

物理學小史

第一編 上古物理學史

第一章 巴比倫人和埃及人 (The Babylonians and Egyptians) 的思想

薩馬利亞(Samaria) 和巴比倫的人們，所傳給後世的，是時間和角度的量法。巴比倫人開始分一週爲七日，一日爲十二小時。此外更依六十進位制度，合六十秒爲一分，六十分爲一時；分圓周爲三百六十度，一度爲六十分，一分爲六十秒。這些重要的度量衡制度，由五千年前的上古時代，相傳沿用，而至今日，實在可以說是近世科學昌明的基礎。由於度量制度的相同，所以那時期的天文記錄，可以與現在的比較。研究的結果，發現他們的記錄，都有驚人的準確；其中最可誇讚的是一位名叫西丹那斯(Cidenas) 的天文學家，他竟發現，並且量得晝夜平分點 (Equinoctial points 即春分，秋分) 在黃道 (Ecliptic) 上極慢的動向 (每世紀約一二度)。

原始的日晷和水鐘，是他們測量時間的儀器。此外更用秤 (Beam balance) 來量藥草，及其他珍貴物品。在某一部埃及



第二章 中國人的思想

中國的羅盤針，發明最古，黃帝時，嘗用指南車大破蚩尤。關於天文和日曆的紀載，有虞書上所說的：「期三百有六旬有六日，以閏月定四時成歲」。孔子註云：「一歲十二月，月三十日，正三百六十日。除小月六為六日，是為一歲有餘十二日。未盈三歲，足得一月，別置閏焉」。這是最初的定閏法。歐洲的朱理曆法 (Julian Calendar)，每年為三百六十五又四份之一日，每四個小歲，多出一日。這與周髀所載：「三百六十五日者三，三百六十六日者一」的制度恰好相同。此外周髀又說：「地法覆槃，滂沱四潰而下」大戴禮曾子說，「如斡天圓而地方，則是四角之不揜也」。這都是主張地圓學說者。書考靈樞說，「地恆動不止，而人不知，譬如人在大舟中，閉牖而坐，舟行而不覺。」這又是倡地動的學說者。

中國的算學在紀元前十一世紀，已很發達，流傳到現在的，當以周髀算經和九章算術為最古。周髀上以勾股的算法度大地的高厚，推算日月的運行而得其度數。

第三章 希臘人(The Greeks)的思想

古希臘人雖然對於算學，天文學，藝術等等，都有很偉大的貢獻，但是對於物理學一門，却沒有多大的進展。原因是早期的希臘人不注意實驗，而只偏重於觀察與猜測的緣故。

力學——亞里斯多德 (Aristotle) 領會到力之平行四邊形的原理，但是僅限於長方形的應用。關於槓桿，他以為離開支點愈遠，則舉重愈易，因為所用的力量需被移動較多路程的緣故。關於物體的下降，他有着極錯誤的見解。他說：「兩件同樣大小的東西，其較重者一定比輕的落得快」。這句話驟然聽來，好像很對，但是實在的實驗，表示牠們的速度是相等的。他的學說一直被人們崇拜着；到二十年後，才被大膽的伽利略 (Galileo) 以事實打破這虛幻的理論。

在力學上遠勝於亞里斯多德的，是阿基米德 (Archimedes) (紀元前二八七——二一二)。他發現了物體的重心，和槓桿的平衡定律；即「平衡狀態下之槓桿，其兩端之重量必與其距支點之距離成反比」。他曾經說過下列的彖語：「給我一個支點，我可以舉起



圖一 圖中的拉丁文說：「槓桿，你可以舉動牠。」

地球 (Hieron) 請他辨別皇

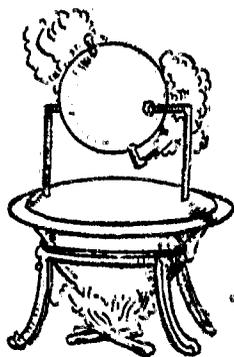
冠的真實。據說我們這位大哲學家，在浴盆中發現了真理，於是乎他一躍而起，跑回家中，叫道：「我想着了！」他先把等



重量的金和銀分別置入水中，求得了牠們排水的份量。然後再把皇冠所排的水量和牠們相比較，而算出皇冠中金與銀的成份。今日水力學中著名的定律：「物體在液體中所失去的重量，等於被此物體排開液體的重量」。通稱為阿基米德原理，就是因為發現者的榮譽是屬他的。記載上並有他用複滑車起重，和戰鬥機械及不盡螺旋等等的發明。

晚於阿基米德一世紀的，有賽西伯 (Ctesibius) 和希倫 (Heron) 二人，雖然他們對理論上的貢獻很少，但是在機械方面却有過人的機巧和技能。賽氏所發明的有壓力機 (Force pump)，古救火機，水琴 (Hydraulic organ)，水鐘，和擲物器 (Catapult) 等等。·。希氏是第一個使用蒸氣發動的人。他製造了一個玩具，名叫「噴轉球」 (Eolipile) (圖二)，使蒸氣由空球中經二噴管而射出，蒸氣噴出的反動力量，使空球旋轉。這也就是現代汽輪機 (Turbine) 的鼻祖。

希臘人已有比重計。他們用刻度的空錫筒 (紀元後四世紀)，底端加重，沉入水中，以檢驗其品質，因為那時以為硬水是不適於飲用的。



圖二 噴轉球

光——從埃及找到的殘留希臘文件中。見到種種：如太

陽在水平面時較在高空中爲大的光學幻像 (Illusion) 之記載。在古希臘的遺物中，曾發掘到岩晶石 (Rock crystal) 造成的凸透鏡，並且在某部戲劇中有：「一個精緻而透明的石頭，可以用來點火，並且持着牠站在太陽中，讓陽光穿過牠而射到蠟板上，就可以把蠟上的一切文字融消」的一篇談話。他們曉得光是直線進行的，且當其反射時，入射角 (Angle of incidence) 等於反射角 (Angle of reflection)。托拉密 (Ptolemy)，一位天文學家，曾經測量過光的入射角和折射角 (Angle of refraction)，得其關係大約互成正比。

金屬鏡子似乎在很古的時候已經有了；許多埃及木乃伊 (Mummy) 的墳墓中可以尋到照像用的古鏡。希臘時已有球面及拋物柱面鏡 (Spherical and parabolic mirrors)。歐幾里得 (Euclid) 著書研究反射現象，可稱最早。關於球面鏡及其焦點之性質，在定理三十中稱「凸凹面鏡向日，可以引火」。其他希臘作者，亦有關於凹面鏡的著作。

希臘人對於視覺的學說，約可分爲兩派：一派以畢達哥拉斯 (Pythagoras)，德謨謨利圖 (Democritus) 爲主，倡被視物體本身能發射微小粒體，使之穿入視者眼中，因而產生視覺的學說。另一派則以爲眼能產生視線 (Ocular beams) 與任何物體之放射物接觸後，遂生視覺。主張這種學說的有歐幾里得和柏拉圖 (Plato) 派的學者。

電和磁——希臘七賢之一的邁利斯 (Thales) (紀元前六四

○——五四六)，生於米利都 (Miletus)，首知摩擦作用可使琥珀 (Amber) 吸起輕小物體，且某種礦石，——現稱為磁石 (Loadstone or magnetite)，富有吸引鐵質的性能。西歐佛羅斯德 (Theophrastus) 在退氏後三世紀，於其寶石篇 (On gems) 中提起另一種礦質有琥珀同樣的性能。現在我們曉得，差不多每一件物體，都能因摩擦而生電。關於磁石的吸力和應用，有許多傳奇式的記載：例如阿辛諾 (Arsinoe) 寺廟的圓拱形屋宇是磁石砌成的，把他們皇后的鐵像吸懸空中。又如盧得島 (Rhode) 上一匹重五千磅的馬像，也是被磁石懸住的。關於漢罕漢德 (Mohammed) 的棺材也有類似的故事。當然，現在我們曉得，這種半空中的懸掛狀態是機械上不可能的。蘇格拉底 (Socrates) 對於磁石有下面的談話：「 那種石頭不但能夠吸引鐵環，而且能將自己的吸引力，賦與被吸引的物體，使牠也能夠吸引其他的鐵環，所以有時你會見到一長串的鐵環，掛在一塊磁石上，彼此間的吸引力都是由原來那塊磁石上傳來的」。希臘人並不明瞭磁石中「極」 (Poles) 的分別，也不知道電力與磁力中間極相拒的作用 (Repulsion)。

氣象學 (Meteorology)——氣象紀錄，在五世紀以前沒有可考的根據，但是在希臘的雅典可以見到最古老的風向指示器，證明他們在那個時候，對於氣象研究已經發生了興趣，也許是迷信的緣故吧。這門科學在希臘時代，沒有多大的發展。風塔 (Tower of winds) 的建築，大約起於紀元前一〇〇年，

中間置着日晷，裏面有水鐘，塔的尖端上還有一個海螺形的風信旗。西歐佛雷斯德嘗著書討論風和氣象，但是他有着當時一般希臘學者所通有的習氣，那就是不能拿忍耐和觀察的精神，來代替權威式的教訓和固執的猜想。亞里斯多德對露水的見解，是相當正確的，他說：「露水之結成須要在晴明風靜的晚上」。

聲——在理論幾何和力學沒有問世以前，已經有了埃及的金字塔，和許多古代的建築。同樣的，在人們沒有知道聲的理論以前，樂器和音樂，早已流行於民間了。畢達哥拉斯(Pythagoras) (紀元前五八〇——五〇〇)是最先研究音樂的人，也是倡立全音階中八音的始祖；不過在他畢生事跡內，夾雜着許多神話似的故事，而且解釋也紛紛不一，很難究其真相。亞里斯多德以為空氣的波動是聲音的成因，並且知道，若取兩隻空管，其長度之比為二比一，則長管中振動所需的時間，亦必為短管所需的二倍。

原子學說——值得我們注意的，是現代原子學說遠在希臘時代，已有其端倪。那時候的學者說：世界是空隙和無限極小的，不能分割，而又是不可見的原子所構成者。原子學說雖然得到幾位希臘大哲學家和思想家的擁護，但是在道爾頓(Dalton)發現化學上倍比定律而再度闡明原子論以前，對於後世科學的進展，並無重大的貢獻和影響。

結論——古希臘人固然有重猜想而不重實驗，固執而強辯

的習氣，但是晚期學者，如天文家托拉米(Ptolemy)和喜柏卡斯(Hipparchus)之利用星盤(Astrolabe)和象限儀(Quadrant)以觀測天體，阿基米德之藉實驗以辨別皇冠的真偽，大工程師希倫之發明測量儀器，以及托拉米之光學折射實驗等等，都是古代最可讚佩的實驗研究者。其中依拉帕士恩(Eratosthenes)且以三角法量得地球之圓周，其準確性不遠遜於一六一七年荷蘭斯奈氏(W. Snell)的測定。以上種種，足以證明希臘人在其晚期已經逐漸步上實驗性的科學之軌道；但是羅馬的侵略，宗教的戰爭，和其他社會原因，很快的摧毀了這數世紀來所培養成的嫩芽。希臘富有創造力的科學發展，也就此告終。

第四章 羅馬人 The Romans 的思想

羅馬人的智慧，曾經用在戰事上、征服上、政治上、和法律上；而處處都得到了可讚揚的效果，但是對於算學與科學方面，他們却只抄襲着古希臘人的遺作而自以為滿足了。其間最出名的有盧頡利圖 (Titus Carus Lucretius) (紀元前九五——五二?) 和波埃夏斯 (Anicius Manlius Severinus Boethius) (四八〇?——五二四) 等幾位。盧氏所著的自然 (De rerum Natura) 中有許多敏銳的科學觀察和現代科學思想的預言。那是一首長而美麗的詩，包含融和着各種自然的科學。關於原子論，他說：原子是小而不可再分的固體，其性質不完全相同，但是都在永遠不停的動着。他(盧氏)和十九世紀的化學家們，以及近代的伯奴里 (John Bernoulli)，都以為固體的原子是互相鈎連住的。他和幾位希臘學者，視「熱」為一種物質，與空氣混合在一起；沒有空氣就沒有熱。他是第一個提起電和磁都是異極相拒的人，也是主張物質能量不滅的學者。牛頓說：在他的詩中，有清楚的詞句，說明墮物的原單，見解與後世的伽利略頗同。一位生理學家，甚至於說：他發現這首詩中隱藏着著名的孟德爾遺傳定律 (Mendels' law of heredity)。湯姆生氏說：「總之，每一個世紀的科學家，用他們自己的眼光來讀這首詩，都會發現一些聰明的先覺和預言」。

波埃夏斯所著的音樂一書，內容多半是希臘的薩雷畢說。

(Theories of harmony)。申尼卡(Lucius Annæus Seneca 紀元後二〇——六六)，尼羅(Nero)皇帝的教師，察見虹的色彩，與一片玻璃邊緣上所映的彩色相同；一隻球形貯水的玻璃杯能夠放大物體，但是他所下的結論，却只說：天下之物，沒有比人類視覺再不可靠的了。他著的書，大半充滿了宗教道德的色彩；這也許就是中古世紀歐洲人喜歡採用牠為物理教科書的緣故吧。他的力學見解非常可憐，諸位想，一條一尺長的魚能夠拉住一條大船而使牠不動嗎？但是他却非常相信安東尼(Antonius)在阿克丁(Actium)大戰時的戰船，就是這樣被掣住的。

克里奧米得(Cleomedes)，像歐幾里德，阿基米德等一樣，注意到一只放在杯底的指環，當杯中無水時，恰好被杯緣遮住；可是貯滿了水之後，就能在同一位置被看見。他更進一步而推論道：同理，我們看見夕陽在水平面的時候，也許牠實在已經沉在水面以下了。他是托拉密以後，第一個研究空氣中折光現象的學者。普林尼(Pliny the Elder 紀元後二三——七九)以先見船桅，後見船身，證明地是球形的，普林(Galen)約紀元後一三〇年)解剖動物，研究他們神經的作用，著作很多，於解剖學上也很重要。此外，建築大家維特魯維阿斯(Vitruvius) (紀元前八五——二六)作建築學(De Architectura)十卷，中古工程師學者，咸奉為宗範。又有夫龍提那斯者，(Frontinus, 紀元後約四〇——一〇三年)搜集關於羅馬自來水工程的程序與材料，成一書籍，也是不可多得的著作。

第五章 阿剌伯人 (The Arabs) 的思想

七世紀迄八世紀之間，阿剌伯人物與侵入南歐，創建強而有力的回教國家。在武功與征伐之餘，他們也積極從事於文化的發展。那時東方印度和西方希臘的古有文化寶藏，都被他們發掘吸收昇華。外國的書籍，由專事翻譯的機關，譯成阿剌伯文字，而一時化學、天文、數學、地理……等科目都成為學士們普遍的辦好。

阿剌伯人雖多飽學博識之士，但是能具有創造與發明之能力的，却寥寥無幾。他們在物理學方面的貢獻，以光學一項，成績最多，那時有位名叫阿爾哈贊 (Al Hozen, 九六五?——一〇三八) 的大物理學家，對於光學造詣極深。他在希臘人的入射角與反射角相等的定律之後，又加上「二角必皆在一平面」的條件研究球面鏡而發現鏡之各處所反射的光線，不能會聚於一點。於是根據一個已知的焦點，造成一面凹鏡，使凡平行於主軸 (Principal axis) 的光線，經鏡面反射之後，皆能夠穿過該點。這就是現在我們常用的拋物柱面鏡。(Parabolic mirror) 著名的「阿爾哈贊問題」，也是他所發表的，以幾何作圖上的複雜性而聞名。

托拉密實驗所得的光的折射定律已見第三章。阿爾哈贊實驗的結果，證明托拉密之報告不確。但是可惜他也不能發現折射的真定律；他所用的實驗器具，大體構造頗與近代的相類：

先導光線由小孔通過一個刻度而半豎於水中的銅圈，再使經水面上，中心有洞的圓板而折入水中。折射的角度，可以直接從水中的半銅圈上察見。

關於眼球的構造，他發現了很多前人所未見的祕密；現在許多醫界術語，仍舊沿用阿爾哈詹時，拉丁文翻譯的名字。對於視覺的成立，他與幾位同代和前代的學者，極力排斥歐氏的視線學說，而擁護德、阿二氏的微粒見解。

阿刺伯人更知比重(Specific gravity)的意義。並且敘述實際測定的方法。阿爾波郎尼(Al Biruni)取有嘴的容器，盛水至於與嘴相平齊，然後置固體於其中，秤得其所排出的水量後，與同體在空氣中的重量相較，遂得該物體的比重。阿爾卡齊尼(Al Khazini)指出依同理類推，則物體在空氣中亦必受空氣之浮揚力而損失一部份的重量。

第六章 中世紀歐洲人的思想

自第三世紀開始，北方野蠻民族（Goth）侵入歐洲，其勢力直貫西南，兼并意大利，摧毀羅馬帝國，於是歐洲諸國便多陷於漫漫長夜的黑暗世紀中了。其時，基督教之流行，使拉丁文（Latin）成爲教士與學者的通用語言。

奴化與曖昧的思想，神奇和糊塗的見解，象徵着歐洲中世紀時代的黑暗。號稱爲科學界的作者們，只抱着評論的態度，而從未想到要實驗古人的學說。最初的科學多以拉丁文爲來源。羅馬人於科學本少發明，其著作家時常引據希臘的學說以爲參證，於是智識份子中直接閱讀希臘原本的慾念，遂油然而生。十二世紀間，阿刺伯譯本的希臘典籍，輸入歐洲，使數世紀間科學荒的歐洲，重睹古哲的明論。一時亞里斯多德的著作，聞名遠近，成爲那時智識界崇拜的中心點。羅蘭士（Petrus Ramms, 一五一五——一五七二）在巴黎時，因有反對亞氏學說之意，而受肉體刑罰的警告，可見亞里斯多德當時權威的浩大了。亞氏的許多理論是準確的，尤其是他那好奇的，懷疑的，率直的精神，更值得我們敬佩。但是中世紀的一般人士只知道盲目的景從，而不能步這位大哲學家的後塵，以同樣的精神來促進科學；以致不但無補於實際，反而構成文化前進的贅疣。這實在是深可嘆息的。

火藥與指南針——對於後世文化發生莫大影響的火藥與指

南針是在這時輸入歐洲的。關於火藥的發源地與時期，沒有確實的記載。據說八(?)世紀的格雷卡斯(Marcus Graecus)，和十三世紀的馬格那斯(Albertus Magnus)都知道以硝石，硫黃和木炭製火藥的方法。然而在中國，隋朝時即已大著。羅欣的物原說：「軒轅作礮，呂望作銃，魏馬鈞作爇仗，隋煬帝益以火藥雜戲」。有人說牠是阿剌伯人學自中國，輾轉而傳入歐洲的。火藥最初被用於探礦及土木工程等事。到十四世紀末，方才被人應用於戰事，而成爲殺人的利器。

遠在黃帝時，中國人已經知道了指南針的應用，(見第二章)。歐洲方面，關於羅盤針的敘述，首見於十三世紀奈罕氏(Alexander Neckam)的著作。至該世紀末葉，又有法人蓋羅-墨(Guyot de Provins)，稱某種褐色礦石能吸引鐵器；航海者藉之，可以指示方向，航行無懼。原始磁針的構造是很簡陋的；一二八二年某阿剌伯作家描寫當時的方法是以海草或木屑托磁針，浮於一盆水的上面。待磁針止定之後，取其兩端所指者爲南北二向。早期的意大利人似乎也採取這種法子。法國的波利格拿斯(Peregrinus)於一二六九年八月十二日致羅哲爾培根(Roger Bacon)的函中，表示他對於「磁極」有充分的了解，對於羅盤針也有適當的改革。他說：一塊磁石若將牠粉碎，則每一個碎塊，皆有南北二極。更陳述異極相吸的定律，及強磁極具有改變弱磁極的能力。沈氏的羅盤針有樞軸，而針被支於中央，可自由作平面轉動；設分度盤，以指示準確方

向。波氏身為軍人，這封信是在意大利南方盧西拉 (Lucera) 戰場上寫的。

羅盤針第二步的進展是平衡環 (Gimbal ring) 的發明，通稱為卡丹懸置法 (Cardan's suspension)。但是卡丹氏並不自居其功。他說：某一位國王軍中的坐椅，已設有這種裝置；使這位貴人在出巡的時候，絲毫不受顛簸。平衡環包括內外二環，互成直角，當外環傾側的時候，內環可以在外環中自由擺動，永遠保持其水平狀態。

水靜力學——阿基米德的著名皇冠問題，在十世紀的書中，有所記載。十三世紀的論文中有用阿氏方法以求不規則物體之體積的討論，並指出其實際上之重要性，因為許多商品的價值，即視其體積的大小而決定的。在這篇論文中，第一次見到比重的名稱。阿基米德原理和「皇冠問題」雖為一般數學家所歡迎，但是並不被哲學家們所重視。所以後來波義耳 (Boyle) 研究液體原理，發現與阿里斯多德的見解不同時，他竟不敢直接發表其論文，而假名為「水力學之矛盾現象」(Hydrostatic Paradoxes)以出版。

光——十三世紀時，可以看見歐洲正在吸收阿剌伯人傳來的光學。莫貝克 (Wilhelm Von Moerbeck)——一二七八年，哥倫斯的主教 (Archbishop of Corinth)，譯阿爾哈璜的拋物柱面鏡論文為拉丁文。他的朋友——一位叫維鐵盧 (Witelo or Vitelo) 的僧人，將阿氏的著作改訂，編為較有系統的文字。

星光的閃爍，他認為是空氣的動態使然，並證示若於水中觀星，則閃爍更甚。亞里斯多德解釋虹，為光的反射作用；維氏以為應屬於反射與折射的混合效果。

羅哲爾培根(Roger Bacon，一二一四？——二九四)為中世紀首屈一指的科學作家，譯述頗多，就學於巴黎及牛津(Oxford)，嗣後遂成為牛津大學中之著名教授。他一生主持實驗科學，輕視當時學者無證實之言論，及教士們不正的行為；因此遭忌而被囚。他在獄中發表了實驗科學文一(Experimental science)，幾乎能感動其克利門特第四教皇(Pope Clement IV)。但是他畢竟是一位過於急進的人物，老年時又第二次被囚於巴黎，度監獄生活約十年之久。於是一位天才的學者，終至不能戰勝環境，而為當代的政治和專制思想所壓倒了！

第二編 中古物理學史

第一章 文藝復興(Renaissance)

時代的物理學

十六世紀為古代文藝復活與宗教改革的時代。在這個時期中，歐洲人士斷然的打開了一向束縛他們思想與言論自由的鐵鎖，而開始向廣闊的學問之海航行。無論在文學、藝術、宗教、數學、物理各方面，都有着驚人的發展，與劃時代的革新。

哥白尼之學說——文藝復興時期中，科學進展的第一聲，當推哥白尼(Nicolaus Copernicus，一四七三——一五四三)在「宇宙論」方面推翻古代的「天動」論調，而創立新的「地動」學說。關於天體運動的關係，古希臘人的見解，大約是以地球為中心，居宇宙間而不動；環繞牠四周而旋轉的有月球、水星、金星、太陽、火星、木星、土星和最遠的第八恆星。他們估計行星們的運動方式有兩種：(一)是每個行星在自己的一個小圓周上滾動的軌跡，稱為周轉圓(Epicycles)。(二)是每個行星的周轉圓中心，在另一個較大而以地球為中心的圓周上行動的軌跡。現在我們曉得第二種動態的軌跡，頗與近世各行星繞行太陽的異軌道相似。而第一種周轉圓運動的產生，乃是因為他們觀察的根據點——地球，也在行動的緣故。由此看來，古代

的學說，並不與真理相差太遠，而且照近世的觀念看來，也不能算是錯誤的。因為一切的行動都是相對而無絕對的。以太陽為中心，固然可以說地球繞日而行；但是若以地球為不動，也未嘗不可說是太陽圍着地球而行動。譬如人在火車上看地面，可以說是地靜止而車行，也可以是車停而地動。所差者二者間的運動方向與方式而已。所以嚴格的說起來，天動與地動學說並不衝突，只不過觀點與出發點上之不同，使後者的運動方式比較簡單，而易於解說，而後更便於應用罷了。

哥白尼生於普魯士邊境的斯恩(Thorn)鎮上。他的職業是教士兼行醫，而自己却又喜歡研究天文。他以為天動說——也稱為托拉密學說，頗多不完全之處。為要使種種的複雜現象簡單化，而精確化，他博覽古時一切關於天文的書籍，同時加以自己研究的心得，終於倡立了新的地動系統。他說：地球為圓形，每日自轉一周，每年公轉一周。他是第一位解釋季節的變化，和行星之視擺動(Apparent oscillation)的人。他的學說中，最大的缺點，就是假設天體的運動全按圓形或是混合圓形的軌道。哥白尼於一五四二年，經親友的勸告，始決意將他著就已久的天體之轉動(De Orbium celestium revolutionibus)一書付印。在印刷的過程中，他却悄然逝世了。這不能說是他的不幸，因為這樣使他避免了教廷的刑罰。

極力擁護新系統，而以事實為後盾的，是刻卜勒(Johannes Kepler)氏(一五七一——一六三〇)。他生於德國，幼

時體質極弱，後來嘗從丹麥天文學家替科布刺厄 (Tycho Brahe) 爲助手。刻卜勒對於實驗和觀察方面，並無特長，但是他有過人的思想力，而且精通算學；他利用替科觀測的記錄，計算各行星的軌道。他早期已經吸收了哥白尼的新學說，乃試驗種種的混合圓形軌道，企圖使理論與實際的觀察符合。某一次，他的計算值，與觀察值，相差僅八分鐘，但是他相信像替科這樣一位準確的觀察家，絕對不會有這麼大的錯誤，於是他捨棄了這種近似的軌道，另求別種更適合的路線。他試驗蛋形 (Oval) 爲火星的軌道，不合，又取橢圓形 (Ellipse) 來計算，竟發現牠與替科十六年來觀察的記錄完全符合。四年間孜孜不倦的研究，拋棄了十九種比較不適合的路線，刻卜勒終於發現了真理。刻卜勒所發表的定律有三，對托拉密的舊說下了致命的打擊，同時奠定了新論的基礎。定律爲：(一) 各行星之軌道，均爲橢圓形，太陽即在其一焦點上。(二) 由太陽引至行星之動徑 (Radius vector)，在同一時間內所畫過之面積均相等。(三) 兩行星公轉一周所需時間的平方，與行星至太陽間之平均距離之立方成正比例。

設圖三表示地球繞太陽而行之軌道，太陽在其一焦點 F_1 上。其中 AB_1, AB_2, AB_3, AB_4 等，皆爲動徑。若地球由 B_1 至 B_2 ，需時與由 B_3 至 B_4 相等，則按第二定律，黑影內之二面積 AB_1B_2, AB_3B_4 必相等。由是可知地球環繞太陽公轉的速度並不相等，距日近時快，離日遠時慢。又例如地球在

其軌道上公轉一周的時間
為一年，假定有一行星，
其公轉一周所需之時間為
二十七年，則由第三定律
 $1^2 : 27^2 = 1 : 729 = 1^3 :$
 9^3 ，可知此行星與太陽間

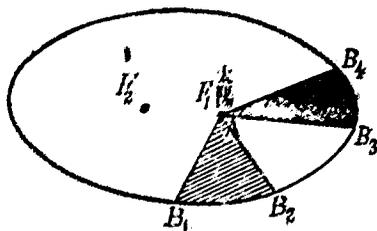


圖 三

之平均距離，等於地球與太陽間之平均距離之九倍。事實上，土星在其軌道上運行一周，需時三十年，恰好與上例相當，土星與太陽間之平均距離，又恰為地球與太陽間平均距離之九倍半。

力學和靜力學自從阿基米德之後，幾乎無人過問。直到十六世紀，才被比利時人斯蒂芬(Simon Stevin, 一五四八——一六二〇)再度提起。斯氏之科學天才，非常豐富，發明算術中之小數分數(Decimal fraction)，又知應用力之平行四邊形原理，以解答靜力問題，其後達文齊(Da Vinci)，伽利略(Galileo Galilei)等人對於靜力學，亦均有所研究。

伽利略，一五六四年生於意大利之畢沙(Pisa)城中，父親為貴族，初學醫，後因興趣所在，改習數學及物理。一五八九年，他受任為畢沙大學的算學教授。在那個時候，他常乘由畢沙斜塔(此次戰事，已毀於炮火)上作其歷史上有名的墮物實驗，以事實證亞里斯多德的謬誤。我們引他一六三八年所發表的兩種新科學的對話(Discourse on two new sciences)中的

一段，來證明他見解的清晰和自信的堅強。其中，他使薩克勒脫 (Sagredo) 說：「但是我，新普利西由 (Suinplicio) ——作過那個實驗的人，可以確實的告訴你，一個同時從二百克由比 (Cubit) 高度擲下來重達二百磅的鐵彈，不會比一個半磅重的槍丸，先着地一步」。(按克由比係舊長度制，約十八吋)。但是他的新理論，一時大遭反對，以致一五九一年，被迫而辭職。嗣後二十餘年間(至一六一〇)他受聘於波都亞 (Padua) 大學，並且致力於望遠鏡 (Telescope) 顯微鏡 (Microscope) 和空氣溫度計 (Air thermometer) 等的製造。利用自製的望遠鏡，他做了許多重要的天文觀察，頗受讚譽。但是不久，他因為擁護哥白尼 學說而與教廷對立，被傳至羅馬 訊問，禁止他的言論。此後數年，伽氏 遵命不發表言論，至一六三二年又出版兩種重要宇宙觀之對話 (Dialogo)，用對話體，將其天文學意見公表於世，因此而第二次被拘。那時伽氏 以一位七十歲的老翁，在公庭中遭受種種的恥辱，最後並被強迫跪誓，將永遠否認，痛惡，詛咒，地動之論——那錯誤的異說。晚年遭宗教裁判的禁錮，監視極嚴，親友等都不許會面，到後來雙目失明，身染痼疾之後，才受到比較自由一些的待遇。

伽利略 不但提倡實驗性的科學，且能以演繹法相輔為證。例如他在兩種新科學的對話「加速度」篇中，有問題為：落體速度之增加是否與經歷的路程成正比？他的解答，並非實際的實驗，而是下面一段短短的邏輯思想：「設若某物經歷第四碼路

程時之速度，爲其經歷第二碼時速度之二倍，則（按經歷路程等於經歷時間乘平均速度之算法）結果經過四碼之時間，必與經過前二碼之時間相等。事實上物體經歷後二碼的路程，亦須要相當時間，不能一躍而至第四碼，是故上述的假定爲不確，即速度並非與經歷之路程成正比例」。

其次，他假設速度與下墜時間成正比。因爲理論上並無矛盾之處，於是他取一長十二碼的斜板，中間鑿一長槽，蓋以羊皮紙，然後使圓滑的銅球，在其中滾下。如此，以不同之長度與斜度試驗凡百餘次，而察見下墜之距離，恆與時間之平方成正比。伽氏測量時間的方法，甚爲聰穎。因爲那時沒有準確的鐘錶，他便在水桶下面裝一隻小嘴，使物體在下墜的時間過程中，水可以流入一小杯中，於是杯中水的準確重量，便成爲經歷時間的代表。實驗的結果，使伽利略發表其物體運動原則爲：若加速度(Acceleration)不變，物體自靜止出發，經歷某一定距離所需之時間等於此物按最後速率之半值作等速運動，經同一距離，所需的時間。伽利略首示物體被拋時所行之路程爲拋物線形，前此一般人以爲礮彈之進行，先按地面平走，最後方垂直下降。

伽利略十八歲時在畢沙教堂內祈禱，偶見屋頂大燈，搖曳不定，一時的好奇心，使他用自已的脈搏來計算那燈每一來回擺盪所需的時間。結果他發現雖然燈的擺幅(Amplitude)逐漸減小，但是擺動的週期(Period)——即每往返一次所需之時

間，却永遠保持相等而不變，這就是所謂擺（Pendulum）的等時運動（Isochronous movement）。嗣後的實驗，更斷定擺的週期僅與長度之平方根成正比例，而與其重量及質料無關。伽氏老年失明之後，仍能以口傳述其最後之發明——擺鐘（Pendulum clock）予其學生維凡尼（Viviani）。維氏所造之模型失傳。十六年後惠更斯（Huygens）又單獨發明擺鐘，後世遂多以發明之功歸於惠氏。

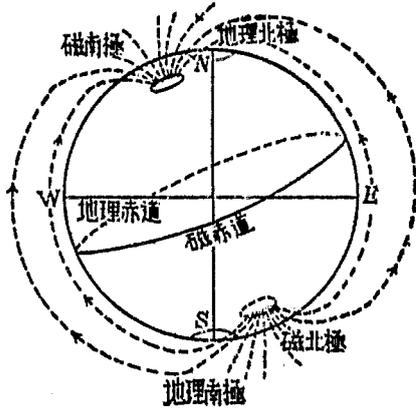
光學——望遠鏡和顯微鏡的發明，使人類可以看到極遠與極小的世界。第一架望遠鏡的製造者，應該算是荷蘭人漢斯李伯錫（Hans Lippershey）；那是在一六〇八年，以岩晶石（Rock crystal）製成的。一六〇九年，他又受政府的命令，製成一架雙眼望遠鏡。顯微鏡的發明，幾乎是在同時。發明者，一說為約奈茲（Zacharias Joannides），一說為德累伯耳（Cornelius Drebbel）。刻卜勒對於這兩項儀器的發明很感興趣，曾出版一書闡明望遠鏡之理論。刻氏並未發現折射的真定律，但是他假設 $i = nr$ [其中 i 為入射角， r 為折射角， n 為常數]，對於 $i < 30^\circ$ 以內的角度，已夠準確，所以他的望遠鏡學大綱，大體仍很合理。

伽利略風聞了這種發明之後，也開始積極的研究，他的第一隻望遠鏡，可以將物體放大九倍，縮近三倍；第二隻鏡可以放大一千倍，縮近三十倍而有餘。一時各國政府，王子，學者都紛紛向他訂購。伽利略看見了月亮上的凹凸，木星（Jupi-

ter)的衛星，和太陽的斑點(Sun spots)。又因為這些日斑的行動而推論到太陽本身也在旋轉運動，他的觀察逐漸增強了哥白尼的學說。一般人開始敵視伽利略，他們不相信自己的眼睛，而強辯說由望遠鏡所看見的天體，不是真的，而是些幻像和錯覺。有一位大學教授甚至於連向望遠鏡中望一望的勇氣都沒有呢！

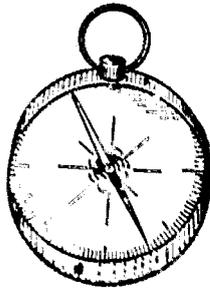
電學和磁學——如果我們稱伽利略為近世「物理學的始祖」，那麼英國人吉爾伯特(William Gilbert)(一五四〇——一六〇三)至少可以算是「磁學的父親」。他本是醫生，精通醫術，為伊利沙白女王(Queen Elizabeth)御醫之一。一六〇〇年發表其鉅著磁論(De Magnete)。伽利略讚之為偉大到可羨慕的程度。書中首創電力(Electric force)、電吸作用(Electric attraction)、和磁極(Magnetic Pole)，等等術語名詞。吉氏又為第一位發現地磁現象的人。他取強力的天然磁石，磨成球形，然後再在其表面各處豎立小磁針，於是加以觀察，見與地球赤道相當的部份，小針均取水平位置；由此漸近二極，小針亦由水平方向漸循垂直方向而傾斜，等到抵達兩極，遂成為完全垂直的狀態，因此吉氏名其磁球為小地球(Terrella)，因為牠和地球有着許多共同的現象。把地球看做一個大磁石(圖四)，可以解釋許多從前認為不可思議的現象。例如磁針之恆指南北，從前的思想家多以為是在宇宙遠處之處，有一大磁極吸引使然，但是吉氏的地磁學說立刻排除了這些神

祕的見解，而使牠的原因變得顯而易見了。又因為同極相拒和異極相吸的作用，所以指南的尖端實在是個北極，而指北者反為南極。青氏也是哥白尼學說的堅強信徒。他畢生的宗旨是以實驗證明理論。聽見謠傳說金剛鑽可以代替

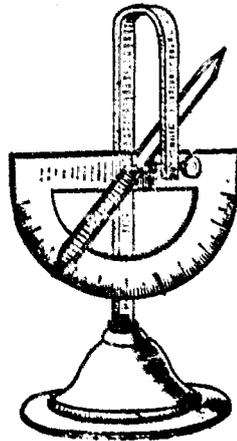


圖四 地球正如一大圓磁鐵

磁石，與鐵摩擦而產生磁化作用，他立刻從事實驗，結果，他說：「在許多朋友證明之下，我用過七十五顆鑽石，與各種不



圖五 袖珍羅盤



圖六 平衡磁針以示磁傾角

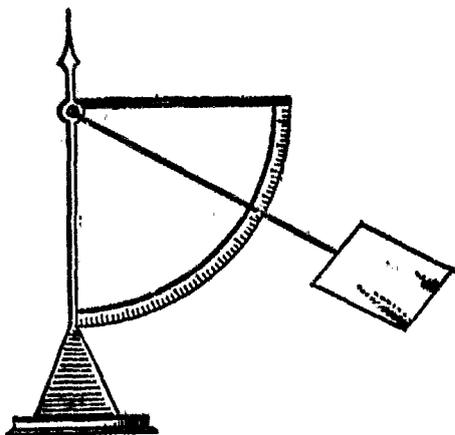
同的鐵條和鐵絲，細心摩擦，但是沒有一次能夠滿足我們的願望，使我們看見那所說的磁化現象」。

吉爾柏特氏又曾對電與磁加以明瞭區別，指出磁石與摩擦琥珀所產生的吸引作用為兩種完全不同的現象。有人說磁石之所以吸鐵，是因為鐵是金屬中最冷的物質，吉氏立刻回答說：「鐵針不會因為分隔牠們中間的是火焰，或是空氣，而減少絲毫轉向磁石的速度」。

指南針之不正指南北，我國人士於十一世紀明朝時，已經知道了。一四九二年，哥倫布 (Columbus) 經美洲探險時發現阿查里 (Azores) 處之磁偏角 (Declination) 等於零 (即磁針正指南北)，於是始知世界上各處之磁偏角，多不相等。玻塔氏 (Baptista Porta) 稱磁偏角隨經度而變遷。吉爾柏特氏斥之為謬，然吉氏本身却也不免陷入以各地之磁偏角為定值而不變的錯誤。

磁針若被平衡於軸上，使其可以上下自由旋轉，則該針必自動傾斜，與水平線成一角度，此角度名為磁傾角 (Dip)。磁傾角之發現遠在一五七六年，是英人諾爾曼 (Robert Norman) 所發現的。諾氏兼精於航海及工技；發表此項新發現於一五八一年之論文中。吉爾柏特設磁赤道 (Magnetic equator) 與地理赤道相符，且同一緯道上之磁傾角皆相等，這事與事實，實相差很多。偉大如吉氏者尚不免因猜測而陷入錯誤，可見科學真理之探討，非與實驗平行邁進不可。

氣象學——從特科
布刺厄開始有系統化氣象紀錄之存在，（一五八二——一五九七）。但是氣象儀器仍極稀少。該時古希臘之螺形風信標，已為教會中的守望標幟——風信鷄所代替。一五七〇年，丹替 (Egnatio Danti) 氏



圖七 擺式測風器

在波羅拿 (Bologna) 和佛勞蘭斯 (Florence) 製就了許多擺式測風器 (Pendulum anemometers) (圖七) 以量風力。關於驗溼器或溼度表 (Hygrometers) 最早的記載，有德國紅衣主教尼古拉斯 (Nicolaus de Cusa, 一四〇——一四六四) 所著的書中的一段說：「若在天秤的一端置大量之羊毛，使與另一端之石子平衡，則於天氣漸趨晴朗之際觀之，盛羊毛之一端將逐漸上升；但若在氣候陰溼之時，該端必見下降」。意大利人則以驗溼器發明之功歸於達文奇 (Da Vinci)。十六世紀中葉，米賽德 (Mizauld) 發現了溼氣對於腸弦的影響。約於同時，波塔 (Baptista Porta) 發現野麥之芒髮能因空氣之乾溼而左右彎曲，十七世紀初葉時的驗溼器，仍多半用這兩種原料。

歸納研究法 (Inductive method of scientific inquiry) 法

蘭西斯培根 (Francis Bacon, 一五六〇——一六二八) 爲當代有名之大文學家，嘗著書討論研究科學之方法，他主張一切科學的真理，均可以實驗與選擇的方法求得。在廣闊的實驗之下，所得的結果，不論正反，都應該記錄下來；因爲歸納幾個反面的觀察，我們也可以得到了正面肯定的結論。他輕視一般假說 (Hypothesis) 和理想，自信依他的方法，只要具有探討的恆心和毅力，無論何種自然現象，均不難迎刃而解。總之，他是實驗主義的極端派，一反希臘時代重猜測與理想的觀念。但是他和他一派的學者，都太看輕了創造力，想像力和數學對於一切科學發展上所佔的地位。後世很多名人，如李比 (J. Liebig)，達爾文 (George Howard Darwin)、摩根 (Augustus De Morgan)、勞喬 (Oliver Lodge) 等，皆不贊成他的極端經驗科學觀。李比說：「培根教人以無目的觀念的實驗，實驗者並不知其所探討的對象，故結果對其所得之現象，亦不能加清楚的分析。這種盲目的探討是毫無意義與價值的」。

第二章 十七世紀的物理學

文藝復興之後，德國科學界曾一度振興，但是後來，經過了三十年戰爭(Thirty Years War)的蹂躪，又復萎靡不振。英法兩國，因為未受宗教與內戰的影響，所以科學的進展不受阻礙而蒸蒸日上。返觀意大利則自伽利略受辱之後，科學精神大為沮喪，發展亦極遲緩。

十七世紀間意大利有托里拆利 (Torricelli)，德國有葛利克 (Guericke)、荷蘭有惠更斯 (Huygens)，法國有巴斯噶 (Pascal)、馬略特 (Mariotte)、笛卡兒 (Descartes)，英國則有波義兒 (Boyle)、虎克 (Hooke)、赫列 (Halley)、牛頓等科學羣雄，將這個時期的科學界放一異彩。無論理論與實驗方面，進展之速，都有一日千里之勢。

第一節 力學

重量 (Weight) 與質量 (Mass) 之分別——初學物理的人們，覺得難以瞭解的地方，多半就是物理發展史中難於進展的階段，譬如對於重量與質量的區別，力 (Force) 與能 (Energy) 的觀念，早期的學者如伽利略、笛卡兒和惠更斯等，都沒有很清楚的見解。一六七一年，裏却 (Jean Richer) 由巴黎帶到開雲 (Cayenne of French Guiana) 去的擺鐘，每日遲二分半鐘，他於是把鐘擺縮短，校準之後帶回巴黎，但是那鐘却又走得太快

了。敏覺的惠更斯立刻推得其原因，是地心吸力在開雲比在巴黎大的緣故。牛頓開始對於質量與重量有清晰的見解。質量爲物質的量，是不變的常數。重量則爲地球物體的引力，因物體距地的遠近而各異。譬如某物體在水平面的重量是一千克，到升高數千尺，以上之後其重量，將逐漸減小而至於七百克；但是那物體的質量在兩種情形之下却完全一樣而沒絲毫的變化。「在同一地方，各物體重量的比，等於牠們質量的比」。是牛頓實驗所得的結論。他說用最精確的方法，做了許多實驗之後，我發見物體中的質量輒與其重量成正比例」。

笛卡兒的渦動 (Vortex motion) 學說——哥白尼的地動學說既成大名，推翻了托拉密的舊系統；但是行星們爲什麼要沿着他們的軌道行動呢？這是當時科學界中的謎。笛卡兒發表如下的渦動學說，一時頗受到歡迎。他說：「宇宙的空間，完全充滿着一種液體，或稱以太 (Ether)，在以太中永遠旋動不息的是許多漩渦 (Vortex)，而行星們的運動，就是靠這些漩渦的牽帶作用而產生的。太陽是一個大漩渦的中心，他使地球和其他行星們環繞牠而旋轉。每個行星的周圍，又有着小漩渦的存在，因此而產生像重力 (Gravity) 一類的現象」，笛卡兒的學說，雖云風行一時，(直至十八世紀中葉，才完全被牛頓的萬有引力定律所打倒)，但是照我們現在的眼光看來，實在不能與一般偉大的原理，如哥白尼或托拉密的系統，如光的微粒學說等相提並論。因爲他並沒有想以渦動來解釋刻卜勒

的定律。嚴格的說起來，即他的學說既未能圓滿的解釋一切已往的現象，更不曾引導至任何新真理的發現。他僅有的功勞是企圖以力學的原則來解釋宇宙中的事理，這是相反於以前一切靈學或神學的觀念的。

牛頓的萬有引力定律(Law of universal gravitation)—**牛頓**(Issac Newton) 生於一六四二年，在英國林肯州 (Lincolnshire) 窩爾遜(Woolsthorpe) 地方。幼時即酷好算學，有發明的天性，曾經自己製造水鐘，風車等等機械的玩具。在大學中時讀刻卜勒氏的光學及其他名家的物理論文，已經啓發了他創造和想像的靈感。後來許多偉大的理論與發現就是在這個時期中萌芽的。一六六六年，他離開劍橋 (Cambridge)，回到家鄉去避疫，潘波頓(Penberton) 寫道：當他一個人單獨的坐在花園裏的時候，他開始思索着重力問題。地心的吸力，不但使地面上各物各就其位，而且也能及於最高的建築，和最高的山頂。這使他懷疑爲什麼重力不能達到更遠的地方？譬如說月亮。假使如此，那麼月亮的行動一定也要受重力的影響了？說不定他——月亮——就是這樣被地球拉住的呢！但是那時因爲不知道地球的吸力可以當做完全出自地心，所以未能以數學來證明理想。二十年後知道了這一點，他立刻利用月亮和地球的關係證明了他的萬有引力定律：即「任何二物體間之引力，與兩物體質量之相乘積成正比，而與其間距離之平方成反比」。按其萬有引力定律，在地面上的一切物體，每秒鐘下墜之距離

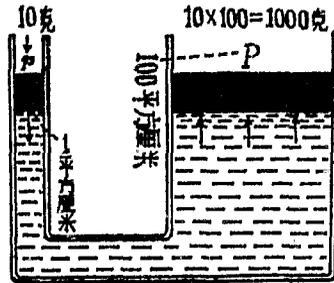
應為 $15 \frac{1}{12}$ 呎。惠更斯在巴黎實驗鐘擺所得的落體每秒鐘下墜距離，為 $15 \frac{17}{108}$ 吋，由此看來，牛頓的平方反比定律可以算是證實了。

利用萬有定律更可以解釋刻卜勒的三個定律，證明刻卜勒所發現的現象，並非偶然如此的；而且天體各行星遵從萬有引力定律的必然結果。傳說當牛頓發見他的計算與事實相符合的時候，他的情感大為衝動，竟不能繼續單獨工作，而需要一位友人的幫助。諸位將來如果有他這樣偉大的發現的時候，恐怕也不免要快樂得手足失措呢！

三大運動定律——物體運動第一、二兩定律，伽利略與笛卡兒，均已知之。伽利略說明被拋物體，在真空中沿拋物線形之軌跡而行動；這可以證明他對於一、二兩定律，已有充份的瞭解。笛卡兒的格物哲學(Principia Philosophia 1644)中敘述第一定律甚詳，但是他的第三定律却完全是荒謬的。牛頓於1687年著格物原理(Principia of Natural Philosophy)，闡明物體運動所遵從的三大定律，即(一)凡物體均有慣性(Inertia)能保持靜止或在直線上繼續運動，非受外力，不能改變。(二)物體之加速度(Acceleration)與其所受之力(Force)成正比。(三)有一作用力(Active force)，必生一方向相反，大小相等之反動力(Reactive force)。

液體與氣體——巴斯噶(Blaise Pascal, 1623—1662)為一有名醫生，喜歡研究數學和物理，水力學中著名的巴斯噶定

律，就是他所發表的。定律說：「施於密閉液體中任何部份的壓力，立即傳達於容器之各部，不稍減少」。又說：「取大小兩活塞，同置於密閉容器兩端的液體面上（見圖八）若大活塞的面積為小活塞的一百倍，則一個人立

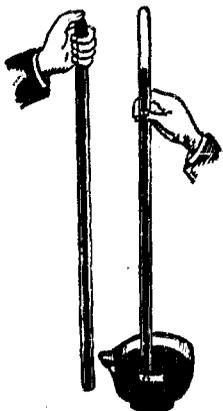


圖八 巴斯噶定律試驗器

在小活塞上，可以平衡一百個人在大活塞上的重量。於是一個滿貯着水的容器，變成了力學中的新原理，也是一個能將力量放大至任何倍的新機器」。

空氣的存在和有重量，遠在亞里斯多德和柏拉圖的時候，已經知道了，但是直到伽利略與托里嵬利的實驗以前，除了知道他們的存在而外，就沒有什麼別的發展。關於真空(Vacuum)的揣測，二千年來哲學家們一直以爲大自然是懼怕真空的(Horror vacui)。所以古時的亞里斯多德和當代的笛卡兒都不相信會有真空的存在。因爲自然忌真空，所以每逢有空隙的當兒，必會立刻設法以附近的物質來彌補。關於抽水機的見解，他們認爲管中已成真空，故遭造物之忌，遂使水上昇，以填補之。就是伽利略也不能完全從這不合理的觀念中解脫出來。當管理井水的人告訴他說唧筒管中的水不能昇到三十二英尺以上時，他迷離了，但是苦於無以自明，僅說道：「自然的忌真空，不過三十二呎罷了」。

托里拆利 (Evangilista Torricelli, 1608—1647) 是一位算學學生，後從伽利略，和他合作各種實驗。伽氏死後，托氏獨自繼續研究；嘗思以水銀柱試驗真空的抗力。1643年維文尼 (Viviani) ——伽利略之另一門徒，以托氏之理想付諸實驗，後世遂稱之為「托里拆利之實驗」。該時托氏正專心研究某數學問題，不數年後即逝世，是以從未發表其實驗的結果（見圖九）。



圖九 托里拆利試驗器

法國的巴斯噶風聞了意大利的實驗，也開始了他獨立的研究；他的結論說：「真空並非絕對不可存在，而且自然也不像許多人想像的那樣忌懼真空。巴氏自忖若托里拆利的水銀柱，果然是被空氣的壓力所支撐住的，則在高山上空氣稀薄之處，水銀柱上升的高度，自應較地面為低；於是攜其水銀管登巴黎的高塔，結果見托里拆利管中的水銀柱稍有低落。巴氏更欲得精確的證明，乃寫信給他內兄，在法國南部高山上試驗。結果測知離地面一千米處，水銀柱降低約三英寸，嗣後巴氏記載云：「我們得知後，驚喜若狂！」巴氏又取紅酒與四十六尺長之玻璃管，重作上面的試驗，得到更明顯的證據。他並且試驗虹吸 (Siphon) 作用說明其原理。一個打了一半氣的氣球，拿到山上去便完全膨脹起來了，但是下山的時候，却又慢慢的縮下

去了。

當意大利和法國企圖推翻「自然忌真空」的論調時，德國的葛利克(Otto Von Guericke, 1602—1686)也在做着種種的實驗。他先用木桶，鑄取銅球，用他自己改造過的抽氣筒，排出其中空氣，觀察各種現象。他發現在真空中鐘聲不聞，火焰自熄，魚鳥咸張嘴絕氣而死，葡萄可貯留在內不腐至六月之久！最初的銅球盡兩力士之力抽空之後，「忽然！在我們驚異之下，轟然一聲」竟被壓扁了。著名的麥德堡半球(Magdeberg hemisphere)，是兩個金屬的半球，各有長約1.2英尺之直徑，密接而排去空氣之後，能抵禦十六匹馬的拉力，這個實驗是當着德皇的面做的，是一個證明空氣壓力的絕好例子。葛利克又曾作一實驗，將地面上的水槽與高處的真空金屬球，用一長管連接，觀測水柱上升的高度。將真空球舉至房屋的二樓三樓，乃至四樓，始見水柱已不能達到球的所在處。然後測定水柱之高度，確證其高度隨時略有搖動。於是認為水之所以能被推上，其原因決非自然忌真空的神祕作用，而是空氣的壓力使然。由此製成水氣壓計(Water barometer)可利用氣壓以測天氣的變化，因為天晴則氣壓高，水柱亦高；天雨則氣壓低，水柱亦低。

波義耳馬略特定律(Boyle-Maricotte's law)—波義耳(Robert Boyle, 1627—1691)是愛爾蘭(Ireland)人。他不但有着一個四十餘年不健康的身體，而且記憶力也極不強，要不是因了

某一位冒牌物理學家一句荒謬的評語；也許波義爾終身不會發現他那偉大的定律！一位荷蘭的教授，讀過了波氏的新實驗之後，批評道：空氣絕對沒有那麼大的力量來支持廿九吋高的水銀柱；牠（水銀）實在是被管頂上一些不可見的細絲吊住罷了。並且說當他將手指按在頂口的時候，可以感覺到牠們（細絲）的存在。這評論激動了波義耳！他說：「我們現在將用新的實驗來證明空氣彈力之大，不僅止於能支持托里拆利之水銀柱而已」！於是他取了一隻長的玻璃管；藉火力和靈敏的手法，將牠變成了一隻U字形的彎管，管的短臂口端是密封住的；兩臂上各貼以紙條，分為若干吋，每吋中又分別分為八格。然後注汞入管中，使長短二臂中的水銀面相齊。繼續注汞入長臂，則見短臂中空氣容量逐漸縮小。等到短臂中的空氣縮至原有長度的一半時候，波氏以相當快樂而滿足的心境，看見長臂中的水銀，恰巧高出短臂中的水銀廿九吋！後來這支長管，不慎碰碎；他便又製了一個新管，長約八呎，用這支新管，他測知臂中的空氣壓力，從低於大氣壓力 $1\frac{1}{4}$ 吋的水銀柱，按四十次實驗，加至 $117\frac{9}{16}$ 吋高的水銀柱，每次將實驗與理想值相比較，都很相近，因此證明他的假設。那就是「空氣的體積與牠的壓力成反比例」。

在波義耳發表他的定律十四年之後，法國有名的物理學家馬略特（Edme Mariotte, 1620—1684）又獨立發現之。是以法人多稱之為馬略特定律。

拋物之運動——因為空氣的阻力，所以拋物的運動方式比在真空中複雜了。1670年，馬略特曾說：空氣施於落體的阻力，與其下墜時間的平方成正比。牛頓表示同意，而拉亥 (La Hire) 則以為與其時間之立方成正比。

因為地球的自轉像一只輪盤，近中心的地方慢，而愈靠外圍則愈快，所以在高的塔尖上旋轉的速度，也一定比地面上快。因此牛頓以為落體下墜應偏向東方，而非如一般人所想像的那樣偏於西方。牛頓的理論，被虎克付諸實驗。他的報告上說：「……發現落球每次均掉在由出發點所引下垂直線的東南方」。最初的實驗是在室外作的，但是，後來在室內重試，所得的結果也是一樣。

第二節 光學

折射定律——折射的正弦 (Sine) 定律——即折射指數 $n = \frac{\sin i}{\sin r}$ 的數值，首先於笛卡兒的書中發現。但笛氏並非以實驗求得的，就是在他理論的推測上也有不少錯誤。例如他說，光在密度高的媒介物中比在密度低的中間速度大，而此事適與事實相反。斯奈 (Wellébrocel Snell, 1591—1626) 在笛氏前曾作過許多實驗，他所發表的「媒介物間的入射角(i)與折射角(r)的餘割(Cosecant)的比，輒為一不變常數。」實乃正弦定律的變相，因為每個角度的餘割不過是牠正弦的倒數罷了。

光的速度——在十七世紀以前，人們都以為光的速度是無

限的。伽利略開始用燈籠使甲乙二人執着，離開很遠的地方，於夜間互相交換信號，以量光一往返所需的時間。結果自然是失敗的；因為人類的動作和反應比起光來是那樣的遲鈍，僅僅甲乙一見一動的時間，已足夠牠環遊地球一周而有餘了。數十年之後，一位青年的丹麥大文學家勒麥 (Olaf Romer, 1644—1710) 在巴黎的天文台上研究木星 (Jupiter) 的衛星，發現其每次進入木星影中的成蝕 (Eclipse) 間隔不同，——當地球行近木星的時候短，漸遠則漸長。勒麥氏向科學會的解釋是光的速度並非無限的，所以牠穿越地球的軌道也需要相當的時間。

英國的一位天文學教授玻萊德里 (James Bradley, 1693—1762) 後來又從光引差 (Aberation of light) 計算出日光之達到地面，需時八分十三秒——較勒麥之十一分更為準確，於是光的漸進學說乃成立，被大眾認為確定之事實。

惠更斯的波動學說 (Wave theory)——惠更斯在1678年法國科學會中，當着勒麥，卡撒尼 (Carsini) 等人的面，發表一篇奇特的光學論文。那就是微粒學說的勁敵波動學說。惠更斯為荷蘭人，幼時即擅長數學，頗為笛卡兒所器重。他與當代的牛頓及萊伯尼茲 (Leibnitz) 諸名人都是獨身者。虎克在惠氏以前也曾論過波動學說的大綱，惠氏遂就其重要的原理，更加以詳細的發揮，並且用以解釋如反射、折射的各種光學現象。按其學說，光是一種與聲音有相同性質的波動，稱為縱波 (Longitudinal waves)。每一個光源，是這種波動的中心，由此

而向四周擴散，很像一塊石子在靜水中所引起的波紋。但是水紋是橫波(Lateral wave)，——就是水波的起伏與波動的進行方向垂直，而惠氏則以為聲音和光的波動都是縱波——波動與進行方向一致，如彈簧的伸縮。橫波能解釋偏光作用(Polarization)而縱波則不能，所以楊格(Thomas Young)氏後來將惠更斯假說中的縱波改為橫波，牛頓以為波動學說的最大缺點乃在不能解釋光的直線進行定律。他自己主倡微粒學說，致使惠更斯的學理被人忽視了，幾有一世紀之久。

牛頓的實驗和學說——在牛頓以前，已經有人知道白光的分解與合成了，但是沒有人知道三稜鏡(Prism)的作用是分散白光中已存的彩色，而非(由三稜鏡中)產生這種彩色。這原理到牛頓方才用實驗證明。

牛頓又注意到望遠鏡和透鏡中所謂色差(Chromatic aberration)的弊病。那就是當光線通過透鏡時，因為各色光線的折光程度不同而呈現的不清晰狀態，往往使物像外圍帶着彩色的邊緣。牛頓也曾想用光散(Dispersion)程度不同的物質合製成一透鏡，以消除上述的缺點；但是在少數的實驗之後，他認為這種企圖為不可能。顯然這是牛頓太粗心而固執了。因為只要他多作一些實驗，也許就會發現冕玻璃(Crown glass)與鉛玻璃(Flint glass)有着不同的光散性能。綜合這二者所成的透鏡，可以使白光折射而不分散，成為現在所通用的消色差透鏡(Achromatic lens)。牛頓忽然在消色差透鏡的研究上，遭到

了失敗，但是在製造反射望遠鏡(Reflecting telescope)的一方面，却得到了意外的成就。反射原理的望遠鏡，與普通的折射望遠鏡不同，前者以凹面鏡代替，後者的物鏡(Object glass)，使外來的光線聚集後，再被目鏡(Eye piece)放大。反射望遠鏡的設計，早已有了；而牛頓於苦心設計之後，復精工製造，遂於一六六八年成功第一只反射望遠鏡。鏡長六吋，直徑一吋，可以放大物體三四十倍。

牛頓也試驗繞射(Diffraction)作用。這個新現象是格裏馬底(Francesco Maria Grimaldi, 1618—1663)所發現的，他察見光線通過小隙的時候，靠邊際的光線稍向外彎曲，所以結果在屏上所顯的光束較大，而且邊緣上鑲有彩帶。他稱之為光的繞射現象。讀者可以試取兩枝鉛筆，筆桿緊緊相貼，然後自其間小隙，瞭望燈光，則可見光線均呈彩色，此為繞射最簡單的實驗。格氏雖然作了不少有價值的實驗，但是對於這現象的原理却很少貢獻。牛頓繼續作格氏的實驗，並且企圖以微粒學說來解釋繞射現象。

第三節、熱學

溫度學(Thermometry)——溫度計差不多可以說是應用最廣，而最普通的物理儀器。根據歷史上的考證，伽利略可算是第一位發明者。用一隻像鵝蛋大小的空玻璃球，聯著一根細桿粗細的長管，整個倒插在水中，就是當初最簡單的溫度指示

儀器。因為空氣受冷或熱後的收縮與膨脹，使水在管中升降，藉以表示溫度。但是這類空氣溫度計同時也受外界大氣壓力變化的影響，所以很不準確。法國的物理學家雷(Jean Rey)氏首將伽氏的溫度計，加以改良；注水入玻璃球中，而顛倒置之，使管口向上。水在球中的膨脹與收縮，可以長管中水柱的起伏示之，一六三二年雷氏致函於麥息(Pater Mersenne，當時科學界中最有名的調解人)敘述他的方法；但是雷氏沒有想到將管口的上端封閉，使水不能蒸發，而減少不少的錯誤。那時溫度計的設計是使其中液體於一年之間恰巧能升降整個管的長度。廿五年後，意大利的實驗學會 (Accademia del Ciminto) 用酒精代替水，製造出一隻密封式的溫度計，管旁並附有刻度。他們的溫度計也根據冬夏兩季的溫度為最低與最高點，分中間為八十或四十度。為要使上述的兩個定點準確，他們便用冰雪與牝牛和鹿的體溫來校準他們的溫度計。冰雪的溫度是不變的，在醫用溫度計上，讀數常在十三度半。

運動生熱的學說——牛頓、笛卡兒、阿蒙頓(Amontons)、波義耳、法蘭西倍根、虎克等雖都早已視熱為運動所產生的結果，但那時一定很少實驗證明，否則何以在十八世紀又會被物質的卡路里學說(Caloric theory)所戰勝呢？波義耳曾注意鐵鎚猛擊鐵釘時所產的熱量，又做過機械方法產生熱能的實驗。

第四節 電學與磁學

磁偏角的長期變化(Secular Variation of Declination)——

首先發現此種現象者是吉利波蘭氏(Henry Gellibrand, 一五九七——一六三七)。吉氏稱倫敦附近之磁偏角，於一五八〇年爲東十一度十五分，一六二二年爲六度十三分，而自已於一六三四年之測量則爲東四度左右。赫列(Edmund Halley 一六五六——一七四二)——當時數一數二的天文學家，對於吉氏報告頗予重視。他最初假設地球有四個固定的磁極，後來見其與事實不符，乃假設地磁分內外二殼，內殼在外殼中緩慢旋轉。一六九八年威廉第三(William III)特派一船供赫列使用，航行於大西洋與太平洋，希望以事實證明理論。他雖然沒有得到預期的結果，但是搜集了不少磁偏角的紀錄，製成一幅等偏角線地圖，最近在英國博物院中發現。閃電對於磁石的影響，在一六七六年至一六八四年的哲學議錄中很多富有趣味的記載。像一六八一年，一條向波士頓開的船爲閃電所觸，其後觀望星象的位置，發現他們的羅盤針已經完全變了方向，原來指南的一端，現在指北。那船就用這反向的羅盤駛到了波士頓港。

電體吸引與推斥的實驗——關於帶電物體的種種現象，頗能引起一般研究學者的興趣。波森耳察見乾燥的頭髮很容易因摩擦而成電。牛頓用一根圓的玻璃柱，置在銅環中架住，使他的一端離開桌面僅八分之一吋，然後用粗的東西，敏捷的在玻璃柱上往復摩擦，直到放在桌上的一些碎薄紙片，可以被玻璃柱吸起，上下左右的跳躍——一會兒跳上去貼在柱端，一會兒又掉下來躺在桌面上了。

葛利克曾用手與旋轉的硫黃球相摩擦而生電，波義耳以實驗證明真空不妨礙電體的吸引或推壓作用。赫克斯比 (Francis Hauksbee) 首先知道水銀在真空中撞擊所發的光為電的現象，而非想像的燐光，因為牠與電光還附帶着吸引作用。他更知道電體上之電僅存於其表面，且各金屬可以藉摩擦而生電。

第五節 聲學

伽利略與麥息 (Marin Mersenne) 都曾研究過聲音與振弦的關係。伽利略指出音調 (Pitch) 的變化與振動之頻率有關。麥息發覺絃音除了基音 (Fundamental tone) 之外還有兩個泛音 (Overtone)。利用敲聲與敲火先後到達相隔的時間，他計算聲音在空氣中的速度為每秒鐘一三八〇呎。諾貝爾 (William Noble) 與彼加特 (Thomas Pigott) 在牛津以紙條騎在振絃之上，試驗得振絃不僅能整部振動，同時亦可分作二段或三段以上之振動。卡散底 (Pierre Garsendi) 以敲聲與手拍聲音在空氣中之速度相等，而並非如亞里斯多德學理所述之音速與音源之音調有關。牛頓在格物原理中嘗以理論推求聲之速度，得公式為 $V = \sqrt{\frac{P}{d}}$ 。其間 V 為音速， P 為大氣壓力， d 為空氣密度。依式計算的音速於平常情況下約為 979 呎，而實驗之值為 1142 呎。拉波拉斯 (Simon Laplace, 一七四九——一八二七) 後來校正牛頓的公式得正確的算式如次： $V = \sqrt{\frac{1.41P}{d}}$ 。

第三章 十八世紀的物理學

十七世紀間偉大之科學家輩出，物理學進展之速，不但上古時代所未有，即十六世紀時亦不能及之。實驗性的科學經伽利略、牛頓、葛利克、波義耳等人先後倡導之後，聲勢頓振，在科學界中的地位，誠有不可一世之概！但到十八世紀時，人們又崇尚推論與實驗。

第一節 力學

牛頓的力學定律，已足供解答任何普通力學問題之應用；然而要求運算便利和思索容易，那還需達蘭伯特定律(D'Alembert's Principle)、動量不減定律(Law of Conservation of momentum)、重心不減定律(Law of the Conservation of Centre of gravity)、面積不減定律(Law of Conservation of areas)等的幫助。這數定律，都是當時對於解析力學上的偉大貢獻，但不在本書範圍之內，他日讀者自能一一讀到。阿特溫德(G. Atwood, 一七四六——一八〇七)發明阿特溫德機(Atwood's machine)，以供研究落體運動定律之用。他的構造極簡單，僅以線繫二重量，通過滑車之上，使重量在線之兩端能夠自由上下活動。他在物體之直線與旋轉運動(On the rectilinear motion and rotatoin of bodies)的一篇論文裏詳細講到這機械的應用方法。

第二節 光學

波動學說之擯棄——在十七世紀中，我們已見過波動學說與微粒學說的衝突。牛頓經過長期考慮之後，躊躇的扶助了微粒學說，而在歐陸上的惠更斯却鼓吹相反的波動學說。因為牛頓的名聲比較響一些，却剛好命中注定，走入了錯誤的道路。我們現在都曉得他所達到的結論，很受人重視，因此在十八世紀中，擁護波動學說者，僅歐勒（L. Euler，一七〇七——一七八三）及富蘭克林二人而已。

消色差透鏡之發明——歐勒猜想眼球中的各不同介質之組合，必有能防止色差的效用。因此建議以光散程度不同之物質配合，而得消色差透鏡。歐氏因為製造上的困難，而未能實現他的理想。但不久之後，英國的一位眼鏡商都蘭（J. Dolland）氏，發現冕玻璃與鉛玻璃之折射係數不同（一為一·五三，一為一·五八三），乃決定二者間之適當配合，必能產生折光而不散光的透鏡。在他自己堅決的毅力之下，終能克復種種實際上的困難，而於一七五八年製就一架消色差的望遠鏡贈與英國皇家科學館。都蘭死後，他的兒子承父親的事業，繼續努力，於多次失敗之後，終於使消色差透鏡亦能圓滿的應用於顯微鏡之中。消色差的工作，對於天文學之進展有莫大的功勞；在他們沒有成功之前，惠更斯唯一減少色差弊病的方法，就是採取較長的焦距。但是這種過長的儀器，不但笨重不堪，而且

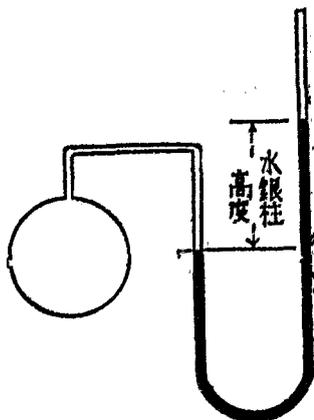
使管中光線暗淡，不能得到清晰的觀像。與都關同時的，還有一位莫河 (C. More Hall) 先生，也獨立製出消色差透鏡。但從來沒有發表過他的工作記錄。

反射與折射望遠鏡的競爭——與消色差望遠鏡同時發展的是反射望遠鏡。赫德利 (John Hadley) 於一七二三年製成一具六呎長的反射望遠鏡，其效力竟能與惠更斯一百二十三呎長的折射鏡相媲美。赫姆爾 (Herschel, 一七三八——一八二二) 以工巧的手法連續磨就焦距 (Focal length) 十呎、二十呎、三十呎、四十呎的凹面鏡。他於一七八九年所完成的最後一隻，為四呎的直徑，重二五〇〇磅。一七四五年羅斯伯爵 (Lord Rosse) 完成了一架直徑七呎，長五十八呎的大反射鏡，可以容納一個人撐着雨傘在管中散步。這是二十世紀以前最大的反射鏡。因為聚光的強度，異常優良，所以能夠展示從前所不曾見過的星辰與天體之美麗。現代最大的反射鏡有加拿大某天文台的七十二吋直徑，和美國加利福尼亞省威爾遜山天文台的一百吋直徑的大反射鏡。在反射鏡與折射鏡的長期競爭之下，每種都有它的特長處與優點。近世的天文台中兩種都被採用，而於拍攝星雲，與觀望遠處暗星之際，反射鏡尤有獨到之效用。

第三節 熱學

溫度計學的進步——阿蒙頓 (G. Amontons, 一六六三——一七〇五) 於一七〇二年改良了伽利略的空氣溫度計，如圖

十。他使玻璃球中空氣的體積不變，而於U管的長臂中加減水銀，以維持此種等積狀態，然後即以長臂中水銀柱之高度代表溫度。用這種溫度計可以比較巴黎與倫敦二處之水銀溫度計，而免去把水銀計帶來帶去的麻煩。因此實驗室中多用這種空氣溫度計作標準以校正其他各種溫度指示儀器。阿氏取水之沸點，為高定



圖十 伽利略空氣溫度計

點 (Upper fixed point)，但是不知大氣壓力對於沸點的影響，所以不能達到最準確的程度。其實，阿氏的溫度計等於是證明查理與給呂薩克定律 (Charles & Gay-Lussac's law) 的一個絕好實驗。那定律就是：在定壓之下，氣體之體積與絕對溫度 (Absolute temperature) 成正比例；在一定體積之下，氣體壓力與絕對溫度成正比例。絕對溫度的見解也是阿蒙頓先想到的。因為在定壓下，溫度減低則體積越小，如是，若將溫度不斷降低，則氣體體積將逐漸縮小而至於零。阿蒙頓估計這個溫度約在攝氏表之 -239.5° 左右 (準確的値是 -273.1)，但是事實上無論任何一種氣體，在達到這個極低溫度之前，都已經液化了。最近的低溫物理學已經成為專門一科。據說所達最低溫度已離這絕對零度很近。

發明華氏溫標 (Fahrenheit scale) 的華倫海氏 (G. D. Fahrenheit, 一六八六——一七三六), 老家在但澤 (Danzig), 後來廣遊英國、丹麥、瑞典各國, 成爲一位有名的物理學家。他本是製造氣象儀器的專家, 被阿蒙頓的實驗而引起他的興趣, 就開始以實驗決定他種液體的沸點。嗣後他發現沸點受壓力變化的影響。這一點對於準確溫度學的發展大有補益。華氏使水銀溫度計的應用普遍化, 因爲他發明一種洗淨水銀的方法, 彌補前此一般水銀計的缺陷。華氏於一七二四年第二篇論文中說:「適用新氣象觀測的溫度計, 其溫度自 0° 始至 96° 止。用來校定這個溫標的有三個定點。第一最低定點……是冰、水、鹽混合物的溫度; 若置溫度計於其中, 則計內液體(汞或酒精)應降至 0° 。這個實驗在冬日的成績比在夏日的好。如果只用冰與水而不攪海鹽, 則置溫度計於其中, 可得第二個定點, 即 32° ……。第三個定點是 96° ; 若置溫度計於健康的人之口中, 或腋下, 則計中液體應昇到這個地位上。在第五篇論文中他說:「我實驗液體之沸點, 曾得水的沸點爲 212° ; 後來又從許多其他的實驗中見到此沸點雖於固定氣壓之下, 永不變化, 而但若氣壓有所升降的時候, 這個沸點便也跟隨着略有變化。」由此可知華氏表中的 212° , 並非預先設定, 而是巧逢水在該點沸騰罷了。同樣, 32° 之爲冰點, 也非有意, 所以華氏溫標中, 從冰點到沸點, 中間相隔 180° , 實在可以說是偶然的。華氏溫表不久即爲英、荷兩國所通用, 但其他各國的溫標

仍然紛亂交雜，莫衷一是。法國的列屬 (Réaumer, 一六八三——一七五七) 發明了列氏溫標，分冰點與沸點間為八十度。攝爾夏 (Anders Celsius) 於一七四二年所製之溫度計，以 0° 誌沸點， 100° 誌冰點。八年後，斯託馬 (M. Strömer) 氏將二定點顛倒置之，即以 0° 為冰點， 100° 為沸點，於是始成為近世之攝氏百度溫標 (Centigrade scale)。十八世紀中的溫標約有十三種之多；淘汰至今，只存其三——英、美用華氏，德國用列氏，而法國則通行攝氏。攝氏溫表於科學界中，應用最廣，幾乎已經成為公認的標準溫標。最早的金屬溫度計是發明於一七四七年；牠能藉金屬棒桿的伸縮性以表示溫度。數十年之後，曼几溫德 (G. Wedgwood) 又製造出一種火泥的錐體；每個錐體都能於某高級溫度內開始軟化而彎垂，於是置數個錐體於火爐之中，便能從牠們變化的程度與等級，估計出爐中的溫度。

蒸氣機的初期發展——自從赫倫製造噴轉球以後，（見上古物理學史第三章），二千年來幾乎沒有別人再想到過利用蒸汽來產生動力的方法。一七〇五年紐考門 (T. Newcoman) 氏首先發明簡單抽水用的蒸汽機。紐氏為英人，業鐵匠。他所採用的工作原理，是先將蒸汽通入汽缸 (Cylinder)，使其中的活塞 (Piston) 被推而向外移動，然後關閉汽瓣（使蒸汽不復進入汽缸中），再以冷水噴於汽缸外壁使之冷卻，於是缸內水汽凝結，形成半真空，活塞遂被大氣壓力所迫而復向內移動。如是

週而復始，乃能使連於活塞上的壓水橫桿上下活動，作抽水的工作。最初的紐氏汽機需要人工來管理汽瓣，不久，有名叫實德 (H. Potter) 的看守童子，用繩與聯鉤等改爲自動開關。一七三六年，赫爾 (J. Hulls) 又添設飛輪 (Fly-wheel)，使機器運轉容易，工作平穩。瓦特 (J. Watt) 氏出世後，蒸氣機又經過一次徹底的改良。他因爲看見紐氏汽機中的蒸汽潛熱 (Latent heat) 多爲冷水所吸收，極不經濟，乃苦思維持氣罐中的高溫，而利用此部份熱量的方法。在他的自述中，有記載說：「在某一個晴朗星期日的下午，我走到外面去散步……途中正在思索這個問題，忽然想起蒸汽也是一種彈性的流質，故如將汽罐於適當之際與一個真空的器皿溝通，則蒸汽將撲入真空器中，使罐中汽壓減低，其結果所產生之效果與紐氏汽機中的冷凝作用相同，但是汽罐的溫度却不致於時冷時熱的變化了」。瓦特汽機是使用蒸汽的壓力來推動活塞，然後將餘剩廢汽排入冷凝器 (Condenser) 中；這與紐氏汽機靠空氣壓力的工作方法不同。除此而外，瓦特還有許多其他的發明與改良，貢獻於動力工程之進展頗大，在蒸汽機發達史上，他實在是一位不可泯滅的功臣。

卡路里 (卡) 學說 (Caloric theory) —— 蘭格里 將科學的進展比作一羣獵犬。在牠們出獵的時候，經過長途跋涉之後，也許終於會找到了牠們的獵物；但是往往錯誤途上的嗅味，也會使牠們進退不一的迷途中。吠得最響的，將踏弄錯的機

會，並不少於正確的時候；甚至於聽說過整羣都走向錯誤蹤跡的例子。十七世紀中物理界的權威者，對於熱似乎都存着一種分子運動的見解。但是到了十八世紀，一般學者却又放棄了這正確的蹤跡，而踏入物質主義的旁途。將熱當作一種物質的觀念，古已有之；到了十八世紀經斯塔爾 (G. E. Stahl, 一六六〇——一七三四) 的燃素論為引線，物質學說遂又大興。他們視熱為一種極富有彈性的微粒，彼此間互相推斥，而對於普通物體則又喜於吸引。吸引作用能解釋各物體間熱容量之不同，而推斥作用則能說明熱體向周圍散熱的現象。這種觀念到十八世紀之末葉，差不多已成為普遍的學理；直到一七九八年，才第一次被美人羅安福伯爵 (Count Rumford) 猛烈的攻擊。

熱的測量——十八世紀熱學的基本觀念雖屬錯誤，但也不無新的進展；例如布萊克 (J. Black, 一七二八——一七九九) 發現了物質的潛熱和比熱 (Specific heat) 而奠定了熱測量學的基礎。他在一七五六年開始研究冰化為水，和水沸而成蒸汽的緩慢轉變現象，結果斷定無論固體化為液體，或液體化為氣體，於其轉變之際皆有大部份之熱量被吸收，同時物體之溫度不變。這種熱，他稱為潛熱，因為他以為這是熱質與物質的一種類似化合之結合；其中熱的勢力是潛在的，所以不影響物質本身的溫度。

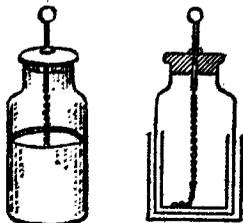
布萊克 一生未發表過他在熱學上偉大的工作，只曾於一七六一年以後，在講壇上略事解說。他不但直接貢獻於量熱學

(Calorimetry) 的發展；而且間接給瓦特以改善蒸汽機的衝動。當時對於熱測量學感覺興趣者，亦不僅布氏一人；死在斷頭台上的法國大化學家拉瓦錫，也是布氏信徒之一；他與拉玻拉斯(Laplace)合作，發明所謂拉氏融冰測熱器(Laplace's ice calorimeter)的儀器。

第四節 電學、磁學

萊頓瓶(Leyden jar)之發明——十八世紀所培養的物理學當以電學為最成功。格雷氏(B. Gray)發現物體之導電性質，僅與其構成的物質有關，而與其色素等性無關，於是遂有導電體(Conductor)與絕緣體(Insulator)的分別，他實驗得知金屬為良導體，絲線則非；人體亦為導電體，而樹膠則屬於絕緣之類。法人都菲(Du Fay, 一六九八——一七三九)亦作各種試驗，而知任何物質均能以摩擦生電。他又摹仿格氏，用絲線自懸於空中，使身體帶電荷，然後命友人行近，則見有電火花躍過二人之間。他假設電為玻璃體與膠體(Vitreous & resinous)兩種，摩擦作用可以分離之，使互擦兩物各帶陰陽電荷；若反之，使二異類荷電體相接近，則有電火花產生，能將兩電流中和而抵消。一七四六年，馬申玻克(P. Van Musschenbroek, 一六九二——一七六一)於試驗中使瓶中之水帶電；事後，他的朋友一手握瓶，一手將水與導電體連接的銅線移去，突覺其胸臂俱受震若擊。此即後世所盛稱之萊頓瓶(圖十一)的發

現。來頓之名是用以誌其發源地——荷蘭的來頓。馬申玻克於第二次試驗之後，曾寫信給他的友人列馬說：「即以法蘭西帝國為代價，我也不寧願再受一次電擊了」。改良過的來頓瓶，內外覆有錫箔；據說某次巴黎一僧院中的九百僧人，各以鐵線相聯，而以兩末端接來頓瓶作放電，結果他們都不由自主的同時躍起。想這些平時極其嚴肅的教士們在那時候的表情，一定是相當滑稽的。其他關於來頓瓶的實驗很多，如殺害鳥獸，磁化鐵針，融化細金屬絲，以及經江湖而長途放電等，不勝枚舉；總之來頓瓶的發現，實為電學史上一件了不得的大進展。



圖十一 來頓瓶

美國的實驗——美人富蘭克林 (Benjamin Franklin, 一七〇六——一七九〇)，幼時雖不過是一個印刷匠的學徒，但是到了成人之後，却成為當時一位有名的政治家、外交家和物理學家。他對於電學的興趣最濃。一七四七年，他發現尖導體有強烈的放電作用，可以在長距離之下產生電火花。雖然同樣現象也曾被其他實驗者發現過，但是富氏獨能見到實際上的重要性，而利用之於避電的裝置。富蘭克林是一流實驗的堅持者；他以為電的本身是一種流質，存在於任何物質之中，但若某物所含的電流多於其正常之量，則該體將帶正電，反之若其所含為不足，則必荷負電。每當正負二電體相接近，而產生電火花

之際，則有多餘電流由正電體躍入負電體中，以補其中不足；是以電荷的總量概不減不減，而一切電的現象實皆為電流分配之不平均所致。一七四九年富蘭克林觀察閃光的結果，認為這必也是一種電的現象。他在十一月七日的記載上說：「電流與閃光的共同性有：(一)發光，(二)顏色相同，(三)屈折進行，(四)動作迅速，(五)同為金屬所傳導，(六)有霹拍的聲音，(七)能於水，冰之中存在，(八)撕裂所經過的物體，(九)殺傷動物，(十)融化金屬，(十一)使易燃物燃燒，(十二)有硫黃氣味」。既然有如許多相同之點，那麼二者是否即係一物？這是富氏想用實驗證明的。最初，他預備豎立一枝長鐵桿，使其尖端直達雲際，以圖將雲中電流導下作種種實驗。他更想若是閃光果為電的現象，則豈不可以同樣的方法將電導入地中，以免雷擊之危害房屋，教堂或航船？但是他沒有立刻實行實驗，因為他認為附近沒有適當的高地可以滿足他的需要。不久，在法國有兩人用很長的鐵桿伸入空中，（一長四十呎，一長九十九呎）當有雷雲經過之際，用電瓶接近之，便見有強烈的火花躍過，同時產生硫黃的氣味。富氏並不因此而自足；他認為這不是充分的證據，因為兩枝鐵桿的長度都不夠伸入雲間。但是一個新的方法却突然顯示在他面前，即何以不用一件活動的物體——例如風箏，放到空中去以導去雲中的電荷？於是他用手帕縛成一隻風箏，上端插着呎許長的尖鐵絲，通地下的麻線末端繫鉛匙一隻，再用絲手帕使牠與手隔離。這樣在某一個雷雨的天氣，他

帶着他的小兒子出發到附近的公地上去，一方面藏身於一所小棚之下以避雨，一方面將風箏放上去，靜待實驗的開始。但是當一片雷雲經過的時候，麻線上似乎沒有半點帶電的現象，他感覺到非常失望。突然間，他看見麻線上的纖維都豎立起來，而當他用手腕去接近叫鑰匙的時候，一個美麗的電火花躍過，同時他感受到猛烈的電擊。富氏那時的快樂心境可想而知；他又利用這個時機將一隻萊頓瓶充電，一次復一次的得到電火花，……總之，他證明了「閃光」是一種電的現象。

靜電的測量——十八世紀之末，有兩位學者研究靜電測量的工作；一位是英國人卡芬狄士 (Henry Cavendish, 一七三一—一八一〇)，另一位則是法國人庫隆 (C.A.Coulomb, 一七三六—一八〇六)。卡芬狄士是一位極緘默的學者，自己從未發表過重要的論文，也從未與別人爭過發現的優先權。但是他的確是一位偉大的電學家；馬克斯維耳 (J. C. Maxwell) 所著的卡芬狄士之電學研究史 (Electrical reserches of the honourable Henry Cavendish) 中，說他差不多預料到所有後來庫隆與其他法國科學家所發現的事實。例如他測量過容電器 (Condenser) 的容電量 (Capacity)，定單位為吋的電量 (Inches of electricity，相當於半個兆分法 microfarad)；了解電位 (Electric Potential) 的存在；證明電體的吸引與排斥力量必皆遵從平方反比定律，並且作過有類於歐姆定律之實驗。

庫隆的早年在隊中服務的，後來又作過工程師，曾因為調

查開關某運河的意見不同，而遭有勢者所不滿，誣受監禁。事後政府調查清楚，將他開釋，並且預備賠他巨款，但是庫隆僅領收一隻計秒錶 (Second watch)，這可以說是他人格清高的明證。他曾探索髮絲扭轉的彈力 (Torsional elasticity)，扭轉計 (Torsion balance) 的製造，用以測定荷電體間彼此相吸相拒的力量，而確立有名的靜電定律：兩荷電體間的力量，為其電荷相乘積之正比，距離平方之反比。庫氏又主張二流質論及遠距作用說 (Theory of action at a distance)，以電體能在遠距離間相吸、相拒而不受中間任何媒介質之影響。

帶電動物——人類早已知道某幾種水產動物有能夠使觸到他的東西，受到震擊的特性。自從來頓瓶問世之後，科學家乃懷疑其是否能與來頓瓶之放電，產生同樣的生理影響，霍爾頓 (J. Walsh) 是首先着手以實驗調查的人。他用銅線二根，各接於此種魚類的腹背二部，然後挪近其他二端，則見有電火花躍過，證明牠確係放電作用。

動電的發現——賈法尼 (A. Galvani, 一七三七——一七九八) 是一位醫生兼某大學的解剖教授，但是對於動物帶電的研究，頗感興趣。傳說他因為妻子的身體不健，需食蛙腿，便每次親手泡製；有一日，當他不在的時候，其妻無意以解剖刀觸及置於電機旁的蛙腿之神經，則見有電火花產生，伴以蛙腿劇烈的抽搐。賈法尼聞知後，頗以為奇，乃屢次於不同之環境下，重複其實驗。他取蛙腿置於絕緣的玻璃板上，然後以各種

曲柱之兩端接觸腳部的肌肉與腿部神經。縱合其觀察所得爲：玻璃柱不產生任何作用；銅鐵或銅銀拮製的棒桿，所產生的搖動最劇烈，且最延長；純鐵桿所產生之效果雖不顯著，但亦有作用。於是賈法尼乃棄其原始的大氣電之解說，而斷定電之發源地是在蛙腿之神經，曲柱等的功用，祇不過傳導電流而已。

賈法尼的實驗與解說引起了其他科學家的興趣。伏打 (A. Volta, 一七四五—一八二七) 將兩種金屬拮製成的導桿，一端與眼相接，一端含入口中，則產生光的感覺。取中間有導線聯接的金銀幣二枚，置入口中，與舌接觸則有苦的味覺。於是他知道電流非但能使肌肉神經搖動，且能影響及於視覺與味覺的神經。但是伏氏並不以承認賈法尼的動物電源解說 (Animal electricity)；他認爲電係產生於兩種不同金屬之接觸作用，其中一荷正電，一荷負電，並且企圖以實驗證實他。一八〇〇年三月二十日，伏打寫信給倫敦皇家科學會會長班克氏 (J. Bank) 的時候內中有他著名的伏打電堆 (The Voltaic pile) 的描寫。電堆的構造，是用兩種不同的金屬板，——如銅鋅合成一組；每組中間隔以浸水或鹽液的法蘭絨 (Flannel) 或吸墨紙一片；效果往往數倍於每單位組的力量。伏氏的信中還有所謂電杯 (Crown of cups) 的製造。他的方法是取盛有鹽液或稀薄酸類的杯子許多排成一串；然後取同數的，有銅鋅兩端之金屬導線，將其首尾二端分插入這些毗隣的杯中。如此順序而下，便能在導線連接首尾二杯線端之際，產生電流。電池

的問世，便自此時開始。距伏打發函之後，僅六星期，英國又有兩位科學家發現水能被電流所分解，而成爲氫氣二氣，於是成爲電化學之開端。伏打不久就被英國的皇家學會選舉做會員；拿破侖 (Napoleon) 召他當面去作電堆試驗；法國政府并且賞他金的獎章。他的學說與賈法尼的學說分庭抗禮，造成歷代科學家的爭端。直到近世，電池的原理才因化學作用的解說而大明。

第五節 聲學

薩維 (J. Sauveur, 一六五三——一七一六) 雖然口吃，而且不喜歡聆音樂，但是對於聲學的貢獻却極重要。他於十七歲時徒步走到巴黎去尋求命運，一六八六年果然做了法國皇家大學 (College Royal) 的數學教授。他獨立的發現了泛音 (Overtone)，且用紙騎子 (Paper rider) 等尋求波節 (Node) 與波腹 (Antinode or loop) 的地位；察見了共振現象 (Sympathetic vibrations)，並知道了兩音調間頻率的差，爲拍 (Beat)。羅賓孫 (J. Robinson) 繼虎克而研究測音器 (Siren)，用以計算樂音的振動頻率。

第三編 近代物理學史

第一章 十九世紀的物理學——古典

(Classic)物理學的全盛時代

時代的巨輪轉到十九世紀，物理界的趨勢又起了一個激變。十八世紀中居領導地位的理論大半都被拋棄，而十七世紀中的舊學說却又再度被人認識而抬頭。光的微粒學說為波動學說所戰勝；叫做卡路里的熱質被撲棄一邊而分子運動學說復興；電學與磁學中的一流質、二流質論都過時了，代替牠們的是在傳光以太中運動的電波與磁波。十八世紀時的燃素和七種不可量的神祕物質也消滅了；相反的，十七世紀中的傳光以太却又從新被拉了回來，而且以更大的勢力把握着物理界的輿論。十九世紀有着曠古未有的一大隊科學人馬，在他們手下積聚着一大批昭著的實驗史實。理論與實驗相攜並進，蒸汽與電氣被利用於厚生方面以求人類生活的安適與社會的福利。電磁和光變成了一個以太族的大家庭。從前許多雜亂的，孤立的事實，用新的眼光看起來，立刻變成簡單的互相有關係而有意義的了。從前的物理界中把各項科目的界限劃分得很清楚，有老死不相往來之概，而現在牠們中間是親密得多了，甚至於存在着不可分離的關係。從這一點看來，至少這些新的概念，新的趨勢，好像是在走向正確的途徑了。

第一節 物質的構造

道爾頓 (John Dalton, 一七六六—一八四四) 氏剛剛發表原子學說 (Atomic theory) 的時候，原子多被視為微小而不可破的堅硬固體。但是不久以後，這種假設有了一些缺點，因為這些微粒既然是在永久不息的運動或撞擊着，而如果原子們是堅硬而無彈性的固體，那末牠們的動能將在每一次撞擊之後要漸次減少——一種與事實相反的狀態。於是有人以為原子是具有彈性的，有人主張遠距作用的學說，以為原子的力量彼此可相干涉，但實際上並不發生撞擊；更有人倡分子 (Molecule) 為物質之最小不可分的狀態，分子由數個原子所構成。原子雖為硬體，而分子則具有彈性，可以互相撞擊而不減動能。三說之中以最後的分子論較為合理，克勞夏斯 (Clausius) 與馬克斯維耳 均主持之。克爾文 (William Thomson, Lord Kelvin, 一八二四—一九〇七) 氏按各種理論與學說計算的結果，證示原子為一種極小的微粒；其直徑不過千萬分之一公分而已。反對原子學說的，在十九世紀末葉，也大有人在：歐斯溫德 (Wilhelm Ostwald) 氏是反對派的領袖，想把科學從他所目為「虛幻而不能以實驗證實的成見」中解除。他完全拋棄了原子與分子的見解，而從直接的實驗與圖象的分析中尋求真理。然而正當這反對陣線形將成立的時候，實驗的證明却接二連三的出現，正式確立了原子學說的真實性。

第二節 光學

波動學說——爲了波動學說的復活，我們應當感謝兩位大科學家——英國的楊格(Thomas Young, 一七七三——一八二九)，和法國的夫累涅爾(Augustin Jean Fresnel, 一七八八——一八二七)。這兩位人物雖然在理論上是志同道合的，可是在他們個人的生活史上，却迥然不同。楊氏自幼有神童之稱，兩歲能讀，四歲知閱聖經，七歲而能背誦長篇名詩。他從童年到成年，一直不斷的閱讀着，所讀的書不論新舊，也不論散文或詩詞，都在過目成誦之列；而奇怪得很，在他長成之後，他的身體和腦力仍極健全，絲毫沒有受到發育時過份好學的影響。相反的，夫累涅爾幼時，是一個笨孩子，到八歲時還不大會讀書，身體又是非常的柔弱，一點也沒有像楊格那樣能成爲一個偉大學者的希望。楊格與夫累涅爾是不同國籍的人，又是不相識的，而當楊格被本國人所輕視的時候，夫累涅爾因爲自己的意見和楊氏相同，便竭力的贊助楊氏使他得到了鼓勵而再度研究。更可貴的就是他們之間只有知音的同情，而沒有優先權的爭執，這真真是科學

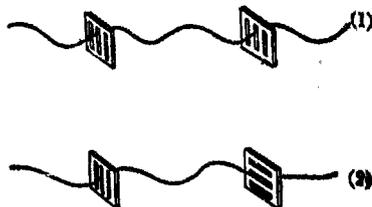


圖 12 橫波經過孔隙時之情形

- (1) 波能通過
(2) 波不能通過



圖 13 電氣石

家們偉大的精神啊！

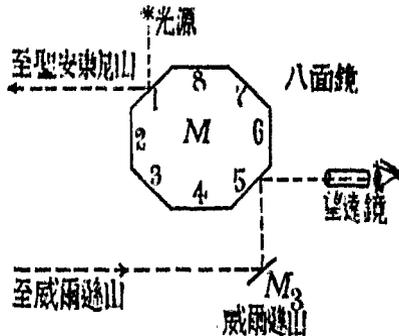
楊格所持為波動學說的主要證件，就是干涉的原則 (Principle of interference)。他使光線從兩個很近的小孔射到屏上，這樣若是光為質點所組成，則二光線互相重疊，其光度應倍增；但實際觀察的結果，唯有明暗相間的條紋。這種現象的解釋，祇能認光為一種波動，當兩光波的高浪與高浪，或低浪與低浪相值的時候，則不起干涉而相助；反之，若一方高浪與一方低浪相值，則互為干涉而相阻。相阻則暗，相助則明，於是有紋條的產生。但是以前已經說過，每當光線通過孔隙之際，則有繞射之產生。於是般反對波動說的學者，便憑着這一點來攻擊楊氏，以為解釋條紋現象者，並非干涉作用，而實線經孔緣時繞射的結果。夫累涅爾為欲產生干涉作用而不生繞射為光射，便利用二平面鏡約成 180° 之角，使光線經二鏡反射之後，其效果等於楊格實驗中之小孔。觀察的結果，仍得明暗相間條紋。夫氏更以真理詳細闡明波動學說，解釋光波之異於聲波的而能按直線進行者，實因二者之波長不同——聲波長而光波極短，不能依同法同理類推的緣故。傅奧 (Biot) 發見電氣石片 (Tourmaline) 具有複折射 (Double refraction) 之性——即由此種晶石中透視可以見兩個物像，表示光線經過時分而為二，一為尋常線 (Ordinary ray)，一為非常線 (Extra-ordinary ray)。傅氏更有電氣石鉗 (Tourmaline tongs) (圖十三) 之製，其原則為取二電石片相疊，然後徐徐旋轉其一，則見光線

漸暗，至二片之晶軸(Axes of crystal)直角相交時，光乃完全被隔絕。此即所謂之偏光現象(Polarization)。偏光現象早已爲人所發現，但是最初僅以爲與複折射性有關，未加詳究；及至馬勒氏(Etienne Louis Malus)，示以反射亦能產生偏光作用，乃引起一般人的注意，而其於波動學說之影響尤鉅；因楊氏一時不能解說之故，幾有傾覆之危險。楊格致馬氏的信中說：「你的實驗，表示我的理論尙有不全之處，但是不足以證明它的錯誤。」六年之後，楊氏才發現其中的關鍵，那便是說光線非爲聲波一般的縱波，而是像圖中的橫波。當電氣石片中的晶軸平行的時候，牠很易通過；但若是一橫一直，則光波將全被阻隔。不久夫累涅耳與阿喇哥(Arago)也獨立的發表爲橫波，於是波動學說，才又化險爲夷了。

波動學說雖爲大多數人所承認，但是微粒學說的完全屈伏，還須至十九世紀中葉，法人佛科(Jean Leon Foucault，一八二九—一八六八)舉行一個所謂判斷性的試驗(Crucial test)。光的進行，依微粒學說是在密介質中較速，而依波動論則在稀介質中較速；百餘年來，聚議紛紛，莫衷一是。一八五〇年，佛科以旋轉的反射鏡測定光行速度，比較在空氣中與在水中的結果，得在水中之速度較小，於是牛頓之微粒光點說遂不復足以號召人的信仰。佛氏的早期合作者費豐(Hippolyte Louis Fizeau)氏，也曾以旋轉齒輪及透鏡，反射鏡等等裝置，準確的測量光的絕對速度，美教授邁卡遜(Michelson)，曾作過

多次的光速測定，一九二六年時，他在威爾遜山(Mt. Wilson)所作的試驗，用一個新穎的裝置，那就是一隻旋轉的八面鏡

(圖十三)。光線從光源A射到(1)面上經其反射後到二十二哩遠的新安東尼山(Mt. San Antonio)再在那裏經幾度的反射將光線折轉至威山的 M_3 平面鏡上。當八面鏡是靜止的時候，一切都調整好了使



圖十三 邁氏的光速測定

上述的光線經 M_3 反射之後，到第(5)個鏡面，而後折入望遠鏡及觀察者的眼中。八面鏡一經轉動之後，則觀者不復能見光源，因為第(5)鏡面已經變了位置，除非當光線由第(1)鏡面反射之後，將八面鏡迅速的旋轉，使光線歷二山間的往返距離而抵達 M_3 時，第(6)鏡面已經佔據了第(5)鏡面的舊位置，如此則光源可以復見。邁氏利用這個原則，測定了光在真空中的速度為二九九，七九六公里。每秒鐘光的速度，是自然界一個非常重要的常數，而在近世的相對論 (Theory of Relativity) 中所佔的位置尤為重要。

光譜學——光譜可分為三種：(一)連續光譜 (Continuous spectra)，如白熾燈、鎢絲白熾燈、含有白熾固體碳粒之煤氣燈，以及一切灼熱的固體，其光自三種鏡中望之則見為邁

續不斷之色帶。(二)帶光譜(Band spectra)，此種光譜形如間斷之色帶，各色帶間均有黑暗的陰影隔離着。凡屬氣態化合物之光譜皆屬此類。(三)線光譜(Line spectra)為於黑或暗淡背景中彼此互相分離之明線，每一元素(Element)皆有其特具之明線光譜，可以分光鏡(Spectrometer)觀察各氣態物體而得之。除了上列的光譜之外，還有所謂吸收光譜(Absorption spectra)的，如煤氣燈所發之白光，經過鈷玻璃(Cobalt glass)後分析之，則見於其連續光譜中夾有若干黑暗的色帶。稱為暗帶光譜(Dark band spectra)；若再觀望，經過鈉焰(以沒有鹽液之石棉板，就本生燈上燒之即得)以後的電弧光，則見於前述之線光譜中鈉氣所應據的位置為黑線所代替。此種統稱為暗線光譜(Dark line spectra)。暗帶光譜與暗線光譜，皆為吸收光譜，與普通光譜中之明帶光譜及明線光譜不同。日光若從分光鏡中望之，則所見者為一連續之色帶，中間雜有無數的黑線，故亦屬於暗線光譜之類。以上是關於光譜的簡單常識，現在，我們再看它發展的經過。

最初發現明線光譜的是蘇格蘭人麥維勒(Thomas Melvill)氏。他置海鹽於酒精燈焰上，而發見於其連續光譜中，黃色最分明而顯著。其後有武拉斯吞(W. H. Wollaston, 一七六六一—一八二八)氏注意及日月光帶中黑線之存在，遂誤解為分隔日光色帶中各純粹顏色的自然界線。一八一五年夫宰因和斐(J. V. on Fraunhofer, 一七八七—一八二六)發現更多的黑線，並

將這些黑線的圖形中排列狀況，表其相對位置，即今所稱之夫牢因和斐線(Fraunhofer's line)。當時之物理界，波動與微粒二學說激戰正烈，故對於夫氏之發表未予重視。夫氏之後，研究光譜的有赫姆兒、塔波特(W. H. F. Talbot)等氏。他們以為光譜中任何彩線皆足以證明光源中某種化合物的存在。但是沒有嚴格的規定元素與明線間的關係。塔氏甚至於將明線光譜與日光的暗線光譜相提並論，這種錯誤，初學者也是常常有的。攝影學的發明，幫助光譜研究不少。發明者為尼柏斯(J. N. Niepce)後經達古爾(J. M. Daguerre)改良之後，稱為達古爾法(Daguerres type)。

克爾荷夫(Gustave Kirchhoff，一八二四——一八八七)與本生(Robert Wilhelm Bunsen，一八一——一八九九)合作，用本生氏所發明之本生燈(Bunsen burner)，研究各種發光氣體的光譜，一八九五年，二人聯名發表其實驗所得之結論云：「自身能產生明線光譜之各發光氣體，都能從白熱體發出之諸色光中選擇其自身所能發生之光而吸收之。於是此白光之不斷光譜中，遂發生若干黑線；而此黑線之位置，與各氣體本身所放之明線光譜，完全相同」。又說道：「日光光譜中之黑線，與地球氣層之吸收作用無關，而實為日球周圍之大氣含孕有某數種元素所致；此數種元素，都能夠產生與夫牢因和斐線有相對地位之明線光譜」。克氏由是推斷鈉、鐵、鎂、銅、鋅、銀、鎳，均存在於日球的大氣之中，克氏解釋夫牢因和斐

線的功勞，實在是非常的偉大。他的發現，使人類能夠從而知曉許多星球內部的情形——這些世界在以前好像是永遠被罩在我們的眼前的。克爾荷夫自己，常常喜歡對人家說下面的一個故事，那就是當他調查日球大氣中有無黃金存在的時候，他的銀行經紀人向他說道：「我管他太陽上有沒有金子，反正你拿不下牠來」。不久之後，克氏接到英國送給他的一隻金獎章，於是交給那位銀行經紀人，面時笑着說：「你看！到底讓我從太陽身上摘下一點金子來了」。

波拉克爾 (Julius Plücker) 和 烏耳納 (Adolph Wüllner) 實驗氫、氮、硫黃等氣後，指出每一種元素祇僅有一種光譜，像上述的氣體，每個都能在不同的溫度之下，產生兩種光譜：一個是E的明線光譜，一個是較弱的明帶光譜。羅寧 (J. N. Lockyer) 解釋此種變化如下：明線光譜為原子所產生，明帶光譜則為分子或分子羣所產生，故元素光譜之變化，即為其內部構造改變之象徵。羅氏又見鈣之明線光譜亦隨溫度而變化，乃毅然推論云：「明線光譜之改變，與明帶光譜之因分子分解而變化相同」。故依同理類推，則原子亦必能再度分解而成為更簡單之物質。一八六二年法拉第 (Faraday) 曾試驗磁力對於光譜之影響而失敗。一八九六年濟曼 (P. Zeeman) 用新式儀器與強力之電磁極，重作其試驗，發現磁場有放闊光譜中明線的作用。此與其理論中之預料相同，後世遂稱之謂濟曼作用 (Zeeman effect)。著名的道波勒作用 (Doppler effect) 對

於天文學的補益很大，道玻勒（Christian Doppler，一八〇三—一八五三）氏最初說明聲音中音調的高低，可因聲源移動的關係而起變化。聲源移動的速度，可以影響聲波的波長與頻率。一八四五年拍斯拍拉特（C. H. D. Buys-Ballot，一八一七—一八九〇）稱火車的笛聲，進站時高，出站時低，即引以為道玻勒原則的證實。道氏又謂：若宇宙間的星球，行向地球，則其所發之光波，將被縮短，反之則將被延長。故利用星球的光芒，便可以決定其對地球移動的方向與速率。行近的將發出紫光，而離開的必呈紅色。柏氏否認其說：他以為光波的縮短與延長，僅能使全部光譜向紫端或紅端移動，結果使一部份的可見光譜變為不可見，而原來處於正常狀態下的一部份不可見光譜（如紫外或紅外線），却反而顯現。但是光譜的移動並不能影響星光的色澤，所以我們所見的仍是白光。如何能偵察光譜的移動呢？這又要借重夫牢因和斐的黑線了；因為它們的位置固定不變，所以光譜的移動，可以與它們比較而測知。一八六八年赫金斯（Sir William Huggins）和一八七一年的邊吉爾（H. C. Vogel）利用精巧的儀器量得太陽的旋轉速率，道氏原理用於天文界中的收穫極大。前次有許多以為是渾然一體的恆星，現在却發覺是互相旋轉的雙星。土星的環也不是整的而實為內外二層，有着不同的旋轉速度（內圈內緣每秒十二哩半，外圈外緣每秒十哩）。有的恆星甚至於以每秒一五〇哩的速度，衝向太陽系，而太陽系本身也在以每秒十二哩的速度在宇

宙間移動。可以使我們安心的是：雖然在這樣的狂速之下進行，我們的地球要接近最近的一個恆星，也至少要七萬年呢！

產生光譜的方法，共有兩種：一種是所謂繞射柵格 (Diffraction grating) 的極纖細的格子，使光線在通過這些纖細的細縫之後，可以產生光譜。另一種就是普通所用的三稜鏡。前者為達累玻爾 (Draper) 與夫牢因和斐所採用。繞射柵格的理論，楊格氏時已具大綱；夫氏第一個於實驗中採用之，諾貝特 (F. A. Nobert) 繼之發展，有所改良。但諾氏自秘其法，不肯示人。其後羅斯福德 (L. M. Rutherford)、羅蘭德 (Henry A. Rowland)、羅竭斯 (W. A. Rogers)，等氏續有發明，其精巧遠駕乎諾氏之上。羅竭斯能於每公毫 (Millimeter) 中劃分四八〇〇格之多。而羅蘭德出品之優越，數年間竟無出其右者，他又曾攝製長約三十五呎之日光光譜圖。安格斯創姆 (Anders Jonas Angstrom, 一八四一—一八七四) 氏，自製的波長表，世間引為標準，流行很久。安氏以 10^{-8} 公分為其度量單位，故亦稱為安氏單位 (Angstrom unit)，今日所用之安氏單位，經一九〇七年改訂之後，定為於 15°C 溫度，760毫米氣壓之下鎳光譜中紅線波長之 $1/6438.4696$ 。

不可見光譜中的探討——赫姆兒於一八〇〇年以實驗證示日光的光譜，不僅為紅紫之間的一段可見色帶而已，而於紅紫二端之外尚有其他不可見的光譜存在。置溫度計於不同的色帶中，赫氏窺見各部所示的溫度不同，而以紅色以下之無色部份

爲最高。此種紅外線 (Infra-red rays) 赫氏以爲即日光中所含的大部份熱能。這些熱線與光線之輻射、反射、折射等等有同樣的性質。米龍尼 (Macedonio Melloni, 一七九八—一八五四) 廣泛研究的結果, 是輻射熱探討中的第二步進展, 他用新近發明的熱電堆 (Thermopile) 準確的驗量光譜中各部的輻射熱能 (Radiant heat)。實驗之後, 使他堅信輻射熱與光線, 實爲同類的物質。他說: 光不過是一種可見的熱線, 而反之, 輻射熱亦可爲一種不可見的光線。米龍尼更證示物質對於熱線之有透熱性 (Diathermancy), 如同對於光線之有透明性 (Transparency)。岩鹽 (Rock salt) 是可以透射各種熱線的物質, 而冰與玻璃, 雖能透射可見的光線, 却幾乎完全吸收一切的熱線。聽得爾 (John Tyndall, 一八二〇—一八九三) 就各種氣體的透熱性而實驗之, 知乾燥之空氣及其他各種簡單的氣體對於通過的熱線絲毫不加以阻礙, 而分子構造複雜的氣體則漸具吸收熱線的性能。例如有十五個原子的醚分子, 其吸收熱線的能力幾百倍於三個原子的二硫化碳分子。聽氏又稱吸收力強者, 其輻射力亦強, 故氨 (Ammonia) 能略具輻射的本領, 而氫、氧、氮等氣體則無之。關於色澤對於吸收熱線的影響, 富蘭克林氏獲不同顏料的布於雪地上, 而觀察各種布匹於日光曝曬下沉入雪中的深度。富氏由是斷定深色較淺色富於吸收熱線的性能。聽得耳以爲色澤並非決定某質吸收性的絕對因素。他嘗取兩隻精緻的溫度計。在一隻的球根上蒙以白簪, 另一隻

則染以黃霜(深色的)；然後把這兩隻溫度計，同置於一個煤氣火焰的附近；則見白蠟溫度計的溫度幾爲蠟溫度計者的二倍。這是因爲白蠟吸收熱線的本領遠勝於蠟的緣故。因此他說：人體上的衣服，其吸收與放射熱線的能力，並非像許多人想像的那樣完全取決於顏色的深淺。

輻射——輻射(Radiation)現在變成了一個普遍的問題，牠將光和熱連成爲一體，普利羅斯得(Piere Prevost, 一七五——一八三九)對於輻射有下面的一個普遍解說：那就是任何物體，均在時時刻刻的向四周鄰物放射熱量，同時亦在吸收鄰物所輻射的熱線。若彼此間的輻射熱量與吸收熱量相等，則各物體的溫度亦相等。此被稱爲互換定律(Theory of exchange)。克爾荷夫認爲每當輻射線與物體相值時，即有一部分射線穿越，一部份被反射，而其餘一部份被吸收。克氏定全黑體(Perfectly black body)爲一能完全吸收任何輻射線的物體。克爾荷夫定律(Kirchhoff's law)謂各物體對於同一波長之輻射線，在同一溫度之下，其放射本領(Emission power)，與吸收本領的比，輒相等。煤煙爲一近似全黑體的物體，但其性能並非完全適合理想。蘭格星(S.P.Langley, 一八三四——一九〇六)用比熱電堆更靈巧的熱電計(Bolometer)和繞射柵格所產生的日光光譜作實驗。結果，認爲日光光波中含熱最多的部份，並非在赫姆克所稱的紅外線，而是在橙色的色帶中。前此多以爲地球的氣層有吸收地球所發的紅外線，

而保持地面溫暖的作用，蘭氏在美國西部高山上試驗之後，證明前說為不確，但是大氣對於通過的日光確能有選擇性的吸收作用。本來是藍綠色的陽光，在通過地球氣層之後，其中大部份的藍綠彩色便消失而變為白光了。蘭氏又與維列(F. W. Very)合作，用熱電計測定月球面上的平均溫度，得知為在攝氏零度左右。

紫外線的研究，始於武拉斯吞、畢奧等氏。拍克勒(A. C. Becquerel)發現石英(quartz)對於紫外線具有特殊的透明性，雖然一片清潔的玻璃，其透明性却不及一塊深色的石英。各種輻射波自紫外線起，經過可見光波，與紅外熱線，而至無線電波止，其中最短的是0.0002毫米的紫外線，最長者為數千米的無線電波。在如許一大段差別之間，差不多每一種波長的存在都已經被確定了。你們想它們是多麼大的一個家族呀！

其他光學的發展——十九世紀中看見了彩色照相的成功。彩色照相，最初是借化學方法的，他的缺點是在底片一經曝露於光中之後，所有的彩色便都消失了。第二種方法是馬克斯維耳根據楊格的彩色理論所建議的，原則上包括紅、綠、紫三種色鏡所攝取的同一景像之底片三張，印出正片，然後在每張正片上面染其相對的彩色。再將三張正片重疊視之，則能見景像的自然彩色。第三種方法為利玻曼(G. Lippmann, 一八四六一—一九二一)根據光的干涉原則所發明。雖然方法最合理想，所產生的亦為純自然彩色，但是因為實際上手續的複雜，製造

超微粒底片的困難，而應用很少。

人類的眼睛本來被認為是最精巧的一對天然透鏡，經赫勒勒摩資 (H. Helmholtz) 實驗證明之後，始知其不然。其缺點之多，使赫氏表示如任何一位鏡匠要賣給他這樣一件儀器的話，他一定會責罵這位製者的極端不小心，而將原物退回。赫氏發覺眼睛之所以能遠近如意觀看，是由於眼中的一種肌肉，能司變更眼中透鏡之職，在看近物時則增加透鏡的凸度，而於瞭望遠處時，又能使之逐漸趨於平坦。

第三節 熱學

運動學說的抬頭——羅安福伯爵 (Benjamin Thompson, Count Rumford, 一七五三一—一八一四) 是美國人，幼時就深喜研究，曾經由某鎮步行到哈佛大學以聆靈托勒拍 (John Winthrop) 教授的物理演講。他在真空中使二金屬板摩擦生熱，融化它們面上的蠟層。又取二冰塊在冰點下摩擦，使之融化成水。楊格也曾就羅安福的實驗來駁斥卡路里學說，大衛以為摩擦能使物體中的分子振動，而這種振動就是熱；但那時卡路里學說已經深印人心，所以要推翻它亦非易事。這幾位先進學者的理論，不過是促進動力學說 (Dynamic theory) 的開始研究罷了。

準確溫度計的發展——佛勞格哥 (Flaugergues) 於一八二二年發現水銀溫度計中零點的變更。這是因為玻璃受過高溫之

後，不能即時恢復到原來的體積的緣故。焦耳(Joule)氏曾經觀察過某溫度計三十年間零點的變遷。其記錄概要如次：一八四四年四月， 0°F ；一八四六年二月 0.42°F ；一八五六年四月 0.73°F ；一八七三年正月 0.94°F ；一八八二年十二月 1.02°F 。耶拿(Jena)地方的兩位科學家製造出單含鈉或鉀的玻璃，謂其零點的變遷最少。鉑溫度計(Platinum thermometer)亦逐漸被採用為準確的實驗儀器，因為它的作用原理，全靠鉑絲電阻隨溫度而起的變化；這兩者間的關係，幾乎是固定的。十八世紀中溫標的紊亂已見前篇。水銀一向是被認為優良的溫度計用液體，因為它有着均一的膨脹性，可以按等溫度的上升，作等量的膨脹。但是若將它加以仔細的檢查，就可以看出這句話的矛盾。因為溫標根本是用水銀一類的物質製定的，所以水銀當然會隨溫度的上升而作均一的膨脹。反之，若是當初我們取另外一種具有不規則性膨脹率來製溫度計液體，而將溫標按它的膨脹率規定，則水銀比較起來反而是不規則性膨脹的物質了。克爾文氏有見於此，乃於一八四八年創立絕對熱力溫標(Absolute thermodynamic scale)，這溫標不依任何特別物質為標準，是我們現在所用的最標準溫度標。

熱力學(Thermodynamics)的開端——熱動力學創始的功勞，當歸於薩迪氏(Nicolas Léonard Sadi Carnot, 一七九六—一八三二)。他從理論方面着手於汽機效率的研究，發明所謂循環動作(Cyclic operation)之機器的最高可能效率。著

名的嗎爾諾循環 (Carnot cycle)，到現在還在熱動力學中佔着很重要的位置呢。克爾文與克勞夏士 (Rudolph Clausius，一八二二—一八八八)二人都在一八五〇年前後，發表熱動力學的第二定律 (Second law of thermodynamics) 即熱如不藉外界的工作，不能從一個較冷的物體，達到一個較熱的物體中。蘭克因 (William John M. Rankine) 也是一位熱心於熱力學發展的科學家。他所發明的蒸汽循環動作，是比較嗎爾諾循環更適於實際的式子，雖然在效率上較遜，但是在工程界上很重要，通稱之為蘭克因循環 (Rankine's cycle)。克爾文於一八五二年發表所謂「能之散逸」的定律 (Law of dissipation of energy)，大意謂宇宙間的能力雖然不變，但是，有逐漸使各處的温度全歸於同一水平的趨勢。當達到此種狀態時，熱能即不能再被利用以產生有用的工作。於是天地間所貯存的浩瀚無涯的能，便不能復歸有用了。克勞夏士稱這最後的時期為熱之死滅 (Wärme tod)。

熱動力學的第一定律 (First law of thermodynamics)，不過是能力不滅定律應用於熱方面的特別情形而已。能力不滅定律可以說是十九世紀物理界中最偉大最普遍的原則，提倡者有梅耶爾 (R. Mayer，一八一四—一八七八)。他本是一位醫生，因見熱帶病人的血液，較在溫帶者為鮮紅，而引起研究熱學的興趣。他也算出通熱功當量 (Mechanical equivalent of heat)，惜未為世人所注意。焦耳 (James Prescott Joule) 本是一位

釀酒者，早年就對電磁學很感興趣。曾研究力、化、電三者效力的關係，而有熱功當量的發見。他測驗功當量約四十年之久。熱功當量就是每產生一單位(卡)熱量所需要的工作。焦氏之測定為每 772.692 (後來又得 772.55) 呎磅的工作可以提高一磅水的溫度一度(華氏)。赫勒摩資(Hermann Helmholtz, 一八二一——一八九四)是一位具有極高深智慧的學者，一八四七年赫氏不過是二十六歲的青年，但是已經能將他的能量不滅(Weber die Erhaltung der Kraft)一文宣讀於柏林物理學會。他和焦耳一樣，最初僅能引起人們的懷疑，但是後來這偉大的原理終於漸漸為人所認識，所信仰了。

氣體的液化和其他——法拉第是第一位開始正式研究液化氣體的人。他取一隻兩端密封的彎玻璃管，在長臂中置可以產生所需要氣體的化合物，在短臂的四周圍以冰凝混合劑(Freezing mixture)，然後以火徐徐加熱於長臂中的化合物使產生該氣體，氣體進至短臂後即遇寒冷卻；如此，管中的壓力逐漸增加，至適當程度之後，即有液化的氣體在短臂端凝現。法拉第用這方法液化了 H_2S , SO_2 , C_2N_2 , NH_3 , Cl_2 等氣體。當時因為氧，氫等氣體，無論加怎樣大的壓力，却不能使他們液化，於是稱之為永久氣體 (Permanent gases)。不久，克尼亞達拉圖 (Charles Cagniard Latour)，和安特羅士 (Thomas Andrews) 有了新的發見；他們看見密封在管中的醚或液體碳酸，在某一定溫度之下，液面逐漸消失，於是管中所盛的成爲

一種非液體非氣體的流質。釐姆賽氏 (W. Ramsay) 認為在這種情形之下，液體因熱而膨脹，氣體則因液體不斷的蒸發而被壓縮，兩者的比重漸趨於一致，於是乃融合而為一種物質。每一種氣體都有這樣的一個相對溫度，稱為臨界溫度 (Critical temperature)，一八六九年安特羅士以為永久氣體之不能液化，不過是因為未能達到他們的臨界溫度罷了；因為實驗上已經證明任何氣體在臨界溫度以上，無論加如何大的壓力，均不能使之液化。

傅立葉 (Joseph Fourier, 一七六八—一八三〇) 應用算學之理，研究熱在固體中的傳導，於一八二二年成熟的分析論 (La Théorie Analytique de la Chaleur) 一書，非特在理論物理學上開一新途徑，即在實驗方面，亦受極大的良好影響。十九世紀的初葉，查理 (J. A. C. Charles) 和給呂薩克 (J. L. Gay-Lussac) 各自單獨的研究氣體之個性，得一共同的結論為：「任何氣體每上升等級之溫度，必作等量之膨脹」，後世稱之為查理或給呂薩克定律。

第四節 電學磁學

電解 (Electrolysis)，電池的發展——十九世紀中電學發展之神速，實可當電的時代 (Age of electricity) 之稱而無愧。一八〇〇年尼科爾遜 (W. Nicholson) 與卡來斯 (A. Carlisle) 開始用低壓電流分解水為氫、氧二氣體，繼之發現酸、鹼、鹽

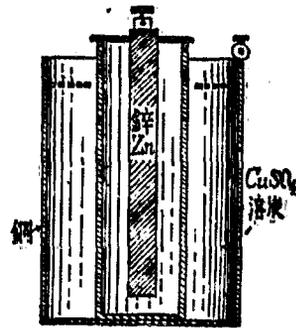
等鹽溶液，亦均能呈電解作用。格羅脫司 (Ch. J. D. Von Grothuss, 一七八五—一八二二) 謂水當電解時，負極自其鄰近的一水分子，吸引其氫原子，而使之變成氫氣放出；該分子則奪取其他水分子中的氫而復成爲一水分子，如此進行到正極，其最末一分子的氧遂被正極所吸引而變成氧氣放出。克勞夏斯以爲分子的各原子間必有一相當的聯繫力量存在，故若誠如格氏所言，則弱小的電流，其力量不足以分裂分子中的各原子者，必不能產生電解作用。但實際上任何微弱的電壓均足以產生電解；於是克氏假設凡屬能受電解的液體，其中必時時有游離的帶電微粒存在，稱曰游子 (Ion)。譬如食鹽水中即含有帶正電的鈉游子與帶負電的氯游子，他們在溶液中並爲緊密的聯合成爲一分子。這種作用在化學上叫做分解 (Dissociation)。分解作用足以補充上述格氏理論之不足，因爲溶液中即已先有游子存在，極小的電壓便亦能立刻引起電解作用了。大衛 (Sir Humphry Davy, 一七七八—一八二九) 氏是電解發展史中的一位早期工作者，他證示水被電解時所發生的氫氣體積二倍於氧氣的體積；並且從鈉和鉀的鹼性溶液中，以電解方法第一次分離出純鈉和純鉀元素，這是在一八〇七年。後來法拉第又發表其著名的電解定律 (Faraday's laws of electrolysis) 即：(一) 金屬或氣體因電解而沉澱或分離的質量，與所通過的電量成正比例。(二) 同一電量所分解的各種游子之質量相當於各該元素的化學當量 (Chemical equivalent)。從此以

後，化學得到電的智識的幫助，進展更速了。

十八世紀時，伏特氏的接觸學說(Contact theory)，並沒有得到科學家的公認。許多人，如德國的立忒(J. W. Ritter)，英國的武拉斯吞(Wollaston)，法拉第等，却以化學作用為電動力(Electromotive force)的真正來源。伏特電堆與電杯所產



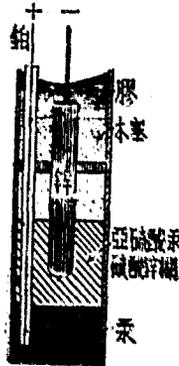
(一) 拉克蘭錫電池



(二) 丹尼爾電池



(三) 格魯夫電池



(四) 克拉克電池

圖十四 各種電池

生的電流亦不能使科學家們滿意，因為電流在短時間內便變得衰弱了。這叫做極化作用 (Polarization)。電學家們孜孜不倦的研究，企圖改善這種弊病；於是源源而出的有：丹尼爾電池 (Daniell cell)，格魯夫電池 (Grove cell)，本生電池 (Bunsen cell) 以及 拉克蘭錫電池 (Leclanche cell)，克拉克電池 (Clark cell) 等 (圖十四)；其中除格魯夫電池，因為使用鉛極而太昂貴之外，餘如丹、拉兩電池仍多為實驗室中所沿用；克拉克電池的電動力最不易變化，所以被選為國際電動力度量的標準。諾恩斯特 (Walter Nernst) 解釋電池作用說：各種金屬在電解溶液中皆有一種溶化的趨勢，這種溶化的壓力 (Solution pressure) 被在液中該金屬游子的滲透壓力 (Osmotic pressure) 所抵抗；若二壓力不相等，則必有游子由金屬進入溶液，或由溶液進入金屬之中以平衡之；前者能使金屬帶負電，金屬周圍的一薄層液體帶正電 (因金屬游子皆帶正電)；後者則向反。又因不同金屬於溶液中之此種溶化趨勢不等，故有電位差 (Potential difference) 產生，此時若再將外面電路 (External circuit) 聯通，便有電流通過。

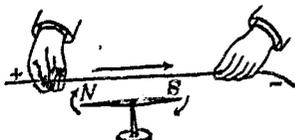
蓄電池 (Accumulator) 的工作原理，恰與電池相反。一八〇三年，立武以鉛絲電解水，於兩極之處產生氫氧二氣，嗣後，他將鉛極與電池分離，復以導線聯接兩極，便見於短時間內有與原來方向相反的電流通過。玻蘭特 (Plante) 於一八五九年以鉛板置於硫酸液中，經數次充電之後，可以產生較電池為

高的電壓。佛勒(Faure)氏於一八八一年加以改良，以紅鉛塗鉛板上，可以節省灌電的次數。從此以後，蓄電池才在商用上佔據一個重要的位置。

歐姆的工作與量電儀器的發展——歐姆(G. S. Ohm, 一七八九—一八五四)是一位聰穎的研究者。他雖然與當代的大科學家們缺乏接觸，但却能單獨的發現了電學中一個最重要的定律——歐姆定律。當他三十歲在科隆(Cologne)教物理和數學的時候，便已經開始實驗比較各種金屬的導電性了。他發見銀的導電性最強，銅第二。又取不同長短粗細的銅絲來比較它們的導電性，而推得一個經驗公式(Empirical formula)如下：
$$X = \frac{a}{b+x}$$
其中 X 是扭轉計的度數，代表電流之強弱，a 是一個常數，隨電動力而變，故可代表電動力或電位差，b 也是一個常數，b+x 則可以當為電流中的總電阻。

惠特斯通(Wheatstone, 一八〇二—一八七五)鑒於更準確的電阻測量之必要，遂發明惠特斯通電橋(Wheatstone Bridge)。他還發明了變阻器(Rheostat)，但是這却被後來西門(H. Siemens)氏所發明的電阻箱所取代了。電流計(Galvanometer)的發明始於一八二〇年斯克威格爾(Schweigger)的電流計，繼之又有正弦(Sine galvanometer)與正切(Tangent galvanometer)等電流計出現。達森遜(D'Arsonval galvanometer)的電流計很受當時歡迎。一八九〇年博曼斯(C. V. Boys)又發明以石英纖維代替絲線的懸掛(Suspension)而得更精確之儀器。

磁與電的聯繫——前一世紀，已有許多人懷疑電、磁之間是否存在着某種聯繫的關係。到一八一九年厄斯忒德(H. C. Oersted, 一七七七—一八五一)，倡以磁針接近與之平行的電線，而發見針起轉動，有與電線成直角的趨勢，才正式證明了電與磁間實有密切的關係。厄氏最初曾經屢次以磁針橫置電線附近，而不見任何效果。某一次課後，他說：「趁電池尚在工作之際，我們姑且試以磁針順電線的方向接近它，看看如何」。於是在他



圖十五 厄氏實驗

們驚奇的眼光之下，磁針轉動了(圖十五)。雖然有許多人說他的發現是意外的，但是像拉格朗奇(Lagrange)所說：「意外的發現，只有本分應得的人，才能夠得到」。我們決不應因此而輕視他人的成就，或自己也存了微倖的心理。阿刺哥(D. F. J. Arago)知道普通的鋼針置於電流附近，可以變成爲磁針；又發見鐵屑能爲電流所吸引；所以說載電之線，雖非鐵質，亦當視若磁石。安培(A. M. Ampere, 一七七五—一八三六)氏探討磁力作用，以銅線捲繞成螺旋形，置磁針於其中，而發見磁針所受的磁力較普通用直電線時大爲增加。他又發現：「兩銅線平行，電流同向通過則相吸，逆向通過則相拒」的定律。奠定了動電學(Electro-dynamics)的基礎。或有人批評他說：既然已經知道兩股電流同能作用於一個磁針之上，則兩電流自應發生彼此間的吸拒作用，故安培氏可謂之爲新發現。阿刺哥聞後，

便從衣袋中取出兩隻鑰匙來答道：「這裏每一隻鑰匙均能為磁石所吸引，但是我們是否便相信它們能夠彼此互相吸引呢？」安培氏企圖以電氣作用解釋磁力現象。他說：磁石中每一微粒都有一股赤道電流 (Equatorial current) 產生南北二極。他又主倡地中亦有電流為地磁的成因。

法拉第 (Michael Faraday, 一七九一——一八六七) 是十九世紀中數一數二的偉大電磁學家。他是鐵匠的兒子，一八二一年的聖誕早晨，法拉第造成磁石繞電流旋轉的現象 (圖十六) 給他妻子看。一八二四年他便預料磁力亦必能產生電氣現象；但於數年之間，若不能以實驗證明，直到一八三一年，他才發現了兩個線圈捲繞軟鐵環上。能產生的感應電流 (Induced current) 如圖十七。法氏以A圈與電池相聯接，B圈的兩端分與電流計相通，然後觀察，則見每當A圈的電路接通或分離之際，電流計的指針便起振動，證明B圈中有暫時間的電流通過。最初，他尚不能完全明瞭這種現象的原理，後來又作了許多類似的實驗 (如用磁石往復在一捲線圈中插進，拔出，則亦能產生感應的電流；電流計每於磁石驟然移動之際，指針即起一個衝動)，才漸漸的領悟這作用是由於磁力感應而發生的。但是他還不知道為何這種電流僅能存在於極短的時間；他的記載上說：「這實在是像來順瓶放電時的一瞬

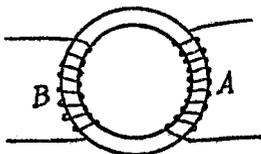


圖十六 磁石下端被線繫住，上端能繞通過電流之線旋轉。容器中盛汞，使電流能從底端的線通至上端。

間脈動電流，而不像電池中所供給的連續電流」。法拉第又製造出一具電磁機器，開後世電機發明之濫觴。法氏以爲電的吸引和排斥，全賴絕緣媒質內各連續質點間的分子運動而前進，所以電力的傳播亦須依賴某種媒介物質；法氏稱之爲介電體 (Dielectric)。他又說：靜電的感應實起於連續質點的作用，沿曲線而進行；這種曲線，他命爲力線 (Lines of force)。又因爲兩荷電體間的電力強度，視其中間絕緣介質的性質而異，於是認爲各介電體均有不同的比感應容量 (Specific inductive capacity)，而企圖以實驗測量之。

美國自富蘭克林以後的第二位大電學家，當推約瑟夫亨利氏 (Joseph Henry, 一七九九—一八七八)。亨利最初研究電磁鐵的構造，將斯忒準 (Sturgeon) 所發明的馬蹄形電磁鐵，加以改良；中間的鐵心不髹漆，而以絲包銅線使之絕緣，並且增繞銅線的圈數，(亨利的第一隻電磁鐵四百圈，斯氏的只有十八圈)，於是磁鐵的吸引力大增。嗣後，他又試驗用數個串聯的電池連於一長線圈上，或用一個強力的電池而將它分連於數個小線圈上，結果發現後種裝置比較適用於長途之服務，如電報機之類。一八二九年，他於試驗電磁鐵之際，見某一長線圈中斷時，有電火花躍過，於是加以研究，而於一八三〇年發現所謂電的自感應現象 (Self inductance)。自感應現象，法拉第於一八三五年亦曾發表過，但是發現的優先權，則應屬於美人亨利。自感應現象就是每當含有線圈的電路迅速的

被接通或分離的時候，在原電路中能產生另外一股電流，其強度足以使斷續之處有電火花躍過。這股電流的方向，在接通時，與正常電流相逆；分離時則與原有電流相同。亨利之發現磁力能感應而生電，雖早於法拉第，但是他的發表則較遲，所以發現的優先權仍屬於法氏。亨利又證明法拉第實驗中，(圖十七)B 圈的瞬時電流仍可以使之通過另一軟鐵環上的 A 線圈，而激發該環上 B 圈的電振動。一八四二年，他發現來頓瓶的放電並非單方向的直流，而實是數個急快的往復振蕩所組成，其強度逐漸減少而趨於零。



法拉第的軟鐵環，可以算是世界上第一隻變壓器 (Transformer) (圖十七)。佩奇 (C. G. Page) 和 羅姆考夫 (H. D. Ruhmkorff) 用細銅絲緊密的繞於幾捲粗銅絲之外圍，然後以機械方法使粗銅圈與電池間的電路迅速不斷的開關，則於細銅圈——二次圈 (Secondary coil) 中，產生電壓極高的交流電，可供空氣中躍過數吋長電火花之用。這便是當時所盛稱的羅姆考夫感應圈 (Ruhmkorff coil)。羅氏電圈的中間磁力介質是空氣，而現在所通用的變壓器則多採用法拉第軟鐵環一般的裝置；中間的鐵心，可以增強磁力作用，而提高工作效率。法拉第與亨利均出於單純的科學好奇心而發掘真理；後世利用之，演變為工業利器，不但直接有益於利用厚生，而且間接的促進了科學文明

圖十七 變壓器原理

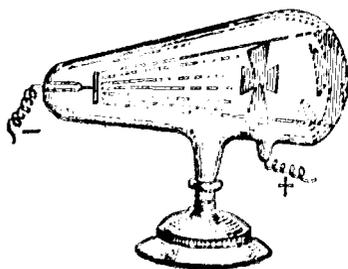
的發展。

光和電的關係——法拉第始終以爲光、電、磁三者之間必有密切的關係，一八四五年他使一束平面偏光波通過強磁極間的一片重玻璃 (Heavy glass)，〔註：光波經過偏光作用，可以隔絕某特殊平面以外的其他平面光波。此被濾出的特殊平面光，稱爲平面偏光 (Plane-polarized light)〕而發現射出光波之振動平面爲磁力所扭轉，與射入光波之振動平面不同；繼又發見除重玻璃外，固體、液體、酸、鹼、油、水、酒精、醚等亦均能產生同樣的效果。法氏又利用強磁極與重玻璃，證明了任何物質，無論固體與液體，均能爲充分強力的磁鐵所吸引或斥拒。繼法拉第而研究光、電的關係的，有馬克斯維耳 (J. C. Maxwell) 氏。馬克斯維耳是一位有天才的數理學家；他將法氏介電體的觀念，略加更改，比喻它爲一種彈性的固體。當電荷存在於電極或電報上的時候，其中間的絕緣介電質作用如一塊被壓縮的橡皮；待電荷一經解除之後，便立刻又彈回原狀。若極板上的電荷，驟然增加或消滅，則介電體中將產生週期性的電變位 (Periodic electric displacement)，宛如一條彈動的彈簧；這種電波的速度，他計算出幾乎與光速相等。馬氏因此認爲光、電、磁皆屬同類，且皆出於同一「以太」的來源；光波、電波、磁波同爲以太中的振動，此即稱爲光的電磁學說 (Electro-magnetic theory of light)。馬氏的學說完全根據於數學計算的結果，甚少事實上之證明，故若無赫芝顯

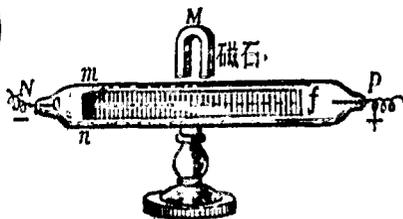
明的實驗爲其後盾，亦難得科學界之公認。赫芝(H. R. Hertz)發明某種方法，可以偵察萊頓瓶放電時所造成的電磁波(Electro-magnetic waves)。此波含有電波(Electric wave)，與磁波(Magnetic wave)兩種。赫芝藉一張錫片反射器，使電磁波被反射之後與原波發生消長作用，而產生若干個波節與波腹；波節處作用相消，波腹處作用相助。然後他又用一個非常簡單的儀器來偵察這些波節與波腹的地位。他的檢波器(Detector)是一隻圓形的環，兩端呈圓球形，兩球的中間分開一條極小的空隙。它的作用是每當有一個波浪投入環中時，兩球之間便能於適當環境下產生一個微小的電火花。赫芝利用這種簡單的檢波方法，證明電磁波可以被他物體所反射、折射、繞射和偏化等，與光波有種種相同的作用。赫芝是一位早成的學者，三十二歲時已居物理界中之重要地位，但是不久因患慢性的血毒症(Blood poisoning)而中年逝世，使世界上失去了一位天才的實驗家。繼赫氏而起的研究者，又發明了許多新而精確的檢波器，利用它們，物理家終於將電、磁、光和輻射聯貫融合，成功一個繁複的大家族。

陰極射線(Cathode Ray)與X光(X-Ray)——十九世紀中葉之後，真空放電的研究，極爲盛行。蓋斯勒(H. Geissler，一八一四—一八七九)氏抽出玻璃管中大部份的空氣，然後通以電流，便得美麗的光輝；在陰極的近圍是一段黑暗的部分，其次爲一段微光地帶稱爲陰光(Negative glow)，再次又有暗

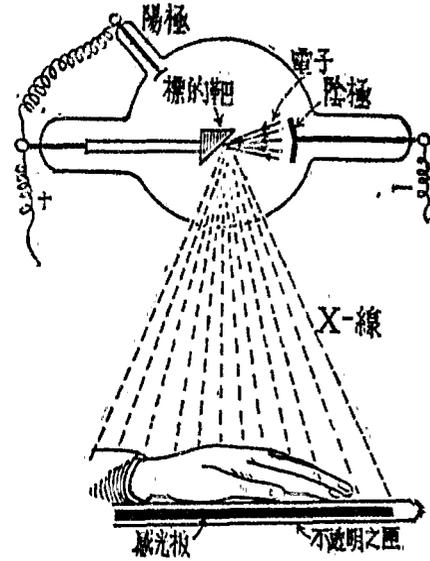
部，暗部之後又爲光部——稱爲陽光(Positive glow)。玻拉克耳(Plücker)名這類光管爲蓋斯勒管(Geissler tubes)。一八六九年喜托夫(W. Hittorf)發現管內的空氣抽出愈多，則陰極周圍的黑暗部份越廣，至最後乃充斥全管；此時陰極對面的玻璃壁，因遭受陰極射線的射擊而發出顯著的螢光(Fluorescence)。克魯克斯(W. Crookes)以爲在他的高度真空管中，陰極附近的剩餘氣體分子能以高速度射出，飛越管中。沿途遭受極少其他分子的阻礙。他並且以實驗證明，這種射質(Radiant matter)是沿直線進行的，中間若置有物質便生陰影(圖十八)；薄片風車亦能被它推動；而若經過磁場，則其射線便被彎曲(圖十九)。總之克氏管中剩餘氣體的性質，與普通氣體完全不同，故克氏稱它爲氣外體(Ultra gaseous state)或第四體(Fourth state)以表示其與固、液、氣三體均不相同之意。我們現在知道這種射質就是電子(Electron)。電子的重量不過是氫原子的一八四〇分之一。勒那特(P. Leonard)



圖十八 陰極射線所映之影



圖十九 陰極射線之彎曲



圖二十 手的 X 射線攝影

圖二十一 X 射線之攝影裝置

在極對面的管壁上挖一空洞，而嵌以鉛片小窗，結果射線仍能通過它而入空氣中，且不失其感應螢光的特性。勒氏以為這種射線並非飛翔的質點，而是一種以太中的振動現象。一八九五年，羅琴(W. K. Röntgen, 一八四五—一九二三)發現了一種名震全球的新射線，那就是他所命名為 X 的射線。那時對於這種射線的特殊性質尚不大明瞭，故稱之為 X。當克魯克斯管工作之際，即有 X 射線產生，能使氯化鉍銀(Barium platino-cyanide)起感應而發螢光，且能透射尋常光線所不能透射的紙，鉛等物質。(註：陰極射線雖亦有類似之性質，但是純

圍極狹，僅及管的近圍，X光則如普通的光線，雖離管極遠亦能感覺之。) X光能透射動物的肌肉組織，但不能通過其骨骼(圖二十，二十一)，所以近世醫學常用X光攝取人體內部的構造，以便檢察平常所不易見的病源。一八九六年柏克勒(H. Becquerel, 一八五二—一九〇八)發見鈾化合物(Uranium compounds)，於經日光曝曬之後，亦能發出一種射線透過鋁片，但不似X光之無折射與偏化作用。後人名之為柏克勒射線(Becquerel rays)。一八九八年居禮(Skłodowska Curie)與斯克特(G. C. Schmidt)發見釷(Thorium)，及釷化合物，亦能放射某種光線，似與X光及柏氏射線同類，但此射線則無偏化而有折射作用。

熱電學(Thermo-electricity)——熱電現象是在一八二一年塞柏克(T. J. Seebeck, 一七八〇—一八三一)氏所發現的。他於研究電流的磁性時，將銅、銻(Bismuth)二線之一銜接點(Junction)握於手中，見有微弱的電流產生，遂加以仔細的研究，始知其起因，係由於兩金屬線之銜接點，處於不同溫度之故。他又取不同的金屬來實驗，而知其作用之強弱，隨各種金屬不同之組合而異；且兩銜接點間的溫差愈大，則現象愈著。塞氏稱這種電流為熱磁流(Thermo-magnetic currents)。他極端反對「熱電流」的名稱。十三年之後，柏勒諦爾(J. C. A. Peltier)又發現塞柏克氏之逆作用，即以電流通過兩銜接之不同金屬時，亦能發生冷與熱的現象。林慈(Lenz)氏嘗利用

柏勒諾爾的作用，而使冷水結冰。

電機、電燈、電報與電話——電機經西門斯 (Siemens)、柏辛諾諦 (A. Pacinotti)，格拉馬 (Z. T. Gramme) 等改良之後，應用日廣。一八二六年，西門斯製就自激發式之發電機 (Self-excited generator)；可以不藉外界電流，而以自生電流之一部，供產生磁場的需要。當時的電樞 (Armature) 有鼓形電樞 (Drum armature) 與柏、格爾氏所發明的環形電樞 (Ring armature) 兩種。

電燈的發展，當以弧光燈 (Arc lamp) 爲最早，大衛與立忒在一八八〇年都已採用牠。但是弧光燈的光度太強，不適於普通的應用，於是產生白熾光 (Incandescent light) 的思想遂應時而生。最初試用的燈絲是鎢與鉍，但是愛迪生 (T. A. Edison) 發現牠們却不能長期的抵抗高溫而不融化。在此同一時期中，恰有其他實驗發現，即抽出燈中的空氣，而以氮氣充入，可以延長燈絲燃燒的壽命。一八八〇年史文 (J. W. Swan) 將浸過硫酸之棉線碳化 (Carbonize)，製成燈絲，結果相當美滿。愛迪生亦派人至亞洲與南美去探訪適當之纖維質，而於同年以碳化之竹片製成燈絲。今日的電燈中則多採用鎢、鎢 (Molybdenum) 的合金，抽細成絲。一九三七年間，且有捲圈形的燈絲發明，據說可以將亮度提高百分之二十。

電動機 (俗稱馬達 Motor) 之應用，始於一八七三年的維也納展覽會中 (Vienna Exhibition)。第一只感應電動機

(Induction motor)，是於一八七九年由貝利 (W. Bailey) 介紹給倫敦皇家學會的。但是在那時還不過當牠是一種玩具而已，直至一八九一年，佛蘭克堡展覽會 (Frankford Exposition) 中，都波羅斯蓋 (D. Dobrowolsky) 的感應電動機顯示了驚人的優良性能之後，才逐漸在歐、美得到了廣大的應用。

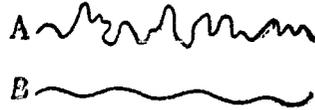
遠在一八二一年，安培氏已有利用電磁機件傳達訊號的建議。一八三三年，高士與威伯接通了一條九千呎長的粗陋電報線。摩斯 (S. F. B. Morse，一七九一——一八七二) 是美國電報業的創始人；他發明了一直到現在還沿用着的摩斯電碼 (Morse Code)，並且擔任設計在美國裝了從華盛頓到巴爾提摩爾 (Baltimore) 的第一根電報線。

電話的實驗，傳說是始於一八六一年，德國一位名叫雷斯 (C. P. Ries) 教授。但是他既無錢，又無名；悄然於一八七四年逝世。一八七六年，聶耳 (A. G. Bell，一八四七——一九二二) 又獨立的發明此傳話器具。他所採取製造聽筒的 (Receiver) 原理，至今還沿用未變。他的話筒 (Transmitter)，則經愛迪生改良，以碳粒代替金屬片之後，效率大增。惠斯 (D. E. Hughs) 亦在同時發明微音器 (Microphone)；可以使極小的低聲囁語，從聶耳電話機中放出驚人的響聲來。

第五節 聲學

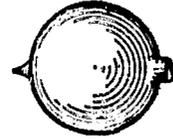
十八世紀中研究聲學者，大抵爲音樂家與算學家，到了十九世紀，才正式的成爲物理學中之一分科。被譽爲聲學之父（Father of acoustics）的克拉德泥（E. F. F. Chladni，一七五六—一八二七）曾作過許多聲的振動試驗。他取細沙鋪於一金屬平板上，然後一手執住一邊中點，一手以弓（Bow）切對緣而拉動；如是則見板上之沙跳動不已，終乃全數聚集於各波的節線（Nodal lines）上，構成一副整齊的圖案，稱爲「克拉德泥圖」（Chladni's figures）。他又發現線或桿的縱振動（Longitudinal vibrations）；並且利用之測定聲音在固體中的速度。薩發脫（F. Savart，一七九一—一八四一）表示聲波在水中進行，與在固體中無異，又藉測音器察知人耳可聞的最高音頻率約爲每秒24,000—48,000次，最低音爲每秒頻率14—18次。赫爾摩茲（Helmholtz）以爲樂音（Musical tones）與噪音（Noise）的主要區別，在於前者爲空氣中一種有規則的週期波動（Periodical vibration），而後者則爲一種不規則性的擾動（圖二十二）。他又謂：樂音包括音調（Pitch），音色（Quality），與強度（Intensity）三種性質。其中音色要靠基音以外諸泛音的強度與多寡而定，音色可以使我們辨別出從不同樂器中所發出的強弱與音調相同的樂音來。赫氏所設計的球形共鳴器（Spherical resonators），每只祇能與某一定音調發生共鳴。於是取許多這種的共鳴器依次置於耳邊測聽，便能於樂器奏拉之際，將其中的基音與泛音分析出來。赫氏曾試以音叉多隻按照檢出的音調

與強度合奏，而發出酷肖原聲的英文母音(Vowel)出來。他又從實驗而知：若兩音調間的拍節，多於每秒六次，則合奏時必不悅耳。苟多於三十三次，則刺耳極



圖二十二 表示音之曲線
(A)噪音(B)樂音

甚。但若增加至一百三十二次以外，則合奏時又覺其諧和悅耳。此乃人耳喜聆頻率成簡單比率之音調合奏的一種自然現象。如鋼琴中各鍵譜的關係即為如此。一八五九年康尼



圖二十三 赫爾
摩亥共振器

(R. König)發明壓力火焰(Manometric flame)；一八七七年愛迪生又製出聲波顯示器(Phonograph)，於是聲波的形狀。可以直地觀察和記錄了。

第二章 二十世紀—希望的世紀

—的物理學

二十世紀開始以來到現在，誠可謂物理史上的一個新基本時代 (Age of fundamentalism)。於此短短數十年之中，一切基本的物理化學原則，如原子論，能量不滅定律等，都被翻出來從新檢討過。近代物理學的新進展頗多，但是理論多極深奧。茲為適合讀者興趣起見，謹擇其拳拳大者，簡述其原理與發展過程於下。

第一節 放射性(Radioactivity)

放射元素的發現——柏克勒氏射線的發現，已如前述。牠不但能使照相乾片感光，而且能令周圍的氣體變成導電質。柏氏後來又稱：即置於暗處之鈾鹽，數月後亦不稍減其放射的功效。與柏氏同時，而以終身致力於放射性的研究者，有瑪麗·斯克羅多斯加 (Marie Sklodowska, 一八六七—一九三四) 氏，即後來的居里夫人 (Mme. Curie)。夫人從幼時一直到成年，多半是渡着極困苦的生活。她十七歲時出去作人家的保姆，同時於夜間自己修補功課。一八九一年，她到巴黎去與她姊姊同居，一方面工作，一方面讀書，直至四年漢科大學修滿之後，連續以第一、第二等級取得物理與數學的學位。不久，

她與居里先生 (P. Curie, 一八五九—一九〇六) 在同一實驗室中工作，因為彼此意志相投，乃於一八九五年舉行婚禮。他們婚後，仍繼續不斷的研究工作，至一八九七年，夫人於完成其鋼鐵之磁性調查之後，對於柏克勒射線頗生興趣，遂亦着手實驗。她發見瀝青礮 (Pitchblende) 中所含的鈾與釷之量，不足以符其總放射性的強度，於是斷定其中必還有未知的物質存在。一八九八年，她與居里先生和柏勒蒙特 (G. Bémont) 三人合作的結果，於七月間發表一種新元素釷 (Polonium) 的發現。牠的取義是用以紀念夫人的祖國波蘭 (Poland)。

繼釷之發現後一年，他們又發表在瀝青礮中提出另一種元素的化合物來名叫鐳 (Radium)。但是要證明鐳之確實存在，他們還須要分離出鐳的純元素與測定牠的原子量 (Atomic weight) 等等；這些都尚要費數年的苦工。居里夫婦那時既無適當的實驗室，又缺乏一切經濟與原料。他們唯一的實驗所，是巴黎校旁一間不蔽風雨的棧棚；他們唯一的實驗原料是某工廠所拋棄的幾噸廢礮滓。但是這一對科學夫婦，不撓不屈，日以繼夜的工作，終於一九〇二年第一次提煉出一毫 (Decigram) 的氯化鐳；經光譜分析之後定其原子量為 225。一九〇三的諾貝爾獎金 (Nobel Prize) 便分贈與柏克勒，與居里夫婦三人。居里先生於一九〇六年被街車撞殺。夫人悲痛之餘，仍本其堅強的意志，探討的工作不稍懈。她第二次測定鐳之原子量為 226.2，於一九一〇年分離出純鐳的元素來。次年諾貝爾獎金

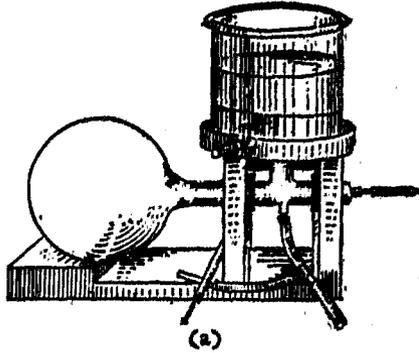
便又贈給她；這是科學界所能賜她的最高榮譽，因為在她以前，尚沒有一個人能連得兩次這種獎金的例子。鐳對於人體的生活細胞非常有害。居里夫人雖常嚴令她的同事非藉鉛匣的保護不得接近鐳質，但是她却過於疏忽。一九三四年，她患奇症而逝世，根據醫生們診斷的結果，知道殺她的還是鐳。在居里夫人發見鐳元素以後，科學家們又從瀝青礦中找出錒(Actinium)和鐳(Ionium)兩種新元素；並且製造出含鐳的鉍鹽，以代替昂貴的鐳來作種種放射實驗。

鐳的特性與科學家之煩惱——含鐳的鉍、溴鹽類，有一種特性，早就引起科學家們的注意。那就是牠們能連續不斷的放射，而自己本身却絲毫不受任何物理或化學的變化。最初，人們尚以為此種射線所含能量極少，不足以重視。到後來才知道牠們的能量極大；一毫的鐳，所放射的能，竟足以於一小時之內，使同重量的水從零度起熱至沸騰！據早期的觀察所知，這經常不斷的射線從未有削弱的象徵。牠能像阿拉丁的寶燈一般，將能量無窮盡的變出來，使素以能量為不生不滅的科學家們，感覺到異常的煩惱。他們對於這個問題，有幾種的答覆；其中居里夫人以為宇宙間充盈着許多貫透力極強的射線，牠們的能量只能為一般重原子的鐳、鈾、釷等所吸收，故只有重原子量的元素有放射性的特能。羅斯福特 (E. Rutherford)、索第 (F. Soddy) 等，主張原子崩裂的論調。他們連續在一九〇二，一九〇三兩年間，以實驗證明鐳原子之放射性，有改變其

原子內部構造之趨勢；且謂一切放射能，實皆由於原子的潛能轉變而來。於是一時搖搖欲墜的能量不滅定律，始得以轉危而復安。

鑷射線經科學家之測定(一九〇三年)共分三種：(一) α -射線(α -Ray)，為荷正電的氦原子核所組成(一九〇八年)，其貫透力甚小；一九〇四年，布勒哥(W. H. Bragg)發現鈾的 α -射線僅能透過38毫米厚之空氣。(二) β -射線(β -ray)，為與陰極射線相同之電子所組成，其透力較大。 α 與 β -射線同能為磁場所影響，但是屈折的程度不同，且方向相反。(三) γ -射線(γ -Ray)，為類似X-光的一種電磁波動，惟波長更短，貫透力極大，不受磁力的影響。威爾遜(C.T.R. Wilson)氏發明一種攝取射線蹤跡的方法(圖二十四)。他使 α -射線穿入一貯有飽和水氣的容器中。因為這種射線具極大的速率，所以凡與之接觸之原子，均有電子被他擊出。於是在其經過的地方，便有一串帶電的游子遺留。同時，容器中的空氣，若稍使膨脹，則溫度下降，而有一部份溼氣想欲凝結，遂利用這些帶電的游子為起點，結成微滴。此時，若從上面觀望之，則見一條極細的白線顯示於所預備的黑地上。這便是 α -質點的蹤跡。威氏實驗而得：凡屬 α -質點之蹤跡，均為直線，很少突然的屈折或變更其方向。 β -質點所留的痕跡，則與之相反，多成彎折的曲線。

一九〇〇年，羅斯福德發現：鈾能繼續不斷的發出一種溼



(b)

(c)

圖二十四 威爾遜求得射線蹤跡的方法

- (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 -質點經過空氣之蹤跡。圖示碰撞所成之叉形。

稀薄而富於放射性的氣體，嗣後又知鐳亦有同樣的性能，乃稱牠們為鈾或鐳的「射氣」(Thorium or radium emanations)。

這種射氣是否即是牠們金屬的蒸氣，或是一種放射性的氣體，抑或為特大的放射質點，一時不能確定。一九〇一年羅氏從鐳射氣與空氣的擴散(Diffusion)速率中，斷定鐳射氣並非鐳的汽體；因為重的鐳原子，必無如此活動交合之迅速。鐳射氣亦稱為氡(Radon)。羅、索二氏又發現鈾射氣的性質，頗與一般惰性氣體(Inert gases)相似。

原子的蛻變—鐳之家譜——羅斯福特於一九〇四年出版放射性 (Radioactivity) 一書內中，他認為原子的崩壞是鐳之放射性的主因。這是一種不可逆的作用。當一顆 α -質點由鐳原子中逃逸時，所餘留下的便是鐳 X (Radium X)。鐳 X 又再分解，射出一顆 α -質點，而成為鐳射氣。鐳射氣再度分解……，如此順序而下，直至最後遂變為鈾。一個鐳原子大約包含一個鈾原子與六顆 α -質點。我們有理由相信 α -質點至最後仍化為氦氣，所以鐳蛻變後之產品便是鈾與氦。羅姆賽 (W. Ramsay) 與索第於一九〇三年將溴化鐳的射氣閉置試管中。最初牠的光譜表示全無氦氣，靜置四日之後，氦線便明顯的出現，證明鐳射氣與氦間有傳統的關係。羅斯福特又追尋鐳的祖先，而發現為鐳的父母。鐳之上面有鈾。我們若以鈾為這族的第一代始祖，則順序而下有：鐳、鐳、鐳 X、氡、鐳 A、鐳 B、鐳 C、鐳 E、鐳 F、鐳 G 等。鐳 G 即是鈾，而鈾最後則化鉛。各種放射物的半衰期 (Half period of radioactive decay) 是由某量蛻變至該量半數的期間；其為時久暫不一。從鈾到鐳大約需

時十萬萬年。一顆磷原子的平均半壽亦不下於一千五百年。但是釷A、B、C、D、E、F等則都是極不穩定的物質，存在的時間由幾分至幾日不等。釷D（又稱放射性鉛 Radio lead）之半衰期較長，約在十六年左右。鈾之存在約為一四〇日，其後便化為鉛。但是並非每一個科學家都附和這原子蛻變的學說。鼎鼎大名的克爾文爵士，便是終其身為反對派的一份子。

第二節 熱學

量子論 (Quantum theory)——克爾荷夫氏對於「全黑體」所下之定義，已見前篇。據理論的指示，知道實現這理想黑體的最完善方法，莫如用抗熱材料（如鐵等，但若所需的溫度極高，則可用特製之瓷），作成一隻容器。器的內壁塗黑，且除留一小孔之外，四週完全密閉。然後加熱於器的外面，則輻射從器的內部經小孔而出，為最近於理想的黑體輻射 (Black body radiation)。一八九五—一九〇一年，勒摩爾 (O. Lummer)、波倫新姆 (E. Prinsheim)、克勒巴姆 (F. Kurlbaum) 三氏廣作黑體實驗，而察得相對於任何指定溫度之下，均有某一定波長的輻射，其所發出之能為最多。此輻射能最多的波長，則隨溫度之升高而逐漸縮短。譬如一枝發熱的火棒；牠雖然輻射着各種可見與不可見的光線，但其能量分配最多的部份則在紅外區域。再看一溫度極高的物體，如太陽 (6000°C)，則由光

譜測量中可知其輻射最強烈的部分，已經進入可見光譜中的橙色區域。設如有比太陽更熱的物體(如恆星)，則其大部份能量將逐漸移向藍、紫，而至紫外區域。魏安 (W. Wien, 一八六四—一九二八)氏以理論推得此「最佳」之波長 (Optional wave length) 應與其絕對溫度成反比例，稱為魏安定律 (Wien's law)。魏安定律雖與實驗的結果極相符合，但其理論方面，則乏可靠根據。一九〇〇年賴雷 (Lord Rayleigh, 一八四二—一九一九) 伯爵以為各種形式 (Mode) 的輻射均應接受平等之待遇，而其間的能量則應按均等之比率分配 (Doctrine of equal partition of energy)。然其計算的結果却與事實相反。(按照他的計算，則熱體之大部份熱量，應盡聚於光譜的紫色及紫外區域)。於是普郎克 (M. Planck, 一八五八—) 乃創一大膽的新假設得一公式與實驗相符合，即今日所盛稱之「量子學說」量子學說中的超然見解，是假設輻射能量不能被無限度的分割，而有某一定不可分的數量為其天然單位。譬如微塊的鉛，必含有一整數的鉛原子，我們不能有少於一原子的鉛。對於電，我們不能有小於一個電子的電荷；仿此，對於輻射，我們不能有小於一個天然單位的輻射能。輻射能的天然單位，我們稱為量子 (Quantum)。任何物體，無論其放出輻射，或吸收輻射，至少為一個量子，否則為量子的整數。總之我們所遇的輻射能是帶顆粒性的，不能無限分析的。但是量子與電子間，有一種主要的不同點，就是電子的電荷均相同，

天然的單位只有一個，而量子則有大有小。事實上，量子的大小與輻射的頻率成正比例。X光的量子比任何可見射線的量子大得多，而紅外射線的量子則極小。蒲氏的量子公式為： $q=hf$ ，其中 q 代表量子大小， f 代表頻率， h 則為一常數，稱為蒲氏常數(Planck's constant)。根據勒氏等的實驗記錄，蒲氏得 $h=6.5 \times 10^{-27}$ 爾格/秒(ergs/sec.)。他因為不能清楚明瞭原子的構造，乃假定固體中有無數的振動質點存在，稱之為振動器(Oscillators)。每一振動器，只能與同一種頻率的振動發生協振或共鳴(Resonance)；他所輻射的自亦限於同一頻率的量子，如同包裹一般的斷斷續續發出。如果量子論即是真理，則小小的 h ，實在亦不容我們忽視。牠是決定固體比熱，光化作用(Photochemical effect)，原子中電子的軌道，光譜線的波長，X射線的頻率，氣體分子的旋轉速度，晶體(Crystal)中各小部份之距離，以及其他許多物理數量(Physical quantities)的主要因素。誠如某一位科學家所說：「牠是宇宙間一切生命的維持者」，並非過份的。

在十九世紀時，楊格氏等，曾以種種實驗證明光係一種波動；而今則又以為：有類牛頓之微粒的包裹式量子；兩者之間似乎有極大的表面上衝突。科學家們並不否認這種衝突的存在。事實上，兩種學說却各有牠們的真實性；在某種情形之下，光幾乎必須是一種質點；而在他幾種情況之中，則又不得不視為一種波動。現在所缺少的，是一條貫通二者的途徑。近

來科學家們嘔心絞腦，對於這方面的研究，不遺餘力，下面將要看到的波力學(Wave mechanics)，就是融合兩說的一步顯著的進展。

低溫度學——都瓦(Dewar, 一八四二—一九二三)氏嘗孜孜致力於低溫物理學的研究。他發見在低溫下：焦炭能吸收大量的氣體；電阻隨溫度而降低；微菌能繼續生存；發磷光之有機組織在液態空氣中停止其工作，但一經融化之後，便立刻恢復原狀。一九〇八年，**荷人昂斯**(H.K. Onnes, 一八五〇—一九二六)於 4.3°K (K 代表絕對溫標， $4.3^{\circ}\text{K} = -268.8^{\circ}\text{C}$)液化了氮氣。一九二三年，他又預備凝固氮氣，結果雖未成功，但已能達 0.82°K 之低溫。一九二六年，在昂氏去世後的四個月，**克依薩姆**(W. H. Keesom)以高壓和低溫兼施的結果，終於獲固態之氮氣。氮氣為氣體中最後液化及凝固的元素。在極低溫度(1°K 左右)之下：橡皮、銅、鐵，一折即斷；玻璃及所有金屬，均變為極良的導電體。這些現象都似乎指示：在絕對零點到達之時，各物的原子均趨於靜止狀態，而其間的電子則可以往來無阻，絕對自由的行動。

熱力學定律——諾恩斯特(W. Nernst)於一九〇六年，發表所謂熱力學的第三定律(Third law of thermodynamics)，即：實際上達到絕對零度為不可能。十九世紀的熱力學第二定律，便又為人所懷疑。宇宙的命運是否如此悲觀的漸趨於熱之死滅？熱量是否絕對不能自動由冷體流入熱體？據玻魯茲曼(L.

Boltzmann)與吉柏氏(W. Gibbs)以統計力學(Statistical mechanics)計算的結果，知道熱量的逆流並非絕對的「不」可能而是「少」可能性罷了。譬如取各盛氦、氧的兩容器，若將中間貫以小孔，則兩氣體之分子將互相滲合而成爲混合氣體。但亦有一個極少的機會，可達兩氣體的分子，從而又彼此分開，恢復原來的狀態。仿此，在某一溫度下的氣體，雖其平均分子運動之速度不變，而其中較快的分子與較慢的分子或能於某一期間分離成兩組，而造成局部溫度的差異。如此，則第二定律將被推翻，因爲我們已能於等溫情形之下，不藉外力而製造出溫差，使無用的能，重歸於有用。總之，第二定律應當算是一個統計的定律。譬如尋常購買彩票時，中獎的機會少於無獎的機會；至於大自然所發行的獎券中，則中獎的機會幾乎是渺小得不可遇了。

第三節 光學

以太的漂動(Ether drift)——前面已經述過，邁卡通與摩理的實驗，證明以太確係與地球同動。他們藉干涉原理，比較光沿地球進行方向的速率，與沿着與此成直角的方向之速率，而不見任何可量度的差異；因此乃斷定地球與以太間並無相對的漂動。這個結論使物理學家陷於無限的煩惱，於是一八九二年，費吉羅德(F. Fitzgerald)與羅倫茲(H. A. Lorentz)各獨立的作動體能沿其進行之方向縮短的假說以解釋之。例如——

枝碼尺，若以極大速度，沿其長度移動，則其真長度將較靜止時爲短。按照這個假說，邁、廉二氏所給與科學界的難題可以迎刃而解。但是這未免又是一個革命性的新思想了。

北極光(Aurora Borealis)——北極一帶，於冬季縣縣長夜之時，常有眩目的弧形光帶出現於北方天空中。這種現象遠於富蘭克林時代，已經引起科學家的注意。富氏認爲牠是一種電作用。近代的見解，以爲是太陽所發出的陰極射線，與地球上層的稀有的氣體相撞擊使然。柏克蘭德(K. Birkeland)曾製造一隻小地球，置於陰極射管中，然後使地球磁化，則見聚於兩極之處有螺旋形的光圈出現，並且環繞赤道亦有較弱的光帶一面。

宇宙線(Cosmic rays)——近代的物理學家，發現有無限的超短波射線彌補於宇宙之間。羅斯福特與麥克蘭南(J. C. Mclellan)最先發現驗電器(Electroscope)的漏電程度，在厚金屬匣中較在空氣中爲少，而懷疑空間有極強貫透力之射線存在。德國的科學家用氣球昇到高空中去試驗，測知這種放射反隨高度而增強，證明牠的來源並非出自地下。一九二二年，密利根(R. A. Millikan)等氏，於高山深淵中作廣泛實驗，始知其貫透力之強，可以穿入水中二十三呎之深；若再加上牠所穿過的空氣層的厚度，則其貫透深度相當於六十八呎深的水或六呎厚的鉛壁！密氏又謂：宇宙間，除了放射性所代表的原子崩壞面外，自然界尙有一種製造原子與產生元素的本領；而這些飛

越空間的宇宙線便是傳播牠們新誕生的物質。按愛因斯坦(Einstein)的計算，宇宙線所載的能量，正與他的相對論中所謂電子與質子相聯合而產生氦等輕原子元素時所放射的能量相當。但是科學家們的精謹態度，到底不肯輕易置信於一種數目上的偶合。宇宙線之特性，密利肯在以前一年猶以為是一種電磁波，與 γ -線相似，惟其能力較大，波長較短而已。直至一九三八年，康玻登(A.H. Compton)等始由各種實驗，證明宇宙線包含三種質點：(一)類似 α -線，(二)正負電子，(三)氫原子核。

其他發展 X-射線，最先被樂琴當作以太之縱波，繼又有人建議為飛行的質點，到一九一二年，才被德國科學家查見其干涉現象，而斷定為極短的電磁波。在明線光譜中，線的位置與元素的關係，雖然於半世紀之間屢經實驗測定，但是在一八八四年巴莫爾(J. J. Balmer)發表其氫光譜的論文以前，沒有人知道這些明線的分配定律。

第四節 力學

相對論(Theory of Relativity)—愛因斯坦(A. Einstein)，於一九〇五年，發表其特別的或狹義的相對論(Theory of Special Relativity)，謂空間與時間皆為相對質，故所產生的運動亦為相對質。我們根本不知宇宙間有任何固定不動的物體存在，所以平常所稱的：物體之在行動或靜止，僅指其相對於某一組坐標(Coördinates)(如地球、太陽、恆星)的態度而已，

並非此物體本身的絕對狀態。根據光速不變原理 (Principle of constancy of light velocity)，與上述的相對運動爲出發點，愛氏更推廣而泛衍其學說，直至一九一五年遂又有普遍的或廣義的相對論 (Theory of General Relativity) 之發表。相對論的內容涉及高深的數理，非一節之中，短短數言，所能描述；況且以編者的學識淺鮮，也絕不敢輕率的作越分之言。但是所能略舉奉告於讀者的，即正統派的相對論者不承認以太的存在。他們視光速爲不變的恆質，而且認牠爲任何運動質的最大可能速率。物質的質量能隨該物質運動的速度而增加，直至與光速相等時，則質量將成爲無限大。更新穎而駭人聽聞的論調，便是愛氏認爲能量可以與質量並論；前者可以由後者的變化而發生，如太陽的熱能即由消耗其本身的質量而得來，平均每分鐘太陽應減輕二·五億（一億爲一萬萬）噸。相對論在現今若視之爲固定的成立，似乎太早，然迄今的實驗，尙不能判決其爲謬誤。不但如此，且有數個實驗適足證明牠的準確。例如相對論中說光也受引力的影響，所以當日蝕的時候，以照相攝取的太陽附近之恆星位置，與夜間所見的同恆星位置不同。其相差的曲度數（即晝間星光行近太陽時，受其引力影響而曲折的曲度數）據一九一九年與一九二二年的兩次日蝕測量；結果皆與上述的推論相符。第二次之測定值爲 1.72 弧秒 (Seconds of arc)，愛氏預算的曲度則爲 1.74 弧秒。

然而我們不必自以爲受了這許多新思想的薰陶，便可以拋

棄了課本中的舊定律了。某一位科學家說過：「現代理論物理學的特徵，便是一般新見解的融滲與成立，並不需要吾人放棄舊日之典型諸原則。」愛因斯坦有云：「沒有人可以相償，牛頓之豐功偉績，會被吾之相對論或任何其他理論所埋沒，因為牛氏學理的清晰與見解的廣博，將永遠為吾輩物理學觀念之基礎。」

布朗運動(Brownian Movement)——約在一百年以前，英國植物學家布朗發現：在某種植物液體中，有極微的質點作不停之擾動，四向竄突，毫無規則，牠們所取的方向也絕無相互的關係，不似日光中的微塵，乃依空氣流動的方向而漂流。對於這種運動所有的各種膚淺之解說（如因房屋之震動，或因光而生之流動等等），至十九世紀末葉，始根據種種的實驗，而知其不確。一八七六年羅姆賽作一較滿意的解釋；即以此種運動為液體中的質點，受其分子之猛烈撞擊而產生。不久，其他科學家，如愛因斯坦等也都推得類似的結論。一九〇八年，畢漢(J. Perrin)以特製的乳狀液(Emulsion)，計算牠質點的運動，並推出某重量質料中所含的分子數目；一九一一年，密利肖等又作氣體的布朗運動實驗，遂予羅氏學說以實驗的根據。

航空力學(Aero-dynamics)——十九世紀末葉的科學家，開始研究用木或金屬製造「重於空氣的飛機」(Heavier-than-air machines)之可能性。蘭格星(S. P. Langley)於多次試驗之後，稱：若薄平面以高速率行駛於靜空氣之中，則能因空氣的

反坐力，而獲得擊舉的力量。牠航行時所需的功率(Power)能因速度的增加而逐次減低，直至某一限度為止。此項關係普通稱為蘭格里定律 (Langley's law)。一八九六年五月六日，蘭氏試航他的第一架空行機 (Air-runners)。斐耳描寫當時的情況說：這個模型，用蒸氣機為引擎，重約二十五磅，翼長十二至十四呎，……從距水面二十呎高的平台出發，飛翔直上，狀態非常不穩。不久，又繞百碼許的大圈，盤旋而上。一分半鐘之後，其推進機自動停止，高度約達八十至一百呎。移時，機乃滑翔下降。最可驚異者，即當其降落時，機身平穩如初，絲毫無急急欲墮的狀態。蘭氏第一架飛機試航成功，立刻引起了一般人對於航空學的興趣。美政府撥款五萬元，鼓勵他作一架載人的飛機。一九〇三年造成後，由他的助手曼雷 (C. M. Manley) 操縱試航，但是不幸前後兩次均告失敗，一時頗引起輿論與國會議員的非難。一九〇六年蘭氏喪志而沒；到一九一四年數次試航成功之後，蘭氏製造原理上的健全，才復被人們所認識。英國的蘭契斯特 (F. W. Lanchester)，德國的波蘭多 (L. Prandtl) 都繼蘭氏之後，而研究航空學理。埃斐爾 (A. G. Eiffel) 在巴黎，首創以風洞 (Wind tunnel) 實驗飛機性能 (Performance) 的方法。美國的萊特 (Wright brothers) 氏兄弟於一九〇三年試航得美滿的成績，為最先駕駛重空行機的成功者。一九一四年歐戰爆發後，各國學者皆埋首致力於空軍的創造，是以戰後的航空學，無論理論與技術方面，都有顯著

的進步。一九二五年，林白(Lindburg)駕單人機橫渡大西洋成功，於是開飛行探險與紀錄創造的風氣。近十年來，航空界似多傾向於製造堅固，耐航，安全，載重的巨型機；其中尤以美國最稱努力。時值戰火方熾的今日，屢聞交戰各國，有新戰鬥機與轟炸機的發明；其中赫赫聞名者，有：美國的 B—29 型



圖二十五 德國最新式 V-1 飛機

重轟炸機，德國的俯衝轟炸機，與最近出世的 V-1 (圖二十五)，火箭炸彈等。最新式的噴進式飛機不用推進機(Propeller)，僅藉尾端噴射氣體的反坐力以行動，每時速度可達八百公里之巨，但是弊在耐航力稍差，不能作持久或遠距離的飛行。

第五節 電學、磁學

電，如同物質一般，有微粒性的構造。一個不可再分的電量，即一微量的負電，稱為電子(Electron)。所有關於電的一切現象，皆可以追蹤一單獨的或成羣的電子行動為其起因。我們對於電子在自由狀態中的態度與習慣，雖然已具相當的知識，但是對於牠在物質內的行動，則有多方面尙未能明瞭，譬如電在導線中的傳送等是。關於自由電子(Free electron)的數目與活動範圍，我們祇能如乘氣球觀察城市的人，祇見地上的鐵道，有一羣人從一個車站進去，另一羣人從他一個車站出來，而且每次可以計算他們的人數；至於乘客在車內的情形，以及何人在何地出現，則皆不得而知。一九二七年，薩摩菲爾德(A. Sommerfeld)用佛密(E. Fermi)的新統計理論，建設一個比較滿意的金屬電子學說(Electron theory of metals)。電子學說預測高密度電流通過導體的時候，將不遵守歐姆定律；此說經哈佛大學研究者的實驗，已知道金、銀兩種金屬確係如此。

近代的磁學觀念，頗與安培氏的電流磁性說相似。威斯(P. Weiss)以為磁與電相同，亦應有一極小的單位，稱為磁子(Magneton)。一八九二年，斯嗎斯德(A. Schuster)曾有以每一旋轉物體皆能成為磁體的建議，並且企圖用牠來解釋地磁的成因，與其種種日期、週期、及長期性的變化。一九一四年，巴奈特(S. J. Barnett)夫婦使鋼桿繞其長軸旋轉，而得一磁性的作用。一九一五年，他們又作鋼、鎳、鉛、軟鐵等旋轉速度與磁性強度的測定。李察德生(O. W. Richardson)發現與巴

氏相反的作用，即磁化可以產生旋轉的現象。他雖然也得到實驗的證明，但是結果並不一致，所以還需有深切的探討。

無線電報與電話(Wireless telegraph & telephony)——無線電報與電話，是二十世紀中最著名而最普遍的產品。關於牠的發現，一般人多歸功於義大利人馬可尼(G. Marconi, 一八七四—一九三七)，但是實在直接或間接有功於牠的進展的，還有許多其他實驗者。一九〇六年，有所謂晶體檢波器(Crystal detectors)的出現。牠們是某類晶體，其內部的構造，可以使沿一方向的電流暢行，而其相反一方向的電流則被阻。真空管(Thermionic valve)為湯姆生(J. J. Thomson)氏等數年來苦心研究所得的結晶。佛蘭明(J. A. Fleming)於一九〇四年，加以改良，利用之以為無線電中整流或檢波的機件；牠的效率要比礦石晶體強得多。同時美國的李得佛羅斯特(Lee de Forest)也研究真空管，有類似的發明；一九〇六年，他更製出三極真空管，可以供放大或擴音之用。最早採用的傳音電磁波很長，收音的範圍很小；後來改用短波之後，播送區域大為增廣，幾乎可以遍傳全球。考其原因，則為距地約七十英里的上空，有一層帶特殊電性的大氣層，稱為赫氏層(Heaviside layer)。赫氏層有將電磁波折回地面的作用，宛如一面鏡子之能反射光線，但是同時也能吸收電磁波中的一部份電能；吸收的程度靠電磁波的長度而決定。約在二三千公尺左右的電磁波，其長度愈增，則損失愈少，而波長在二一四公尺以下的電

磁波，則波長愈短，吸收的損失亦愈少。因為過長的電磁波不適用於無線電話，所以短波無線電多被採用。在此次戰事中我們又聽見短波探測機(Short wave detectors)或雷達(Radar)的發明。牠利用短波投遇到空中任何金屬體能被反射而與原波起干涉的作用，使數千里外來襲的敵機之距離與方向瞭如指掌。據說一九四一年十二月八日，日機奇襲珍珠港的時候，美方利用此器，已能於前十分鐘探悉。同時英國利用牠來偵察德國轟炸機的動向，可能於牠們剛一出動之際，即先知悉，俾市民可以從容的避難與設防。

第六節 聲學

聲的原理，自從赫爾摩茲而後，並無任何基本的新發展。聲波攝影器的發明，是利用聲波在空氣中的折光作用（宛如透鏡），將一瞬間投射於其上的電光，記錄於感光板上，使聲波的狀態得以保存，以供日後的研究或講解之用。薩班(W. C. Sabine)曾藉此法以探究戲院，及大會堂中的音響性質。他對於牆壁的設計及消除回音的方法，研究與貢獻頗多。近日的戲院中，多用吸音絨氈來置於屋頂及牆壁中，以減低回音的強度。

凡是一種波動，皆可以用來傳達能量。聲波在空氣中所載的能量極微，但是在一種可以抵抗強度壓縮且有彈性的介質，如普通液體中，則可載負相當大量的能。依照這個原理，

康司但丁納斯古(M. Constantinesco)計劃了一個組織，使波動經過管中的液體而傳遞能量。他所用的波動，實在就是聲波。發波的一端，有一引擎，推動一個小活塞，使牠往復極快的運動。當發波的活塞前進時，管中的液體，並非全部前進而推動他端的活塞，祇不過接近發波活塞的地方，因液體的情性，產生一個緊縮區域而已。這個緊縮區域逐漸通過管中的液體，而推動他端的活塞。依同理，則當發波活塞後退的時候，亦有一個低壓區域，通過管中的液體，而吸引他端的活塞。這樣，便可以使波動經過液體，而傳遞能量；同時還附帶着一個樂音。聲波傳遞的能量，與振動頻率的平方成正比例，所以活塞往復的頻率，在可能之範圍內，應該愈高愈妙。康氏的方法，礦內工作有用之者，迨至第一次大戰時，遂被利用於飛機上機槍的裝置，使牠的放射可以與飛機的引擎旋轉同步(Synchronize)；如此，則機上放射的槍彈，可以通過推進機而不傷其葉板。牠的構造，簡單言之，就是用一條盛液體的管，使牠的兩端不與機槍引擎相連，然後調整放射的時刻，使槍彈永在適當的時候射出。

超聲波(Supersonics)——前篇中，我們已經知道人耳所能聽到的最高聲音，其頻率約為24,000—48,000次/每秒。近年來，伍特(P. W. Wood)用電學方法，振動石英晶體，而得到每秒300,000次以上的頻率。這種聲音，當然是人耳所不能聽到的；我們稱之為超聲波。超聲波，每秒鐘振動數十萬次，

能產生異常的效應。當此種波經過液體或固體時，雖然牠們質點的往復運動範圍很小（祇不過幾十萬分之幾英寸），但是因為牠們運動的速率很大，所以波的能量亦極大，往往可以呈現出許多波動的過份性質來。譬如尋常的聲波的「聲壓」，雖用極精緻的儀器，亦很難察覺，但是超聲波的聲壓則有種種奇異的表示。若將產生波動的石英片，平置於一容器的底處，器內盛油，則當石英片振動時，其所產生之波，經過器內的油，向上進行，可使油面因其壓力而高起三吋；同時有細碎的油滴從牠的頂端噴出，可以支持一個重六英兩的盤於其上。超聲波的能，還有一樁奇異的表示：如果有一根細玻璃棒，一端浸入油內，另一端夾在手指間，則指皮的面，能因疾振的玻璃面與之相摩擦，而挖成一槽。若再取一根尖頭的棒，其粗端浸入油內，則牠的尖端可以在木塊上鑽成一孔。波長為幾百分之一吋的超聲波（尋常聲音的波長，以英尺計算），對於生物的組織，也能發生效應。當牠通過液體時，液中的魚和小蛙便都喪命；生活細胞能因其內容被擾動而破裂；血液中的血球也會被牠的振動而破壞。

第七節 原子

小於原子的物體——電子——第一個對於這方面作實驗研究的，是湯姆生氏。他對一八九七年觀察陰極射線通過磁力場與電力場時的性質，而斷定這種射線並非以太中的波動，而實是

一種帶電的質點。「但是牠們究竟是甚麼東西？是原子？還是分子？抑或是另一種更精密的物質平衡狀態？」這正是湯姆生一時所未能解決，而向自己質問的。後來他以實驗求得牠的荷質比 m/e 的值，約為 10^{-7} ，其中 m 是陰極射線質點的質量， e 為質點所載的負電荷。這個數目比當時所知道的最小 m/e 比值（屬於氫原子的）還小十餘倍；其成因，或可由於 m 之特別小，或是因為 e 之特別大，或則因為兩者之和。但是按照當時化學原理與星光譜（Stellar spectra）的研究所指示，似乎第一種假設比較合理。一八九九年，湯申德（G. S. Townsend）證示，氣體中各游子所載的正電荷或負電荷，其量皆相同，且永遠與一個氫游子所載的負電荷相等。同年，湯姆生藉紫外線投射於金屬板上能於其表面產生電子之性，測得此種質點所載的電荷皆與各游子所載的電荷相同，於是確實的證明了一種極小極輕的質點的存在。牠的質量，如前篇所述，約為氫原子的二千分之一。 e 的精密測量，以密利根氏一九二一年所得的為最準。他使一粒油滴在兩水平板間上下升降，每當有一顆或數個游子被牠拖帶的時候，則其速率將呈變化。密氏由此而測定 e 的數值，同時推出一個結論：電有一最小的單位。每粒游子所載的電荷完全相等，且此單位電荷為一絕對值，非如原子量之為一平均數量。密氏的工作，對於近代的物理學給一個很大的幫助；有許多重要的物理常數便是靠牠而準確決定的。電子最初為斯湯尼（G. J. Stoney）所創，用來代表電的基本單位——

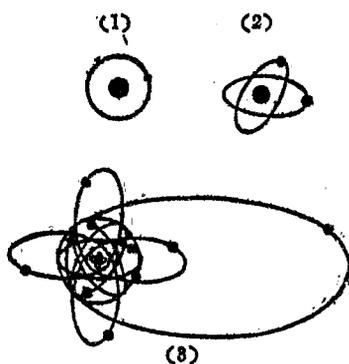
即一粒氦游子所帶的電荷，後來便慢慢的被採用爲湯姆生氏的帶電質點之稱呼了。

原子的模型——三十多年前，曾建議漩渦原子（Vortex atom）的克爾文爵士，至一九〇一年，又提出一個原子的新模型。在這裏，他以原子爲一個帶正電的均一球體，中間包含着數個平均分佈的電子。當這類電子從放射性物質中逃逸而出的時候，便能以極大的速率行動，構成該物質射線的一種。一九〇四年，湯姆生假設原子爲一個正電的球體，內含數個運動不息的電子；原子的性質視電子的數目與牠們在原子中運行的（同心）狀況而異。一九一一年，羅斯福德由研究 α -質點通過極薄金箔的結果，而得到現在對於原子的新觀念。羅氏的模型，實在就是湯姆生氏所擬想者之反。他以正電的原子核爲中心，但是核徑極小，僅不過原子直徑的萬分之一（如大教堂中的一隻蒼蠅）；環繞原子核的四周而運行於大小不同的同心軌道上的，有一定數目的電子；牠們的排列，宛如一個小規模的太陽系統，但是各行星的軌道，大約盡在一個平面上，而重原子內的電子軌道，則可以在許多不同的平面上（圖二十六）。

上述的諸模型，多半是傾向於動態的原子構造（Dynamic atomic structure）。當時的化學家還有許多人提議用靜態的原子構造（Static atomic structure）。一九一六年，路易士（G. N. Lewis）及蘭格摩爾（I. Langmuir）等以爲電子各居於原子核四周的小室（Cell）之中，靜原子頗能適合於靜力化學（Chemical

statics) 的需求，所以化學家們對這種學說極深表滿意；但是牠對於電子在小室中行動的，則無明顯的規定。自從一九二三年以後，靜原子的號召力，似乎也漸趨衰弱了。

原子序數(Atomic Number)與同位素(Isotope)——原子序數本為化學家按照原子量的輕重所排的次序；如氫第一，氦第二，鋰第三，鈹第四等。自從原子物理學演進以來，始漸次顯露其重要性。摩斯理(H. G. J. Moseley, 一八八四—一九一五)從X射線的研究，發現各種原子的化學性質，與原子量無關，而却與原子序數有關；並且證實原子核心外層的電子數目(亦即原子核心的正電荷量，因為每一原子必須保持電的平衡)，恰與原子序數相等。一九一九年阿斯登(F. W. Aston)發明質譜儀(Positive ray spectrography)，



圖二十六 原子的構造
(1)氫 (2)氦 (3)銻

可以測定單獨原子的質量，成為第一次大戰後最重要的研究工作之一。利用他的儀器，阿司登揭示一個可驚訝的事實，即：多數的化學元素，並非完全相同的原子所合成，實在是化學性質相同而質量各異的諸原子之混合物。譬如氯的原子量為35.46，牠實在是兩組原子的混合物，一組的原子量是35，另

一組爲 37；兩組配合的比例，恰可以使混合物的原子量成爲 35.46。其他的元素，如水銀等，可以包含數個質量不同的原子組。水銀的原子量爲 200.6，牠含有六組不同量的原子，即：202, 200, 199, 198, 201, 204，其中要以第一組的原子，在混合物中佔的個數爲最多。同位素的名稱，即指上述許多原子量不同，而化學性質相同的諸原子。

波耳原子 (The Bohr Atom)——一九一三年，波耳 (Niels Bohr) 根據量子論，而修改羅斯福特之原子構造學說如下：

(一) 電子的運動，應該有一種特殊的限制。牠們在軌道上行走的快慢，不能隨意的，而須要與量子律所限定的計算之規則相符合。

(二) 常態的電子恆於不變的軌道上運行，不吸收外界的能，也不輻射能給外界，所以正常原子的能量不變。

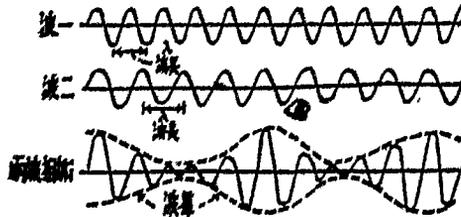
(三) 原子的輻射，祇能因電子突然變換其運行的軌道而產生。當一個電子由一能量較大的軌道墮入另一能量較小的軌道時，牠的過剩的能，便變爲輻射而離開原子。

波耳最初規定的軌道爲圓形，後來經過薩摩菲爾德的修改而成爲橢圓形。應用波氏的理論於氫原子之計算，處處皆能與實驗相符合，故波耳原子頗爲物理學家所重視，其學說亦成爲原子物理學中之權威。

波動力學 (Wave Mechanics)——一九二四年，法國巴黎大學研究生勒羅格裏 (L. de Broglie) 發表一篇博士論文，指出

波羣與量子的關係。他用數學的方法算出：若有兩個以上波長不同之波相合，則產生一串波羣(圖二十七)。每一串波羣即是一個量子。物氏論文發表之後，立刻引起了柏林大學物理教授率拉丁格(E. Schrödinger)的注意。他將物氏的理論，略加擴充，而大膽的提出所謂波動原子(Wave atom)之成立。在他的學說之中，沒有旋轉的電子，一切均以波羣來代替，用波羣來解說。雖然波動力學尚未成熟，而且理論太深奧，非尋常談話所能討論，但是牠對於原子物理學中的諸問題，則多能解答。不但如此，尚有許多波耳原子所不能提及的地方，也能應用牠而得到圓滿的解答。電子與質子的「類波」性質，現在已經有了精密的量度為其實驗證據，非僅是空泛理論上的幻想而已。

中和子(Neutron)與正電子(Positron)——一九三二年一月，法國物理學家居里(J. I. Curie)女士(即居里夫人之女)與她的丈夫德律(Joliot)共同研究 α -質點撞擊各種原子核的現象，而發現中和子的存在。中和子是一個質子(即氫原子核)與一個電子密切聯結而成；因為牠們中間的正負電荷相抵消，



圖二十七 波力學說中二波相加而成一串波羣

所以成爲一個電的中和體。用 α -質點撞擊某種輕原子，則中和子可以由其核中迸出。牠的貫穿本領極大，雖經過一呎的鉛，尙能被人察覺。這是因爲牠本身不帶電，所以不受穿過之原子電場影響的緣故。同年六月，蔡德威克 (J. Chadwick) 又發表極充分的證據，證明中和子的確實存在。

繼中和子之後，同年八月，安得生 (C. D. Anderson) 又發表正電子的發現。從前多以爲正電荷不能如電子一般，脫離物質而獨立；最輕的正電荷，爲失去一個電子的氫原子。安氏最初隨同密利根試驗宇宙線，在威爾遜霧室中發現與電子方向相反的彎曲線痕。後來根據能量計算的結果，始知其並非爲帶正電的氫原子核所致，而是一種與電子類似的正電質點的蹤跡。次年三月裏，劍橋實驗室又重作安氏的實驗，而得到完全相同的結果；於是正電子的存在，經反覆的證明，就被確立無疑了。

原子的分裂與擊破——二十世紀中最顯赫，最燦爛的一步成就，當屬於以人工方法擊碎穩固的原子，而將牠們改造成他種活潑的元素。原子核須要極大的能才能將牠擊破。用宇宙線，或 γ -射線，有時尚感不足；如用 α -質點，則其質點雖大，但是牠的速度有限，尙不足以擊破所有的原子核。因此另有許多物理學家，設法製造一種新儀器，可以使帶電顆粒增加速度。羅斯福特與蔡德威克最初於一九二二年，用鑽的 α -射線撞擊氮原子，而使帶正電的氫原子核，即質子 (proton)，從氮

原子的核心中分出。美國的哈金士(W. C. Harkins)用 α -質點猛擊氮原子，而使牠陸續蛻變爲氦，氫，氧等原子。一九二八年，美國加省理工大學教授蘭茨特生(Lawitsen)與班奈特(Bennett)合造一種X射線管，所產生的電壓達一百萬伏特(Volt)，能力與 γ -線相同，但是強度不及一〇〇克的鏷。當時各大醫院均事先購置，以爲治毒瘤(Cancer)之用。至一九三三年，蘭氏等又加改良，用以製造人工 α -質點。同年美國加州大學教授勞倫斯(Laurence)應用強大的磁場，使一帶電的顆粒在一圓形的閉室中加速旋轉；待至速度甚大時，令其逸出以撞擊原子核，如此則有多數的原子核可以被擊破。勞氏儀器所產生的電壓，要達到二百萬伏特，比蘭氏的儀器大一倍，但是強度稍差。一九二六年柏林的潘察斯與彼德斯(F. Paneth & W. Peters)曾用接觸作用(Catalization)，從氮氣中製造出氫氣。利用人工蛻變的方法來製造貴重金屬，現在已經成功的，有白金一種；但是因爲顆粒與顆粒撞擊的機會很少，所以產量甚微，暫時還不能擴充而爲大規模的工業。

第八節 實驗制度與實驗室的發展史略

實驗科學的抬頭，當以伽利略與吉爾柏特的時代爲開始。伽利略身登畢沙高塔，作墮物實驗，而以事實駁勝亞里士多德。吉爾柏特又製造小地球，以證示地磁現象，遂開實驗科學的風氣；實驗科學創造之後，遂漸有實驗室的設備。但是一直到十

九世紀之始，這種實驗室的設備多為私人所有，而且一切用具，購置極昂，雖極簡陋的設備，亦祇有富庶的貴族階級，才能享受。克爾文爵士謂：最先設置化學實驗室以供學生研究的，是英國的格拉斯考大學(University of Glasgow)。那時大約是一八五一年。物理實驗室，由私人設備而演變為學校設備的過程極慢。最先是有幾位大科學家，如麥克納斯(H. G. Magnus)，李比諾氏，用私人的實驗室收納學生，後來輾轉演進，到一八六三年，麥氏的實驗室遂正式的成為柏林大學的實驗室。在英國，克爾文爵士於一八四五年，召集學生於大學堂的廢酒窖中舉行實驗。那時的設備雖然不足稱道，但是學生們研究的熱誠，則極可讚揚；常常分為日夜兩班，交替的守候實驗，至數星期之久而不倦。大學中第一個把有系統的實驗工作列入學程中為必修科的，是美國波士頓的麻省理工大學(Massachusetts Institute of Technology)，一八七四年劍橋大學在馬克斯威爾指導之下建造卡文狄士實驗室(Cavendish Laboratory)。這時候，牛津與劍橋二大學的實驗工作大多是選修制度，選修的學生雖然少，但是後來的英國物理學家則多從這少數的優秀份子中產生。法國雖然在十九世紀初葉時為實驗研究的中心，但是補供給本國科學人員以實驗便利的時期則最晚。到一八六六年才有雛形的物理實驗室成立。

實驗教育的制度，普通有二種：(一)使全體學生同時作一種實驗，由講師作一次說明實驗的目的與方法。(二)使學生各

作一種不同的實驗，事後再輪流交換。兩種各有牠的利弊。第一種的利益爲：講師易於講解，指導，監察；弊病爲：大批的名貴儀器，購買不易，而若用低劣的品物代替，則結果難得精確。第二種雖然可以免去上述的不便，但是實驗的次序則不免紊亂，不能使每個人都按合理的順序實驗。現在的學校，多半兩種制度并用，以期達到最美滿的效果。

英、法、德各國早已經有國家實驗館 (National Laboratories) 的設立。英國的皇家科學館是羅安福伯爵所創辦。在一八〇〇年開始的時候，僅不過具有錘、砧等鐵匠的用具，後來逐漸改善。隨大衛、法拉第、聽得爾等氏卓越的成就而聞名。一八九三年，更大加擴充，建立大衛、法拉第研究所 (Davy-Faraday Research Laboratory) 據說爲「世界唯一的公衆純正科學 (Pure Science) 實驗所。凡屬科學男女，不論其派別，出身與見解，都可以自由參加和使用。」——一九〇一年，美國國會亦成立標準度量局 (Bureau of Standards) 範圍極廣，成爲一所國立的物理實驗館，主持各種理論物理、化學上的測量與研究工作。

第三章 二十世紀中我國的科學狀態

我國振興科學，有研究成績之表現，雖不過近二三十年的事，然而關係重大，有世界眼光的學者都寄與重視。

「回顧二三十年來，吾國科學事業無論在數量方面，質量方面，均着着進步，而以最近一二十年更快。據教育部二十四年一月之調查，我國現有各門主要學術研究團體機關，共有一百二十四個，屬於科學方面者七十三個，佔總數百分之六六·四，……再進一步檢討已有之科學研究成績，以如此暫短時間，與少量金錢，平心而論，堪稱優異。……吾國二十年來振興科學，係一成功之事業，較之其他政治的、經濟的、或社會的建設之成績，皆有過之無不及。又近年國內各大學教授於教科之外，咸知趨向研究工作，此種風氣，心理之進步，尤為可貴。

「另一方面，亦足以表現我國科學之進步者，即各種專門學會之林立，濫假具科學先進國家之規模，科學刊物日益增多，民衆對於科學漸具信仰，漸生興趣，資本案漸肯扶助科學事業之發長，凡此諸端皆為二三十年前所少見，而為近年來所有事，至可慶幸者。

「在物理學方面，因設備繁雜，研究工作發動較遲，然近年來經物理學界諸領袖之努力推動，研究者繼起，成績亦漸顯著，如清華大學及北平研究院等之是項研究，俱有可考之成

續，此後發展未可限量。」——（節錄自民國二十六年五月出版之中國科學二十年一書中，劉成先生著：科學史上之最近二十年）。

第一節 我國物理學之進展

物理學研究之萌芽——「我國派遣留學生雖遠在五十年前，而留學生中有研究物理者，自本世紀始。最早有李耀邦之研究電子，繼為胡剛復之研究 X 光與光電子，顏任光之研究氣體游子。胡、顏兩氏……歸國後，一任南京高等師範教授，一任北京大學教授，斯時兩氏即力謀物理實驗之設置，與課程之充實。科學空氣為之一振。當年南高，北大馳譽國內，實為我國物理學界之墾荒與佈種時期。

「國民政府成立之初，即立倡科學研究，先後成立中央研究院與北平研究院；兩院均設有物理研究所，由丁燮林、李警華兩氏分別主持之，慘淡經營，兩所漸成為專攻物理研究之中心。民國二十一年中國物理學會成立，為我國物理學家之一大結合。」

物理教學之演進——「民國七年，北京大學始有物理學門之目，為我國大學物理教學設有專系之先聲，」南京高師與東南大學之物理系均約設於民國十年左右。「其時北京大學課程——如相對論等課，已為專設之學程矣。……稍後，留學生之研習物理歸國者日衆，各大學亦多增設物理系，成就舊有力加

擴充。依目前狀況言，我國大學物理之設有專系者不下三十餘校。如清華、北京、中央、燕京、交通、武漢、師範、中山、金陵、山東、浙江、南開、大同、中法等大學之物理系，皆其成績卓著，並稱國內者也。」該時清華大學的物理學程「籌設周詳，應有盡有，恐非法之巴黎，英之劍橋所能媲美。邇近我國大學畢業生，已有能在國內從事著有成績者，我國物理學之獨立研究，為期當不遠矣。

「近年來，物理學科的著作，外籍書的翻譯，與日俱增，同時應用術語與物理名詞的修訂也漸告統一，又如中等學校的物理儀器，亦多能由國內自己製造，廉價向各方分售，凡此種種，對於我國中等物理教育的惠益，實非淺鮮。

物理研究之勃興——「我國物理教學之進步，即略如上述，自民國十五、六年後，物理基本設備，漸臻完善，大學課程粗具規模，各校教授中乃有得以其一部份之精力與時間，開始從事物理研究。中央研究院、北平研究院亦適於此時先後成立，於是辭去教職，拋棄一切，專心致志，從事研究者，頗不乏人。風尚所趨，國內研究空氣，日見濃厚。民國二十年後，清華大學、燕京大學亦均有研究所之設立，招收研究生，現經教育部核准者，則有北京大學與清華大學理科研究所下之物理部。……以言研究結果，則有吳有訓之 X 線散射，趙忠堯之 γ 射線吸收，陸茂康之短波無線電，班威廉之熱磁效應，薩本植之三相電路，丁燮林之摩擦生電，周培源之磁性理論，

雁月飛之重力加速度測定，謝玉銘之電絕緣體，施公島之球面聲波，嚴濟慈之吸收光譜等。論文則多寄往英、美、法、德各國的雜誌發表。至二十一年中國物理學會成立之後，遂辦有中國物理學報，專事刊登國內物理研究之結果。

「物理學爲國際的科學，殊少地方性；故有發見卽爲世人所引用與注意，如本年我國物理學家有被德國哈萊 (Halle) 自然科學研究院舉爲會員，有被法國物理學會舉爲理事者，此皆非國際團體，了無外交意味，純粹以個人之貢獻，博得世間之重視，吾人於此不能不引爲欣幸，而用加勉勵者也。若未來物理學在我國之如何能加速度的進展與普及，進而爲福國利民之具，端賴我國家大局之安定，政府、社會之鼓勵，與我物理界本身之加倍努力。」——（錄自中國科學二十年，嚴濟慈先生著：二十年來中國物理學之進展。）

本書參考書籍

A History of Physics, by Cajori,

自然之機構（何育杰譯），商務。

現代科學進化史（徐守楨），商務。

The Progress of Physics (1875—1908), by A. Schuster,

A First Course in Physics for Colleges, by Millikan, Gale
& Edward,

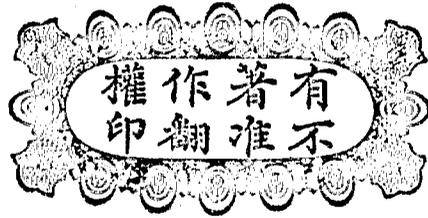
最新實用物理學（漢譯萬經文，高仕妍），New Practical
Physics, by Black and Davis,

Magnetism & Electricity for Students, by H. E. Hadley,

A Treatise on Light, by Houstoun,

中國科學二十年（劉成編輯），中國科學社出版。

民國三十七年二月初版
民國三十七年二月初版



中華文庫物理學小史 (全一冊)

定價 國幣三元

(郵遞運費另加)

編者 方金濤

發行人 李虞杰
中華書局股份有限公司代表

印刷者 上海澳門路八九號
中華書局永寧印刷廠

發行處 各埠中華書局



(13629)