無異。設有二人對此各持異見，如二人能以數理研究，且其程度相同，則彼等根據學說所推得之結果必相同，其結果得實驗之徵實亦必相同。試舉一事爲喻：設有甲乙二人，對於一政客之道德持異見，甲疑其納賄而乙則信其忠實。如果此政客之行爲，宛如納賄者然，其以前所有之舉動，可根據此原則而解釋之，以後所有之舉動，可根據此原則而預測之，則代表科學家之意見者，當曰：「我不能知其果得賄與否，但其所有之舉動，俱可以得賄之說解釋之，我將接受此說；因如此則祇須一個資用的假說，可使我明瞭所有與彼有

關之各事，可節省許多思力。至於實在得賄與否，於我無關。我不裁判；我祇觀察，我祇整理我的觀察。」代表哲學家之意見者，當研求臧物之存在與否；然亦無法能直造其幕後而搜索之，祇能臆測而已。此問題比較科學家的問題為精微，但為一個不能得到最後解決的問題。

所以任何科學學說，俱為一種暫時應用的工具，在茫茫宇宙中，用以推求物質界之諸知識。不拘何時，有新學說出，儘可替代舊的。譬猶吾人得到一種新的工具，其用途比現時所用者為廣；即新工具不僅能做舊工具所能做之工作，並且能做舊工具所不能做之工作，則吾人儘可委棄舊的而取新的。如坐待他日發明較優之工具，而擯棄現時所有者而不用，是為愚騃；一個學說能解釋許多事實，並能指示研究之新途徑，如因其略有小疵，不能解釋其他事實之故，遂擯棄之而不用，亦為愚騃。再設一喻：科學史上充滿了被頑強的小事實所殺害之美麗學說；但如果在未死之前，能征服多數互相衝突之事實，使守紀律，則亦不為徒死；且有許多並不是最後之死亡，往往過了幾時，挾了新特色而復活，以其新特色戰勝其舊時所遭遇之困難。

由此可知一個科學學說與宗教之信仰有異。宗教信仰，含有絕對真確之意，譬猶軍旗，當與之

共存亡，中途委棄，則爲不名譽，爲罪惡。科學學說則不然，必待適用，方爲真確；科學家對於其最善之學說，亦不過視爲一種權時幫助之具，時時留意於較優較備學說之發現。

因欲讀者注意於科學假說之實用性，致物理學與哲學之對比，寫得非常極端；但如威廉極姆司（四）一派之哲學家，則謂當吾人云「某信仰是真確」，吾人之意即爲此信仰是有用，所有真理，祇能根據經驗而成立，別無他道；是則與科學家對於科學學說之意見一致。無論如何，真正哲學家不能忽視科學的方法及其所得結果在知識上及方法上所有之影響；另一方面，物理學家亦必須以論理學的見地，考察其假定之性質。從前所謂哲學，含義甚廣，物理學從前稱爲自然哲學，以區別於人事哲學。（此時蘇格蘭尙用自然哲學之名稱，予意值得沿用。）於此，吾人可引大數理物理學家傅立葉（五）之名語，以總括上面所說之各意；傅氏之言曰：「最初諸原因，爲吾人所不知，惟知其服從於數個簡單而不變之定律；此種定律，能以觀察發現之；研究此種定律，即爲自然哲學之目的。」（註二）

以上所說，雖就科學全部而言，但吾人意中卻偏向於非生物的科學；因此類科學中所用之方

法，比在生物科學中所用者可較嚴密，使科學之本性特別顯著。譬如天文學與物理學，其假說可用數學的方式表顯之，並可用嚴密之數理以推知其結果。若僅預說某種現象將要發生，吾人意尙未滿，必須有一公式，可使吾人計算其應有結果之正確數量，再以觀察或試驗所量得之數與之一一比較。譬如在天文學中，吾人不僅要知行星繞太陽而走，吾人必須有一理論，可推算行星及彗星所經之軌道，同時並顧及各行星間之相互作用。又如欲斷定牛頓力學與愛因斯坦（六）力學之是非，祇能從精密計算此二學說所應有之結果而決之，其結果相差，不過一極小的數量，吾人由極精細之測量，問「自然」以誰是誰非而服從其判決。現代之原子學說能得人接受者，亦因其由數理推得之結果，與從分光鏡或其他實驗所量得之結果，有驚人的密合之故。歐戰之時，因磁體能吸引鋼鐵，竟有想用巨大磁體以吸引潛水艇至岸者，大的磁體，其力誠能及於潛水艇，但磁體吸引之準確定律可使吾人立刻計算，知最大的人造磁，欲實現此種幻想，還是相差遠甚。此類問題，俱須計算方能解決。物理學家之計畫一個實驗也，亦須先行估計其所期結果之值，以察其所用方法是否相宜；而學說之每一進步，均有賴於以前許多不避勞瘁者之量度工作，如相對論本身，雖為一個完全依照

邏輯的構造，但其起原，則由於不能覓到實驗證據，徵實當時通行學說中之一數理的結果。

茲將略述物理學之範圍，及其與他準確科學之關係。物理學所研究者，屬於非生物界之物質的方面，特別關於物質本性不變之諸過程。設物質本性發生變化，如銅與硫酸化合，成硫酸銅，則其研究屬於化學。再確切的言之：舉凡不變本性之物質，以及各態之能與各種之輻射而研究之，是為物理學之特殊範圍。物理學教科書中常分為下列數組：物性學（所含科目，有重力、彈性、各類摩擦、力及液體諸性質如表面張力等）、熱學、光學、聲學、電磁學。此種分組為任意的，即各組間內容之分配亦為任意的。物理學求物質性質與輻射作用之準確定律，最不含渾，且有數理上之嚴密，故較其餘實驗科學（註三）為最主要。對於其餘科學，物理學俱有貢獻，其餘科學牽涉物理學之處愈多，彼等本身亦愈準確。他科學與物理學之關係，吾人茲可舉數例以顯之：

物理學各部分固有賴於數學，但從物理之研究，如熱之傳導等，亦可使應用數學中得到新方法。幾何學，特別為非歐幾何學，與相對論有深切之關係。測定重力，雖為物理學分內之事，但對於天文學非常重要。天體物理學為研求天體（特別為太陽）之化學成分及其物理性質之科學，不過

將地面的物理學應用於天體之上。化學中研究各化合物溶液之電性等事，因與物理學有特殊深切關係，遂爲之另闢一科，名爲物理化學，此時研究此科者不下數百人。對於有機化合物分子內之原子組合及其排列，物理學家應用X—射線，獲得許多重要結果，是爲物理學與有機化學之關係。又化合物今已公認其爲電力，是則物理學在普通化學中亦佔有主要位置。結晶學亦有賴於晶體構造之X—射線分析；因之礦物學與物理學亦有關係。在地質學中，關於地球年齡問題，物理學家有許多工作；放射學對於此問題，尤有特別貢獻。植物學及醫學對於物理方法之需要，亦日漸加增。甚至於語言學與物理學亦有關係；因研究發音，須牽涉口腔與喉頭之共鳴及與此相類之各問題。氣象學爲研究氣候之科學，其所有結果均根據物理學而來，特別關於大氣電學之各方面：如雨點長大時及分離時所發生之電的效應等。關於地球，新有地球物理學，研究地震之傳播及北極光等問題。至於物理學在工程學上之應用，更不勝縷述；且盡人皆知，亦無縷述之必要。總之，物理學的方法每年有新發展，新成功，而由物理學所創造及完備之儀器（如顯微鏡、望遠鏡、電流計等）日見其用途之擴大。

從物理學的見地，吾人對於某種事物稱爲有些知識時，必須吾人能精密量度之，幷能在數個基本原理之下，覺得其與他種事物之準確關係；譬如吾人對於各種質料之熱容量，稱爲有些知識；意卽爲吾人能量得一單位重量之某質料溫度升高一度時所需之熱量；如以水爲標準，卽以單位重量之水溫度升高一度時所需之則此熱量稱爲此質料之比熱；猶以水之密度爲標準時，各物體之密度卽稱爲彼等之比重也。每種質料，其比熱有一確定之值；如鋁在尋常溫度時之比熱爲 0.219 。又各種質料之比熱，與其彈性及化學成分，吾人知其有基本的關係。次說陶土之受範性：陶土之有價值，因其有受範性，陶工憑其經驗，可一觸而知陶土之宜於工作與否；從物理學的見地，吾人對於受範性，幾乎毫無所知，因此時科學尙無法可量其受範程度之大小而與以確定之數字，如某種陶土比他種陶土受範性大 1.50 倍是（此種數字如能量得，吾人可稱其爲範性係數）；因既不能量度，吾人更不知範性與其他性質有何關係。總之，欲得任何物理的知識，首須量度。

由上所述，吾人顯然需要數個基本概念及數個基本定律，猶競技者必須有數個基本規則也。如打球者遵規則而離局，詢其理由，則祇爲依規則須如是而已；如欲以離局者之髮色，或空氣之溫

度解釋之，則妄矣。常有人問「電爲何物？」此問語爲同一無意義。問者或未會計及其所需者爲何種之回答乎？電爲物理學中基本概念之一，吾人有時以電解釋液體諸性質，現代物理學或已認電力爲一個基本概念，但欲以電爲一種液體或一種已知之力，則妄矣。物理學家能告汝彼對於電荷之意義如下：當物體在某種情形之下，能互相推斥或吸引，敘述此種情形時，因欲簡單起見，遂稱此種物體帶有電荷，彼并能告汝關乎電之種種事實：如電荷在靜止時及在運動時之各種性質；運動的電荷與磁性之關係；在何種情形之下，方有電能流動；電能如何可變爲他態之能；諸如此類，不勝枚舉。但正當之問語應爲「電作何事？」非「電爲何物？」前者有明確意義，可以置答；後者乃一含渾之問語，問者實未會將其所欲知之事明晰道出。如果問者之意爲「能否將關於電的已知之各事實，用比較基本之具說明之？」則當簡直答之曰：「否，物理學中，吾人必須有一不踰之限，此如果不是電，當亦爲一個別的概念。」

物理學所討論者爲何種知識，已粗述之矣。茲將略說物理學中之數個賅括的結果。

(註一) 原子說當在第七章討論之。此處所見之數個術語，在彼處另當解釋。

(註1) Les causes primitives et nous sont pas connues; mais elles sont assujetties à des lois simples et constantes, que l'on peut découvrir par l'observation, et dont l'étude est l'objet de la philosophie naturelle

(註三) 此處所稱實驗科學，天文學與數學不在其內；因天文學爲觀察的科學，非純粹的實驗科學；數學雖對於物理學極重要，但亦非實驗科學。

第二章 熱與能

物理學各部分鮮有不涉及能之觀念者，視物理學為研究能及其變化之科學，實極確當；但能之廣義的觀念發展較晚，能量不滅之原理至一八四七年始發表，其所含之意，有如下述：

當一力作用於一物體之上，物體因而運動時，吾人謂有工作做成，用物體運動方向之力，與物體所經之距離相乘之積以計所作之工；例如工程師以呎磅（註一）為其計工時所用之單位。無論何物，能做工作，吾人稱其抱有能量；能量如有變更時，即以所作之工計其所變之量。

在力學中，固體、液體或氣體所抱之能，分為兩種；一因其運動而有能，是為動能；一因其位置而有能，是為位能；此兩種之能，吾人總稱為機械能。譬如空氣因運動而成風，風遂有能，可驅動風車作工，空氣經過車翼之後，速率較前為小，動能因之減少，其所損失之動能，大部分變為風車所作之工。依同理，水流經過水輪機而速率減少，蒸氣流經過蒸氣輪機而速率減少，水流與蒸氣流所損失之

動能，變為引擎所作之工。如以鎗彈連擊一巨大之木製輪翼，設此輪翼裝於一適宜機器之上，則用鎗彈之動能，可轉動輪翼，而使一引擎作工。使鐘表作工之能則為位能；舊式之鐘，開足之時，有一重物在其上部，重物因重力而漸下墜，位能亦因之而漸漸消失；如用彈簧，其理亦同；開時，將彈簧盤緊，同時須工作以抵其應力，因而彈簧儲有能量，彈簧漸漸弛放，此能亦漸漸消失。又如遊戲場中之峯形鐵路，當車在軌道上之最高點時，因其儲有位能，故一縱即自動的下坡。

依上節末段所言，位能可變而為動能；其實動能亦可變成位能，峯形鐵路之車，即其最佳之一例；當車下坡時，速率漸漸增加，至其所能到之最低點而後已。此時，其位能為最小。當其重行上坡也，位能漸漸增加，而動能則漸漸減少；如無摩擦，其上升之高度當與其出發點之高度相等。在此高度時，其速率當完全消滅而停止上升。但實際上，車到峯頭時，其速率幾盡，而峯之高度卻常低於出發點。此時，彼於下坡時所得之動能，消耗殆盡，而其所獲之位能則小於出發時所有之值。表面上似有一部分之能量已歸消滅；其實，此部分能量用於抵抗軌道上、輪軸上及其他種種之摩擦，但不十分顯著耳。了解此部分能量之經過歷史，為十九世紀物理學中最重要轉機之一。

動能位能可互相變易之事實，昔時固已知之；且因此承認力學爲一準確之科學。發表能量不滅原理時，吾人所獲之大進步，則爲承認熱爲能之一態。機械能，表面上似因摩擦而消滅，但同時即有熱發生；如機器軸承不潤滑時，摩擦甚大，人皆知其有熱發生，且各部分愈壓緊，所生之熱量愈大；但通常所生之熱量，往往極微，人皆忽視之。物體下墜時，動能漸漸增大。當其着地時，運動消滅，動能亦消滅。此時，物體與地當較前略熱，但其所生熱量不大，難於察覺耳。然亦有生熱甚大者，如巴取冒司（七）船廠中鑿孔之機器，因所鑿之鋼版極厚，所需之工自必極大；工人常以其胼胝之手，戲拾落地之鋼塊以示人，參觀者如不經意，必炙其手。由此可知能量並未消滅，不過呈現爲熱而已。

焦耳（八）首先證明熱與機械工之等值；即無論何處，機械工表面上如不見着落時，例如前面所說抵抗

摩擦時所作之工。不僅有熱發生，且其所發生之熱量，與外似消滅之能量適成比例。變化爲熱之工，可

由各法做成之：如將兩金屬體摩擦，或將水攪動，（註二）或用電學上方法（此對於吾人頗重要），即以電動勢驅使電荷通過一導線，即通常所謂使電流通過一電阻等等。熱既爲能之一態，故不僅工能變熱，熱亦能變工。吾人已知無論何處有摩擦即生熱矣（此處所謂摩擦，電荷通過導線時之

「摩擦」亦包括在內，電燈、電爐即其最顯著之例，而每一蒸汽機工作時，即有相當之熱量消失。周圍所得之熱量，連冷凝器所得者在內，比用同量之燃料而不驅使引擎時爲少；是蓋一部分之熱已變爲工也。

除上所述者外，尚有許多他態之能。譬若聲音，如第三章之所解釋，可視之爲機械能。光以及各種輻射，如X—射線及無線電之電波等，亦爲能之一態。輻射能之多寡，往往利用其熱的效應以量得之。設有一某波長之紅色光線，吾人欲知其能量，可將此光注射於一條塗黑的金屬片上。光抵此片，幾乎全被吸收，其能變而爲熱；因之金屬片溫度較前略高。溫度微升之值，可用電學的精密方法量得之。溫度上升時所需之熱量，則可由計算而得之。與此熱量相當之能量，即爲此光之能量。以熱爲能之觀念，遍及於近世物理學之各部分，是不過爲其又一例而已。無線電電波之能量，亦可以其熱的效應量得之。

吾人已知熱爲能之一態，又機械工常可變而爲熱；其實此種變化，隨時隨地，皆可見之。巖間之瀑，洶涌奔瀉，終乃被阻而變爲旋渦與水沫，其所失之動能，則表現於水温之微升；寧靜之洋，常冷於

有風波之海（假定二者對於其他情形彼此相同）；又如流星入大氣時，其運動受障礙而成紅熱；類此事實，不勝枚舉。至於與此相反之過程（即熱變爲工之過程），祇能在數個條件之下，可以發生。此種限制，不能指爲與前說矛盾；定量之工常與一確定之熱量相當，此處所稱之條件，對此並無影響；譬如吾人購買某種物件，須在一定時間及一定商店，此種條件，與物件之定價毫無關係。

熱與工之關係，爲熱力學所研究之問題；熱力學之字義，即爲熱與工率之科學。其所用方法之特點，爲無須注意於熱之本性（即熱是否爲分子之運動，或似膠類物之振動，或其他）。熱力學中所說者，僅爲吾人能用各種方法量度熱能及機械工，並有一階級觀念，名爲溫度，吾人能與以定義，并能量度之；此類量得之量有相互之關係，彼等必須遵守。研究之目的即爲尋求此類關係。其第一個關係，前已說及，即無論用何種方法，當工變爲熱時，或熱變爲工時，一定量之工必與一確定之熱量等值；是即熱力學之第一定律。因此定律爲物理學中之一塊拱心石，故吾人對於此點，不嫌過於注重。由此定律，吾人得知製造永動機之不可能。因如欲從一機器取得能量，必須從外面供給此機至少與其相等之能量，所供給者或爲機械能，或爲電能，或爲熱能均可。此定律雖祇爲吾人由積聚

經驗而得之結果，但種種細心可恃之觀察，無不與之相合；所有表面上之例外，細察之，俱可證明其不確。狂熱的永動機製造家出品，往往非常精巧，欲指出其推論之謬點，有時頗費思力。至今日而猶費時於計畫此種機器，思藉球、棒、槓、杆、抽機等機械之力，創生能量，（註三）是無異於組織探險隊尋覓物體自行上騰之地。此時，地球上尚有吾人足跡所未到之處，物體下墜之習性，尚無人在彼處徵實，是則儘可設想有物體上騰之地方存在。但果如此，則所有科學構造中之最穩固部分，俱被摧毀無餘矣。製造永動機之人（據予所知，此時尚有存在者）多爲自欺所犧牲，但集股設公司營此業者，亦頗不乏精明之輩。現在即興盛的企業家（註四）亦知能量之不能創生，遂頗有人計畫機器，欲以小量之能化爲大量，發表種種極動聽之僞科學解釋。但此與永動機同一違背熱力學第一定律，當然同一無效。

關於熱變爲工時所必須遵從之條件，第一定律中並未揭示。如吾人僅需服從第一定律，則可在一湖邊，裝置機器，引湖水之熱以做工作；但湖水必漸漸變冷，終必較其周圍各地爲冷。此事之不能實現，猶吾人不能隨意引湖水以驅輪機。因無較低之地爲水流注之所，吾人即不能利用此水。如

欲用水以轉輪機，水所原在之地，必須較其周圍爲高。對於熱之供給，亦同此例。如欲使熱變爲工，供給熱量者之溫度，必須較其周圍爲高。吾人不僅不能用湖水之熱，使變爲工（我擇湖水之理由，爲水之熱容量較石等爲大，又因水能流動，便於利用其熱）。若引擎房各部分溫度相同，鍋爐之熱亦不能使變爲工。如欲利用爐中所生之熱，必須有一冷凝器，其溫度較汽鍋之溫度爲低（註五）且汽鍋與冷凝器，溫度之差愈大時，熱變爲工之成分亦愈大。因此，所以近來竭力想法使所用之蒸汽壓力加大，因蒸汽之壓力愈大，其溫度愈高，即其效力愈大。僅蒸汽自己不能做何工作：在一個甚熱之行星上，其水盡成蒸汽，但不能使之驅一引擎，因其無冷凝器也。

熱力學第二定律之所指示者，即關於熱之此類性質；即吾人必須有不同之溫度，方可使熱變爲工；其溫度之差異愈大，可利用之成分亦愈大；其未經利用之成分，當然仍舊爲熱，因總計之，能量不能稍有減少也。熱力學第二定律，在工程學上之應用，自不待言；在化學及物理學之其他部分，此定律之用處亦極多。如具相當之小心，可應用之於宇宙，但必須十分慎重耳。於此吾人得一最好之例：即一個物理學說專爲某數類問題構造時，不能應用之於此類問題之外。熱力學兩個定律，就其

特性言，爲一種平均定律，其所根據之熱的量的度，均施之於包含不知幾千萬原子之物體，故對於一個單獨原子或少數原子之組合，吾人不能假定其可用。

餐館中置備食物之人，預先估計每千人須某物若干，某物若干，結果往往無大誤。但個人之食性，如某也一無所食，某也食過其分，某也祇食一味等，則不能從此估計而知之。設此置備食物之人，至一生疏之地，欲估計羣衆之需要，則其所用之方法，應莫善於將羣中之一人提出，觀其在各種情形之下，行爲何若，以此爲根據，估計其全羣之需要。吾人研究熱的問題，除上述之熱力學方法外，尙有一法，稱爲原子方法，與此估計羣衆需要之方法相似。此法與熱力學方法比較，有一弱點：即開始時需要比較的詳細之知識。譬如在工程學方面，吾人知熱力學方法通常已足應用，如涉及原子之行動，反致引起無謂之糾紛。但從另一方面觀之，如能得到所需之知識，吾人可進窺「自然」機器之動作，因而可細察普通現象之背景，以研究其混亂複雜之內容。原子方法之大優點，亦即在此。

從原子方法的見地，熱能不過爲物質的分子之動能（但有時必須添上分子之位能），試以氣質爲例：氣質由分子所合成；有幾種氣質，其分子複雜，有幾種比較簡單；但其直徑俱在一百兆分

之一英寸左右。分子間有比較甚大之空間。分子依各方向運動，其平均速率約每秒鐘數百碼。且時時互相碰撞，其速率因之減少或增加，所以自極大至極小各速率俱備。因之各個分子所有直線運動之動能，大小可極不相同。但如數兆分子一齊計算，則在一確定溫度時，其平均動能必有一確定之值。分子亦能由碰撞而旋轉，因而有轉動之動能，彷彿陀螺與鎗彈，旋轉及前進，同時兼有；所異者分子旋轉之軸線可有任何方向而已。分子多為數個原子由電力結合而成，與數個小球體由彈簧聯結者相似，所以原子能往復振動；因而分子可有振動之動能及位能，與擺相同。總之，每一分子擁有各種之機械能。

氣質之溫度愈高，其分子運動愈劇烈。確切的言之，即其平均的能量愈大。使氣質加熱時，其過程可想像之如下：盛氣質之容器與火燄接觸時，火燄分子之運動，較容器分子為劇烈，容器分子因火燄分子之撞擊，其運動亦漸變劇烈而能量增加。氣質分子與容器分子接觸時，亦受容器分子之碰撞而能量增加。如容器為閉口的，則氣質分子運動愈劇烈，其撞擊容器之壁亦愈力；是時即呈現壓力之增加。氣質在閉口容器內，加熱時壓力增加，吾人固所熟知。

液質之分子亦有動能，但不能如氣質分子之易於分析；因氣質分子在兩個連續碰撞間，有較長之直線途徑；液質分子比較稠密，其運動須受周圍分子力之制裁。至於固質，則每個分子因內聚力羈繫於一定地點，祇能在此地點往復振動，如被繫於彈簧之球。但無論固質、液質、氣質，其熱能俱由於分子之運動。

分子運動爲一不規則的運動。如吾人能注目於一個分子而追隨之，則當見其方向時時變易，毫無規則。如能將所有分子，同時警視，則當見各分子東西奔突，猶紛亂雜遝之羣衆，不似素經訓練之軍隊。設吾人將一物體從某方向推進，譬如將一木塊在桌上移動，此時木塊中每個分子，除其不規則運動外，尚有與其他各分子所公有之明確的運動。每個分子之實際的運動，爲不規則運動及公有運動所合成之運動。當移動木塊之時，吾人於其運動中，引入一部分的秩序。如僅將木塊一推，則木塊將因摩擦而停止。當其在桌上摩擦之時，吾人知其有熱發生。基上所說，熱之發生，即爲近摩擦面的分子不規則運動之增劇。易言之，吾人對此現象，從前謂爲機械能變而爲熱，此時可視爲推木塊時吾人所給與分子的規則運動之能，變爲分子的不規則運動之能。此爲「自然」之普遍的

趨向；整齊之運動常趨消滅，而代之以不整齊之運動。世間萬物，常趨於混亂之一途。

試舉數例以顯之：設室內有二物體，如爐火與櫃中之水，其溫度各異。爐中氣質分子之平均能量，較櫃中水之分子平均能量為大。如無外界干涉，爐中之火久必熄滅，所生之熱與室內各物共分之；所以室中各部分之溫度，終必齊等。此時設在室之一隅，取一兆個分子，在室之他隅，亦取一兆個分子，其平均能量必相等。用適當之機械，可使爐中之熱一部分變而為工；如使之驅動一個發電機以灌蓄電池，再用蓄電池以驅舊式之電動車。此時車之分子，均有一個外加的公共運動，所以此種運動帶有整齊性。設此車駛經若干距離後，電能將竭，復行駛回原處；此時蓄電池之能，必已損失殆盡。但吾人已返原處，一切情形，與出發前無異，蓄電池所損失之能，似無着落，是蓋盡消費之於抵抗車輪與地面間，輪軸與軸承間，及風與車身間之摩擦矣。此時，運動之整齊性完全消失；同時地面、軸承、風與車身均較前微熱（但除軸承外，增加之熱皆極微），即顯示不規則運動之加劇。此時可謂「自然」促使混亂之目的已達。對於世界各物之不規則的分子運動，人類不停的奮鬥，使參入對於人類有用之整齊成分。

設吾人所研究者爲目所能見之物體，其所含之分子，數必極大，則無論用熱力學之賅括定律，或用分子物理之個別方法，所得之結果相同。茲請設想所研究者爲分子本身，或極小質點。在一塊質料內，所有分子均在不不停的運動中；溫度高時，其平均運動，較其溫度低時爲劇烈。但在同塊質料內，吾人已知分子之運動有極劇烈者，有極舒緩者，用溫度計所量之溫度，祇能得一平均之值。吾人如能設法將所有劇烈運動的分子所合成之諸微粒，放在一處，所有舒緩的分子所合成之諸微粒，放在又一處，如是，則可將在某一溫度之物體分而爲二；如能測其溫度，此兩分物體當呈現不同之溫度。上述之事，吾人可用馬克士威（十一）之法想像之如下：設有一容器，內儲空氣，由隔板分而爲二。隔板上，鑿有小孔，上置滑門，以一伶俐的微生物司開闔之事。當彼見有迅疾的分子從右向左來，卽開門讓其通過；見有舒緩的分子從左向右來，彼亦開門讓其通過。不多時，所有迅疾的分子均集於隔板之左，舒緩的分子均集於隔板之右。左右兩部分之分子，其能量自當重行分配，但迅疾分子所在之部分，其平均能量，必較大於舒緩分子所在之部分；兩部分之溫度，遂亦不同。又滑門，可想像其爲無限輕及無限潤滑，故無需乎微生物之工。是則從某一溫度之物體，可無工而得兩個物體，其

溫度各異。有此兩個溫度不同之物體，吾人可役使一引擎。但此事與熱力學第二定律衝突，因依此定律，吾人不能從原有同一溫度之物體而得工也。其解釋何在乎？

吾人須知熱力學定律，祇能應用於目所能見之物體；又吾人不能役使微生物，亦不能直接與分子個體交涉。如果吾人能控制分子，又如果吾人能不藉工而可干涉「自然」之混亂趨向，則吾人可違反第二定律。如上述餐館置備食料之事，設負責備之責者，能與其一千食客，一一與之面商，則彼對於各種食料預備之量，自由其任意操縱；但事實上，不能如此，彼祇可憑其平日對於羣衆需要所得之經驗，以預計各物應備之量。物理學、工程學、化學中之尋常定律，俱爲分子羣衆行動之定律。

如用分子觀念想像各事，吾人須引入或然之意義以代定然。設在空中懸一錢幣，不知有若干兆兆之分子，在錢幣之周圍有不規則的運動；有極速者，有極緩者，有向上者，有向下者，其結果爲各方面之撞擊平均相抵；故錢幣在所懸之處靜息不動。設有一時刻，在某方面分子撞擊之次數較其他方面爲特多，譬如如此方面爲錢幣之下面，錢幣當向上跳躍。設有人問：由分子撞擊而生之壓力，在

某方向較其他方向特大，此事是否爲不可能？又問：拋擲錢幣一萬次，落下時須有六千次以上爲花紋向上，此事是否爲不可能？對此二問，其答語均爲「事並非不可能，但其可遇之機會極小。」如第二問所說之事，其可遇機會之微小，須含有八十七個○的數字與一之比例以表顯之；兆分之一一的機會，對此成爲極易遇之事矣。實際上，吾人可稱此種之事爲不可能；但從哲學方面觀之，不可能與機會極小，純爲二事，不能混而爲一；熱力學中對於類此之事則概稱爲「不可能」。

對於拋擲錢幣之例，吾人可再進一步：設錢幣祇拋擲一百次，落下時須有六十次以上爲花紋向上，其機會之微小，是否同前？否，此番機會極大，爲三十三與一之比例。如祇拋擲十次，落下時須有六次以上爲花紋向上，其機會更大，約二與一之比例。依同理，吾人可設想一個極微質點，其直徑比一個分子的直徑，長約千倍，懸於液體，或氣體中。質點可從某方向受其周圍分子撞擊之力較其相反之方向爲大，且其相差之巨，足使發生一可察覺之舉動。此事機會之大小，吾人可從計算而得之。大小如上述之質點，用強度顯微鏡，即可觀察。依計算所得之結果，用顯微鏡應可觀察此質點受周圍分子撞擊所生之不規則運動；且質點愈小，應愈活動。至於肉眼所能見之微體，置在靜止無流

之液體中，有此種運動之機會極微，無觀察之希望。

如果吾人以熱爲分子能之觀念真確，則用顯微鏡應可見到此種極微質點在液體中之不規則運動。事實上，此種運動，在其理論的意義尙未明瞭之前，早已發現：約百年前，英國植物學家布朗（十二）發現在某種植物液體中，有極微質點，不停的擾動，四向竄突，毫無規則，其所取方向，亦絕無相互之關係，不似日光中微塵，依空氣流動之方向而飄流。對於此種運動所有各種膚淺之解釋（如因房屋之震動，或因光而生之流動等等），至十九世紀末，根據種種實驗，始斷定其不確。最後，畢漢（十三）實行有系統的量度，視極微質點爲一種極大之分子，不停的爲其周圍尋常分子所碰撞（猶伽利華（十四）之入小人國，須受其羣衆之指揮見伽利華遊記（十））。彼用一滴之水，內置藤黃，藤黃在水內摩擦，成爲極微之角質球體。畢漢用其量度所得之結果，加以計算，不僅能顯示此種質點之運動，完全可由熱運動解釋，并能推出某重量之質料所含分子之數；如一英兩之水，所含分子之數，略低於一兆兆兆個；若一一徧數之，則合全世界男女老幼，每人每秒鐘數五個，晝夜不舍，須四百萬年方能畢事。此數字已有根據他原理之各試驗徵實。

由上所述，則在一液體中極微質點，可由分子之撞擊而向上升騰。設有一微生物，建築一屋，彼可坐待磚瓦自向上送；磚瓦所需之能，盡取之於液體之分子能，即熱。所以當微生物建築完成之時，液體應較前爲冷；因有一部分之熱，用以使磚瓦上升也。此微生物顯然違反熱力學第二定律，但亦無害於吾人之論點；因熱力學第二定律，祇適用於包含大量分子之物體；若吾人能役使生物，其微小足以干涉分子之機構時，此定律固已知其不能應用。質點愈大，因分子撞擊而生可覺的運動之機會愈小；如爲一塊肉眼所能見之磚，則或須待幾百萬年，始能遇其上躍一次。機會雖極少，但吾人不能說此事爲絕對的不可能。

用此種統計的方法考察物理問題，同時視吾人尋常所觀察者盡爲一種平均的效應，欲將尋常觀察所得之性質與定律應用於個別分子之上，須特別慎重；此類觀念，在現代物理學中，頗爲重要。譬如能量不滅定律，對於尋常觀察，處處適用；至近時，頗有人疑其不能適用於原子內進行之過程。此雖爲一個可以辯論之點，但同時亦可表顯物理學家之一種慎重的態度，亦即懷疑的態度（幾可稱爲怯懦的態度）。科學思想中之有此種態度，則爲近十年來吾人遇到許多不能解釋現

象之結果。有一時期，設一定律能有廣大範圍之試驗徵實，吾人即視此定律爲可普遍的應用；至今日，則極端注意於辨別觀察所得之事實，與解釋此種事實之推測步驟，力使理論專以對付事實爲主旨。在本世紀之初，竟有反對原子說者，因當時對於原子及原子擾動之存在，尙無滿意的直接證據。逮後關於布朗運動之實驗發表，繼之以其他基本實驗，始承認原子有客觀的存在，與他物之有客觀的存在者相同。

在尋常情形之下（特別在尋常溫度之下），關於熱及原子運動，上面所述者均甚適用。但在極高或極低溫度時，吾人遇有各種新奇之現象焉。近三十年中，低溫度之技術非常進步；大半由荷蘭來頓（十六）翁耐司（十七）教授之力。現時所能得到之最低溫度，已距離絕對零度不到一度；所謂絕對零度，係一個重要觀念；即代表一個溫度，吾人不能想像可得較此爲低之溫度。欲詳細討論此事，則須涉及制定溫標之問題。制定溫標之事，似易而實難，在低溫時尤難。譬如說：「在溫度計中水銀有相等之膨脹時，即爲溫度有相等之上升。」此語實無濟於事。因如用他種質料以代水銀，吾人所得之溫標，當與此微異；爲何不用他質料，而單與水銀以特殊地位使作標準，並無特別理由；且

水銀在百分標零下四十度即凝固，在此種低溫時，水銀即不適用。由理論上的緣故，理想氣，不像尋常氣質要液化，實爲量溫度之正當質料。實際上雖無理想氣存在，但吾人可計算其與實地的氣質有若干差異，猶吾人可量度一固體，以觀其與理想的完全剛體相差爲若干。以理想氣所製定之溫度與水銀溫度計相比較，如分度相同，及在可用水銀之溫度範圍內，其差異並不甚大。但理想氣冷至某一溫度時，其體積縮小至零，此溫度即所謂絕對零度，吾人所以不能想像有較此爲低之溫度者，即因吾人不能想像有一物，其體積可小於零也。如用百分標，絕對零度爲冰點下二百七十三度，水之沸點爲冰點上一百度。

在翁耐司實驗室中所得之極低溫度，所有氣質，俱先液化而繼之以凝固。掙扎至最後者爲氦；至一九二七年，卒將此氣凝固。凝固時之溫度，高於絕對零度不過一度左右。量某質料之比熱，吾人應可知此質料分子能之梗概。所奇者，在極低溫度時，比熱幾等於零。例如一磅之鋁，在絕對零度上三十度時，使其溫度上升一度，所需熱量，祇須其在尋常溫度時上升一度所需熱量之二十五分之一。低溫時比熱極微之事實，在量子論中頗爲重要，將於第六章討論之。

在極低溫度時，有許多金屬，其電阻幾全消失，吾人可稱之爲電之超導體；超字（十八）（電影大王習用此字，但往往名實不副）用在此處，實極確當；長千英里之鉛線，在絕對零度上五度時，其電阻與在尋常溫度時長一英寸同樣粗細之銅線無異。研究此種現象，爲物理研究中最有興味者之一，因滿意的學說尙待尋覓也。事實上，在極低溫度時，物質的各種性質均呈奇異及富有興味之象。

在溫標之伸端，吾人似可設想溫度漸漸增高不過使分子運動漸加劇烈，氣體在高溫時之各性質，不過爲其在低溫時各性質之一種自然的引伸。舊時見解，卽是如此。吾人此時已知此說之正確。因不能視分子爲一球，增高溫度，可使其運動之速率無限的增大。溫度高過某一定點時，分子卽開始碎裂，分離而爲原子；猶膠合之一組小球，加以猛擊，球卽四散。溫度如再上升，各原子自身亦開始分裂，其電子逐組離去，直至氣質內所餘者，祇有原子核及無所隸屬之電子。（註六）地球上所能得到之最高溫度，祇能使原子內數個電子脫離；如欲將原子內所有核外電子盡行脫離，祇留一核，其所需之高溫，祇能在熱的恆星上得之。原子因互撞劇烈而碎裂，此觀念在天文學中頗屬重要；因

星之內部，溫度常在百分標四千萬度左右，在地球上所能得到之最高溫度，不過數千度而已。於此，吾人將重述前語：卽在某種情形下所得之定律，如應用於他種極不相同之情形時，必致引起嚴重之困難也。對於高溫，吾人不得不涉及原子構造問題。熱學中之較舊定律，祇顧及尋常物體之性質，在所謂工程學的條件之下，可以適用，對於解釋極高溫度時之熱輻射，及極低溫度時之熱振動諸問題，俱嫌不足。此類問題，此時暫置不提，俟將近時之意見略爲申述後，再討論之。

（註一）稱之爲「呎——磅重」似較正當，因所用之力爲磅之重力也。

（註二）尋常將水攪動，譬如將一杯茶攪動之，所作之工不多，所生之熱遂亦極微。至於熱茶攪之反涼，因有新面層與涼空氣及涼杯相接觸也。如用特製之容器及攪動器，可使攪動器轉動較難，需工較大，而所生之熱亦較多，可以量到精確之值。梅耶爾（九）爲最初認識工熱等值者之一，約在一八四二年，以此意語其友喬里。（十）喬里固不贊成此說者，謂之曰：「依汝意，則將水搖動之，當加暖耶？」梅耶爾不語而退。逾數星期，復造其友之室，突然告之曰：「竟如此！」彼意其友在此數星期內，亦猶彼專注意於此，心中未曾想及他事也。此時梅耶爾已得有實驗證據：已由「自然」判決其是非矣。

（註三）讀者如對此問題，感有興味，可參考 Henry Dirck's Perpetuum Mobile or Search for Self-Motive Power 1861-70。此書詳述一八六〇年止之各種永動機歷史。但此書現時殊不易得，第二卷尤少見，惟最著名

自然之機構

圖書館中有之。

(註四)社會中此類之人，似最易於受欺。

(註五)如火車車頭等不用冷凝器之引擎，則利用周圍空氣以代之。

(註六)關於原子構造之現代學說，當於第七章討論之。

第二章 聲音與振動

在物理學中，幾無一部分不使吾人遲早（多數是早）要研究振動，研究波動，研究往復循環之過程如擺之運動等，此類過程，物理學家稱為週期的現象。所有週期現象，俱具有數個基本的特性；其最顯著者為週期，即往復一次所需之時間也。例如擺以一週期之時來回一次；飛輪以一週期之時旋轉一週；提琴之絃，當奏某音時，以屬於此音之週期往復振動一次；無線電電波，即磁力及電力之週期的變化，在某一地點，同樣情形經過一週期之時而重覆。所有振動、波動及各種週期變化，俱各有其特殊之週期。有時吾人亦可說：所有週期現象，俱各有其特殊之振頻；所謂振頻，即每單位時間（譬如一秒鐘）所有全振動之次數。吾人如知振動之週期，即可求得其振頻；知其振頻，亦即可得其週期（譬如週期為十分之一秒鐘，則其振頻即為每秒鐘十次）。至於應用振頻或週期，則由吾人自擇。設振動極速，如聲音振動，或無線電振動，吾人常用振頻，因其較為方便也；譬如說其振

頻爲每秒 256 次，比說其週期爲一秒鐘的 $\frac{1}{256}$ 爲便。

聲學實爲研究實質物體的振動之科學。光的振動從太陽至地球，須經過無物質之空間，所以無論光之本性何若，總不是尋常所謂實質之振動。至於聲音之傳播，則必須固質、液質或氣質。月中之人或可見吾人所發之光，但決不能聞吾人之聲。固體之能傳音，舊冒險小說中之英雄已熟知之；彼等常貼耳於地以察來騎之蹄聲。在皇家學院（十九）汀達爾（二十）曾有一極顯著之實驗，表現聲音在木棒中之傳播。在其講演室之下，有一地室，講演室與地室之間，隔以兩層地板。一人在地室中奏鋼琴，有一長約三十英尺之木棒，豎立於鋼琴共振板之上，並使之穿過地板之孔而入於講演室。如置一木盤於棒頂，則鋼琴之音，在講演室中清晰可聞；是因聲音之振動經過木棒，使木盤振動，同時木盤傳其振動於空氣中。如置一提琴或筚篥於棒頂以當共振板，則此試驗更能動人。至於液體之能傳音，海水浴者當稔知之；因彼如將其首沒入水中，常能聽到遠處船舶之機聲。當歐戰時，常用奧妙方法以偵察敵人潛水艇之所在，利用其機聲由水傳播至特製之微音器。至於氣體，吾人已知聲音之入耳，尋常是由空氣傳達；但有許多簡單實驗，顯示他種氣質亦能使聲音通過。又從抽氣

機罩內電鈴之舊實驗，吾人知真空不能傳聲。試驗時，將鐘機發聲或電磁發聲之鈴，以極細的橡皮帶，懸之於抽氣機之罩內。當空氣漸漸抽出時，聲音即漸漸微弱，終至毫無所聞。試驗時用細帶懸掛者，因細帶不易傳聲之故；如將鈴置於罩底的板上，則聲音當從其架通過至桌，而傳達於室中之空氣矣。

聲音之研究，包含三個部分：一為發音體之作用，是即振動之研究。一為聲音從音源至其被覺察處之中間經過情形，是即波動之研究。一為耳之作用，則屬於感覺器作用之問題。耳之感覺聲音，自不能不涉及物理方面的考慮，但人皆視作生理學分內之事，故此處亦置之不提。至於音之起原，吾人有幸，可直接觀察其振動之情形；對於光，吾人即不能有此。當一物體之發出一個樂音時，其振動之頻率，雖屬甚高（譬如中C音，每秒鐘有二百五十六次之振動），無助之肉眼不能追隨其舉動，如提琴之絃，或音叉，當發音時，即模糊不可辨，但有許多方法可分析其振動之式樣。

音之高低，由每秒鐘的振動次數而定，毫無其他關係。譬如中C音，無論其發於管風琴，或提琴，或鋼琴，均為每秒鐘有二百五十六次之全振動，不過對於管風琴，其振動者為管內之氣柱，對於提

琴或鋼琴，其振動者爲絃線而已。因此吾人對於蜂蚋等之翼，亦可求得其每秒鐘振動之次數。法將一根絃線調整，使其所發之音與蟲聲相合，然後或從絃線之長短、質量及引力，以計算其每秒鐘振動之次數，或用他法。如聽者之耳曾經練習，能確定蟲音在音階中之位置，則問題可立即解決，因音階中各純音之頻率，吾人已知之也。設一蜜蜂發出在中C音下之G音，吾人知其翼每秒鐘振1500次；又設一蠅發出在中C音上之F音，吾人知其翼每秒鐘約振2000次。

音之強弱，由於振動之強烈與否而定。絃線或他種發音體，離開其靜止地位愈遠時，所發之音愈強。音之特性，德人稱之爲音色，則由振動之特性而定。因有此特性，吾人可區別兩個不同發音體（譬如喇叭與鋼琴）所發之音。雖其所發之音，強弱高低，盡屬相同，譬如同爲中C音，且一樣的響亮，吾人亦能辨別之。設有甲乙兩個發音體，甲振動時，來回運動皆以恆速；乙則如擺之運動，然經過靜止位置時，速率最大，趨向兩極端時，速率漸漸減少。此兩體所發之音，即各有其不同之特性。物體振動之特性，均呈現於其所發聲波之形狀中：因一發音體（譬如一條絃線）在空氣中所發生之種種擾動，俱一面產生，一面即刻以聲音之速率傳開。光波及無線電電波亦然；發生波動的振動之

各特點，必俱在波之形狀中一一呈現。但光之振動體爲原子，所以吾人不能直接考察其振動體，祇能從其所放光波之形狀，以推測其舉動而已。

常人往往驚訝一塊小膜片之運動，如留聲機音箱中之雲母片的運動，能將樂隊所同時齊奏之絲、竹、金、鼓的複雜聲音，依樣重放。僅就一個樂器而論，聲音已極複雜，因除去定樂音高低之基本振動外，雖簡單如絃樂器，尙含有數個諧音（如基音之倍頻，倍頻之 $\frac{3}{2}$ ，倍頻之 $\frac{4}{2}$ 等等），練習之耳能覺察之。因此種諧音之頻率爲基音頻率之整倍數，如二倍、三倍、四倍等等，故基音之週期適含各諧音振動之整數。一個完全的循環所需之時間，卻等於基音之週期。故諧音所生之效應，僅能改變振動之式樣而已（例如在週期內，振動距其極端尙差一半之時候爲其變遷）。人耳有分析音波之力，能將複雜之波形，分成幾個最簡單之部分，檢出同時發聲之各諧音。於此有可注意者：即人目無此種分析之能力是也。如白光，可將所有各色以適當比例配合而成；亦可僅用二色，或三色，或三色以上，以適當比例配合而成。雖所用方法不同，但最後所得之白光，能使人目對之不能區別。又人目對於混合色，如不藉儀器之力，不能覺察其所配成之各種純色。

由上所說，可知被拉之絃線所產生者爲具特殊形狀之波。依同理，設有多數樂器，同時發音，其所產生之波，形狀當更複雜。但無論有多少不同之音同時進行，在空氣中之某一地方，其結果祇能爲一個舉動。一個空氣質點不能同時佔兩個地方。在某時應在某處，則由所有經過其原在地點之各種聲音所合成的效應而定。譬猶一個商店，無論其交易手續如何紛繁，無論其收買若干，出售若干，但在任何時刻，結算帳目，其結果則祇爲一個確定的總數；至於此總數之所由來，固非細心分析不能知也。樂隊奏樂之時，空氣諸質點受各種推引，無論在何時刻，各循其結算所得之結果而運動；在空氣中遂發生一形狀極複雜之波。此波入於耳內，卽由耳分析之；聽者練習工夫愈深，則其分析愈完全（假定其他情形相同）。製造留聲機的唱片時，以一針鑿屈曲的凹痕於片上，針之運動，另由一膜片管轄之。膜片遇各樂器產生之複雜波而震盪，同時使針紀錄其運動於唱片。留聲機放音時，唱片上之凹痕使音箱中膜片發生與前相同之運動，其所產之波，形狀與樂隊在製片時所放者絲毫無異；入於耳內，所生之結果自亦相同。

於此，吾人應略論波之本性。衝擊海岸之波，抵岸卽裂，此類之波，不能用之以比喻物理學中所

稱之波。從物理學的立場，最佳之例樣，爲投石於池所生之紋波，或海上不受障礙之長波；其特點爲在某一地方，波所經過之介質（如空氣、水或其他）有週期的運動或擺動，而無向前推進的運動。小孩觀其池中之舟因無風而停止進行也，常遙擲磚石於舟之彼面，欲其所生之波，使舟迴返，應領略上述之特點。（但似無益）因波抵舟時，祇能使之上下擺動，不能使之向前推進也。又浮於水面之木塞，遇有微波經過時，輒上下擺動，不能隨波峯以俱進。由是，可知水面前所傳播者僅爲波之形狀。

再舉一事爲喻：設有兵士一隊，排成長列。從其右端整齊之。如右端之兵向前略移，則在其左之各兵依次陸續向前略移；此時呈現一個微波，從列之右端趨向列之左端，而各個兵士並無自右向左之舉動。再設右端之兵進退不已，且每進退一次，時間均相等，設每兩秒鐘進退一次，則吾人得一完全例樣以表顯一個波動，波之頻率爲每分鐘三十次。每個兵士在其本位亦每分鐘進退三十次，但其舉動較在其右者微爲落後。此時如令彼等舉動突然停止，則彼等站在一個波形的曲線之上；其地位相等，進退同向之諸兵士間，隔以相等之距離，吾人稱此距離爲波長。設波狀的運動，繼續進行，在某一時刻，有一兵到達其最前位置；稍遲，在其左邊之兵到達彼的最前位置；依次遞推，各兵俱

陸續到達其最前位置；宛如最前位置向左進行。此與一個波峯之進行相當。

在上設之譬喻內，每個兵士之舉動，與波之進行方向正交，亦即與彼等所排之列正交。此類之波，名爲橫波；無線電的電波及光波均屬此類之波。當電波或光波進行時，有一電力及一磁力，其方向與波之進行方向正交，其強度則有週期的變化。設吾人能懸一個無限小的電荷而窺其動作，再設有一電波（註一）經過我室，由北而南，則此電荷受週期電力之影響，當沿垂直線上下擺動，如木塞之在水波上然；再設吾人能有一個無限小的磁極，此磁極受週期磁力之影響，當沿水平線東西擺動。至於空氣中之聲波，則非橫波，請再想像吾人之兵士，此番將彼等編成一縱隊。每兵之兩手放於其前面的兵士之肩上。設有八將立在最後之兵用力一推，彼當向前略進，同時并推及其前面之兵。依次遞傳，呈現一個擁擠狀態沿隊線而進行。再設有人將最後之兵用力一拉，彼當向後略退，同時并拉及前面之兵。依次遞傳，呈現一個牽挽情形沿隊線而進行。如最後之兵不停的前後搖擺，則擁擠與牽挽，輪流不停的沿隊線而進行。空氣中之聲波，即有此種景象：緊擠與稀疏，相繼前進。其前進之速率，即所謂聲音之速率。空氣質點則沿聲波進行之方向前後擺動；此類之波，吾人稱爲縱波。

在氣體或液體之內部，吾人祇能有縱波；因雖將質點排至一邊，但無力引之使返，致不能發生振動；如絃線被拉，卽有此種之力。至於線，吾人可有橫波；如將長繩之一端搖動之，卽可見有橫波發生。在一根長棒上，吾人尙有其他形狀之波，如扭轉波等。空氣中聲波之形狀，彷彿遵從指揮各質點進退之訓令而成。如質點能往復振動如擺，則吾人得一最簡單之波；但有時，質點可有不規則的躍動，因而比遵從規則之波動或稍過於前進，竟或過於前進之後，復繼之以過於退後，彷彿與縱隊中的兵士，除前後搖動外，每人突患一陣震顫相似。

在波動中，質點雖無離其振動區域而前進之舉動，但運動的狀況則依波之進行方向而前進。如最後之質點振動不息，其餘質點亦振動不息，設最後質點振動停止，則當其最末舉動所發生之波經過某一地點時，在此地點之質點，此後卽無運動。由是，可知波之前進，挾能量以俱進。設我以手在水中上下移動，能使二十碼遠之木塞上下搖擺；其能量，顯係我手所供給，由所生之水波傳與之。在我手下之水，並未遠揚，惟運動的狀況與波俱散而已。故各類之波，均有能量依波之進行方向而流。

在聲波中，空氣之前後移動，及其壓力之變易，常極微小。設有一波，其壓力之最大變易，不過大氣壓力百分之幾，其質點振動之最大範圍，不過一英寸百分之幾，其聲已清晰可聞。由此可知尋常聲波之能量極微。設有一種材料，其抵抗壓縮之彈力極強，譬若尋常之液體，但如加極大壓力，亦可使之振動，且其振動亦不至過於微小。如使聲波經過此種材料，則可有大量之能注入波中而與之偕行，惟途中略有消耗而已。遵此原理，康司但丁納斯古（二十二）計畫一個組織，使波動經過管中之液質以傳能。其所用之波動，實際上即是聲波。發波之一端，有一引擎，推動一小活塞，使有往復極速之運動。引擎所供給之能，即欲以波動傳遞者。茲請舉一實例以顯之：發波之一端，用十個馬力之發電機；活塞之全徑約一英寸半，其動程為一英寸；每一往復間所得最大之壓力，為每方英寸 200 磅。聲波頻率增加時，假定其他情形相同，其能量增加極速；因質點振動之速率與頻率成比例，而能量之大小，則由於速率平方之大小而定。所以活塞往復之頻率，在可能範圍內，愈高愈妙。（在上述之特例中，活塞每秒鐘往復四十次，是即中 C 音下三均內 E 音之頻率）活塞所生之波，沿管線而進行。在上舉之例內，管長為 250 英尺。在管之他端，另有一活塞，與發波之活塞相似。管中之波

抵此，推之吸之，可驅策任何引擎。其所用之能，除小量的摩擦損失不計外，等於發波處所注入之能。於此有須注意者：當發波之活塞前進時，管中之液，並非全部齊進而推他端之活塞；不過接近發波活塞之處，因液體之惰性，變成緊縮區域；此緊縮區域通過管中之液，而推動他端之活塞。依同理，當發波之活塞後退時，產生一個低壓區域（亦可稱爲液體伸張區域或液體引伸區域）；此低壓區域通過管中之液而吸引他端之活塞。可知此爲一個純粹的波動，並附帶一個樂音，經過液體而傳遞能量。彷彿有一列之人，從某地出發；中有一組，每人攜帶一容器，內盛高壓空氣；其又一組，每人攜帶一容器，內爲真空。設攜高壓空氣之一人，到一個引擎之所在，聯其容器於其上，使高壓空氣推動其活塞。繼之以攜帶真空之人，亦聯其容器於其上，使活塞返至原處。再繼之以攜帶高壓之人，推動活塞。如此輪流不已，使引擎工作。康氏之法，礦內工作有用之者。迨歐戰時，始引起人之注意。時康氏利用此法，使機鎗之放射與飛機引擎之旋轉同步。機上放射之鎗彈，可使通過推進機而不傷其葉。以一盛液質之管聯於鎗上；引擎所發之波，由液質傳遞；因而可調整放射之時刻，使鎗彈常在適當之際通過。

人恆以波動傳能爲奇，其實乃一極平常之事。設有一根鋼製長棒，置其一端於鉸釘之上，用鎚疾擊其他端，即有一壓縮波沿棒而達於鉸釘以傳其打擊。此原理會應用於量度爆炸之能：用小量的炸藥，使其爆炸，並使其產生之波將置在遠處之一小塊金屬片擲離原處；金屬片之速率，可用簡單方法量得之。又鎚擊鋼鑿時，鎚之打擊，從鎚傳至鑿下之物，亦需時間；壓縮波從鑿之一端至另一端，約需時二萬分之一秒鐘。

聲波，除其所產生之更迭推挽外，尙能加一壓力於其所遇之面。設有一面，能將一聲波完全吸收，另有一面，能將此波完全反射，則前者所受之壓力，等於後者所受之半。事實上，各種波動俱有此種壓力，不僅聲波有之；不過波之能量極微時（不論其爲何種之能），其壓力亦極微。陳列於珠寶店或眼鏡店窗口之輻射計，係一真空玻璃泡，內有小翼一組，裝於支點之上；日光照之，旋轉不已。從前以此效應爲由於光之壓力，其實因泡內尙有殘餘氣質，此係一種熱的效應，非由光之壓力也。但光之壓力，亦可用實驗表現之。法將上說之翼，靈敏懸置，以代比較粗笨之支架，復將泡內空氣抽至極淨。然欲精密的量度光壓，非有絕大技能不可。用一懸置之圓板，聲之壓力，亦可表顯，但欲得一可

量之效應，聲須極強。

吾人討論聲音時，常提及光，因二者有數個相同之性質；此由於二者俱屬波動，不過光波爲橫波，空氣中之聲波爲縱波而已。又聲波之源係機械的振動系，在物理學其他部分中，亦有其類似之處，與電的振動系尤相似。因無線電話及無線電廣播之普遍，關於電的振動系，吾人已多熟悉。在一組容電器、電容、電阻及三極管之間，電荷以某頻率、某振幅及某種波狀而振動，遂產電磁波，從空間向外傳播；是猶在留聲機音箱內，一組質塊、彈簧及可屈質如橡皮圈等往復振動，產生聲波，由空氣向外傳播。電的音源與機械的音源關係之密切，有出吾人意想之外者。譬如在無線電振動器中之電感、電容、電流及電荷，與留聲機音箱中之質量、彈簧之屈性（註二）運動部分之速率及運動部分所經之距離，適各相當。類似之數學公式，可應用於兩處，但各用上述相當之意義。於數理的物理中，吾人常遇此類之通用；上述之事，不僅對此爲一美善例樣，於實用上亦頗重要。自一九二五年以來，留聲機之大進步，不僅爲製片時可用無線電器具，近數年所得關於複雜電路電振動之新知識，亦可應用於雲母片或金屬片受留聲機中所有各種影響之問題；音箱及喇叭之改良，多乞助於電振

動上數理之類似，學電振動者近來對此，固曾有非常徹底之研究也。近來頗有人以電學中諸量為比較基本而熟悉，因欲用之以解釋力學中諸量；但吾人多數似對於力學中諸量，比較熟悉。舊時，人常以質塊、齒輪製造力學的模型以解釋電之自感，上述之人，則以電之自感為一基本事實，無需解釋；且欲應用彼關於電之自感所有之知識，以解釋力學模型之作用。

聲學與無線電技術，現在是攜手並進，除上述者外，尚有其他直接的關係。用尋常方法，如用音叉，或用警笛，或用絃線，甚難得到極高之音，無論強弱，均屬不易。但用電學的方法，可使較厚的硬片振動，實際上所用者為石英晶體。當其變形時，恢復原狀之力極大，因而所發之音極高。伍特（二十五）曾用此法得到每秒鐘振動 300,000 次之頻率，有時竟可得到較此為高之頻率。此類之「音」，當然為人耳所不能聞；多數人能聞之限，約為每秒鐘 17,000 次之頻率（約在中 C 音上六均）。此種高頻之聲波，吾人稱為超聲波，每秒鐘振動數十萬次，能產生異常的效應。當此種之波經過液體或固體時，質點往復運動之範圍雖祇一英寸的幾十萬分之幾，但因其運動甚速，故波之能量甚大，遂有數個關於波動之性質過分的呈現。譬如上述之聲壓，如為尋常的聲波，則聲雖極強，亦須用極

精緻之儀器，方能察覺；但如爲超聲波，則其壓力有種種奇異之表示。如將產生波動之石英片，平放於一容器之底，器內盛油，石英片振動時，其所產生之波，經過器內之油，向上進行；同時，油而因聲壓而墳起三英寸，且有細碎油滴從其頂噴出；其壓力可支一個重六英兩之盤。超聲波之能，亦有奇異之表示：設有一細玻璃棒，一端浸入油內，其另一端則夾在指間，因指皮之面與疾振的玻璃面間之摩擦，可使指皮擦成一槽。再設有一尖頭之棒，如將其粗的一端浸入油內，其尖端可將木塊鑽成一孔。設有波，其波長爲一英寸幾百分之一（尋常聲音，波長以英尺計），則其對於生物的效應，亦甚奇異。此種之波經過液體時，液中之小魚及蛙即失其生命。生活細胞，因其內容物被擾動而破裂。此種之波經過血球所游泳之液體時，血球亦即破壞。

由上所述，可知從工程方面，或從物理實驗室方面，俱有方法可注大量之能於聲波之內。從工程方面所得之波，其頻率在聲波中比較爲低（但從工程的立場而言，則爲甚高）。從實驗室方面所得之波，其頻率與尋常聲波比較爲甚高，但與光波等比較，則爲極低。振動之各性質，均顯示於其所生之結果。吾人欲如在日蓮谷（二十六）以喇叭之聲墜城，見舊約爲期尙遠，但已有了一個開始。

- (註一)此處實已假定所說之液爲偏極化之液，此種簡單化，無損於吾人所述之概況。
- (註二)屈性(二十一)爲屈強性(二十三)之倒數，研究此門學問者稱之爲「順從性」(二十四)

第四章 光與輻射

設有一白光（如日光或電燈之光）經過一縫，成狹柱形，再使之穿過一稜鏡，則變爲一束的狹柱，張開如扇；當其投射於幕上時，形成一長帶；如中間不經過稜鏡，則呈現於幕上者僅爲一線，與縫相當，幕上之帶有色，從紅起，經過橙、黃、綠、藍、靛而至紫。兩色之間，由一色漸漸混爲他色，無截然之界限；帶之兩端，亦漸漸消滅，不能指其盡處之所在。是爲牛頓（二十七）所發現之白光光譜。各色之光，經過稜鏡，各從其原有方向偏轉一特殊之角度；光譜中之各線，各與偏轉某一角度之光相當。設從經過稜鏡之光，特殊提出一狹柱，譬如在黃色中心提出一柱，使其再穿過一相同之稜鏡，其方向又偏轉；所轉之角度，與此特殊之黃色光經過第一稜鏡時所轉之角度相同。經過第三稜鏡，或任何數之稜鏡時，均如此。此種現象，物理學家稱爲光之偏向。由是，可知白光本身，含有各色之光；且所含之色，種類多至無限。每種之光，可從其經過某一稜鏡時所轉之角度而標別之。說光之偏向時，吾人必

須說明稜鏡爲何種玻璃所製；因各種玻璃之轉光本領各不相同也。又稜鏡之角度，亦須說明；同類之光，經過六十度角之稜鏡時所轉之角度，較其經過三十度角之稜鏡時爲大。

用吾人之色覺，固可以光之顏色區別偏向不同之光；但用偏向之大小以表示吾人意中之光，顯較僅舉其色爲準確。因兩種之光，偏向相差極微時，人目視之，顏色相同；且有時對於某種之光究屬何色，頗難確定；譬如帶綠的藍色，有人稱之爲藍，亦有人稱之爲綠。光從某種質料至他種質料時（譬如從空氣至玻璃），方向改易，物理學家稱之爲光之折射，光可改向之性質，稱爲光之屈折性。於此，吾人可總括上所述者如下：每一簡純之光（即不能再由稜鏡分析之光），可與以一確定之屈折性；白光所包含者，在某限度間所有各級屈折性之光俱在其內。

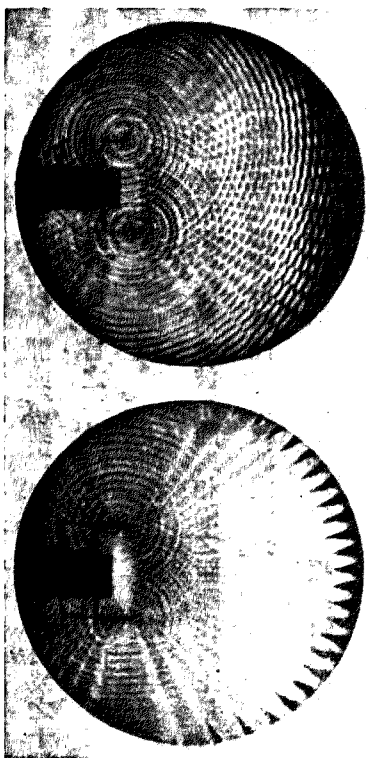
發現以上所述之各現象，爲牛頓大功之一。但現在，吾人知光有波動之各性質，實能標識單色光者，爲其振動之頻率，故各色之光，可由其不同之頻率以區別之；此處色字之意義，則爲在光譜中由屈折性所賦與之確定位置。在可見的光譜中，其極端的紫色頻率，約爲其極端的紅色頻率之倍；所以吾人有時亦可說：可見的光譜包含一均之色；因在聲學中，甲音頻率爲乙音頻率之倍時，吾人

謂甲音比乙音高一均。譬如當某綠色光經過某稜鏡時，其所轉之角度，有一確定之值，因而在光譜中有其確定之位置；所以吾人欲指示此光，祇須舉其頻率；如是，可無須說明稜鏡之角以及稜鏡玻璃之種類。頻率爲一純光之標識數，猶其爲一純音之標識數。

在真空中，各色之光有相同之速率；即每秒鐘 $186,326$ 英里；爲便於記憶起見，吾人可稱光速等於每秒鐘 $300,000$ 千米，所差甚微。經過一個全振動之時間，其波動進行之距離適等於一波長；故以頻率（即每秒鐘振動次數）乘波長，得波動每秒鐘所經過之距離，是即波之速率。所以舉其頻率，實等於舉其真空中之波長（真空中之波長，與空氣中之波長幾相等，因光速在空氣中減少極微）。在固體或液體內，譬如在玻璃內，或在水內，光之進行，比較其在真空中之進行，顯爲遲緩；（註一）且各色有其特殊之速率，與他色之速率不同。（事實上因各色速率之不同，遂有屈折性之各異）光之波長，因其所經過之質料不同而異，但其頻率，無論何處，均不變。可見之光，頻率極高，故其波長極短；如置食鹽於無色氣燄時所得之某黃色光，在空氣中波長爲 0.000589 厘米，其頻率爲每秒 $509,100,000,000,000$ 次！因無線電電波之速率等於光速，故吾人如知其每秒鐘千週之數，

(即每秒鐘有幾個一千次的振動)即可計算其波長;例如無線電電波尋常頻率為每秒 1,000 仟週,吾人知其波長為 300 米。(註11)

光的週期性或波動性之能洩露於吾人之前者,由於所謂光之干涉及繞射。茲請先以水波討論干涉:設於無波的池面中部之上,懸一螺簧,簧之下端,附一水平之棒,棒之兩端,扭之使垂直向下,與水幾相觸。兩端間之距離,假定其為一碼。彈簧上下振動時,兩端同在水面頻點;即有兩系紋波,依不息的擴大之圓而傳播;其圓心相距為一碼。因兩系之波俱發源於棒之振動,故波峯離其中心之時刻,兩系完全相同。茲所欲研究者,為兩系之波相遇時,其情形為何若?設在池面任擇一點,在此點之水,為波所推動而上下;各系所生之效應,與無他系存在者相同。所以欲得其實在運動情形,必須將兩系單獨所生之效應疊加之。如地點不同,情形當因之而異。設兩系所生之運動,完全同步,則在此地點之水,其運動之劇烈,當倍於一系之波單獨所生之效應。設兩系所生之效應,完全失步,即一系之波峯與他系之波谷,同時並到,兩系所生之效應,因而互相抵消,在此地點之水,則常靜止不動;吾人稱為兩波干涉。如所擇之地點距離兩系之波心相等,則兩系之波在此必同步;所以吾人可作



圖二 紋波之干涉

水銀面之紋波。圖示干涉現象。

照片下部之黑長方形形爲一音叉。叉之一股，附有二稜線；音叉振動時，此二稜線之出沒於水銀，遂產生兩系之紋波。

上方之照片，係用電花所拍。圖示兩系圓波在某一時刻之波峯位置，及兩系干涉之狀。右首之照片，係用連續照鏡之光所拍。圖示擾動最大之諸線；每二線中間，隨以擾動極小之線。

一直線，經過兩心間之中點，與聯兩心之線正交，沿此線之運動必劇烈。設所擇之地點距離兩系之波心不等，但其相差適爲一波長，則兩系之波峯，亦同時並到，不過中有一系較他系落後一波而已。此對於所生效應，並無影響：彷彿有二人競走，見其同繞一灣，吾人所可知者，二人所走之路程非相等，即中有一人落後一個或數個整圈。所以池面有一組之線（實際上一組微曲之線），運動劇烈。在兩線間之各中點，一系之波較他系落後半個波長，故不發生運動。因而又有一組之線，其上並無運動。所以池面呈現許多波蕩之條紋，間以平靜或微動之條紋。能量不能由波之干涉而毀滅，不過將某處之能量減少，以之移積於他處而已。易言之，不過將能量重新分配而已。設正對兩系波心，將一垂直的木板半沒於水中；在板上，當有數處被水上下沖洗，中間隔以水波平靜之處；如將板從水內取出，則沾溼之部分，當有一波形之邊。設將水波平靜處相隔之距離，從板上量得，如已知兩系波心之距離，及板與兩心之距離，吾人即可計算此兩系紋波之波長。

吾人對於水面紋波考慮略詳者，因其所表顯之干涉現象，在振動研究中非常重要也。聲波之干涉，亦頗易得。設將一音叉擊之，繼在耳旁旋轉之，旋轉之時，須保持其垂直位置；則音叉在某數個

位置時，其聲不能聞；在此種位置之中間時，其聲特強。音叉與耳之距離，始終未曾變動，是由於音叉在某種位置時，從叉股所發之兩系聲波抵耳而干涉也。設以一紙板所製之管，套於一個叉股之上，將此股所生之波截去，則始不能聞者，此時又可聞矣。於此，吾人有一表面的矛盾，即（在一特別地點）聲音可截去其一部分而加強！

茲請回到吾人此時所欲研究之正目的：即光之干涉。欲光波產生干涉現象，其唯一之困難，爲如何可以得到同步振動之兩個光源，因此爲發波時所必要之條件。如上節所說之池面紋波，因兩系之波爲同一彈簧所管轄，故兩個波心有同步之振動。至於音叉，其叉股能自行同步振動，更不成問題。設在一火燄之前，置兩個狹縫，從兩縫而來之光柱，發源於燄中之不同部分，自始即無絲毫聯帶關係，吾人固無望其能干涉。如利用光之反射，吾人可得光的酷肖之像；光內每一小部分之振動，必與其像內之相當部分振動，完全同步。因此吾人可用光及其鏡中之像爲兩個光源。或以兩面鏡子得一光之二像，此二像必彼此完全相似，亦可用作光源。由上所述，吾人得知如何可使兩系光波，從兩個光源出發，各向傳播，而在光源之時，兩系完全同步。茲可根據上面所述，討論日常所遇之數

個關於光之干涉的現象。

一薄膜必有兩個表面，如浮在水面之油膜，即有兩個表面。設有光從一明亮之點（譬如天空之某一點，或明亮之雲的某一點），照在油膜之上。設吾人之目在適宜的地位，光將由膜之兩面反射至目。入目之二光柱，其一從膜之頂面而來，其一則從其底面。因膜有厚薄，故一柱之光較他柱稍爲落後。如對於某一波長，此相差之距離適爲其半波長之奇數，則具此特殊波長之光入目時，將因干涉而消滅。吾人已知如日光等之白光含有許多波長，且其範圍甚大。薄膜所生之效應，爲消滅一特殊之光，且使鄰近此光之各光變弱。因此吾人見一帶有彩色之薄膜；此由於從白中除去某色或某數色時，其賸餘諸色，混合而成一新色，不能爲白也。例如從白中除去紅色，即得孔雀藍。至於薄膜能消滅何種之色，則由膜之厚薄及光之方向而定；入目之光與膜面所成之角愈小，從兩面反射之光，路程相差愈大。如用一線圈蘸肥皂液，吾人得一平的肥皂膜，即可見到上面所述諸現象。觀道旁積水上之油膜，亦可見到此類現象。積水上油膜，厚薄不勻，故各部分所呈之色不同；近膜邊之部分，驟薄而歸於盡，因而其色連續變易；如將目移動，則在某一定點之色亦因之而變。平的肥皂膜，尤有

趣味：如使其在垂直位置，彼將向下流開，上部變成甚薄而下部較厚，當有一組水平的彩色帶，燦爛於吾人之前。其餘如尋常肥皂泡，如薄的雲母裂片之碎邊，如兩塊確平玻璃片間之氣膜，如微凸的透鏡面與平玻璃片間之氣膜，如已經烹調的肉類上時有遇見之膩膜，如溝渠中之泡沫形的浮垢，俱因光之干涉而呈彩色，亦俱爲光之波動說作不開口的證人。

薄膜之彩色，不僅爲其美麗及其在科學上之重要，值得注意，對於實際上應用之處，亦頗堪重視。設吾人有一確平的玻璃面當標準，置另一玻璃面於其上，則由二玻璃面反射之光的干涉，可使後加之玻璃面不平之處，由不整齊之色塊而畢現。二面間氣膜厚薄不勻之處，即可在其上作記號；不平之處，可用手工摩平，再置於標準面上檢驗之，至氣膜之彩色均勻的展開而後已。檢驗時用作標準之面，吾人稱爲「光平面」。科學上所用最高等之鏡面及透鏡，如顯微鏡上之透鏡等，俱用此法完成。又多數精微的量度，間接從光波推測膜之厚薄而得。

使光假定其爲單色光，下節仿此。一譯者穿過一狹縫，縫間之光與其鏡中之像，供吾人以兩個完全相似之源，其所生效應，與前所說之池面水波完全相似。從兩源而來之光，投射於幕上時，吾人將有波動劇

烈之區域，間以波動極微之區域；易言之，吾人將有一組明暗相間之帶，稱為干涉條紋，在物理的量度中，佔極重要之位置，其特點，即能使吾人得有最精密的方法，以察覺長度之微變。設在某一地點，有一明帶，吾人即可知從此地點至二光源距離之相差為波長之一整數。為簡單起見，吾人注意於居中的明帶。此帶之中心至二光源之距離相等。如能設法將二光中一光之路程稍為變易，其所變之距離雖極微，設祇等於波長之一分數（譬如一英寸的十萬分之一），帶之位置即當移至他處，從其新位置至二光源之距離仍相等。設有一打彈子之棒，一端極平，棒即由此端豎立，如將紙一張插入於一邊，棒之尖端即當移動，所移距離，比較的不十分微小；依同理，一光之路程微有變更時，二光相遇同步之點亦即遷移，其所移距離，亦比較為大，吾人得以其條紋之移動察覺之。

吾人將用何法，僅變一光之路程乎？達此目的之最有名器具，為邁克爾孫（二十八）所設計之干涉儀。在此儀器中，光從一狹縫注射於一玻璃片之上，片與光路成四十五度之角；一部分之光，在此反射，與其原有方向成直角；一部分穿過玻璃片。儀中有兩個鏡面，能使光循原途而返。與二鏡以一適宜的布置，能使兩個光柱重復合併，而生干涉條紋，因祇有一點，兩個光程完全相等也。有須注意者：

因二光柱之大部分路程，互相正交，故吾人可微移反射一光之鏡以改變其路程，而不影響他光之路程。此儀器，顯然與吾人一個非常靈敏之方法以量長度；且曾用之於企圖量度地球在以太中之速率，因此爲愛因斯坦（六）狹義的相對論之起點，故甚著名。茲請略述引起此企圖之理由，及試驗時所用之方法：

近十九世紀之末，衆皆信空間有一種稀薄的實質布滿之。此實質能傳遞波動，吾人稱此種波動爲光。再確切的言之：吾人設想光爲一種波動，由此想像的實質傳播之，彷彿與聲波由一固質傳播相似。此假設的實質，稱爲光的以太。有一部分之科學家，謂如無傳遞之媒介，吾人將不能有一波動；但吾人對於此媒介物，除光由其傳播外，其餘毫無所知，以太之使命，幾乎祇爲動字「振動」之主辭而已。有一部分之科學家，則設想以太具有彈性固體之物理諸性質，企圖計算其彈性及其密度。但對於下述之點，彼等意見俱相同。即以太如果有任何實在的意義，吾人應能量度地球在以太中經過之速率。如吾人能量得此速率，則以太當與吾人以一個靜止的絕對標準，對於以太所量得之速率，即可稱之爲絕對速率；現在吾人所能量得之速率，祇爲對於天體的相對速率，而在天體中，吾

人不能特別提出某星爲靜止，他星爲不静止。

關於量度地球在以太中速率，實驗家所計畫之方法，根據於下述之原理：設光在定立的以太中進行，地球亦在以太中進行，地球速率，比較光速爲極微。如有一個光的信號，沿地球進行方向出發，至某一地點，反射，回至出發點，其所需時間，當略長於信號由與此正交之方向來回之時間，假定出發點至二反射點之距離相等。由此兩個時間之差異，吾人可計算地球在以太中之速率。爲何此兩個時間有差異？通常以下述之譬喻解釋之：設有人在河中划船，河寬一英里，水以恆速下流，設彼順河流而下，划一英里，復折回原處。當其順流而下之時，河流援助之，回來時，河流妨礙之；但其來回所需之時間，較其橫渡往返所需之時間爲多。其理由如下：順流時，其速率爲河流之速加其划速，故進行極快，受河流援助之時亦短。逆流時，爲河流所妨礙。雖同一路程，所需之時較多，故受妨礙之時比較爲長。試舉一極端之例：設在止水內划速爲每小時四英里，河流速率爲每小時三英里。順流時，彼對於河岸之速率爲每小時七英里，所以划一英里，祇需時七分之一小時；若在止水中，則需四分之

之一小時。逆流時，其對河岸之速率，祇每小時一英里，故其回程所需之時爲一小時整；若在止水中，

仍爲四分之一小時。故其來回所需之時，總計爲一又七分之一小時，若爲止水，來回只須半小時。其橫渡來回所需之時間，因受河流影響，亦比較在止水中橫渡爲長，但相差不若是之多；在所舉之例中，橫渡來回所需之時爲四分之三小時，較止水多四分之一小時。如划船者無他法可量河流之速率，彼可先求其橫渡來回及沿河來回所需之時間，再求其相差爲若干，如已知其在止水中之速率，即可求得河流之速率。

對於以太，地球之速率，與光速比較極爲微小，由地球運動所生之效應，自必極微（一個約百兆分之一的差異）。因此，所以干涉儀必須非常精緻。試驗時，先使兩個互相正交的光路之一，與地球在以太中進行之方向平行，干涉條紋照常呈現。此時設將全部儀器旋轉九十度，則其他一個光路之方向，爲地球運動之方向，亦即爲光來回需時較多之方向。如果光之速率在此兩個方向有異，則干涉條紋當移其位置。是爲著名的邁克爾孫·摩黎（二十九）實驗之主要點。在一八八七年，以非常之小心及極大之技能，舉行第一次試驗。以後重覆試驗多次。內有一次爲摩黎及米勒（三十）所做。由重覆的反射，使光路每個長至 32m ；此長度包含其所用之黃色光 589nm 兆個波長，所以因

地球運動所生之光程的差異（即百兆分之一），依預期，應在半個波長以上。因有九十度之旋轉，使兩個光程互易，前後差異之變易，當爲此數之倍，即一個波長以上；所以條紋之易位，當在一整個條紋以上；而干涉儀所能量之範圍，可到一個條紋的百分之一以下。試想三十餘米之光程，光經過時，所需之時爲十兆分之一秒，而吾人所求兩個光程所需時間之差異，爲上數的百兆分之一，而小於此數百分之一的效應，吾人用干涉儀可量得之，是則干涉儀力量之偉大，可不待言矣。

邁克爾孫·摩黎實驗之結果，係否決的。地球在假設的以太中之運動，並未發現對光速有何影響。在一九二五年，米勒發表：彼獲有一極小效應，當時引起物理學界之熱切注意；但彼亦未能續有確證。是時以後，兩個美國實驗家凱納兌（三十一）及伊林九斯（三十二）在巴沙田那（三十三）各自工作，用不同儀器，重覆邁克爾孫·摩黎之實驗多次，亦未發現有任何效應。最近邁克爾孫又重作其實驗，亦無效應呈現。所以地球在以太中之運動，是不能察覺的，是即顯示不能有具實體性的以太之存在。企圖解釋此非常之事實，爲愛因斯坦相對論之起原。不能用光的信號量空間內任何運動，即爲相對論中之一基本的特點；無論實驗者運動之速率何若，方向何若，其所得光速之值

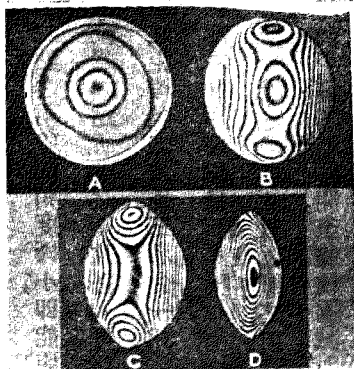
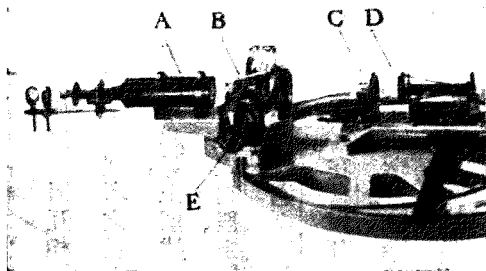
俱相同。光速爲全部物理學中最基本諸量之一，現已量至非常準確。近數年中又經過克爾孫從新量度，其所發表之結果，爲光速等於每秒 299,796 仟米，可有之誤差僅一仟米！

干涉儀之第二用途，比較實際，即可用之於量長度之標準。此種量度之起原，由於吾人難以確知做標準的金屬棒上兩個抓痕間之距離是否永久不變。標準棒之長度，隨溫度而變易，但如與標準棒比較時，常在同一之確定溫度，此種變易，不生問題。但棒之分子，在內部徐改其排列，棒之長度，遂不免有隨年齡而變易之趨勢。縱製造時非常小心，保存此棒，亦非常小心，此種變易，可使之極小，但科學家心終不安；每一念及吾人標準僅倚賴一個特殊金屬棒，而不用自然界永久不變之基礎，如用此種基礎，則遇任何實質所製之標準發生變化時，彼能依舊存在，且隨時可用。科學家最初想以地球爲標準：法國之米，在一八〇〇年，法定爲從地球之一極，沿一子午線至赤道之距離的十萬分之一；此距離與米約略相等。但測定此距離所能到之準確程度，對吾人今日關於長度標準上之需要，殊嫌不足。經多番討論以後，遂擬以鐳所放射之某一極純之光的波長爲長度之標準。特別選鐳之理由：則因鐳之光譜中，有數線，波長爲特殊的確定，非數個鄰近波長之混合物。且鐳原子，無論

何時，無論何地，俱相同，故可向之求最後之判斷。但光之波長，非工程師所能運用之物，即物理學家欲用之以量長度，亦爲不甚方便之事；故先須設法測定所選標準棒含有幾個標準波長。如是，可隨時檢查棒長會否變更；且可用所得之數以檢查散在世界各處之標準棒。用邁克爾孫干涉儀，在巴黎之標準米上二抓痕間之距離，已測知其等於鎘的紅色光（在標準溫度及標準壓力之空氣中）波長 $1,563, 165.5$ 個。此結果之誤差可確知其在百萬分之一以內。（註三）所以如有人問長度應向何處求最後判斷？吾人將指一特製的含有鎘汽之電燈所放之光以示之，其奇有如是者！

干涉儀又可用之於檢尋高等透鏡之微疵。所以此一儀器，會因之引起相對論；並曾助吾人建設一長度之標準；又可用之以完成照相的透鏡；而此種種之事實，其背景俱爲光之波動說所支配。因其所呈狀態之整齊，故使人堅信光具有波動之週期性。

光之干涉性，尙有一驚人的應用：即使吾人能量恆星之全徑是也。衆星之中，雖有所謂「巨星」者，比太陽大至多倍；但距離極遠，雖用最大之望遠鏡，吾人所見者亦祇爲一點之光，不能得其盤形而量之。設光從一極遠之點而來，注射於二鏡面之上；假定鏡面有適宜之布置，再以一組透鏡，使從



圖三 光學工業中干涉方法之應用

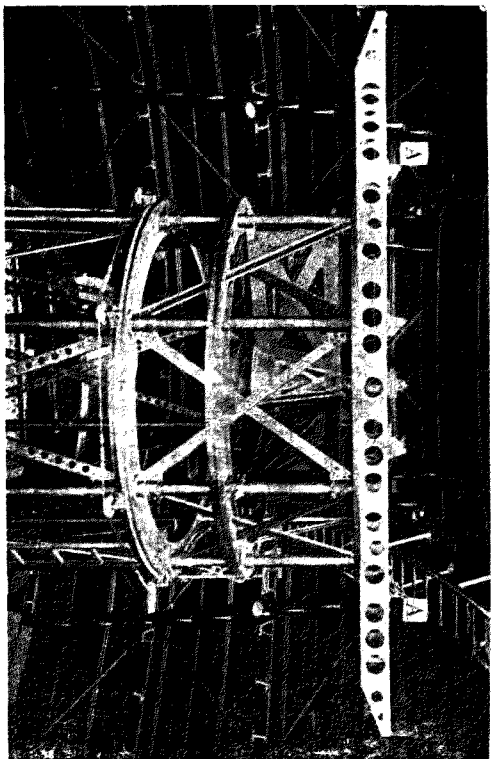
上圖為希爾格公司(七十五)所設計之干涉儀，可用之以顯露高等透鏡之微疵。光從極左首而來。A為平行光管，使光線平行。B為一玻片，與光線成 45° 之角；光抵此片時，一部分通過，一部分反射。C為受檢驗之透鏡。D為平面鏡，經過透鏡C之光投射於其上時，反射至B。試驗者在E點觀察。

下二圖為檢驗一高等透鏡時所得之干涉花樣。A為光線與透鏡軸線平行時所得之花樣。B, C, D, 為光線與透鏡軸線成 $5^\circ, 10^\circ, 15^\circ$ 之角時所得之花樣。

二鏡而來之光重復合併。依前所說，吾人將見有明暗相間之干涉條紋呈現，兩鏡之距離愈遠，條紋愈窄。再設光從另一遠點而來，經上述之鏡面及透鏡，亦呈現干涉條紋。如此點距第一點甚近，則所

現之條紋，當較前組之條紋略偏。如二遠點有一相當之距離，可使一組內之明帶，適合於他組內之暗帶，則兩組條紋因互相抵消而隱滅。因光之波長極短，由簡單的計算，即可知如二鏡距離為數英尺時，則祇須從觀者之目至二點之兩線間角度極小，即能使條紋隱滅。

因簡單起見，上所述者祇為二點所成之條紋；吾人可用相同理論於一明亮之盤。盤為多數微點所合成。當盤之角徑、兩鏡之距離、光之波長、三者合一相當之關係時，盤上各點所成之條紋當互相抵消。數年以前，邁克爾孫即本此原理以量巨星毗脫爾格司（三十七）之大小。此星為獵戶星座中兩大明星之一。在韋爾孫山（三十八）100英寸望遠鏡之頂，橫一框架，裝兩鏡於其上，與望遠鏡台成一極大「T」字形。試驗時，將兩鏡漸漸移開，至條紋隱滅而止。當兩鏡距離為十英尺時，條紋即隱滅。其有效部分之光，波長約為百萬分之二十三英寸；計算得星之角徑為 $\cdot 047$ 秒。從地球上以肉眼觀此星，其大小猶置在七十英里遠之一特殊明亮的半辨士銅幣，任何望遠鏡，亦不能直接顯出如此遼遠的銅幣之有徑。吾人之所以能有上述結果者，蓋由光波露其端倪，再加以相當之解釋而得之也。當邁克爾孫作此試驗時，大氣清靜，觀察條紋，並未發生何種障礙。事實上，此試驗早已計畫，



圖四 用干涉現象量度星體之徑

星光干涉儀，裝在韋爾孫山（三十八）100英寸望遠鏡之上，即用以測定毗脫爾格司星（三十七）之全徑者。

A, A 爲二鏡，星光即射於此二鏡之上。

因恐大氣之擾亂，故遲遲未曾舉行。於此可附帶及之者：從別的量度，吾人已知毗脫爾格司之距離為 333 兆兆英里，故其全徑約微長於二百兆英里；易言之，設將此星中心置於太陽之中心，則地球軌道當埋在此星內部，火星軌道，幾乎全部可被其填滿。

波動說之另一方面，吾人亦應注意。聲波，吾人知其能彎繞；譬如磚牆之盡端，不能投一分明之聲影；又非在牆後極深之處，牆之遮禦聲波，頗不完全。水波，吾人亦知其能彎繞；譬如池面上之木板，或其他浮物，水波能繞至其後。如果波動俱能繞過一障礙物之邊而進行，何以光為波動而能投一分明之影，表面上似乎不能繞灣？欲答此問，吾人須知：當波動突然繞灣時，其彎繞角度之大小，由波之長短而定；波長愈長，彎繞之角亦愈大。因光之波長極短，故光所彎繞之角度極小，雖極小，但光波確能繞灣。如細察從一狹縫而來之光，當其經過一障礙物之直邊時，即可見其不投分明之影，而呈現一組與直邊平行之明暗相間的條紋。吾人稱此種條紋為繞射條紋；光之彎繞現象，吾人稱為光之繞射。

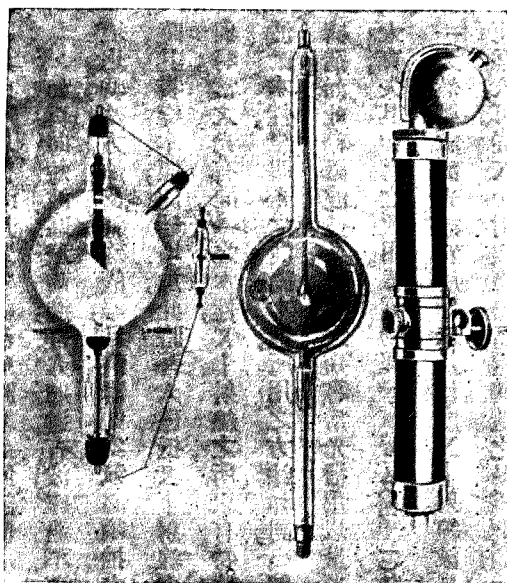
如果彎繞角度由波長而定，則各色之光所繞角度，亦應各異；當一白光經過一障礙物之邊時，

其影之邊緣，應各色分離，如經過一稜鏡然。事實上確是如此：紅色光波最長，彎繞最甚，紫色光波最短，彎繞亦最微。欲睹此現象之大概，頗不費事：置一蔴紗手巾於電燈之前，從手巾後面注視之，當見其每一燈絲有彩色條紋圍繞。對於光之波長，特別對於光譜中各線之波長，有系統的量度，即根據此現象。光穿過一狹縫後，使之經過一玻片；玻片之上，以極尖銳之金剛鑽劃成緊密之平行線；此種玻片，吾人稱爲繞射光柵。用時，須使其平行諸線與狹縫平行。片上所劃之線，實際上爲粗糙的溝槽，比較的不透明，吾人所得者不過爲一組極細之狹縫而已。光經過玻片，即彎繞一角度；角度之大小，由波長及片上諸線之距離而定。尋常所用之光柵，每英寸約有線 15,000 條，彎繞角度極大；此角度須小心量得，從其量得之值，以推算光之波長。繞射之理論，稍爲複雜；此間所述者不過爲此問題之大略而已。光柵上劃線，需要極高之技能；優美光柵，極可寶貴，其價值亦極高。羅蘭（四十）在巴爾的摩爾（三十九）致力多年於鐵造光柵；同時彼對於切割螺旋之準確，亦獲有大進步；所以物理學中，一事常能引起他事。

如上所述，干涉及繞射之觀察，佔近世物理學中之大部分。其所示之賅括的教訓，則爲無論

光之本性何若，吾人可斷定其經過真空時有一確定之速率；從其所生之效應，可斷定其有波動之週期性。

以上所述者，俱屬於目所能見之光。吾人已知在空氣振動中，有爲人耳所不能聞者；如一木板，每秒鐘振動二三次，其所產生之波，吾人即不能聞；其另一極端，如超聲波，吾人亦不能聞。與尋常光波同一性質之波，亦有爲吾人之目所不能見者：超過紫色，尙有較短之波（易言之，即尙有頻率較高之振動），對於照相片有極強之效應，吾人稱之爲紫外線；在通俗文字中，常有稱之爲紫色的流光者，但事實上，彼並無色，目不能見（不是紫色的，是超紫色的）。因頻率高低不同，可見之光中有許多不同之種類，紫外光亦如此。其頻率略高於可見之紫色光者，能通過尋常窗上之玻璃，及照相機中之透鏡；對於照相片，有強烈之效應。頻率較此稍高者，不能通過尋常玻璃，但能通過特製之玻璃。使吾人皮膚晒黑之紫外線，其頻率範圍極小，其波長約在十萬分之三厘米左右（可見之紫色光中最短波長爲十萬分之四厘米，或略長）。此類射線，不僅不能通過尋常窗上玻璃，且易爲大氣所吸收。在冬季時，日光因其傾斜，須穿過較厚之大氣，此類射線，幾乎全被吸收，所以在冬季時，雖強烈



圖五 X-射線管

左邊之管，稱爲氣質管；電子由管內殘餘氣質產生。中間之管爲庫禮渠管；(七十六)管內電子，由一發光之線產生，如無線電所用之真空管。右邊之管爲菲列華公司(七十七)之密太力克斯管；(七十八)外面大部分爲金屬製成；電子亦從一熱線產生；裏面用玻璃以絕緣。

依圖中所示三管之位置，電子俱向上流，射擊一塊金屬斜面，是即所謂對陰極，中左二圖之玻璃管內，俱可見之。

之日光，亦不能使人皮膚變黑。比此再短之波，較薄之空氣層，亦能吸收之；但用特製之照相片，及石英透鏡，亦可得此射線照相；石英爲一種對紫外線吸收極微之材料。各種紫外線所抱之性質，其不

同如此，所以醫師用紫外線治病時，應如何謹慎！

如再向短波區域前進，吾人將遇有波，經過不滿一英寸之空氣，即被吸收淨盡，欲得其照相，必須用特殊方法及特殊儀器，且儀器中空氣必須抽盡。如吾人再向前進，至波長不滿兆分之三釐米時，其貫穿本領，開始增加；此時吾人已抵X—射線之區域。本世紀最大發現之一，即證明X—射線與尋常之光有同一之本性，X—射線之所以有特殊性質者，因其波長極短之故。證明X—射線之波動本性，證明光之波動本性，所用之方法相同。（即用諸線整齊排列之「光柵」）但X—射線之構造，如此精微，波長又如是之短，尋常光柵用以量光之波長者，對於X—射線，因柵之諸線間距離太寬，失其相當之效用。德國物理學家勞厄（四十二）發現：在晶體內，原子有整齊之排列，吾人因而有一天然製成的光柵，宜於顯示及量度X—射線波長之用。此發現由勃蘭格父子（四十三）迅速擴展，使吾人可從X—射線而得晶體構造之最重要的知識。於此應須提及者：最近發現：在某數種極端情形之下，用人造的光柵，亦可得到關於X—射線之結果。

醫師診斷所用之X—射線，其波長為一釐米的千兆分之幾；其治療所用之X—射線，波長尤

短。鐳所放射之諸射線，中有一種，與 X—射線性質相同，但其波長猶短於 X—射線；此種射線，稱爲 γ —射線。其最短之波長，不到萬兆分之一釐米。諸射線中，射線之源能由吾人在實驗室內處置者，以 γ —射線之波長爲最短，且其貫穿本領亦最強；從鐳及其產質所放之 γ —射線，經過十英寸厚之鉛版，吾人尙能察覺其效應。近數年來，有多數證據表示有一種射線，發源於地球之外，其貫穿本領猶較 γ —射線爲強；經過大氣之後，在地中，或水中，尙可貫穿數碼。因地下有鐳存在，故欲區別此種射線及鐳所放之 γ —射線，試驗上頗有困難。兩者所生之效應均極微，欲分析之，殊非易事。但近來以探察此種射線之精緻儀器，攜入氣球，并至上空，復以儀器深入雪水所成之湖中探察之，已確實證明此種射線之存在。從氣球中之報告，知昇至高處時，輻射增強，如此種射線發源於地球之外，此爲應有之結果，因在高處，其所經過之氣層較薄也；如發源於地上，則輻射應愈高愈弱。至於湖中之試驗，因湖爲雪水所成，不含礦質，故不能有產生 γ —射線之鐳。其量度之結果，則爲入水愈深，效應愈弱；是又爲輻射發源於地外之應有結果。在湖面之下十五碼左右，輻射尙可察覺，其貫穿性之強可知；尋常 X—射線，至多祇能貫穿一二英尺之水。

當初以爲此種富於貫穿性的輻射，或由太陽而來，但後來發現此種輻射日夜無異，此說遂不能成立。現在衆已承認此種射線發源於外部之空間，所以稱之爲宇宙射線。因其貫穿性之強，吾人推測其波長與 γ 射線之波長相較，必短得甚多。推得之值，隨數理的理論所採之途徑而異；大約不出兆兆分之一英寸左右。（尋常光波，比此長十兆倍以上；尋常無線電電波，則比尋常光波又長數百兆倍）設將全世界，及其無線電臺與電波，縮小至如一粒之微塵，此時縮小的電波，比宇宙射線尚長十萬倍。宇宙射線爲「電磁光譜」短波的一端之限，其來源尙未十分定實，但實驗似已證明其完全非從地球發生；且從空間之各方向而來者，強度相等，晝夜無異，由是可知其與銀河及太陽無關。米立根（四十三）因其從外部空間之空區域而來，在此種區域內，溫度及壓力均極微，遂斷定其爲從散逸之氫原子及氦原子構成輕的原子之結果。至於構成原子時能量如何解放，當於第七章中涉及之。

以上所述者爲光譜之短波的一端，至其他端，則目所能見之紅色外，尙有目所不能見之紅外線，可由其熱的效應察覺之。設在暗室之內，置沸水一壺，不見其有光；如將壺懸之，置手於壺下近處，

(使不受由壺上昇之熱空氣影響)當感覺有熱，是即由於目所不能見之輻射。紅外線對於尋常照相片，不生作用；但有特製之片，可使此種輻射亦生效應；事實上，在一完全黑暗之室內，曾以目不能見之熱輻射，將沸水壺攝影。尋常之光如極強，當然亦發生可覺之熱效應。日光中有最大熱效應者為黃色光。至於紅外線輻射，熱效應佔特別顯著地位，因察覺此種輻射之最易方法，即利用此效應也。紫外線在尋常所遇之強度時，其熱效應極微，不便量度，但必存在。

波長如比紅外線為長，吾人抵電磁波之區域，即無線電報所用之波。實地所用之電磁波，波長尋常為數百碼，但在實驗室中作好奇之試驗，亦可有一英寸的小分數之波長。如以「光」字用於最賅括之意義中，吾人可說有一光譜，從波長數百碼起，伸展不斷，(因譜中所有間隙，近來俱已填滿)至波長不滿萬兆分之一英寸而止。在如此寬大之範圍中，祇有極小一區域，為目所能見者。設從某一頻率起，至倍於此值之頻率止之諸輻射，稱為一均，吾人可說全光譜包含六十均，其中祇有一均為目所能見。

茲將略述各波所公有之諸性質： X —射線之波動的特殊效應，如干涉與繞射，已利用晶體構

造之整齊性以顯示之矣。對於此種短波，晶體內原子之天然的整齊排列，猶人工劃線的光柵之對於尋常光波。至若紫外波，吾人可用人為的光柵，但每英寸須有線甚多。對於紅外的長波，吾人可用反射方法以顯其干涉現象。其尤奇者，愛潑爾登（四十四）近曾用赫氏層（四十五）直接的表顯無線電電波之波性。因從旁的證據，吾人早知其有波性，故可視愛氏之結果為利用其波性以顯示赫氏層之存在。愛氏試驗所得之效應，與尋常光波完全相似，不過其規模為極大耳。所謂赫氏層者，乃一層大氣，距地約七十英里，有特殊電性，對於無線電電波，宛如一鏡。同源所發之二波，其一抵此反射而至收波地點，其一沿地面直達收波地點，前者所經之路，必較多於後者，如果兩個路程之相差為半波長，或半波長之奇倍數，當呈干涉現象，與尋常光波同；不過此間波長為數百碼，非英寸的百萬分之幾耳。干涉條紋，自亦相當增大。短距發送時所遇許多特殊現象稱為「衰弱」者，多由於電波之干涉。予之所以舉此例者，欲以表示近世物理學中各種觀念之普遍性，並表示在一部分內所建立之原理，往往能於他部分中不期而遇，且常帶實用上之重要性。

所有各種「光」波，在真空中有相同之速率，是即暗示有一公共的本性，其實彼等俱係所謂

電磁波也。波中之週期變更者爲電力，與波之進行方向成直角；與電力之變更相伴，吾人必須有磁力之漲落，磁力亦與波之進行方向成直角，與電力亦成直角。設波進行時經過此紙之面，從左至右；電力之方向，則爲從紙之上端至下端，或自下端至上端；每次振動時，假定其先向上，則必繼之以向下；在一方向，連續的減少至盡，繼在相反之方向連續的漲大。磁力之方向，則爲與紙面成直角。其漲落情形與電力同。所以稱吾人的總譜爲電磁波之譜，似較適當，因尋常之光亦爲電磁波，不過其波長在一特殊範圍以內耳。

如果尋常之光爲電磁波，則吾人應能實驗的表顯光之磁電性。多年以前，實驗大王法拉第（四十六）以其天賦的探求真理之本能（有一德國大科學家曾謂「彼嗅察真理」）深信有此種關係之存在，用實驗顯示：磁場對於通過重玻璃之光，能發生一種效應；此種效應，即所謂偏極面之旋轉，因太複雜，此本小書中不能解釋之。另有一種效應，稱爲萃曼（四十七）效應，亦祇能提及之而不加以解釋。同一光源，在極強的磁場中所發之光，與無磁場時所發之光相比，有特殊的不同之處，是即萃曼所發現之效應。此外尚有一個光與電之關係，稱爲光電效應，其本性之大概，吾人容易理會；近年

來，此效應佔據一極重要之地位，不僅實地上應用之處頗有趣味，於理論上亦有深遠之意義。

當短波之光射於清潔的金屬面上，即有光電效應發生；譬如射於小心擦亮之鋅片上，鋅片即失去負電，變成荷有正電。其實在情形，經多數實驗證明，為金屬片內之電子受光的影響而出射。所用之光愈強，每秒鐘電子離金屬片之數愈多。所謂電子，即不可再分之微量的負電，其本性當於次章討論之。設一真空玻璃泡之內面，塗以適宜之金屬（金屬中如鉀及銣，對於光電效應，比較他金屬特別靈敏）；再設有一導線伸入泡中，以引開金屬所放之電子，則得一小電流；由電流之強弱，可推知光之強度。此種用具，稱為光電管，盛用之於電視及有聲電影中；因藉光電管之助，可使光之漲落變為電流之漲落，而電流之漲落，可使變成各種聲音，如尋常之電話。譬若有聲電影：如用一與聲相應之薄片，能使聲音增減光之強度，則由言語或音樂所產生明暗相間之帶，可印於一軟片之上，片中各處明暗深淺之特殊情形，與各種特殊之聲音相當；如欲其聲音重行放出，可令此片橫穿一光柱，使光之漲落與原來聲音相當，此光射於光電管時，即能管轄一發音之機構，如上所述。

金屬所放出的電子之個數，僅為此問題之一方面；其另一方面，為電子離開金屬時之速率，或

能量所奇者，其速率或能量，不爲光之強弱所影響，祇與光之頻率有關係。藍色光所生之電子，動能微小；紫色光所產者，動能較大；而紫外線所生之電子，動能更大；爲X—射線所逐出之電子，其動能猶大於此。事實上，當電子未離金屬之前，其所獲之能，與光之頻率成比例；是爲現代物理學中之一個極基本的又極重要的事實。

茲請從另一立場觀察之：設想抱有某一能量之電子撞擊一金屬片。電子可使由一熱線放出，如尋常無線電所用之真空管。再以電場使之加速，是猶玩彈球者先使球從彈射機躍起，再以棒擊之，使球速增加。電子加速後，使之碰擊一金屬板，此時即有X—射線產生。全部過程，必須在一管中進行；因管內空氣分子要當電子之道而減少其速率，故管中空氣，必須抽至極淨，使遺留之分子極少；此種之管，即醫院中所用之X—射線管。如用大的電壓，使電子飛行甚速，碰撞金屬板時能量甚大，則所產生之X—射線，貫穿力甚強；醫師稱此種X—射線爲「硬的」X—射線（即波長甚短，頻率甚高之X—射線）。設電子碰撞金屬板時，能量較小，則所產生之X—射線，波長較長，頻率較低。再設想使一羣電子通過一氣體，如其速率比較的爲極小，其所抱能量，自亦比較的極微，因而其所

產生之波，較X—射線長得極多，成爲可見之光，是即廣告所用之氖管。俗稱年紅燈中情形。在上述之數例內，電子之數加多，不能更變其所產之波的頻率；不過使其波加多，吾人得一較亮之光而已。猶在聲學中，鑼聲之高低，由敲擊之猛烈與否而定，擊之愈猛，其音愈高，至於聲音之強弱，則在乎敲擊之次數。總而言之，其要點如下：根據觀察所得，產生一單列之「光」波，無論其爲何種之光，所需之能量，由光之頻率而定；再如以一單列之光波，使一電子從原子而出，此電子之能量，亦由光之頻率而定，此奇異之事實，爲量子論之根據，當於第六章中討論之。此間所以提出者，僅欲表示：光有幾個方面非波動說所能解釋；因僅有波動說，不能使吾人設想單列波之頻率與其能量有何關係。

光尙有其他電效應，近來頗多以之實地應用。設以光投射於特製之硒膜上，硒之電阻即減少；如與一電池組聯接，則有較大之電流通過；以無線電中所用之技術，可使此電流任意擴大。光如使之漲落，電流亦因之有相當漲落，所以吾人可用硒管，使光以適當之漲落變成語言，與用尋常光電管相同。此外，硒管尙有其他應用之處；倫敦有數處應用硒管，使街燈自開；當陽光之強度不足時，硒管之電阻即增，電流因之發生變化，遂利用之以推動電鍵。防竊賊之警鈴，亦可以相同原理運用之。

即暗室內一遇有光發現，鈴即作響。此種技巧，俱富有趣味。但吾人此時所應注意者，則為無論可見之光與不可見之光，俱為電力之表現，能產生顯然的電效應。

由是，可知光之研究，與研究物理學中之其他多數部分相同，似即為能之研究，波之研究，及電之研究。同一事也，有互相關聯之三方面，吾人有時注意於一方面，有時注意於他方面，但三者俱不能獨立的考慮。所以如吾人對於物理學中之一部分徹底明瞭，則其全部亦可明瞭。

(註一)尋常玻璃內之光速，等於真空中光速三分之二；水內之光速，等於真空中光速四分之三。

(註二)1,000 仟週 = 每秒 1,000,000 次震動。300 米 = 3 仟米； $3 \times 1,000,000 =$ 每秒 300,000 仟米。即光速。

(註三)標準米包含錫的紅色光波長之數，曾由般奴阿(三十四)法勃黎(三十五)及畢羅(三十六)三人用他式儀器，重行斷定，其所得之數為 $1,568,164 \cdot 13$ ，與邁克爾孫之數相差僅 $2,400,000$ 分之二。

第五章 電與磁

電字從希臘字 (electron) 而來，其意爲琥珀；因舊時已知琥珀經摩擦後，能吸引輕的物體，如小片之稻草，及小片之羽毛等；現在，吾人則謂琥珀被摩擦後，帶有電荷。且知如將一金屬板，或他物體，置於一不導電之架上，使帶電之琥珀接觸之，即有一部分之電荷傳於板上。設取兩個輕小之球，以二絲線懸之（絲線爲不能導電之物），再以帶電之琥珀，使兩球各帶電荷（不用琥珀，用火漆或玻璃亦可；因此二物體及多數他種物體，摩擦之俱能帶電），如將此二球移使相近，則互相推斥，所以吾人謂同類之電荷有互相推斥之作用。設以一火漆棒，經絨布摩擦之後，使一小球帶電，再以玻璃棒經過適當摩擦後，使另一小球帶電，此二球相近時，當互相吸引。由是，可知必有兩種不同之電：因取一帶電之球，再擇相宜之質料，可使另一球帶電，與第一球或相吸引，或相推斥也。如二球所帶之電爲同種之電，玻璃電，或火漆電，（暫時以此名之）則當互相推斥；如爲異種之電，則當互相

吸引。當一物體以摩擦起電時，兩種不同之電，同時發生；譬如以絨布擦玻璃棒，玻璃棒帶一種電荷，同時絨布帶有他種電荷；且可用實驗顯示其兩種之量相等。所以總計之，摩擦不能生電，不過將兩種之電分離；如使之重復合併，適得中和。

此兩種不同之電，因其相互作用不同而區別，常稱之爲正電與負電；如玻璃與火漆摩擦生電，玻璃電稱爲正電，火漆電稱爲負電；至於正負之選擇，猶選擇政黨之名稱，並無特殊理由，但一經選定，則永久保守之。

設以一金屬線联接一蓄電池之兩極，或任何電池組之兩極，人皆知有一電流經過此線。吾人稱有電流經過一線時，吾人之意爲此線獲有特殊性質：設有一磁鐵在其鄰近，彼即有力作用於其上；線之溫度漸漸加高（如線爲一極良的導體，熱的效應極微，但雖極微，確是存在；如線之電阻甚大，則熱的效應極顯著，例如電燈或電爐）；設將此線截而爲二，每端附以金屬板，將板浸入一金屬鹽的溶液中，則發生化學作用，例如鍍銀池或鍍鎳池中，金屬分離而出。所以吾人謂電流有熱的效應，磁的效應，及化學的效應。舊時常區別電池所生之流電，與玻璃質或樹脂狀物體摩擦而生之摩

擦電，視爲各異，稱之爲伏打電與靜電；現在吾人已知電荷當運動時，具有電流之各性質；疾轉一帶電物體，即可顯示之。電流不過爲運動的電荷，猶水流不過爲運動的水滴；海綿中之潮溼，與河流中之液質，同一爲水，河流之所以有各種性質，如能推轉水車之輪及損耗兩岸等，則俱由於水之運動。依同理，動電所能生之效應，有非靜電所能生者。至於電荷經過導線之準確情形，此時尙未明瞭，用科學家之語，即金屬導電之機構，此時尙未明瞭也。

電與磁有極密切之關係。猶電荷之有兩種，吾人有兩種之磁極。尋常之條形磁鐵，其一端常欲指北，他端常欲指南；兩個向北之極，或兩個向南之極，互相推斥；一個北極，一個南極，則互相吸引。但此爲磁與電之大概的相似，不能以之表顯磁電間之實在關係。此外，磁電間固另有其實在的交互作用：譬如電流（即運動之電荷）能在其附近區域產生磁力，此爲人所熟知之事實，電流計即其一例；電流計中，有一磁針，或支或懸，外有線圈圍繞；待量之電流，則由線圈通過；即以電流所產生之磁力強度，測電流之強度。電磁鐵爲人所熟知之又一例：係利用電流所生之磁力，使其鐵心變成磁鐵。且不僅運動的電荷能產生磁力，運動的磁極亦能產生電力，如在運動的磁極附近之處，有導線

所成之電路，當有一電流通過。

此現象爲法拉第（四十六）所發現，稱爲電磁感應；幾乎每一重要的電學儀器，與此有關。在一發電機中，電流由旋轉線圈於磁場中而得，是固無異於磁鐵向靜止的線圈移動。因非恆磁場可由非恆電流而得，所以一非恆電流，能在其附近電路上產生（即所謂感）另一非恆電流，其電路不與前電流相聯。於此應須注意者；即恆電流祇能產生恆磁場，所以不能在附近之他電路發生電流。此種以電流發生電流之法，於電話、無線電報及無數之電的器械中，頗利用之。綜上所述，吾人得一普通法則：即電荷每一運動，產生磁力，磁極每一運動，產生電力。以數學的方式表顯此意，並將此意從導線擴展至真空中，設想在真空中，電力及磁力能離物質而存在，馬克士威（十一）有如下之斷定；設無論在何地點，吾人能發生電力之週變（由前所說，必有磁力之週變與之相伴），即有一電磁波產生，以光之速率在真空間進行。此種預測之波，不久即由赫芝（四十八）徵實；由實驗顯示「無線」電波之存在。所有產生此波之具，俱係使電荷在發波諸導線中，以一定頻率往復振動；是猶每一聲音之源，俱爲一振動之實體。運動之電荷，彷彿堅握空間之以太，即由以太播送其波，與振

動之絃線，或振動之音叉，接觸空氣，由空氣播送聲波相似。所謂以太，並無其他意義，因無較好名詞，姑以以太名之而已。吾人可再舉一更顯明之例，以喻聲波與電波；將長繩之一端上下振動，當可見有一串波峯，沿繩馳逐。

所有關乎電荷作用及電磁關係之尋常法則，俱不能表示電荷本性究竟何若。僅就此種法則而言，電荷之本性，或可如一稀薄流質，受幾個數學法則之支配。所以舊時常用「電流體」名稱者，現在吾人已知此名予吾人以謬誤之印象。電荷之天然的單位，電子，其發現使物理發生變革，而開闢一新紀元，非從導線通電之研究而得，係由研究真空管中極稀氣質之通電而察覺。

設有二金屬棒，使之穿過一玻璃管之管壁，而密封其穿過之處，伸入管內之棒端，製成各狀之板與否，由管之用途而定；無論如何，吾人概稱之為電極。如管內空氣之壓力等於大氣之壓力，則兩個電極之電位差，可高至 10,000 伏特，不見有火花通過。此時如將管內空氣漸漸排出，排至某程度時，即有放電現象發生。其始為厚而帶毛皮狀之火花。如空氣繼續排出，即有美麗之輝光布滿管內，呈現奇異而有意義之各狀，排列成序。此現象曾經吾人細心研究，但現在無須詳述。當管內空

氣減至約等於原有空氣萬分之一時，管之玻璃即呈現特殊的綠色輝光，如以各式小屏引入管內，即可表示此光由於有物從陰極出射，打擊玻璃管壁所致。吾人雖不能目觀此陰極射線，但其所產生之輝光，使吾人得以踪跡其行動。設將一磁鐵攜至其近處，則其流動之方向爲之偏轉，猶一極軟導線中之電流：因電流產生磁力，故磁鐵必有力作用於電流之上也。一塊帶電之板，亦能使陰極射線偏轉，宛若此線爲多數微小電荷所合成者。

從電力磁力聯合作用上研究，吾人斷定陰極射線爲一羣帶有負電之質點。如已知每質點的電荷，從此種試驗即可推得每質點之質量；但欲求其電荷，尚須另想他法。關於此類試驗，在後即當略述；此處請先舉其結果：當電流通過一液質時，有帶電之原子在液內進行；陰極所放質點之電荷，適等於液內原子所帶電荷之最小者。所謂帶電原子在液內進行，電鍍時之情形，即是如此；蓋電鍍實爲用電力驅使金屬之帶電原子離開鍍池中之液，而堆積於被鍍各器之上也。陰極所放質點之電荷，爲吾人現在所有之最小電荷；且無論管中所容爲何種氣質，其值均相同。此負電的最末單位，即吾人所稱爲電子。其質量極小，即在小物世界內，亦可謂極小，略大於最小最輕的氫原子質量之

兩千分之一。電子並非一小塊帶電荷之物，電子即是電荷，猶雨滴即是水。吾人習見水常在容器中，電荷常在物質上，但雨滴與電子則離其容納之具而獨立。至於電子何以有質量？則因欲使電子運動，必須有力作用於其上，用數理方法即可顯示之；電子謂爲有質量，不過表明此事實而已。

真空管中之陰極射線，僅爲從物質產生電子諸法之一。管內之實際情形，爲帶正電之原子因電力作用於其上而碰擊陰極，從陰極及其本身碰出電子。因管內尚有各種副作用，故呈現之狀態複雜。一塊金屬，熱之亦能產生電子；紅熱之火棒，攜近帶電之驗電器，能使驗電器放電。無線電所用真空管中之發光的導線，其目的即爲供給電子。光或X—射線投射於金屬板上，亦能使電子從金屬板產生，如前章所述。總之，原子受粗暴之待遇時，即能產生電子；譬如以他原子驟擊之，如吾人增加熱擾時之情形；參看第二章譯者或以電力之變化疾振之；或以運動之電子猛碰之；俱能產生電子。且從各種不同方法所得之電子，均完全相同；並非從一金屬所生之電子爲一種，從另一金屬所生之電子爲另一種，有如人所想像者。無論其來源爲何物，亦無論其產生用何法，此微小的負電單位，均爲同量之電。此量之微小，可從下例而知之：如欲維持一尋常電燈，所用電流，須每秒鐘有兆兆兆之

電子經過尋常五十安培小時之小蓄電池，所儲之電荷等於兆兆兆電子之電荷。不能再分之電量，其小如是；

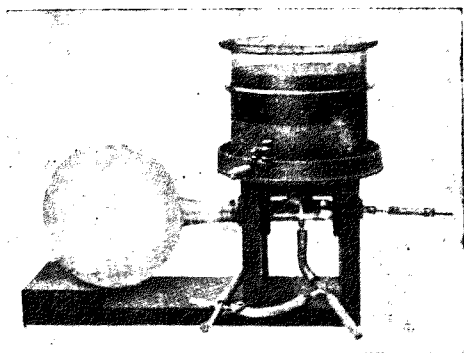
不附於物質之正電荷，至今尚未發現。當一電子從一原子中逐出時（原子通常是中和的），贖餘之原子，因損失一小量負電，變為帶有正電。所有正電荷，不能如負電之有絕對的特性，因其不能離物質而獨立也。其所表現之特性，是由於損失負電而來；譬猶赤裸為去衣後所不能免之結果。去襯衫而半裸，襯衫可離人獨立，半裸則不能離人而獨立。吾人可有負電在孤立狀態中，至於正電，祇能遇之於一個或一羣帶正電之原子。因氫原子為最輕的原子。故吾人所有最輕的正電單位，為失去一電子之氫原子。氫原子祇有一個電子可以損失；此事在第七章當再討論之。

當X—射線經過一氣質時，譬如經過空氣時，即有電子從氣質原子中被震而出。在氣質中，即有一羣電子，及帶正電的原子。電子通常為他原子所吸取，此種原子即有一電子太多，所以變成帶有負電。故X—射線，或疾飛之電子，或他種有迅速運動之質點，能在氣質中發生一羣帶正電，或帶負電之原子或分子。此種帶電之質點，吾人稱為游子，或「行者」，因一遇電力作用於其上，彼等即

進行也。各種帶電質點，皆有一特異之性質與微塵同，即均能為空氣中溼氣凝結之核心。空氣中之溼氣，有時可超過其願容之量。（即所謂飽和之量）如無物可使溼氣在其上做成微滴，則空氣雖有超過飽和之溼氣，仍依舊清明，無微滴之呈現。如空氣中有微塵或帶電之原子或電子存在，此類質點即成為水所棲息之具，而微滴以成；空氣中遂呈現有霧。空氣中微塵，及上層空氣中因紫外線而成之游子，對於下雨，極有關係。如將X—射線通過空氣，設其中溼氣已過飽和之量，在實驗室中，吾人即可得到人為之雲。此種人為之雲，在現代物理學中，頗佔重要位置；其式樣則隨情形而異。請舉其用處之一端，即彼可使吾人求得電子之電量是也。此事前曾提及。設多數帶負電之質點，上有微滴，使所成之雲自由下降，其速率必極微，於此，吾人可有法以計雲中質點之數：因微滴之大小，可從雲之下降速率以估計之，（註一）而雲中之水的總量，又可衡而得之也。水之總容積亦即又雲中之總電荷，可用電學方法直接量得之。吾人並有方法可使微滴祇能在帶負電的質點上做成。由上述之各種知識，吾人顯然可以計算一個帶負電質點之電荷（即一個電子之電量）。對於電子之電量，米立根（四十三）近作最精密之量度，不用多數微滴所成之雲，彼以顯微鏡觀察一個單獨的

帶電微滴之行動；微滴之半徑約等於萬分之一英寸。

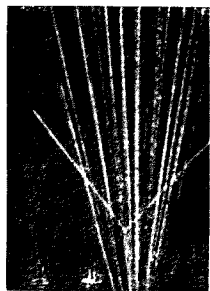
帶電質點能為凝結核心，已如上述；C. T. R. 韋爾孫（四十九）曾利用此特性以作其下述之試



(a)



(b)



(c)

(圖六) C. T. R. 韋爾孫（四十九）

得射線蹤跡之方法

- (a) 產生射線蹤跡之儀器。左首上部為一容器，潮溼空氣即在此器中膨脹。器有玻璃蓋，可在其上拍射線蹤跡之照片。
- (b) 疾飛的電子之蹤跡。圖為放大之照片。圖中，露滴清晰可辨。
- (c) α -質點經過氮氣之蹤跡。圖示碰撞所成之叉形。

驗，此試驗為現代物理學中最新穎動人諸試驗之一。當一放射原素（如鐳 C）所放之一氦原子

經過空氣時，其速率約每秒鐘 12,500 英里，所遇之原子，俱有電子被其碰擊而出。所以其經過之處，遺留一串混亂的帶電之原子，頗似錐形之颶風，其所經路線，均有破壞之迹遺留。吾人之問題，是欲設法目睹此破壞之迹。如其所經過之空氣，或他種氣質，含有飽和水汽，則微使膨脹，溫度下降，即有一部分溼氣想欲凝結，遂利用帶電之原子，或帶電之分子為起點，而成微滴，猶女子以短棒為核心，而繞其碎片絨布然。其結果為氦原子所經之路線呈現一條極細的白線；從其所預備的黑地上觀之，宛如極細的白粉筆尖端所畫成之線，此線實為一串極微的水滴所成之霧。此疾行的氦原子，吾人稱為 α 質點。疾行之電子，亦能碰擊所遇之原子，被碰之原子，即有電子出放，故用上法亦可睹其遺迹。當討論光電效應時，吾人曾提及 X 射線能使電子離原子而出射，且抱有不小之能量。故 X 射線之迹，亦可用上法觀察之。但一細縷 X 射線之迹，為一組紛亂之白線，非一條單獨直線。組內每一白線，表示一個被 X 射線所釋放的電子之遺迹，以上所說之各種遺迹，俱可攝影，可隨時從其照片研究之。用上法研究其所生效應之原子、電子或 X 射線，實際上經過儀器之時間，大概在于兆分之一秒鐘左右；利用溼氣而永久登記者，即為彼等在此短時間內所遺留之損害。倘有

數個從 C.T.R. 韋爾孫方法所產生之奇異結果，當於第七章討論之。

從上所說，電有塊粒的構造如物質；不能再分之電，爲一微量的負電，吾人稱之爲電子。所有關於電的各現象，終究歸屬於單獨的，或成羣的電子之行動。但電子在自由狀態中，吾人對於其態度及習慣，雖有不少知識；而其在物質內之行動，有多方面吾人尙未明瞭。譬如廣播電臺之產生電波，可視爲獎勵電子成羣的遷移，每秒鐘在天線的導線中往返數萬次；電子於此似成一把柄，吾人可藉之以緊握以太而振動之，使以太中產生波動。但對於電流通過導線時電子在線中之行動何若，吾人尙無所知（如電子進行路程之長短，及其在原子間之路線等）。此時吾人對於導線，猶乘氣球觀察城市者之於地下鐵道，祇能見有一羣人衆，從某一車站進去，又見有一羣人衆，從又一車站出來，并每次可計其人數；至於乘客在車內之情形何若，以及何人在何地重行出現，則非彼觀察之所能及。

放電管內之輝光，譬如市場出售之氖燈的輝光，係電子經過氣質所致（吾人對於電子通過氣質時所有之知識，較其通過金屬時爲多）X—射線之產生，吾人已知其由於疾行電子碰擊真

空管中金屬（鉑，鉀，或鎢）板之重原子而突然停止之所致；是蓋突與前說之把柄一劇震，因而有一脈動之波在以太中產生。研究真空管中放電，或電弧放電之各種特狀時，吾人不得不研究在場的電子之行動。熱線中電子之出放，及放出之電子為熱線與「柵極」間之電場所控制，為無線電所用真空管中之主要作用。又上層空氣中，因有太陽之射線經過，時時有電子出放，是為赫氏層，（四十五）北極光，大氣電及他種現象之基本原因。總之，電子為現代物理學之鑰。

吾人已知電流通過一電路時，即產生磁場，又知運動之電荷即是電流，所以電子繞一任何軌道運動時，將產生微小磁力，猶一極小的磁體。事實上，所有實質之大概的磁性，可由電子在此質之物體內循環運動解釋之；此種循環運動，即與磁場相應。實質中，常人祇稱鐵與鋼為有磁性，其實各種實質，俱有磁性，鈷與鎳顯然與鐵有相同之磁性，不過程度較低而已。此類實質，吾人稱為鐵磁的。其他元素之磁性，與鐵相較，非常薄弱，須極精緻之量度，方能察覺。其中有數個元素，稱為順磁的；其微薄磁性，與鐵的磁性為同類；所以將一塊此種實質，置於一磁體附近，即欲趨近磁體，向磁力最強之處移動。其他具有相反之磁性者，稱為反磁的；彼等常欲向磁場微弱處移動；如移近一尋常磁體

之極，則當爲磁極所排斥，非如習見之鐵近磁極時被磁極所吸引。

以上所述各類磁體之大概性質，雖可用電子軌道之理論解釋；但有多數關於磁之特殊性質，吾人尙未明瞭。如合金之磁性，與其所含之元素無關，卽爲此類奇異事實之一。元素排列於固質中，當有相互之作用，合金之磁性，似神祕的由此類作用所取之途徑而定。例如吾人可有一種合金，其百分之八十八爲鐵而無磁性；而霍司拉青銅（五十）磁性之強，幾與鐵等，但其所含金屬爲錳、銅及鋁，磁性俱極微弱。又如近時所煉各種特殊之鋼（例如鉻鋼），其重要的及特殊的磁性，不能視爲從其所含實質之磁性而來。所以大概的言之，磁性非由在場之原子種類而定，乃由實質中晶體構造內原子排列之狀態而定（稱晶體構造者，因各金屬及各合金，均爲一羣微小晶體所合成也）。卽同一實質，其磁性亦由其晶體構造而定；因晶體構造能受熱之影響而生變化。譬如同一錳鋼，淬煉之錳鋼柔韌，易於展薄或延長而無磁性；如果加熱後，使之漸漸冷卻，則成爲硬而有磁性之錳鋼；上面所說之電子的軌道，受支配晶體構造之內力的影響，必各有其特殊之式樣及地位。吾人謂大概的磁性，可以電子軌道解釋，吾人之意，係溫度或他種情形如何影響磁性，能以是解釋之而已。

如尋常之鐵，何以有如是特殊之磁性，吾人不知也。但無論如何，可斷定其非由於鐵原子所有之性質；因除上述各事實外，有數種鐵之化合物，如碳醴鐵等，抱有與鐵相反之磁性而為反磁的實質。將來關於固體中電子之軌道，及其如何受鄰近原子的影響，所得知識較多時，上述問題，自能明瞭；但現在此為現代物理學中最幽昧難解諸問題之一。

(註一) 天空之雲，因重力而不停的下降。其所涵水滴極微，因受空氣之抵抗，故下降之速率甚小。通常，雲未着地之前，已變為雨。

第六章 量子論

現代物理學中最動人之發展，多由於研究通過真空各輻射之性質，以及此類輻射與物質之關係，後者尤屬主要。此類輻射，可見之光，即其一例，此以後所稱輻射，俱指此類輻射。——譯者俱起原於物質中之極微的電擾動；迨其傳播至任何物質時，常有電的諸效應與之為伴。此種效應，有時極易察覺。例如廣播無線波之感應現象，當其未曾轉為聲音之前，此波原係電波；又如X—射線經過氣質時之游離效應，及紫外光之光電效應等，亦均極易察覺。其他如光之經過玻璃或水，雖當其經過一磁場時，發生相當變化，顯示吾人從他方面研究之所期者（即電力在內活動），但無如是顯著之電效應。輻射與物質，以電為其公共之友，藉此公共之友，輻射之作用與物質之特性，遂發生有難以解分之關係。量子論係一幅射的理論，在本世紀之初，為蒲郎克（五十一）所創，至今物理學各部分俱感受其影響。

欲述此理論，吾人先須將輻射之能，從新加詳考慮，對於物理學家之所謂「黑體」，尤須熟悉其特性，因黑體在多數輻射問題中，佔有重要之位置也。吾人首須知善於吸收輻射之表面，當加熱時，即盛放同類之輻射；不善吸收之表面。其輻射本領亦極微弱。譬如灰炭，或其他黯黑表面，所有投射於其上之輻射，幾乎全被吸收，可見之光即如是。反之，明亮之錫，善於反射，吸收當然甚少。設有二水壺，形式及大小俱相同；其一鐵製，外塗灰炭，其一為明亮之錫壺；如置沸水於二壺中，鐵壺之水，冷卻較速，是蓋由於黑面所輻射之能量，比較為多也。用以保暖液之熱及涼液之冷的真空瓶，最佳者常塗以銀。當瓶容冷液時，外來之輻射遇銀反射，為所吸收之輻射熱甚少。如瓶容暖液，則因熱銀輻射極弱，所以因輻射而損失之熱量亦微。物理學家之理想的「黑體」，能將所有投於其上之各種輻射，吸收淨盡；如將其加熱，則每種輻射，當盡其可能而出放，較任何與其同溫之物體所出放者為多。吾人當然不能以灰炭作此類之「黑體」，因加強熱，灰炭即將燒去。有數種金屬氧化物，為黑而能抗熱，故可以之作黑面。但依據理論之所指示，知實現理想的黑體最善之方法，莫如用抗熱之材料（如鐵，倘所需之溫度極高，可用特製之瓷）作一容器，器壁密閉，唯留一小孔，以強熱加於器之

外面，使輻射從器之內部經小孔而出。縱不經詳密的討論，吾人亦可看出此器之作用與一「黑體」相等。因完全吸收者，加熱時即變成完全輻射者；此空虛的容器之小孔，其作用猶一極良之吸收者，因輻射經過小孔後，在內部各向散射，永不再出；如將容器內面塗黑，其情形更相似。譬如在白牆上，有一洞開之窗戶，日光照之，成一完全黑暗之方塊；日光由白牆反射，故白牆明亮；穿過窗戶入室之日光，則與室內之物每一接觸後，強度輒減，且重經窗戶而出者極少。又爐火之心，輝光奪目，可謂一理想的輻射者；因其實際上成一小洞，被同一高溫之發光體所包圍也。

當吾人將上說鐵製容器之壁加熱，成爲紅熱或白熱，而研究其所發生之各種情形時，明亮之光從小孔而出，吾人卻稱之爲「黑體輻射」，黑體二字，表面上似乎矛盾。須知吾人之所謂黑體輻射者，即假想有一物體，能將投於其上之各種輻射，盡行吸收，故加熱時，可假定其將每種輻射，盡其可能而放出，上說之輻射，與此物體所放出之輻射相同，如是而已。稱爲「完全輻射」或「滿輻射」，似能使常人較易明瞭；因「黑體輻射」，用者如此之多（且常引起誤會），故附誌數語於此。

有數個極有關係之問題，與黑體輻射相聯帶。因黑體對於各種之光，俱同樣吸收，並無區別，故

其輻射時，對於各種之光，如紅、綠、藍或不可見之光等，並無特別偏重某種之成見。吾人所欲知者，即於各種可能的波長間，輻射能量如何分配？因此種分配，顯然可使吾人對於物質與輻射之關係，得有若干知識；彷彿有一毫無成見之財政部長，觀其對於各機關，金錢如何分配（軍備費若干，教育費若干，等等），即可使吾人對於金錢與國家之關係，得有不少知識也。（註一）試驗之結果，則爲此類熱體，每一溫度，有一相當的連續光譜；在某一範圍內所有之波長俱備。物體如甚熱（白熱）可見的光譜中各色之光，均呈現於目。物體如不甚熱（譬如其溫度爲沸水之溫度），則無可見之光出放（沸水壺置於暗室中，吾人不能見之）；其所出放者爲紅外射線。物體溫度增高，輻射能量之分配，亦因之變易。吾人有一極簡單法則，明示其變易之大概性質：即物體愈熱，短波愈佔優越位置。譬如一撥火之棒，在沸水的溫度時，黑暗中不能見之；所有輻射，均在紅外區域。漸漸加熱，輻射之界線向紅色移動。至溫度達百分標 500 度時，始有可見之紅色輻射在其界內；此時棒現微弱的紅色光。如再加熱，則其光譜中可見之射線加多，棒始則呈現橙色光，繼現黃色光，最後有些許之藍色光。與其他射線同時出放，此時棒爲白熱。在上述之階段中，大部分能量均在紅外區域，但能量最大之

輻射，則有移向光譜可見的部分之趨勢。嚴格的言之，撥火棒非一「黑體」，但其性質與黑體極相近，足以表顯吾人所敘述之要點。設有物體，熱如太陽，其輻射之大部分能量，在可見光譜中之一區域；如其熱遠過於太陽，大部分能量在藍色區域中；如再熱，則在紫外區域中。

從實驗室中黑體輻射之量度，吾人即可知在各溫度之黑體出放屬於各個波長之輻射能量為若干。此種量度之結果，猶一調查冊子，供給吾人任一溫度時各波長能量之紀錄；是猶任一國家之戶口調查冊，使人知國內各年齡之人數。國家不同，各年齡人數之分布亦異；猶溫度不同，各波長能量之分布亦異也。量子論未出以前，吾人並未想及輻射之能量有其天然的單位，以為吾人可有無限小之能量，由熱體或發光的原子輻射而出。但此觀念如確，則從數理方法，可證明熱體所輻射之能，應盡聚於光譜之紫色及紫外區域；是與事實不符。根據於舊觀念之理論，無一能對於黑體輻射有美滿之解釋。當上世紀之末，此無成見的黑體，遂成爲物理學家之魔。

本世紀之元年，此問題爲蒲郎克（五十一）所解答。蒲氏謂如欲得一輻射理論，其結果與事實相符，必須有一革命的假說：即輻射能量不能無限分析，有其不可再分之量，爲其天然的單位，其出

放也猶一包裏。吾人所有之輻射能，爲此種單位能量所合成，猶物質之爲原子所合成。譬如微塊之鉛，必含有一整數之鉛原子，吾人不能有少於一個原子之鉛；對於電，吾人不能有少於一個電子之電荷；仿此，對於輻射，吾人不能有少於一個天然單位量之輻射能。輻射能之天然單位，吾人稱爲量子。任何物體，無論出放射，或吸收輻射，至少爲一個量子，否則爲量子之整數。總之，吾人所遇之輻射能，是帶顆粒性的，不能無限分析的。

一小包單波長之光，用以傳遞輻射能者，吾人稱爲「光鑰」，有時亦稱爲光子。光子，即輻射能之一量子；所以另用一新名詞者，因「量子」包括較廣，除光外可用於他處也（例如整個原子或整個分子之振動）。

輻射能之量子，與電之量子，即電子，有一極重要的不同之點。所有電子，其電荷均相同，天然的單位祇有一個，至於輻射能則不然，輻射種類不同，其天然單位之量亦異（即各波長有其相當之量子）。事實上，量子與頻率成比例。可見的光譜中，吾人已知極端的紅色射線之頻率，爲極端的紫色射線頻率之半，故前者之量子，亦爲後者量子之半， X —射線之量子，比任何可見的射線之量子，

大得極多。是譬猶吾人購物時，各物有最少量之限制，此種限制，因物而異，如南瓜以一辨士起碼，桃以一先令起碼，金戒指以一鎊起碼，金鋼鑽以五鎊起碼；物品愈小，起碼之值愈增，猶波長愈短，輻射能之量子愈大。

所以光及其他輻射，有量子性，又有波動性；是為現代物理學中表面衝突之一。牛頓以光為一羣流動之質點，並設想此種質點有脈動性，藉以解釋波動說所極易解釋之諸現象。設白光包含各種大小不同之質點與其所含之各色（即各波長）相當，吾人可想像每質點所含之能量，由質點之大小而定；是則此類能量之量子性，可視為當然之結果。但欲解釋近所發現諸現象，吾人必須設想光在某幾種情形之下，為一羣流動之質點，每個質點有一定量之能；而在他幾種情形之下，則須視光為波動，如第四章所述。對此兩歧之觀念，所能聊以解嘲者，則為由吾人之經驗，得知何時須視光為一種波動，纔得正當之結果，何時須視之為量子，猶善測氣候者，知何時須攜雨具，何時祇需一避光之帽。如能有一途徑可循，以貫通此兩類之現象，自然比較使人滿意。近時對於此事，雖有進步：視物質俱有波動性，因而輻射之波動性及量子性，可以調和，但實際上應用，尙覺頗多困難。此新學

說，稱爲波力學，將於第七章再提及之。

如果量子論之需要，祇限於「黑體輻射」問題，則此學說，儘可束之高閣，遇有需要之時，請其下來。但有多數重要現象，散見於物理學各部分中，似俱需要量子論爲其自然之解釋。請先說光電效應：當光或任何短波輻射，投射於金屬之上時，吾人已知其有電子放出，電子之數由光之強度定之，電子之速率，則由光之種類而定。如輻射以光子傳遞能量，假定其所傳之能可用以驅逐電子，則每一光子，或擲出一電子，或竟不擲，擲出之電子，應有一確定之速率，與此光子相當，斷無速率較此值爲小之電子擲出；又依量子論，短波輻射（即高頻輻射）所擲出之電子，其速率應大於長波輻射所擲出者，此類推論，皆與觀察所得，適相符合：據吾人觀察所得，紅色光不能逐出電子；紫色光能逐出電子，但被逐之電子，速率甚小；紫外光所逐出者，速率較大；X—射線則能擲出甚速之電子。紅色光因其頻率低，故其量子甚小，當電子擺脫原子時，需要一最小限度之能量，紅色光之量子，尚不及此最小限度，所以不生效應。電子所獲之能，如將其脫離金屬時所需微量之能，亦計在其內，可由實驗顯示其與輻射之頻率，適成比例。因此爲十分確定之事實，故遇有極短紫外波，用尋常方法

不能量其頻率時，吾人可量其所擲出電子之能，以計其波長；此法曾用於頻率極高之鐳的 γ 射線。

量子論不僅應用於輻射問題，凡原子過程之有週期性者，（即每秒鐘重覆若干次之過程）均可應用。原子或分子繞其軸線旋轉如陀螺，即屬此類之過程。依量子論，旋轉體之旋轉速率，祇限於數個定值，其餘均不許可；且其旋轉尤不能甚緩（旋轉體必以許可之速率旋轉，或竟不旋轉，故其旋轉速率，至少須為許可速率中之最小者；譬猶一個時鐘，吾人欲其在中午時時針常指十二點，時針竟可停止不轉，或以二十四小時旋轉一週、兩週、三週或任何整數之週，俱能充滿此條件，但不能有其他速率）。此奇特的限制定律有下述之結果：設有一低溫之氣體，其分子彼此碰撞，比較和緩，分子旋轉之機會甚少，其所受之衝擊，常不足使分子以最小許可之速率旋轉；所以欲將此氣體溫度升高，所需之能量，僅略多於使分子移動增加劇烈之所需；如氣體之溫度較高，則碰撞比較劇烈，足可使多數分子以量子論所許可之最小速率旋轉；故使其溫度升高時，吾人除供給能量使其移動增加劇烈外，尚須供給轉動之能；所以溫度同為升高一度，低溫氣體所需之熱量應較少於高

溫氣體之所需。吾人實驗所得之結果，與此適相符合。

對於固體，此效應尤為顯著。量子論應用於固體內的振動時，用兩種不同方法計算，所得結果相同：即物體在極冷時，將其溫度升高一度，其所需之熱量，與其暖熱時溫度升高一度所需之熱量比較，幾等於無。是與第二章所說實驗之結果相合：一磅在尋常室溫之銅，溫度升高一度所需之熱量，可使其在百分標零度下 250 度時，溫度升高二十度以上。從量子論詳細推演而得之預測，與從觀察所得之事實，均極密合。

原子的或分子的週期性過程，無論在何處遇到，亦不論其為何種類，均受量子論之支配。在原子內，電子循其軌道而行，大概的言之，彼等均以一定頻率在軌道上重覆巡行，量子論能如次章所言，解釋彼等所放之光的種類。在氣體中，分子除來往衝突外，同時輾轉不已，量子論不僅能解釋其與熱相應，並能解釋其與光相應。尋常可見的物體之旋轉（如陀螺、飛輪及礮彈等）則不受量子論之影響。因單個原子之作用，對此不生問題，猶原子說對於此類物體之重量，並無若何影響也。依原子說，物體重量，祇能一級一級的增減，因不能有一重量比一個原子之重量為小，所以每級最

小限度爲一原子之重量。但如每級祇增減一個原子或數個原子，則其量極微，在包含兆兆兆個原子之物體上，當然不能察覺；所以表面上，吾人能連續無間的變更此類物體之重量。依同理，量子論所講旋轉之變遷階級均極微，在工程學的問題中，當然不能察覺，如能察覺，則此依量子律之旋轉，早已發現，不必俟諸今日。

量子論可代表現代物理學之一特點，即以特殊的力學應用於原子之過程也。上世紀之物理學，即近時所稱之「典型的物理學」，則以原子爲微小物體，服從尋常力學中諸定律，因「尋常大小」之物體，已知其均爲此類定律所支配。「尋常大小之物，近時常稱爲粗顯之物，（五十二）以別於微妙，或亞微妙之物（五十三）」又典型的物理學以輻射爲一個稀薄的特殊介質以太中之波，此雖可視爲真確，但波之性質，則從實地可見的，或可覺察的，波動或振動推演而得，易言之，即從空氣、水或固體等實在介質之波動或振動推演而得。至於現在，則由實驗所得之結果，不得不使吾人有下列之斷定：原子及原子的部分之運動定律，以及支配原子所發射的或吸收的輻射之規則，多方面爲特殊的，祇可由嘗試及與現象本身反覆比較而得之。總之吾人無何種理由，可假定原子各部

分之舉動，應如機器之各部分，或太陽系之各部分，服從尋常力學之定律，猶吾人無何種根據，可假定羣衆心理能表現羣中個人之心理。將來吾人得知原子舉動之定律時，當然可以從原子個體之性質，推得尋常物體之性質；對於輻射，吾人亦可從其量子的性質，推得羣聚的輻射之性質，雖其相反之過程（即從羣聚的輻射之性質，推得量子的性質），吾人現在已知其爲不可能。但此時，吾人祇須記憶下語：設物質已具可衡之量，輻射如尋常所覺察者，俱服從力學、電學及光學之「典型的」定律；至於關乎原子個體及其出放量子時之過程，則須有特殊定律支配之；特殊定律之最重要者，量子論已包含其數個。

（註一）此譬喻並不甚佳，因財政部長無論有成見與否，是一黑體，將所有投於其上之輻射，即到其手之金錢，完全吸收；至於如何分配，各人儘可不同。

第七章 原子

物理學之內容，吾人已略睹其大概，近三十年來實驗室中及讀書室中熱烈工作之結果，亦已舉其數端而討論之；此章將略談原子。其實原子本身，亦即可視爲近三十年研究工作之一概略。當討論熱之本性時，吾人以原子、分子爲物質單位，且在無時或停之擾動中；對於熱之本性，此假設即已足用，但涉及光或其他輻射之產生問題時，吾人不得不再進一步，以研究原子之構造。原子構造，與近時關乎電之研究，亦有深切關係。又舊時之化學，視原子爲不可碎裂之質點，具有化學的吸引力，即所謂「化合力」，但現在亦漸漸的需要原子的詳細構造以闡發其理論；理論中，電力尤所常用，而電力則由原子構造而定。即在熱學中，亦有數個細密之處不能視原子或分子僅爲一質點，而需要原子構造之新知識。原子構造之研究愈進步，應用之區域愈見其廣，而物理學與化學，愈可視爲一種科學中之兩個密切的支派。

十九世紀將盡之前，人皆承認物質爲原子所合成，各元素有其相當之原子，各種原子無彼此相同之部分；所有原子，俱視爲不可碎烈，不可消滅，全身性質如一，猶成凍之汁，非若葡萄乾布丁之有塊粒（科學家稱此類物體爲均勻的物體）。當時最大的理論物理學家馬克士威（十一）稱原子爲「製成之物品」，其意即爲彼等一經製成，永不更變也。然百餘年以前，化學家樸勞脫（五十四）曾設想所有原子俱爲氫原子所構成；但此設想，即遭擯棄，由原子量之精密的測定，知各原子之重量，非氫原子重量之整數的倍數；譬如氮，其原子量爲 35.46 ，非 35 ，亦非 36 ，樸勞克理論如確，此值應爲一個整數，因吾人以氫原子之重量爲一也。

約在本世紀之初，原子爲部分所構成之觀念復活；蓋是時，電子之存在，業已確定；各種物質，均有完全相同之電子放出，如第五章所述；且電子較原子輕得極多，所以一個原子中，可含有許多電子而不覺其重量有何影響。至於原子內，正電在於何處，以及原子從何而得其重量，如重量亦爲電子所賦與，則原子須含數千電子，方能與其重量相當，此類問題，當時留而未決。至一九一一年，始由拉率福特（五十五）大致解答，後來工作，對於拉氏之斷語，盡行徵實，且擴展焉。

由研究 α — 質點通過極薄金屬片之結果，拉氏得到現在對於原子之新觀念。 α — 質點，爲帶有正電之氦原子，由數種放射元素自動的射出。大概的言之；不論其來自何種元素， α — 質點之速率均相同，約每秒鐘一萬英里左右；因有此速率，所以抱有甚大之能量，（註一）吾人在實驗室中，可用適宜布置之電壓，與原子以能量，其最大可能之值，較之 α — 質點之能量，尙極微小。「自然」供給吾人以一羣微小的拋射體，從原子擲出，吾人可藉此以探試物質之特性。拉氏之研究，即欲求 α — 質點爲當道的原子所散射之情形。其所得之結果，則爲經過一金箔或他種金屬薄片之後，多數 α — 質點之路線，較其原有之方向，稍爲偏轉，但有時其偏轉之角度極大，甚至有從其進去的一面重行離箔者。

欲明瞭拉氏從上述事實所得之推論，請先設想有人以鎗射擊一木製之牆，因木質之不整齊，鎗彈穿牆之後，其路線當略偏。但從大體的言之，仍依原有之方向前進。如放鎗者不時見鎗彈偏轉之角度甚大，譬如五十度或六十度，且有時遇彈折回，險遭迴擊，此時彼祇能有下述之斷定：即牆之內部必含有小塊之鐵，或他種不能穿過之物，時時被彈所擊，或正或偏，此類物體之存在，可從鎗彈

之路線而察覺。拉氏所得之斷語即類此。彼謂依實驗所表示，原子內必有一微小不可穿過之中心，能使 α —質點路線之方向偏轉一大角度。每一 α —質點經過金箔時，可由計算而知其必須穿過數百原子，通常 α —質點所有之甚小的偏轉，必為經過多數微小擾亂之結果。至於極大之偏轉，亦可由計算而知其決不是從此類微小推撞所積聚而成；因果如是，則此類微小推撞，須湊巧盡屬同向。具有此類性質之實驗，尋常推理，極嫌不足，必須以精密的數學理論，推算所期效應之大小，再與實驗所量得之值比較，以定其推論之是否正當。

假定原子為含有一個帶排斥性的核心，能使 α —質點走近時，或與其碰撞時，改變其路線之方向，可用數理推算其應有之效應。此計算所得之結果，與拉氏實驗所得之結果，非常密合，足以使科學界羣信拉氏原子構造之觀念為真確。拉氏以一發磷光之小屏，橫置於 α —質點穿過金箔後路線之上。當一 α —質點撞於屏上時，其所有之能，足使發生一微點之光，可用顯微鏡觀察之。但屏上之所表現者，祇為 α —質點抵屏時之位置，不能顯出其全路線。如欲觀其全路線，可用第五章所述C.T.R.韋爾孫（四十九）之方法。蓋 α —質點經過一氣質時，所經之處，原子遭其損毀，如氣質含

有過飽之水汽，即有小滴之露凝結於被毀原子之上，吾人遂得以觀察 α —質點之遺迹。據照片之所示，路線多爲微曲，間或有一條，中途突轉一分明之角度；但遇此情形時，另有一線呈現，其路線遂分爲兩支而成叉形。叉之一支，爲 α —質點碰擊原子核後所有之路線，其方向則因碰擊而偏轉；其又一支則爲原子核心之路線，因原子核心受 α —質點猛擊後，亦在氣質中突進，經過之處，其所生效應，與 α —質點所生者相同。每若干條之路線中，得有幾條叉形之路線，以及叉形路線兩支間之角度，俱與拉氏理論所期之結果，適相密合。以此類質點兆兆個排成一線，其長不過一英寸之一分數，以兆兆個合而稱之，其重尙不及一塵點，但吾人能利用其電的效應之告密，將其蹤跡及碰撞，攝成照片。

從上述之各試驗，可知原子內部必有一個力場中心，所佔區域極微，但比較笨重，故不至爲飛行的 α —質點所掃開；吾人稱之爲原子核（猶梅中之核；不過以梅核比原子核，殊覺不甚切當，因原子核之直徑，僅爲原子直徑萬分之一左右，而其質量，幾等於原子全部之質量）。原子核帶有正電，原子其餘部分，則爲電子；核之正電與電子之負電適相抵。原子核之所以能使 α —質點路線轉

成一大角度者，即因其帶有大量正電之故。因其電荷與電子之電爲異類，故原子核吸引電子；但電子雖被吸引，不落入於核內，猶太陽雖吸引行星，而行星不落入於太陽之內也。因輕物體繞一笨重的中央物體運動時，有一飛離之趨勢，此趨勢可與中央物體之吸引相抵而平衡。對於此事，原子與太陽系有相同之情形；其實原子可視爲一種太陽系，不過各行星之軌道，約言之，盡在一個平面上，而重原子內，含有繞核而行之電子甚多，其軌道之平面有許多不同之方向。

於此，吾人宜先將原子大概的形狀，亦即現在所必須如此想像之形狀，略爲敘述：原子之中心有一核，如將其擴大兆兆倍，則其大小如一豌豆，但原子核祇可視爲充滿四周的電力之中心，不能視之爲一明確的物體如豌豆。至於所謂大小，意爲吾人從外而抵其境界時，電力突然變成極大；彼之境界，猶明確的物體之表面；譬若一強烈之火，人走近至某距離時，不能再行前進，是雖無實際的牆垣存在，卻顯出一種自然的限制；吾人說原子核之境界及原子核之大小時，即含有此種意義。在原子核之四周，集有一羣之電子，循其軌道而行，距核遠近不一，其個數及其排列，由原子之種類而定。最重諸原子內，核外電子，多至九十左右。其所佔之空間，如亦擴大至兆兆倍如原子核，其直徑約

爲一百碼。彼等之佔據空間，非若水之在桶，不過在此部分之空間內巡邏，如防衛之兵士。彼等可阻止他原子之遲卒侵入，所以此種巡邏範圍，吾人即稱爲原子之大小；因當兩個原子，經尋常的碰撞而相近時，一遇此種巡邏範圍接觸，彼等即躍離也。但一富於能量之質點，如 α —質點或疾飛之電子，與原子相遇時，可直穿電子巡邏範圍而過；不過距離一電子極近時，其路線微爲偏轉而已。吾人尋常所稱質點穿過原子，即指此巡邏範圍而言。因原子核如此之小，質點穿過原子，通常無甚困難；間或走近原子核時，因其笨重而有力，質點之路線當爲之偏轉，猶進攻之兵士近一強固堡壘然。所以原子之大部分爲空虛的空間，其非空虛之部分，則爲電力之中心，或亦即磁力之中心（在中央爲一極強之力心；在外部移動者，則爲較弱之諸力心，力之方向與前者相反）。

如將拉氏實驗所用金箔之厚，放大至一英里，此時原子直徑約爲一碼，而其中之核，大小僅若微塵，其直徑約爲一英寸的千分之一；所以各原子雖甚貼近，幾乎互相接觸，而原子核在箔中之分布則甚稀。 α —質點之大小，與原子核相似，當其穿過金箔時，與原子核距離不滿一英寸的四千分之一時，其路線方能偏轉四十五度，由此可知路線偏轉一大角度之 α —質點，祇能偶或遇之，不

能多見。但亦因有此等不常見之質點存在，吾人始獲有線索，以探原子之祕焉。

原子外部電子之個數，及其大概的排列，在通常狀態中，由原子核正電之多少而定。原子間之化學作用，必與原子外部之電力有關，但此電力無均勻性，在各地點及各方向，不盡相同；因各種原子內，電子軌道各有其一定方向，且各有其排列，原子種類不同，電力之分布，遂亦因之而異；所以吾人可說某種原子之化學性質，由此種原子之核上正電多少而定。

上面，吾人常說及原子之質量。不久以前，原子質量，祇能用化學方法求得之；譬如在某幾種化合物中，已知其有兩種不同之元素，且知其一種元素之一個原子，與他種元素之一個原子相化合，所以如能用精緻天平，將二元素實際上所配合之量稱得，吾人即可知兩種原子重量之關係。如已知一個元素之原子重量，譬如已知氫原子之重量，則其他原子之重量，可研究相宜之化合物以求得之。求得之重量，即所謂原子量，化學書中均有表揭示。氫原子重量，可用特殊方法估計之，曾於第二章述布朗運動時略為涉及。對於原子量表中值，吾人因有特殊理由，以氧原子為標準，稱其重量為 16，他種原子之重量，則為對此比較之值。

於此有須注意者：吾人實際上所稱之量，內含兆兆兆個原子，所以吾人所稱得者，實爲原子的平均重量。如果化學性質相同之原子，其重量亦相同，如不久以前所默認者，則其平均重量，當然與每個單獨稱得之重量相等。設有二袋，其一盛一兆個辨士，其一盛一兆個先令；假定所有先令，每個重量俱相同，所有辨士，每個重量亦俱相同，將二袋稱之，即得一個辨士與一個先令之重量的比例。如果先令因鑄造之年份不同，重量微有差異，雖每個先令，購物時之價值相同（先令購物時之價值，猶原子之化學性質），但吾人所稱得者，爲一個先令之平均重量與一個辨士之重量的比例。經長時間連續之研究，阿司登（五十六）有法以測定單獨原子之質量；是爲歐戰後最重要研究工作之一。當討論電子之時，吾人曾謂在真空管中之一羣流動的帶電質點，等於一電流；并謂可用磁力或電力，使其流動之方向偏轉。作用於一質點上之力，由質點上之電荷而定；至於由力所生之偏轉，則由其質量及其運動之速率而定。譬猶從風之側向，投擲一球，球被風吹而偏轉；其偏轉之多少，則由球之質量與其速率而定。（假定風所產生之力相同，則球之大小須相同）高爾夫球受風之影響，顯然比乒乓球爲小；快高爾夫球所受之影響，比慢高爾夫球爲小。欲測單獨原子之質量，

須在真空管中有一羣流動的帶電之原子；將所需之某種原子引入管中，爲管中殘餘之氣質，或將原子之固質化合物置於陽極之上，即可得之。設將電力與磁力特別布置（是猶吹球者有兩種不同之風），如已知飛行的原子所帶之電荷，則可由原子路線偏轉之大小，以計算原子之質量。原子所帶之電荷，可另由他法推得，路線偏轉之大小，可由照相片觀察之：因原子碰擊照相片時，即留一跡於其上也。如有兩組質量不同之原子存在，其路線當分而爲二，是猶高爾夫球與乒乓球在風中之各有其路線。

阿司登之儀器，亦可視爲一種電磁的標度，將原子依其重量而分析之，使彼等各落於適當之地位。藉其儀器之助，阿司登確示一可驚訝之事實（適當歐戰之前，此事實人已疑及之，但其普遍性，從未有人想到）：即多數之化學元素非完全相同之原子所合成，實爲化學性質相同而質量各異諸原子之混合物。譬如氮，其原子量爲 35.46 ，係含有兩組原子之混合物；一組之原子量爲 32 ，其又一組爲 37 ，兩組配合之比例，則爲適可使混合物之原子量成爲 35.46 。其他元素中，有數個含有多組質量不同之原子：譬如水銀，其原子量爲 200.6 ，含有六組質量不同之原子，其原子量爲

202, 200, 199, 198, 201, 204, 第一組之原子, 在混合物中個數爲最多。上述之事實, 簡括的言之, 卽爲多數之化學元素爲同位元素(註二)之混合物; 同位元素, 卽原子量不同而化學性質相同諸原子之總稱。

因同位元素之發現, 原子構造問題, 較前大爲簡單。從上述之例, 可知同位元素本身的原子量與整數極近; 尋常化學元素之有分數的原子量者, 因此類元素實爲混合物之故。所以表面上, 宛如各種原子內之重的部分, 譯者——俱爲一種簡單的質點, (註三) 卽氫原子核, 所構成。故氫原子之核(卽一個帶有正電之質點, 所帶正電之量, 與電子負電之量相等), 對於原子構造, 特殊重要, 吾人因特予以一名, 稱之爲質子。如氫原子比氫原子重四倍, 氫原子核含有四個質子; 又如氮原子核, 其一種含三十五個質子, 其又一種含三十七個質子。他元素仿此。於此有須特別注意者: 卽正電不能如負電可離物質而獨存, 卽其最簡單者亦必與物質相伴。

吾人將再進一步: 如果原子核內, 除質子外無他物, 則原子如比氫原子重 35 倍, 其核必須有 35 單位之電荷, 原子核所帶之正電荷以 而核外須有 35 個電子圍繞之。但原子之核荷, 常比其

原子量爲小，且相差常極多：譬如氯之二樣原子，原子量爲 35 與 37 ，但此兩樣原子，核荷俱爲 17 。如核內除質子外，尚有貼近質子之電子，則此事卽易解釋。但此類核中電子，讀者請勿與核外電子相混：核外電子，如前所述，繞核而行，如行星之繞日。因電子質量，祇等於質子質量兩千分之一左右，故電子在核中，對於核之重量，無甚影響。由是，吾人對於同位元素，亦可明瞭：依前所述，原子之化學性質，由其核荷而定，故屬於一個化學元素之各同位元素，必有相同之核荷及不同之質量：如果在核內，吾人加一個質子與一個電子，因所加之電荷，正負適相抵，故核荷無稍變更，而質量則增加一單位。所以在紙面上，吾人可有任何核荷（卽任何化學性質）與任何質量之核相伴；但實際上，「自然」之賦與吾人者，並不若吾人所想像者之多；但此類之例，吾人已得有不少。譬如兩樣不同之氯原子，其中之一樣，核內有 35 個質子， 18 個電子；其又一樣，核內有 37 個質子， 20 個電子，兩者純得之正電荷，各爲 17 單位，如前所說；核外電子之排列，卽由中央 17 個單位之正電所支配，使氯呈現其所有之各種化學性質。原子核荷之單位數，吾人稱爲原子序數：例如氯之原子序數爲 17 。

質子爲構成原子核之一明確的部分，非僅想像而已。拉率福特（五十五）以一羣 α —質點碰擊輕的元素，曾確示質子可從其核撞出，另一種化學原子之核，因而製成；元素之變化，亦遂實現。拉氏所用之方法，祇能察覺單獨原子之破裂；每一次試驗，祇有數個原子變化，新原子從未有可聚或可衡之量；但元素有變化之可能，則已確定。所以現在，吾人視原子爲非不可破裂者，非內無組織之顆粒；彼等均有構造，且其構造，吾人能改易之。此類構造，「自然」在往古之時，業已完成，在星體內，則此時尚在進行中。吾人之稱「原子碎裂」，係指此原子核之碎裂而言；如碎裂原子，爲僅使在外部的電子脫離，則爲世間最易之事，每一火燄，每一電燈，此事常在進行，如後所述；原子外部的電子遇有脫離時，彼能檢拾他電子，將自身修補完整；其變更並非永久的存在。所不易破裂者，即此最內部分之核（原子其餘部分之構造，亦即受此核之支配）。核如保持其質子之數，原子之質量不變；核如保持其電荷，原子之化學特性不變。

核內之質子與核內之電子，能聯合而成另一單位。 α —質點，即氦原子之核，含有四個質子及兩個電子，密切聯合；因其從某幾種有放射性的原子之核中出射，顯然爲構成此類之核之一穩固

成分。謂成分本身之內部穩固也——譯者最近（一九三二年春間）在闔橋大學（五十七）有人證明：原子核

之內，有中和子存在，中和子爲一個質子與一個電子密聯而成，所以由彼等所生之電場，幾互相抵消。以 α —質點之撞擊，中和子可由某幾種輕原子之核撞出，其貫穿本領，非常強大。因其所生之電場極小，所以穿過原子時，原子之電場對之，幾乎毫無影響。中和子經過一英尺之鉛，吾人尙可察覺之。由上所言，可知在原子核之內，有若干質子與若干電子，且彼等可結合而爲構造中之若干副單位；彷彿網球俱樂部，由男女會員所合成，其中有兩人組，有四人組，永久結合，爲此俱樂部組織之一特色。因中和子有極大貫穿本領，致有人設想宇宙射線爲奔走極速之中和子，非極短波長之磁電波。

最重的幾種原子之核，構造非常複雜，含有多數之質子與多數之電子；譬如鐳，核中有226個質子，138個電子。如是複雜之構造，似不穩固，易於滑脫其一部分或數部分。此滑脫之部分，即離原子而出射，并帶有大量之能；所遺之原子，成爲另一種類之原子。此過程稱爲放射，或放射變化。放射元素中，有數種，從其核內出射高速之電子，通常稱爲 β —質點；有數種，能有 α —質點擲出，如前所

述；有數種，能出射一種貫穿本領極強之 X —射線，稱爲 Y —射線。以上所述之各射線，俱顯出核內有強烈的活動，并儲有大量之能。且使人確信原子可以變成他種之原子，因當一放射元素出射一 α —質點，或一 β —質點時，即變成另一種類之元素，化學性質，與其前身迥異。但此類原子，祇能待其自動的破裂，吾人無法可阻止一放射元素使其不放射，亦無法可使一尋常的重元素放射所以放射現象，吾人祇能旁觀而不能主使。

雖然，最近在圓橋大學堪文迪須實驗室（五十八）內，考克勞甫脫（五十九）及華爾登（六十）能將某幾種輕元素之原子比較大規模的破裂。以人工破裂原子，輕元素較易爲力，因圍繞原子核之電場比較弱小，故對於侵犯之質點，其抵抗力遂亦比較弱小。彼等製一特殊之管，以之產生一柱在高電壓之濃密的質子。所用電壓，不若預期之高，一二十萬伏特，覺已足用；而質子之數卻極大，比較在撞擊試驗中所用 α —質點之數，大得甚多。暴露於質子猛烈撞擊之下，輕元素之原子核，譬若鋰之原子核，即破裂而放出 α —質點。事實上，似乎鋰之原子核，破裂而爲兩個 α —質點；核中出放三個質子，即有外來質子中之一個趨與爲伍，湊成四個，即一 α —質點應有質子之數。當寫此書之

時，試驗尚在開始，預期在最近將來，當有重要結果由此法發現。

所有放射元素俱甚重，可分爲三族。居在每族之首者，有 α —質點從其原子擲出，其原子即變成另一種之原子。此新原子亦有放射性，經變化而成他種之原子，此延續蛻變之過程，至一尋常化學元素而止；所謂尋常者，指其原子穩固，無變化也。有數種放射元素，衰謝極速，如錒A，其原子半數經過變化，祇需時數千分之一秒鐘，而鈾之原子，須幾千兆年方蛻變其半數；其衰退率何以相差如是之多，是爲放射學中難解諸問題之一。

茲將前所說者撮要複述之；原子核爲原子之元首，原子之化學的及物理的諸性質，俱由其規定；外有巡邏之電子保護之，核之內部組織緊密，外來最強之力，如 α —質點之撞擊，始能擾動之。至於重原子之核，電荷較大，卽此類質點，亦不能走近而侵害之。但極重之原子核，能自動的碎裂，出大量之能：一英兩之鐳，蛻變至鉛，所放之能量，可運轉一部百馬力引擎五十五日；但變化極慢，須1,730年之久，方變成其一半。但雖如此，一英兩之鐳，一小時所放之熱，能使比其重一倍又半之水從尋常室溫升至沸點，所以此類重的原子核，爲大量之能之所在，當核破裂時卽出放。輕的原子核

則不然，如欲將其破裂，必須有大量之能注入；故吾人若能製成此類之核，應有相當大量之能出放。如果吾人能有法，將四個氫原子核（即四個質子）與兩個電子，製成一個氫原子核，則製成一英兩之氫，吾人即可獲有大量之能，足以運動一部百馬力引擎，日夜不停，八年之久。所以如有法，能將大量之元素變化，假設其出放之能，吾人可以利用，則此可得利用之能，比其變成之金屬，應尤有價值。如出放之能，果可利用，誠爲有價值，但恐其所取之態，或非吾人所能控制耳；譬如爲一猛烈甚於爆炸之反應；或爲貫穿本領極強之輻射，如宇宙射線之類；吾人即無法阻止其散逸。

所以宇宙射線之來源，似爲在外部空間輕原子合成較重原子時所放之能。米立根（四十三）謂外部空間之低溫及低壓，極宜於氫原子構成氦原子；並指出如將構成氦原子時所放之能，變爲輻射，與以量子論所定之頻率，則有此頻率之波，適與宇宙射線主要部分之貫穿本領相合；其餘貫穿本領較大之宇宙射線，米立根謂由於構造比較小量的他種輕元素時所放之能。一單獨過程所產生之射線，其頻率之高，能如宇宙射線之強大貫穿性所表示者，似乎祇可從製造原子而得之。

茲吾人將離開元首而視其臣屬。核外原子之繞核而行也，有週期性，此類有週期性的運動，即

屬於適用量子論之過程。從第六章所說，電子之運動，應有一種特殊的限制。其在軌道上行走之快慢，不能隨意，須與量子律所限定之計算的規則相合，故其速率祇能有數個確定之值；頗似鐵軌上火車，有確定之路線，并有時刻表之限制，非若經售汽車者，在海濱誇示速率，可各憑其車所能有之速率，任意馳逐。旁觀者如不知有上述之限制情形，彼觀火車之行動，似亦為任意的，因火車引擎之機構，對於火車之路線及速率，並無任何之限制也。當量子規則未發現之時，吾人當然可設想電子在原子中，彷彿汽車，祇要為其機關所許可，可有任何之速率。量子論對於原子內之核外電子，則限以確定之路線及時刻表。且時刻表非祇一個，各電子在多數備選之時刻表中，必須遵守其一。至於不合時刻表之速率，雖為尋常力學定律所許可，電子概不能有。簡言之：即電子祇可有幾個確定之軌道，在軌道上之速率，各有其相當確定之值。

謂電子祇可依數個確定之時刻表而運動，無異於謂原子由電子之運動，可有數個確定之能量，此外之能量，概不能有。當諸電子各遵依一許可之時刻表運動時，吾人稱原子在一停頓狀況中，所謂停頓，係指原子能量之值，保持不變，非指電子而言，電子之運動，固未曾停頓也。設時刻表因故

更易，諸電子各遵依許可時刻表中之另一個，其運動當突然更變，原子能量之值，亦突然更變；如原子能量較變更之前爲少，其剩餘之能量，變爲輻射而離其原子。至於其所變者爲何種之輻射，則由所放能量之大小而定；易言之：即由量子定律而定。如從原子之一單獨過程所出放者，爲一包大量之能，則變成者爲一包高頻（即短波）之輻射；如出放者爲一包小量之能，則變成者爲一包低頻（即長波）之輻射。

上述之學說，由波耳（六十二）所創。簡括的言之：即某一種原子祇能於某幾種確定的能量階級中存在，至於何以祇能有此數個能量，則因其運動的電子祇能在量子律所限定之數個軌道上行走。如將能量注入於原子之中，原子即從一個階級遷至一能量較高之階級；反之，如原子從某一階級移於能量較低之階級，其剩餘之能量即出放，變成輻射；此輻射之波長，則由剩餘能量之大小而定。

如欲將能量注入於原子之中，吾人可將一氣體加熱，使其原子有強烈之互撞；加熱至相當程度時，其碰撞（至少數個碰撞）之猛烈，足以使數個被撞原子之內部能量，升至較高之級。注能於

原子之又一法：即爲使一羣電子通過放電管中之氣體；電子與原子當互相碰撞；其中將有數個電子，其碰撞原子之猛烈，亦足以使原子內部之能，升至較高之級。再吾人可使波長適宜之輻射，投射於原子之上，當有數原子從輻射吸收能量，升至能量較高之級。用上述各法，吸收能量之原子俱有輻射出放；如遇適宜之情形，出放者將爲可見之輻射（即光）；是因原子升至高級之後（彷彿鐘表中發條盤緊之後），自己弛放，跌回低級，其所解放之能，即輻射爲光，輻射之頻率，由原子從高級跌至低級時能量變更之值而定。而實際上，一種原子所能有之變更，則須視其可能諸階級中，以何者爲其始級，何者爲其終級；雖有一組可能之能量（諸能量間相差常巨），對於一特殊原子系，其輻射祇可有某幾個之頻率。故吾人任擇一種原子，其所出放之輻射，祇能有某幾個波長，是猶一微小的廣播臺，雖其可用之波長不止一個，但其所挑選者，僅一組特殊之波長，非舉其限內所有之波長而盡用之也。吾人稱此事實爲原子產生線譜。一個熱的固體之光譜，爲一連續的彩色帶；氣體所輻射者，祇爲其帶上之數個極窄區域，即帶上數條之線，所以稱之爲線譜。吾人特舉氣體者，因祇能在氣態中，原子間距離之遠，足以使每個原子之舉動不受鄰近原子之影響；在固體中，原子擁擠甚

緊，每個原子之電力，俱侵入他原子之範圍，以致每原子所輻射者，爲被擾之效應，非此原子本有之諸頻率；合所有原子之輻射，吾人得一連續光譜，代表其所有之各頻率。

茲吾人將再從詳討論原子之游行電子系，出放各種輻射時之情形：諸電子散布於原子之內，即約一立方英寸之兆兆兆分之一之空間之內，分爲數組。爲方便起見，吾人可設想每組限於原子核周圍空間之特殊的一層。每組所有諸電子，對於他組所有諸電子，距核俱較近，或俱較遠；易言之：即每組可視其爲限於一球殼狀之空間，彷彿洋葱頭之一層。但此僅爲一粗略之想像，因電子軌道，非盡渾圓，有爲狹長之橢圓者，然對於吾人之需要，上述想像，即已作用。屬於最外層之電子，即最外一組之電子，對於原子日常生活，首當其衝；原子化合，由彼等負責；原子互撞之驚嚇，亦由彼等身受；彼等距核最遠，故其地位亦較他組電子爲不穩固，一比較輕緩之擾動，即能使之脫離軌道，而至原子周圍之空間，循一量子論所許之軌道而行走。因此類過程中，反抗之力不大，故此類外層電子變遷時，能量之變易亦不大，原子恢復原狀時所輻射之頻率，遂亦不高。此類變易，即爲光譜中可見區域及紫外區域諸線之來源。

如果原子被震過劇（如被一極速之電子所擊），外層諸電子中，當有一個完全脫離關係，吾人遂得帶有一個正電荷之原子，稱爲游離的原子。如外層第二個電子，受一比較輕緩之擾動，此游離的原子，當產生其自己之「光的」線譜，與原子原有之光譜迥異。所以自光譜觀之，游離原子似爲另一種原子，其實不然：核荷未曾變更，原子能於短時間內，檢拾一電子，恢復其原狀；所受之損失，並非永久；此類過程，吾人不能稱爲「碎裂一個原子」。如加以更劇烈之擾動，原子將損失其兩個或多個之外層電子。設用一極熱極猛烈之電花，能使其外層所有之電子全行脫離；如某種原子，脫離之電子可多至七個。此類失其外衣之原子，卽外層電子全遭損失之原子，米立根（四十三）稱爲「被禿的」原子。（六十二）在極高之溫度，如數個星體中之所有者，原子似不僅損失其外衣，卽其內衣亦盡被剝；至於外衣，吾人實驗室中，已能將其剝脫。在此類星體之中，原子外層電子，固盡脫離，卽內層繞核之電子，亦全部損失，所餘者僅一赤裸之核。吾人已知原子之質量幾盡聚於核，而核在空間所佔之他位又極小，故此類之星質，應可有極大之質量容於小部分空間之內。（用科學的名詞，卽此類星質之密度極大）愛丁頓（六十三）曾謂：由此理論，可以解釋數顆小星之異常的重量

〔譬如麥南氏星，(六十四)大小約如地球，而其重量幾等於太陽〕。愛丁頓又謂：「於汝之背心袋中，藏一噸此類之『核』質，綽有餘裕」！蓋此類核質，為大部分空間已被擠出之物質也。如從被攔諸核中，提出一個，使其脫離熱烈紛擾之環境，置之於溫度較低之處，如地球之上，則彼將召集電子，從新構成一完備的原子。

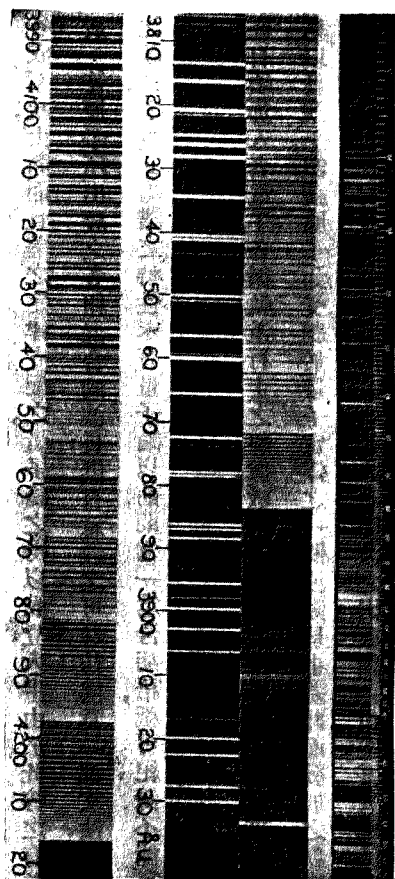
茲吾人將旁涉的被攔原子攔起，繼續討論原子出放輻射之情形：火燄或放電管中氣質所放之光，如照相者所用之汞汽光等，吾人已知其為原子中最外層電子所作之事；如果原子受極速的電子之撞擊，則將有一電子，從較內諸組中之一而出，與原子脫離關係，使原子升於能量較高之階級。但在短時間內，其所遺之缺，將為他電子所補，而原子能量當減低甚多，遂跌至能量較低之級。因此類過程中，能量減低之值比較為大，故與此相當之輻射有較高之頻率。此種輻射，即吾人所稱為 X -射線。故欲得 X -射線，先須使一電子從內層脫離原子；此電子所屬之組離核愈近，所得 X -射線之頻率愈高（貫穿本領亦愈強）。由此，吾人可知何以固質能產生 X -射線之線譜，而欲得光之線譜，必須氣質：因 X -射線之產生，不牽涉外層電子，故原子外部，雖受任何撞擊，或任何電力

作用，對於 X —射線之產生，毫無關係；固體內，原子間距離之近，對於內層諸電子，無甚影響；至於光之產生，則當事者為外層諸電子，上述之外來各影響，遂發生種種之效應。總之，擾原子之面，吾人得光；挑撥其內層，吾人得 X —射線；如攪動其核，吾人將變革其本性之全部。

氫原子為一特殊簡單之原子，因其祇有一個電子，故無所謂內組與外組，亦無所謂游離原子之光譜。其光的線譜，從紅外區域延至紫外區域，構造極簡，為前人首加研究之光譜。氫原子無 X —射線的線譜，其他極輕諸原子，亦無 X —射線的線譜，實際上，非至內層組織較為完備之原子，即不見有發達完全，具有貫穿本領之 X —射線產生。尋常氫氣，由氫分子所合成，每個氫分子，由兩個氫原子所合成。在氫氣中放電，常能使氫氣分子分裂而為氫原子，產生上述之簡單線譜。但氫分子亦自有其組織，如與以適宜之處置，亦能產生光譜。分子光譜，常較原子光譜為複雜，且複雜甚多。分子內，有兩個或多個原子；每一原子，自己有精緻的組織，原子間有相互之作用，彼等聯結而生種種綜合效應，所產光譜，當然較原子光譜為複雜。分子光譜與原子光譜不同之處，即前者包含繁密之線，排列成組，狀如各部分濃淡不同之帶，所以稱之為帶譜。對於帶譜，吾人此間所能說者，即有數個

爲二原子合成之分子所產生者，已藉量子論之力，得以解析之。

從上所說，吾人知應用量子論於原子內繞核而行之電子，可解釋原子自行出放其特有之波



圖七 各式光譜

- (a) 一個模範的線譜，係銅原子所產生。圖中上端之數字表示波長，長度單位爲兆分之一厘米。
- (b) 氫分子帶譜之一小部分。圖中顯示譜線之衆多及其組合。(c) 鐵之線譜。譜之區域同(b)。
- (b) 波長用埃斯特種(七十九)單位，即百分之一厘米。(d) 氫分子帶譜之又一部分。

長；無論在光的線譜範圍以內，或 X —射線的線譜範圍以內，俱可用量子論解釋之。因 X —射線的線譜，由原子內層有保衛的部分所產生，故較光的線譜，簡單甚多。至於光的線譜，以常人無經驗之目視之，則僅一羣雜亂無章之線而已；但藉量子論之力，即最紛亂之譜，亦能解析；將雜陳之線，分而為組，使各成系統，由簡而且美之定律支配之。量子論之得以成立，大半由於此等之有效的援助，使吾人對於一管原子所出放之各組混合的波長，俱有意義之可尋，彷彿為一部文法，藉之以明瞭原子輻射之談話，求得其線譜之特性，未有量子論以前，則為一篇含糊語，祇可紀錄，不能得其解釋也。

於此有須加入者：電子各循軌道行走之想像，數理上有幾個嚴重之困難，近來研究原子性質者，企圖易以新觀念，即視原子如受制於量子定律之一個波團是也。基此而發展之新學說，稱為波力學。依波力學，電子具有波動諸性質，前述量子論時，因波之出放猶一包裏，吾人與波動以質點諸性質，此時則與質點以波動諸性質，此兩個矛盾，後先暉映，且互相補充焉。解釋光及輻射之各方面作用時，吾人已知波動性質及質點性質兩者俱所需要，現在對於物質的及電的最小之量，如欲研

究入微，亦需此兩元之觀念。當研究光時，設研究的現象之結構較光之波長爲粗疏，則光可視爲沿直線進行，即所謂射線，譬如物影之位置，及望遠鏡等之普通性質，如將其微細之特點，若干涉及繞射等，置之不顧，則俱可用尋常幾何學研究之（即所謂「幾何光學」）；如光經過一物體，物體之寬廣，與波長爲同級之量，或經過一小孔，如狹縫等，則波動性質獨佔重要位置，幾何光學之方法，與射線毫無效力。同樣，吾人遇尋常可以取攜之動體，即或微小，須顯微鏡纔可見者，則質點動力學中尋常方法，俱足應用；最近一二年之前，此法尙普遍的使用。但當研究電子或質子時，尋常力學方法，似乎完全失敗，吾人乃不得不乞助於新的波力學。視質點爲一複雜波動之中心，非圍有力場之一微粒。

如許用粗疏之譬喻，描寫此微妙之觀念，則請設想居近海港隱灘之人，先不曾注意於港口之波系，僅以隱在水中之沙磧爲實在之物，今突注目於海面及港外之波系，在前所稱爲隱灘之區域呈特殊及重要之形狀；且指此複合之波，謂即是灘。如用此定義，則灘所佔之範圍廣大，不如前之在一確定的地方；但有顯著的地方特徵，與前所稱爲隱灘者相當。對於此端，吾人之比喻恰合，所不足

者，波力學中所想像之波，具有種種特殊性質，爲吾人習見之海波所無；其特殊性質之大部分，屬於波之進行規則。比喻中之又一端亦恰合，即沙磧與波系，爲一實在物譯者——所兼有，不過兩種看法不同而已，總之，物質之波動的方向與質點的方面，同爲有用且必需，現在已遇一可能之調和。

在勃羅格里（六十五）及率勒丁格（六十六）所發表之波力學理論中，每一終究的質點，與一羣之波相伴，羣中各波之波長，限於一狹小範圍以內；又每一終究質點，可視爲此波羣之表現，亦可由此波羣代表之。（何人膽敢直下斷語，謂終究質點「即是」波羣？是猶於前節譬喻中，稱沙磧即是波系。——譯者）

在此理論中，羣波之「相速」與波羣「羣速」之區別，爲一基本的要點，但稍費解。設在池面上，有一固定波長之波恆久進行，其波峯以一確定之速率前進，即所謂「相速」。再設另有一波，其波長與前波略殊，亦在此池面上進行，但其速率與前波微有不同。在某一地點，二波當協同產生一比較劇烈之擾動，彷彿爲能之中心點；此中心點亦向前進行，其速率比二波之速率小得甚多。

吾人稱爲「羣速」者，即此中心點之速率；與質點之運動相當者，即此羣速。波力學中假想之波的速率（即相速），須比光速大得甚多，此不能視爲與相對論衝突；因吾人所說之波，並非光波，

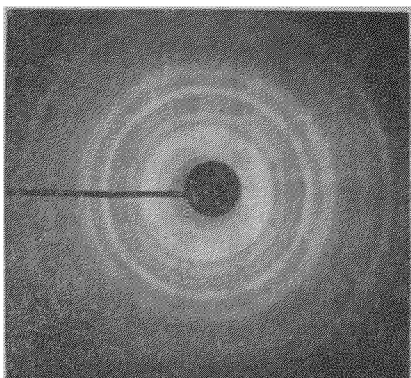
可生可滅（不能如光可發信號）。至於波之羣速（即與終究質點之速率相當者），則可由吾人隨意處分，因有此自由，此學說纔可運用；吾人對於每一質點之速率，可使特殊波長與之配合。以上所述，不希望能予讀者以一極明晰之印象；此新學說尙未成熟，且太深奧，不能用普通談話表白之；創此說之人，所用者爲數理性質之概念。欲其有普通物理的意義，可用尋常談話討論，則尙有待也。

雖然，電子質子之類波性質，現在已有實驗證據，非純屬數理上之幻想。前曾說及晶體有極精緻極整齊之構造，可用以分析如X—射線極短之波；一九二七年，淡維孫（六十七）與迦滿（六十八）實驗顯示：電子射於晶體之面，再從其面反射，能在照片上產生一波動花樣，適如波力學理論之所期。後滔姆孫（六十九）將結晶物質製成極薄之片，可使比較低速之電子穿過，亦有預期之波動花樣產生。滔姆孫所用之資料中，其一爲極薄之結晶金箔；細如牆磚，隔箔亦可辨析，箔質之稀可知。最近，戴姆潑斯德（七十）發表：使質子在晶體之面反射，可顯示其波動性。是則此學說之所預期者，已有試驗徵實，且係從精密量度而徵實，非僅泛泛已也。

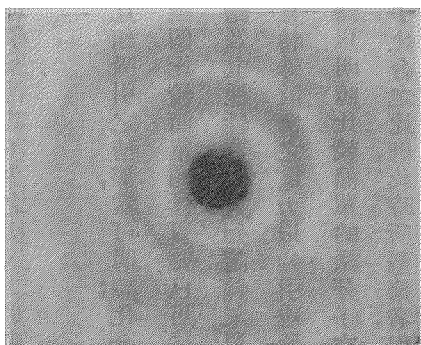
視電子爲一波動現象，光譜之研究遂得有大進步，對於光譜微密之處，尤賴其助。吾人已知研

究物理的終究物之神祕行爲時，不得不制新定律以應用；此類新定律，與從研究物質及輻射較易了解諸現象所得者，其性質根本上不相同，波力學不過爲此事之又一例而已。

現代之原子研究，發現原子核之構造，及原子之量子階級，頗使物理學中多數舊問題，化爲簡單，但同時引起多數新問題；科學每一大進步，固盡如是。研究原子之結果，使吾人得以想像所有物質俱爲兩個終究物所合成。一爲電子，卽不能再分之負電；一爲質子，卽原子核構造中之一單位；加以光子，卽不能再分之輻射能，使吾人得以洞悉發光氣體（卽廣義之火燄）在光之出放時或吸收時之情形，并使吾人對於各元素被刺激而生之複雜光譜，獲有意義。對於天體之組織，吾人所有之知識，俱藉光而得，多數從其外部之發光的稀薄氣質而來（但亦有從濃密之球體而來者，例如太陽，其濃密球體所出放之光，可能之各頻率俱有）。由是，可知關乎原子構造所新得之知識，對於現代天文學，有極大之影響。愛丁頓（六十三）名其所著之一小冊子爲星與原子（七十一）又金斯（七十二）所著之環繞吾人之宇宙（七十三）中，不得不有一章爲探原子之祕（七十四）從可知此兩種學問關係之深切。一爲無限小之天文學，包括不可思議之小的電子，環微核而運行；一則爲無



(a)



(b)

圖八 電子之波性

(a) 一道電子穿過極薄金箔所生之花樣。圖為酒姆孫(六十九)所得照片之一。
(b) 一道X-射線穿過銅箔所生之花樣。因X-射線已知其為波，故附此圖以與(a)相比較。照片中心圓暈之目的，為欲免去強烈中心點所致之模糊。

限大之天文學，包括大於全太陽系之諸星體，及數千之星雲，每一星雲，俱大如吾人之銀河宇宙。在天體中，原子暴露於極高溫度之下，較地球上之溫度，高得極多（天文學家推測星體內部之溫度，有高至百分標三千萬度者）。從吾人地球上之經驗，可估計在此種高溫之下，應得何種之狀況；其結果使吾人得以明瞭數個迷惑難解之觀察，如前述麥南氏星（六十四）之異常密度，即其一例。藉原子構造之理論，以解釋X—射線之起原，不僅現代物理學家得其不少之援助，對於現代天文學家，亦有同等之重要。

如吾人能盡知關於原子構造之定律，則各種原子互相吸引之情形，當可明瞭；化合之現象，亦可解釋，化學將變為物理學之一部分。現在對於元素之數個比較簡單的性質，確已可從原子之研究，得其解釋。譬如各種鈍氣，不與他元素相化合，從其光譜及其他性質，吾人知諸鈍氣原子最外組之電子，俱排列齊整而無缺，如是，自不能在一特殊方向，有特殊散逸之電力以鈎引他原子。又從研究分子光譜，及研究電子脫離原子時所需之能量，吾人藉以明瞭比較簡單的諸分子之性質。但對於複雜的分子，如欲知其化合者為何種原子，以及各原子化合之比例，此時所憑藉者，尚為試管及

天平，非物理學家所寵愛之分光鏡及放電管也。至於有生機的物質，當然亦由原子所合成，原子內有核與電子系，亦與無生機物質相同，但各原子化合情狀，更爲複雜；關於此類極複雜的分子，譬若吾人胃液分子，卽化學家亦須領教於生理學家，方能知其性質。如果吾人對於原子組成巨大的有機分子時之作用，有充分之知識，則X—射線，或鐳之諸射線，在人體生活細胞上之作用，吾人應能預測及了解，猶吾人現在對於彼等在金屬及氣體上之作用然。但此時尙爲吾人之力所不及，吾人祇能對於一種特殊之情形，倚賴一個特殊之試驗而已。（此類試驗，常爲未經評判之試驗）對於此類複雜之事實，現在所得成績雖極微薄，但吾人應須記憶：吾人生活上關乎物質方面之事，俱爲原子的問題。如一遊歷多國之物理學家近時所說，全世界物理實驗室中，大多數之研究者，俱致力於原子問題，是蓋任何物理實驗，如與以正當之解釋，俱與此包羅萬象之小世界，卽原子，有直接或間接之關係也。

（註一）一個 α -質點之能，誠祇等於一個呔磅的兆兆分之一，但一英兩 α -質點之能，則幾等於十萬兆呔磅。設一現代戰艦上之砲，在其一側齊發，所發砲彈之能量，比此尙小許多。

(註二)同位元素名稱，從希臘字而來，希臘字原意爲「同位」；因在化學元素週期表中，每位各有其相當之明確的化學性質，故稱原子量不同而化學性質相同之元素，爲同位元素。

(註三)氫原子之核，較其在重的原子核內作單位者略重；此事自有其理由，但太複雜，不便在此討論。

中 西 文 對 照 表

(1)	蒲	遇	塞	Bouasse
(2)	何		故	Why ?
(3)	如		何	How ?
(4)	威	廉	極 姆 司	William James
(5)	傅		立 葉	Fourier
(6)	愛		因 斯 坦	Einstein
(7)	巴		取 冒 司	Portsmouth
(8)	焦		耳	Joule
(9)	梅		耶 爾	J. R. Mayer
(10)	喬		里	Jolly
(11)	馬	克	士 威	C. Maxwell
(12)	布		朗	Brown
(13)	畢		漢	Perrin
(14)	伽		利 華	Gulliver
(15)	伽	利	華 遊 記	Swift's Gulliver's Travels
(16)	來		頓	Leyden
(17)	翁		耐 司	Kamerlingh Onnes
(18)	超			Super
(19)	皇	家	學 院	Royal Institution
(20)	汀		達 爾	Tyndall
(21)	康	司 但 丁 納 斯 古		M. Constantinescu
(22)	屈		性	Yieldingness
(23)	倔		強 性	Stiffness
(24)	順		從 性	Compliance
(25)	伍		特	R. W. Wood
(26)	日		蓮 谷	Jericho
(27)	牛		頓	Newton
(28)	邁	克	爾 孫	Michelson

- | | | | |
|------|----------|-----|--------------------------------|
| (29) | 摩 | 黎 | Morley |
| (30) | 米 | 勒 | Miller |
| (31) | 凱 | 納 | Kennedy |
| (32) | 伊 | 林 | Illingworth |
| (33) | 巴 | 沙 | Pasadena |
| (34) | 般 | 奴 | Bernoit |
| (35) | 法 | 勃 | Fabry |
| (36) | 畢 | 羅 | Perot |
| (37) | 毗 | 脫 | Betelgense |
| (38) | 韋 | 爾 | Mount Wilson |
| (39) | 巴 | 爾 | Baltimore |
| (40) | 羅 | 蘭 | Rowlands |
| (41) | 勞 | 厄 | Laue |
| (42) | 勃 | 蘭 | William Bragg and W. L. Bragg |
| (43) | 米 | 立 | Millikan |
| (44) | 愛 | 潑 | E. V. Appleton |
| (45) | 赫 | 氏 | Heaviside Layer |
| (46) | 法 | 拉 | Faraday |
| (47) | 萃 | 曼 | Zeeman |
| (48) | 赫 | 芝 | H. Hertz |
| (49) | C. T. R. | 韋爾孫 | C. T. R. Wilson |
| (50) | 霍 | 斯 | The Heusler bronzes |
| (51) | 蒲 | 郎 | Max Planck |
| (52) | 粗 | 顯 | Macroscopic Objects |
| (53) | 微 | 眇 | Microscopic or Sub-microscopic |
| | 或 | 亞 | Objects |
| | 或 | 亞 | |
| (54) | 模 | 勞 | Prout |
| (55) | 拉 | 率 | Rutherford |
| (56) | 阿 | 司 | Aston |
| (57) | 園 | 橋 | Cambridge University |
| | | 大 | |
| | | 學 | |

(58)	堪文迪須實驗室	The Cavendish Laboratory
(59)	考克勞甫脫	Cockcroft
(60)	華爾登	Walton
(61)	波耳	Niels Bohr
(62)	被褫的原子	Stripped Atom
(63)	愛丁頓	Eddington
(64)	麥南氏星	van Maanen's Star
(65)	勃羅格里	L. de Broglie
(66)	率勒丁格	Schrödinger
(67)	淡維孫	Davisson
(68)	迦滿	Germer
(69)	滔姆孫	G. P. Thomson
(70)	戴姆潑斯德	Dempster
(71)	星與原子	"Stars and Atoms"
(72)	金斯	Jeans
(73)	環繞吾人之宇宙	"The Universe around Us"
(74)	探原子之祕	"Exploring the Atoms"
(75)	希爾格公司	Messrs. Higer
(76)	庫禮渠管	Coolidge Tube
(77)	菲列普公司	Messrs. Philips
(78)	密太力克斯管	Metalix Tube
(79)	埃斯特稜	Angstrom

