



輓近物理學概要

編者 費鴻年

中華書局印行

序

近代各科學的關係，逐漸接近，一科學所發見的事理，往往立即應用於他科學，而爲他科學研究上的工具。所以從事近代科學工作的人，一方面需深入專門的研究，一方面需獲得普遍的知識。換句話說，就是現代的學問，是要在廣闊的平面上，樹立最高的立體。因爲這種關係，所以編者去年在廣西大學任職時，於初年學生的生物學通論課程中，先授總括的物理、化學數星期，使學生在修過中學課程的物理、化學以後，再使其總括一下，把化學及物理的整個科學，得一明晰而簡單的觀念，以便時時在生物學上可以應用。現在把學生的筆記，加以補充整理，成爲兩部的稿子，雖程度稍覺太淺，或在供與編者同一目的，或中學畢業生溫習物理化學時用之，有相當效果，故敢付梓，作爲這樣性質用的一種草案，匆促付印，難免遺漏，如蒙指教，尤爲感激。

編者 · 民國二十四年一月



輓近物理學概要目錄

第一章 緒論.....	1
物理學的起源.....	1
物理學的發展.....	2
物理學上的單位.....	5
時間與時刻.....	6
物質的通性.....	8
物質的構造.....	9
質量密度和比重.....	13
第二章 運動和力.....	18
運動和速度.....	18
加速度運動.....	21
力和重力.....	22
運動的定律.....	24
萬有引力及落體運動.....	27
圓運動和迴轉體.....	30
摩擦和阻力.....	32
第三章 功和能.....	34

283062

功的定義和單位.....	34
能的定義和種類.....	35
能的變換和能的不滅.....	37
熱的本質.....	38
熱與物體的膨脹.....	40
熱的傳導.....	42
液體空氣.....	45
熱力學的三大定律.....	46
熱機.....	49
第四章 振動和波動.....	54
振動的種類.....	54
振動的傳播.....	56
波動.....	57
音波.....	58
光波.....	59
光的反射折射.....	62
光波的波長與光色.....	64
光波的干涉與繞射.....	65
分光鏡和光譜.....	66
光學器械.....	68

第五章 電和磁	71
電和電力	71
磁石與磁力	72
電磁的本質	73
電位和電流	75
電阻與歐姆定律	77
電熱	78
電磁作用	80
感應電流	81
感應電流的利用	84
第六章 電磁波	89
振動性放電	89
電的共振	90
推司拉線圈	91
電磁波	93
光的電磁波說	94
檢波器	95
無線電報	97
無線電話	99
光電管	100

電傳相片術.....	101
有聲電影和電視.....	102
第七章 電子.....	104
真空放電.....	104
陰極射線.....	106
電子的電荷測定.....	108
陽極射線和陽粒子.....	109
質量光譜及同位元素.....	111
X射線.....	113
示性X射線.....	116
第八章 原子的構造.....	120
放射性的發見.....	120
放射線.....	121
放射能物質的蛻變.....	122
原子核.....	124
原子的構造.....	126
宇宙射線.....	128
中性和陽電子.....	131
第九章 量子論.....	132
輻射和吸收.....	132

完全黑暗體.....	133
量子說.....	134
光量子說.....	135
光電效果.....	136
自然的不連續性.....	136
第十章 相對性原理.....	138
以太問題.....	138
邁克爾遜及馬來的實驗.....	138
特殊相對性論.....	141
四次元世界.....	143
一般相對性論.....	144
<u>愛因斯坦</u> 的宇宙觀.....	145



輓近物理學概要

第一章

緒論

物理學的起源 人智未開的時代，雲、雨、電、雷等等自然現象，最足以引起人類的注意而起驚異恐怖之念。因驚異而起崇拜，因崇拜而產生神話與宗教。神話是我們祖先對於自然現象所設想的一種解釋，宗教是我們祖先恐懼自然的不可抗力，由尊敬的概念，進而發生信仰，並求其保護的一種產物。這多是人類在過去的生活環境上所產生的必然結果，至今文化程度較低的民族，依然還有同樣的自然崇拜。

人智漸開，仍把日、月、星、辰視為神靈，以是想到在天的諸神，多能支配人類的運命，亦是近於情理的思想。他們看見太陽可以支配晝夜四季的變化，又見到月與潮汐的關係，遂推想到日月對於人類活動的影響，例如人類的生產與死亡的時刻，至今還有許多人以為與潮汐的時刻有關係，即間接受月的支配。這種思想，就促進了研究天體的位置，以豫斷人的運命的企圖。造成所謂占星術 (Astrology)，也就是物理學和天文學的起源。

埃及的金字塔 (Pyramid), 是歷史上一有名的建築, 這塔就是埃及國王信了占星術家的主張, 而專為觀測天體所設。原來日、月、星、辰多是東出西沒, 雖依四季而天上照耀的星的種類不同, 但其相對的位置, 永無變化。例如北斗的七星, 今昔同樣, 牽牛星與織女星, 總是隔銀河而相對峙, 這種的星並非各起運動, 常密着於天球的內面, 天球每日由東而西迴轉, 惟太陽及月則不與天球密着, 太陽是每年一回, 由西而東迴轉, 所以因季節而所見的星不同。天球上太陽所通過的軌道, 叫做黃道。除了上述的密着於天球的星, 叫做恆星之外, 還有在黃道附近運動的遊星, 夜間最光亮的金星, 就是遊星之一。黃道上運動的遊星有七個, 這就是我國的五行及歐洲的七曜的起源。據觀測的結果, 遊星的運動頗不規則, 有時順行, 有時逆行。金字塔的目的, 就在觀察七星或稱七天體的配置, 以決定人生的運命及國家的盛衰, 可以說是最古的天文臺。至今我國所謂黃道吉日, 還是當時占星術的遺物。

物理學的發達 占星術一方面雖是物理學的起源, 一方面却導入歧途, 反阻礙了科學的進步。希臘時代哲學家駁出, 對於宇宙現象, 尤多觀察, 纔有台孟克理太斯 (Democritus) 所倡的原子說, 來說明一切物體均由微細小體合成。亞理士多德對於物理, 亦有若干觀察, 更有歐克立特 (Euclid) 創立幾何學,

阿基米得(Archimedes, 287-212 B.C.)發見一切物體在液體中重量比在空氣中減少,其所減去的重量,等於其體積所排去液體的重量,這個原理,現在就叫做阿基米得原理(Archimedes' principle),是水力學上一個重要的發見;更發見物體的重心,也是希臘物理學上的重大貢獻。但不幸到了中古時代,迷信流行,物理學毫無進步,直至十五、十六世紀,文藝復興時代以後,始有科學家輩出。其中如伽利略(Galileo, 1564-1642),實為樹立實驗方法來研究物理學的第一人。伽利略從意大利的披薩(Pisa)的斜塔塔頂,落下幾個大小不同的物體,發見無論物體的



第一圖 伽利略
(Galileo, 1564-1642)

大小,多是幾乎同時落地,這個實驗證明物體受地心的引力,叫做重力(Gravity)的作用,生一定的加速度。又發見一個球在平面上轉動的時候,如無一種的摩擦或其他的力的作用,將永遠繼續轉動。這種發見,就是造成牛頓(Newton, 1642-1727)運動第一定律的基礎。

伽利略以後,牛頓用數學證明宇宙間各物體多有一種的引力,與兩物體的質量相乘積成比例,與距離的自乘成反比例,

這就叫做萬有引力(Universal gravitation),也是力學上的基礎。

十七世紀以後,物理學次第進步,而器械的發明,尤為促進物理學進步的重要因素,例如斯托克(G.G. Stokes, 1819—1903)、本生(Bunsen, 1811 — 1898)及克希荷夫(Kirchhoff, 1824—1887)等的發明分光鏡



第二圖 牛頓

(Spectroscope),得以研究太陽及星的化學成分即其一例。十九世紀中葉,焦耳(Joule, 1818—1889)等的倡能(Energy)的學說,成為物理學上一重要概念。在這種種的發見中間,1780年意人加爾佛尼(Galvani, 1737—1798)在偶然的已死的蛙脚的突然抽動,注意研究結果,知道是屍骸與鐵相接觸,發生電的結果,遂成為電學研究的導線,經法拉第(Faraday, 1791—1867)、安培(Ampere, 1775—1836)諸氏的研究,遂樹立電學的基礎,開近代物理學研究一大途徑,這是不可不特加申說的。

十九世紀以後,物理學的進步尤為顯著,如克勞司(Clausius)於1857年創氣體運動的新學說;克希荷夫(Kirchhoff)於1859年確定輻射論的基本理論;1873年馬克士威(Maxwell)

創光的電磁學說；1895年倫琴 (Röntgen) 發見 X 射線；1896年培克李爾 (Becquerel) 發見放射性元素；1898年居里 (Curie) 夫婦發見鐳；1900年蒲郎克 (Planck) 創量子論學說；1905年愛因斯坦 創相對性原理；以上可謂近百年內物理學最重大的發見，亦即造成最近物理學新發展的原動力。

物理學上的單位 自然觀察及實驗觀察所得的研究結果，使其一目瞭然，人人了解，非用數量表示不可，換言之，就是事物的性質的差異非用數字來區別不可。例如說今日天暖，暖無一定的標準，若謂溫度六十度或七十度，則表示天暖就可得一確切的程度。這種測定分量所用的標準量，叫做單位 (Units)，由標準量便可以決定其他種種的量。

單位本可任意選定，但用了隨時隨地不同的單位，在實際上頗為不便，所以科學上有萬國共通的單位，就是米突法單位。我們為便利起見，常以最重要的量的單位，稱為基本單位 (Fundamental unit)，其他單位則由基本單位，依一定的關係誘導而成，所以叫做導出單位 (Derived unit)。現在的基本單位為長、質量、時間的三單位。

長的單位經萬國度量衡同盟以來，各國均採用法國同盟度量衡局所保管的米尺原器的二標線間，在攝氏零度時的距離，稱為米或公尺 (Meter)，作為長的單位。當初學者所決定的

米尺，本爲子午線的四千萬分之一，但地球的子午線漸漸變化，所以用現在的一米尺原器來測地球子午線，當爲 40003423.1 米。米尺用十進法，而每1米由10分米(Decimeter)而成；每1分米由10釐米(Centimeter)而成；每1釐米由10毫米(Millimeter)而成。米尺的千倍稱千米(Kilometer)或稱公里。毫米的千分之一稱微米(μ , Micron)。

質量的單位爲克(Gram)，爲攝氏3.98度時的蒸溜水(最大密度時)1立方釐米的重量。其千倍稱千克或公斤(Kilogram)。克的千分之一，稱爲毫克(Milligram)。其原器爲仟克，亦保存於國際度量衡局。

時間的單位爲太陽通過一定地點的子午線面，再到通過同一子午線面時的時間，叫做太陽日(Solar day)。再把一日的二十四等分，稱爲小時(Hour)，並再分爲分(Minute)和秒(Second)。

平常長短、質量、時間的三基本單位，用釐米、克、秒及其所誘導的單位如立方釐米等等時，叫做C.G.S.制單位。如以米、仟克、秒爲標準的，叫做M.K.S.制單位，實用上應用較多。

時間與時刻 由同一原因所起的事情，而週期返復的，我們亦常見之。這種現象，叫做等時性(Isochronism)，每次起同一現象的時間，若性質相同，則數了這種現象共起幾回，亦可

以決定時間的長短。例如晝夜交替的現象，爲古來最引人注意的一種自然週期現象，所以就在一晝夜採用爲時間的單位，作爲一日，又以月的朔望或春、夏、秋、冬等的週期現象，用作決定一月、一年等的單位。但是這樣決定的單位，不能作爲人類共通的單位，因爲假如把太陽出沒間作爲一日，則寒帶地方的太陽有久無日沒的一日，與溫帶地方的一日，便生很大的差異，又如以春夏秋冬爲一循環而決定一年，則在赤道直下無四季區別的，就失了意義，所以最合理的單位，以地球自轉對恆星所起一週轉作爲時間的單位，採用這種時間的單位的，叫做恆星日(Sidereal day)。但用恆星日爲單位，理論上固爲正確，實際上不甚便利，所以現在一般還是以平均太陽日(Mean solar day)爲單位。

測定時間的裝置，爲時計。古時所用的時計，有砂時計(Sand-glasses)、日時計(Sundial)、水時計(Water-clock)等。日時計以鉛直棒立於太陽中所生的影的位置，以測定時刻，中國古代的所謂日晷，就是日時計的一種。砂時計及水時計爲盛砂或水於一定的容器中，由容器的細孔所流出的砂或水的分量，以比較時間，廣東至今尚保存一銅壺滴漏，就是水時計的一種。伽利略注目於擺(Pendulum)的等時性以後，纔發明現在所用的鐘表。

時間(Time interval)爲時的間隔,時刻(Time instant)爲時的瞬間。決定時刻,非定測量時間的基點不可,即零時決定之後,以是經過一時間,稱一時,二時間稱爲二時,零時應以何時決定,在天文學上常以平均太陽在正中時爲標準,但實際上則以再差十二小時,用午夜爲一日的基點。惟太陽從地球上看起來,是由東而西的運動,所以東西兩地所見的太陽,在正中時的時刻,當然不同,這就是因地域而異的地方時(Local time),其相差因太陽每二十四小時環繞地球一週,所以每隔經度十五度而相差一小時。各地所採用的地方時既各不同,所以非有一標準時(Standard time),便彼此不易對照。世界上的標準時採用英國格林魏希(Greenwich)天文臺的時刻,所以照此計算,中國的沿海時刻,比英國快八小時,即英國正午與中國午後八時相當。所以英國以西隔經度 180 度處,其時刻便比英國遲十二小時。世界地圖上有所謂日變更線(Date line),就是表示各地時刻的變化的。

物質的屬性 凡在空中占有一定的空間,並可經我人的感官而知其存在的,叫做物質(Matter),所以地球上一切東西,多是物質,一定形狀的物質,而與周圍分離考察時,叫做物體(Body),單就物質的一點而論時,叫做質點(Particle)。物理學上所謂物質,多具下列的通性:

1. 不可入性 即占有一定空間的物體，已在其原有的位置時，不能再容其他物體同時占同一的空間。

2. 廣延性 一物體既占有若干的空間，所以有相當的廣延。這種性質，就叫廣延性(Extension)。

3. 多孔性 各種物質均有空隙，叫做多孔性 (Porosity)，但玻璃則屬例外。

4. 分割性 無論何種物體均能分割為微粒，例如糖入水則溶成均勻的甜水，就是物質分割性(Divisibility)的一例。

5. 壓縮性 一切物體受外力的影響，多能變更其形狀容積，叫做物質的壓縮性 (Compressibility)。被壓縮後又能回復原形，叫做彈性 (Elasticity)。惟理想上有不受力變化的物體，特稱剛體(Rigid body)。

6. 不滅性 物質祇能變化形態，不能無中生有，亦不能化有為無，宇宙間的物質，祇有變化而無消滅，叫做物質的不滅性(Conservation)。

物質的構造 根據物質的分割性，使一細粒的物體，一再分為極微的微粒，最後分至分子 (Molecule)，分子再分，則為原子 (Atom)，原子由電子 (Electron) 和陽核 (Positive nucleus) 而成。

分子的形體甚小，非肉眼所能見，但用顯微鏡觀察，知分

子亦能起一種布朗運動(Brownian movement)。(註一)分子的大小,學者已有種種的推算,以氫的分子而言,其實在形狀,雖尚未明瞭,但可視作球形計算,其直徑當爲 $\frac{2.32}{100,000,000}$ 毫米,可略寫爲 2.32^{-8} m.m.;但這樣的數字,不易得到一明確的概念,所以我們用皮球與地球的比例來比例之:

氫分子:皮球 = 皮球:地球,

地球的周圍爲四千萬米,其直徑爲 $\frac{4,000,000,000}{3.1416}$ 釐米,故上式當爲

$$\frac{0.232}{100,000,000} : \text{皮球} = \text{皮球} : \frac{4,000,000,000}{3.1416}$$

依比例的計算 $(\text{皮球})^2 = \frac{0.232 \times 40}{3.1416}$,

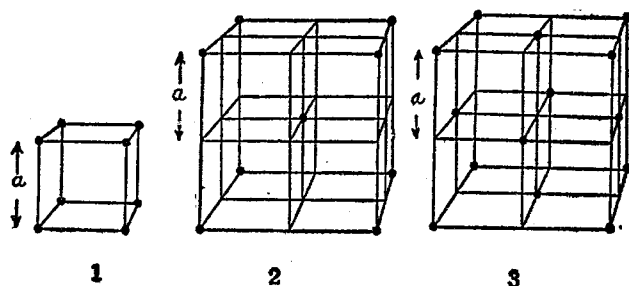
故皮球的直徑當爲1.7釐米。即氫分子對1.7釐米直徑的皮球的比例,與該皮球與地球的比例相同。至於氫分子一個的質量,爲 3.32×10^{-24} 克。(註二)

化學上知道分子由原子合成。例如氫的一分子由二原子而成,氧的一分子也是由二原子而成,所以分子可以分成原子。原子實爲構成物質的小粒,各種物體,其分子及原子均有一定的排列。關於原子的排列方法,有種種學說,自休萊(Häuy)提

(註一) 參考拙編概近化學概要第二章第四十九頁。

(註二) $10^{-2} = \frac{1}{100}$; $10^{-8} = \frac{1}{100,000,000}$, 餘照此類推。

倡所謂空間格子學說 (Space lattice theory) 以來, 勃來佛司 (Bravais) 更把這種思想擴充, 而成為最近物理學上關於物質構造上一種重要學說。據此說研究結晶的結果, 知道每一結晶, 其分子或原子多作整齊的排列, 且把排列的各原子的中心點, 互相連結起來, 成為一種格子, 且依照數學的理論, 這種格子的形式可以有 230 種。如第三圖表示, 屬於結晶學上所謂等軸晶系的原子的排列法。圖中 1. 是單一立方格子 (Simple cubic lattice) 式, 2. 為體心立方格子 (Body centered lattice) 式, 3. 為面心立方格子 (Face centered lattice) 式, 這是三種排列方法,

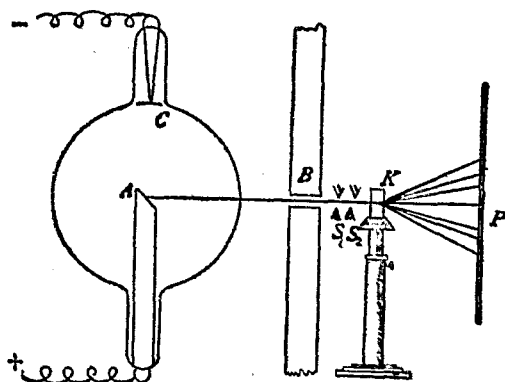


第三圖 結晶的空間格子形式(點為原子的中心)

彼此不同的, 祇要看圖中所表示的情形, 可以明瞭。例如食鹽的結晶中, 則Na(鈉)和Cl(氯)的原子均交互隔一定的距離而作立體的配排, 且極整齊。(註)自從發見X射線以來, X射線可

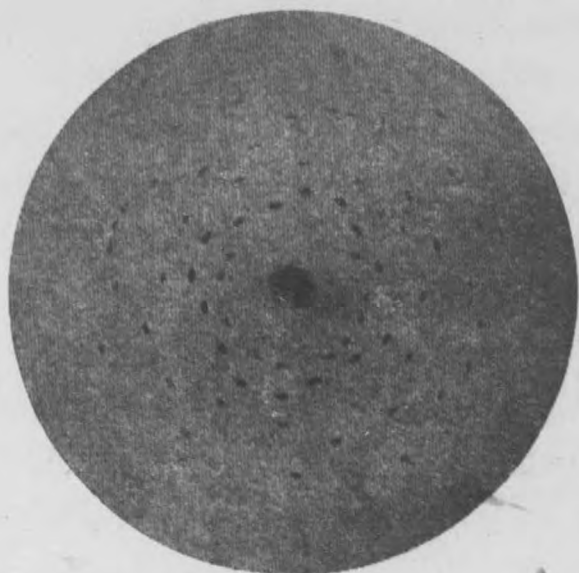
(註) 參照近代化學概要第十圖。

以透過物體，所以肉眼所不能見的物體的內部，可用X射線照相而觀察其內部的構造。勞厄(Laue, 1879-)應用了X射線作如第四圖的裝置，A為X射線管的對陰極(X射線詳本書第七章)， S_1 、 S_2 為細隙，K為結晶體，P為照相乾板，B為鉛板，用來防止其他X射線管所射出的X射線，影響於乾板P。有了這樣裝置，



第四圖 實驗空間格子的裝置

由A所放出的X射線，經過 S_1 、 S_2 的細隙，而照射於結晶體，通過結晶體後起一種的曲折，而照射於P的照相乾板。其結果正和勞厄氏所推想的情形相符，結晶體中的空間格子受X射線的作用而映於乾板上變成斑點，這種斑點，現在物理學上就叫做勞厄斑 (Laue's spots)。均作同心圓對稱的排列，由照相上所表現的斑點的距離，可以測定各原子的在結晶中的空間格子的距離，同時更可利用此法以研究X射線的波長，實為近代



第五圖 勞厄斑(閃鋅鐵 ZnS 的結晶)

物理學上一重大的發見。(註)

至於原子內部的構造又爲近年物理學最有長足進步的一部分，當於電子論一章中詳述之。

質量密度和比重 上面已經講過伽利略把大小不同的物體，從高塔落下，均同時落地，這種作用，由於地球的引力，叫做**重力**。因有重力，所以物體有重量。重量在同一地方，與質量

(註) 勞厄氏因這個發見於1914年得諾貝爾獎金。

(Mass)成正比例,所以由重量可以表示物體的質量。但重量與質量並非相同,例如同一質量的物體,在高山上比在平地所受的重力,略有減少,所以在高山上的物體,如不用平常的天平及砝碼來秤,而用彈簧秤(Spring balance)來秤時,彈簧秤在高山所受重力不同,所以物體在高山上用此秤秤得的結果,必較平地稍輕。惟天平則砝碼本身亦依地方而起與所秤物體同一比例的變化,故所秤得的結果相同。

10立方釐米的石,假定其質量為25克,則此石的每一立方釐米有2.5克的質量。此時該石的密度(Density),就稱為每1立方釐米為2.5克,換言之,即密度為單位體積的物體的質量。如有M克質量的物體,占體積V立方釐米,則其密度用d來表示時,

$$d = \frac{M}{V} \text{ 克/立方釐米(g./c.c.)} \dots\dots\dots(1)$$

還有所謂比重(Specific gravity)是指各種物質的質量對於同體積的4°C.的水的質量的比例。但4°C.的水,每一立方釐米適等於1克,所以任何物質,如以每立方釐米克作單位,表其密度時,其所表的數值,同時即為比重的數值。但比重為純粹的數字,無需單位,這是與密度相異之點,主要物質的比重及C.G.S.制的密度的數值(密度為克/立方釐米,或g./c.c.)表示於下:

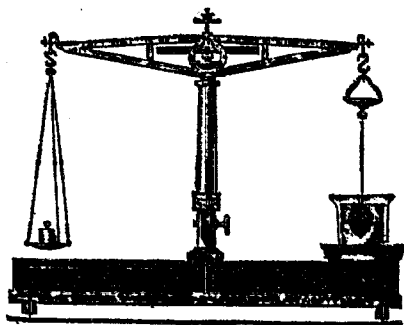
鉛	21.5	銀	10.5	玻璃	2.4—2.6	酒精	0.807
金	19.3	銅	8.9	人體	0.9—1.1	牛乳	1.03—1.04
水銀	13.6	鐵	7.4—7.9	冰	0.911	軟木	0.22—0.26
鉛	11.3	鋁	2.7	石油	0.68—0.72	海水	1.03

測定質量用天平,或彈簧秤,彈簧秤的種類甚多,但其原理大多相同,至於比重的量度方法,應用前述的阿基米得原理,例如有一固體在空氣中的重量為 W ,再在水中秤之,其重量為 W' ,則與此物體為同體積的水的重量,當為 $W - W'$,故此物體的比重(以 S 表示之)為

$$S = \frac{W}{W - W'} \dots\dots\dots (2)$$

如測液體的比重,可先將一物體在空中測定其重為 W ,再在水中測定其重量為 W' ,再將該物體放於欲測定比重的液體中,測定其重量為 W'' ,則該液體的比重 S ,可由下式算出之:

$$S = \frac{W - W''}{W - W'} \dots\dots\dots (3)$$



第六圖 水秤

測上述物體在水中的重量時,所用天平,與普通有雙盤的天平不同,一盤有鉤可以懸物,而沉於水中,叫做水秤(Hydrostatic balance),如第

六圖即為應用阿基米得原理而成的水秤，又用比重瓶(Pyknometer)，亦可測度液體的比重，其用法係將所測的液體盛於該瓶，使液面升至瓶中一定標記為止，此時瓶內液體成為一定的容積，測得其重為W，然後傾去此液，再盛蒸溜水而測得為W'，則如瓶重為w，此液的比重當為

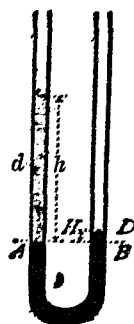
$$S = \frac{W-w}{W'-w} \dots\dots\dots (4)$$

金屬的細片及不溶解於水的粉末細砂等，均可用比重瓶求其比重。

又不用天平而用U字形連通管，亦可測液體的比重。此管中盛以水銀，兩管的水銀面本在同一水平線，但如第七圖，一管中再注入水時，水銀升至D，水在A水銀面上有h的高度，水銀在B水銀面上有H的高度，二者依液體在連通管內水面所受壓力彼此相等的原理，及水與水銀比重的關係，應成立下列的關係(水銀比重為D，水比重為d)：

$$HD = hd, \therefore \frac{D}{d} = \frac{h}{H};$$

所以 $\frac{D}{d}$ 即為水銀的比重。依同一理由，即可間接測定其他各種液體的比重。



第七圖
液體的比重

此外更有簡便的方法，則為比重計(Hydrometer)，即在玻璃管的下部，封入水銀等物體，管的上部則刻以度數，此管放

於液體中其與液面相平的管上的刻度，即為液體所示的比重的數值。

第 二 章

運 動 和 力

運動和速度 物體停留於一定的位置時，叫做靜止(Rest)，隨時間而起位置的變化時，叫做運動(Motion)。所謂位置，當然祇能依一定標準而決定該物體的相對的位置，便利上常以地球作為不動的物體而比較考察之。物體依時間而起位置變化的比例，稱為速(Speed)；以單位時間(用C.G.S.單位時為1秒鐘)內通過的距離來測定之，稱為每秒幾釐米，或簡稱幾秒釐米，亦稱幾釐米秒。表示運動的快慢及其方向的量，叫做速度(Velocity)。(註)

物體的速度，必須把運動的方向亦同時考慮，已如上述。在相等時間內通過相等距離的運動，可以分為兩種：一種是像鐘表的針，時時刻刻變更其方向的，還有一種沿直線而運動，其方向却不起變化的。這兩種運動，都可視為等速運動，但應加以區別，前者可稱等速運動，後者可稱等速度運動。又像飛於高空的鳥，有時飛得快，有時飛得慢，又像拋石於高空而落下時，其速亦次第增加，這種的情形，叫做不等速運動或變速

(註)速度的記錄(Record)，飛機每小時658千米，汽車396千米，汽油船177千米，火車125千米。

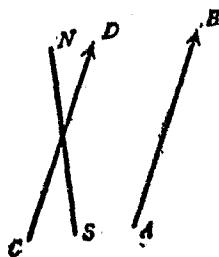
運動。

等速運動，假定物體在 t 時間內，通過距離為 S 時，其速度 v 可依下列的簡單公式表示之：

$$v = \frac{S}{t}, \quad \text{或 } S = vt.$$

不等速運動的速度及方向，既隨時起變化，所以不能用一定的公式表示之，但取其位置變化中一瞬間的距離變化而考察時，則其短時間內的運動量，即為該短時間的運動速度；其短時間內的方向，即為運動的方向。

等速度的運動，可用直線表示之，即以直線的長短，表示單位時間內通過的距離，並用矢來表示其方向。例如第八圖，如有 1 秒間以 3.6 釐米的速度，向東北運動的物體，可用 AB 或 CD 的直線表示之。但 AB 或 CD ，以及與 AB 平行的無數直線均可表示上述條件



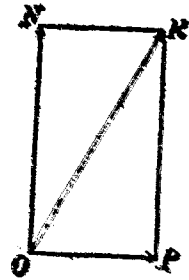
第八圖
運動的表示法

的速度，所以速度為祇與大小及方向有一定的關係，而與位置為無關係的量。

設有人在船的甲板上運動，船對於海面正在向一定的方向航行。此人如以每秒走 200 釐米的速度，與船的頭尾正中線作 90 度的垂直方向，向船的一側進行，這 200 釐米當然是以船

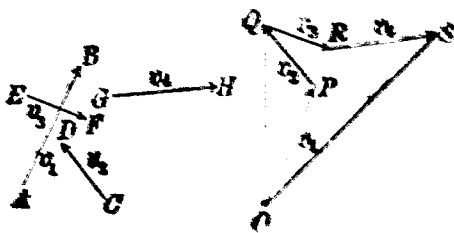
上的一定點為憑依而測算的。若船再以每秒500釐米的速度，向北航行時，此人的運動速度，應如何決定，我們當加以考慮之。

假如船上此人並未運動而靜止時，則如第九圖，此人便與船同樣以每秒500釐米的速度，由O而向N進行，即測人的運動速度的標準點，在海面上曾向N運動，故得這



第九圖 合成運動

樣結果。又如船在停止的狀態，而船上的人以每秒200釐米的速度向東運動，則該人由O移至P的位置，對於海面亦運動了每秒200釐米。若兩種運動同時進行時，船以每秒500釐米的速度，由O而至N，人以每秒200釐米的速度，由O至P，如於N點作一與OP平行的直線NR，NR即等於在船上運動的人的實際運動速度，所以一秒之後，人對於海面，實為由O移至R，即為兩種運動同時所併成的合成運動 (Composition of motion)，其

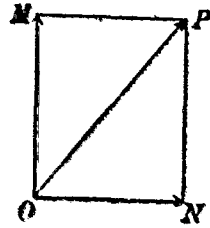


第十圖 運動的合成進行

原在於兩運動，叫做合成運動的或分 (Composition)，從這也可以見到由兩成分，求合成運動的速度，可用剛或

分的速度(即大小與方向)各用直線表示之,作成一平行四邊形,其平行四邊形的對角線,即為所求的兩運動的合成運動。

這個方法擴張起來,可以求多數運動的合成運動。又不用平行四邊形而單將第九圖的 ON 、 NR 兩成分的 OR 連結起來, OR 亦可表示合成運動。應用這簡單的方法如第十圖,如有 v_1 、 v_2 、 v_3 以及 v_4 速力的物體,依如圖所示的方向運動,亦可知該圖中的右圖將 v_1 、 v_2 、 v_3 、 v_4 諸運動的方向及大小,合併起來成爲 OS ,此 OS 即為各運動的合成運動。



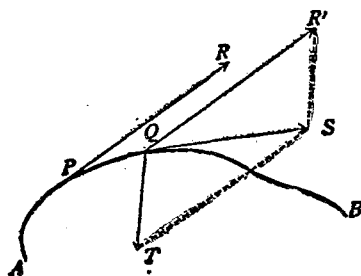
一個運動又可分解為若干運動,今假定如第十一圖的 OP 直線表示一運動的方向及大小,由 O 點任意作 OX 及 OY 兩直線,其直線所夾的兩直線,更由 P 作垂直於 OX 及 OY 上的直線,則 OX 及 OY 的方向及長度,即表示由 OP 所分解而成的兩運動。

加速度運動 單位時間內所起速度變化的比例,叫做加速度(Acceleration)。表示加速度,可用時間與速度合併表示之。例如:一物有每秒變化的速度變化時,其加速度即為每秒變化的速度變化,即每秒變化的速度,加速度的值有為正的,亦有為負的。例如火車最初開行時,速度大的增加,此時的加速度為正值。又如火車將停止時,速度大的減少,此時的加速度為負值。

今假定有一物體作直線運動，其初速度為 v_0 ，經 t 秒後而速度變為 v ，其間平均加速度為 a ， a 的值如下：

$$a = \frac{v - v_0}{t} ; \quad v = v_0 + at \dots \dots \dots (5)$$

速度和方向同時起變化的加速度，可用下列的作圖方法以推測之。例如物體沿 AB 曲線而運動， P 點的速度為 PR ， Q 點的速度為 QS ，則該物體由 P 點至 Q 點的速度的變化，為 $PR (=QR')$ 變為 QS ， QS 又可視為 QR' 與 QT 的合成運動，所以



第十二圖 加速度

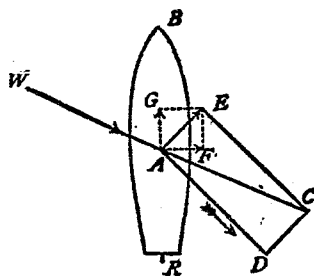
• 結局由 P 進至 Q 其間已增加了 QT 的速度。假如其間所經的時間為 1 秒間，則 QT 即為單位時間內所起的速度的變化，即為該運動的加速度。

力和重力 使靜止物體起運動，或使運動的物體停止的外界作用，叫做力 (Force)。表示力的方法，亦與運動一樣可用圖示法，但力有三要素即大小、方向及力的作用點，故表示力的直線，必須以力的作用點為起點，畫一直線，表示其大小及方向，並適用前述的合成及分解的各作圖法。今表示此種平行四邊形圖示法，可以帆船利用風力而進行的例以考察之。

如第十三圖中的 BR 為帆船，有風 (W) 由左旁而來，其大

小及方向用AC表示之，AC之風力，分解為直角的AE及AD兩力，AD與船帆(AD)平行不生作用，故實際上AE為帆所受的風力。AE又分解為互相垂直的AF及AG兩力，AG為推進船向前進的風力，AF為使船向側傾斜的力，故調整AD即帆的位置，可使風力分解的結果，AG大於AF，而船的前進更速。

至於平行兩力同時作用於一物體時，則其合成力等於二力的和或差。



第十三圖 船帆所受風力的分解

又如有大小不同的兩平行力，其作用點不同，且其方向相反時，則此二力不能求得合力，且此一對的力，作用於一物體時，該物體不起變位置的運動，而在同一的位置內迴轉。這一組的力，特稱為力偶 (Couple)。鐘表的卷彈簧的鍵，開汽車的迴輪，都是力偶作用的應用。

門戶的柄，距戶樞愈遠，啓閉愈易，可知着力點與固定點的距離有密切的關係，這個距離，叫做力臂 (Arm of force)，力臂和力的相乘積，稱為力矩 (Moment of force)，物體被轉動的程度，由力矩而定。

前面講過地球有一種引力，這種引力對於物體如何起作

用，值得我人的考查，現在多知道物質的各質點，悉受重力的作用，但如求得各質點所受的重力的合力，這合力就表示該物體的完全重量，合力常通過物體固有的某定點，此點就叫做物體的重心(Center of gravity)。求物體的重心，可於物體的任意各點穿孔或縛線而懸垂之，其各鉛垂線的交叉點即為重心。

力的單位，在 C.G.S. 制為作用於 1 克的物體上，發生 1 每秒每秒釐米的加速度的力，稱為 1 達因(Dyne)，為力的絕對單位。

運動的定律 靜止的物體，要使其動，非加以適當的力不可；正在運動中的物體，要使其變更速及方向，亦非有外力不可。這樣的非受外力的影響，靜止的物體永遠靜止，運動的物體永不變其速度，叫做牛頓的運動第一定律，或稱慣性定律(Law of inertia)。這種維持物體的靜止及運動現狀的性質，叫做慣性(Inertia)。例如火車突然開車時，乘客常向後傾，就是慣性的結果。跳遠及跳高時，常先跑數十步而後跳，也是利用慣性的一種方法。

反之，加一力於靜止的物體，開始運動；加一力於運動的物體，可變更其運動的速度，所以外力作用於物體時，能生速度的變化，即生加速度。因加力於物體，而生的加速度，其大小與所加的力成比例，與物體的質量成反比例，這就叫做牛頓的運動第二定律，又稱為力的獨立作用定律(Law of indepen-

dence of force)。例如二人撐船，比一人撐船，生二倍的加速度，就是這個定律的一種表示。第二定律，用了適當的器械可以確切證明，且如下面所講的萬有引力作用的遊星運動的精密觀測的結果，亦與理論相符。但最近自愛因斯坦的研究發表以後，知牛頓的第二定律，稍有修正的必要，即照第二定律的原有意義，不論正在運動的物體的速度如何，均生與力的方向及大小成正比例的加速度。但照愛因斯坦的學說，加外力於靜止的物體時，固依照此定律發生加速度，但已有一定速度的運動物體，再加以外力時，所生加速度的方向，未必與所加的力的方向相一致，且加速度的大小，雖與運動物體的原有速度有關係，但力與加速度的關係，則並非如此簡單。不過愛因斯坦所講的，是對於與光速度 3×10^{10} 秒釐米相近的速度極大的運動體而言，普通物體的運動，例如砲彈的速度，僅 10^6 秒釐米，所以這種影響，可以忽視，而牛頓的第二定律仍不失其精確度的。

同一的力，加於各種物體，所生的加速度依物體而異，同一物質的物體，加力而生加速度時，則其加速度與物體的體積成反比例。物理學上質量 1 克的物體，使其生每秒 1 秒釐米或簡稱 1 秒秒釐米的加速度的力，叫做 1 達因(Dyne)，為力的絕對單位。質量 m 克的物體，加 f 達因的力，生 a 秒秒釐米的加速

度，則依此定律可用式表示如下：

$$a = \frac{f}{m}, \quad f = ma \dots \dots \dots (6)$$

質量與速度的相乘積，叫做動量 (Momentum)。f 達因的力，作用 t 秒後，而 v_0 的速度變為 v 的速度，則其加速度 a 等於 $\frac{v-v_0}{t}$ ，物體的質量為 m 克時：

$$f = ma = m \frac{v-v_0}{t},$$

所以 $ft = m(v-v_0) = mv - mv_0 \dots \dots \dots (7)$

是即表示加力於物體，則在力的方向起動量的變化，其大小等於力的大小與作用時間的相乘積。力與時間的相乘積，叫做衝量或稱力時積 (Impulse)，其值大者，效率亦大。

又物體最初為靜止時， $v_0 = 0$ ，故由公式(7)，又可變成

$$ft = mv,$$

由此可知欲使質量大的物體，突然開始運動，需要較大的力，反之雖屬力小，如長時間作用之，亦可使物體次第增加速度。又如具有大動量的物體，使其突然停止，需要強力，用鐵槌擊釘，釘易深入物體，怒濤擊破海堤，火車衝突發生傾覆，都是屬於後者的實例。

船頭用竹桿撐岸，則船離岸，水面欲牽他船靠近，自己的船反亦同被牽引，足見物體 A 加力於物體 B 時，同時 B 亦有一種的力及於 A，這種作用，一稱作用 (Action)，一稱反作用

(Reaction)。作用與反作用大小相等而方向相反，這就叫做牛頓的運動第三定律，又稱反作用的定律 (Law of reaction)。鳥的飛翔，魚的游泳，人的步行跳躍，都是反作用的利用。

萬有引力及落體運動 牛頓證明宇宙間一切的物體，多依一定的定律，而互相牽引，這種的力，叫做萬有引力 (Universal gravitation)。萬有引力與兩物體的質量相乘積成正比例，與兩物體的距離成反比例，這就所謂萬有引力定律 (Law of universal gravitation)。今以二物體的質量各為 m 克及 m' 克，其距離為 r 釐米，萬有引力的大小為 f 達因，其關係如下式：

$$f = K \frac{m \cdot m'}{r^2} \dots\dots\dots (8)$$

遊星沿一定的軌道，回繞於太陽的周圍而運行，完全由於太陽與遊星間有萬有引力之故。地球上的物體與地球間的萬有引力，便成為前述的重力，所以物體的質量為 m 克，地球的質量為 M 克，地球的半徑為 R 釐米，地球與物體間的萬有引力應為 $K \frac{Mm}{R^2}$ 達因。

地球上每一地點的 $K \frac{M}{R^2}$ 常為一定，所以物質的重量與質量成正比例，重量可以表示質量。上述的 K 為萬有引力的常數，其值為 6.6579×10^{-8} 達因。

地球上物體既常受重力的作用，所以落下的物體，在其落下的方向，生一定的加速度，這就叫做重力的加速度，普通用 g 來表示之。 g 的數值，與質量無關，常屬一定。在無空氣抵抗的真空中，羽毛與鉛球同時落下。惟嚴密言之， g 的數值依地方而稍有不同。我國大體上可視為 980 秒秒釐米。

關於重力的加速度運動，伽利略 在三百餘年前，曾在披薩 的斜塔上令石落下，知不論石的大小常同時落地，這個著名的實驗，實開近代物理學研究的導線，現在知物體的重量即為重力作用於該物體的數值，所以質量 m 克的物體的重為 mg 達因，1 克的重，即為 980 達因。

物體落下時的加速度為 g 秒秒釐米，落下開始後 t 秒的速度為 v 秒釐米，則

$$v = gt \dots\dots\dots(9)$$

又 t 秒間落下的距離為 S 釐米，則

$$S = \frac{1}{2} gt^2 \dots\dots\dots(10)$$

以上兩式相消時，則得

$$v^2 = 2gS \dots\dots\dots(11)$$

即落下速度的自乘數，與落下的距離成比例。

以上所述的落體運動，是自由落下性質的落體運動，但用力拋上及投下時，性質又屬不同。例如以初速度 v_0 秒釐米的

速度，向上沿鉛垂方向拋上時，因初速度與重力 g 的方向相反，故加速度為 $-g$ 秒秒釐米，經 t 秒後的速度為 v 秒釐米，則其運動的公式當為

$$v = v_0 - gt \dots\dots\dots (12)$$

在此時間內物體如上昇到 S 釐米的距離，不能再昇，其間可視為用初速度 v_0 與最後速度 v 的平均速度而進行，故所通過的 S 距離當為

$$S = \frac{v_0 + (v_0 - gt)}{2} \times t = v_0 t - \frac{1}{2} gt^2 \dots\dots\dots (13)$$

以上兩式合併時，則成

$$v^2 = v_0^2 - 2gS \dots\dots\dots (14)$$

又昇至最高點時， $v=0$ ，故如其高度作為 h 釐米，則依上公式得

$$h = \frac{v_0^2}{2g} \dots\dots\dots (15)$$

又物體由高處沿鉛垂線投下時，可依同一的計算法得下列三公式：

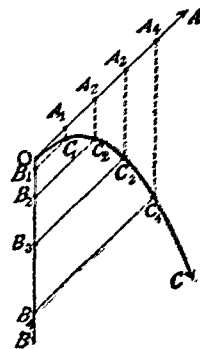
$$v = v_0 + gt \dots\dots\dots (16)$$

$$S = v_0 t + \frac{1}{2} gt^2 \dots\dots\dots (17)$$

$$v^2 = v_0^2 + 2gS \dots\dots\dots (18)$$

至於向斜的方向拋上一物體時，則其所經過的路線為一曲線，此時物體的運動可視為被拋出的方向的等速度運動與自由落下運動的合成運動。

如以初速度為 v_0 ，而向 OA 的方向
 拋出，該物體在途中如不受其他的外力
 影響，1 秒鐘後應達 A_1 點，2 秒後達 A_2
 點，直至 t 秒後達 $v_0 t$ 點。又如該物體為
 自由落下時，1 秒後應落至 B_1 ，2 秒後應
 落至 B_2 ，直至 t 秒後應落至 $\frac{1}{2}gt^2$ 點。此
 兩運動，為一物體同時所起，故依前述的
 合成運動的原則變成 1 秒後為 C_1 ，2 秒
 後為 C_2 ，實際上所經的路線，沿 OC 的曲

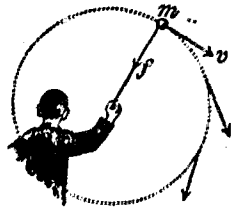


第十四圖 拋物線

線而進行，這個曲線就叫做拋物線 (Parabola)，其物體叫做拋
 射體 (Projectile)。

圓運動和迴轉體 用繩一條，一端繫以石塊，他端持於手
 中向空中迴旋，則石以手為中心，作一種圓運動 (Circular mo-
 tion)。此時石的速雖一定，但其方向刻刻變化，故其速度是有
 變化的。在等速圓運動時，亦有力在
 作用，這種的力常向圓的中心，所以
 稱為向心力 (Centripetal force)。

石塊因向心力而能繼續作圓運
 動，但一旦繩索放手或切斷，則向心
 力停止，而石以切斷時的速，在該點

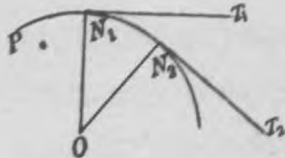


第十五圖 圓運動

向該點的切線方向飛去。今以質量 m 克的物體，用 v 秒釐米的速度，作半徑 r 釐米的圓運動時，其向心力需要 f 達因，關係如下：

$$f = \frac{mv^2}{r} \dots \dots \dots (19)$$

若由中心牽引的力，小於上式的關係時，便不能作半徑 r 釐米的圓運動而向圓外飛去。把溼傘迴轉，可使水滴由傘面飛散，疾走中的汽車的橡皮輪常有許多的泥土飛散，就是此理。



第十六圖 曲線運動

許多曲線運動，切其一部分看起來，亦可視為圓運動，所以也有向圓的中心方向的向心力。火車及電車等有在彎曲的軌道上通過的，這種彎曲的外側的軌道，往往造成比內側的軌道稍高，人及腳踏車跑過彎曲處時，人體傾向內側，都是用重力的水平的分力，以抵當此向心力的結果。



又如地龍、地球儀、車輪等常有直線的軸，

第十七圖 腳踏車通過彎曲處時之狀

並能在軸的周圍迴轉，叫做迴轉體 (Revolver)，此軸就可稱迴轉軸。今在該迴轉的物體上，假設任意 A、B 二點，二點與軸的距離各不相同。A 點與軸相離 50 釐米，B 點與軸相離 100 釐米，物體每一迴轉，A 點在 $2\pi \times 50$ 釐米的圓周上迴轉一圈，B 點在 $2\pi \times 100$ 釐米的圓周上迴轉一圈，故 A、B 兩點的速為 100π 及 200π ，即其速與半徑成比例，且每分鐘迴轉的次數，即所謂週期 (Period) 亦相等，足見與迴轉軸相距距離不同，各點的迴轉速度，與軸的距離成比例，而週期則相等。普通以離軸一釐米的距離的一點的速，作為迴轉的速的標準。

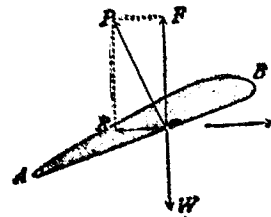
摩擦和阻力 桌上的物體，雖受重力的作用，仍靜止於桌面，這是因為桌對該物體亦發生一種的力，此力適與重力相平衡，所以靜止不動，這樣的妨礙物體運動的力，叫做阻力 (Resistance)。

平滑的面上，物體祇受該面的垂直方向的阻力。如粗糙的面，用力將物體在面上推動時，又受平行方向的一種的力，阻止物體的運動，叫做摩擦力 (Friction)。但推動的力次第增加時，到了一定的程度，又能使物體滑動，所以摩擦有一定的限度，這種限度，就是物體的最大摩擦 (Maximum friction)。最大摩擦的大小，依相接兩面的性質而異，並與兩面間的壓力的大小有關係，實驗的結果，得下列的定律：即兩面間最大的摩

擦，與其間的壓力成正比例，與面的大小無關係。

物體在沿他物面滑動的時候，也起一種的摩擦，叫做滑動摩擦(Sliding friction)。滑動摩擦的強度，常較最大摩擦稍小。滑動摩擦時往往發熱，為我們日常生活所常經歷的。車輪加油是減少摩擦的一種方法。又物體在空氣或水等流體中運動時，物體與流體衝突，物體對於流體生一種的力，同時物體又受流體的反作用，這種反作用，叫做流體的阻力。流體阻力以在下列諸條件時為最大：(1)流體的密度愈大者；(2)物體的速度愈大者；(3)與運動方向成直角的橫斷面愈大者。飛機的推進器(Propeller)及舵都是利用阻力而成的。

飛機為利用空氣阻力的最巧妙的裝置，其主要部為翼、舵、推進器、發動機四部分，由發動機將推進器迴轉後，並將空氣押至後方，因空氣的反作用而機體前進。翼的前緣稍高，故機體前進時，在機的下面生風的壓力。風壓的水平分力，被推進機的前進力而打消，祇有鉛垂分力變為浮起機體的力，此力超過於該飛機的重量時，飛機即行上昇。所以飛機必先向前進，方能上昇，離陸前常見機先向前推進，即為此故。



第十八圖
飛機翼的力的分力

第 三 章

功 和 能

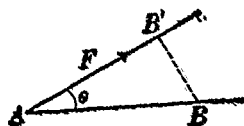
功的定義和單位 一物體受一種的力而動時，稱此力對於該物體作功或工作 (Work)。功的大小，由作用的力 f 及與作用力同一方向而運動的距離 S 的相乘積 fS 測定之。如以 W 表示功，則

$$W = fS \dots \dots \dots (20)$$

又如物體上的作用點的移動距離與作用力的方向，不在一直線上時，則將其改成作用力的方向而測之。例如第十九圖 F 為力，力作用後，物體由 A 移至 B ，

則其 W 可如下表示：

$$W = F \cdot AB \cos \theta$$



第十九圖 功的表示法

功的單位，可以 1 達因的力，依力的方向運動 1 釐米時的功為標準，此量稱為 1 爾格 (Erg)，惟此值太小，不適於實用，所以實用單位中，以爾格的一千萬倍，即 10^7 爾格，為功的單位，叫做 1 焦耳 (Joule)，熱學及電學上常用之。

又力的單位中還有所謂重力單位 (Gravitational units) 的，即以重量作為力的單位。例如稱 1 仟克的力，或 1 克的力，此

時用力的重力單位與長的單位連結之，便成功的重力單位，例如稱克釐米 (Gram-centimeter) 的功、克米 (Gram-meter) 的功等。1 仟克米 (Kilogram-meter) 的功等於 9.80 焦耳。

單位時間所作的功，叫做功率 (Power)，如在 t 時間內所作的功為 W ，則功率應為 $\frac{W}{t}$ ，如以 P 表示功率，則得下列的關係：

$$P = \frac{W}{t} \dots\dots\dots (21)$$

在 C. G. S. 制以每秒間作一焦耳的功的單位，叫做瓦特 (Watt)，其千倍叫做仟瓦特 (Kilowatt)，發電機上的量，亦用此計算之。功率的單位除用仟瓦特以外，還有一種常用的單位為馬力 (Horse power)，即為每秒間能作 75 仟克米的功率，其間的關係為

$$1 \text{ 馬力} = 736 \text{ 瓦特。}$$

又有所謂英馬力，即以每秒間能作 550 英尺磅 (Foot pound) 的功率，其 1 英馬力等於 746 瓦特。

能的定義和種類 物體作功的原因，在於該物體具有一種的能 (Energy)。例如水流下時，可以使水車迴轉，作一定的功，這種的功，就是因水有能的緣故。放射的子彈，可以穿過木板，火藥爆發可以破壞岩石，這都是具有能的結果。

普通在運動中的物體所具的能，叫做動能 (Kinetic ener-

gy), 水在高處流下前所具的能, 叫做位能 (Potential energy)。能的量常用物體所作功的量以測定之。

今有質量 m , 速度 V 的運動物體, 受了一定大小的阻力 F 的作用, 而進行的速度改變為 v , 計算其所作的功如下:

今假定物體速度 V 變為 v 為止, 其間物體會移動 S 的距離, 則照前述的落體運動公式

$$v^2 = V^2 - 2aS \dots\dots\dots (22)$$

a 為此時的加速度的大小, 依運動的公式

$$F = ma, \quad \therefore a = \frac{F}{m}.$$

所以把此值代入上式, 則得

$$v^2 = V^2 - 2 \frac{F}{m} S \dots\dots\dots (23)$$

此時所作的功為 W , 則

$$W = FS = \frac{mV^2}{2} - \frac{mv^2}{2} \dots\dots\dots (24)$$

所以使此物體靜止為止, 即 $v = 0$ 為止, 所作的功, 換言之即物體所具有的動能 (E_K), 實依下式可以決定之:

$$E_K = \frac{1}{2} mV^2 \dots\dots\dots (25)$$

例如質量為 1 仟克, 速度為 5 秒米的運動, 物體的動能可依上式求之, 即

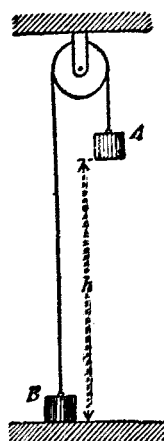
$$E_K = \frac{1}{2} \cdot 1000 \times 500^2 = 1.25 \times 10^8 \text{ 爾格} = 12.5 \text{ 焦耳}.$$

至於位能, 亦可用一定的方法求之。例如有質量 m 克的 A 、

B 二物體用繩索聯絡之，作為一定滑車。
 A 如吊於 h 釐米的高處，而 B 靜止於地面，如用一小小的衝動，使 A 由高處落下，則 A 落於地面而靜止，同時反將 B 由地面牽引至 h 釐米的高處而靜止，此時 A 對於 B 作了使 B 移動 h 釐米即 mgh 爾格的功，這功為 A 的位能所作的功，所以如以 E_p 表示位能，則

$$E_p = mgh \dots\dots\dots (25)$$

位能與動能可合稱為機械能 (Mechanical energy)。



第二十四圖
位能的實驗

能的變換和能的不滅 高處的水含有位能，但落下時變為動能，此時迴轉水車而發電，又變為電能 (Electrical energy)。電由電線而送至變電所 (詳見電磁章)，再連於電燈，則又變為熱或光的能。

由火藥爆發所射出的子彈，為火藥的化學能 (Chemical energy) 變為子彈的動能，子彈穿過物體時，破壞物體而變為熱能。這樣可知能的種類甚多，且都彼此可以變換。又可由一物體而移於他物體，能雖可以變更其形式，或由一物而移於他物，但假定有質量 m 克的物體在 h 釐米的位置落下而達地面，得

v 秒釐米的速度，此時所失的位能為 mgh 爾格，所得的動能為 $\frac{1}{2}mv^2$ 爾格。依前述的公式(11) $v^2 = 2gh$ ，所以此式的二邊各乘 m ，再用 2 除之，則得

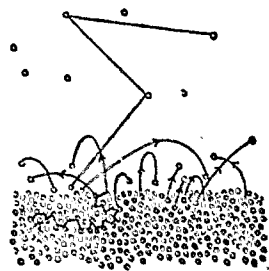
$$\frac{mv^2}{2} = mgh,$$

所以位能等於動能。足見位能變為動能時，能的分量並無得失。這樣的能可變換，但其總量不起變化，叫做能量不減定律 (Law of the conservation of energy)。

熱的本質 熱也是能的一種形式，上節業已述及。氣體壓縮時生熱，氣體膨脹時冷卻。就氣體被壓縮時的情況而論，此時由外部作一種的功而機械能變為熱能。膨脹時氣體對於外界作一種的功，故熱能變為動能。又子彈穿過物體時破壞物體而生熱，也是動能變為熱能。火叉燒紅則發光，是熱能變為光能的一例。一定量的氣體，密封於一定的體積的容器中而加溫時，則其壓力增加，這也是熱能變為機械能的結果。從以上各點看起來，熱是一種的能，已甚明瞭。但古來學者對於熱的本質，却曾有種種學說，其中比較在物理學上曾有相當的勢力的，為熱素說 (Caloric theory)，所謂熱素 (Caloric)，是一種無重量的具反撥性的物質，物體內這種物質增加時，溫度便上昇，減少時則溫度下降。這種學說，從來確曾用來說明熱的種種現象，例

如物體的溫度上昇而重量不變，由於熱素沒有重量，溫度增加而物體膨脹，由於熱素有反撥性。但摩擦可以發熱，這一種現象，却為此說所不能說明。從分子運動學說來看起來，則摩擦亦易解釋，所以現在關於熱的本質問題，多從分子運動說說明之。

我們已經講過物質均由分子構成，分子的容積大小，為肉眼所不能觀察，但用限外顯微鏡(Ultra-microscope)已證明分子確有運動。氣體分子的運動速度最大，故常與容器壁衝突而生壓力。氣體壓力的強度，以在單位體積中分子數愈多及各分子的速度愈大，而壓力亦愈大。但如上述一定量的氣體，密閉於一定體積的容器中而加熱，則溫度增加而壓力亦增加，這壓力增加的原因，當歸諸各分子速度增加的結果。依此而推論，熱當為分子運動的能，氣體溫度的高低，可由分子速度的大小而定。例如用打氣筒壓入空氣於筒內時，空氣分子與壓下的活塞相衝突，而被反撥，因而分子的速度增加，溫度上昇。蒸汽機的汽筒內的水蒸氣分子，在活塞由汽筒抽出時，分子的運動速度減小，故溫度下降。液體分子依溫度的上昇，振動亦盛，遂由液面跳出的分子數，亦見增加，但跳出液面的



第二十一圖
液體分子飛散的狀況

分子，又受液體內分子的吸引而落回水面的，亦頗不少。這正如拋於高處的拋物體，因地球重力的吸引而再落於地面的情形相同。惟速度較大的分子，則飛出液面後，不再回至液面，形成蒸發的現象，因速度大的分子，漸次由液面逸散，而祇留剩運動不甚活潑的分子於液體內，所以蒸發的結果，液體的溫度次第下降。物體加熱，不單增加分子運動的速度，且其重量並不變化，運動活潑的結果，可使相互間的反撥性增加，並使分子間間隔離開，遂變成物體膨脹的現象。

熱與物體的膨脹 因熱而起物體的膨脹，在固體、液體及氣體均能見之。先講固體的膨脹。例如加溫於棒，每增加溫度攝氏 1 度，在單位長度所起的伸長，叫做線脹係數(Coefficient of line expansion)，其數值依物體而有一定。今假定棒的長為 l ，溫度增加攝氏 t 度而其長延長為 l' ，則其線脹係數 a 為

$$a = \frac{l' - l}{lt}, \quad \therefore l' = l(1 + at) \dots \dots \dots (26)$$

又物體增加溫度攝氏 1 度，在每單位體積中所起的體積的增加，叫做體脹係數(Coefficient of voluminal expansion)，如體積為 V 的物體，溫度昇至攝氏 t 度而體積變為 V' 時，則其體脹係數 b ，可依下列的算式算出之：

$$b = \frac{V' - V}{Vt}, \quad \therefore V' = V(1 + bt) \dots \dots \dots (27)$$

體脹係數為線脹係數的三倍。如玻璃等的容器加熱時，其容積

亦起膨脹，正如充滿物體時一樣。

液體的膨脹係數，比固體的膨脹係數更大，如第二十二圖的裝置，把水盛於燒瓶中而加熱，則溫度上昇，水面亦次第上昇。此時真正水的膨脹應將該瓶內全體積的膨脹減去燒瓶的膨脹。液體之中，水的膨脹與其他一般液體不同，溫度自攝氏零度上昇，其密度逐漸增加，至四度時成爲最大密度，此後溫度再行上昇，密度反又減小。湖水冷卻時，表面溫度降至 4 度，密度成爲最大，因重量關係，降沉水底，而下層的水，則被壓迫而上昇，如此互相循環，至水均成 4 度而止。以後如空氣溫度再下降，則祇有近表面的水結冰，而冰下的水仍保四度的溫度，湖中的動物，在冬季不致凍死，即因此故。



第二十二圖
液體的膨脹

至於氣體的膨脹，則較液體更大，其係數各種氣體完全相同，即溫度每昇降攝氏 1 度，其容積即隨之而增減原有容積的 $\frac{1}{273}$ ，故如一氣體在攝氏 0 度的體積爲 V_0 ，壓力不變而溫度昇至 t 度時，其體積變爲 V ，則

$$V = V_0 \left(1 + \frac{1}{273} t \right) \dots \dots \dots (28)$$

這就叫做波義耳·查理定律(Boyle-Charles' law)。如將零度以下的 273 度作爲溫度的起點，而作爲零度，仍採百分法

的度數，則由此種刻度所得的 T 度，實為 $273 + t$ ，這樣的溫度，叫做絕對溫度(Absolute temperature)，其 -273°C ，為絕對零度(Absolute zeropoint)。換言之，即在一定氣壓下的氣體體積與絕對溫度成正比例。普通氣體體積與其壓力成反比例，與絕對溫度成正比例。

熱的傳導 溫度不同的兩物體，互相接觸，則二者的溫度均起變化，為我人所習見的現象。今假定有甲、乙二物體，而甲的溫度比乙的溫度高時，則可得下列三種的情形：

1. 甲的溫度下降，乙的溫度上升；
2. 甲的溫度下降，乙的溫度不變；
3. 甲的溫度不變，乙的溫度上升。

在這三種情形中，第一種，甲的溫度下降而乙的溫度上升時，即為甲的熱傳於乙，又如第二第三種，則甲的溫度雖傳於乙，而乙的溫度並不上升，或甲的溫度並不上降時，這種的熱，特別叫做潛熱(Latent heat)。在這種雖有熱的傳受而溫度不起變化時，則該物體在其他的性質上，必起相當的變化，例如攝氏零度的冰與水的混合物，加以若干的熱，則其溫度雖不上升，但混合物中冰的分量已減少，而水已增加，換言之，即零度的冰，已溶解為零度的水。又如在充滿百度水蒸氣的箱中，送入若干冷空氣，則溫度雖不上降，但其水蒸氣的一部分，却已凝

結爲露。足見熱的效果有兩種：一種是使物體的溫度上昇，還有一種是使物體形態起變化。所以溫度不同的同一種類的物體，當然含熱量不同，即在溫度相同時，例如冰和水或水蒸氣和露等，所含熱量亦非盡同。上述的熱的移動的現象，叫做熱的傳導 (Transference of heat)。熱的傳導之中，如氣體液體的分子可以自由運動的，則其熱由甲所傳至乙所，甲的熱消失後，一方面更由乙所再傳至甲所，而起一種的往復對流，稱爲對流 (Convection of heat)。又如太陽的熱，傳達地球，經過空間的所謂以太 (Ether)，此時太陽的熱並不受以太的影響，而起對流或傳導，一直到了地球上被物質吸收始化爲熱，叫做輻射 (Radiation)，太陽所射出的線，叫做輻射線 (Radiate ray)。輻射不獨太陽有之，一切物體多放出輻射。例如冰置於室中，則冰受周圍的熱而溶解，低溫度的室內盛水，則熱被四周的物體所奪去而結冰，這都是物質均有與自己溫度相當的輻射線放出，故他物可吸收而生熱。用手放於火的旁邊，即感覺熱，但用物遮隔於火與手的中間，便不再感熱，就是熱的輻射的證明。實際上熱的被周圍吸收或吸收周圍的熱，都是輻射的結果，宇宙間一切物體，都能放出輻射，如一方的物體溫度高，而一方溫度低時，則其兩種物體間，輻射高溫度的物體，熱的消失多而吸收少，故溫度被奪，反之，輻射低溫度的，則熱的消失少而

吸收多，故溫度增加。

今如以溫度為 T ，輻射為 R ，則有下列的關係

$$R = \alpha T^4 \dots\dots\dots (29)$$

這種關係，為斯堆芬(Stefan)所發見，包爾孟(Bolizmann)更從理論上證明之，所以叫做斯堆芬、包爾孟的定律。此處 α 為一定的恆數， T 為絕對溫度，即以攝氏 -273 度的溫度為起點的，今如以冰點為 $T_1 = 273^\circ T$ ，沸點為 $T_2 = 373^\circ T$ ，則二者輻射的比例依上式為

$$(373)^4 \div (273)^4 \doteq 3.5。$$

然則在冰的附近，何以我人感冷，可由人的體溫為 $273 + 37.5 = 310.5$ 而與冰相比：

$$(310.5)^4 \div (273)^4 \doteq 1.67。$$

即我人與由冰所得的熱相比，約多放出百分之 67 的輻射熱，所以感覺冷。在沸湯則比人的體溫吸收二倍以上的輻射熱，故感極熱。

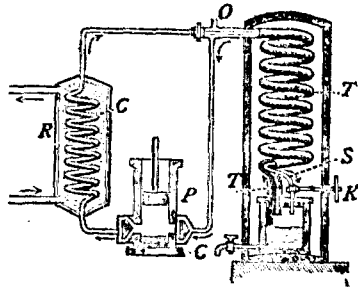
熱的傳導及輻射，也可用分子運動論說明之。即各種物質的分子都具若干的能而運動，這種的能，就表示物體所具的熱量。如因分子運動而起分子的衝突時，其能使由一分子而傳於他分子，並傳播於其他互相接近的物質，變成熱的傳導。在運動中的分子，一面運動，一面又由一地點移動至他點，就成爲

熱的對流，又分子運動的能傳於空間的以太的媒質時，就成爲熱的輻射現象，但自後面所講量子學說而言，則無須如此解釋，亦可說明，當於第九章中再述。

液體空氣 氣體變爲液體的現象，叫做液化。普通把氣體冷卻或壓縮時可以液化，但在一定限的溫度以上，無論如何增加壓力，都不能液化，例如水蒸氣在 374°C .以上，無論如何增加壓力，不能液化，是即 374°C .爲水蒸氣液化的最高溫度，這種溫度，叫做臨界溫度 (Critical temperature)。空氣及氫氣最難液化，即因其臨界溫度極低，但祇要繼續冷卻及壓縮，最後終能液化。把空氣壓縮，並由小孔噴出，而使其忽然膨脹，則溫度可以下降，溫度的下降以噴出前後的壓力的相差愈大，噴出前的氣體的溫度愈低，而溫度的下降亦愈甚。

空氣的臨界溫度爲零下 140°C .，因爲這種溫度極低，所以在未發明使溫度下降到這樣低溫度的時候，空氣及氫氣，大都以爲無法可以液化，所以有永久氣體的名稱。現在利用上述的氣體的性質，已能容易製造液體空氣。如第二十三圖即爲製造液體空氣的裝置，圖中P爲唧筒，由唧筒的壓力，可使彎曲管C及S內的空氣，壓縮到約200氣壓(空氣普通爲一氣壓)。再把此壓縮的空氣，由小孔噴出於僅數氣壓的容器，因噴出的空氣突然膨脹，故溫度能降低攝氏 30° 度左右。此冷空氣經過包於B管

外的二重管T而回至唧筒，途中更使S管內的高壓空氣冷卻，所以以後噴出的空氣，比以前的溫度更低，一再反復行之，空氣溫度次第下降，遂達臨界溫度以下而液化。液體空氣為



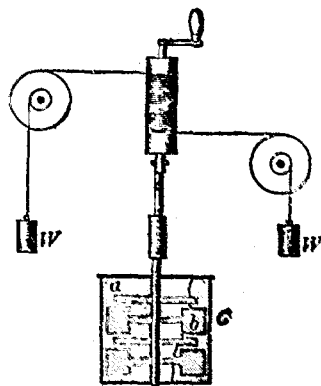
第二十三圖 製造液體空氣的裝置

帶青色的液體，其溫度約在 -190°C .左右。液體氮氣比氧氣沸點較低，故易於氣化，因而液體空氣放置稍久所含氧氣漸次濃厚。這種液體空氣，其氮氣供製造氮肥料之用，氧氣在一百氣壓狀態下裝入於鐵筒，與氫氣相合時，可以製成一種高熱的火焰，鐵路的軌道切斷時等用之。

熱的單位，以水的溫度上昇 1°C .所需的熱量，稱為卡路里 (Calorie)。1千卡路里稱仟卡路里 (Kilo-calorie)。

熱力學的二大定律 焦耳為表明功與所發生的熱的數量關係起見，曾作精密的實驗，證明所作的功，與發生的熱量成正比例。焦耳氏研究的裝置，如第二十四圖所示，在一圓筒中裝一種可以迴轉的翼狀板，筒中盛水，此筒叫做熱量計 (Calorimeter)。翼狀板的軸上，卷以兩條的繩索，各索的下端繫以一定分量的分銅，此分銅由定滑車而懸垂於空中。分銅降落的時候，

熱量計的軸被轉動，而翼狀板即起迴轉，與水相衝突而摩擦，水的溫度因而增加。測量分銅降下時所經過的距離，與分銅的重量相乘，即為該分銅對於熱量計內水的摩擦所作的功。一方面再測水溫增加的數值與所容的水量相乘，即為熱量，二者間當有一定的比例，即功 W 與熱量 Q 間



第二十四圖 焦耳的實驗裝置
(W 為分銅, C 為熱量計, a, b 為翼狀板)

$$W = J \cdot Q \dots\dots\dots (30)$$

此處的 J ，為一定的常數，即用仟克米及仟克卡路里單位時則由實驗上已證明

$$J = 427 \text{ 仟克米。}$$

換言之，即 J 為相當於發生一卡路里熱時，需作 427 仟克米的功。此值即為相當於 1 仟克卡路里熱所需的功的當量 (Mechanical equivalent of heat)，用 C.G.S. 單位改算之：

$$J = 4.19 \times 10^7 \text{ 爾格} = 4.19 \text{ 焦耳。}$$

焦耳的實驗單表明由所作的功與所發生的熱的關係，海能(Hirn)更研究由熱所作的功的數量關係，知熱機關每作 427

作克米的功時，消費 1 作克卡路里的熱，其結果完全與焦耳的實驗結果相符。因此得一定律，即：

因發生熱而消費功時，發生的熱量與功量成正比例；因作功而消費熱時，所作的功量，與發生該同量的熱所需的功量相等。

這個定律就叫做熱力學的第一定律 (First law of thermodynamics)，如以熱作為能的一種狀態，則此定律即與表示能量不滅定律有同一意義。

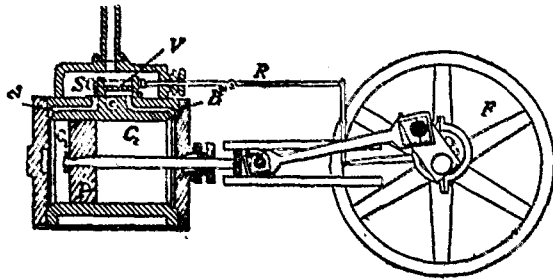
第一定律不過把能量不滅定律應用於熱而已，還有第二定律，是熱的特有定律，為與能的變換移動方向有關的重要定律。

我們知道熱可以從高溫的物體，移於低溫的物體，無需借助於其他作用，是一種顯明的事實，又動能或位能，以及其他各種的能，都可不受他種作用的幫助，而全部變為熱能。然要溫度較低的物體的熱，移於溫度較高的物體，非借助於其他的作用不可，這就是熱力學的第二定律 (Second law of thermodynamics)，據蓋勞休司 (Clausius) 的定義「熱非起若干的變化，不能由冷體移至溫體」。依此定律的結果，即熱不能全部利用作功，亦極明顯，蒸汽機由熱的作用，把水變為蒸汽，而推動活塞，作一種的功，但水變蒸汽後，不能繼續作功，必須導

於冷却器使其凝結，方可再由熱源供給水蒸氣，再行作功，所以熱源所供給的大部分的熱，多移於冷却器而未生效果，真正作功的，祇一小部分的熱。這種熱能的逸散，就是熱能的一種特性。

熱機 熱能既可變為機械能，並可作功，所以近世的多數機械的發動，大都利用熱能。這種把熱能變為機械能，而作一種功的器械，總稱為熱機 (Heat engine)。熱機的式樣甚多，普通可以分為蒸汽機 (Steam engine)、蒸汽輪機 (Steam turbine) 及內燃機 (Internal combustion engine) 三種。

蒸汽機為最普通的熱機，其原理在加熱於盛水的汽鍋，使發生強壓的水蒸氣，因水蒸氣的膨脹而作功，至其構造的主要



第二十五圖 蒸汽機模式圖

部，如第二十五圖所示，P為圓筒內的活塞，與推動棒 (Driving rod) 相連，經曲柄 (Crank) 而至轉軸 (Shaft)。另有偏心棒

(Eccentric rod) R 與滑動活門 (Slide valve) S 相連, 活門滑至左端, 則右端孔開放, 令蒸汽進入圓筒右端。活門滑至右端, 則左端孔開放, 蒸汽進入左方。蒸汽由右端孔經 B 而進入筒內右方時, 由其壓力作用活塞 P 推至左方, 在此動作中, 原在活塞左方的蒸汽, 即由 A 經左端孔, 從排氣口 (Exhaust) e 流出筒外。活塞運動時即牽動推動棒及曲柄使轉軸發生轉動, 因此轉動, 遂將活門 S 又牽至右方。圖中所示為活塞活門都稍移動時的情況。活門先將通路 B 塞斷, 次又將左方與排氣口的交通阻斷。當活塞遂於左方極端時, 圓筒右方又經通路 B 而與排氣口 c 相通, 蒸氣則從 A 進入圓筒左方。這樣的活塞 P 作左右往復運動, 活門亦隨之而左右往復不已, 一時使蒸汽由右方入筒, 忽又使其由左方入筒, 因此而活塞往復循環, 轉軸亦繼續轉動。

蒸汽機的作用, 無非在於汽鍋, 即高溫度的熱源, 供給熱量, 被水蒸氣吸收而輸入於圓筒內, 此蒸汽推動活塞而作功時, 即失去熱量而冷卻, 被驅逐至低溫度的凝結器內。假如蒸汽由熱源吸收的熱量為 H_1 卡路里, 其排出於凝結器的熱量為 H_2 卡路里, 則 $H_1 - H_2$ 卡路里為蒸汽所失去的熱量, 即變成機械所作功的熱量(假定無摩擦及輻射等作用)。故

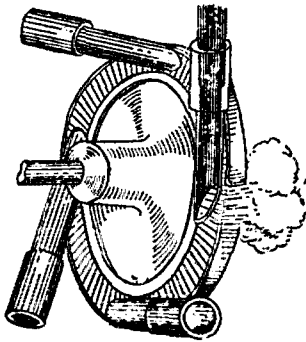
$$W = \frac{H_1 - H_2}{H_1} \dots \dots \dots (31)$$

此 W 的值即為該蒸汽機的效率 (Efficiency), 效率如何可

以增加，成爲當今的一大問題，在熱機的發達及應用上，常爲學者所考慮的中心問題。

上述的蒸汽機所發生的蒸汽，導入機關部後，使其起反復運動，而迴轉車軸；其效率祇得10%乃至14%，其他90%乃至86%，爲熱的輻射、摩擦等而耗損。此種汽機自1769年瓦特(Watt)發明以來，雖經種種的改良，但其效率尙未能超過14%以上，故雖火車、輪船及一般工廠尙多應用此種汽機，但依時勢的推移，已漸用他種較進步的熱機以替代，蒸汽輪機卽其一種。

蒸汽輪機係直接利用蒸汽的速度而使其起迴轉運動，但因摩擦而有損失，故效率仍祇能達16乃至23%。惟車軸向同一方向迴轉，故振動極少，並有其他種種的便利，故近來尤以船舶方面，頗多採用此機。



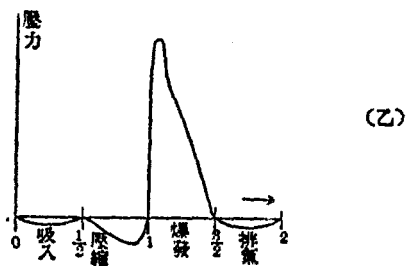
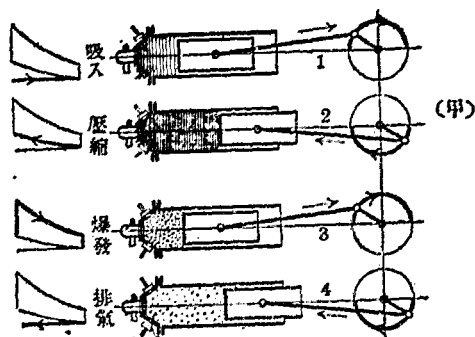
第二十六圖 蒸汽輪機

以上兩種的熱機，都在機的外部設汽罐供給蒸汽，利用其壓力爲原動力。還有所謂內燃機(Internal combustion engine)，係利用由機內所發生的壓力爲動力，故其效率能達32乃至34%的最高效率者，亦頗

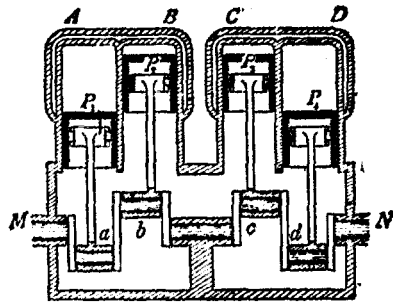
不少。且易於開始運轉及停止，不若蒸汽機的需要長時間的準備；又如熱機及燃料的節省；無論規模的大小，在效率上不起影響等，均為此種熱機的優點。現在最通用的石油機關、輕油 (Gasoline) 機、氣機等，均屬此類。除應用於汽車、戰車、汽船等外，兼用於飛機，為交通上最通用的機關。其構造大體上如第二十七圖，分作四

段的動程，其中祇有一段的作用作功，其他三段均非從外方供給以能不可，所以附有飛輪。且此機連續激烈使用時，則汽筒壁因摩擦而發熱，故有附加冷却裝置的必要。

又如裝置熱機的地位狹小不便裝大的飛輪時，則往往四機連結而交互相作用，以代飛輪，週轉亦可圓滑，汽車、飛機等常採用之。



第二十七圖
氣體內燃機的四段動程



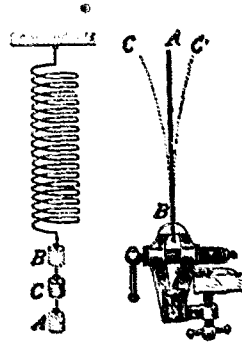
• 第二十八圖 四機連合的裝置
A, B, C, D 爲四機
a, b, c, d 爲四活塞

內燃機中效率最大的爲重油 (Diesel) 機, 即將吸入的空氣, 壓縮於高溫度中而使其發熱, 然後將可以燃燒的物質噴入機關, 使其燃燒。不設點火的裝置, 其效力能達34%爲目下各種發動機關中的最進步的。

第 四 章

振 動 和 波 動

振動的種類 同一系內的能，如動能與位能一再交互變化，則其物體的運動，成為週期的運動。這種運動，叫做振動 (Vibration)。從外形上講起來，物體的一定點在其兩側起往復運動的，就是振動。例如用一彈簧條，上端固定於物體，下端懸垂小錘 (分銅)，則其靜止時有一定的位置，若加以若干的力於錘，使錘由原有的C位置而降至A，此時所加的力 f 與AC距離 d 的相乘積，即為 f 力所作的功，這種的功為C降至A的位置的變化而消耗，所以彈簧中就獲得這功，而貯蓄於彈簧的內部，變為彈簧的位能。一旦放手，則彈簧依彈力而收縮，錘亦因而起運動。運動回至C點時，速度最大，此時彈簧的位能消失，而錘則依原有的速度仍繼續進行，即彈簧的位能變成錘的動能，上升至B點而靜止，此時錘的動能又全部變為彈簧的位能，再行下降，其間常繼續往返，直至外界所加的最初的能，因傳於媒質，而次第消失，方行停



第二十九圖
彈性體的振動

止。

一條的絃，其兩端固定於物體，中央用手拉之，則其絃伸長，因絃的內部的分子位置，起了變化，所以賦與了一種與位能相當的能，放手之後，絃因彈力作用而起回復至原有位置的運動，回復至原有位置的瞬間，分子的相互位置已復原狀，所以位能消失，但因有運動的速度，故獲得動能，又向反對方向運動，又使絃體再獲得一種位能，如此一再返復，亦起振動，這種的振動，叫做絃振動(String vibration)，絃振動與上述的彈簧的振動，雖同屬振動，其間自有差別，即前者為向縱的方向振動，後者向橫的方向振動，所以前者稱縱振動(Longitudinal vibration)，後者稱橫振動(Transverse vibration)。絃的振動，起振動的本體，在於絃自身為彈性體，因伸長而起回復原有狀態的彈力，遂生振動，這種振動完全依自己的彈力而自由振動的，所以叫做自由振動(Free vibration)。自由振動，最初所作的功，週期的起位能與動能的交互變化，故如振動體為真正的完全彈性體，則其振動當永遠繼續，惟普通一般的彈性體，均為不完全的彈性體，故其能的一部分，為振動體運動所消耗而變為熱，或因振動外界的媒質等，而每次消失若干的能，振動因而亦次第減小。至於由外界的週期的作用而使一物體起週期的運動的，叫做強制振動(Forced vibration)。振動體的一

點由原有的位置上下或左右振動一次，回至原有的位置，叫做一振動 (One vibration)，每一回振動所要的時間，稱為週期 (Period)，每一秒間所完成的振動次數叫做振數 (Number of oscillation)。由原有點至振動所達的距離即如上圖的 BC、AG，叫做振幅 (Amplitude)。

振動的傳播 甲體以一定的週期而振動時，則間接或直接與甲體相接觸的乙體，亦常分受一部分振動的能。例如弦在空中振動時，其附近的空氣，受振動的能而亦起振動，這種振動，即變成音波而傳達於各方面。振動的空氣中，如更有丙物體存在時，則此物體亦當然接受空氣的振動能，故如丙物體的自由振動週期與空氣的振動週期相同，則其振幅當次第增大，便使我們亦能次第感覺之。這種現象，叫做共振 (Resonance)。在音響時，則共振的物體亦發音響。

共振的丙物體，當然受到甲的振動的能，但丙受甲的振動，必須與甲的自由振動週期相同，方可共振。所以無論甲的振動或說音響如何高聲，丙所能共振者，祇屬與丙同一的聲調，其他則不能共振。我們的耳能聽外間的音響，由於耳的內部，有各種自由振動的振動子 (Resonantor)，故能與他人聲帶的振動共振，若振動子一部分起了故障，則與此相當的音調，便不能聽見。

波動 在上面所講的弦的振動，空氣與弦接觸者，其分子由弦接受一部分的振動能而再授與鄰近的分子，順次將這能傳達於遠方，這種作用就叫做振動的傳播（Propagation of vibration）。傳播時，不是傳播振動的物質，祇把振動所必要的能，由媒質的一質點而傳於他質點。但振動「能」在媒質中傳播時，並非即刻將能全體由甲而移於乙，常逐部次第傳遞，故甲至完全消失能為止，其間有相當的時間。在此時間內，乙已將能的一部分再傳於丙，丙更傳於丁，順次傳及遠方，所以各部都同時起振動，惟甲、乙、丙、丁的振動開始時間，則順次有延遲。振動的開始不同，所以振幅依一定的規律而起增減，成為波形，這種波形依時間的經過而次第前進。這種運動，就叫做波動（Wave）。所以波動實為動能與位能互相交換，再由一定點而移動至他點的現象。一點的媒質，振動一次間所傳達的波形的全長，叫做波長（Wave length）。其所要的時間，叫做週期（Period）。一秒間的振動次數，叫做振動數。故週期與振動數的相乘積為一秒；波長與振動數的相乘積，等於該波在一秒間前進的距離，即等於波的速度（Speed of wave）。

波動有兩種，其進行方向與其媒質各部分振動的方向，互成垂直的，叫做橫波（Transverse wave），或稱高低波。例如以長繩一端繫於壁上，執其他一端急速向上下振動時，則繩呈起

伏的波形上下往返振動，此波形的各最高處叫做峯(Crest)，最低處叫做谷(Trough)，這種的波，就屬於橫波。又如將螺旋狀的金屬線一端，繫於壁上，用手自其右端急向左按時，則被按的一端先行收縮而密集，由其彈性壓迫其前方部分，使其向密集部分移動，這樣順次傳達密部於遠方。又其最初被壓縮的部分，因彈性的作用，漸次恢復其原狀而成稀疏，因之此疏部亦次第向左移動，故當螺線振動時，密部的狀態和疏部的狀態，交互沿螺線而前進，成爲一種波動，這種的波動，物質各部分振動的方向和波形傳達的方向，完全一致，故稱縱波(Longitudinal wave)，或稱疏密波。

音波 上面已經講過，音是一種振動，所以音叉或琴弦在振動時發音，振動停止後音亦隨之消滅。音波的傳播依空氣爲媒介，即振動傳於空氣，空氣分子起振動而生縱波，向四方發散，我們遂聞其聲。如將鐘放於真空的筒中，則鈴雖依然振動，但我們幾不聞其聲，這樣的物質振動時，媒質中所生的一種疏密的波，叫做音波(Sound wave)。

投石於靜水中，見水面起圓形波紋而向四周擴張，但水波觸岸後，則反射而逆行。音波亦與此相同，遇着障礙物即行折回，這種現象，叫做音的反射(Reflection of sound)，回聲(Echo)就是音波反射的結果。又音波在第一種媒質進行，遇着第二種

媒質的界面時，除一部分起反射外，其他部分則侵入第二種的媒質，這種現象，叫做音波的折射 (Refraction of sound wave)。游泳時耳在水中，仍能聞陸上的聲音，就是陸上的音波一部分折射入水中而傳達於我們的耳鼓的結果。

兩種的波長相等的音波，同時在空中振動，則其音波或相助使振幅加大而音擴大，或相消使振幅減小而音變弱，這種現象，稱為音波的干涉 (Interference of sound wave)。

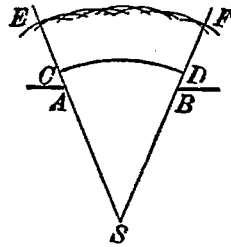
音波的速度在 0°C .時，空中每秒約331米，溫度上昇1度其速度約增0.6秒米，在通常溫度時，音速約為340秒米。其他媒質則隨物質而各有一定。

波長及振幅相同的兩波在同一媒質中以同一速度，作反對方向進行時，則兩相積疊的結果，一部分全不起振動，一部分則振動特甚，其他部分，亦以適當的振幅而一再振動，但波動毫不進行，這種的波，特稱定常波 (Stational wave)。

光波 太陽的光線射入一物體時，則其中的一部分被反射，而一部分則透過物體，還有其餘部分則被物體吸收。但是這種光的本性究屬如何，成為學者討論的中心問題，從來關於光的本質有兩種學說：一說為微粒說 (Granular theory)，即謂光是一種目所不能見的小粒，叫做光素，光素由光源射出，作直線的進行，正如槍口射出子彈的情形相似，但能在虛空中

擴散。這種學說為發見萬有引力的牛頓所主張。第二說為波動說(Wave theory)，即主張光源所射出的光，與音波相似，以一種波動的形式而波及於虛空的，主張此說者為荷蘭的物理學家惠更斯 (Huygens, 1629—1695)。二說究以何說為正當，成為從來物理學上所未解決的難題，並以信賴牛頓的權威，故後世曾採用光素的學說。但研究物體所生的影，以及油的薄膜在水的表面上所生的色澤等，漸知惠更斯的波動論，較為妥當，所以後來多改用波動說。

據惠更斯1690年所發表的學說，宇宙間有一種目力所不能見的媒質，叫做以太(Ether)，以太為傳播光波的媒質，正如空氣傳播音波的情形相似。今假定

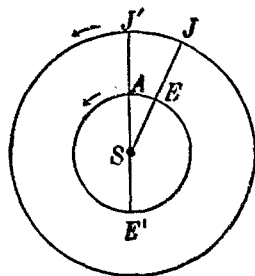


第三十圖

光的波動說的說明

如第三十圖所示 S 為光源，其所發的光波作球狀而擴大，假定其中有一 AB 的間隙，光波通過此間隙而成 CD 的波面，波面上的各點，均可看作自光源發出的無數小球的波面所集合而成的面，例如 EF ，依此原則，光波次第擴大，向前進行，但我人如在光波的面作一垂線時，則此垂線即示光的進行方向，所以光是依直線進行，且光的直線進行，係由光源向光的四周，作無限數的直線的。

光既為以太的波動，則應有波動的速度，從前在地球上測光的速度，實驗均遭失敗，因光的速度太大之故。1676年勒滿 (Römer) 氏觀察運行於木星周圍的四個衛星，遂測得光的速度。如第三十一圖，S 為太陽，EAE' 為地球的軌道，JJ' 為木星的軌道。木星的衛星環繞於木星的周圍而運動，所以從地球上任何一點觀察衛星與木星的影相合的時間，應各相同。然地球與木星的距離，時時變化，例如 EJ 時 (E 為地球；J 為木星) 的距離較近，E'J' 時的距離較遠，如光有速度，則在 E



第三十一圖 地球及木星

位置觀察衛星與 J 木星的影的相合的時間，及與在 E' 位置觀察衛星與 J 木星影相合的時間，其時間應有相差，相差的時間，即為通過 AE' 距離的光的速度。據測定結果其相差為 996 秒，則此 996 秒即為光通 AE' 地球軌道的直徑所要的時間。地球軌道直徑為 298,300,000 仟米，故以此值與上值合算，光每秒可通過 299,800 仟米即速度為約 3×10^{10} 秒釐米。

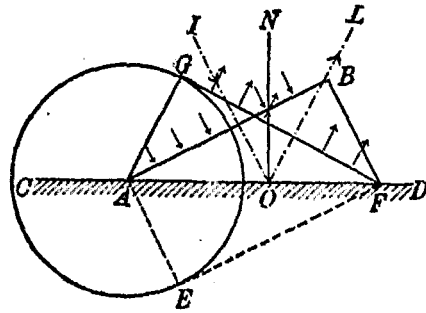
最近地球上測定光的速度實驗，亦告成功，用精巧的器械觀測速度的結果，光的速度為 3×10^{10} 釐米/秒。此值適與勒滿 的值相符，所以宇宙間具「能」而進行的，以光的速度為最大。

對於此點與後章所講的相對性原理有密切關係，當於後章中再為申說。

光的反射折射 太陽光線等通過小孔而斜射於暗室的一鏡面，則見其光線在與鏡面相接的點，又改變其方向而反射，普通如於該點作一與鏡面垂直的線，則入射的光線與反射的光線，各與此垂直線成一定的角度，叫做入射角和反射角，常為相等，這種現象叫做光的反射(Reflection of light)。又如通過一玻璃或水等，光線除一部分反射外，有一部分則射入此種物體內，但其方向與原來進行的方向不全相同，常稍改變。若於入射點亦作一垂直線垂直於物面時，則入射角的正弦(Sine)與折射角的正弦的比，不論入射角的大小常為一定，且折射角常在入射角的反對面。這種現象叫做折射(Refraction)。光由一物質而折射入他物質，入射角正弦與折射角正弦的比依物而常為一定，此值即稱為對於甲物質的乙物質的折射率。稜鏡、透鏡、顯微鏡及望遠鏡為應用光的反射、折射的原理而成的光學器具。

依光的波動論說明上述的反射及折射，可先視第三十二圖。圖中CD假定為反射面，AB為光波的波面，光源若為太陽，由遠方面來時，球狀的光波的切口，不成為圓的一部分，而成一如AB的直線，與AB成直角的IO，為光線的進行的方向。今光波上一點B，入射於CD上的一點F時，光波上其他一點A當

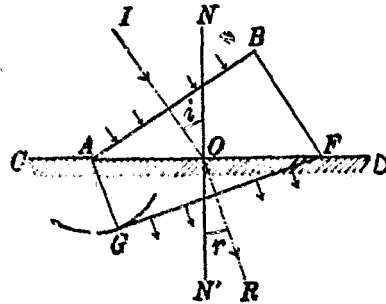
送出以BF為半徑的球狀光波，故以AG為半徑，等於BF之長而畫一圓周，即為光波所進行的波面。由F作一FG線的圓的切線，FG即為CD面



第三十二圖 光的反射

上所反射的光波的斷面，其光的進行方向為OL。故入射光線IO與波面AB成直角，OL與反射面FG成直角，再於O引一垂直線ON，則此入射角與反射角已相等，而與事實相符。

又如第三十三圖以CD為折射的物面，今有光波波面AB射於此面時，則光線以IO的方向而前進，B達F點時，A點送出以AG為半徑的球狀波，以AG為半徑畫一圓，再由F引一與圓周成切線的FG，則FG即為折射後光波進行的波面。入射波面AB上作一垂線IO，又於O點作一與



第三十三圖 光的折射

FG 折射波面相垂直的OR線，更於入射點O與CD面相垂直作一垂線，則其結果與上述折射現象相符。此時如光由空氣而入水中時，則AG比BF短，所短的值，適為以折射率除BF的商。

光波的波長與光色 音的高低由音波的波長決定，而光的色亦由光波的波長決定之。測最短的光波時，以0.0000001 c.m.作為1Å (奧格斯托龍Angström) 用作光波的單位。實驗的結果，赤色光的波長約為8000—7000 Å，黃綠色的波長稍短，紫色的波長約為4000Å，由赤色光至紫色光為止，其間的各种波長的光為我們眼所能感覺的，即可視光線 (Visible ray)，大別為七色，比赤色光波長較長的光為赤外線 (熱線)，比紫色光波長較短的光為紫外線 (化學線)。波長漸次增加，至1毫米乃至25000米左右的波長，則成為下述的無線電信及無線電話等所使用的電波。波長在15Å左右，則為後述的X射線，這種種的線都可稱為輻射線 (Radiate ray)。茲將各種輻射線列表於右。由此觀

光 波 的 波 長

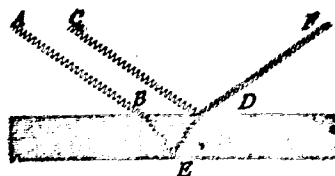
	(Å米)
A (赤)	0.00007661
B (赤)	0.00006867
C (橙)	0.00006563
D (黃)	0.00005893
E (綠)	0.00005270
F (青)	0.00004361
G (藍)	0.00004308
H (紫)	0.00003968

之，可見自25000米的波長的電波至15Å左右的X射線，均為以太的波動，我人所能感覺的光，實為以太波動的極小一部分而

已。

光波的干涉與繞射 音

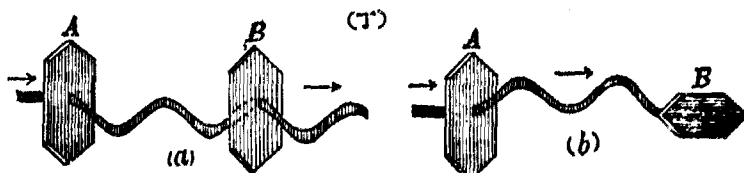
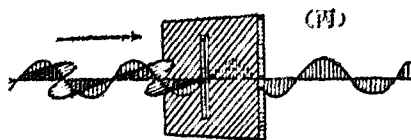
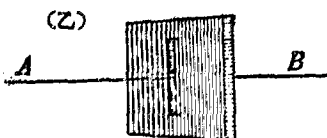
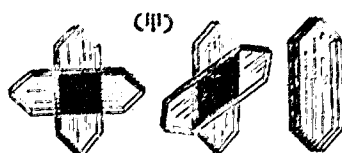
依音波的干涉而起拍(Beat),
光亦有波動的干涉現象。浮
於水面的油的薄膜以及肥皂



第三十四圖 干涉的說明

水的水泡,均呈美麗的色彩,即為薄膜表面所反射的光波,與
通過膜至膜的裏面而始反射的光波互起干涉的結果。用溼布
拭玻璃板,見其表面亦
呈美麗的色彩,這都是
光波的干涉作用。

用一切平的板,遮
去平行而來的光波的一
部分,則板的後面即生
一板影,但細加考察,知
此影的境界線,與板的
境界線,並非完全成直



第三十五圖 偏光的說明(甲)電氣石(乙)(丙)(丁)用模型的說明

線進行，而境界線中的一部分略向內彎曲，這種現象，叫做繞射(Diffraction)，也是光的一種特性。

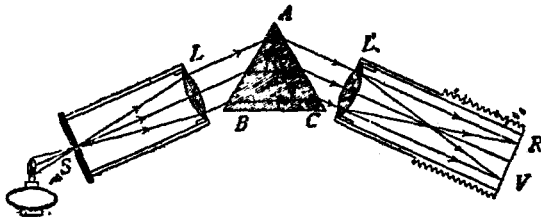
又取電氣石的結晶片兩枚，互相合併，此薄片如各與結晶軸相平行則可通過光線，反之，如二片交叉合併時，則光線不能通過。此種現象，證明光有光波，這種波的振動與軸平行時，能通過此結晶板，若與軸交叉時，則振動不能通過，其情形正如第三十五圖乙一細隙中通過一線，此線上下振動時，可以通過此隙，但如此隙與振動成直交時，則不能通過的情形相同。這種現象，叫做偏光(Polarized light)。

分光鏡和光譜 太陽光通過稜鏡時折射而分散為七色的光線，並依赤、橙、黃、綠、青、藍、紫的順序而排列，這種作用，叫做光的分散(Dispersion of light)，此七色叫做光譜(Spectrum)。電燈的光及煤氣燈的光都由七色而成，各色的光線連續配列，這樣的光譜，叫做連續光譜(Continuous spectrum)。反之，如食鹽的小粒，放於本生燈焰中灼熱，用稜鏡分光，則見有一條黃色的線(實際上為二條接近而成)，稱為D線，為鈉元素所特有的性質。鐵棒作為弧光燈而使其發光，則其光通過稜鏡時，在赤部至紫部，見有無數的光輝的線。這兩種的光譜叫做明線光譜(Bright-lines spectrum)。明線光譜的配置，視元素而各有一定，所以從明線的光譜，可以判斷元素的種類，這

種研究，就叫做光譜分析 (Spectrum analysis)，用天體望遠鏡將天上所照耀的星的光線，導入稜鏡，可以分析該星中含的物質的成分，並可推測星的溫度。

電燈光通過稜鏡時，如於二者之間，插入一有色玻璃，則連續的光譜的一部分，變為黑暗，這是有色玻璃能吸收其一部分光譜之故。又如以本生燈製造鈉的蒸汽，而插入電燈與稜鏡之間，則D線變成黑暗，這是鈉的蒸汽有吸收D線作用之故，這種的光譜特稱吸收光譜 (Absorption spectrum)。

研究光譜的特種器械叫做分光器 (Spectroscope)，其構造如第三十六圖，S 為細隙，即光線射入鏡內之處；L 為透鏡，使光線變成平行光線，而射入於 A B C 的稜鏡。光線起折射而依圖中所示的方向進行。折射的光線，再入 L' 的透鏡，使 S 的像結



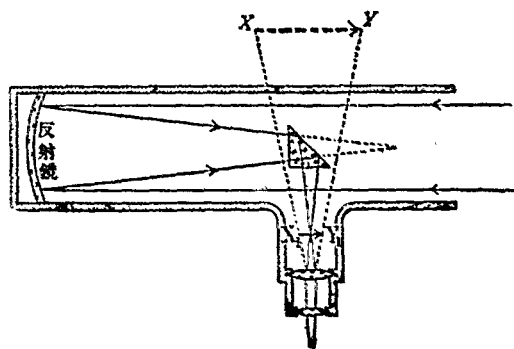
第三十六圖 分光器

於RV的平面上，R 為赤色光，V 為紫色光所作的焦點，其間則有七色的焦點。鈉的明線光譜 祇有黃色的 D 線發光，其他則甚黑暗，但在吸收光譜的光亮的背景如上述的鈉蒸汽中，則 D

線處反成暗線。

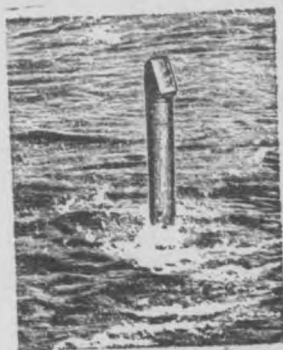
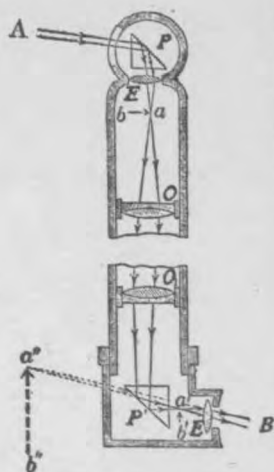
太陽的光線用分光器檢查起來，發見有若干暗線，稱為夫牢因好斐線(Fraunhofer's line)，是依發見者的名而命名的。太陽的溫度，從理論上推算起來為 6000°C 。這樣高溫度的物質，均生連續光譜，但由太陽而蒸發的諸元素的蒸汽，溫度較低，包圍於太陽的周圍，因這種蒸汽的存在，故諸物質的固有的光線，反被吸收，而成爲此種的情形。故詳細檢查此種的暗線，則可以推測太陽周圍的元素，依此法而測得的太陽周圍的元素，實與地球上存在的元素種類相同。

光學器械 應用玻璃的透鏡，行適當的配合，以顯大微細的物體，或窺視遠方的物體，在十三世紀時已開其端。但至近代始發明反射望遠鏡與折射望遠鏡而供天文的觀測。反射望



第三十七圖 反射望遠鏡(XY即爲觀察者由圖的下側的透鏡所見的像)

遠鏡如第三十七圖，由反射鏡所生的像，通過90度的稜鏡而以直角彎至鏡筒，在透鏡的前方生 X_1Y_1 的像，此像更由透鏡而放大成 XY 。這種的望遠鏡為牛頓所發明，世界主要天文臺上均裝置之。



第三十八圖 潛望鏡 左為構造及結像模式圖；右上為該鏡突出水面之狀；右下為由該鏡所見的外景一例。

A為光線；P為反射稜鏡；E為接眼鏡； $a''b''$ 為所見的像。

又顯微鏡(Microscope)的構造，靠了亞倍(Abbe)發明消色接物鏡(Apochromatic objective)而大有發展。現在一般所用的顯微鏡，最高倍數能達二千倍左右。(註)

此外如雙眼鏡，即為望遠鏡的一種，普通的有伽利略望遠鏡及稜鏡雙眼鏡，所生的像，均為立像而非倒像。還有所謂潛望鏡 (Periscope) 為一潛水艇所用的望遠鏡，由物體而來的光線，經上端的反射鏡，而彎曲入鉛垂的管內，通過兩個的望遠鏡，而結直立的像。

(註)顯微鏡詳細構造參考抽編「顯微鏡」一書(商務，萬有文庫單行本)。

第五章 電 和 磁

電和電力 摩擦琥珀，能起電而吸引輕的物體，為古來早已知道的事實，不單是琥珀，任何兩種物質，互相摩擦時，都能發電，用綢來摩擦玻璃，用毛絨來摩擦火漆，生電尤為顯著。這樣發生的電計有兩種，同種的電互相反撥，異種的電互相吸引，例如用綢摩擦玻璃二條，則玻璃接近時，便有一種反撥力，但與絨所摩擦的火漆相接近，則起吸引力，足見玻璃及火漆所帶的電不同，用綢摩擦玻璃所發的電為陽電 (Positive electricity)，用毛絨摩擦火漆所發的電為陰電 (Negative electricity)。

庫侖 (C. A. Coulomb) 測定靜止的兩帶電體間相作用的力，其結果，為相引或相撥的力，與兩物體所帶的電量的積成正比例，而與兩物體間的距離的平方成反比例，正與前面所講的萬有引力定律一樣。在真空中相距 1 釐米的二帶電體，其間發生 1 達因的相斥的力時，這兩體的所帶電量，各作為電量的靜電單位 (Electrostatic unit)。若二體所帶的電為同量的陰陽二電，則正負相消。今假定兩帶電體的電量為 e_1 和 e_2 ，在真空中相距 r 距離時，引力或斥力為

$$\alpha = \frac{e_1 e_2}{r^2} \dots \dots \dots (32)$$

又用靜電單位的 3×10^{10} 倍的電量為單位時，叫做電磁單位 (Electromagnetic unit)，實用上以1電磁單位的 $\frac{1}{10}$ 電量為單位，稱為1庫侖 (Coulomb)。帶電體所具的電量，叫做電荷 (Electric charge)。

帶電體周圍，電力所能影響的範圍，叫做電場 (Electrical field)。如置單位陽電於電場的一點時，其作用的電力，叫做該點電場的強度 (Intensity of electrical field)；電力的方向，叫做電場的方向 (Direction of electrical field)。把電場內設想若干曲線，線上各點的切線，均指示場內的電力方向，此種的線，叫做電力線 (Electrical line of force)，可以表示電場的狀況。

磁石與磁力 具吸引鐵的性質的，都稱為磁石 (Magnet)，這種性質，叫做磁性 (Magnetic property)。兩磁石相接近時，亦起引力及斥力的作用，與電相似，但磁石的兩種磁性，發於同一的磁石的兩端，並且無論切成如何小塊，每一小磁石具有不同磁性的兩端，該兩端叫做磁極 (Magnetic pole)。把針狀的細磁石水平懸於空中，則其向北的一極叫做北極，向南的一極叫做南極。庫侖研究磁的結果，也知磁是同極相斥異極相引。並適用電的定律，相等的量的兩北極，在真空中相距1釐米而

起 1 達因的斥力時，叫做磁的電磁單位，即兩物體的磁量各爲 m_1 、 m_2 ，在真空中相距 r 距離而靜止時，其相互的引力或斥力爲 $\frac{m_1 m_2}{r^2}$ 。磁力所能及的範圍，叫做磁場 (Magnetic field)，物體近於磁場時，則物體亦起磁性，近於磁石的一極生異種的極，這種作用據安培 (Ampere) 氏的說明，謂無論何種物體，其分子都各含有磁石的性質，平常所以不起反應的緣故，因為體內分子排列得不整齊，一旦受磁場的作用後，分子磁石都完全整齊排列起來，所以便呈磁石，鐵鎳等易被磁石吸引，並能變成磁石，爲一有名的例。

置於地球表面的磁針，皆有略向南北的特性，就是表示地球亦有磁性，並且實際上已證明地球實爲一大磁場。磁針在地球表面，並不正向南北而稍偏，偏的程度，依地依時而稍異，所偏的角，叫做偏角 (Declination)。

電磁的本質 電和磁究屬是什麼，這是極易發生的一個疑問。古來關於電的本質，有種種的學說，例如佛蘭克林 (B. Franklin) 在十八世紀末葉，謂物質中有一種稱爲電液的液體，這種液體含量適度時，即爲無電的狀態，含量過多時，便起陽電，含量過少時便起陰電。還有把電液作爲有陰陽兩種的，等量相混時，即呈無電的狀態，帶電狀態，起於一種的電液過多的結果。現在多以湯姆遜 (J. J. Thomson) 及勞能志 (Lorentz) 等的

電子論 (Electron theory), 爲解釋電的本質的有力學說。關於電子學說, 下章還要詳述。總之構成物質的原子, 由帶陽電的一個原子核 (Nucleus of atom), 或簡稱陽核, 與帶陰電的多數電子相集而成。陽核質量大而電子質量小。所以陽核與電子因陰陽的帶電, 而互相吸引, 電子繞陽核的周圍而迴轉, 正和太陽與遊星的关系相似。電子所具的陰電量均相等, 陽核所帶的陽電量等於一原子的全體電子所有的陰電量的整數倍數。其數目因原子而異, 普通則陽核所帶的陽電量正與全體電子的陰電量相抵, 無過與不足, 所以原子全體並不帶電。若原子中失去數個的電子, 陽電便有過剩而原子就變成帶陽電, 反之, 由外界新附加了幾個電子的時候, 就起陰電的過剩, 而電子亦變成帶陰電。摩擦所生的電, 卽爲摩擦時電子由一方的物質移於他物質的結果, 所以玻璃與綢相摩擦, 玻璃與綢各有反對的電, 綢的陰電的量, 與玻璃所帶陽電的量相等, 爲實際上所已證實的。

因爲同種的電相斥, 所以一物體帶電時, 其過剩的陽核或電子各自離開。若物體的一部分帶電時, 或帶電體與他物體相接觸時, 電有擴散於全部的傾向。玻璃及火漆帶電稍久而不消失, 就因爲內部陽核與電子結合甚強不易逸散, 反之, 金屬的電子極易運動, 所以一部起電的過不足時, 就有擴散於全體而至

達平均的狀態為止。這樣的物質內部電子或陽核易於移動的，就是帶電狀態容易傳導，所以叫做良導體(Conductor)，反之，叫做非導體(Non-conductor)。金屬為良導體，玻璃、橡皮等即為非導體的一種。油為非導體，水在純粹時亦為非導體，但酸、鹽基、鹽類的水溶液則為導體。在這種的水溶液中，溶質分解為陰向游子(Cathion)，即失幾個電子的原子，和陽向游子(Anion)即電子過剩的原子，游離於水中，各易運動。地球亦屬良導體，氣體則為非導體。用非導體來包良導體，以防電的逸散，叫做絕緣(Isolation)。

電位(又稱電勢)和電流 電場內設有A、B兩點，若由A點的陽電移到B點，而未產生任何工作時，A點與B點，就叫做電位(Electrical potential)相等。若要加一定的工作，此工作量就是A、B兩點間的電位的相差。普通電位的差，叫做電壓，其單位為伏特(Volt)。帶電體要使其增高一定量的電位的電量，因帶電體的種類而有差異，換言之，即種種帶電體的電容量(Electrical capacity)並非相同。電容量與電位的相乘積，等於帶電體所有電(電荷)的總量。

電位有差異的兩帶電體，用導線互相連結起來，高電位的電移動到低電位方面，正和水由高水面流到低水面情形相似。這種現象，叫做電流(Electrical current)。電流的單位，普通用

1 秒間通過導線的電量爲一庫侖時的強度，叫做一安培(Ampere)，1 安培的 $\frac{1}{1000}$ 爲毫安培(Milliampere)。

起電位與電流亦可用電子說來解釋，兩種金屬互相接觸時，金屬中的原子，有一部分，其電子從原子脫離，而變成自由電子(Free electron)的，這種自由電子與失去電子的原子，起一種騷擾的運動，與氣體的分子的情形相似。假如各以高速度而起縱橫的運動，則在兩金屬接觸界面的附近，A 原子的電子有一部分衝入鄰近的 B 原子中的，B 原子的電子，亦必有一部分衝入鄰近的 A 原子中的。但在單位體積中所含自由電子數，依金屬而異，故由 A 移至 B 的電子數目，和 B 移入 A 的數目，未必相等，因而一方面起電子數的增加，而變成帶陰電，他方因電子數比原有電子數減少，而變成帶陽電。這樣電子起了帶電作用後，有互相追逐的傾向，所以直至兩電位差完全消滅爲止，電的移動不息。這種移動便成了電流。因電由高電位移至低電位，所以就生一種動力，就是電動勢(Electromotive force)。上述的安培，同時即爲測電動勢的單位。

產生電流的裝置，叫做電池(Cells)，電池的種類甚多，例如但尼爾電池(Daniell's cell)是兩個大小的瓶，小瓶爲生瓷製，內盛硫酸銅的濃水溶液，並插一銅板，將此生瓷瓶放於大的玻璃瓶中，玻璃瓶中又盛硫酸鋅的稀水溶液並插一鋅板。這兩

種金屬板就是電池的兩極，鋅是陰極，銅是陽極，用導線聯結兩極時，電流就從陽極移到陰極。電流所經的路叫做電路(Circuit)。

電阻與歐姆定律 導線上所通過的電流的強弱，雖在兩極的電壓一定時，因導線的粗細，亦頗有差異，這就是因為導線粗細不同，所起的電的阻力亦不同，所以導線上的電流亦起變化。導線的電阻(Electric resistance)與導線的長度成正比例，與導線的斷面積成反比例，並依導線的品質及溫度而起變化。電阻的單位為歐姆(Ohm)，一歐姆為一平方毫米粗，106.3釐米長的水銀線的電阻。實驗的結果，導線上所流的電流的強度，與兩端的電壓成正比例，與電阻成反比例，這就稱為歐姆定律(Ohm's law of resistance)。今以電流的強度為C安培，電壓為E伏特，電阻為R歐姆時，則可成立下列的關係：

$$C = \frac{E}{R}, \quad E = CR \dots\dots\dots (33)$$

電池的兩極用導線連結時，電流從陽極板而通過導線傳至陰極板，更在電池內通過溶液而回至陽極板，所以電池的電阻，一方面有導線的電阻，一方面有電池裏面的內電阻(Internal resistance)。內電阻依極板的面積愈大，兩極板的距離愈小，則內電阻亦愈小，如以電池的電動勢為E，內電阻為r，兩極間的聯結導線電阻為R，則其電流依歐姆定律當為

$$C = \frac{E}{R+r} \dots\dots\dots (34)$$

電阻依溫度而起變化，溫度 t 度時的電阻 R_t ，與溫度零度時的電阻 R_0 間，有下列的關係：

$$R_t = R_0(1 + \beta t) \dots\dots\dots (35)$$

β 爲電阻的溫度係數 (Temperature coefficient)。除碳依溫度上升而電阻減少外 (負值)，其餘金屬多是依溫度上升而電阻增加 (正值)。 β 值如下：

銀	+0.00100	汞	+0.00072
銅	+0.00428	洋銀	+0.00273
鐵	+0.00325	碳	-0.00052

利用電阻因溫度而起變化的事實，造成普通溫度計所不能測的高溫及低溫的溫度計，叫做電阻溫度計 (Resistance thermometer)，或稱白金溫度計 (Platinum thermometer)。又利用電阻而造成的適當裝置，叫做電阻箱 (Resistance box) 或電阻器 (Rheostat)。

電熱 通電流的導體，常繼續生熱，焦耳 (Joule) 實驗的結果，關於電熱的發生，發見一定律如下：即導體所發生的熱量與電流的強度的平方，電路的電阻及經歷的時間等成正比例，如在一電路間，通過 i 安培的電流，導線的電阻爲 R 歐姆，通過的時間爲 t 秒，則其所發生的熱量 H ，有下列的關係：

$$H=0.24i^2Rt \text{ 卡路里} \dots\dots\dots (36)$$

這個定律叫做焦耳定律(Joule's law)。

在電路中每一部分上，每秒間所作的功，叫做這一部分的電功率 (Electric power)，以每秒間經過此部分的電量，即電流強度與兩端的電位差的相乘積測定之，即

$$\text{電功率} = \text{電流強度} \times \text{電壓}。$$

實用上把 1 安培的電流，經由 1 伏特的電壓流過時的功率，定為電功率的單位，叫做一瓦特(Watt)，即

$$\text{瓦特} = \text{安培數} \times \text{伏特數}。$$

惟一瓦特的單位，有時常嫌太小，則用其千倍的仟瓦特 (Kilowatt) 代替之。1 仟瓦特又等於 1.34 馬力(Horse power)。

電爐、電熱器、自熱電燈、弧光燈等，都是利用電熱所造成的器具。封入氮及氬(Argon) 等氣體的電球，每一燭光需要半瓦特至 1.25 瓦特，弧光燈每 1 燭光約用 0.5 瓦特。



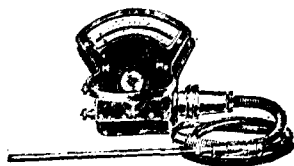
第三十九圖 熱電偶

又銅線與鐵線如第

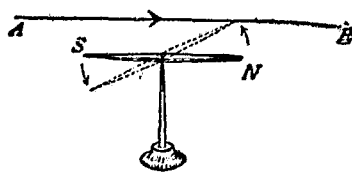
三十九圖相連結，如一端遇較高的溫度時，則銅線由高溫部傳到低溫部，而鐵線由低溫部傳至高溫部起一種的回旋電流，叫做熱電流(Heat current)。這一對的金屬，叫做熱電偶 (Ther-

moelectric couple)。熱電偶亦可利用來測定溫度，例如金和白金之熱電偶，為測定高溫度之電爐等的溫度用，叫做高溫計。

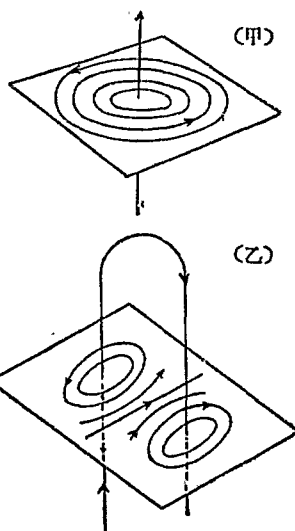
電磁作用 如第四十一圖AB的導線上，通過電流，其方向如矢所示，再用一磁針放於導線的近旁，則磁針便偏向一方。反之，導線上另通過一種電流，其電流的方向適與原有電流方向相反時，則電流附近的磁針又偏於反對的方向。這就因為電流通過導線時，也能造成一種磁場，所以磁針在磁場內起偏向。一直線的金屬線上，通有電流時，用紙穿過此線，紙上撒以鐵粉，則鐵粉集成



第四十圖 高溫計



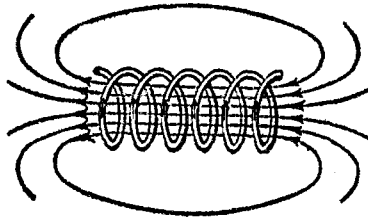
第四十一圖 電磁作用



第四十二圖 通電於導線穿過撒有鐵粉的紙片，則鐵粉造成同心圓線。

以金屬線爲中心的若干同心圓（圖甲）。又如用圓環狀的金屬線時，則紙上的鐵粉造成並列的同心圓（圖乙）。這種現象，就是電流的磁力作用，這鐵粉所集成的圓圈，就是表示磁力線（Magnetic line of force）。普通如電流的方向依右轉螺旋的前進的方向時，則磁力線的方向便取右轉螺旋的右轉方向。

將導線曲成螺旋形如第四十三圖所示的粗線，可以視爲若干圓形導線聯串而成，這樣的導線叫做螺線管（Solenoid），螺線管通電流時，磁力線便與一磁石的磁力線相同，所以在通電的螺線管中插一軟鐵，能變成磁石，叫做電磁石（Electromagnet）。電鈴

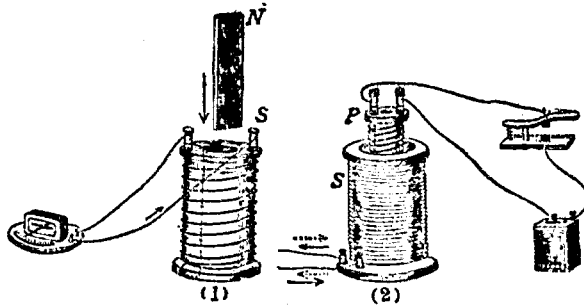


第四十三圖 螺線管的磁力線

及電報的受信發信器都是應用電磁石所造成的。電磁石的磁極的強度與線圈的回數及電流的積成正比例。電磁石可由電流的增減而任意變更磁場，且可隨意停止其磁力，故最爲便利。

感應電流 導線上通了電流，則其附近變成磁場，能使磁針偏向，已如上述。反之，如在導線圈（Coil）的中央，插入棒磁石，則在插入及抽出的瞬間，導線圈的導線上，亦通一瞬間的電流，這個現象，叫做電磁感應（Electromagnetic induction）。

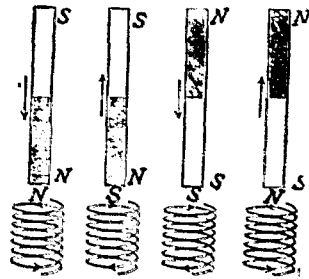
所生的電流叫做感應電流 (Induced current)。如不用棒磁石而用另一通電的線圈插入上述的線圈中,亦能得同一的結果。又插入的線圈,不把他移動,而祇把其電流一斷一續,亦得同



第四十四圖 感應電流

樣的結果。磁石的北極(N)接近於線圈的一端時,此端便生北極的磁性而起感應電流,離開線圈時,線圈的該端,產生南極(S)的磁性而起感應電流,所以起感應電流的方向是向適足以妨礙磁力變化的方向。這就稱為楞次定律(Lenz's law)。

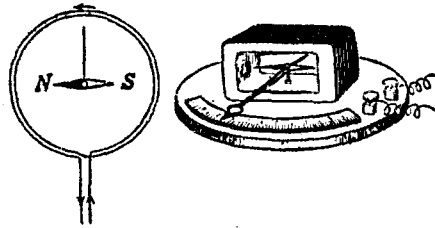
感應電動勢在磁力變化愈急激,線圈的卷數愈多時為愈大。這種導線上有無電的通過



第四十五圖 感應電流的方向

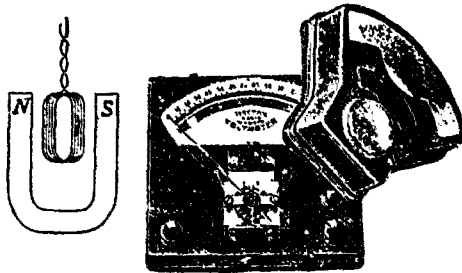
及變化，可用所謂電流計(Galvanometer)以測之，電流計的種類甚多，下圖所示的兩種，一種是定線圈電流計，一種是動線圈電流計，無非是應用通電流時器內的軟鐵變成磁場，使軟鐵間的磁針起偏向，

由偏向的多少，以決定電流的強弱。用安培數來表示的電流計，叫做安培計(Ammeter)。



第四十六圖 定線圈電流計

還有一種感應，叫做自己感應(Self-induction)，就是一個線圈上通電或



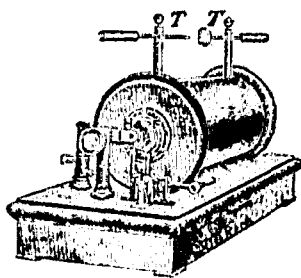
第四十七圖 動線圈電流計

斷電流時，在該線圈上亦生電磁感應。所以因為有了這種自己感應，且其電流方向亦受楞次定律的支配，所以通電的瞬間，原來的電流反受這種自己感應的影響而稍減小，但經了片刻，自己電磁感應便停止，所以本來的電流又回復其原有的強度。與自己感應相區別，前述的兩線圈間所起的電磁感應，叫做相

互感應。

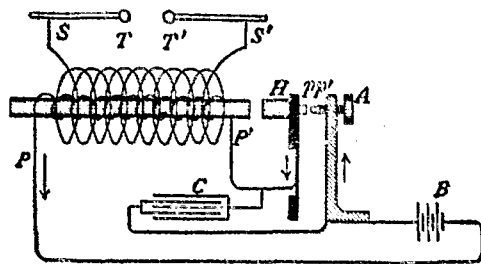
感應電流的利用 感應電流為1831年法拉第 (Faraday) 所發見，實為近代電學研究的先驅，現在應用最廣的有下列若干種：

1. 感應圈(Induction coil) 感應圈為應用電磁感應以得高電位的電流的裝置。構造如第四十八圖，以多數軟鐵線合成一束，其周圍用稍粗的包橡皮的銅線卷繞之，是為第一線圈(Primary coil)，又稱原線圈(圖中P)，另用包橡皮的細銅線卷幾萬次作為第二線圈，或



第四十八圖 感應圈的外觀

稱副線圈(圖中S)，兩端連結於金屬棒的極(T, T')，另用一金屬的軟鐵片H與原圈的一端相接近，H的外面有

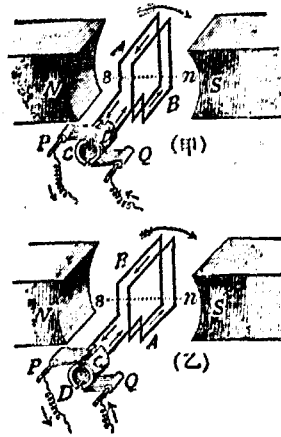


第四十九圖 感應圈的構造

一彈條及螺旋以調節P'的距離，使電流通時隨接隨斷，如此

通電於原線圈則由互軟鐵的關係，電流隨通隨斷，所以副圈上就發生強感應電動勢，TT'兩極間發生火花而放電(Discharge)，這種裝置為研究真空管內各種氣體所發光線的性質時用之，是近代研究原子、分子構造上的唯一武器。

2. 發電機 (Dynamo) (甲) 直流發電機 (Direct current dynamo) 為卷多數線圈的電樞 (Armature)。在強的電磁石中迴轉，迴轉時電樞上即起感應電流，此電流由 C、D 兩整流器 (Commutator) 經 P、Q 毛刷而導至發電機外。此時所起感應電流的方向，依所謂佛來銘 (Fleming) 的右手規則，即將右手的拇指、食指、中指，互作直角，食指即為磁場的方向，拇指為導線的運動的方向，而中指為感應電流的方向。所以電樞線圈上所起的電流，依圖中矢的方向而流出，經毛刷而通至外面的電流，常由 P 向 Q 進行。



第五十圖 直流發電機的原理

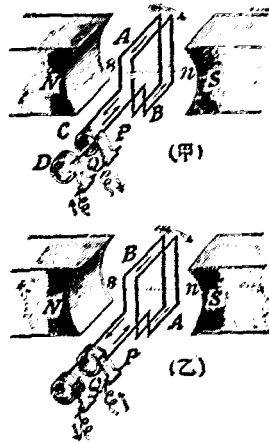


(乙) 交流發電機 (Alternating 第五十一圖 佛來銘定則

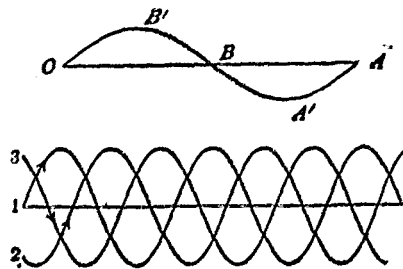
current dynamo) 爲不用直流發電機的整流器，另用C、D兩環接着線圈的兩端(第五十二圖甲)，這稱爲滑環，各與P、Q兩毛刷相接觸。電樞迴轉時，正似直流發電機，電樞上起感應電流，其方向則每半週轉而變更一次，所以流出的電流，由P流出後再由Q流出起週期的交換。這種週期的變更方向的電流叫做交流。上面的方向一定的電流叫做直流。

交流發電機，又可不使電樞迴轉，而使電樞外的磁石迴轉，其結果相同。

交流強度變化的狀況，普通均有一定，最初電流起於一方向，強度逐漸增加，遂達最高，而又漸次降減至零。復起反對方向的電流，亦依同樣的增減，而最後又降減



第五十二圖
交流發電機的原理



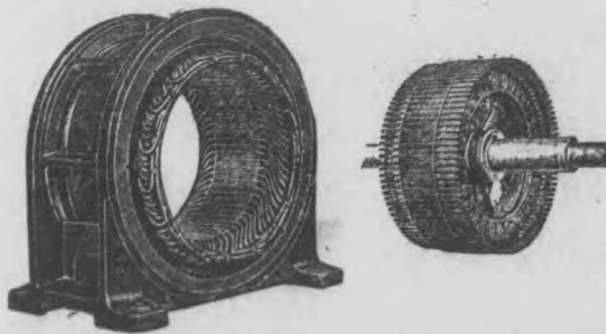
第五十三圖

上爲單一交流 下爲1,2,3的三相交流

至零，這種變化，是依週期而返復，所以以時間為橫軸，電流的強度為縱軸時，則其變化可用圖表示成如第五十三圖的曲線。交流的電流方向轉換後，再回至原有方向所要的時間，叫做一週期，1秒鐘間的週期數，稱為周波數(Frequency)，周波數常用幾循環(Cycle)來表示之，例如電燈用的電流為50或60循環的交流。

單一線圈的電樞所生的交流，叫做單相交流(One phase current)；二組或三組的線圈，用特種連結而卷成的電樞所產生的交流，叫做二相交流或三相交流，現在一般所用的電流，大部分是三相交流，所以發電所幾乎多是發三相交流的電。

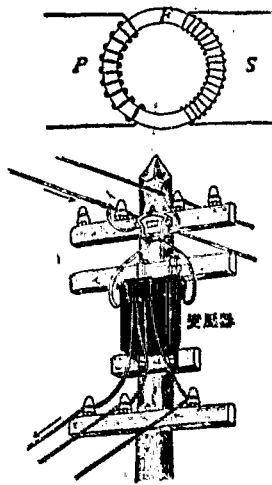
3. 誘導電動機 各種工廠或其他動力用的電動機為三相交流的誘導電動機(Induction motor)。如用一可動的銅製圓筒，



第五十四圖 誘導發電機
 左為迴轉磁場的線圈 右為在線圈內面迴轉的迴轉子

把磁石在其周圍急速迴轉時，因感應而銅的圓筒生電流，圓筒便追磁石而迴轉。誘導電動機即依這種原理所造成。但不用磁石而用通三相交流的卷成適當形狀的線圈，以是就生一定方向的磁場（迴轉磁場），而使線圈中間的迴轉子（即與銅圓筒相當）迴轉。這種電動機，實際上應用最廣。

4. 變壓器 (Transformer) 使交流的電壓起變化的裝置，叫做變壓器，其主要部分（如第五十五圖上圖）為軟鐵心 F ，上卷以一次線圈 P ，與二次線圈 S 而成。 P 線圈上通以交流， S 線圈上即起感應電流， S 線圈的卷數較 P 線圈為多， S 線圈上所起的感應電壓比 P 線圈上的電壓為高，但其電流則反較弱。普通電壓與兩線圈的卷數成比例，電流的強度則與電壓成反比例。所以交流靠了變壓器，可使電壓與電流的強度自由調節。



第五十五圖 變壓器
上為原理 下為外形

第 六 章

電 磁 波

振動性放電 如水位有高低的两器，用一粗管相連，則水位較高的器中的水，向水位較低的器中流去，雖至二器中的水面達於同一的高度，但因水流的慣性，往往超過同一高低的水面以上，所以再由此器流回到原來一器，而又超過同一水平面。因有這樣的關係，所以水的兩器間，必起數次的振動，方能靜止。

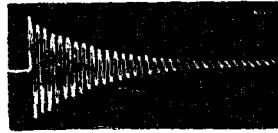
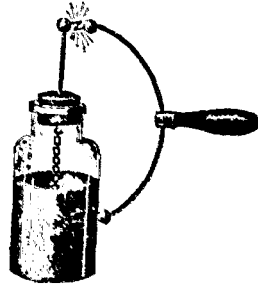
電位不同的兩個導體，用一電阻小的導線相連時，其電位也如水位一樣，不能即刻平均，電流先由高電位導體流至低電位導體，但因自己感應的作用，往往超過平均的電位狀態，而變成電位的高低相反，再起逆電流；也和水的情形一樣，須經若干次的往返，方得平均。這種的情形叫做電振動 (Electric oscillation)。如在蓄電池(註)的兩板間，連絡一電阻小的導線時，即起此現象。但因電阻而發生熱以外，更因電振動而放出下節所講的電磁波，這種輻射，把能次第消費，故振幅亦次第減少，終至達到平衡。如電阻較大時，則兩電板的電位不久即平衡，而振動中止。

(註) 參考最近化學概要第63頁。

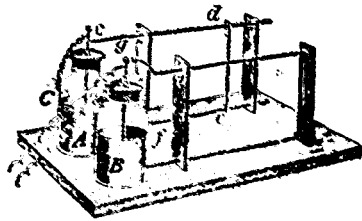
又如蓄電的來頓(Leyden)瓶,用放電叉(Discharge tongs)使其放電時,則發一閃的火花,即刻中和。但把這種的火花仔細檢查之,或用極快迴轉鏡照相,則可發見其火花每一秒鐘間,實有數十萬乃至數百萬次的振動。

這種放電,在電路上生周波數極大的一種交流,所以起此種振動的電路,叫做振動電路(Oscillation circuit)。

電的共振 振動數相等的兩發音體間,能起共振的現象,所以電振動亦能起共振。例如以兩電振動電路,裝成如第五十七圖的裝置,使其互相對立,來頓瓶 B 的內外筒(註)連於感應線圈的兩極,使其放電,則在振動電路起電



第五十六圖
上為來頓瓶放電時之狀
下為放電時的振動



第五十七圖 電的共振裝置

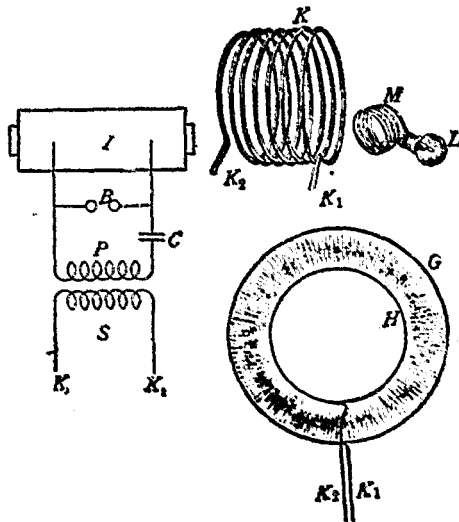
(註) 來頓瓶為係玻璃瓶,內外各包一金屬箔所成。

的振動。同時與此相對立的他—振動電路，亦起電的振動，接近於內外筒的 C 處，發生火花。這兩振動電路的振動數相等，故起電的共振。

勞其(Lodge)氏用了這個裝置調節兩來順瓶及所接的電路，使二者的振動數完全相等，即可起共振。但實際上不論兩瓶的大小及形狀，祇要使自己感應及電容量調節到二者一致，即可共振。無線電信的受信機，須加以種種調節，就是使其振動數與發信機方面的電的振動，由受信機的天空線而發生共振。

推司拉線圈

推司拉線圈 (Tesla coil) 為應用共振而得高壓的振動電流的一種變壓器，由適—調節的一次線圈 P，與二次線圈 S 所成。再如第五十八圖連結於感應線圈上，使感應圈上的二球 B，在



第五十八圖 推司拉線圈

左為共振裝置 右為粗銅圓形線圈

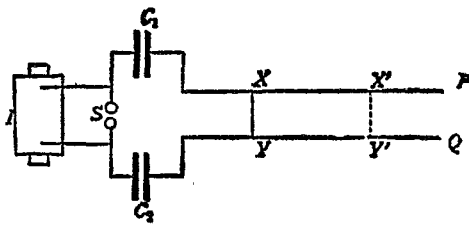
一定的間隙發生火花放電，則一次線圈上生振動數多的電振動，因而二次線圈上發生電的共振振動，其兩端產生非常高壓的振動變位差。故 K_1 、 K_2 處再連於同心圓形的導線。其間起芒光放電，把任意的真空管，與此放電相接近，均發特殊的光輝而放電。又如將 K_1 、 K_2 連結於粗銅線的導線圈 K ，再以附有適當導線圈 M 的白熱燈 L ，放於 K 的內部及其近傍，則 K 與 M 的線圈平行時，電燈發光。又如以手近之，則發火光而放電，但其振動數極大。電流祇通過於手的皮膚表層，而我們的神經，感覺不到其刺激。這種的作用，叫做皮膚作用 (Skin effect)。

又在直線導線的一端，用週期的電動勢作用之，使其電位起週期的變化時，其變化傳於導線的他端，並又反射回來，成爲一去一來兩波的干涉結果的所謂定常波。來顯 (Lecher) 用

如第五十九圖的

裝置，在感應圈的放電球 S 間，調節成適當距離，使其發生火花，

另用導線 XY ，放



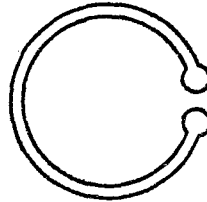
第五十九圖 來顯的裝置

於電路的適當距離，使 SC_1XYC_2 的電路上先起電的振動，又使 $PXYQ$ 內亦引起電振動，將 XY 適當移動而恰在 $PXYQ$ 可與

SO_1XYC_2 起共振時，則此部的電振動漸盛，放真空管於振動的下面，即能發光。

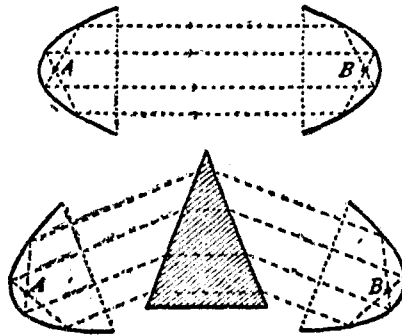
電磁波 音的共振，既為音波所起，則電亦發生共振，當可想及電亦有這樣的波。馬克士威(Maxwell)從理論上豫想有這種的波，叫做電磁波(Electro-magnetic wave)。赫芝(Hertz)更用種種方法證明電磁波的存在及其

性質。其方法用如第六十圖的圓形導線，兩端附以金屬球，中間稍離間隙，並使此導線亦與振動裝置的振動週期相一致，遂將此器放於振動裝置的近旁，則振動裝置的振動，使此器起共振，



第六十圖 共振器

這種共振就由於振動裝置發生的一種波動的結果。如用第六十一圖的金屬筒狀拋物鏡面二個，放於一定的距離，並在 A 點安置振動器，B 點安置共振器，則振動器所



第六十一圖 電磁波的反射(上)和折射(下)

發的波動，由拋物鏡反射於他端，再由他端的鏡面，而反射於

一焦點的 B 點，這就證明這種電磁波作直線運動，且能反射。又用蠟(Paraffin)製成稜鏡，則電磁波更能折射。並知其尚有干涉繞射諸現象，與光波相似。但電磁波究爲何物，簡言之，即導體起電振動時，導體中的電量及電流的配布情形，起週期的變化，且其附近所生的電場及磁場，亦起週期的變化，這種變化成爲波動狀的向各方面傳播，其中電場的電力波，在振動器的平面內振動，磁力波則在與此成直角的平面內進行，前者稱爲電波(Electric wave)，後者稱爲磁波(Magnetic wave)。兩波同時發生，所以合稱爲電磁波或簡稱電波。這種波的速度，在空氣中以每秒三十萬仟米的速度進行，與光的速度相一致。

電磁波對於非導體易於透過，對於導體大多被吸收而不透過。半導體則一部分被吸收而一部分可以通過，但通過的電波已甚弱。



第六十二圖 電磁波

光的電磁波說 前面已經講過測電流的單位有兩種，一種是以單位時間內通過導線的橫斷面的電量爲單位的，一種是依電流所誘發的磁力測定的。前者就是電的靜電單位，後者爲電磁單位。但自1866年魏盤(Weber, 1804-1891)用適當方法，測得同一的標準電池，用這兩種的單位所測得的值，常有一定

的比例，即

$$C = \frac{\text{電位的靜電單位}}{\text{電位的電磁單位}}。$$

這C值（即二者的比），經1898年法勃來（Fabry）及貝勞脫（Perot）的測定為 2.9913×10^{10} 。後來更經勞沙（Rosa）在1907年測定C為 2.997×10^{10} ，其他多數學者的測定值亦均相近。即C為略小於 3×10^{10} 。

但自從1885年邁克爾遜（Michelson）測定真空中的光的速度為 2.9986×10^{10} ，又潘勞丁（Perrotin）在1900年亦得相近的值為 2.9990×10^{10} 。這光的速度的值，與兩種電單位系的比C的值，完全相符合。馬克士威（Maxwell）從這種的關係上，遂倡光的電磁波說，即謂兩電位系的一定比例，是表示一種的速度，就是電磁波的速度，這種速度既與光的速度相等，所以光亦是電磁波的一種。

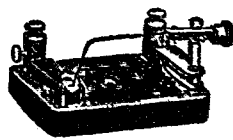
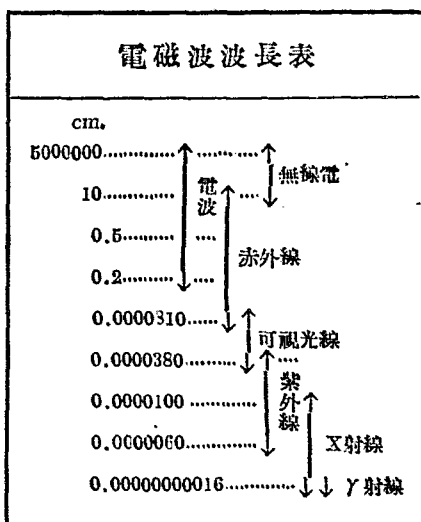
光的電磁波說，自前述的赫芝的電磁波著名實驗以後，益加證明電磁波與從來光波的性質相一致，而光電磁學說遂成為近代物理學上的一重要學說。現在知道各種的光及輻射線，多是電磁波，並已測定這種電磁波的波長，列表於下，以示一般。

檢波器 振動電路雖起電振動，但因振動數極大，故插入收音器，亦不能聽聞聲音。但將振動電流的一方面遮斷，則收音

器中祇有一方向的電流流過，所以擊動振動板而發振動的聲音。用這樣方法，可以檢察有無電波，這種裝置，叫做檢波器 (Detector)。普通用的有鑲石檢波器及真空管檢波器二類。

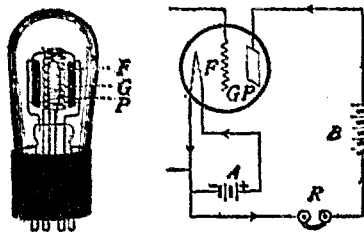
鑲石檢波器的種類甚多，普通用硫鉛鑲 (Galena) 的小鑲石，盛於金屬盤上，上方用一金屬針輕輕與此石相觸，把此器插入於振動的電路，能使一方向的電流的電阻減小，逆方的電流的電阻增加，所以交流變為直流，而達整流的目的。

真空管檢波器是最銳敏的檢波器。真空管 (Vacuum tube) 的構造形如電燈泡，玻璃裏面鍍銀，泡內的燈絲 (Filament) 用鎢與鈦的合金製成，周圍有一導線製成的網狀物，稱為柵極 (Grid) (圖中G)，另有圓筒狀的板極 (Plate) (圖中P) 三部



第六十三圖 鑲石檢波器

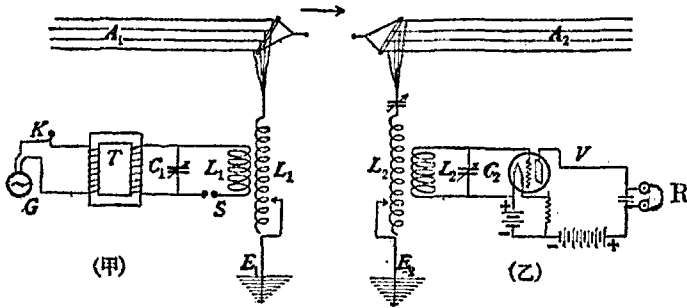
合成。今如圖的 A 爲電池的陽極，由電池的電力而使 F 絲極發熱，再以板極連接於 B 電池的陽極，燈絲接於陰極，則 F 燈絲的電子向高電位的板極發出，而生一定強度的板極電流。但 G 及 P 均插入於振動電路，在此電路起電的振動時，則 G 的電位有時比 F 高，有時比 F 低，而起週期的變化，G 比 F 高時，則起強電流，低時則幾不起電流，因此亦能得到整流的目的。



第六十四圖 三極真空管

無線電報 自從赫芝發見電磁波以來，關於利用這種發見來通信的研究，一時盛行，但如上述的電振動發生器，電的振動能太小，不能送電波於遠方，爲解決這個問題起見，馬可尼 (Marconi) 把振動器的一方面的金屬線，高樹於空中，一方面的金屬線插入於地下，則可增加電的振動能，並傳播極廣，經種種改良，遂完成現在的無線電報 (Radio telegram)，其主要原理如下：

1. 發信 用周波數大的交流發電機 (G) 發電，用手按電鍵 (K)，依按時的長短，可以成爲符號，同時使電球的間隙 (S)，在按電鍵時，發生火花。以是而振動電路 ($L_1 C_1$) 上發生電的

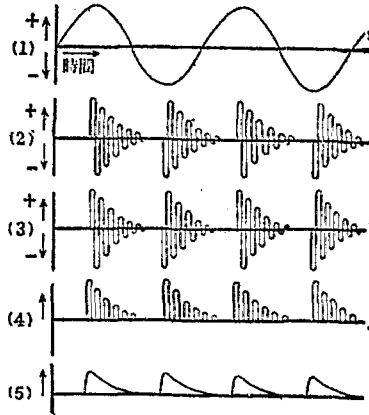


第六十五圖 無線電報的原理 (甲)發信 (乙)受信

A_1, A_2 天線； E_1, E_2 地線； C_1, C_2 振動電路； K 拍電鍵；
 T 變壓器； L_1, L_2 感應圈； V 真空管； R 受音器。

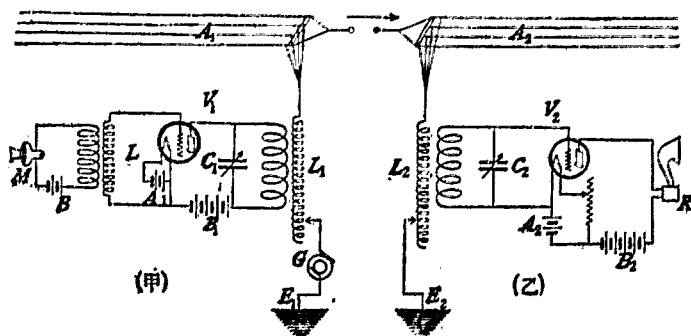
振動。這種振動依變壓器
 (T)及感應圈(L_1)的作用，
 而將振動送於天線 (Antenna) (A_1)，由該處送電
 波於各方。

2. 受信 受信機的天
 線(A_2)，受電波而起電的
 共振，亦起電的振動，這種
 振動，通過振動電路(經 L_2
 而至 L_2, C_2)而替發同一的
 電振動，經檢波器(V)而
 送於受音器(R)。



第六十六圖 無線電報受信的原理

- (1) 交流機G所送出的電壓；
- (2) L_1 所起的振動電流；
- (3) L_2 所誘起的振動電流；
- (4) 由檢波器整流的電流；
- (5) 受音器中的電流。



第六十七圖 無線電話的原理 (甲)放送 (乙)收音

A_1, A_2 天線； E_1, E_2 地線； V_1, V_2 檢波器； L_1, L_2 變壓器；
 C_1, C_2 電路； M 微音器； R 受音器。

無線電話 無線電話 (Radio) 爲近年已極普遍的一種傳話裝置，其原理與無線電報相同，但火花放電的電振動，振幅次第減小，即所謂減衰振動 (Decreased oscillation)，不適用於放送微妙的聲音，所以無線電話必須用非減衰振動 (Non-decreased oscillation)。這種非減衰振動由高周波交流機或真空管可以得之。

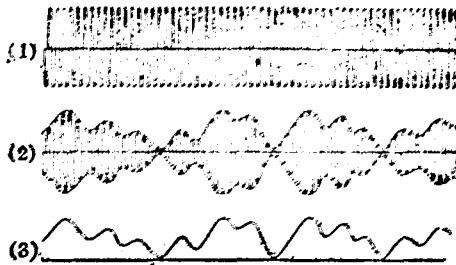
放送時先在天線 A_1 送出非減衰振動的電波，然後向微音器 (Microphone) 發聲，電波的振幅因聲音而起變調如第六十八圖即爲變調的狀況。受信時由受信機的天線 A_2 接收電波，經檢波器而整流，以是受音器上得如第六十八圖(3)的電波，以是放送的聲音又重行發生。至於詳細之點，則有專書，不及詳述。

光電管 用光

照射於新的金屬面，則有電子飛出，這種的電子，叫做光電子 (Photo-electron)，尤以紫色線及紫外線的作用，為最顯著。又金屬中以鈉、鉀等鹼性金屬發生此種現象為最盛。

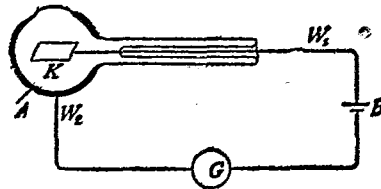
真空管的內面，塗以鹼性金屬 (圖中A)，作為陰極，其前面橫一金屬網 (圖中K)，作為陽極，這樣的管，叫做光電管 (Photoelectric tube)。

光電管與電流計及電池相連結。再在陰極面照射光線，則光電子由陰極面射出而飛向陽極(K)，因此K至A起一種電流，這種電流的強弱，與光的強弱成比例。所以應用光電管可以把光的強弱，而改為電流的強弱。光電管為傳真電報及有聲電影



第六十八圖 振動的變化

(1) 放送時的原有電波；(2) 發音時的電波；
(3) 收音時的電波。



第六十九圖 光電管

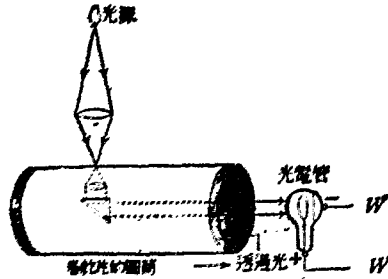
上所利用者，即爲此故。

電傳相片術 照相及文書等，由電流而送於遠地的，叫做電傳相片術 (Telephotography)，其原理如下：

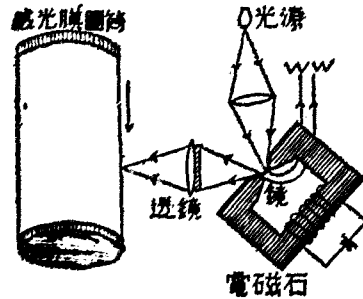
1. 發像裝置 由光源所發出的光，由透鏡而集合，照於將發送的照相乾片的圓筒面，通過乾片的光，依稜鏡的全反射而送至光電管。如發送的文書等爲不透明體，則以其反射光送至光電管。

光照射於圓筒上的照相乾片時，同時圓筒次第迴轉，依照相的影的濃淡，而射入光電管的光的強度，亦起變化。這種光的強弱，變爲電流的強弱，再經增幅裝置，而送於受像裝置。

2. 受像裝置 強磁石的磁場間，放一導線圈，再放一小鏡，則發像裝置送來的電



第七十圖 發像裝置



第七十一圖 受像裝置

流通於此線圈，應電流起強弱的變化，而線圈以及鏡的迴轉角起差異，然後把光源所發的光集合而照於此鏡，其反射光經透鏡而集照於感光的照相乾片的圓筒上，則此筒的運動如完全與送像的圓筒相同時，即可得一與原有像同樣的照相。

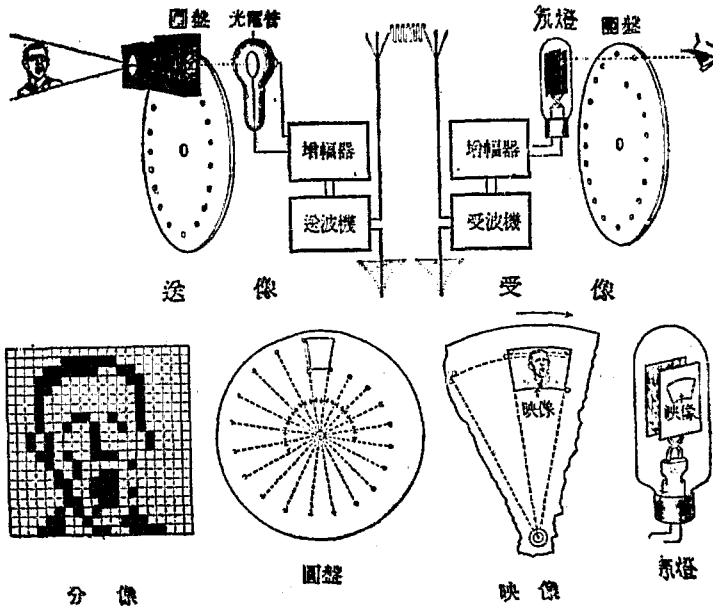
有聲電影和電視 影畫的影片的側面，有一音波記錄的濃淡的紋，開映時，在此部分照以光線，則光經光電管而起電流的強弱，再經擴音器而變成聲音。音波的記錄於影片上的方法，係用微音器生電的振動，這種振動由光電管而照於影片上，遂成濃淡的條紋。



第七十二圖 有聲電影
左側的條紋即為發音帶

依電力而將遠隔的事物可以映於眼前的裝置，叫做電視 (Television)，其原理略述如下：

1. 發像裝置 物體所發的光，通於迴轉極速的小孔，而送於光電管，光電管依光的強弱。而生強弱的電流，這種電流送於受像裝置。



第七十三圖 電視原理

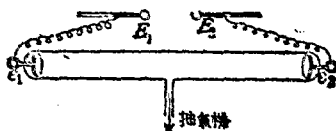
2. 受像裝置 這種電流送於氖燈(Neon lamp),依電流的強弱,而起瞬間的變化,此種變化通過與送像裝置,用同一速度迴轉的有孔圓盤而生物像,使我人感覺與實物相同的感覺。

第 七 章

電 子

真空放電 如第七十四圖的裝置，把一玻璃管的中間封入兩個的電極 e_1 、 e_2 ，再將此兩極與感應圈的兩極 E_1 、 E_2 相連接，並在線圈上通電時，則最初在管內並不發生火花，如將此管中的空氣，用抽氣機將玻璃管中的空氣次第排除，而使管中的壓力減小，則管中發美麗

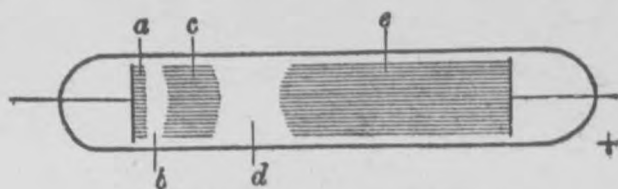
的火花，從這一點，可以證明氣體壓力減小時，則放電亦較易。一般在稀薄氣體內的放電，叫做真空放電(Vacuum



第七十四圖 真空放電

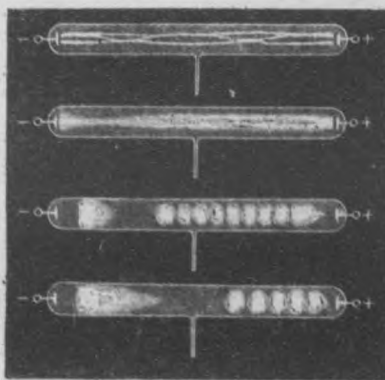
discharge)。此時所發生光的狀態，依管中氣體的壓力而異。壓力較大時，則呈條狀；壓力減小至達數毫米的水銀柱高時，則光幾擴散至管的全部；更進而至將近真空狀態時，則光分成鱗片狀，而其間生幾多的間隙。這種程度的真空管，叫做蓋斯勒管 (Geissler's tube)。

普通蓋斯勒管中(第七十五圖)接近於陰極的a部(稱為陰極柱(cathode column)呈赤紫色的波狀，其次為一外觀上不發光的b的部分，此部稱為克魯克司 (Crookes) 黑暗部



第七十五圖 蓋斯勒管的放電

(或稱第一黑暗部)或 Hittorf 黑暗部,再其次為發薄紫色微光的部分 c,稱爲陰柱(Negative column),d的部分爲與克魯克司黑暗部相似的部分,稱爲法拉第(Faraday)黑暗部(或第二黑暗部),至於佔管的大部分的 e 部分,則明暗交互相間,爲赤色的非常美麗的鱗狀部,稱爲陽柱(Positive column)。陽柱的鱗狀部每鱗均有頭尾,而頭向陰極的方向。管中的壓力變更時,則內部亦起種種形態的變化。普通氣體壓力愈減小,則克魯克司黑暗部漸次發達,而陽柱部漸次消失,氣壓減至0.1毫米以下時,則管的全體均充滿陰柱。



第七十六圖 各種的放電狀況

陰極射線 蓋斯勒管內的氣體壓力，若更為減低，則管內的光輝完全消失，祇在陰極的一端的玻璃管內面發一種美麗的黃綠色的螢光，這樣的管，稱為克魯克司管(Crookes tube)。克魯克司管內的現象，現在稱為陰極射線 (Cathode ray)，是由陰極放出的一種輻射線而向陽極前進。陰極射線除具有螢光作用之外，更有下列諸性質：

1. 陰極射線依直線而進行，所以如第七十七圖的裝置在陰極的對面置一小金屬片或雲母片，則在玻璃管頂，發生此片的影，即表示陰極射線被此片遮斷其進行的路。故陰極射線的進行，與一般光的進行情形相同。

2. 陰極射線與陰極面成直角而射出，證明此點，可用上圖同一的裝置而改用廣闊的陰極並用線狀物



第七十七圖 陰極射線的直進

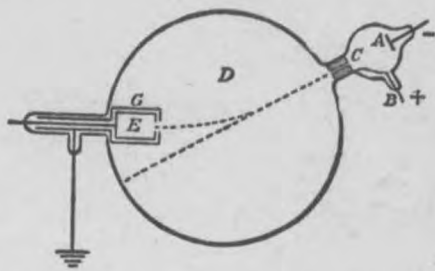


第七十八圖
陰極射線的受磁石的影響

為障礙物，則見其生一全影而非半影。

3. 陰極射線可由磁場而彎曲，即在管的附近置一棒磁石，則發螢光的中心部分，可以移動。

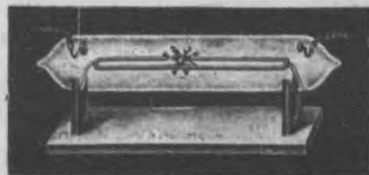
4. 陰極射線帶有電荷，故如第七十九圖的裝置，A為陰極，B為陽極，由A所射出的陰極射線通過小孔C而入D球中，D中放一E的小箱，並用磁石使陰極射線彎曲而入E匣，則由電量計知其帶電，並經湯姆遜(J.J.Thomson)等的研究結果，知其為一種帶電的微粒粒子羣，其電為陰電。



第七十九圖 陰極射線的帶電證明實驗

其帶電，並經湯姆遜(J.J.Thomson)等的研究結果，知其為一種帶電的微粒粒子羣，其電為陰電。

5. 陰極射線可以通過物質的壁，例如用鋁及錫箔等的薄壁，將陰極射線照於其上，則不必開孔亦能通過，所以用鋁箔等來代替玻璃管時，陰極射線可以放出管外，這樣的放出管外的陰極射線，叫做來南特 (Lecnard)射線。

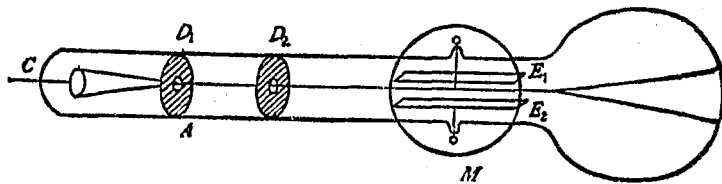


第八十圖 陰極射線的機械作用

6. 陰極射線可作機械的功，所以如第八十圖在管內置玻璃的軌條，上置雲母製的輕翼車，則陰極射線前進時車翼迴轉。

由以上種種的事實證明陰極射線所具的負電，實為一種微粒子的羣流，這種微粒子，就叫做電子(Electron)。

電子的電荷測定 陰極射線的粒子既為一種帶電的微細粒子，但其單位質量所帶的電量多少，成為決定電子的性質上第一要件，今以 e 為荷電量即電荷(Charge)，而 m 表其質量，則 $\frac{e}{m}$ 稱為電子的荷質比(Specific charge)。湯姆遜用下圖的裝置測定之。圖為一大玻璃管，管的一端C為陰極，A為陽極， D_1 、 D_2 為兩平行的金屬板各穿小孔。 E_1 、 E_2 為二平行的金屬



第八十一圖 電子的電荷測定

板，給予電壓使其間生強度 E 的電場， M 為電磁石，與電場成直角，生強度 H 的磁場。由 C 所射出的陰極射線，通過 D_1 、 D_2 ，成為小線束，而進入電場及磁場，在該處受電場磁場的作用而曲折，與前方的玻璃管壁相衝突，該壁上豫先塗一種受陰極射線的衝突而可發發光的物質的點，由此點的發光，可以測定陰

極射線受電場及磁場作用而彎曲的程度。從這種裝置的測定結果，並經各方面的證實，知電荷 e 為

$$e = 4.774 \times 10^{-10} \text{ 靜電單位。}$$

在物質界中以此為最小的物質的帶電量，故物質的帶電量，有與此值成倍數的，但尚無比此更小的。又測得靜止電子

$$\frac{e}{m_0} = 1.760 \times 10^{18} \text{ 每克電磁單位。}$$

故其粒子在靜止時的質量

$$m_0 = 9 \times 10^{-28} \text{ 克。}$$

氫的原子質量為 1.65×10^{-24} 克，故此種陰極射線粒子的質量約等於氫原子的質量的 $\frac{1}{1830}$ ，實為現今所知各種質量的最小的，此項質量的最小粒子，就叫做陰粒子 (Negative corpuscle)，即為電子。

從上述的方法更可推定電子速度 v 與放電時的電壓 V ，有密切關係。 V 的單位如用伏特，則其關係可依下式表示之：

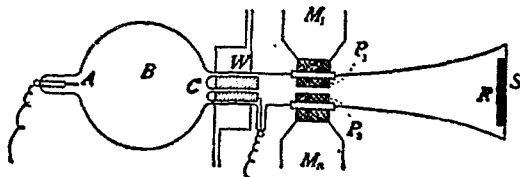
$$v = 5.95 \times 10^7 \sqrt{V} \text{ 每秒釐米。}$$

例如 $V = 2,000$ 伏特時，則放出電子的速度 v 當為 2.6×10^8 每秒釐米。

陽極射線和陽粒子 陰極射線發見以後，1886年高爾特斯坦 (Goldstein) 又發見在克魯克斯管內的陰極射線途中，插入一障礙物，則與陰極相對的玻璃管面固能生影已如前述，但

同時在陰極的背面亦能生影。這種現象，現在多知道是一種帶陽電的原子或分子的羣流，叫做陽極射線 (Anode ray)。關於陽極射線的研究，以魏恩(Wien, 1898)、湯姆遜(1911)、亞斯東(1922)等的研究為最主要，並貢獻一研究物質構造上有力的方法。

湯姆遜的研究用如第八十二圖的裝置以測定陽極射線微粒子的荷質比。圖中B為大放電管，C為陰極，A為陽極，C的中



第八十二圖 測陽極射線荷質比裝置

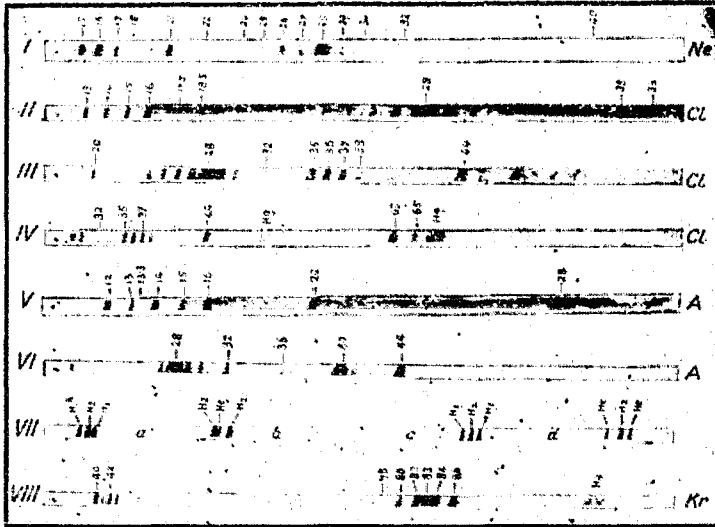
央開一小孔， P_1 、 P_2 為二枚的平行軟鐵板，與電池相連結，則成容電器，而其間發生電場。 M_1 、 M_2 為電磁石的兩端， P_1 、 P_2 為薄雲母板，受電磁石作用時，則 P_1 、 P_2 間發生同一的磁場。 W 中通以水，以防陰極 C 的過熱，通過 C 的中央的細孔的陽極射線，更通過 P_1 、 P_2 間，而射至照相片 S 一點上。此點如在陽極射線粒流通過管中，而未受電場及磁場作用時，則此點適正對 C 而成一直線，如受電場及磁場作用時，則位置起變化。用這種裝置，算出 $\frac{e}{m}$ 的數值，知電荷 $e=4.77 \times 10^{-10}$ 靜電單位。由 $\frac{e}{m}$ 以決定粒子的質量，知 $m=1.663 \times 10^{-24}$ 克，或其倍數。這種

的粒子，叫做陽粒子(Positive corpuscle)。

陽極射線的粒子帶有陽電，陰極射線的粒子帶有陰電，這種帶有陰電的粒子，就是所謂電子，而帶有陽電的粒子稱為陽粒子或質子(Proton)。其質量與氫原子的質量相近。

質量光譜及同位元素 湯姆遜在研究陽極射線中，發見真空管中如封入氖(Neon)元素的氣體，用上述的裝置，測其 $\frac{e}{m}$ ，則其陽極射線在照相上表示兩條的拋物線，這兩條拋物線，就表示一種氣體內的陽粒子羣有兩種，其陽粒子的質量彼此不同。依此推算得氖的原子量應有兩值，一為22，一為20，所以氖為兩種氣體所合成，這樣的性質相同而原子量不同的兩元素，稱為同位元素(Isotope)。同位元素在放射性物質中早已知道，但在放射性物質以外，亦有同位元素，實由陽極射線研究開其端緒。

亞斯東把湯姆遜的實驗方法，稍加改良，使陽極射線的同 $\frac{e}{m}$ 的粒子，集中於一點，並使其通過細隙，用照相乾片攝影，則不同的荷質比的粒子，各現一細隙的像於乾片上，可以在乾片上，發見不同的粒子影排列成一列，好像光譜的情形，這種的現象，就叫做質量光譜(Mass spectrum)。如第八十三圖即為亞斯東所攝的質量光譜的影，旁邊所記的數字，為以氧氣的原子量作為16時的各元素的原子量。



第八十三圖 質量光譜

登勃司德(Dempster)更用其他的裝置研究鎂、鎊、鈣、鋅等的陽極射線。將二氏所研究的結果，列爲一表，可知化學的元素實爲若干整數原子量的元素所混合，由多數同位元素而成。例如汞的原子量有 195、198、199、200、201、202、204 諸種。所以現在應把從前用化學方法所測定的原子量，例如汞爲 200.61，單稱爲原子量，而這種整數的原子量，稱爲質量數(Mass number)。因此亞斯東及登勃司德發見一重要的定律，以氧的原子量 16 爲標準，各元素均有整數的原子量，或爲具整數的質

量數的若干同位元素所混合。這個定律叫做整數定律 (Law of integral number)。今舉數例於下：

原子序數	元 素	原 子 量	質 量 數
1	氫	1.0073	1,2
10	氖	20.18	20,21,22
14	矽	28.03	28,29,30
24	鉻	52.01	50,52,53,54
30	鋅	65.38	64,65,66,67,68,69,70
34	硒	79.2	74,76,77,78,80,82
48	鈷	112.41	110,111,112,113,114,116
88	釷	226.0	224,226,228
92	鈾	238.2	234,238

X射線 (又稱倫琴射線Röntgen ray) 陰極射線與金屬面相衝突,放出特別的一種的線,與陰極射線性質不同,這種的射線,叫做X射線,俗稱X光線,為1895年倫琴所發見,所以又稱為倫琴射線。X射線對於具有螢光作用、照相作用以及電離作用的物質,均能透過,但透過的程度,則依透過的物質而異,同一物質,亦有透過度較大的X射線,與透過度較小的X射線,因X射線的透過度有差異,所以透過度大的X射線,稱為硬線,透過度小的稱為軟線,當然所謂軟硬的字義,是比較的

而非絕對的。關於X射線的性質，在發見X射線的當初，倫琴已知射線的直進性質。1905年白克拉 (Barkla) 發見其有偏光的現象；1912年勞厄 (Laue) 發見其有繞射的作用；1922年孔不東 (Compton) 發見其反射的作用；1922年西格孟恩 (Siegbahn)、拉松 (Larsson)、魏勒 (Waller) 發見其折射現象，以是現在物理學上把 X 射線作為可視光線的一種，也是前述的電磁波的一種。與可視光線所差異之點，為 X 射線的波長，比一般可視光線特短，這是在前章中亦已講過的。

原來X射線為高速度的電子，與物質相衝突，突然停止時所產生。電子的速度與X射線的振動數 ν 的關係，據愛因斯坦 (Einstein) 的公式，為

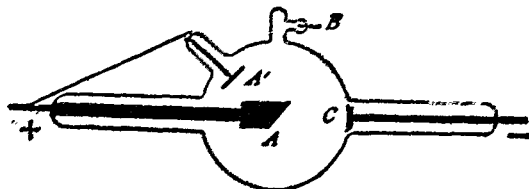
$$\frac{1}{2}mv^2 = h\nu。$$

m 為電子的質量， h 稱為蒲郎克 (Planck) 恆數，其值為

$$h = 6.55 \times 10^{-27} \text{ 爾格} \cdot \text{秒}。$$

所以要發生X射線，必須 (1) 發生電子；(2) 給高速度於電子；(3) 使與物質衝突而急速停止三條件。目下所應用的X射線發生裝置，有游子管及電子管兩類：

1. 游子管 如第八十四圖為表示游子管的構造圖， C 為陰極， A 為陽極，名叫對陰極；陰極用鋁製。為便於收集電子於對陰極 A 起見，表面作凹形。對陰極常用鎢，管內的氣體大多

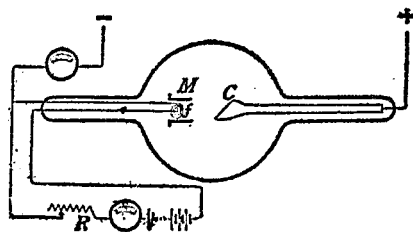


第八十四圖 游离子管

爲空氣，其壓力爲水銀柱的 $\frac{1}{100}$ 乃至 $\frac{1}{1000}$ 毫米左右。電極AC之間，加高電壓，則管內的陰向游子受電場的作用，而起加速度，以大的速度衝向陰極C，使陰極的電子飛出，電子受電場的作用，亦起加速度而向對陰極衝突，即在該處發生X射線。因衝突而發生的陰向游子，又以加速度向陰極衝突，使陰極更發生電子。

這種的X射線管，因管內的氣體及游子爲其主要部分，所以叫做游离子管(Ion tube)。管內氣體的壓力與發生的X射線的性質，有密切的關係，壓力大時，則AC間所加的電位差較小，亦能發生X射線，但其透過力較小。反之，壓力小時，則須用大電位差，而所生的X射線，透過度亦大。又用長的游离子管時，則管內的氣體壓力漸次減小，因而X射線亦變硬，故不能得到所需的透過度的X射線，爲避去此種的困難起見，可用線狀鈮(Pa)的一端封入於管中(B)，他端突出管外，鈮在高溫度時有通過氣體的性質，所以可以加高溫而通入氣體，以增加管內的壓力。

2. 電子管 金屬在白熱時，金屬的表面發散電子，這種電子叫熱游子 (Heat ion)。X射線管的電子亦可利用此種熱游子，爲 1912 年李林非特 (Lilienfeld) 及 1913 年高立志 (Cockridge) 所發見，所以這種的管又稱高立志管。其構造如第八十五圖，M 爲陰極，C 爲對陰極，M 爲金屬的圓筒，其中有螺旋狀鎢絲 f，鎢絲一端與此圓筒相連結，他端則依導線而通於管外。對陰極大都用鎢及鉬，管內的氣體壓力爲水銀柱 10^{-7} 毫米以下的



第八十五圖 電子管即高立志管

真空。用此管發生 X 射線，應先把 f 內的螺旋兩端連結於 12 伏特左右的電池，通以適當強度的電流，鎢即變成白熱，發散電子。此時 M、C 兩極再連結於高壓的電源，則電子受電場的作用起加速度與對陰極 C 相衝突而發生 X 射線。

示性 X 射線 像上述的由對陰極所發出的 X 射線，叫做一次 X 射線。一次 X 射線的性質與造成對陰極諸物質有密切的關係，把此種的射線，用分光器區別之，可發見其有波長相連續的連續 X 射線，更有與可視光線的明線光譜相當的部分。與明線光譜相當的 X 射線，稱爲示性 X 射線 (Characteristic X-ray)。

此示性 X 射線的波長，以及其透過度，由製成對陰極的物質的特有明線光譜有關係。

一般 X 射線與固體尤以與金屬面相衝突時，則起散亂的現象，其散亂的一部分 X 射線，與一次 X 射線相同，其他一部分，則為特有的 X 射線。這特殊的一部分 X 射線，叫做二次示性 X 射線 (Secondary characteristic X-ray)。

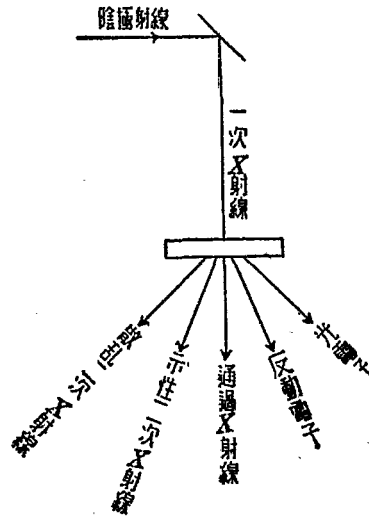
又一次 X 射線透過物質時，由物質而放出三種的射線：

1. 通過 X 射線 即與原有 X 射線同一的一次線，換言之，即與透過物質無關係的 X 射線。

2. 二次 X 射線 又分為兩種。其中即與透過物質有關係的示性 X 射線，及與透過物質無關係但與

空間方向有關係的散亂 X 射線 (Disperse X-ray) (又稱為 Compton 氏效果的移動 X 射線)。

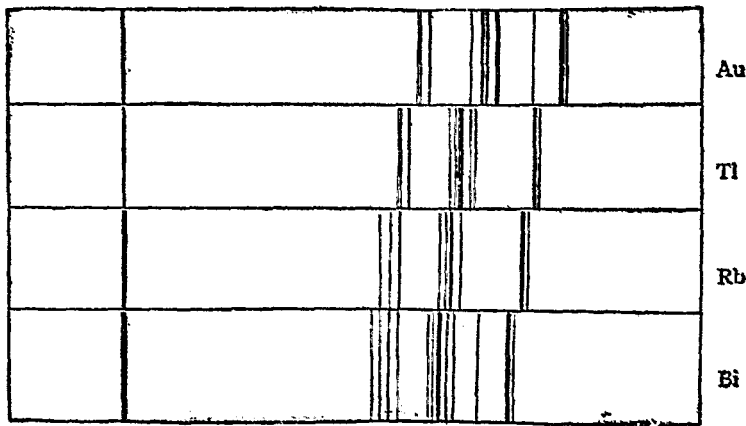
3. 電子羣 即 X 射線與物質相衝突而射出的電子羣，可



第八十六圖 示性 X 射線

以分爲光電子(Photo-electron)及反動電子(Reaction electron)的兩羣。其中光電子與示性X射線,反動電子與散亂X射線有密切的關係。射至物質內部的一次X射線的能,即變作上述三種射線的能。

這種現象,就表示一次X射線與物質相衝突時,一部分不起任何變化,一部分則顯現特有的X射線,起相當的變化。如用照射的物質作對陰極時,所射出的示性一次射線,與用其他X射線射於該物質所生的示性二次X射線相同,



第八十七圖 L系的X射線光譜

自然X射線中的示性X射線發見以來,布拉格(Bragg)父子復設計X射線的分光器,研究各種元素的X射線的光譜,並經其他如馬斯來(Moseley)等的研究,發見各元素的示性X射

線，可以分爲五羣，現在依波長的順序，由短而長，叫做K系、L系、M系、N系、O系。從這種的波長研究，更發見原子序數的關係。所以馬斯來等主張元素的本質的特性，不在原子量，而在元素的序數。所謂元素序數即週期表及原子量表上所用的原子的號數。屬於K系的爲 As、Se、Br、Rb、Nb、Rh 諸元素；屬於L系的元素爲 Au、Tl、Rb、Bi 等；屬於M系爲66號原子 Dy 等；N系爲Ta等；O系爲Th(90號)等。惟太涉專門，故僅示其概略而已。

第八章

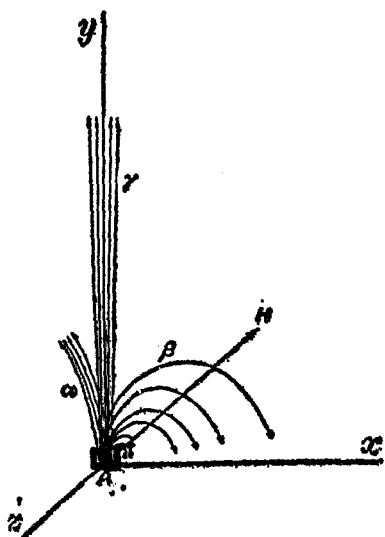
原子的構造

放射性的發見 真空放電所生的各種放射線，不單發螢光與磷光，且有照相作用和電離作用，前已說明之。但古來已知螢石及其他若干礦物，亦往往能發螢光及磷光，所以這種礦石的中間，有無放射線存在，成爲學者所懷疑的問題，1896年培克來爾(Becquerel)遂將各種礦石檢查其有無使照相乾片發生影響的作用，把乾片用黑紙包藏而遮去日光，再將礦物安置於乾片的上面，將此乾片及礦物放於暗室中，經相當時日，萬一此乾片起若干變化，即可證明此礦石亦有放射線射出，在這樣的研究繼續進行中，遂發見鈾(Uranium)的化合物，大多有這種的作用，並把具有放射線的物質共稱爲放射性物質(Radioactive substance)。而把這種特性稱爲放射性(Radioactivity)。

鈾發見之後，休密脫(Schmidt)及居里(Curie)夫人在1898年同一年間，各自獨立發見釷(Thorium)也與鈾有同樣的放射能。1898年居里夫婦共同發見放射能最烈的稱爲鐳(Radium)及稱爲釷(Polonium)的兩種新元素。1899年台培爾尼(Debierne)更發見稱爲錒(Actinium)的放射性新元素，以是而相繼發見的放射能元素無慮數十種。

放射線 放射能元素所發出的放射線，依(1)與固體及氣體的吸收相比較，(2)依在受強磁場及強電場作用而起的彎曲二方法，發見放射線可分為三線，即 α 射線、 β 射線及

γ 射線。如第八十八圖為三放射線在磁場中的分布形狀。A為放置鏷的容器，用一定強度的磁場且使其作用時，則成圖的形式，放射線分散成 α 射線、 β 射線及 γ 射線，今以此三線的大體性質約略述之：



第八十八圖 三種放射線

1. α 射線 為帶陽電的氦原子的流，易被薄金屬箔或數種空氣層所吸收，即透過物質的能力弱。

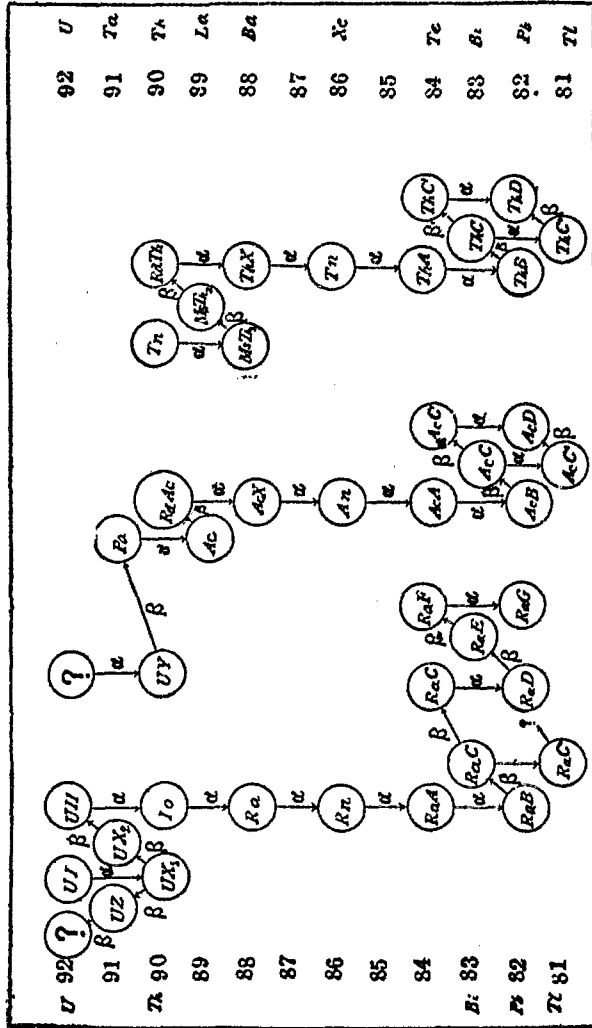
2. β 射線 比 α 射線透過物質的能力較大，速度亦比 α 射線為速，幾與光的速度相等，現在視為與高速度的電子的速度相近。

3. γ 射線 為三線中最易透過物體者。放於強磁場中並不受影響而彎曲。現在知其與 X 射線屬於同一的電磁波，但其

波長則比X射線更短。

三線中的電離作用以 α 射線爲最強， β 射線次之， γ 射線最弱。

放射能物質的蛻變 鐳的原子量雖爲226，但能放出氣體，這種放出的氣體，叫做鐳射氣(Radium emanation)，其原子量爲222，故視爲另一種的新元素而又給予氡(Radon)的名稱。這種氣體亦有放射能。鐳溫泉中對於人體健康上有特種效力，就在於此種鐳射氣的放射線。魯生福特(Rutherford)及沙台(Soddy)研究鈾(Thorium)元素的放射線結果，亦發見鈾能不絕的產生新元素，且所變成的，在物理及化學性質上與原有鈾元素不同，由這種發見，二氏遂倡放射能元素的蛻變的理論。即放射性元素在放出放射線時，變爲新元素，這種現象，就叫做蛻變(Transformation)。蛻變時所發出的放射線，爲 α 射線和 β 射線，但二線並非同時放出。 γ 射線則或與其他射線同時放出，或完全不放出。現在所發見的蛻變的順序，鐳蛻變爲氡，氡又蛻變爲鐳A(Radium A)，鐳A又蛻變爲鐳B(Radium B)，如此一再蛻變，最後達於不能放射。蛻變均有一定的期間，故其中各元素有壽命較長，亦有壽命極短的。依其蛻變的順序，放射性元素可分爲三系統，即(1)鈾系(Uranium system)以鈾爲起點而最後變成鐳F(Radium F)；(2)爲錒系(Actinium



第八十九圖 放射性元素的衰變

system)以錒為起點而最後變成錒D(Actinium D);(3)為釷系(Thorium system)以釷為起點而最後變為釷D(Thorium D);變至最後,則不再變化而安定。其最後所變成的元素均與鉛相近。壽命最短者祇數秒鐘或幾千分之一秒而已。與鉛相近的物體,最後則終變為鉛。

原子核 由鐳釷等的放射性元素的崩壞現象看起來,可知鐳、釷能放出 α 射線及 β 射線,並已知 α 射線中含有 α 粒子, β 射線中含有電子。放出 α 射線、 β 射線之後,原子量既起變化,則此種原子量變化的原因,當為減去電子及 α 粒子的結果。電子的質量祇達氫原子的 $\frac{1}{1830}$,為量極微。故此種原子量的減少,當歸諸於 α 粒子的消失。

研究的結果,知 α 粒子的帶電量,等於氦原子的帶電量,即同為 $+2e$, e 即電子的帶電量或稱電荷,且 α 粒子的質量等於氦原子的四倍。故 α 粒子放出一個,原子量當減少4。這個理論,與放射性物質的蛻變時的原子量的變化,完全符合。鐳的原子量為226,釷的原子量為222,其相差為4;鐳A的原子量為218,與釷的原子量的相差又為4,足見此時各放出1個 α 的粒子,故各失去4的原子量。

又放射物質的速度以鐳C(Ra.C)而論,為 2.1×10^9 秒釐米,與光的速度(3×10^{10} 秒釐米)相比較,相差甚微,所以其動量

(即速乘質量)極大。
魯生福特將此種動量大的 α 粒子,使與物質相衝突,則見其進行方向便起散亂。如第九十圖即為 α 的路線的表示,詳細考察起來,見其通路在其將近終點時,多起突然的彎曲,就是表示像 α 粒子這種大動量的粒子,仍受原子的陽電的影響而起反撥。更進一步實驗 α 粒子與原



第九十圖 α 粒子發散路徑

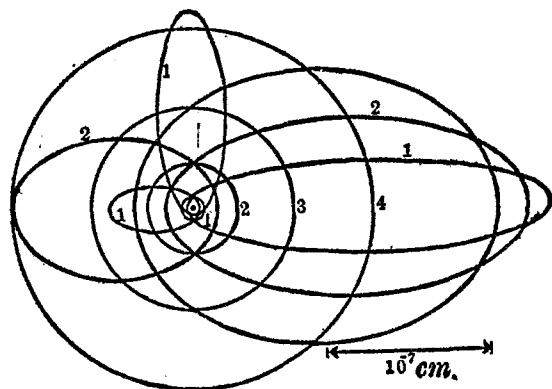
子相衝突時,所起的路徑的轉向點,與原子的陽電中心的距離的關係,發見 α 粒子祇能達到與原子的中心相距一定的距離,從種種推算,證明原子的陽電集中於原子的中心,此中心就叫做原子核(Nucleus of atom)。

用電子的帶電量 e 為單位,而計算此核的帶電量,知其約為原子量的一半。例如氦原子的原子量為4,而其核的帶電量為 $+2e$;碳原子量為12,而其核的帶電量為 $+6e$ (即電子的帶

電量的6倍，但爲陽電）。

從陽極射線等的研究，又知道構成原子核的陽電，由於陽粒子，故又稱陽核；氫的原子核由1個的陽粒子而成，特稱爲質子(Proton)。以此類推，而知氮的核有4個質子，氧的原子量爲16，而原子核爲16個質子所成。

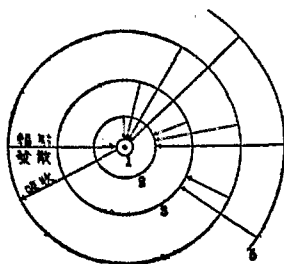
原子的構造 原子既有帶陽電的陽粒子或稱質子爲核心，更有許多的電子迴繞於核心的周圍，所以核與電子的關係，正和太陽與遊星的關係相似，前章亦已提及。電子常運行於核心的周圍。但電子的數目，電子所運行的軌道，以及配布的狀況，成爲學者所研究的中心問題。依包爾(Bohr)的原子構造的理論。氫原子可作爲此種構造的一代表。氫原子的原子核祇有一個的陽粒子即質子，而電子亦祇有一個，質子帶陽電，而電子帶陰電。氫的電子在質子的周圍，常以一定的半徑的軌道而迴轉，這種軌道，約有四條，而尤以在第一軌道迴轉時，氫的原子爲最安定，即爲氫的標準狀態。但如吸收或放散了能，則可變更軌道而自一軌道移行於他軌道。例如第九十一圖即爲氫原子及其軌道的模型。軌道有圓形、橢圓形等。爲說明的便利起見，用如第九十二圖的圓軌道，如電子由外面的5、4、3、2諸軌道而移行於1軌道時，則放散光譜；由2至3，或由3移至4等，則吸收光而光譜上起吸收光譜的暗線等。其他各種原子，



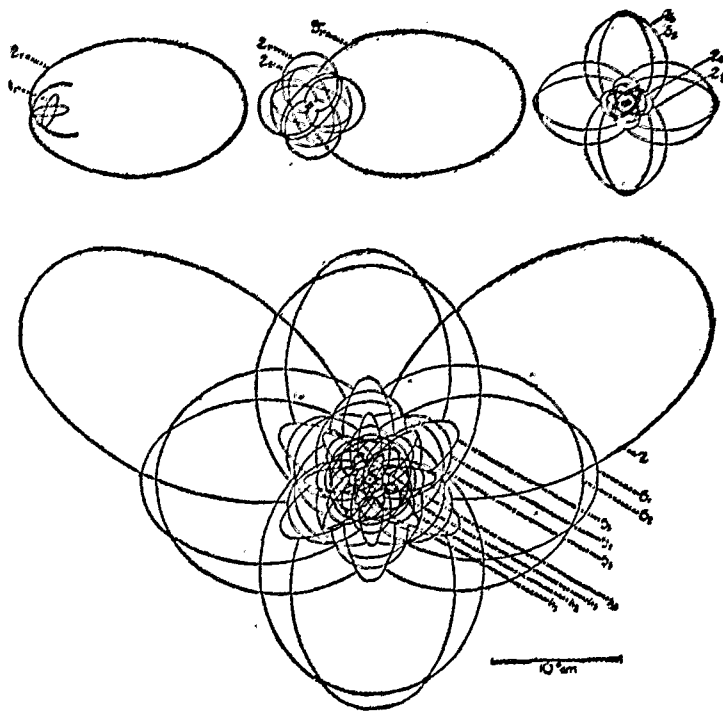
第九十一圖 氫的原子(中心黑點為核,線為電子軌道)

亦均有一定的軌道。今將原子的標準狀態時的軌道數及每軌道上的電子數,依學者研究的結果,列表於下,由此表可知除氫為1電子,而在第1軌道外,其餘則有二以上的電子,且其軌道有多至7條的,鎘即其一例。

軌道上的電子,近於最外側的軌道上的電子,常比較不安定,而在化學反應上,司重大的任務。而電子數多的原子,電子亦較易分離,而最易起原子的變化。



第九十二圖 氫原子模型圖
(矢表示電子由一軌道移至他軌道的方向)



第九十三圖 各種原子的電子軌道

(上左)鎂；(上中)鈉；(上右)鈣；(下)鐳。

宇宙射線(Cosmic ray) 宇宙射線又稱許斯(Hess)射線或超透過射線(Ultra-transmitting ray)為最近物理學界研究的一焦點，雖其本體尚未完全明瞭，但已有許多寶貴的研究，足資參考。原來1900年愛斯堆爾(Erstel)及伽意堆爾(Goitel)

原子內電子配列表 (軌道下數字為電子數)

原子序數	元素	第1軌道	第2軌道	第3軌道	第4軌道	第5軌道	第6軌道	第7軌道
1	H	1						
2	He	2						
3	Li	2	1					
4	Be	2	2					
5	B	2	3					
6	C	2	4					
7	N	2	5					
8	O	2	6					
9	F	2	7					
10	Ne	2	8					
11	Na	2	8	1				
12	Mg	2	8	2				
13	Al	2	8	3				
14	Si	2	8	4				
—	—	—	—	—				
18	A	2	8	8				
19	K	2	8	8	1			
20	Ca	2	8	8	2			
21	Sc	2	8	9	3			
22	Ti	2	8	10	2			
—	—	—	—	—	—			
29	Cu	2	8	18	1			
30	Zn	2	8	18	2			
—	—	—	—	—	—			
36	Kr	2	8	18	8			
37	Rb	2	8	18	8	1		
38	Sr	2	8	18	8	2		
—	—	—	—	—	—	—		
47	Ag	2	8	18	18	1		
48	Cd	2	8	18	18	2		
—	—	—	—	—	—	—		
54	X	2	8	18	18	8		
55	Cs	2	8	18	18	8	1	
56	Ba	2	8	18	18	8	2	
—	—	—	—	—	—	—	—	
79	Au	2	8	18	32	18	1	
—	—	—	—	—	—	—	—	
86	Rn	2	8	18	32	18	8	
—	—	—	—	—	—	—	—	
87	—	2	8	18	32	18	8	1
88	Ra	2	8	18	32	18	8	2
—	—	—	—	—	—	—	—	—
92	U	2	8	18	32	18	18	1

發見電量計(Voltmeter)在電流斷絕後仍有少量的電離化的作用，雖用種種方法防止仍難免去，後來發見祇要把電量計用極厚的紙包裹，則可免此種電離作用的發生，足見電量計放於空中，似乎有由外界向其作用的一種透過射線存在，一般以為地中的放射能物質的影響，故未深加注意。但此種效果如歸因於地中的放射物質，則在高空中應可減少，1911年許斯欲證明此種事實起見，遂於離地面1千米處試驗，知在該處，則電離作用確可減少，但到2千米的高處，電離作用漸次增加，至5千米處，已達地上的2倍乃至3倍，這種事實，證明電量計能在不通電時而起電離，雖係受外界的透過射線的影響，但這種透過射線，並非起於地中的放射性物質，實起於宇宙間的放射線。

許斯的實驗結果，更經密立更(Millikan)及包斯(Bothe)等各學者的研究知道所謂宇宙射線的放射線，實為類似 γ 射線的電磁波，其波為高速度的電子，其所含的能為 10^9 伏特，即為一種超 β 射線。但亦有用其他方法而所得結果不同的。但密立更等認此種的射線，為超透過射線，起於地球以外，到了地球範圍以內，而變成輻射線。據魏爾遜(C.T.R. Wilson)所主張，則謂此種輻射線在大雷雨時，起放電所生，至今尚未確定，但至此宇宙間有這一種新發見的輻射線，已為一般學者所共認，無可否定。

中性子和陽電子 最近1932年包斯及貝于 (Becker), 以及其他學者研究鈾 (Po) 的 α 射線與鈹 (Be) 相衝突, 則由鈹射出一透過性極大的放射線, 稱為人工 α 射線 (Artificial α -ray)。謙特爲克 (Chadwick) 更用精密的裝置複試, 發見此種的 α 射線, 與普通 α 射線不同, 爲一陽粒子與一電子緊合的物質, 稱為中性子 (Neutron)。又於1932年安特生 (Anderson) 研究宇宙射線的結果, 又發見一種質量與電子相同, 但具陽電的粒子, 這種粒子的帶電量, 與電子相同, 惟電爲陽電。所以安氏把所發見的粒子, 稱為陽電子 (Positron), 並爲與從來的電子相區別起見, 把從來的電子改稱陰電子 (Negatron)。1933年勃拉蓋脫 (Blackett) 又提出對於此種陽電子存在的證據, 所以漸爲物理學上所承認, 因而關於原子的構造的理論, 將起相當改革了 (陽粒子從前譯名中, 亦有譯爲陽電子的, 現在應加區別)。

第 九 章

量 子 論

輻射和吸收 熱能的移動形式，有傳導、對流及輻射的三種，前面已經講過，現在再把輻射加以補充。輻射是熱能的一種迅速移動的現象，其移動不限於波動，照近來的微粒說講起來，是某種粒子在運動時，運搬一種的能，或能自身變為粒子狀而移動，成為輻射。

輻射線的振動數以氣體及原子的種類而有一定。換言之，即輻射線的波長或線色，依原子的種類而異。例如鈉蒸汽放出D線，這就是這種元素在氣體狀態時，各有一定的振動數，所以如外部有一種相等的振動數的振動能（即輻射線）到達的時候，其原子起共振而接受振動的能。這就是輻射線的吸收現象。今假定有鈉的原子，放出D線，此時如外界亦有D線射來而透入鈉原子，則射入線振動能的一部份，被鈉原子吸收，此時如鈉原子由外界吸入的能，比自己放出的能大時，則鈉就把外部氣體的D線吸收。據克希荷夫 (Kirchhoff) 定律，氣體在高溫度所發的光，到低溫度時又能把這同一的光吸收。太陽普通有六千度的高溫，但其周圍則有低溫度的氣體存在，所以由太陽輻射而出的輻射線中，亦有被包圍於太陽周圍的氣體吸收的。這

就是太陽光譜中發生黑線即夫牢因好斐(Fraunhofer)線的理
由。

輻射線射入一物體時，其一部分被吸收；但物體亦有放射
不同的輻射線的。如入射線射入物體時，而物體同時放出輻射
線時，即起干涉而變成螢光。遮蓋了入射的線，而放出輻射線
時，變成磷光。所以螢光及磷光，多是放出的輻射線比射入的
輻射線的波長長，這就叫做司托克定律(Stokes' law)。

完全黑暗體 氣體原子的輻射及吸收的輻射線的波長，
依原子的種類而有一定。固體液體原子，則輻射種種波長的輻
射線，又吸收種種波長的輻射線。這是因為固體或液體的原子
間有一種的相互作用力，使各原子強制振動的結果。氣體的吸
收及放射的輻射線的波長有一定，所以光譜為明線光譜。固體
液體既有多數種類的波長的輻射線，所以其光譜為連續光譜。

一般的物體，既有吸收一部分外部射來輻射線的性質，所
以理想上，完全吸收輻射線的物體，叫做完全黑暗體。物體的表
面如塗以煤，大體上即近於完全黑暗體。據克希荷夫的研究，
能吸收一定溫度一定波長的物體，亦能放射輻射線。完全黑暗
體即為放射輻射線能力最大的一種物體。

固體或液體不論其溫度如何，既常射出各種波長的輻射
線，但據魏恩(Wien)的研究，其中有最大的輻射線的波長(假

定為 λ_m)與絕對溫度(T)成反比例,即

$$\lambda_m T = \text{常數。}$$

如 λ_m 用微米(Micron, μ)為單位時,則此常數的值為2940。這就叫做魏恩定律(Wien's law)。例如溫度不甚高的物體,常以放出波長大的赤外線為主,溫度上昇,則所射出的波長反較小,高溫時,則以輻射藍色、紫色線為主。故物體初熱時大多呈赤色,而又次第變為白色,其關係如下:

550度 暗紅色 700度 赤色 7100度 白色

量子說 據蒲郎克(Planck)所說,物體吸收輻射線時,雖能逐漸吸收,為量甚小;但輻射時則非為最小限度的能量(通常用 ϵ 的記號表示之)的整倍數不可。用一比譬說明起來,我們可看雨滴從瓦面落下的情形。已落下的雨水,無論多少,均可收集,但由瓦面集成水滴而落下時,非集成一最小量的水以上,不能落下。能的最小限度的量,叫做能量子(Energy quantum)。量子的值 ϵ ,依輻射線的種類而異,如輻射線的振動數為 ν ,則

$$\epsilon = h\nu。$$

h 為各種輻射線共通的量,叫做作用量子(Reaction quantum)。又稱為蒲郎克常數,如以爾格為能的單位,而用秒為時間單位時,則其值如下:

$$h=6.55 \times 10^{-27}。$$

蒲郎克用了這種假說，說明熱的輻射現象，就叫做量子說(Quantum theory)。所以量子說根本意義，就在於主張「能」亦有一最小限度的終極要素(End element)，好比質量由原子的終極要素所組成，電由最小電荷所組成，而能由能量子所組成。所以物體獲得能或放出能時，即以能量子的一倍、二倍等，常為能量子的整數倍。普通能的逸出，常以每 $h\nu$ 的一團的倍數而逸散。這種理論，經多數學者的推論，已認為有相當根據，而成為近代物理學上一重要的學說。所以照此說而言，熱的傳導、輻射等，多是能量子的傳授。

光量子說 愛因斯坦把蒲郎克的理論，擴張到光的方面，謂振動數 ν (即波長 $\lambda=c/\nu$ 中的 ν)的單色光線，亦常以 $h\nu$ 的能的整數，放出光的能，所以由此說推論起來，又回到近於牛頓的光的微粒說。即光是一種近於微粒狀的物體，每一微粒，即含有 $h\nu$ 的能，所以光由光源放散於四方，並非是一種以太，實為光的粒子射至四方。這種粒子，在真空中的速度， $c=3 \times 10^{10}$ 釐米/秒。這種含 $h\nu$ 的光的粒子，就叫做光量子(Light quantum)或稱光子(Photon)。愛因斯坦的所謂光量子，與牛頓的粒子所不同之點，光量子有 ν 的一定的振動數，且附有 c/ν 的波長。現把此學說的重要結論記述起來，約有下列諸點：(1)有振動

數 ν 的光的光量子，具有 $h\nu$ 的能。(2)光量子在進行的方向，有與 $h\nu$ 成比例的動量，其比例常數，為光速度的逆數。(3)光量子有 $\frac{h\nu}{c^2}$ 的慣性質量(c 為光速度)。(4)光量子的質量亦具萬有引力的性質。

光電效果 光量子的學說在近代物理學上如何重要，當以光電效果 (Photoelectric effect) 的現象說明之。

用輻射線(可視光線, X射線, γ 射線等)照射於物質時, 則物質受此作用而起電子飛出的現象, 稱為光電效果。這種現象為1887年赫芝所發見。1905年愛因斯坦用光量子說加以理論上的說明, 成為電學上一重大發見。

光電效果現象中一種重要事實, 就是光照於金屬板, 則金屬板的電子有一部分即刻飛出, 依前章講過的光電管可由光電管的受光後即起電流以證明之。但光的強弱祇使飛出的電子數依比例而增減, 電子的速度與光的振動數有關係, 與光的強弱無關係。這種事實為電磁波說所不易說明。但照光量子而言, 則每一光量子各有一定量($h\nu$)的能, 所以光的強弱即為含光量子的多少, 強光含光量子多, 所以能亦多; 光弱則含光量子少, 故能亦少。這種光量子一接觸金屬面即給能於電子, 故電子即刻飛出; 因強光的光量子多, 所以飛出的電子數亦多。

自然的不連續性 物質究屬是連續的還是不連續的, 成

~~~~~

爲古來學者所議論的問題。但自達爾東倡原子說以來，已知物質由粒子狀的原子而成，物質爲不連續的。近代電子學說進步以來，更使從來所謂原子，亦知其有不連續性的構造。自量子學說昌明以來，更進而表明於能亦具不連續性的，故能的受授亦有一定的最小限度。所以從近代物理上的研究結果，已確切可以證明宇宙一切，均爲不連續的。

## 第 十 章

### 相 對 性 原 理

**以太問題** 自1678年惠更斯提出光爲彈性媒質所生的波動見解以後，把這媒質，叫做以太 (Ether)，前面業已講過。但當時因牛頓的聲望在惠氏以上，所以一般學界，仍傾信於牛頓的微粒說，而對於惠氏學說未加採納。直至後代發見光的干涉、偏光等等現象以後，而波動說又見盛行。但惠更斯所主張的光波爲縱波，而法來司南 (Fresnel) 則從偏光的現象上，證明光的波動爲橫波。十九世紀馬克士威的光電磁說發展以來，更經赫芝的實驗，確定以太不獨爲光的媒質，並爲各種電磁現象的媒質。但電磁說的所謂以太，已非當時所想像的爲一種彈性體，而爲一種的媒質而已。

勞能志 (Lorentz) 從電子論上假定電的周圍有以太，用以說明物質的各性質。據勞能志的理論而言，以太爲絕對靜止的物質，而平均分布於空間，物質在以太中運動時，以太決不至受影響而起運動。但在電場及磁場中，則能生以太。

邁克爾遜 (Michelson) 及馬來 (Morley) 的實驗 以太如爲絕對靜止的物質，地球在以太中運動，正像地球的表面有以太的大河流過。譬如有一河，河闊十丈，有一定速度的水流由

上游流至下游。今有甲乙兩船，同由左岸的一點出發，一向對岸前進，再回至原處；一向下游前進，至與河闊相等的十丈處，而回至原處，兩船的速度相等，則回達原點的時間應有先後。

與此同一的道理，在地球表面，如第九十四圖，有一光線向地球公轉的方向放射，而至一定距離( $l$ )



第九十四圖

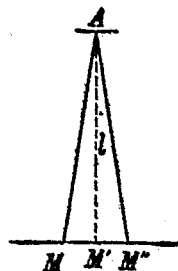
回至原處。光的速度為  $c$ ，地球公轉速度為  $v$ ，則由  $M$  至  $B$  所要時間為  $\frac{l}{c-v}$ ，回

至原處所要時間為  $\frac{l}{c+v}$ ，往復的時間  $t = \frac{l}{c+v} + \frac{l}{c-v} = \frac{2cl}{c^2 - v^2}$ ，

公轉速度極小，故可視為  $\frac{2l}{c}$ 。

又如向垂直於地球公轉的方向，放出一光，亦以同樣的距離，同樣的速度，則光由  $M$  出發，再回至  $M$  時間內， $M$  已與地球

同向  $MB$  的方向進行，故實際上由  $M$  所射出的光，依如第九十五圖的  $MAM''$  的路程而來回。由  $A$  至  $MM''$  的垂直線為  $AM'$ ， $AM'$  的長為  $l$ ，則  $AM'$  與  $MM'$  的比例為  $c:v$ ，所以  $AM$  與  $AM$  (即  $l$ ) 的比為  $c:\sqrt{c^2 - v^2}$  (直角三角形)， $AM$  的長為  $\frac{cl}{\sqrt{c^2 - v^2}}$ ，光由  $M$  至

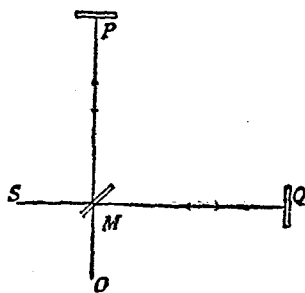


第九十五圖

$A$ ，再由  $A$  至  $M''$  的所要時間，當為

$$t' = 2 \frac{AM}{c} = \frac{2l}{\sqrt{c^2 - v^2}}$$

這是顯然  $t$  與  $t'$  的值不同。所以假定以太是絕對靜止，地球所發的光一入以太，不再受地球運動的影響，則在地球上同一點，同時放出兩光線，一光線向地球公轉的方向，一光線向地球公轉垂直的方向，並使其回復同一的距離，其所要的時間，應有不同。邁氏及馬氏即根據此種的推論，從事一大規模的實驗，用如第九十六圖的裝置，由  $M$  的光源放出一光線使其接觸一半為鏡，一半為玻璃的平面，而分光為垂直與水平兩部分。一部分送向與地球公轉的方向，一部分送向與地球公轉垂直的方向，使其各通過  $l$  的距離而回至  $M$ ，由望遠鏡以觀察二光線同時回至一點所起的光的干涉現象。但其結果與上述的推論相反，即二光線並無先後，實同時回至  $M$  點。這個著名的實驗就決定以太並非絕對靜止，實與地球的運動同起運動。



第九十六圖

邁克爾遜實驗裝置模式圖

後來勞能志為辯論這問題，提出所謂勞能志的收縮 (Contraction of Lorentz) 的學說，謂物體以  $v$  的速度運動時，則物體向運動的方向以  $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} : 1$  的比例而起收縮，因此而上述  $t$  與  $t'$  的值變為相同。

但自 1905 年愛因斯坦提出所謂相對性原理 (Theory of relativity), 以是證明所謂以太的思想無足輕重, 且自光量子等的學說, 證明地球的表面實無所謂以太, 同時勞能志的收縮學說, 亦成爲必然的結果

#### 特殊相對性論

運動多爲相對的而無絕對的, 愛因斯坦更謂時間亦屬相對的, 以是遂發



第九十七圖 愛因斯坦

表相對性原理的重要理論。

其中所謂特殊相對性論 (Special relativity), 是討論一物體系對於他物體系的等速直線運動。普通所謂甲系對於乙系運動, 實爲與乙系同在運動中的觀測者觀測甲系時的運動。此時觀測者自身尙以爲是靜止, 即以爲乙系是靜止的。這是正與我在地球上與地球同在運動, 而以爲自己靜止及地球靜止

的理由相同。此時乙系可稱為靜止系，甲系稱為運動系。

特殊相對性論有下列兩個的前提：

1. 支配一靜止系的物理現象的定律，可應用於對此作等速直線運動的他系。是為相對性原理的假定。例如在地球上，有作用必有反作用，但其大小相等方向相反，這個定律可適用於對地球行等速直線運動的他恆星界。其他自然現象亦均相同。

2. 光在真空中的速度完全與光源及觀測者的運動無關，常有一定不變的數值。是為光速度不變的假定。

我們在地球上，知光在真空中的速度，不論其光屬於何色常為一定，且有一定的值  $c$ 。但這個定律並可適用於對於地球作等速直線運動的其他運動系，且其值亦為  $c$ 。這種假定好像與我們的常識相衝突，這是因為從前以為時間是一定不變的，但依相對性論，則由靜止系來觀察運動系時，運動系的一秒，實比靜止系長，其比為  $1 : \sqrt{1 - \beta^2}$ ， $\beta$  為運動系（對靜止系）的速度與光在真空中的速度的比例，即等於  $\frac{v}{c}$ 。

又從前以為長短是一定的，依相對性論而言，亦為相對的。即由靜止系觀測運動系的一釐米，在運動的方向，比靜止系的一釐米短，其比為  $\sqrt{1 - \beta^2} : 1$ ，是即前節的勞能志收縮。

依相對性論而言，速度亦為相對的。即甲以  $v$ 、乙以  $w$  的速

度互相接近時，其接近的相對速度，依從前牛頓的力學，當爲  $v+w$ ，但依相對性理論，則其速度  $V$  當爲

$$V = \frac{v+w}{1 + \frac{vw}{c^2}}$$

此處的  $c$ ，即爲光在真空中的速度，若  $w=c$  時

$$V = \frac{v+c}{1 + \frac{v}{c}}$$

這就是光速度不變的假定。

至於質量靜止系的  $m_0$  的質量，移於運動系而再由靜止系觀測時，其質量當增加而變爲  $\frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}}$ 。

又物質受力的作用而運動時，因運動而生的動能的增加爲  $\Delta T$ ，質量的增加爲  $\Delta m$ ，則其關係可用  $\Delta m = \frac{\Delta T}{c^2}$  表示之。

**四次元世界** 一直線上的點的位置，可依直線上所設的定點，量其自定點至該點的距離，即可決定，一平面上的點的位置，可由平面上已設的互成直角的二定直線，量其由二直線至該點的最短距離而決定之。

又在空間的一點的位置，則依同一的理由，可由互成垂直的三定直線的距離以決定之。以上所述的各點，即所謂一次元 (One demension)、二次元 (Two demension)、三次元 (Three demension)。我們的空間就是三次元的空間。但爲完全表現在空間的一點的位置起見，更須說明何時何所，因此此刻的空間



的一點，到了次刻的時候，其所占的空間的位置，未必相同，故爲表示在空間的物體的位置起見，應於三次元之外，更加時間的一元，而成爲四次元，所以我們的世界非三次元而實爲四次元的世界。敏高夫斯克 (Minkowski) 用數學的理論，說明時與長爲同樣重要的「元」，並依此而擴展相對性理論不小。所以敏高夫斯克實與愛因斯坦同爲相對性理論的創設者。

三次元的空間，我們可以目擊，又可用圖畫以表示之，但四次元世界則不易得此表現，或影戲卽爲表示四次元世界的一端。

**一般相對性論** 討論一般的運動系對靜止系的加速度運動，叫做一般相對性論 (General theory of relativity)。在一般相對性論中，上述的兩假定，祇有第一假定可以適用，第二假定已不適用，因重力關係，光的真空中速度已起變化之故。一般相對性理論所得的結果，約有下列數種：

1. 水星近日點的移動 按遊星在太陽周圍公轉的軌道爲橢圓形，但在長軸方向的軌道，受其他天體的引力作用，常起稍稍的變化，且與太陽自身的固有運動亦有關係。就地球與太陽的關係而言，則地球與太陽最接近的日期卽近日點，現在爲每年在一月五目左右，但逐年稍有變化，此近日點的移動，就觀測所得的結果，與由萬有引力所得的結果，尙能一致，惟水

星則自十七世紀以來，計算其實際移動的結果，每百年移動 574 秒，但依萬有引力計算結果則為 532 秒，二者相差 42 秒，這 42 秒的相差，為古來所不能解釋的難題，依相對性原理，則近日點應加以 43 秒的補正，所以適與事實相符。

2. 重力場的光的折射 依相對性原理，空間受太陽重力的影響而有曲率(Curvature)，故通過於太陽附近的光線途徑，亦不得不彎曲 1.75 秒而達於地面。1919年英國天文學者愛丁敦攝得日蝕的全蝕照片，證明通過太陽表面的光線平均約彎曲 1.8 秒，1922 年九月二十一日澳國又觀測太陽全蝕則得 1.74 秒的結果，與愛因斯坦的理論上所得之值，完全相符。

愛因斯坦的宇宙觀 依愛因斯坦的相對性原理，空間時間為相對的，故無絕對的空間與時間。宇宙是一四次元世界中的三次元球面，所以宇宙有一定的制限，但無一定的境界。地球周圍的空間，則因受重力的影響，致變成有曲率，成為非歐克里得的空間 (Non-Euclidean space)，所以在這種空間中的二點間最短距離，已非直線而為彎曲的曲線。在這種的空間，無所謂以太，所以照愛因斯坦的學說而言，宇宙間沒有以太這種媒質，光的傳波由光量子含有一定能量的粒子直接射出。

又照相對論而言，時間亦非絕對，所以未來的極致，又變為過去，這種事實，非經長時間的經驗，不能了解，但從元素的

---

進化上最易了解，元素進化的極點，爲放射性元素，放射性元素又次第破壞而變爲輕元素，這種元素退化，就是對於元素進化的時間的逆行。這就是表示未來就是過去的一端。

(完)

民國二十五年七月印刷  
民國二十五年七月發行

輓近物理學概要 (全一册)

定價 四元五角

(郵遞匯費另加)



編者 費鴻年

發行者 中華書局有限公司

代表人 陸費逵

印刷者 上海 中華書局印刷所

總發行處 上海福州路 中華書局發行所

分發行處 各埠 中華書局

(本書校對者趙和生) (九九〇三) (天)

標商無註

