

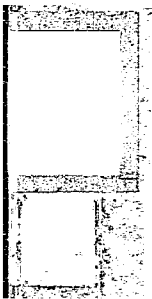
高級中學適用教本

# 最新實用物理學

下冊

(10) BLACK & DAVIS  
NEW PRACTICAL PHYSICS

陳嶽生譯



商務印書館發行

538.7  

---

17.50

高級中學適用教本

MG  
G634.7  
94  
=2

# 最新實用物理學

下 册

BLACK & DAVIS

NEW PRACTICAL PHYSICS

---

陳 嶽 生 譯



3 1774 0077 1

商 務 印 書 館 發 行

1935

## 第十八章

## 電 流

運動之電——水流——電瓶——電流與電子——電路——安培,歐姆,以及弗打——水壓之喻——歐姆定律——電流,電壓以及耗阻之計量——耗阻之計算——銅線尺度表——溫度對於耗阻之效應。

272. 靜電與動電. 十九世紀以前,世人關於電之所知者,實際上皆論及靜電 (electrostatics) 而已. 避雷針幾為唯一有用之發明,遂重視過甚,所曾發明之最有用之儀器,即為蓄電器.

在最近五十年間,電在藝術與工程方面,已一躍而居首要之地位,吾人於以下八章之內,即將見之. 電燈與電動機,電車,電話,無線電報與無線電話,以及由電轉遞功率,皆已成為日常之事. 凡此種種,皆有關於動電 (electricity in motion)——即電流是也.

273. 電流與水流. 電之自證其存在,其道甚多,雖其確實之性質,尚未決定,然調節種種效應之定律,以及電流之種種應用,固可熟知之也. 吾人如牢憶今方論及一沿導體流動之某物,甚與水在導管中流動

相同,將覺其十分便利耳。

茲以下述一事爲例,假定一水槽立於鐵路軌道之旁,軌上停有火車頭及其所附之煤水車,正在加水,水自水槽中流出,經導管而入煤水車,如圖 284 所示,水之流也常向下;即水之所以流動者,因水平面之差而生所謂水壓高度 (hydraulic head) 之動力,使之然也,此高度即以水槽中之水面與導管中水面間之水平差 (difference in level) 計其量。

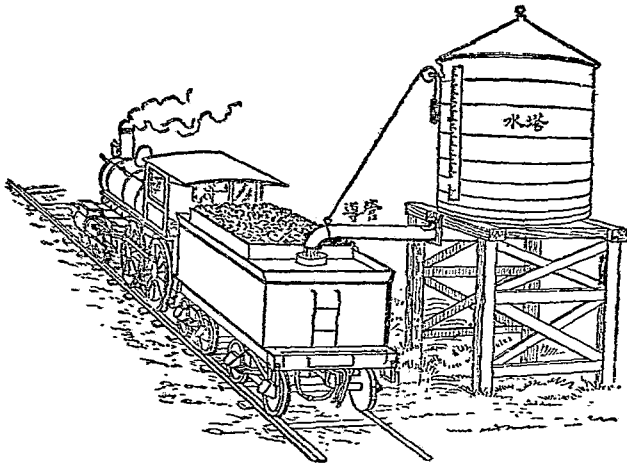


圖 284 水平面之差,有使水流動之傾向。

若以金屬絲連接乾電瓶 (dry cell) 之兩縛柱 (binding post), 即其兩電極 (terminal), 則兩極之電勢

差使電流發生於金屬線上，情形頗與上述之水流相同。捺電鈴之扣(圖 285)，而鈴鳴線熱，由此事實，可知有某物正沿導線流動也。此物即稱之為電。乾電瓶兩極性之不同，謂之為電勢差，有使電流動之傾向。

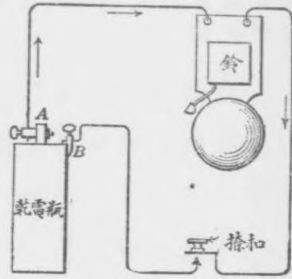


圖 285 乾電瓶中之勢差，使電沿導線流動。

**274. 簡單電瓶** 由化學作用生電勢差且維持繼續不絕之電流，其法乃百餘年前意大利之科學家弗打 (Alessandro Volta) (圖 286) 所發見。

設取銅片與鋅片各一，置之於玻璃杯中，使其各不相觸，然後以淡硫酸若干，注入杯中(圖 287)。吾人察見銅片不受酸之作用，而鋅片則立



圖 286 阿勒桑特羅弗打(1745-1827)，意大利物理學家，曾發明電池，驗電器，起電盤，以及蓄電器。

有氣泡覆於其面，泡昇於頂，鋅片漸為酸所腐蝕。

用靈敏之驗電器，行精細之實驗，知銅片帶陽電而鋅片帶陰電。若以串連電鈴與捺扣之銅線，連此二板，則由捺扣而鈴鳴之事實，可知有電流正自一板經此銅

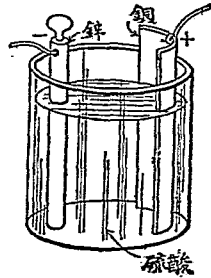


圖 287 簡單電池。

線流至他板導線中之電流，假定其自銅片(電勢較高之片)流至鋅片(電勢較低之片)，此說已歷多年。

任何二導電體，幾盡可代鋅片與銅片以供此用；但此二片，必不可為同一之物質所成。同樣，其他液體亦可用以代硫酸；惟此液體[稱為電解質(electrolyte)]，必須能對二種金屬之一，起化學的侵蝕作用。二片中受侵蝕較緩者，吾人稱之為陽極(以+記之)(positive electrode)，他一片即稱之為陰極(以-號表之)(negative electrode)。

275. 電流與電子流。依據電子之說，金屬與其他固體之導體，較之絕緣體有甚多之自由電子，此於265節中已見之。電池或任何發電機，當其連於電路(electric circuit)中時，並未產生任何電子，不過使其循

一定方向運動而已。此電子之說，爲電動力 (electromotive force) 所驅而經過導體者，即爲電流。但有一事當注意之，不可忽略，即此電子流所行之方向，係由陰極至陽極是也。此與習慣上假定已久之陽電所流之方向，即由陽極至陰極者，適相反背。因以前所述各節，以此習慣爲根據者已多，故仍將假定電流之方向，爲陽電宛如按習慣上之方法而流動時所循之方向。惟同時又應憶及，不問何時，如在論述直接涉及電子之現象之際，電子流所取之方向，實與此習慣上之電流相反。

276. 電路。 穩定之電流，非在有完全之導電路徑，即可以循環之路徑時，不能流動。 此種可以通行電流之路徑稱爲電路 (electric circuit)。電路之一部份，在電瓶之外，包括電鈴，捺扣，以及連線者，稱爲外路 (external circuit)；又一部份在電瓶之內者，即二金屬片與液體，稱爲內路 (internal circuit)。可見在外路中之電流，假定其自銅片(或炭棒)經過金屬導線而流至鋅片，再取道自鋅片經過液體而至銅片(或炭棒)之內電路，以畢其路徑。若將液體外面之金屬線剪開，即將電路截斷，則電勢差固仍保其舊，然電流不復能流，因



導電路徑已中斷之故。若吾人將線之兩端再行接合，即將電路閉合，則電流又可流動矣。

277. 水之比喻。適所述之電瓶之作用，可與用唧筒抽水，使其在導管內循環之狀相比較，電瓶即可視為抽電之機械。

假如有二水槽，如圖 288 中之 A 與 B，安置之使 A 槽所在之水平面，較 B 槽為高。一連有唧筒 P 之導管，自 B 槽之底通至 A 槽之底。若兩槽中充水未滿，而開動唧筒，則 B 槽中之水，都被吸至 A 槽，A 槽中之水平面即行升高。若有排水管自 A 槽通至 B 槽，則 A 槽中溢出水即返流於放水將盡之 B 槽中，而水乃不過由唧筒之作用，循環流經導管與二水槽而不息。此與電瓶在外路閉合時之情狀頗似。

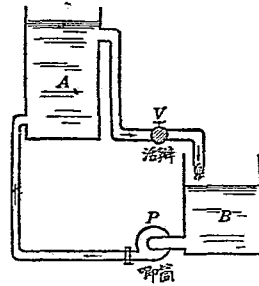


圖 288 以水喻電流，唧筒之作用，一如弗打電瓶。

今若以活瓣 V 關閉排水管，則唧筒立可抽盡 B 槽中之水；自此以後，唧筒固仍可運轉不停，然不能抽得涓滴之水，於是即無水流經過導管而流動矣。

此與電瓶之兩端無金屬線連結時之情狀，頗相似。兩片仍保有原來之電勢差，然無電流流動。

278. 電流之單位。安 水流經導管而過之速率，可以每秒若干加倫或若干立方呎計之。同樣，電流之速率，可以每秒有某定量之電經過某點而計之電

量之單位，稱爲庫隆(coulomb)，因紀念法國科學家庫隆氏而有是名。計量此種電量之方法，將於319節中述之。每秒中輸送一庫隆之電之電流，即稱爲一安(ampere)\*之電流。此單位乃依法國科學家安培 (André Marie Ampere) 氏而定名。因吾人通常所關及者，爲電流之速率而非電量之速率，故安之一



圖 289 安特雷馬利安培(1775-1836)。法國科學家與算學家，研究電流之磁效應。

名，用之極多，而庫隆一名，用之甚鮮也。

用此單位則新乾電瓶之兩端連以短而粗之銅線時，線上約有30安之電流經過。40瓦(40-watt)之鎢絲燈，所用電流約爲三分之一安，而用爲路燈之弧光燈，則需5安至10安。電話受話器中經過之電流，不及0.1安，而電車上之電動機，往往須費40或50安之電流，汽車上之發動電動機，須在短時間內用電150或200安之多。

**279. 耗阻之單位。** 歐 水流經過導管之際，因管內之摩擦作用而其行遂緩，此事吾人皆習知之。若

\*國際安之定義將於319節中述之。

導管長而且細，又粗糙不光，則其對於流過之水，所加之阻力亦大，此事吾人亦知之，仿此，所謂電耗阻 (electrical resistance) 者，即導體對於電流所起之反抗是也。於 260 節中，吾人已將物體分成兩類，一為導體而又一為非導體即絕緣體，然縱為最佳之導電體，亦不能完善而絕無缺點，蓋一切導電體，對於電流皆有反抗作用也。

耗阻之單位為歐 (ohm)，\*依歐姆 (Georg Simon Ohm) 氏而定名。歐氏為德國科學家，首創關於電流之定律，其律將於 282 節中討論之。



圖 290 喬格西孟歐姆 (1787-1854)，德國物理學家，即發見以其名為名之電學定律之人也。

用此單位，10 號銅線 1000 呎之耗阻幾恰為 1 歐，18 號之銅線 (此即尋常用以連接電鈴之線) 157 呎，或鐵絲 26 呎，或錳鐵鋼 (manganin) 6 呎其粗細與銅絲相同者，皆有 1 歐之

\*國際歐之定義，公議為長 106.3 cm.; 重 14.4521 克之水銀柱，在  $0^{\circ}\text{C}$ . 時所起之耗阻。依此條件之水銀柱，其橫截面極近於 1 平方耗。

耗阻。直徑  $2\frac{1}{2}$  吋之電鈴，其耗阻通常大概 在 1.5 歐與 3 歐之間，電報音響器之耗阻約為 4 歐，電話受話器之耗阻約為 60 歐，而 40 瓦之電燈，在白熱之時其耗阻為 300 歐。

280. 勢差。弗 在水力學中，吾人皆知欲使水在導管中流動，必須有驅水使動之力；此力可由水平面之差或唧筒而來。同樣，欲使電沿導線流動，必須有電動力 (electromotive force)，例如電鈴之勢差或他種發電機所供給者。然電動力之單位為弗 (volt)，此名即依發見由化學方法生電流之科學家弗打氏而定。弗之定義，可述之如下，即一弗者，驅一安之電流通過一歐之耗阻所需之電動力也。

例如，用鋅片銅片以及稀硫酸製造之簡單電瓶，其電動力約為一弗。普通乾電瓶之電動力，約為 1.5 弗，而鉛製蓄電池之電動力，約為 2 弗。電燈之電流，常用 110 弗或 220 弗之電動力輸送，而電車則運轉於 550 弗左右之電動力下。

電動力 (省寫為 e. m. f.) 有時稱為電壓 (voltage) 或勢差。此三名者，皆指同一之力，即使電運動或有使電運動之傾向之“推力 (push)”是也。

281. 弗與安之區別。電流之強度 (intensity) 以安計其量；驅電流使動之電動力，則以弗計其量。在已知之電路中，電動力愈大，則電流亦愈大。吾人必須有一定量之電動力，以使已知之電流經過已知之導線，

正與必須有一定量之水“頭(head),”以使已知之若干加倫之水,於每秒中流過已知之導管相同.不問爲水或電,皆須有可動之力,然後有可流之流;然有時縱有可動之力,或竟無可流之流也.蓋當電路中開關(switch)未合之時,猶之水管中滑瓣關閉之時,電動力(弗)固有,然電流(安)則無也.

因吾人於研究電性之時,論及電流之處甚多,故對此三名詞宜有清晰之概念,此實非常重要.茲再臚述如下:

- (a)電流(電之流動之速率),
- (b)耗阻(調節流動之反抗),
- (c)電壓(使電流動之力).

下列之表,更可助吾人以確定此三單位之意義,三單位者,即安,歐及弗是也.

單 位	關於水者	關於電者
量	加倫	庫倫
水或電流 每秒通過之量	每秒一加倫	安 每秒一庫隆
耗阻	(無單位)	歐
原動力	若干呎之水頭	弗

282 歐姆定律. 適已得悉,吾人不能得一流於

電路中之電流，除非有電動力使之流動，而電流之量，則為電路之耗阻所節制。以唧筒迫水流經導管之時，流過之水量，正比例於唧筒所施之壓力，而與導管因摩擦作用而生之抵抗力，成反比例同樣，當強迫電流沿導線流過時，電流之大小，與電瓶或其他發電機之電動力或電壓，成正比例，而與電路之耗阻成反比例。介於電流，電動力，以及耗阻三者之間之此項關係，稱為歐姆定律 (Ohm's law)，因歐姆為正式宣布(在1827年)此定律之第一科學家也。此定律可述之如下：沿導體之電流強度，等於以耗阻除電動力所得之商。

$$\text{電流(安數)} = \frac{\text{電動力(弗數)}}{\text{耗阻(歐數)}}$$

用記號表之則為

$$I = \frac{E}{R}$$

茲舉例如下：有一電流為110弗之電動力所驅，流經耗阻5歐之導體，假定欲求其強度。由歐姆定律得

$$I = \frac{E}{R} = \frac{110}{5} = 22 \text{ 安。}$$

在已知抵抗之電路中，維持一定之電流，若欲求其所需之電動力，則有下式：

$$E = IR$$

例如，設有弧光燈一盞，其耗阻（在熱時）為 5.5 歐，欲送 10 安之電流經過此燈，求其所需之電動力，則得

$$E = IE = 10 \times 5.5 = 55 \text{ 弗.}$$

以已知之電壓加於電路，若欲求必需插入之耗阻，使其中流過之電流有一定之強度者，則以前述基本方程式，書為下式而用之：

$$R = \frac{E}{I}.$$

假如，有一電熱器，假定其可以安然擔負 10 安之電流，若以此電熱器用於 115 弗之電路上，則其熱耗阻之值當為何？

$$R = \frac{E}{I} = \frac{115}{10} = 11.5 \text{ 歐.}$$

因歐姆定律為研究電流之基本定律，學者如熟記其律有此三式，當得不少之便利。

於此尚可指出一點，或有用處，即歐姆定律所表之關係，乃一般之原理 (general principle)，可徧用於自然動作之全體而不誤；即謂結果 (result) 正比例於所施之力 (force) 對於抵抗 (resistance) 之比是也。

### 計 算、題

1. 12 弗之電壓，作用於 0.25 歐之耗阻，可生之電流為何？
2. 有一 6 弗之汽車用電池，可輸送若干電流，經過 20 歐之耗阻？

3. 欲送電流 2.5 安經過(a) 2 歐之耗阻,所需之電動力爲何?(b)經過 50 歐之耗阻,需電動力若干?
4. 一電燈所用電流爲 0.4 安,問其燈絲在 115 弗之下之熱耗阻爲何?
5. 有一電烘器,在熱時之耗阻爲 22 歐.欲使 5 安之電流通過之,須有如何之電壓?
6. 有一電磁石,自 115 弗之電線取用 5 安之電流.問其從 230 弗之電線將取若干電流.
7. 有一電磁石,其耗阻爲 15 歐,可安然擔負 6 安之電流.問加於其上之電壓,最高可達若干弗?
8. 有一電鐸器,用於 115 弗之電路中時,需電流 1.2 安,問其耗阻爲何?
9. 若某電路之耗阻加倍,則電動力須有若何之變動,始可保持電流之不變?
10. 一電話聽話器之耗阻,爲 80 歐,而所需之電流則爲 0.07 安.問必須加於此聽話器之電壓爲何?

**293. 電流及電壓之計量.** 吾人早已見及,以水表插入導管之中,則在任何時間內通過之水,即可易計其量.於是立可計算水流之平均速率,即每秒流過任何點之水量.電流流動之速率,如欲計其量,祇須插入一安計(ammeter)而已.

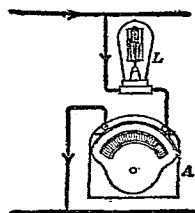


圖 291 以安計 A 量流經燈 L 之電流。

圖 291 所示者,爲一安計插於電燈之電路中,以計流經電燈之電流之量.凡經過電燈之電流,將見其必經安計而過.安計本身之耗阻甚小;其構造精巧如錶,故用時須謹慎從事.連接安計之法,係使電流自標有正(+)號之縛柱入



此儀器，而自標有負(-)號之一端流出，此事亦須注意及之。

使電流流經任何用電器具之電動力，即電壓，如欲計其量，可不必截斷電路，即不必間斷流經是器之電流，吾人祇須以弗計(voltmeter)之兩端，連於該器具之兩端可矣。流經是器之電流，將見其並不流經弗計。

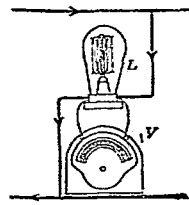


圖 292 弗計V測定越過電燈L之電壓。

圖 292 所示者，為連接弗計，以測使電流流經電燈之電動力之法。由此圖立可見及，弗計係橫連於電燈之兩端，且使其標有正號(+)之縛柱，連於電燈之正(+)側(即電流入燈之處)。弗計乃具有極高耗阻之儀器，故僅將極小部分之電流，引由其中而過。

安計與弗計，須知其正確之用法，此事甚屬重要。安計須插入於電路之中，而弗計則祇須橫連於電路可矣。若誤以安計橫連於電路，則因盛大之電流洶湧而過，即將立時燒毀。讀者切勿一試！

284. 耗阻之計量。弗計安計法。  
測定耗阻最簡之法，在無需極度之準確時，可以利用弗計與

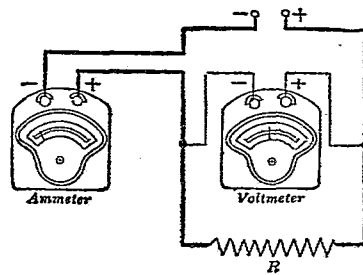


圖 293 測定耗阻之弗計安計法。

安計二種普通儀器。今假定此欲測而未知之耗阻，其值為  $R$ ，以安計與其串聯，而以弗計橫連於此未知之耗阻上，如圖 293 所示。應用歐姆定律，即得耗阻等於以電流除電壓；即

$$R = \frac{E}{I}.$$

注意。當欲測之耗阻高而電路中之電流微小時，通常以弗計環連於耗阻與安計二者之上。此因越過安計之電壓，所占全電壓之部分，較之流經弗計之電流，所占全電流之部分為小也。

285. 用威斯頓橋測定耗阻。測定耗阻，有一較為準確之法，係用威斯頓橋 (Wheatstone bridge)。此橋之主要部份，為四耗阻所成之環，

如圖 294 中標以  $R, X, m$  以及  $n$  者即是。當電鍵閉合時，電流自電池而出，在  $A$  處流入環中，且在是處分為兩支，一支  $I_1$  經  $AC$  而過，一支  $I_2$  經  $AD$  而過。在  $C$  與  $D$  間，連一

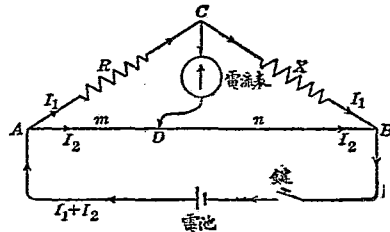


圖 294 威斯頓橋之電路。

電流計 (將於 309 節中述之)。於是調整  $R, X, m$ ，以及  $n$  四耗阻，使無電流經過電流計，此即謂  $I_1$  之全部，必須皆經  $CB$  而過，而  $I_2$  之全部，必須皆由  $DB$  經過，且  $C$  與  $D$  又為“等勢 (equipotential)”之點是也。如此調整之後，

透過  $AC$  之電壓

$$E_C = I_1 R$$

而越過  $AD$  之電壓  $E_D = I_2 m$ 。  
 但因  $C$  與  $D$  係在同一電勢之下，故此二電壓相等，而得

$$I_1 R = I_2 m, \quad (1)$$

由相仿之理由，得

$$I_1 X = I_2 n \quad (2)$$

以方程式(2)除方程式(1)，即得

$$\frac{R}{X} = \frac{m}{n}.$$

由此威斯頓橋之基本方程式，若已知  $R$ ,  $m$ , 以及  $n$ , 即可計算  $X$ 。

如圖 295 所示者，其耗阻  $ADB$  爲一長一枳之金屬線，其截面全線一律。因斯時之耗阻  $m$  及  $n$ , 乃與距離  $AD$  及  $DB$  成正比例，故上之方程式可書爲

$$\frac{R}{X} = \frac{\text{距離 } AD}{\text{距離 } DB}.$$

其中  $R$  爲已知之耗阻，例如耗阻箱 (resistance box)，而距離  $AD$  與  $DB$ ，可直接自尺上讀出，如半憶

$$\frac{\text{左耗阻}}{\text{右耗阻}} = \frac{\text{左距離}}{\text{右距離}}$$

將覺頗爲便利。

比較耗阻之此一方法，能得非常精密之結果，需要極大之準確度時，多用之。以威斯頓橋與秤秤相比較，或能有補於記憶，已知之耗阻，無異於一組已知之砝碼也。當  $m$  等於  $n$  之時，即得一等臂天平，而  $R$  乃與  $X$  相等。

286. 導線耗阻之計算法。導線之耗阻，有賴於四端：導線之質地，長度，截面，以及溫度是也。由實驗，知

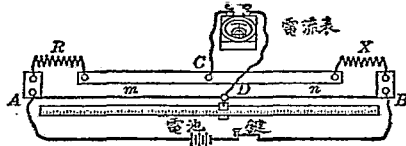


圖 295 滑線式之威斯頓橋。

任何導體之耗阻,依其長度而正變,依其截面而反變。

因導線通常皆呈圓柱形,故以方吋計算其截面之面積,殊為不便,因此電機

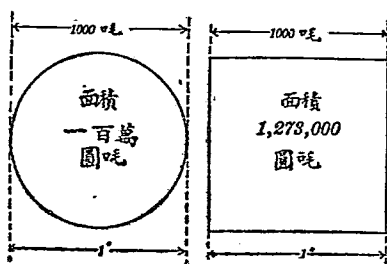


圖 296 用圓毫計圓與方之面積。

工程師對於導線之直徑為千分之一 (0.001) 吋者,稱之為直徑一毫(mil),而其截面積則稱之為一圓毫(circular mil). 用圓毫表示之導線截面積,等於其直徑毫數之平方,因圓之面積,依其直徑之平方而變也。

例如,有一導線,其直徑若為 15 毫,則其截面積,即為  $(15)^2$  或 225 圓毫。直徑 1 吋之導線,其直徑為 1000 毫,而其截面積為一百万圓毫。一方吋之面積,以圓毫計之,為  $4/\pi$  百萬(圖 296)。

欲計算一導線之耗阻,通常皆與同物質之導線一段,長為 1 呎而截面積為 1 圓毫者之耗阻,比較而得,此段導線,稱之為一毫呎 (mil foot) 之線。

一毫呎導線之耗阻,有時稱為製成此線之物質之比阻 (specific resistance), 或阻率 (resistivity)。在下表中所舉者,為少數普通物質,在  $20^{\circ}C$ . 時,以每毫呎若

干歐計之比阻:

鉛	17.0	鋼(製路軌者)	83.5-130
銅	10.4	鎊	35.8
日耳曼銀(18%)	181	$I_a I_a$	295
鐵(商用者)	66.4-81.4	鎳鉻鋼	670
錳鎳鋼	250-450		

以任何導線之全長呎數,乘此種導線一毫呎之耗阻(以歐數計),再以其截面積之圓毫數除之,立可算出該導線之耗阻。

爲便利起見,此法可用方程式表之如下:

$$R = \frac{Kl}{d^2}$$

其中  $R$  爲耗阻之歐數,  $K$  爲一毫呎之耗阻(銅在  $20^\circ C$ . 時,  $K$  之值爲 10.4 歐),  $l$  爲以呎數計之長度, 而  $d^2$  則爲截面積之圓毫數。

例如,於計算鋼絲 500 呎,其直徑爲 40.3 毫者之耗阻時,得

$$R = \frac{Kl}{d^2} = \frac{10.4 \times 500}{(40.3)^2} = 3.2 \text{ 歐.}$$

287. 溫度對於耗阻之效應 若以長約 10 呎之 30 號鐵絲,繞於石棉板上,而使電流通過之,則用一安計與鐵絲圈串聯(圖 297),將見用本生燈加熱於鐵絲時,電流之強度,大爲減低。

由種種實驗，知一毫呎之銅線，在 $20^{\circ}\text{C}$ .時，其耗阻為10.4歐，然在 $0^{\circ}\text{C}$ .時則僅為9.6歐，耗阻為1歐之銅線圈，在 $0^{\circ}\text{C}$ .時準確者，其耗阻隨溫度之升高而增加，

大約每度增加0.00426歐。由於精測導線在冷時之耗阻，然後再測其在熱時之耗阻，可得一借電以測溫度之法。

大多數之純粹金屬，其耗阻隨溫度升高而增加之率，幾盡相同。此耗阻之增加，因加熱於純粹金屬而來者，幾恰與絕對溫度成比例。是以鎢絲燈之耗阻，在冷時為20歐；然此同一之燈，其耗阻當燈絲在白熱之時，即行昇至

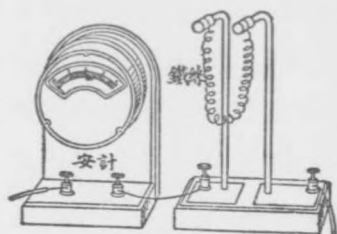


圖 297 加熱於鐵絲，增加其耗阻而減少電流，由安計可以見之。



圖 298 赫克卡墨林益納(1853-1926)。荷蘭物理學家，在來頓大學任教授者四十年，曾研究物質在極低溫度之性質。

400 歐。

288. 溫度對於耗阻之特殊效應。有若干金屬，冷至溫度僅在絕對零度以上不多數度時，即在某一溫度竟驟然失去其全部之耗阻，而其在該點引導電流之易，數千倍於在該點以上。此一事實，以超越導電性(superconductivity)聞，為赫克卡墨林盎納(Heike Kamerlingh Onnes)氏(圖 298)新近在來頓大學所發見，其理尙未說明。大多數之金屬之齊，非惟其耗阻較其所自成之金屬為低，且其所受溫度變動之影響，亦大為減少。例如“錳鎳鋼”，乃鋼、鎳、鐵，以及錳四者之齊，其比阻自每毫呎 250 歐至每毫呎 450 歐，視所用四種金屬之比例而定；但其耗阻鮮因溫度之昇降而有變化。

有少數物質，例如炭、玻璃，以及瓷，其耗阻反因受熱而減少，例如炭絲燈之耗阻，當其熱時，僅約及同一燈絲冷時之耗阻之半。

289. 銅線尺度表之用途。尋常製造銅線，祇限於數種標準之粗細。在美國，此等粗細之度，皆按白朗(Brown)與沙伯(Sharper)之尺度(gauge)〔簡稱白沙尺度(B & S Gauge)〕而定，有時稱為美國電線尺度(簡稱 A. W. G.)。在附錄中，有一表載明銅線之標準粗細，其中除極細者外，僅雙號數為通常所用。表之第二行載每一尺度號數之毫米數(0.001 吋)。第

三行所載者，為截面積之圓毫數，此數早已得悉其為直徑毫數之平方矣。第四行所載者，為  $20^{\circ}\text{C}$ . 時每千呎之耗阻。凡關於導線之計算，可因用此表而大簡，從此表又可見及，號數愈大，銅線愈細，凡每間兩號，則截面積減半，而耗阻則加倍。

計 算 題

1. 一圓線之直徑為 0.25 吋，求其截面積之圓毫數。
2. 某號大小之鐵絲 600 呎，其耗阻為 32 歐。問此種鐵絲若干呎，其耗阻為 48 歐。
3. 直徑 0.25 吋之銅線 1 哩，其耗阻為何？
4. 傳送電力所用之銅線，其直徑為 0.204 吋。(a) 問其尺度號數為何？(b) 其每哩之耗阻為何？
5. 截面積為 320 圓毫之銅線 100 呎，試求其耗阻。
6. 有一 14 號銅線之圈，其耗阻為 5 歐。問此圈之長為若干呎？
7. 銅線二百呎，其耗阻約為 0.4 歐。問其尺度號數為何？
8. 一弗計橫連於某電熱器，其所示度數為 110 弗，又有一安計與此電熱器串聯，示度為 5 安。問此電熱器之耗阻為何？
9. 欲送 4 安之電流，經過 16 號銅線 2000 呎，問需電壓若干弗？
10. 有一無線電話聽筒，用威斯頓橋檢查其耗阻時，見滑子離枳桿左端 34 吋，其時有一 1000 歐之線圈在左側之隙口中。問聽筒之耗阻為何？
11. 有一威斯頓橋在“平衡”狀態，一如圖 295 所示。若將滑子移向 A 端，電流將由電流計自 C 流至 D 否，抑依反對方向流過？說明其理。

第十八章 提要

電流在外路內向下流動自 + 至 -。



(電子依相反之方向而流)

電流在電池或發電機內,向上流動,自-至+。

電流之單位爲安。相當於每秒若干加侖。

耗阻之單位爲歐。相當於導管內之摩擦。

電動力(e. m. f.)之單位爲弗。相當於水頭。

歐姆定律:

$$\text{電流} = \frac{\text{電動力}}{\text{耗阻}}$$

可應用於全電路,或一部分之電路。

若應用於全電路,必須計及電池之內耗阻,兼及外耗阻。  
安計——耗阻頗低——串連於電路——可通全部電流。

弗計——耗阻甚高——橫連於電路——分流一小部分之電流。  
威斯頓橋:

$$\frac{\text{左耗阻}}{\text{右耗阻}} = \frac{\text{左距離}}{\text{右距離}}$$

導線之耗阻 =

$$\frac{\text{比阻(每毫呎)} \times \text{長度(呎數)}}{\text{直徑之平方(毫數)}^2}$$

### 問答題與計算題

1. 動電之研究,其較重要於靜電之研究,何以如是之甚?
2. 在圖 291 中之安計,若使其與電燈易位,即使電流先入安計,然後入燈,則其所示度數,仍相同否?說明其理。
3. 弗計與安計,其外表大致相同,若有一學生,將弗計誤爲安計,以與電燈(圖 291)串聯,則結果將如何?
4. 以安計橫連於高電壓之電路,則有危險發生,何故?
5. 若有標明 110-120 弗之電熨斗一具,連於 (a) 220 弗之電線上,將有若何現象發生? (b) 連於 50 弗之電線,則若何?
6. 用威斯頓橋求得之鎊絲燈之耗阻,何以極不可

業?

7. 齊之有“錳鋼”之性質者,有何實用?
8. 一鐵絲之耗阻,與同長之18號銅線相等,問此鐵絲之近似尺度號數約為何?
9. 一銅線與一截面積相同之鐵線,其耗阻相等,問何線較長?
10. 銅線與一呎之鉛線其耗阻相等者比,較重抑較輕?(比阻與比重,兩者須兼顧之。)
11. 設有一人正在檢查許多相差不大之耗阻,則如何可將威士頓橋調整,以使各耗阻可直接讀得,無須分別計算?

### 實 用 題

1. 用弗安計法查驗耗阻。用汽車上之蓄電池,或無線電話上之“B”電池一具,弗計一具,以及安計一具,兩者各有適當之刻度,即能查驗普通電具之耗阻,例如電話聽話器,電鈴上之線圈,以及電扇上所用之電動機,真空吸塵器,或縫衣機等。電燈,電烘器,電濾器,電鐸器,或電拍節器之冷耗阻,亦可求得;惟此等器具之熱耗阻,則求之較難。
2. 製造電阻器。在木製圓柱上覆以石棉,再將裸銅線緊繞於其上,裝一可滑之銅片,與銅線接觸,使電流由滑子而離導線,如此之電阻器,可用以調節電燈之明與暗,或調節玩具電動機之速率。

## 第十九章

## 電路

串聯電路—歐姆定律應用於部分電路—並聯電路—串聯與並聯之電瓶—乾電瓶之構造—乾電瓶之缺點—兩極電壓—導線中之電壓降。

290. 串聯電路。假定吾人以若干電具聯於一處，如圖 299 所示，使電流經過此諸器具之順序如下：安計  $A_1$ ，電燈  $L$ ，稀硫酸之溶液  $S$ ，安計  $A_2$ ，小電動機  $M$ ，及其電阻器  $H$ ，最後經安計  $A_3$  而回至開關  $Z$ 。在此電路中，將見燈

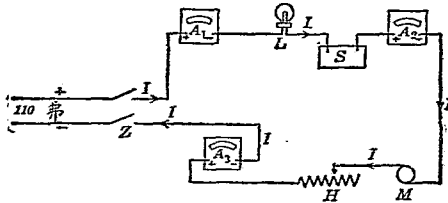


圖 299 串聯電路，其中各器具前後相串。

光黯淡，電動機適能轉動而已；但燈既發光，可知電流正在流經此單一之電路也。在電路之各部份，電流之強弱有別否？試比較安計所示之度數。

當以數件電具，前後相繼而連於一處時，稱之為串聯 (in series)。電流循單一之路徑，在其電路中環行，且在電路之各處，大小均同，不問其耗阻之如何。各路徑固可由物質不同，大小亦不同之導體組成，但全路

之耗阻，則等於各部份耗阻之和。

例如，有器具三件，串聯於一處，其耗阻如下： $A$ ，50 歐； $B$ ，30 歐；而  $C$  則為 16 歐（圖 300），於是全耗阻為此三耗阻之

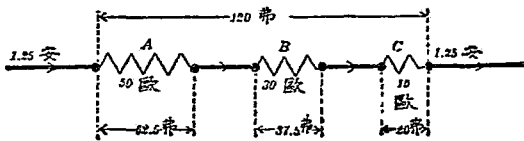


圖 300 三耗阻  $A, B,$  及  $C$  串聯於一處。

和即  $50+30+16=96$  歐。若以此三耗阻連於 120 弗之電線，則按歐姆定律，通過之電流為

$$I = \frac{E}{R} = \frac{120}{96} = 1.25 \text{ 安。}$$

**291. 歐姆定律對於部分電路之應用。** 歐姆定律非惟可以應用於全部電路，而且可以應用於部分電路，此宜牢憶之，非常重要。由此說，即謂電路中某部份之電流，等於越過該部份之電壓，除以該部份之耗阻是也。

例如，吾人欲求前題中越過 50 歐之耗阻之電壓因電流為 1.25 安，故得

$$E = IR = 1.25 \times 50 = 62.5 \text{ 弗。}$$

越過 30 歐之耗阻之電壓，則為

$$E = IR = 1.25 \times 30 = 37.5 \text{ 弗。}$$

最後，越過 16 歐之耗阻之電壓，則為

$$E = IR = 1.25 \times 16 = 20 \text{ 弗。}$$

全電壓即等於此三電壓之和，即

$$62.5 + 37.5 + 20 = 120 \text{ 弗。}$$

節制串聯電路之定律如下：

串聯電路各部分中之電流皆相同。

串聯之若干耗阻，其全耗阻為各耗阻之和。

越過串聯之若干耗阻之電壓，等於越過各該耗阻之電壓和。

此外，因電壓等於耗阻乘電流 ( $E=IR$ )，且因電流 ( $I$ ) 在串聯電路之各部份中皆相同，從而知越過串聯電路任何部分之電壓，與該部分之耗阻成比例。

292. 並聯電路。茲請再為布置一分歧之電路，如

圖 301 所示。安計  $A_1$  用以測定全部電流；安計  $A_2$  用以測定電燈  $L$  中之電流，而安計  $A_3$  則用以測定電動機中之電流。由此配置，顯然立見三安計所示之度數各各不同，但安計  $A_1$  所示之度數，則等於  $A_2$  及  $A_3$  所示度數之和。

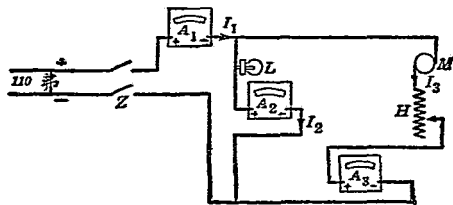


圖 301 分歧之電路。

當二件或多件電具，相並而連結時，電流即分流於各路，而稱之為並聯 (in parallel 或 in multiple)。

圖 302 所示者，即係耗阻彼此各為 4 歐與 6 歐之二導線，其並聯之情形；其兩端（A 與 B 兩點）間之電壓為 12 弗，應用歐姆定律，吾人求得沿 4 歐之導線之電流，為  $\frac{12}{4}=3$  安，而流經 6 歐之導線者，

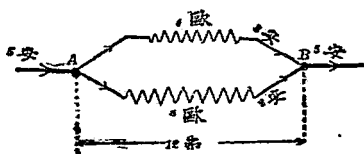


圖 302 兩線並聯。

則為  $\frac{12}{6}=2$  安。較大之電流 3 安，可見其流經較小之耗阻 4 歐。又見流經合此並聯兩線之全電路之電流，為 2+3 即 5 安。此並聯二線之合阻 (joint resistance)，即此電路之耗阻介於 A 與 B 之間者，亦可應用歐姆定律以求之。介於 A 與 B 間之電壓為 12 弗，而電流則為 5 安；是以耗阻不得不為

$$R = \frac{E}{I} = \frac{12}{5} = 2.4 \text{ 歐.}$$

是以吾人可見並聯兩導線之合阻較之各線單獨之耗阻為小。然此可以以下之一事說明之，即在 A 與 B 之間，運輸電流之平行路徑愈多，則此兩點間之耗阻愈小是也。若以三導線並聯之，則合阻將更小焉。

此與二水槽在不同之水平面，連以三導管之情形甚相同。在已知時間內，由二導管流出之水，顯較由單一之導管流出者為多，而由三導管流出者，將更多也。故如連通二水槽之導管愈多，則節制水流總量之反抗力，自然愈形微小矣。

293. 分歧電路之耗阻。欲求並聯電路之合阻，當先求經過各支路之電流，然後加合此諸電流以求

總電流。最後以此總電流除越過並聯電路之電壓。在電壓未知之時，假定其為一弗。

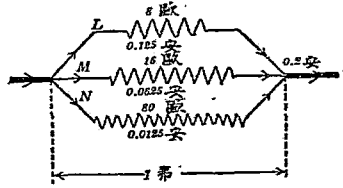


圖 303 並聯之三耗阻  $L, M$ , 以及  $N$ 。

例如，有(圖 303)三耗阻  $L, M$ , 以及  $N$ , 並聯於一處。  $L=8$  歐,  $M=16$  歐, 而  $N=80$  歐。假定越過此一組導線之電壓為一弗。

於是在  $L$  中之電流為  $\frac{1}{8}$  安, 即  $0.125$  安; 在  $M$  中者為  $\frac{1}{16}$  安, 即  $0.0625$  安, 而在  $N$  中者則為  $\frac{1}{80}$  安, 即  $0.0125$  安。總電流為  $0.125+0.0625+0.0125=0.2$  安; 而合阻為  $\frac{1}{0.2}$  歐或  $5$  歐。

觀察此問題之另一方法, 係用所謂形導 (conductance), 即耗阻之倒數是也。並聯電路之形導, 等於各分支形導之總和。例如, 在適所解之問題中, 命  $R$  為合阻則有

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{8} + \frac{1}{16} + \frac{1}{80} \quad \text{而 } R=5 \text{ 歐。}$$

前所論者, 稍加考量, 即可知耗阻相等之兩導線, 在並聯之時, 其合阻適為任一線耗阻之半。若耗阻相等之三導線, 並聯一處, 則其合阻適為三線中一線之耗阻之三分之一, 四, 五以上, 按此類推, 若以耗阻相等之導線串聯之, 則其全耗阻即為單一導線之二, 三, 四等倍。

節制並聯電路之定律如下:

越過若干並聯耗阻之電壓相同。

經過全電路之總電流，等於經過各部分之電流之總和。

並聯電路之合阻，等於電壓除以總電流，或謂並聯電路之形導，等於各部分之形導總和。

### 計 算 題

1. 有三耗阻 200, 200 與 40 歐，橫越 290 弗之電線而串聯。問此部分電路之耗阻為何？在此電路中經過之電流為何？
2. 一燈之耗阻為 45 歐，與一線圈串聯於 110 弗之電路中，以冀有 2 安之電流流過。問線圈之耗阻為何？
3. 以 6 弗之汽車頭燈四盞，串連於一處，若其燈需電流 3 安，問合成之耗阻為何？
4. 一 55 歐之燈，另一 30 歐之燈，以及一 15 歐之線圈，串聯於一處。越過 30 歐之燈之電壓為 120 弗，求：
  - (a) 在電燈與線圈中之電流。
  - (b) 越過 55 歐電燈之電壓。
  - (c) 全電壓。
5. 有三耗阻，一為 30 歐，又一為 40 歐，而第三耗阻則未知其大小，三者與一安計串聯，安計上所示之度數為 2.5 安。線上之總電壓為 225 弗，求：
  - (a) 未知之耗阻。
  - (b) 越過 30 歐之電壓。
  - (c) 越過 40 歐之電壓。
6. 有電燈五盞，其耗阻各為 250 歐，問其並聯時之合阻為何？
7. 有二導線並聯於一處，其耗阻彼此各為 40 歐與 60 歐，問其合阻為何？



8. 若有一導線,其耗阻爲4歐,則另一導線之耗阻須爲若干歐,方可與前者並聯,而得合阻3歐?

9. 有相同之電燈十盞,並聯時其合阻爲25歐,求電燈一盞之耗阻。

10. 有一並聯之連合電路,係由4歐與12歐之兩分支所成,若欲輸送9安之電流,經過此連合電路,所需之電壓爲何?

11. 有熾熱燈三盞,並聯於112弗之線上。若每燈各需電流0.5安,問此三燈之合阻爲何?

12. 電具三付,並聯於112弗之電路中。若第一器具之耗阻爲10歐,而第二器具之耗阻爲20歐,三者共用之總電流爲20.8安,問第三者之耗阻爲何?

#### 294. 串聯之電瓶。非惟各別之外耗阻,可以串

聯,即電瓶或發電機,本身亦可串

聯。圖304所示者,即爲串聯之三

乾電瓶。第一號電瓶之炭棒(即+

極)連於第二號電瓶之鋅筒(即-

極); 第二號電瓶之炭棒,連於第

三號電瓶之鋅筒;而其供給於外

路之電流,即自第三號電瓶之炭棒流出,經過外路之

後,電流即返於第一號電瓶之鋅筒。是以可見電流繼

續流經各電瓶。

若以弗計查驗一乾電瓶,則見其發出之電動力

約爲1.5弗,串聯之二電瓶,其電動力約爲3弗,串聯

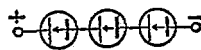
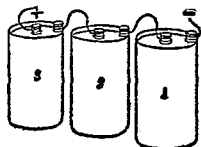


圖 304 串聯之三電瓶。

之三電瓶其電動力約為 4.5 弗。故串聯之電瓶其全體之電動力為諸電瓶電動力之和。

若吾人設想第一電瓶將電抽至較高之某電勢(或電平面),而第二電瓶將電抽至更高之電勢,第三第四等亦然,則或可藉此而易於領悟串聯電瓶之電動力,所以等於諸電瓶電動力總和之故。圖 305 所示者,為以水比喻三電瓶串聯之情形。

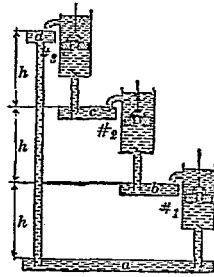


圖 305 以水喻三電瓶之串聯。

由串聯而結合之電瓶,其內阻當然為各單電瓶內阻之和,正與任何串聯電路之耗阻相同也。

**295. 並聯之電瓶。** 以任何方法將一或多電瓶連合於一處,稱之為電池(battery)。有時以電瓶或發電機並聯較為有益。圖 306 所示者,即係將三乾電瓶並聯而成之電池。並聯者,凡陽極(即炭棒)皆連結於一處,而所有陰極(即鋅筒)亦連結於一處之謂也。若吾人測驗此並聯電瓶

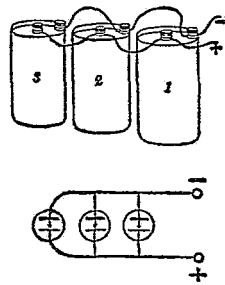


圖 306 並聯之三電瓶。

全體之電動力，則見並聯電池之電動力，同於一電瓶之電動力。

若吾人設想各電瓶皆在將電抽送至某電勢(或謂為電平面)，而所有電瓶皆相並而工作，則或可藉此而易於領悟並聯之電瓶，其電動力所以不大於單一電瓶之故。圖 307 所示者，並聯電瓶之水之比喻也。

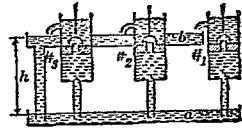


圖 307 以水喻三電瓶並聯之情形。

並聯電池之內阻，為一電瓶之耗阻，除以電瓶之數，正與其他任何並聯電路之耗阻同。

例如，有三電瓶並聯，每電瓶之電壓為 1.5 弗，而每電瓶之耗阻為 0.12 歐，問流經 0.23 歐之外阻之電流為何？

此電池之內阻為  $\frac{0.12}{3}$  歐，即 0.04 歐。全耗阻為內阻與外阻之和，即  $0.26 + 0.04 = 0.3$  歐是也。由歐姆定律，流經外阻之電流為  $\frac{1.5}{0.3} = 5$  安。

於是每一電瓶中之電流，將為  $\frac{5}{3}$  安，或 1.67 安。

296. 電瓶之最佳排列法。設有乾電瓶六只，則除將其全行串聯或全行並聯外，尚可用其他二法排列之。例如吾人可排之成二行，每行有電瓶三，乃將各行中之電瓶串連之，再將二行並聯之，如圖 308 A. 所

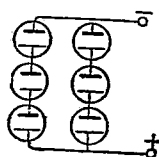


圖 308A 六電瓶三三串聯, 二二並聯。

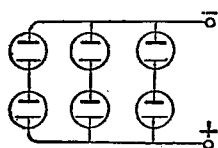


圖 308B 六電瓶二二串聯, 三三並聯。

示者然, 又可將此六電瓶, 排成三行, 每行有電瓶二, 乃將各行之電瓶串聯, 再將三行並聯, 如圖 308 B. 所示者然。

用任何方法連結之電池, 欲求其強使流經已知耗阻之電流, 法如下: 第一步, 求全電壓, 即以串聯之電瓶數, 乘每電瓶之電壓; 第二步, 求內阻, 即以串聯之電瓶數, 乘一電瓶之耗阻, 再以並聯之行數除之; 第三步, 求全耗阻, 即內阻與外阻之和; 最後, 應用歐姆定律, 即以全耗阻除全電壓。

連結電瓶之時, 使其全體之內阻, 與外阻相差最少, 則可得最大之電流, 此乃可以證明之事。

是以欲得最大之電流經過已知之耗阻, 若外阻大, 則將電瓶排成串聯; 但若外阻甚小, 則將電瓶排成並聯。

在實用方面, 外阻與內阻相比, 常較內阻為大, 故

電瓶通常多串聯。

計 算 題

1. 有蓄電瓶十二具,每具之電動力為2弗,內阻為0.006歐,欲將其連結成為電池,若電瓶之排列,可使(a)其有最大電動力時,問全電池之電壓與耗阻為何?(b)有最小之耗阻時,電壓與耗阻為何?

2. 前節中所述六電瓶之四種排列,求其輸送於外阻10歐之電流,各為若干?假定每電瓶之電壓為1.5弗,而每電瓶之內阻為0.12歐。

3. 求此四對排列法之六電瓶,每種所送經外阻0.1歐之電流。

297. 乾電瓶之內部構造。在最近數年之內,所謂乾電瓶“(dry cell)”者,實際上已漸成為開電路(open circuit),或間歇電路(intermitent circuit)——例如電鈴與有線電報,信號裝置,電筒,以及氣體引擎上所用着火電路——所用唯一之原電瓶(primary cell)。在此電瓶(圖309)中,陰極為一鋅筒,即供安放其他各物之用,而陽極為一炭棒,其形或為圓柱,或起綑裝。鋅筒之內壁,舖有可以吸收水分之木髓紙板,或吸水紙一層,飽吸氯化銨(sal ammoniac)與氯化鋅之水溶液。紙層與炭棒之間,充以糊狀之物,係由炭屑與二氧化錳,浸於氯化銨之水溶液中,調和而成者。以此混合物填充於電瓶,填至約離筒口一吋以內而止。電瓶之頂,通常用瀝青以封口。鋅筒之外壁,往往塗之以漆,而將電瓶

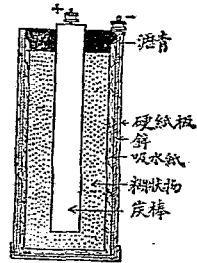


圖 309 乾電瓶之剖面圖。

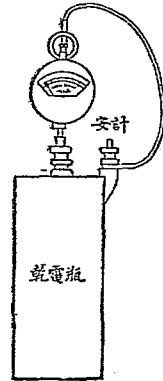


圖 310 測驗乾電瓶。

置於密合之硬紙套中，此種電瓶中之氯化銨溶液，即用以代前述簡單電瓶中之硫酸者。

美國所製造之乾電瓶（每年約五千萬個），約有百分之八十，其鋅筒之高為六吋，而直徑為2.5吋。此種電瓶新出廠時，以安計驗之，當發出最少達20安之電流，而最多不過30安，尙有較此甚小之乾電瓶，製之以供電筒之用，用弗計測驗乾電瓶，即知電瓶之大小，對於其電壓之高低無影響。

在無線電器械中，往往需用乾電瓶數個，串聯於一處。此等電池，以“B”電池稱者，今皆製成極便使用之式（圖311），且可隨意獲得22.5弗（15電瓶）或45弗（30電瓶）之電壓。

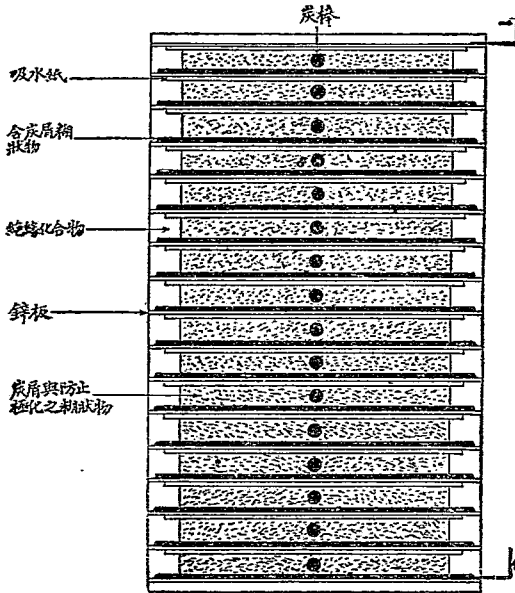


圖 311 16電瓶之“B”電池（層疊式）。

298. 乾電瓶之耐久時間。乾電瓶之“壽命”，並非固定之量，往往有僅擱置於架上之乾電瓶，歷一年之久而未嘗一用者，竟致乾涸而完全無用。有時由三乾電瓶所成之電池，例如可以用作無線電話收音機中之“4”電池者，幾時時用及，而反可保持至二月之久。乾電瓶之耐用時期，須視其電路閉合時間之長短而定；然可由於排列電路使任一電瓶被吸取之電流，微小不大而延長其壽命。

在陳舊之乾電瓶上，有時可見銻筒上有若干小孔，此即表示此金屬已由化學變化消蝕而盡，蓋驅電以經電瓶及外阻之能，即由此化學變化而來也。是以可見銻之作用，猶之燃料，與用煤以得驅水流經導管之能，極相類似。由電瓶放出此種電能之速率，即可用以決定銻之消蝕之速率；正與汽鍋中發出蒸汽能之速率，可用以決定煤之消耗速率相似。大電瓶之耐用時間，自較小電瓶為久，因其含有較多之銻也。吾人所以祇用乾電瓶以為極小電流之源，而用發電機（將於第二十二章述之）以供給家用及商用之動力者，即因用銻以作燃料，不免過昂故耳。

299. 乾電瓶中之極化作用。往昔早已發見，以導線連電瓶之兩端而用之於閉合電路中時，電流並不能保留其固定之強度而迅即衰弱。此種現象，稱為極化 (polarization)，曾考得其發生之原因，乃由氣體附着於陽極板上而來，此氣體通常為氫，氣體既繞板而成層，電瓶之內阻即因是而增加，且有反對方向之電動力發生在乾電瓶中，加入二氧化錳，即用之為阻止極化劑。然即因有此極化作用之故，乾電瓶不應聽其連於閉合電路中過久也。

**300. 電瓶之兩極電壓** 若以弗計連於乾電瓶上，即見其電動力約為 1.5 弗。若以高耗阻(1000 歐)之線圈，橫連於兩極，再以弗計測之，則見弗計所示之兩極電壓，幾與前同，相差甚微。但若以短而粗之導線，橫連於兩極〔即以短路(short-circuit)連電瓶〕，使有多量之電流流出，則由弗計，可見兩極電壓遠小於前。

由此實驗，顯見正在發出電流之電瓶，其兩極電壓常小於其電動力，或其開路電壓。若吾人憶及，此電壓須用以輸送電流經過電瓶之內阻者，則此事實即可明瞭。蓋與用電壓以送電流經過任何其他耗阻，正相同也。

例如，有一乾電瓶，若其電動力為 1.5 弗，而其內阻為 0.07 安，則在發出 5 安之電流之時，其兩極電壓為何？

$$\begin{aligned} \text{用以克制內阻之電壓} &= \text{電流} \times \text{內阻} \\ &= 5 \times 0.07 \\ &= 0.35 \text{ 弗。} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{兩極電壓} &= \text{電動力} - \text{用於克制內阻之電壓} \\ &= 1.5 - 0.35 \\ &= 1.15 \text{ 弗。} \end{aligned}$$

若電流為 10 安，則兩極電壓為  $1.5 - 10 \times 0.07 = 0.8$  弗。

因電瓶之電動力，其一部分常不得不用於輸送電流，以經其內阻，故此內阻當儘量使之減低，尤以電瓶須送出大量電流之時為最要。在事實上電動力之一名詞，用以敘述適用於完全電路之歐姆定律時，常



指開電路之電壓而言。

301. 導線內之電壓降。吾人適已見及電池因輸送電流經過其內阻，需用電壓之故，其兩極電壓常較其電動力為小。似此，當電流用於離發電機極遠之處時，在電線收電之一端，其電壓常較發電機之電壓為小。此導線內之電壓降 (voltage drop)，等於電流乘導線之耗阻 ( $IR$ )。在尋常實用方面，室內電線之電降，決不可超過百分之二。

若已知電線之長短與粗細，及其所負擔之電流，即可計算電壓降(圖 312)。

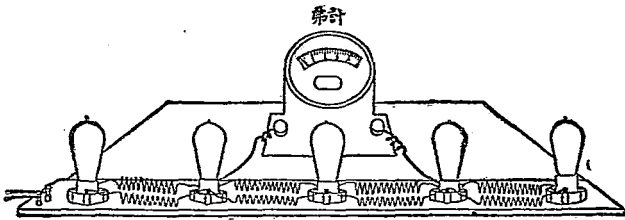


圖 312 導線內之電壓降，隨耗阻而變。

例如，有 4 號銅線 1500 呎，其中有 40 安之電流正在流過，求此導線內之電壓降。

按照銅線尺度表(見附錄)，4 號線 1000 呎之耗阻為 0.248 歐。故 1500 呎之耗阻當為  $1.5 \times 0.248$ ，即 0.372 歐。電壓降  $E = IR = 40 \times 0.372 = 14.9$  弗。

又若有導線 5000 呎，以電流 15 安送經此線時，準其有 12 弗之電壓降(圖 312)，問需如何大小之銅線？

用歐姆定律計算耗阻：

$$R = \frac{E}{I} = \frac{12}{15} = 0.8 \text{ 歐.}$$

於是此線 1000 呎之耗阻為  $\frac{0.8}{5}$ ，即 0.16 歐。照尺度表，有此耗阻之線介於 2 號與 3 號之間，故當用較大之一號，即第二號是也。

### 問答題與計算題

1. 一乾電池，以弗計測驗之，知其電動力為 1.5 弗，以安計驗之，則有電流 7.5 安流出。若安計之耗阻可以不計，試求此電池之內阻。

2. 若電車線正在輸送 150 安之電流，而其電壓降為 12.5 弗，問此線之耗阻為何？

3. 有乾電池六個，各有 1.5 弗之電動力，串聯之時，可送 2.7 安之電流經過耗阻為 3 歐之線圈。問各電池之內阻為何？

4. 圖 313 所示者，為一包含電池一組，電鑰一具，線圈一個，安計及弗計各一之電路。當電鑰閉時，兩儀器所示之度數，為 17 弗與 2 安；當電路切開之時，弗計所示之度數為 18 弗。求線圈與電池之耗阻為何。

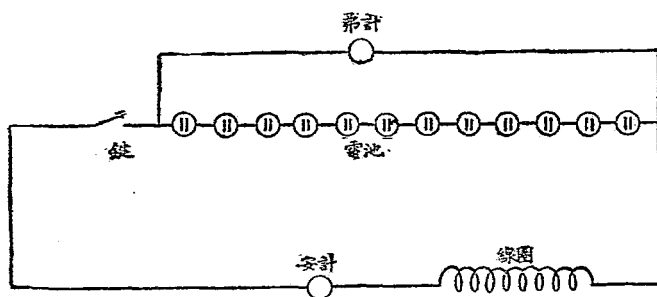


圖 313 電池之耗阻為何又線圈之耗阻為何？

5. 長4哩之銅線,正在輸送100安之電流,若此線之直徑為0.325吋,問其中之電壓降為何?

6. 有一新乾電瓶,測其電動力與發出之電流,約為1.5弗與25安.用經若干時間之後,其電流與電動力,變為10安與1.2弗.其電流之損失,何以遠較其電動力之損失為多?

7. 一安計橫連於新乾電瓶之兩端,其所示之度數約為25安,一安之電流,常可致人於死命.今如以兩手之各一指,觸於此乾電瓶之兩端,可保安全否?說明其理.

## 第十九章 提要

關於串聯之耗阻——

電流處處相同.

全體之耗阻,等於各部分之耗阻和.

越過全體之電壓為越過各部分之電壓之和.

關於並聯之耗阻——

越過諸導體之電壓相同.

經過全體之總電流,為經過各部分之電流之和.

合阻等於電壓以總電流除之,或謂全體之形導等於其各部分之形導之和

$$\text{形導} = \frac{1}{\text{耗阻}}.$$

關於串聯之電瓶——

電動力為諸電瓶之電動力之和.

耗阻為諸電瓶之耗阻之和.

每電瓶內流經之電流,同於外路中流過之電流.

關於並聯之電瓶——

電動力與一電瓶之電動力相同.

並聯之電瓶有 $n$ 個,則其耗阻為任何電瓶單獨之耗阻之 $\frac{1}{n}$ .

每電瓶內之電流為外路中電流之 $\frac{1}{n}$ .

電瓶之電能，係由溶液對於鋅之化學作用而來，鋅乃電瓶之燃料也。

電瓶之電動力=電瓶之抽電作用之全部=開路電壓。

兩極電壓小於電動力之量，為使電流經過電瓶內阻所必須之電壓。

導線內之電壓降等於電流乘導線之耗阻( $IR$ )。

### 問 答 題

1. 並聯之導線，其合阻何以永不能等於各耗阻之平均數？
2. 在分歧之電路中，電流“常取道於最小之耗阻”，此語確否？說明其理。
3. 在住宅內之熾熱燈，係並聯者，當電燈旋明之盪數愈多，則於(a)總電流發生若何之變動？(b)總耗阻發生若何之變動？
4. 除乾電瓶外，尚有何種原電瓶，有時亦採用之？乾電瓶較優於他種電瓶之處何在？
5. 與其用弗計測乾電瓶，寧用安計測之，何故？
6. 測得乾電之電流為25安一語何解？乾電瓶是否常可發生如許之電流？
7. 真正乾潤之乾電瓶，何以無用，試說明之。
8. 串聯之乾電瓶六個，若以低耗阻之安計測之，則由安計所示之度數，知其所發之電流，並不多於一電瓶，試說明此事實所以然之故。
9. 若汝試用發電機，重使乾電瓶充電，則將有若何情形發現？
10. (a)乾電瓶之電動力，與何事有關？(b)其耗阻有賴乎何事？
11. 在何種環境之下，以並聯乾電瓶為有利？
12. 在已知之導線內，電壓降如何依電流而變？

## 實 用 題

1. 氯化鋅電瓶之製造及使用。欲知詳細之說明，請閱固特氏之物理學實驗室設計 (Good-Laboratory Projects in Physics)，此書由美國麥美倫公司 (Macmillan Company) 發行。
2. 設立一小規模之電燈與電力之設備。按照固特氏實驗室設計一書之說明爲之。
3. 乾電瓶之查考。用鋸將門鈴或電筒所用之乾電瓶，或無線電話之“D”電池剖開。須注意其中所填物質之氣味，炭棒之形狀，以及溶液對於銻之效應。

## 第 二 十 章

### 電流之磁效應與化學效應

磁效應—厄斯特德之發見—電流周圍之磁場—電磁圈—電磁石—在舉重磁石,電鈴,電報,達孫發爾電流計,安計,以及弗計方面之應用。

化學效應—電解—電鍍—電鑄—精鍊金屬—銀庫計。

蓄電池—鉛電池與愛迪生電池。

#### 電流之磁效應

302. 厄斯特德之發見。一八一九年,有一丹麥物理學家名厄斯特德 (Oersted) 者,曾發見一現象,引起當時最大之興趣,蓋厄氏所發見者,乃磁與電間有關係之第一明證也,厄氏察得若以連結弗打電瓶兩極之導線,置於羅針之上方,則可使羅針之北極偏向西方,其時電流係自南至北,如圖 314 所示;而將此導線置於羅針之下,則可使其北極偏向東方。

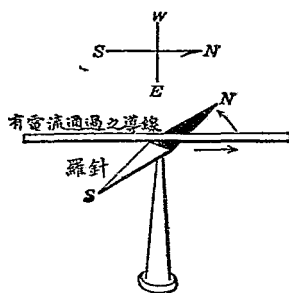


圖 314 導線內之電流,在羅針上方使之偏斜。

303. 電流周圍之磁場。羅針之北極，既可指示磁力線發射之方向，則由厄斯特德之實驗，顯知電流必可造成一磁場，與導體成直角。

欲明瞭此現象，可取一豎立之導線，穿過一水平之紙板，而送一強電流經過此線。更以鐵屑散布於紙片之上，而在電流經過導線時，輕敲紙片，則磁力線即因是而顯，鐵屑皆自行排列成同心之圓，圍繞中央之導線。取一小羅盤，置之於紙板上不同之處，即見此等力線之方向，如圖 315 所示。

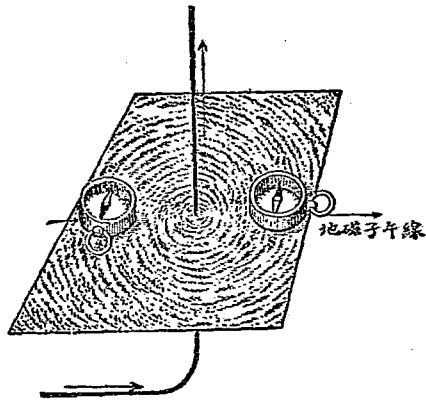


圖 315 圍繞電流之磁力線。

運送電流之直導線，其周圍之磁流，欲記憶其方向，有一極便利之定則，即所謂拇指定則 (thumb rule) 是也。

若以右手握導線(圖 316)，使拇指指電流之方向，則其餘四指即指導線周圍磁場之方向。



圖 316 決定導線周圍磁場之拇指定則。

若知導線近傍之磁場方向,即可用此規則,以求電流之方向。

**304. 線圈周圍之磁場** 若將運送電流之導線,曲成一環,則一切力線,即自環之一面入環,而在環之他面出環。若將數環合於一處以成一線圈,則所有力線,實際上皆穿過全圈,而回至圈外之他一端。

(1)吾人可將寬鬆之銅線圈,穿過紙板或假象牙板,須使鐵屑可以勻布於板之光滑表面,而當強電流送經此線圈時,鐵屑可以指明磁力線(圖 317)。由於輕敲紙板且用小羅盤以察驗,即可見磁流線之一般方向。每線之周圍,將見有少數之圓線,且此諸線,皆自兩環之隙外出,此諸圓線,即名線圈之“磁漏”(leakage flux)。

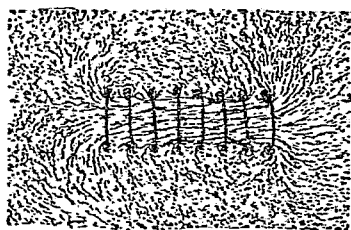


圖 317 開線圈周圍之磁流。

(2)若以絕緣銅線密繞成圈,而送電流過之,則以此圈移近羅針時,即見其作用一如棒磁石。若電流之方向倒轉,則圈之兩極亦互易。

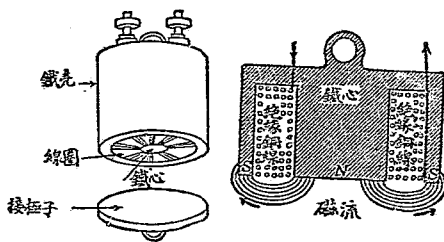


圖 318 電磁起重機之可用模型。

(3)若當電流經過之時,以軟鐵心插入圈中,則鐵心即可



施強大之引力於小鐵塊；然當電流斷絕之時，鐵心幾立時失其磁性。

(4)若用一巨大之蹄形電磁石 (electro-magnet)，或電磁起重機之模型 (圖 318)，並以大電流通過，即可顯示電磁石可以發出驚人之引力。

線圈內之鐵心，其透磁性遠較空氣為甚，故同一線圈上之同一電流，其所發於鐵心之磁力線，較之發於單獨之空氣心內者，大至數千倍。

305. 電磁石。鐵心以線圈圍繞之，即名電磁石。電磁石用途之廣，非惟因其引力強大，又因其心若以軟鐵製成，則其磁性可以隨意調節之故耳。此種電磁石之為磁石也，祇在電流經過其線圈之期間，電流一停，鐵心幾回復其天然之本性，然此磁性之喪失，並不完全；尚有極小部分之餘磁性 (residual magnetism)，可以留經或長或短之時間。

各種電機，包括電鈴，電報，電話，發電機，以及電動機，幾皆有電磁石為其一部分。



圖 319 運送電流之線圈，決定其極性之定則。

欲決定電磁石之極性，即以用於直線之拇指定則，用另一方法述之，將覺其頗為便利。

關於線圈之拇指定則。以右手握線圈，使四指

指線圈內電流之方向，則拇指即指線圈之北極（圖 319）。

電磁石之強度，有賴於電流之強度（安數）與線圈之環數（即捲數）相乘之積——即全視所謂線圈之安捲（ampere turns）而定也。

爲利用電磁石之兩極起見，常將鐵心及線圈，變成馬蹄之形。

#### 電磁石之應用

306. 舉重磁石。在一八三一年時，有一正執教鞭於阿爾朋尼（Albany, N.Y.）學院之著名美國教員兼科學家，名約瑟夫亨利（Joseph Henry）（圖 320）者，曾製一實用之電磁石，而英國之法刺第氏，亦於此時製成實用之電磁石。亨利所製之磁石，能支持其本身五十倍之重量，在當時咸以爲非常奇特。



圖 320 約瑟夫亨利（1799—1878），最先研究電磁石與電磁誘導定律之美國人

近時所造之電磁起重機(圖 321),其力非常巨大,當以鐵心之面接觸於鐵或鋼所鑄之物件,而開通電流之時,則電磁石之極表面每方吋可舉起 100 至 200 磅之鐵,然一將電流關斷,則其所吸之鐵,仍立時放下。



圖 321 舉重磁石,正在舉起重15,000磅鐵塊。

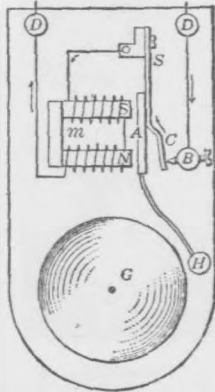


圖 322 電鈴之構造。

307. 電鈴. 電鈴之電路,通常包括二成多電瓶所成之電池,揀扣,以及導線,鈴之本體除外(圖 322),當將揀扣壓下以閉合電路時,電流即流經電磁石  $m$  而吸引銜鐵  $A$ . 銜鐵既撥向左側,即曳彈簧  $C$  脫離螺釘接觸點  $B$ , 而電路即斷. 於是電流因此停止,而電磁石即放去銜鐵,銜鐵再由彈簧  $S$  之作用,躍回原處,又將電路在螺釘處閉合,而以前之過程,再全行重複. 銜鐵上附有一錘,故當其往復振動之際,即連連擊鈴頗速,

而鈴乃鳴矣。

308. 電報收發之原理. 電報者,用儀器借電力

傳書於遠地之謂也;薩繆爾模斯氏 (Samuel F. B. Morse) 於一八四四年初創之電報

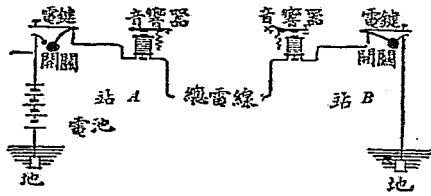


圖 323 簡單之電報電路。

機,係在移動之紙條上,打出點與線以傳音信近時之收報機,稱為音響器 (sounder) 者,則發出串連之尖銳微聲,隔以長或短之歇止時間,以代點與線,而消息之收受,亦用耳以代目焉。

電報機之主要之部份,為電池,電鍵,以及音響器,如圖 323 所示.在實際上所用之電池,由蓄電瓶所成,但為實驗之故,任何電池,皆可用之。

電鍵 (key) (圖 324) 為使電路迅速開合之裝置,頗與按

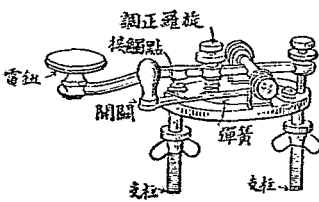


圖 324 電報之鍵。

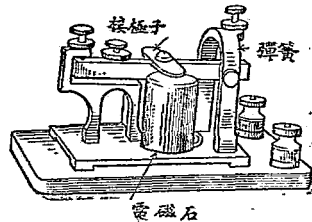


圖 325 電報音響器。

扣相似。音響器(圖 325)係由一電磁石與軟鐵製之銜鐵裝於金屬棒上而成。此棒裝於樞軸之上，以傾上下移動。當電流經過電磁石時，銜鐵即被引而下；當電路切斷之時，即有一彈簧將金屬棒再推向上。金屬棒之上下，有固定螺釘兩枚，限制其運動，尖銳之聲，即由敲擊此二釘而來。因金屬棒敲擊此二螺釘所發之尖聲不同，則耳內即可辨別此二聲間之時間，視電鑰壓下之時間或短或長，而定其為一點或一劃。

當電報通行於商業上時，即覺得為電報線之導線，其耗阻甚大，以致電流微弱，不能使音響器發聲，縱以多數電瓶，串聯一處，亦難收效。故即採用一

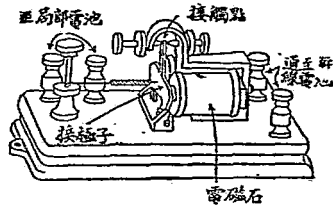


圖 326 電報繼電器。

種繼電器(relay)(圖 326)，以開合一局部電池之電路，此電路即可使音響器發聲。此繼電器中有一電磁石，其線圈乃由許多捲之極細之銅線所成。在此電磁石之前方，有一輕鐵橫桿，為一極靈敏之彈簧所曳，而與電磁石相離。其電路之連絡，如圖 327 所示。當總電路中之電鑰閉合時，微弱之電流使繼電器中之電磁石，發生磁力，足以曳銜鐵與固定螺釘相觸，若斯則局部電路閉合，即送一強電流經過音響器，而其聲可聞矣。

在尋常之電報系統中，慣用單一之塗銻鐵線，或硬銅線，而用地為電流之歸路。沿線各站，皆有一局部電路，係由電池與音響器所成，而以繼電器閉合之。繼電器之動作，由總電路司之，總電路中

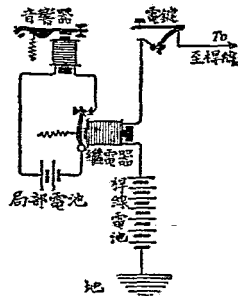


圖 327 電報繼電器之電路圖。

有電鑰一具，以及總線電池一組或發電機一座。每一電鑰之上，皆附有開關一具，俾可除發報者正在送信之一站外，各處之總路皆常閉合。

海底電報 (submarine telegraphy) 始於一八三七年，然至一八六六年，橫越大西洋之海底電線，始敷設成功。其銅心與鋼鞘 (steel sheath) 之作用，猶如一碩大之蓄電器之兩板。此種配置，其結果使電信之傳遞極為遲緩。在他端所得之牽引力亦極微小，故在開爾文爵士 (Lord Kelvin) 發明非常靈敏之收報機以後，第一條大西洋海底電線，始可應用。近時海底線利用透磁齊 (permalloy) 以後，海底電報傳遞之速率，已大為增加矣。

309. 達孫發爾電流計。有一種測探微弱電流之儀器，稱為電流計 (galvanometer)。近代之電流計，通常皆以可動之線圈 (moving coil) 與固定之磁石製成；此種電流計，稱之為達孫發爾式 (D'Arsonval type)。

圖 328 所示者，為電流計之一種。永久磁石成一環狀，兩極之間有一隙口，而線圈則繞於金屬架上，架支於寶石之軸承。線圈為二彈簧所夾持，彈簧皆成螺線之形，又為電流經過線圈之出入孔道。線圈係用異常細微之銅線，繞於極輕之長方形架上而成，且懸於磁石之 *N* 與 *S* 兩極之間，在此可動之長方架

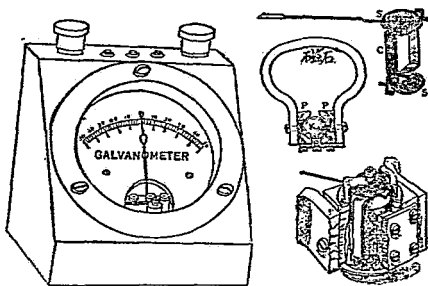


圖 328 達孫發爾電流計，及其主要機件之圖。

內之空處，有一軟鐵之圓柱，以集中磁力線。若有一電流經過線圈，則此線圈即成一微小之磁石，具南北二極，且欲自行旋轉，使其兩極儘量與固定磁石之兩極相近。線圈所能反抗螺線彈簧而旋轉之角度，即用以計電流之量。

310. 安計。商用安計爲一種分路動圈電流計 (shunted moving coil galvanometer)。此儀器(圖 329)有

一可動之線圈，係由極細之絕緣銅線，繞於輕質長方形架上而成，架裝於寶石軸承之上，介於永久馬蹄形磁石兩極之間，正與 309 節中所述電流計相同。欲測之電流祇有極小之一部份，或竟祇及全部之千分之一，經過此

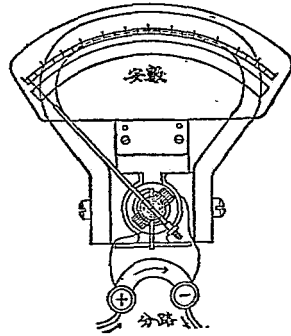


圖 329 安計，爲分路電流計。

可動之線圈，其大部分則流經所謂分路 (shunt) 之金屬條，越線圈而過。因流經線圈之電流，爲全部電流之一定之分數，故附於動圈之指針，可使其在有刻度之標尺上，直接指出全電流之安數。

安計之耗阻，實際上乃分路之耗阻，將見其爲甚小，而經過此儀器之電流，將見其爲全部分之電流也。

安計常與所欲測其電流之器具串聯(圖 330)。此

儀器之陽(+)極,與導線之陽(+)極相連,測電流之時,須留意選用適宜之分路。

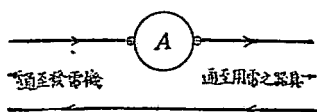


圖 330 安計之連結法。

311. 弗計 商用弗

計(圖 331)者,不過一耗阻極高之電流計而已,當以電動力加於電流計時,其所謂通過之電流,係與電壓成比例,故其上之標尺,可以刻成直接可讀電壓之度數。

由於考究圖 332 所示之水之比喻,則此事即可明瞭。由此圖顯見連通管  $AB$  中之水流,祇  $AB$  中之流水極少,不致使欲測之二水平面之差,有顯著之變動時,始可用以計水平面  $L$  與  $L'$  間之差而無誤。

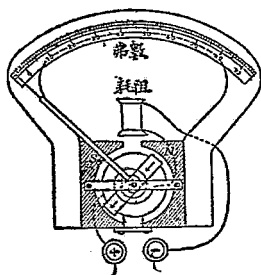


圖 331 弗計,高耗阻之電流計也。

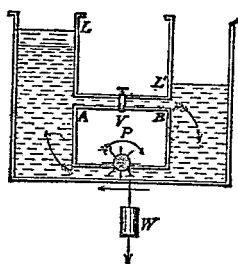


圖 332 以水喻弗計。

此儀器通常為一動圈電流計,與安計同,其實此同一之儀器,往往可作別用,弗計之兩端間,並無分路,此與安計不同,惟弗計有一串聯之線圈,其耗阻極大,



故祇有極微之電流，可以通過此器。然通過線圈者，乃全部電流也。在實際上，此種弗計測得之值，祇在電流小至不足影響於所欲測之電壓時，始能準確無誤。

欲使弗計在種種不同之範圍內可以應用，祇須以不同之耗阻，與同一電流計串聯即可。弗計係

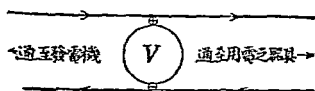


圖 333 弗計之連結法。

橫連於電路中欲測電壓之處，其陽(+)極與導線之陽極(+)相連(圖 333)。

### 問答題與計算題

1. 一電磁石覺其磁力太弱，不足以勝任所欲為之事。問其強度可用何法增加之？
2. 若以羅針一枚，置於一南北向之電車線下，而見其北極偏向東方，則線內電流之方向為何？
3. 舉重磁石之鐵心，寧用軟鐵而不用鋼者，其優點何在？
4. 畫一蹄形磁石，周圍繞有線圈，一如望此磁石兩極時之所見之形狀，標明兩極  $N$  與  $S$ ，再以曲線矢鐵指示每圈中電流之方向。
5. 一線圈有線 70 捲，運送 5 安之電流，另一相似之線圈，有線 50 捲，運送 4 安之電流，問兩圈之磁力，何者為大？
6. 試作一圖，以示一電鈴線路之接法，可在房屋之前後門捺扣，皆能使鈴發聲，所用電池祇一組。
7. 繼電器與音響器，其構造上有何差別，可使一器能因弱電流而動作，他器則不能？

電流之化學效應

**312 溶液之導電。** 當電流沿銅線而流動時，銅線即發熱，且有磁場圍繞之。當電流流經鹽與水之溶液時，此溶液亦發熱而為磁場所圍；且在同時即行分解。例如在一定情形之下，電流可將鹽水分解為苛性鈉 (caustic soda)，氫氣以及氯氣。液體非盡能導電者；例如酒精及煤油即皆為非導體。凡液體之能導電及在導電過程中多少能分解者，稱為電解質 (electrolytes)。

吾人試取稀硫酸溶液，氫氧化鈉，普通食鹽，以及糖之溶液，又取煤油及水以行此實驗。有一種形式簡單之器具，如圖 334 所示，圖中之玻璃杯，即盛有試驗之液體，而試驗之器具，則為二金屬線，自架頂垂下，架上置有指示燈泡一個。以此裝置連於尋常之電燈線路中或蓄電池之兩端。當電燈明時，即示金屬線浸入之溶液為導體。上列各液體，何者試得為電解質？

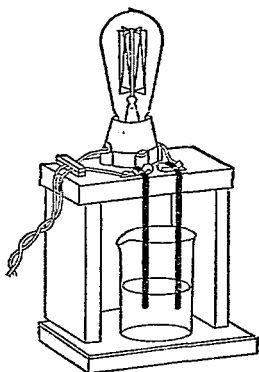


圖 334 測驗溶液之導電性。

**313. 水之電解。** 水(加稀硫酸少許)置於如圖 335 所示之儀器中，可用電流分解之。白金之兩電極，連之於電池或發電機上，至少須有 10 弗之電壓。A 管中之電極，連於陽 (+) 極者，即稱為陽極 (anode)；而在 B 管中之他極，即為陰極 (cathode)。電流自陽極經過溶液而至陰極。在兩極之傍，皆

見有小氣泡上昇，而氣體在  $B$  管中集合之速，較之在  $A$  管中加倍。當  $B$  管集氣已滿時，即將開關旋開，而試驗所集之氣。欲驗  $B$  管中之氣體，可開管頂之活栓，而以燃着之火柴，小心放近管口。此氣體着火即燃，其跡呈淡藍色，可知其為氫氣。若開  $A$  管之活栓，而以燒紅之松枝近之，則松支立發火燄，可知管內之氣體為氧。

至此吾人已見水為電所分解，得其成分為氫與氧。此種用電流分解化合物之方法，稱為電解 (electrolysis)。

314. 電解之理論。電解之過程，可說明之如下。當以微量之硫酸 ( $H_2SO_4$ ) 加入水中時，硫酸即分裂為三部分，即各帶一陽電之二氫離子 (ion) ( $2H^+$ )，以及帶二倍陰電之硫酸鹽離子 (sulfate ion) ( $SO_4^{--}$ ) 是也。當電流送經溶液之時，陽性氫離子 ( $2H^+$ ) 即漂向陰極，而陰性硫酸鹽離子 ( $SO_4^{--}$ ) 則漂向陽極。氫離子一至陰極，即放棄其陽電，而上昇於水面，成為氫氣泡。硫酸鹽離子一至陽極，即放棄其所帶之陰電，而與水 ( $H_2O$ ) 再起作用，成為硫酸 ( $H_2SO_4$ )，而放出氧氣 ( $O_2$ )。在此過程中，所加硫酸用以導電者，並未耗去，而水 ( $2H_2O$ ) 則分裂為氫 ( $2H_2$ ) 與氧 ( $O_2$ )。

315. 電鍍。電鍍 (electroplating) 之過程，可以下述實驗說明之。

取炭板電極二，置於玻璃缸中，充以硫酸銅 ( $CuSO_4$ ) 溶

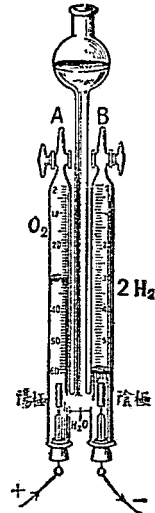


圖 335 用電流分解水。

液，如圖 336 所示。在電流通過溶液已歷數分鐘之後，即見陰極塗有金屬銅一層，而陽極則並未改變。若顛倒電流之方向，即見銅又堆積於清潔之炭板上，蓋此板今為陰極也，其已塗有銅層之陽極，則其銅逐漸消失。

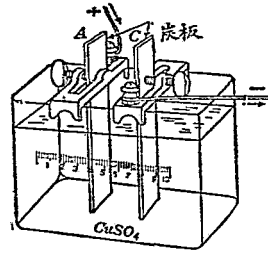


圖 336 電鍍銅於炭板之上。

用此方法，可將一金屬

塗於他金屬之上。例如銅及鐵所製之器具，在空氣中常易銹蝕者，即可塗以鎳或鉻，使其不易銹蝕。仿此，賤價之飾物，多鍍以金或銀。刀，叉，羹匙等器，鍍銀者頗多。其最佳者，即所謂“三重”或“四重”鍍銀(金)器是也。

在實用方面，電鍍金銀，常在電鍍槽(electroplating vat)中行之，如圖 337 所示。欲鍍之物件，懸於一銅棒上；而待沉積之金屬，在此例中為銀，懸於另一銅棒上。槽中含有待沉積(deposit)之金屬之溶液，鍍銀之時，常用氰化銀鉀(silver and potassium cyanide)之溶液。懸有待沉積金屬之銅棒，連於低電壓發電機之十極，而他一銅棒則

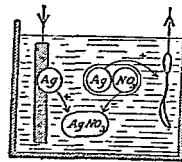


圖 337 鍍銀之電鍍槽。

連於一極。陽極之銀溶解於液內，與銀在陰極沉積同速，故溶液之濃度毫無變化。當所塗之銀層，已達適當之厚度時，即可加以最後之擦磨，使表面有令人滿意之光彩。

316. 電鑄。讀者或將以為此書係由所排之活字印成；抑知不然。大多數之書籍，印數甚多者，皆用電

鑄版 (electrotype plate) 印成其法先將活字排成之各頁,印之於蠟模之上,使其字字留痕,製成一蠟版。因蠟之本身並非導體,故須以石墨 (graphite) 塗於其上。於是將此模型浸於硫酸銅之溶液中,且與陰極之銅棒相連,使其自成陰極,而陽極則為純銅之版。待電流使銅沉積於此蠟模之上,已如名片之厚,即將此銅版自蠟模上剝下,而用活字金屬 (type metal) 托於其底,使其堅硬足供印刷之用。

317. 金屬之精鍊。銅之自鑄鐵爐來者,類皆不純,不

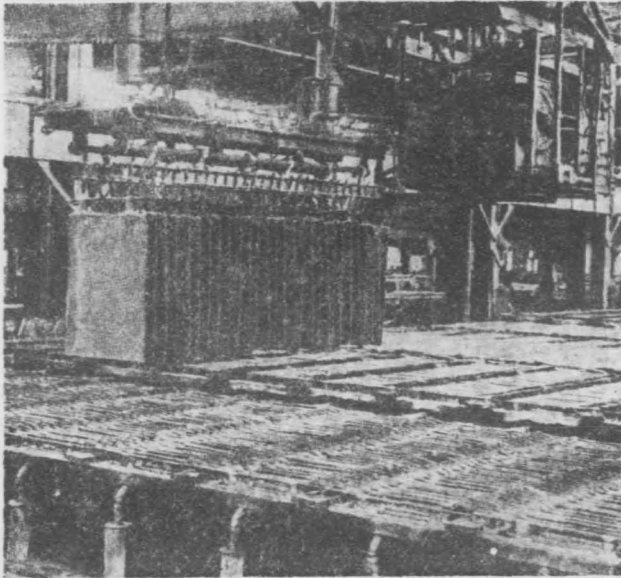


圖 338 電解煉銅之槽。

足以供製造傳電之導線或海底電線之用。故電機上所用之銅，尚須用電鍍法精鍊之。粗銅為陽極，純銅之薄片為陰極；而溶液則為硫酸銅（圖 338），由電流而沉積之銅，異常純淨。陽極之粗銅，逐漸消失，其雜質則降於鍍槽之底，一如浮泥。在此泥中，常有金與銀，足以補償此精鍊之費用。來自尋常鑛爐中之粗銅，含有百分之二至百分之五之雜質，今用電解法將其精鍊，可得約百分之 99.95 之純銅。以此法提淨之銅，在商業上通稱電解銅（electrolytic copper）。

318. 金屬之電化當量。法刺第曾作實驗數次，發見已知之電流，在已知之時間內，自溶液沉積已知之金屬，其量常同。此在實際上非常真確，故為修正標準安計之刻度，現時所知最準確之方法之基礎。電流所沉積之金屬量，有賴於(1)電流之強度，(2)流過之時間，(3)金屬之性質。當 1 安之電流通過溶液時，由電解而沉積之物質，其一定之量稱為該物質之電化當量（electrochemical equivalent）。

電化當量表

原質	記號	每安時沉積之克數
鋁	Al	0.337
銅	Cu	1.186
金	Au	3.677
氫	H	0.0376
鎳	Ni	1.094

氧	O	0.298
銀	Ag	4.025

319. 國際安之定義。電機工程師已公認用電流之化學效應以定安之義。若以銀 (Ag) 板二，置於硝酸銀 ( $\text{AgNO}_3$ ) 溶液之瓶中，又若以電池之陰陽兩極，各連於一板之上，則將見通入電流之板 (即陽極)，因銀質溶解而重量減少，而流出電流之板 (即陰極)，因有銀質沉積其上而重量增加。由國際協定，沉積 0.001118 克之銀為電量，為一庫 (coulomb)；而每秒內可沉積 0.001118 克之銀之電流，為一安 (ampere)。用此法以精測電流

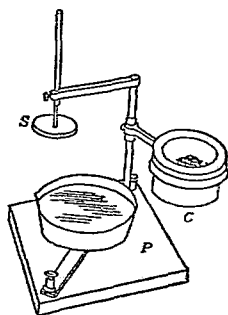


圖 339 銀庫計，用以修正安計劃度者。

之儀器，稱為銀庫計 (silver coulometer)，如圖 339 所示。此器之陽極為左側之銀盤  $S$ ，而其陰極則為底下之銀 (或鉑) 杯  $P$ 。右側之多孔杯  $C$ ，置於溶液中陰陽兩極之間，以收容因陽極之不純淨而生之汗泥或黏性物質。

### 蓄電池

320. 何謂蓄電池？有人以為蓄電池乃蓄電器之類，電即儲蓄於其中；抑知不然，在蓄電池中，電能係自電瓶中之化學能而來，正與在其他任何電池中相同。也使蓄電池充電 (charging) 之過程，係在於使電流經過溶液以造成某種化學物質，正與電解水時造成氫與氧相同。在放電 (discharging) 之過程中，電即由充

電時所成物質之化學作用而來。

321. 簡單之鉛蓄電瓶。

取尋常之鉛板二，置之於玻璃之電池瓶中，充以極淡之鹽酸溶液，即可得一小鉛蓄電瓶。欲使其充電（即造成陰陽二板）迅速，以此瓶與一安計，串聯於三或多電瓶之電池；或連之於 6 弗之發電機（圖 340），更佳。當電流正在經過之時，氣泡即自兩板上昇。在數分鐘之後，若使其與發電機分離，而以弗計之線觸其兩鉛板之端，則弗計即顯其有 2 弗之電動力。於是若以電鈴與此安計及鉛蓄電瓶串聯，則電鈴即發聲。由此可知有電流發生；而由安計可知放電時所生之電流，與用以使蓄電瓶充電之電流，方向相反。在充電以後，將兩板自液中取起時，可見陽極之 B 板呈褐色，因其上蒙有過氧化鉛 ( $PbO_2$ ) 一層也；而陰極之 A 板，則為純鉛 (Pb) 之通常之灰色。

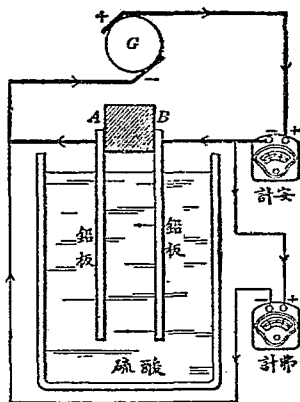


圖 340 鉛蓄電池之製法。

322. 商用鉛電池。

在商用鉛蓄電瓶(圖 341)中，陰極板為海綿狀之純鉛 (Pb) 板，而陽極板則為過氧化鉛 ( $PbO_2$ )，其電解質則為稀硫酸。在充電之過程中，深褐

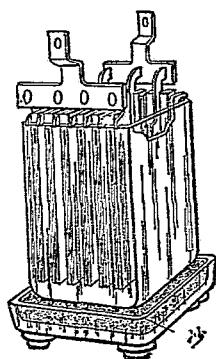


圖 341 鉛蓄電瓶之玻璃缸，置於沙上。



色之陽極板，即有過氧化鉛塗於其上，而灰色之陰極板，則成爲海綿狀之鉛。在放電之過程中，兩板皆逐漸回復其各蒙硫酸鉛( $\text{PbSO}_4$ )之原狀。此等變化之化學的原理，可用下列方程式簡述之：

←— 充電



放電 —→

在充電之際，將見硫酸溶液加濃。故蓄電瓶之情狀，可由硫酸之比重決定之。商用鉛電池之兩板，或先用粗糙之鉛，然後由化學方法，使之變成作用物質，即過氧化鉛與海綿狀之鉛，或爲全體鑽孔之板，孔中填以作用物質(active material)。

323. 鉛蓄電池之用途。蓄電池最常見之形式，爲汽車上用以發動，點燈，發火者，以及無線電收音機上所用者無疑。此等電池，通常含有電瓶三個(6弗)，或電瓶六個(12弗)，其容量則自60安時(參閱324節)至80安時(ampere hour)。因大多數之汽車主人，對於爲發動及點燈之中樞神經之電池，往往不加以應有之注意，故此等電池之製造，不得不對於善用與濫用，雙方兼顧也。

中央發力所，往往用極大之蓄電池，以輔助“高峯(peak)”電流之輸送而調整之，兼可備發生意外時補充之用。潛水艇上亦需用大蓄電池；因艇在水底時，全賴其電池以得動力也。火車上之電燈，亦用蓄電池，而以車輪軸所運轉之發電機，使其充電。在運送重物之貨車上，蓄電池之用途亦廣。

此外蓄電池之重要用途尚多——例如無線電報與無線電話，中央發力所不能通到處所之私人電燈裝置，電話總局(telephone exchange)以及電報電路，火警及信號裝置，以及必須用固定電壓之實驗室，皆須用蓄電池也。

324. 蓄電池之查驗。蓄電池與其他精緻之機件同，亦須時時加以巧妙之查察，吾人固可用安計查驗乾電瓶，其事極易；但若以同法試行於蓄電池，則安計卽立時燒斷，此因蓄電池之內阻異常微小，從而流經安計之電流甚大有以致之也。

蓄電瓶之電壓，約爲 2 弗。然當憶及電瓶之開路電壓，絕不能憑以察覺電瓶關於充電及放電之情形，當其按照正則速率充電或放電之際，其電壓必須時時測之。電瓶充電最足時，其電壓可達 2.5 弗。當其按照正則速率放電，至其兩極電壓降至 1.8 弗時，放電應卽停止。蓄電瓶出售之價，視其容量之安時數 (capacity in ampere

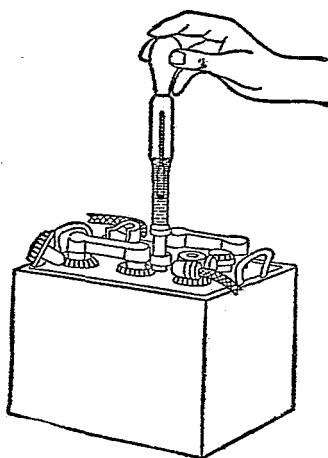


圖 342 用比重計查驗蓄電池。

hours) 而定,而安時之計算,則又以 8 小時之穩定放電為準是以 80 安時之電池,可維持 10 安之電流經 8 小時之久,而 10 安即為其正則放電率。

決定蓄電池中所充之電,最佳莫如用比重計測其電解質之比重(圖 342)。所用酸液之比重,視電池之種類及其作何用途而定,汽車上之輕便蓄電池,其溶液之比重,在充電最足之時,應自 1.27 至 1.29,而在放電已盡之時,應為 1.15 至 1.17。蓄電池製造廠,常備有所製電池之使用及保護之詳細說明,隨電池附贈。

325. 愛迪生蓄電池。鉛蓄電池之大不滿人意之處,為太重,太費,以及需要嚴密之管理,湯麥司愛迪生 (Thomas A. Edison) 曾發明一蓋電池,其中之陰極板為純鐵,置於鋼架之內,陽極板為過氧化錳,而溶液則為苛性鈉(圖 343)。

因此種電瓶,係供牽引工

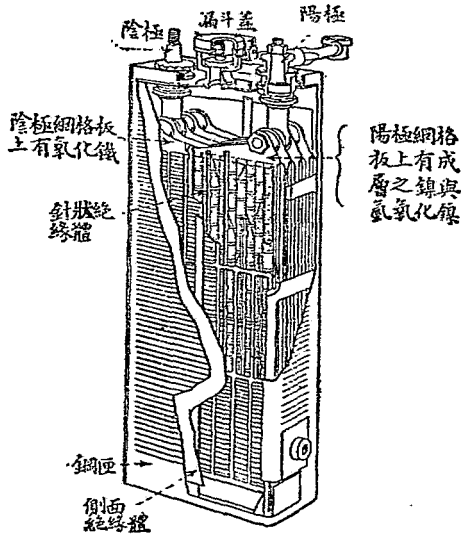


圖 343 愛迪生蓄電池,其一面揭開,以示其內部之構造。

作(traction work)之用,故曾煞費苦心,使其既輕且堅,而又占地不大,其板與溶液,不置於玻璃缸或硬橡皮槽中,係置於鍍銀之薄鋼片匣內,在鉛電瓶中,放電之標準電壓為2弗;在愛迪生電池中,則為1.2弗。出能之容量相等時,愛迪生電瓶之重量,約僅為鉛電瓶之半,因愛迪生電瓶之內阻,略較鉛蓄電瓶為高,故其效率略遜。

## 計 算 題

1. 5安之電流,在8小時內由硝酸銀溶液沉澱之銀質,為若干克?
2. 若以2安之電流,鍍銀於藥匙,歷三小時之久,問藥匙之重量,將增加若干?
3. 10安之電流,在4小時之內,可以析得若干析之氫氣?(氫氣一析之重,在正則狀況下為0.09克)。
4. (a)若用50安之電流,欲沉澱1尅之銅,須經若干時間?(b)若所用電流加倍,則需若干時間?
5. 在一天(二十四小時)之內,欲沉澱2.5磅之鐵,問需電流若干?
6. 以200安之電流,精鍊一噸之銅,須歷時若干?
7. 在修正安計刻度之際,準許電流通過2小時又15分,其沉澱之銀為39.5克。若安計之刻度準確,則其所示之安數當為何?
8. 有電鍍槽二,串聯於一處,其一用以鍍金,而另一則為鍍銀槽,問當沉澱之銀已達1克之時,沉澱之金為若干?
9. 有一鉛電瓶,其電動力為2.00弗,而其內阻為0.004歐,問其在放電25安之際,兩極電壓為何?
10. 有一六弗之蓄電池,其內阻為0.03歐,若用20安之電流使其充電,則所需之電動力為何?
11. 若有一鉛電瓶,其電動力在開路上為2.3弗,而其兩極電壓,當電瓶正在輸送10安之電流時,祇為2弗,問

此電瓶之內阻爲何?

12, 有一蓄電池,係用鉛蓄電瓶二十四個串聯而成,各瓶之電動力爲2.1弗,正則充電率爲15安,而內阻則爲0.005歐.若此電池用發電機使之充電,則發電機之兩極電壓須爲何?

## 第二十章 提要

磁力線之圍繞直電流者爲同心之圓。

關於直導線之拇指定律:用右手,拇指指電流方向,四指蜷曲,方向同於磁流。

力線之圍繞線圈者,大多數穿過圈內而由圈外回至原處。

關於線圈之拇指定律:用右手,拇指指向N極,四指蜷曲,方向同於電流。

電磁石之強度,全視安捲之數而定。

安計爲低阻電流計,直接置於(串聯)欲測電流強度之線路中。

弗計爲高阻電流計,連於欲測電勢差之兩點。

電解質爲能導電之液體,在導電之過程中其一部分常爲電所分解(電解是也)。電解質之分子,在溶液中分裂爲帶陽電與陰電之原子或原子團,稱爲離子。

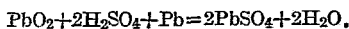
物質爲電流所沉澱之重量

$$= \text{電化當量} \times \text{電流} \times \text{時間}.$$

鉛蓄電瓶:陽極板,過氧化鉛;電解質,硫酸;陰極板,海綿狀之鉛。

充電及放電時之化學作用:

←—充電



放電—→

愛迪生蓄電池:陽極板,過氧化錳;電解質,苛性鈉溶液;陰極板,鐵。

問 答 題

1. 凡由電流而生之磁性，與磁化之鋼棒所具者，有不同否？
2. 決定電磁石強度之三要素為何？
3. 蹄形磁石之兩線圈，其捲法往往不同，須使電流在此二線圈內依相反之方向流動，此何故耶？
4. 試將含有電磁石之種種用具與機器，列成一表。
5. 有數處蒸汽動力廠，其發動係以千餘哩外之開關司之，汝能將此種裝置，繪成一圖否？
6. 達孫發爾電流計，較之定圈動針式之電流計為便利，何故？
7. 以二電鈴並聯，其鳴聲較串聯時為大，何故？
8. 電流之化學效應，試舉其實用四端。
9. 欲決定發電機之兩極，何者為陽，何者為負，有時用二銅線連於兩極，而將其露出之兩端浸於水中，其一立即變黑，問由此實驗，如何可知何者為陽極？
10. 三重電鍍板與四重電鍍板何解？
11. 以電鑄印版印書時，較之原來之活字版，有何優點？
12. 蓄電瓶比乾電瓶有何優點。
13. 試舉蓄電池之普通用途。
14. 何以不能用乾電瓶使蓄電瓶充電。
15. 在蓄電池中，何以必須用蒸餾水？
10. 試舉使用及保護蓄電池之“禁例”十條，列為表。

實 用 題

1. 在家中裝置電鈴。假定有人請汝裝一電鈴，先作電線路徑，電鈴捺扣及電池之地位之圖，再作一表，備載所用之材料以及各項之代價，汝所估計之維持電池之費若干？

2. 搜尋電鈴電路之損壞之處。假定汝家中之電鈴，按而不鳴，試述汝當如何尋得損壞之處，並如何修理之。

3. 用弗計及安計之測驗。許多有趣味之實驗，載於美國紐華克地方威司登電器公司(Weston Electrical Instrument Company, Newark, N. J.) 印行之 B 字第七號威司登電器專論(Weston Monograph, B-7.)。

4. 電鍍。將銅幣與銀幣各一枚，懸於二銅線上，浸之於硫酸銅溶液中，取乾電瓶若干串聯之，而以此二線連於其上，連結之法，可分兩種，(a)使電流自銅幣流至銀幣，(b)電流自銀幣流至銅幣，注意各幣之表面有何變化。

5. 關於蓄電池充電所之報告。參觀在附近之蓄電池充電所，察其使蓄電瓶充電之法，以及查驗蓄電池情狀之法，凡所用儀器，皆須描寫之。試取一已經拆開之“帶病”蓄電池，加以考察。汽車上所用之蓄電池，其壽命若是之短促，何故？

6. 用電解法清潔銀器。在鉛製之鍋內，充以焙用碱(baking soda)與食鹽之熱溶液(每種約一茶匙，和以一夸之水)。將暗晦之銀器，全體浸於此溶液之中，使此溶液沸騰數分鐘，直至銀器上之黑翳除去為止，再將銀器在清水中濯之，並用軟布拭之，此法之化學作用，其說明載於白康二氏實用化學修訂本(Black and Conant—Practical Chemistry, revised ed.) 中，此書為美國麥美倫公司所出版，惟此法不適用於電鍍之器具。

## 第二十一章

## 電功率,電熱,電燈

熱效應——保險絲及電路自斷器。

電功率之計算——瓦及瓩——電能——瓩時及朱。

電燈——真空鎢絲燈及充氣鎢絲燈——金屬弧燈及銻弧燈。

## 電熱

326. 由電生熱。吾人皆熟知電燈明時,燈泡甚熱;吾人或曾用及,或曾見及電熨斗 (electric flatiron) (圖 344),電烘器,電濾咖啡器 (coffee percolator), 以及電射熱器 (electric radiator)。然吾人或未實感凡電流不論如何微小,皆能生熱也,在電鈴,電報,或電話中,生



圖 344 電熨斗及其生熱線圈。

熱甚緩,以致由輻射而散失,故其銅線之溫度昇高,不能察覺,然發電機之出能 (out put), 即因有此熱效應



而受限制;因若所發之電流過於強大,則線圈即發熱甚高,以致絕緣部分着火而機受損。

327. 保險絲及電路自斷器. 欲保護用電之機械,使其不受損於因過量電流而生之熱,須在電路中插入某種之“電安全瓣(electrical safety valve).”在家用電燈以及小電動機之電路中,電流微小,可用保險絲(fuse),在發力總所之電流強大,須用電路自斷器(circuit breaker). 保險絲之主要部分,為齊絲或齊片(圖 345 a),此種齊能在極低之溫度熔化,使已熔化之金屬,不致引起災禍,保險絲之大小,係使其在偶有強電流通過時,立即熔化而將電路切斷,當保險絲正在熔化之一瞬間,有一電弧經過隙口,此弧或可使其附近之物着火,故通常將保險絲封於石棉之管中,例如“筒式保險絲(cartridge fuse)”(圖 345 b);或置之於磁杯中,可以旋入於燈座(socket)之中,猶如電燈,是為“栓式保險絲(plug fuse)”(圖 345 c).當保險絲

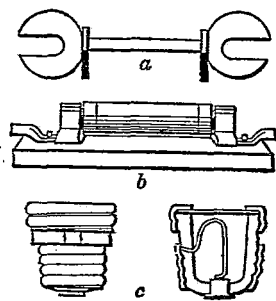


圖 345 各種保險絲:(a)綫式,  
(b)筒式,(c)栓式。

熔化之時,稱之爲“爆斷(blow out).”

電路自斷器(circuit breaker)

不過一大開關,當過量電流經過之時,可由一電磁石自動使其張開,今如取一線圈,裝於桌上,(圖346)離桌面甚近,且附一軟鐵心,則電流通過之時,鐵心即被引而上,電路自斷器之原理,以此說明之頗善.在電路自斷器中,電流即流經一附有動鐵心之線圈.當流過之電流超於電路所能安全輸送之量時,鐵心即被引而上,電路遂開.

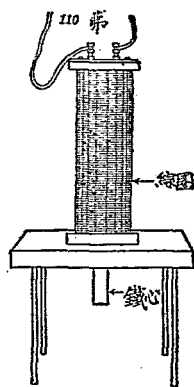


圖 346 軟鐵心被電磁石所引上。

電功率之計算

328. 電功率之計量方法. 欲計水功率之量,須知每秒流過之水量,以及水之“頭.”若斯則

水功率 = 每秒之流水量 × 水頭.

$$\text{H. P.} = \frac{\text{每秒流水之磅數} \times \text{呎數}}{33000}$$

欲計電功率之量,吾人須將每秒流過之電量,即電流之強度,乘以電壓.若斯則

電功率 = 電流強度 × 電壓

電功率之單位爲瓦 (watt), 其界說可定之爲保持一安之電流, 流動時電壓降落, 一弗所需之功率.

$$\text{瓦} = \text{安} \times \text{弗}.$$

因瓦爲極小之功率單位, 故通常皆用瓩 (kilowatt, 略號 kw., 俗稱基羅瓦特, 瓩即 1000 瓦是也.

$$\text{瓩} = \frac{\text{安} \times \text{弗}}{1000}.$$

例若有一電燈, 自 110 弗之電路, 吸取 0.4 安之電流, 則此燈所用之功率, 即爲  $0.4 \times 110$ , 即 44 瓦.

又若有一電熱器, 其耗阻爲 110 歐, 問在 550 弗之電線上, 其耗電之功率爲何? 電流爲  $\frac{550}{110}$  即 5 安; 而功率則爲 5 乘 550, 即 2750 瓦, 或 2.75 瓩

不問何時如有電流流經一電路, 則必需功率以維持其反抗電路之耗阻而流動. 若此一部分之電路所耗功率之全部, 皆用以使該部電路發熱, 則此功率即等於電路兩端間測定之電壓, 乘以流經該電路之電流.

$$\text{即} \quad P (\text{瓦數}) = E (\text{弗數}) \times I (\text{安數}).$$

但按照歐姆定律

$$E = IR.$$

$$\text{因而有} \quad P = IR \times I = I^2 R.$$

機械功率既以馬力 (h. p.) 計,則宜知機械功率單位與電功率單位間之關係,始便由實驗,知

$$1 \text{ 馬力} = 746 \text{ 瓦}$$

$$1 \text{ 瓩(kw.)} = 1.34 \text{ 馬力(h. p.)}$$

瓦計 (wattmeter) 爲直接測定電路中功率之器。此器含有粗銅線製成之定線圈二,與用電之具串聯;介於此二線圈之間,裝一可動之線圈,此圈橫連於總線,與弗計之連結法相同(圖 347)。定圈之磁場正比例於電流,而動圈之磁場則與電壓成正比例,故作用於動圈上之轉矩,正比例於電流與電壓之乘積,即正比例於瓦數。

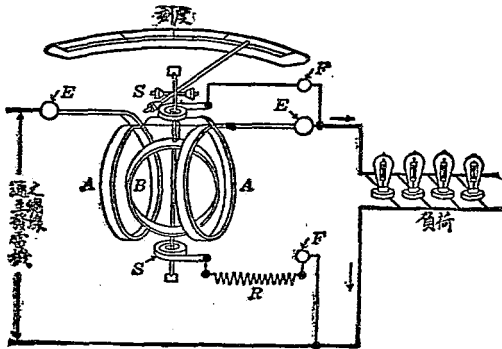


圖 347 瓦時計之構造。

329. 電能。功率之意,爲作功之速率,即能之耗費速率是也。所作功之總量,或所耗電能之總量,乃等於作功之速率與時間之乘積。據此,若有一蒸汽引擎

按 15 馬力之功率，作功 8 小時，則其所作之功，即為 8 乘 15 即 120 馬力時 (horse-power hour)。仿此，若有一發電機，按 15 瓩之功率發電 8 小時，則其所作之功，即為 8 乘 15 或 120 瓩時 (kilowatt hour，俗稱基羅瓦特時)。

例如，吾人日常用電，付電費時即按瓩時計。若電費之價，每瓩時 1 角，又若有一大商店，用電燈 100 盞，每燈耗電之率為 50 瓦，則燈明 3 小時，所付電費即為

$$\frac{100 \times 3 \times 50 \times 0.10}{1000} = 1.50 \text{ 元.}$$

在實驗室中，往往覺用較小之能單位——瓦秒 (watt second) 或朱 (Joule)——為便。

能(朱數) = 電流(安數) × 電動力(弗數) × 時間(秒數)

或  $W = IEt.$

朱與其他通常所用能單位之關係，如下表所示：

$$\begin{aligned} 1 \text{ 朱} &= 0.102 \text{ 瓦秒 (10000000 瓦)} \\ &= 0.738 \text{ 呎磅} \\ &= 0.238 \text{ 克卡.} \end{aligned}$$

$$1 \text{ B. t. u.} = 1054 \text{ 朱.}$$

**330. 瓦時計。** 凡用電之人，莫不與自錄瓦時計 (recording watt-hourmeter，俗稱電表) 發生關係，此計能將所消費之電之瓩時數，自動記於針盤之上，其針盤與氣量計 (gasmeter) 上所有者相同。

圖348所示者為湯姆森式(Thomson form)之瓦時計。此器實係一小電動機,其動圈(即電動子)旋轉之速度,正比例於電能經過此計之速率。自錄針盤,即為電動子所驅而轉動。此器之定圈(即磁場)與總線相串聯。是以磁場之強度,與流經總線之電流成比例。電動子橫連於總線,其所取之電流,正比例於越過總線之電壓。是以使電動子生轉動之轉矩,正比例於電流與電壓相乘之積;即與總線內之瓦數成正比例。

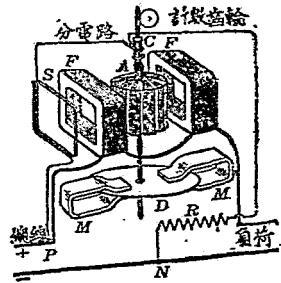


圖348 湯姆森瓦時計。

此種機械之惰性,將使其運轉太速,或當電流停止之時,阻礙其立即停止,故有一鉛製圓盤旋轉於永久磁石之兩極間,發生電滯(electric damping)作用以補救之。在此圓盤中所生之渦流(eddy current, 將於378節中述之),即有使其轉動遲緩之傾向。

此種瓦時計直流電路(direct current circuit)與交流(alternating current)電路,皆可採用之。

331. 電流所生之熱之計量。吾人適已見及,能之輸送於電熱線圈例如熨斗或鐸器者,為每秒 $BI$ 朱,或在 $t$ 秒之內為 $BI t$ 朱。但因從歐姆定律,知 $B=IR$ (若在所論及之一部分電路中,無電瓶,發電機,或電動機),故可另述此關係如下,在討論電熱器時,常覺其便利也:

$$\text{由電能轉變之熱} = I^2 R t (\text{朱數}),$$

或因一朱已由實驗求得,約等於0.24卡,而書之為

$$H = 0.24PRt$$

此式中之

$H$  = 用卡數所表之熱,

$I$  = 用安數所表之電流,

$R$  = 用歐數所表之耗阻,

$t$  = 用秒數所表之時間.

### 計 算 題

1. 一室之中,有電燈五盞,各自110弗之總線,取用0.4安之電流,問五燈齊明,需電功率若干(瓦數)?
2. 一電燈其上註明110弗與50瓦.問其所需之電流為何?當其放光之時,其耗阻為何?
3. 某電車公司之發電機,正在輸送電流於電車線,速率1500安,電壓550弗.問其供給功率之速(瓦)為何?
4. 一400瓦之電烘器,製時專備用於115弗之電路,問其耗阻為何?
5. 一30歐之電熱器,其在110弗之電線及115弗之電線上所用之功率(瓦數),試比較之.
6. 一洗衣公司用電熨斗五具,其耗阻各為20歐,並聯於110弗之總線上,問其所需之功率為何?
7. 若110弗之電燈,各需0.5安之電流,則10瓦之發電機,其所發電流可供此種燈若干盞之用?
8. 一10安之保險絲,能輸送充足之電流,以供並聯於115弗總線上之50瓦電燈十盞,及400瓦電扇一座之用否?試示計算之法.
9. 一電車之二電動機,若各需25安之電流,則此車自550弗之電路所用之功率為何?
10. 若電費每瓦時1角6分,則點50瓦之電燈十二

盞,經歷3小時,所用電燈之代價爲何?

11. 一40瓦之電燈點經10分鐘,問其所消費之能有若干?

12. 有一30歐之電熨斗,用電流4安,每小時所發之熱有若干卡?

13. 若電價每瓦時爲1角4分,則12題中之電熨斗,四小時內所用之電,其值幾何?

14. 一400瓦之發熱器,若其效率爲80%,則其每秒所供給之熱有若干卡?

15. 一電熱水器,連於110弗之電線上時,用電3安.若此器之效率爲70%,則加熱於600克之水,使其溫度自 $20^{\circ}\text{C}$ . 昇至 $60^{\circ}\text{C}$ . 需時幾何?

16. 有一10歐之線圈,用以加熱於1000克之水,使其溫度在10分鐘之內,自 $15^{\circ}\text{C}$ . 昇至 $75^{\circ}\text{C}$ . 問須用電流若干?

## 電 燈

332. 鎢絲燈. 近代之熾熱燈中之燈絲,爲純粹之金屬鎢 (metallic tungsten), 其熔解點異常之高,在 $3000^{\circ}\text{C}$ . 以上,此纖細之金屬絲,爲電流熱至白熱,即至熾熱 (incandescence), 在100瓦電燈中所用之鎢絲,其半徑僅約3毫(即0.003吋),然頗長,故封入平常之燈泡中時,須繞之於星形之架上,成曲折之線. 電之引入燈絲而復出也,經過二短金屬線,此二線(圖349)捲入燈泡之壁中,以防空氣之漏入,故其膨脹係數,須與玻璃之膨脹係數同. 此二線由銅線

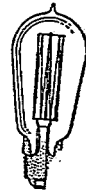


圖 349 真空鎢絲燈.



連至燈泡底部之銅圈與金屬尖端之上。

333. 充氣鎢絲燈。以前之電燈製造家，慣將熾熱燈(B種鎢絲燈)之泡，抽去其空氣幾成完全之真空，因若有任何空氣留在泡內，即可維持燃燒而燈絲將燒斷也。然由實驗，已知在此種電燈中，燈絲徐徐蒸發，致有黑暗如鏡之

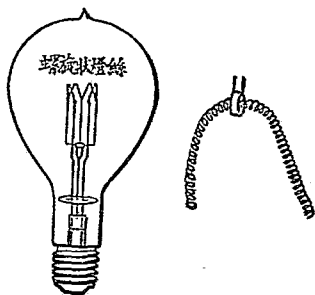


圖 350 充氣鎢絲燈及其圈狀燈絲。

金屬一層，堆積於泡之內壁之上。在另一種電燈(C種鎢絲燈)之燈泡內，則常充以有惰性之氣體，例如氮與氬。燈絲之四周圍以有惰性之氣體，則其蒸發即緩，且可使運用鎢絲之熱度，較在真空泡中為高。此種電燈(C種鎢絲燈)中之長燈絲，繞成非常細小之螺旋形(圖350)，且裝配極為緊密，以防止其為氣體所冷卻，至於可察之程度。

因現代之鎢絲燈，其燈絲皆發強烈之光，故應封之於毛玻璃泡之內。新出之燈泡，其毛糙之面係在泡內。泡外光滑如故，而由玻璃透過之光，幾仍未減少。充氣之燈，約有3000至4000燭光，現在皆用以為街燈(圖

351),而迄今尙作此用之弧燈,大部分已爲其所代矣。

334. 熾熱燈之壽命與等級。若無意外之折斷,鎢絲燈保存至1000小時,並非難事,此種電燈,通常相集成羣,並聯於有110至120弗之固定勢差之電路之上,現在之廠家,慣將各種熾熱燈,按瓦數而定其等級,且將設計時所定運用此燈之電壓,標明於各燈之底部,在過去數年中,製造家已將鎢絲燈之效率,屢次提高,且進步甚速,此種電燈,較之今已廢而不用之舊式炭絲燈,其效率高至約三倍,真空鎢絲燈消費

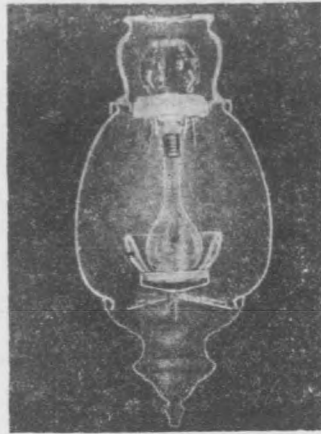


圖 351 熾熱燈今已廣用之爲街燈。

電能之率,約爲每燭光1.25瓦(參閱433節),全視燈之大小而定,充氣之100瓦之燈,用於並聯電路中者,消費電能之率,每燭光不及0.80瓦;而充氣之串聯電燈用爲街燈者,其消費電能之率,可低至每燭光0.45瓦。

335. 電弧。距今約百年前,亨夫雷達威(Humphry Davy)氏曾用2000電瓶所成之電池,以發一電弧於二木炭棒之間,此不過爲亨氏講授時顯赫之實驗而已,直至六十年後,實用之發電機已經製成時,電弧始能成爲商用,其時立即發見,煤氣爐內所成之骨炭(coke),用爲發弧光之炭極材料,較之木炭爲耐久,

欲表現電弧之形式,可以 50 弗或 50 弗以上之電路,連於二炭棒,且與一變量耗阻器串聯。此弧所發之光,非常強烈,目上必須遮以黑玻璃,以避直接之閃耀。弧光可用凸透鏡(convex lens)投射於幕上。若用直電流,則火坑(crater)成於陽極炭棒之上,而火錐成於陰極炭棒之上,皆可見之(圖 352)。若以鐵絲置於弧中,可使溶化,其所發熱量之大,可以想見矣。

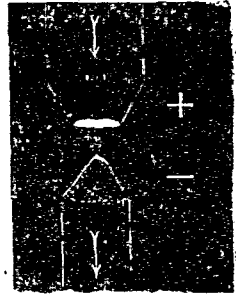


圖 352 電弧之陽炭棒與陰炭棒。

336. 近代弧光燈。電弧之炭極,縱為骨炭,亦欲燒去,故有一種自動弧燈(automatic lamp)已經發明,此燈能逐漸送其兩炭極,使之互相接近。此種弧燈之最初之數種,有利用鐘錶之機件以送炭者;但現在通用接合子(clutch),而以電磁石運轉之。

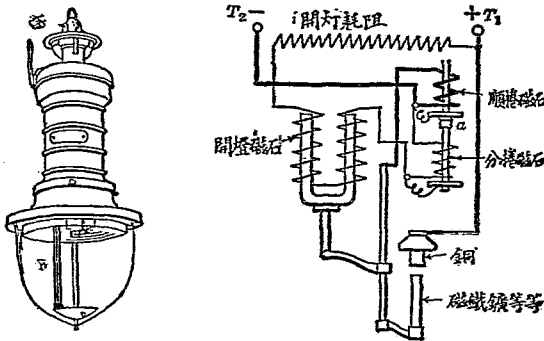


圖 353 金屬弧燈及其各部分之連絡。

有一種商用之此種弧燈, 爲金屬弧燈 (metallic arc lamp), 或稱磁鐵礦弧燈 (magnetite arc lamp) (圖 353)。此燈之陰極, 爲磁鐵礦或其他相似之物質, 碎成粉末, 壓緊於鐵皮管中而成; 陽極則爲堅實之銅, 消耗甚緩。此種弧燈, 曾置於固定電流之電路中, 用爲街燈, 至今仍有有用之者。

在汞弧 (mercury-arc) 燈, 卽庫拍休易特 (Cooper-Hewitt) 弧燈之中, 所利用者爲水銀蒸汽之發光性。一真空玻璃管, 長自 2 呎至 4 呎 (圖 254), 水銀卽蓄於其下端。欲使電流開始流過水銀蒸汽, 必

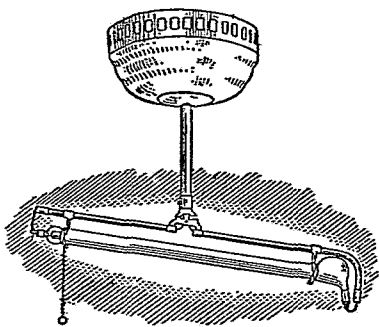


圖 354 汞弧燈, 開時須使傾斜。

須用一種特殊之裝置; 但一經開始, 電流流經熱蒸汽卽易, 而水銀蒸汽乃發綠色, 藍色以及黃色所合成之光, 但幾乏紅光。被照之物件, 因是而呈特殊之色。(參閱第二十九章)。

汞弧燈之不用玻璃管而易以水晶管者, 可用以

殺菌,因水晶可透最短之光波,即著稱之紫外線 (ultra-violet ray) 是也。

337. 電鍛接與電爐。吾人或皆曾見及鐵匠以二鐵棒之端置於火中而熱之,待其赤熱,然後以錘敲擊,使二棒接合爲一。此事如利用電熱,則收效之宏,遠甚於人工,先使二棒之端相觸,乃以強電流通過之。因接觸之點,爲耗阻最大之處,故在此點所發之熱甚高,而迅即達於可鍛接之溫度。此法今通用於修理電車

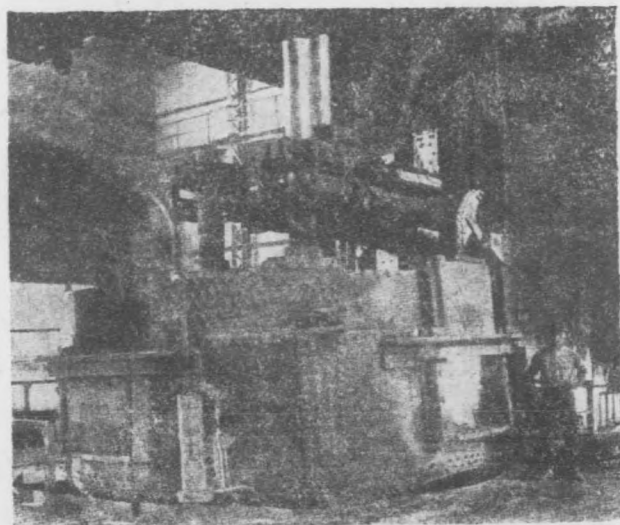


圖 355 美國本雪文尼亞省,杜克斯納之卡尼基製鋼公司所用之20噸,3相赫洛兒式弧爐。

軌道,以及普通之鋼鐵工場,近代之橋樑及建築物之鋼骨,均已不用栓釘結合,而易以電熱鍛接矣。

因由電弧可得極高之溫度,故用之於爐中以製二碳化鈣(鈣與炭之化合物)(calcium carbide)及矽鎊(carborundum)(炭與矽之化合物)。電爐又廣用於鋼鐵工場中,製造特種鋼齊之含有鎢或鉬(molybdenium)者,用之尤多(圖355)。

當氫氣流經過二鎢極間之電弧時,因溫度甚高,氫分子之大部份,分離為自由原子,此等分離之原子,重行結合以成氫分子時,即發生強熱之火燄,其溫度約在 $4000^{\circ}\text{C}$ 以上,此種發熱氫原子,已應用於金屬之熔化及鍛接矣。

### 問答題與計算題

1. 最大之(一九二九年所製)商用熾熱燈(圖356),其直徑測得為12吋,需電50瓦。若電價每瓦時1角1分,則使用此燈20分鐘,其代價若干?
2. 若一弧光燈需電流8安,及電動力90弗,則此燈之耗阻為何?其所用之瓦數若干?
3. 一50瓦之鎢絲燈,若其發光之率,為每燭光1.2瓦,則其應發之燭光若干?
4. 112弗之電燈四盞,各用0.5安之電流,並聯於電燈之電路中,求諸燈共需之電流,及其合阻。
5. 40瓦之電燈,並聯於110弗之電路上,最多可點

幾盞，不致熔化（“即爆斯”）  
10安之保險絲？

6. 一電車運轉於  
550弗之電線上，問用何  
法，可在車中點110弗之電  
燈？試作一圖以示連結之  
法。

7. 有一110弗之發  
電機，其所發電流，足供耗  
阻各為240歐之並聯熾熱  
燈480盞之用，試計算其延  
容量？

8. 有一探海燈  
(searchlight)，需電流100安  
及勢差60弗，此燈連於110  
弗之電路時，須以若干歐  
之耗阻與之串聯？

9. 若第8題之探  
海燈，其電弧所發之燭光，  
為數128,000,000，則此弧每  
瓦能發若干燭光？

10. 一大廈離發電  
機200呎，其中有25瓦110  
弗之電燈一百盞，並聯於  
線上，若輸送電流之總線，其  
上之電壓降不超過2弗，則  
須用何種大小之線？

11. 有一威爾斯巴克煤氣燈(Welsbach lamp，係奧國威爾斯巴克所發明，利用氧化鈦及氧化鈾所製之紗罩而發強光者)，每小時消費之煤氣為3.5立方呎，約可發70燭光。有一40瓦之電燈，其發光之率為每燭光1.1瓦。若以煤氣每千立方呎價洋1.1元，電能每延時價洋8分而論，則在屋



圖 356 此新製之50瓦電燈，係供航空站  
照探之用，傳為世界最大之燈。

內欲得同量之光,用煤氣與用電之所費各如何,試比較之。

12. 通常多喜用電燈而不願用煤氣燈,試舉其理由二端。

13. 有熾熱燈二盞,其耗阻在熱時各為240歐,連於勢差為120弗之二電線間,求此二燈在(a)並聯時,(b)串聯時所需之總功率(瓦數)為何?

### 第二十一章 提要

保險絲之主要部分,為易熔化之短金屬線,置於電路之中,當超過定量之電流經過時,此線立即熔化,而電路即斷。

功率之送至電路者 = 電流之強度 × 電壓。

$$\text{瓦} = \text{安} \times \text{弗}。$$

$$1 \text{ 馬力} = 746 \text{ 瓦}。$$

電能表以瓦時 = 瓦 × 時。

功率用以克制耗阻者 = 電流自乘 × 耗阻。

$$\text{瓦} = (\text{安})^2 \times \text{歐}。$$

朱為一瓦秒。

$$\text{能以朱表之} = I^2 R t。$$

$$\text{熱以卡表之} = 0.24 I^2 R t。$$

熾熱燈含有纖細之鎢絲,其絲為電流所熱而成白熱。燈泡或為真空,或含一種有惰性之氣體,例如氫或氮。

弧燈有類於電極之蒸發。在炭弧中,陽極炭棒上之火坑,溫度最高。電弧多用於電鍛接與電爐。

### 問 答 題

1. 大多數之保險絲用何質料製成?何故?
2. 20安之保險絲,其直徑是否較大於10安之保險絲?試述汝之答案所據之理由。
3. 若有一電線,假定其僅能擔負15安之電流,則以30安之保險絲置於其間,必有危險。何故?



4. 以 110 弗之電燈，橫連於 6 弗之汽車蓄電池之兩端，則有何種效果？試說明其理。
5. 有一種電燈泡，碎時發大聲，另一種則否，何故？試說明之。
6. 一 25 瓦之鎢絲燈與一 50 瓦之鎢絲燈，其耗阻何者較大？試述汝之答案所據之理由。
7. 鎢之何種性質，使其成為燈絲之良好質料？
8. 使用電熨斗時，必須慎防者為何？
9. 若在已知之電線上，電流加倍，則因熱之增加所受之功率損失為何？
10. 聖誕樹上之電燈，通常連結之法如何？何以如此連結？此種電路之弊病何在？

### 實用題

1. 使用各種電具每小時之代價。將家庭中所有各種用電之器具，攜至學校實驗室內，測定各器所用之功率，然後比較其代價。
2. 關於汝所居城市之電燈系統之報告。所用之街燈，屬何種類？工廠之給電如何？家庭之給電如何？分布之方法如何？汝自己家中之電線接法如何？電表裝於何處？如何用保險絲保護電線？
3. 袖珍電筒。取一袖珍電筒，將其燈頭除下，細察其內部之構造，畫一清晰之圖，以示其電路並說明其作用。

## 第二十二章

## 發電機與電動機

發電機—銅線橫截磁力線—誘導電動力之大小及方向—傅勒明之定則—旋轉之環—整流子—鼓形發電子—勵磁。

電動機—運送電流之線上側向之推力—決定推拒方向之電動機定則—商用電動機之各式—反電動力—發動箱—應用—效率。

338. 法刺第之發見。吾人所用之電流，苟祇能盡取諸電池者，則街中室內，決不能以電燈照耀如晝，而出入交通，亦不能乘電車以馳騁若飛。蓋以鋅為弗打電瓶之燃料，則其價頗昂，故用電池為巨量電流之源，所費自屬不貲也。

約當一八三一年時，法刺第與亨利二人，皆發見機械能可以直接轉變為電能。彼等用磁石以生電流之法，即為商用發電機之基本原理，近代之電流，可以賤值得之者，厥賴乎此耳。

## 發 電 機

339. 發電機之重要。自法刺第與亨利二人，發見奇異之現象以後，約經四十年之久，商用發電機始

現於世蒸汽引擎氣體引擎,以及水車,其巨大之能,今皆由此機轉變為電。用此法所發之電,可以傳遞至數百里之外,其電可用於電動機,以運轉各種機器,可用於各種電燈,以照耀街道與家室,可用於發熱器,以煖車廂與房屋,且可用於爐中,以熔化鋼鐵,是以近代之實業,因發電機可供賤值之電,而為其所改革也。

340. 銅線橫截磁力線。欲明發電機之基本概念,有一簡便方法,即效法於法刺第,一考單一之銅線越過磁場時,其上所生之誘導電動力如何,是也。假定直銅線  $AB$ , 被推向下, 越過磁場, 如圖 357 所示。在  $AB$  之內, 即生一誘導電動力, 其力使  $B$  之電勢較高於  $A$ , 以弗計連  $A$  及  $B$ , 即可知之。銅線若靜止不動, 即無

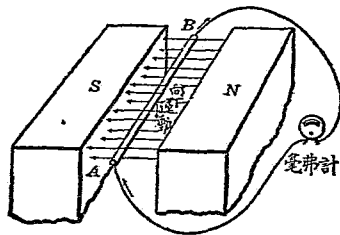


圖 357 橫截磁力線為銅線內之誘導電動力。

電流流動。若銅線之方向, 與磁力線平行, 則銅線即使移動, 亦無電流流動。總而言之, 銅線必須橫截磁力線而運動, 線上始有誘導電動力也。

341. 誘導電動力之方向。吾人適已見及, 當 357

圖中之銅線向下移動之時,其中之誘導電流,係自 A 流至 B 者。若使銅線向上移動,則誘導電流必將自 B 至 A。更有進者,若不變銅線運動之方向,而將磁場顛倒,則電流之方向亦倒,然則將見誘導電動力有賴於下之二主要原因:(a) 銅線運動之方向, (b) 磁流即磁力線之方向。此三方向間之關係,可用傅勒明 (Fleming) 氏之三指定則,如圖 358 所示者以記憶之。

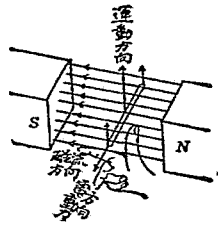


圖 358 決定誘導電動力之右手定則。

傅勒明之定則。伸右手之拇指,食指及中指,使其互成直角,若拇指所指者為銅線運動之方向,而食指所指者為磁流之方向,則中指所指者即為誘導電流之方向。

**342. 誘導電動力之量。** 若吾人有一大電磁石,其兩極為平面者(如圖 359),即可證明關於導體內誘導電流之各種定律。若使銅線在兩極之空隙間,向下移動,則誘導電流可以毫計 (millivoltmeter)示之。若手持銅

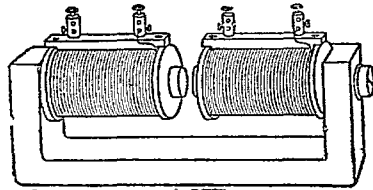


圖 359 證明誘導電動力之電磁石。

線止於空隙之間，即察知並無電流。若使銅線平移，與磁力線平行，則亦不能得電流。若使銅線經空隙向上移動，即察見有方向相反之電流，適符傅勒明之定則。若增加流經電磁石之電流，以加強磁場，則誘導電流亦隨之而增。若移動銅線經過空隙較速，誘導電流亦增。最後，若將銅線曲成若干捲之環將環自空隙移下，使環之一側之各線，皆橫截磁力線，則見誘導電流亦增。

由此實驗，可見誘導電動力之增加，由於使銅線越過磁場，移動較速，由於加強磁場，以及由於增多線之捲數。總而言之，誘導電動力之量，賴於三要因：(1)速度；(2)磁場；及(3)捲數。

誘導電動力正比例於速率  $\times$  磁流  $\times$  捲數。

**343. 發電機。** 將機械能變成電能之機器，稱為發電機(generator)。其主要部分有二：(1)磁場，其產生也或由永久磁石，例如磁石發電機(magneto)即是，或由電磁石，例如大發電機即是，(2)以銅線繞於可轉之鐵環或鐵鼓上所成之可動線圈，稱為發電子(armature)。發電子上之線，相當於上述實驗中之動線。

**344. 旋轉線環中之電流。** 若以長方形之線圈，置於大號蹄形磁石兩極之間(圖360)而旋轉之，則用柔韌之線，將線圈連至電流計上，即可檢得其中之電流，如用電磁石更佳。線圈之兩端，可連之於兩滑環，與圖360所示之單線環連於 $a, y$ 相同，則更覺便利。 $B'$ 與 $B''$ 二刷，緊貼於滑環之上者，係與一電流計相連。當吾人轉動線圈時，電流每

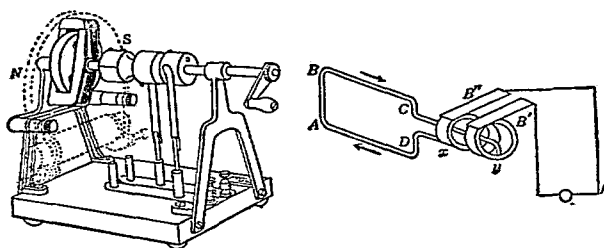


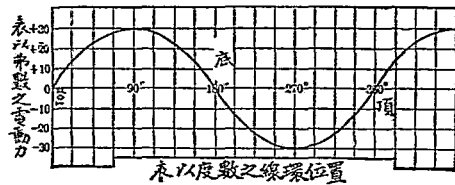
圖 360 旋轉於電磁石兩極間之線圈，及連於滑環之單線環。

隔半週，方向相反。

若吾人先考究單線環旋轉於磁場之中時，有何現象發生，則旋轉線圈中所發生者為何，即易於瞭解。今設先置線環之平面於豎垂之地位，然後依順鐘向旋轉其柄，則  $BC$  線在第一半週中，向下移動；故由傅勒明之定則，吾人應預期誘導電動力有送電流自  $B$  至  $C$  之傾向。同時  $AD$  線正在向上移動，而電流必有自  $D$  流至  $A$  之傾向。其結果，在第一半週中，電流繞經線環之方向為  $ABCD$ 。在第二半週之中，電流即倒流，而按  $ADCB$  之方向繞行於線環。

據此可知在線圈內所發生者為交流(alternating current)，每旋轉一週，易其方向者二次。又可知其誘導電動力在第一半週中，自零起向上趨至極大點，再降至零；然後依相反之方向，倒行至極大點，最後再回至

零。當線圈在水平之位置時，誘導電動力達其最高度，因  $AD$



與  $BC$  二線，在圖 361 表示誘導電動力對於線環位置之關係之曲線。此位置橫截力線最速也。此可用圖 361 之曲線說明之。線環旋轉一週（即  $360^\circ$ ），可得一段曲線，包括一方向之極大電動力，及相繼之反向極大電動力。此稱交流之一循環(cycle)。

機器之製為發送交流用者，稱為交流發電機 (alternating-current generator, 略稱  $a-c$  發電機，或交流機(alternator)。

345. 直流發電機。欲得一直流(direct current)，即常按同一方向流動之電流，吾人必須用整流子(commutator)。欲瞭解此整流子之作用，吾人試先就極簡單之一種研究之。若 344 節中所述線環之兩端，連於一裂環(split

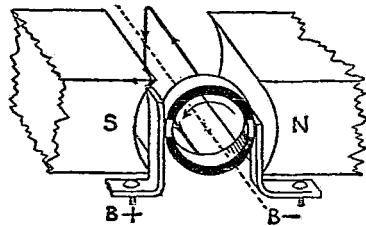


圖 362 裂環整流子。

ring), 如圖 362 所示, 則可置  $B+$  與  $B-$  二刷於此環之對側, 使各刷先與線環之一端相連, 繼與其他端相連。由於調整二刷之合宜, 使其在電流適反其方向之時, 即在線環適處於豎垂之位置時, 自整流子之此半環渡至彼半環, 即可使電流祇從  $B+$  一刷流出, 而祇在他刷  $B-$  流入。縱使線環本身內之電流, 每週反向二次在外路中之電流, 其方向亦常相同。

此種機器所發出之電流, 可以圖 363 中之曲線代表之。其方向雖常相同, 然呈脈動 (pulsating) 之狀

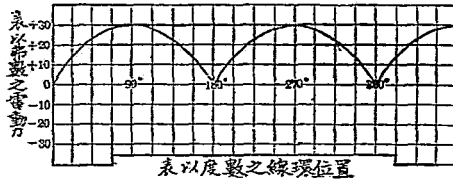


圖 363 表示線環之裝有整流子者, 其所發脈動電動力之曲線。

用整流子以發直流之機器, 稱為直流發電機 (direct-current generator, 或略稱 **d-c. generator**).

346. 商用發電機. 因旋轉單線環於磁場中而產生之誘導電動力, 由於取用多捲之線, 以及由於旋轉線圈極速, 可使其大為增加。然電流則仍有脈動之狀, 而以此脈動電流供種種用途, 不滿意處甚多, 於是



當前之問題遂爲如何製一機器，可發穩定(steady)之電流。

在商用發電機中，吾人可察知此事之成，由於利用線圈若干，勻布於軟鐵鼓形圓柱之表面，此諸線圈排列有方，務使常有其中之一，正在橫截磁力線而過，爲使諸線固定起見，乃於圓柱表面開縱行之凹槽若干條，而以諸線嵌入其中，如圖364所示，每有一線圈，

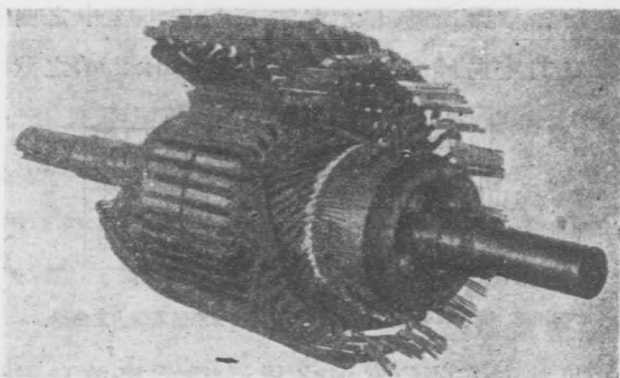


圖 364 一部分破損之鼓形發電機，諸線圈皆嵌於凹槽之中，而其端則連於整流子之各片。

整流子上即須有一裂片(segment)與之相連，故線圈之數愈增，則整流環所分之節(即裂片)數亦必愈多，例如有線圈十六，則整流子即分成十六節，整流子係由銅片圍於軸上而成，兩片之間及片與軸間，隔以薄

層之雲母,使其絕緣。

鼓形圓柱,係由軟鐵製之薄圓片,疊於一處而成。此鼓體之作用,非惟可支持線圈於其上,且可減少磁場電路中之抗磁性。蓋鐵心之透磁性,既數千倍於其所占空間之空氣,則磁流當然因此而大為增加也。

圖 365 所示者,為商用二極 (two-pole) 直流發電機,其發電子上線圈排列之圖式。觀察此圖以後,顯見鼓體右側諸線上之誘導電動力,其方向皆同;因其方向係自紙中外出,即向讀者而來,故於小圓中置一點以表示之。同樣在鼓體左半面之諸線,其誘導電動力之方向,係在送電流入紙,即離讀者而去,故於圓中作一十字以表示之。鼓形之頂上與底部之導線,並不橫截磁力線,是以並無誘導電力。兩刷皆與整流子裂片之連於頂上及底部之導體者相接觸。

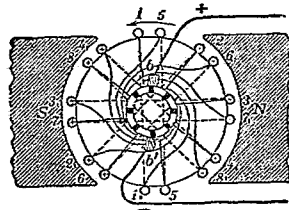


圖 365 鼓形發電機繞線之式,及其兩極,整流子,與刷。

線圈繞於鼓體之法,係使電流由標明 + 號之刷外出,流經外阻,再回至標明 - 號之刷,此事亦屬明甚。電流回至有一號之刷時,即分為兩支;其一半行至鼓體一側之導線及整

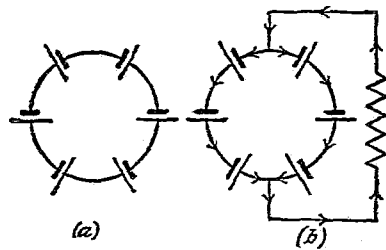


圖 366 反向電池。(a)無外電路者。(b)有外電路者。

子之裂片,他一半則行至鼓體他側之導線及裂片,是以發電子之電路有二重,即由其兩半節並聯而成,觀於發電子之此種繞線之法,又顯知全發電子之電動力,僅為含有全部線圈一半之二串聯電路中任一電路之電動力,發電子原理,可以圖366所示之電瓶以喻之,在鼓體凹槽中之線,為作用導體,而其各端之線(圖中虛線所示鼓背之線),僅供連接此等導體之用而已。

347. 多極發電機. 適所敘述之機器,稱為雙極發電機(bipolar generator).在商業上所用者,通常皆為四極,六極八極,甚至多極之機,尤以巨大之機器上所用者為然,此種發電機,稱為多極發電機(multipolar

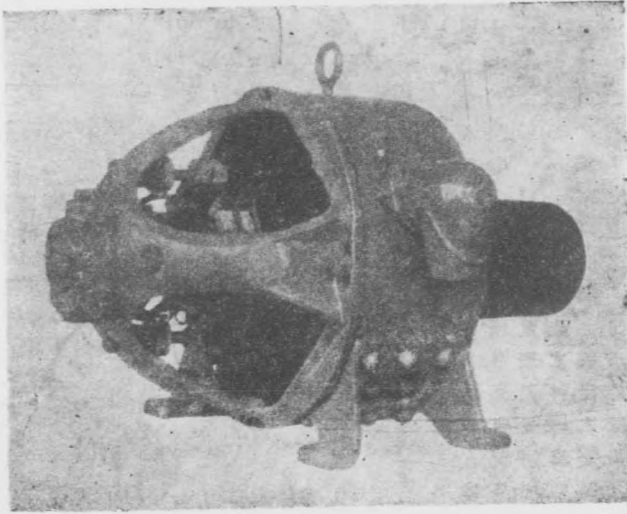


圖 367, A 四極發電機及其整流子與電刷在(左側)。

generator). 由於增加極之耦數,則商用之電壓(110 弗, 220 弗, 或 550 弗), 在極低之旋轉速度即可得之, 不若雙極發電機之須轉動極速也, 吾人早已見及, 發電機之電壓, 有賴於發電子諸線橫截磁力線之速率, 但在四極發電機(圖 367 A)中, 發電子上之各線, 在每轉一週之際, 即橫截磁力線之全部四次, 而在二極機中, 則僅二次, 因此之故, 四極機之速度, 祇須為二極機速度之半, 即可得同一之電壓, 更有進者, 多極機製造之費用較少, 蓋所需透磁之鐵較少也, 試閱圖 367, B, 可察知各刷正

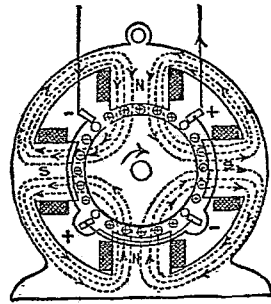


圖 367, B 四極發電機之剖面圖。

負相間, 而分連於發電機之陰陽二極。

348. 發電機磁場之激勵。在磁石發電機中, 磁場係由永久之鋼製磁石而來, 在其他之發電機中, 大都皆用強力之電磁石, 以造磁場, 激勵此等磁石所需之電流, 有時由機外之源, 例如蓄電池而來; 但通常則電機自身供給勵磁之電流。發電機因激勵磁場線圈之法不同, 而別為三種: (一)順捲(series wound)發電機, 其所發之全部電流, 皆取道磁場線圈而至外路; (二)分捲(shunt wound)發電機, 其總流之一小部分, 轉入線圈以勵磁, 其磁場線圈與外路係並聯者; (三)複捲(compound wound)發電機, 順捲之線圈, 與分捲者兼

收並用。

在順捲發電機(圖368)中,一部分線圈係用粗線數捲繞成,當外路中之電流增加時,磁場之強度亦增加,故可得較高之電壓以供給電流,此機用於供給電流以點弧燈,因弧燈須用固定電流也。

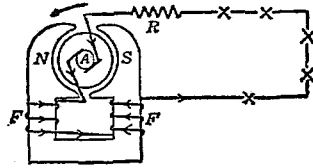


圖 368 順捲發電機,有一變量耗阻器 R,連於總線中以節制電流。

當磁場為分捲時(圖369),線圈係由多捲之細線繞成;因於此機中,由總電路轉來之電流,須儘量使之微小,故場線圈之耗阻當高,此種電機,係按一定之速度運轉之,當此機之負荷增加時,即開通之燈數增多,因而所需之電流增加時,其兩極電壓即稍稍降落,場線圈中之電流,因是而減少,而兩極電壓愈益降低,故分捲發電機,不能用以供給固定之電壓。

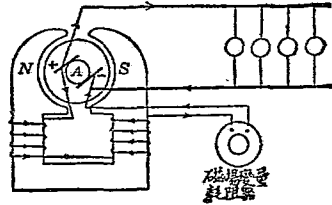


圖 369 分捲發電機,有一變量耗阻器,連於場電路中,以節制電壓。

分捲發電機,因負荷過重以致兩極電壓降低之弊,可用複捲發電機(圖370)除之,此即最通用之發電機是也,此機中加入數捲之串聯線圈,電壓即可保持不變;如此裝置,在電流增加時,即有昇高電壓之傾向,正與

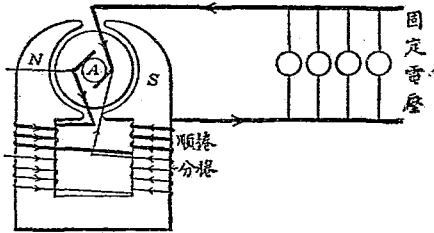


圖 370 複捲直流發電機之連結法。

順捲發電機同，若將線圈細加調整，則不問負荷之多少，電壓幾恆不變。

349. 發電機中之能源。發電機之自身不能造電，祇能將機械能轉變為電能，此一事當牢憶勿忘。例若吾人欲用電以使屋內光明，則僅購置一發電機，猶為未足；吾人必須再購一蒸汽引擎（圖 371），一氣體引擎，或一水車，始可用以運轉發電機。吾人早已見及，誘

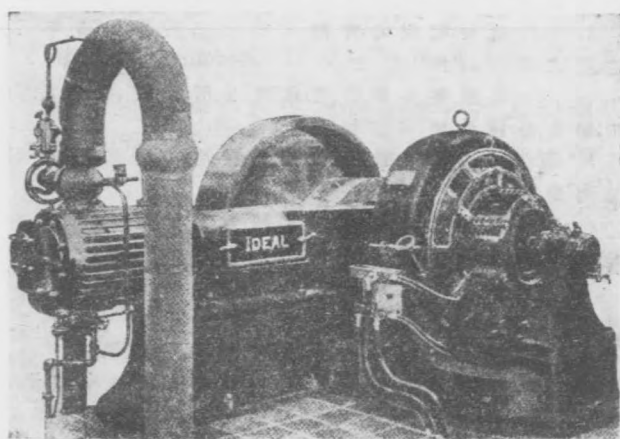


圖 371 蒸汽引擎運轉直流發電機。

導電流之方向，常欲反對導線之運動，從而發電機中之電流愈大，則所需轉動之功率亦愈高。巨大之發電機，例如發電所中用以供給電車及城市電燈所需之

電流者，有時須用二萬至七萬馬力之蒸汽引擎以轉動之。

### 問答題與計算題

1. 一直垂之線，為密閉電路之一部分，(a)若一棒磁石之  $N$  極，依水平方向經過此線時，線中有無電流發生？(b)若  $S$  極經過此線，則如何？(c)若  $N$  極在線之近傍向下移動，有無電流發生？
2. 一人面對電磁石，其  $N$  極在此人之左側，彼以直垂之線一條，插入兩極之隙，此線為電路之一部分，而插入之時，線離此人而去，問線內誘起之電流，其方向為何？
3. 決定發電機之電壓，主要之三因為何？各原因對於電壓之影響如何？
4. 一單圈雙極發電機，欲使其所發電流每秒有 60 循環，則每分鐘須使其旋轉幾次？
5. 有一八極發電機，欲使其發生 60 循環之交流，每分鐘須旋轉幾週？
6. 一分捲之發電機，其電動力當電路之外阻增加，而旋轉速率保持不變之時，所感之影響為何？試說明其理。
7. 試舉直流之用途三端，其效果為交流所不能發生者，說明其理。
8. 一發電機以 500 弗之電流 40 安，送至通入某工廠之傳遞總線上，總線耗阻為 3 歐。(a)所發生之功率若干(瓦)？(b)在工廠所得之電壓為何？(c)工廠所得之功率若干？
9. 有燈六十盞，各需 0.4 安之電流，用 110 弗之發電機，其效率為 80% 者使之放光，問運轉此發電機之汽油引擎，其馬力為何？

### 電動機

350. 發電機可用作電動機。吾人早已見及，發

電機以蒸汽引擎,氣體引擎或水車使之轉動時,可以發電,今將更見此種電流,如何可以通入與發電機完全相同,惟稱為電動機(electric motor)之第二種機器,而用此機以轉動電車,印刷機,縫衣機,或其他需要機械能之任何機器。總而言之,發電機乃一兩用之機器也(reversible machine)。例如有時汽車上之同一機械,時而用為發電機,時而又用為電動機,以運轉另一機械。

電動機之構造,與發電機完全無二,亦由一電磁石,一電動子(armature)以及附有電刷之整流子所成。然欲瞭解此數部分在電動機中之作用,必須對於有

電流通過之線,在磁場中之動作,先有明晰之概念。

351. 磁場對於有電流通

過之線所發側向推力。試以柔韌之導線 $aa$ ,懸一銅棒 $M$ 於磁石之兩極間,使其可以自由擺

動,如圖372所示。乃以電流通過電磁石,使其兩極一為 $N$ ,一為 $S$ ,如圖所

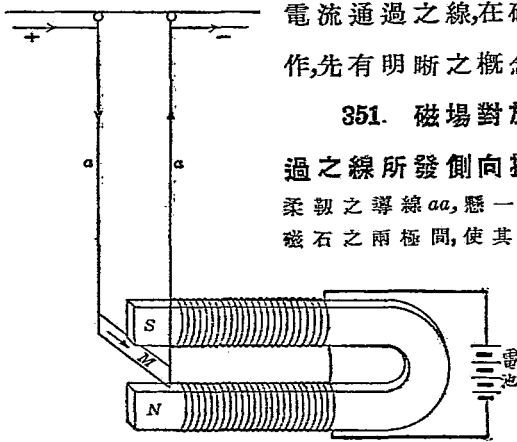


圖 372 有電流通過之導體 $M$ ,在磁場中所受之側向推力。



示。於是若用蓄電池送一強電流經過導體  $M$ ，其方向如圖所示，則將見介於二極間之  $M$  棒，立被橫推向左。若  $M$  中之電流易向，則  $M$  之運動亦倒，立被橫推向右。

強磁石兩極間之磁場，實屬均一，可以圖 373,  $A$  之平行力線表之。

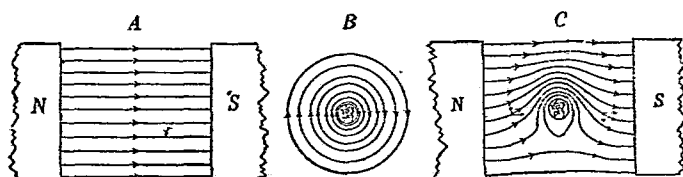


圖 373 磁場： $A$ ，單獨磁石之均一磁場； $B$ ，單獨電流之圓磁場； $C$ ，磁石及電流之合成磁場。

若回憶凡電流皆能自生一磁場，其力線為同心圓，則有電流通過之線，在磁場中所受側向之推力，即可藉此而悟。圖 373,  $B$  所示者，為一導線，其上有電流流入，即電流與紙面成直角，而離吾人以去是也。繞此導線之磁力線，依順鐘向而行。

若以有圓磁場之導線，置於磁石南北二極間均一磁場之內，則力線之密集於導線上方者（圖 373,  $C$ ），較下方為多。但在第 253 節中，已見磁力線可以想像其作用一如張緊之橡皮帶，則於此時勢將推導線向下。若倒轉導線內之電流，則磁力線之密集，係在導線

之下,故推導線向上.

352. 電動機之三指定則. 導線在磁場中因受推力而運動,欲記憶其方向,其規則與發電機定則無二,惟以左手易右手耳.

353. 電動機之作用. 電動機中之電動子(armature, 即發電機中之發電子),幾專用鼓形(參閱第346節),與發電機相同. 在此種電動子中,須憶及作用之線係在鼓體四週之凹槽中,如圖 374;而經過鼓體兩端之線,其連結之法,係使電流自一側(設謂之爲右側)而出時,將由他側(即左側)而入. 至於此諸線究用何法連結,就目前所欲述者而論,並不重要;其排列之法,不同者實甚多也. 由上述數端觀之,不問其繞法如何,在電動子右側之線( $\odot$ ),將爲磁場所推而向上,其在電動子之左側者( $\oplus$ ),則將爲磁場推向下,此事固甚明也.\* 易言之,必有一轉矩,有使電動子依照逆鐘向而旋轉之傾向. 此轉矩之分量,須視電動子上

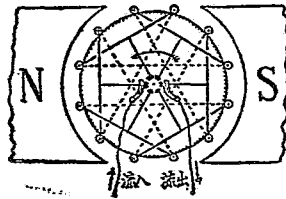


圖 374 鼓形電動機之線路.

\* $\odot$  指示電流外出,  $\oplus$  指示電流入內.

作用線之長度及圈數,電動子中之電流,以及磁場之強度而定。

用另一方法觀察此作用,係注意電動子內此等電流之效用,在使電動子之鐵心成爲磁石,其北極在底部而其南極在頂部。此二極與場磁石二極間之引力與斥力,即可使電動子依矢鏃所示之方向而旋轉。

整流子與兩刷所司者,爲使其某數圈中之電流,當電動子旋轉時易其向,以保持電流之循環,正與在發電機中同,圖 374 所示者即是。

354. 電動機之種類。 直流發電機與直流電動機,其構造往往絲毫無二。是以亦有順捲電動機,例如電車及汽車上所用者是,有分捲電動機,例如用於工場中以運轉機器者是。故又有雙極與多極之電動機,欲使電動機按低速率而旋轉,則於製造之時,須加以甚多之極。

近代直流發電機與直流電動機,大都在主極之間,有較

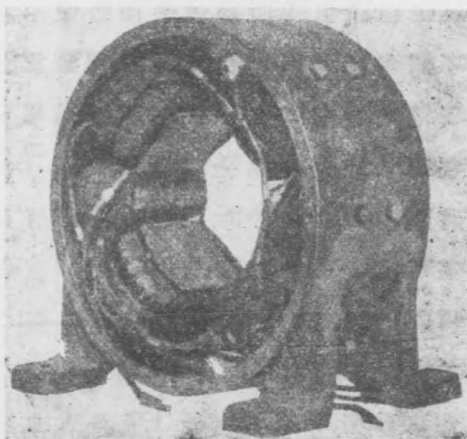


圖 375 有二中間極之直流四極電動機。

小之二極，稱為中間極(interpole)，或交換極(commutating pole) (圖 375)，其上有串聯之場線圈，故其強度視電動子內電流而定。此二極之添設，並不在於增電動子之功率，祇在於防止電流過大或速率過高時，電刷間發生火花而已。其作用之說明，學者可於論電機之專書中得之。

355. 電動機中之反電動力。 假定吾人取一電燈與安計，與一小電動機串聯，如圖 376 所示。若手持發電子不動，而將電流來自電線或蓄電池者，突然開通，則電燈即大放光明；但電動子既已旋轉，燈即變暗。

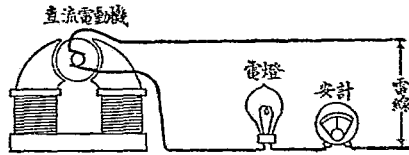


圖 376 用燈與安計，可示電動機於發動之時，所需電流較正在旋轉時為多。

由此可知電動機所用之電，在電動子已在旋轉之時，較之電動子堅持不動之時為少。電線或電池之電動力，以及電路之耗阻，並未因運轉電動機而有何變動。故電流必因有一反電動力 (back electromotive force) 發生，其作用與外來電動力 (driving e. m. f.) 相抗，以致減少。

因電動機有串聯之線圈繞於電動子上，橫截磁力線而過，故勢必在此諸線中生一電動力，即每一電動機同時又為發電機是也。此誘導電動力之方向，常與使電流經過電動機者相反。

當電動子旋轉愈速時,反電動力亦愈大,正與發電機相同,而加於電動機之外來電動力,與反電動力之差亦愈小,此差即為驅電流而過發電子耗阻之電動力,故電動機在旋轉遲緩時,所取電流較之旋轉迅速時為多,而於發動之時,所取電流較之已達高速時更多。

例如假定加於電動機上之外來電壓,即總線之電壓,為110弗,而電動機之反電動力為105弗,則迫使電流經過發電子之電壓,淨得 $110-105$ ,即5弗,若發電子之耗阻為0.5歐,則電動子之電流即為 $5.0/0.5$ ,即10安,但若於電動機靜止之時,以全電壓(110弗)加於其上,則電流即為 $110/0.5$ ,即220安。

356. 使電動機發動

電動機由靜止而發動之時,當然最初並無反電動力;故若以電動機直接連於總線,則過量之電流甚大,足以燒燬電動子,欲防止電流在初流時有此急衝之勢,須先以發動耗阻 (starting resistance) 置於電路之中,然後隨速率之增高,逐步減去之。圖377

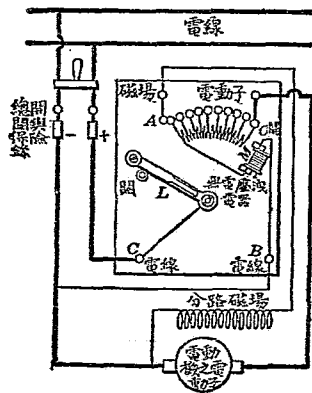


圖 377 連於分捲電動機之發動箱。

所示之發動箱(starting box),——即變阻器(rheostat)——即供此用。

### 電動機之應用

357. 分捲電動機。工廠及工場之中,用長軸粗索以及皮帶傳遞功率,其法殊屬危險,且喧噪不寧,又不經濟。在近代之工廠中,電功率自中央發電所發送,傳遞於廠中各部,用之於電動機中,以運轉單獨之機器,或連合之機器。功率之傳遞用電,則皮帶與長軸之危險及不便之處,均可免去,各機可以置於任何之地位,其速率且可用磁場變阻器(field rheostat)以調節之。有此種設備之工場及工廠,通常皆用分捲電動機

因所需者為固定速率之電動機,而分捲電動機在無負荷或負荷不多之時,其速率與負荷已足之時,幾相

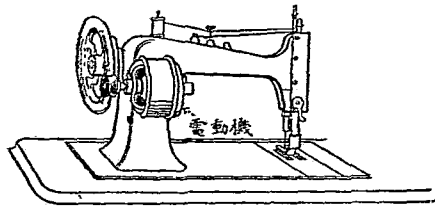


圖 378 用分捲電動機運轉縫衣機。

同也。電動機又為極便利,極舒適之家用機械。是以吾人欲用小分捲電動機以運轉縫衣機(圖 378),且用以運轉無冰之冰箱中小消熱機(refrigerating plant)

之壓縮機焉。

358. 順捲電動機。起重機與電車，皆須用順捲電動機，因此種電動機之發動轉矩 (starting torque) 甚大故也。順捲電動機之轉矩，大小正比例於電流之

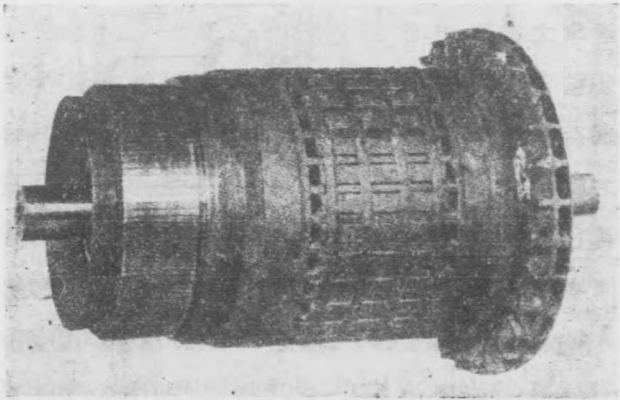
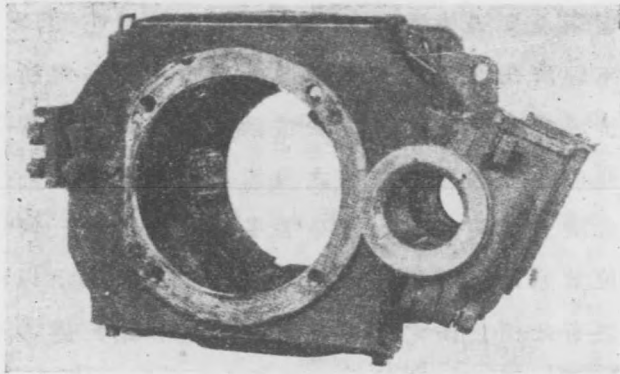


圖 379 電車所用順捲電動機：上圖為磁場繞圈及機座；下圖為電動子，整流子在其次，其右則有一通氣風扇。

平方,而在分捲電動機中,則轉矩係與電流成正比例。順捲電動機中之轉矩,當速率最低時為最大(因反電動力甚小之故),此其所以成為適用於起重機及電車之一種電動機也。當順捲電動機上之負荷降至零時,電動機即將“空轉”(race);即愈轉愈速,直至電動子碎裂成片而止,因此之故,順捲電動機須直接連於其所運轉之機械,或貫以同軸,或接以齒輪,俾使其永不能與負荷相離。

圖 379 所示者為電車所用之電動機,其電動子已取出,以顯其內部配合之狀。磁場為四短極所成,突起於套內,此套既足供保護電動機之用,又可作為磁流所經之路徑。電動子轉動甚疾,故其速率必須用一對齒輪以減低之,其大者係在轉動輪之軸上,圖中所未示。此二齒輪,使轉動軸之速率,約為電動機速率之四分之一。

電車通常皆用直流系統運轉之。有一多極複捲之大發電機,位於發電處,維持約為 550 弗之電壓,加於電車線 (trolley line) 或第三軌 (third rail) 與軌道 (track) 之間。有一“饋電線 (feeder)”,即耗阻頗小之粗導線,與電車線平行,且每隔若干距離與之相連,以防



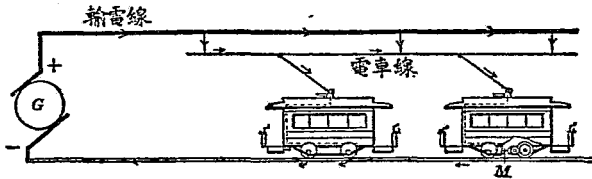


圖 380 電車軌道之基本電路。

止有若干電車在遠離動力廠之處取用電流之時，總線上發生巨大之電壓降，電流自電車線而下(圖 380)，經接電桿 (trolley pole) 而入於制御器 (controller)。此器係由巧排若干開關而成，電車司機人，利用此器，使兩電動機串聯，且使發動耗阻全部在電路之中，即可使其車發動；於是移動一槓桿，逐漸除去此發動耗阻，最後將兩電動機改成並聯，如圖 381 所示。是以在發動之時，每一電動機僅得總線電壓之半，而在以全力疾行時，其所得者即為全電壓，電流由車輪

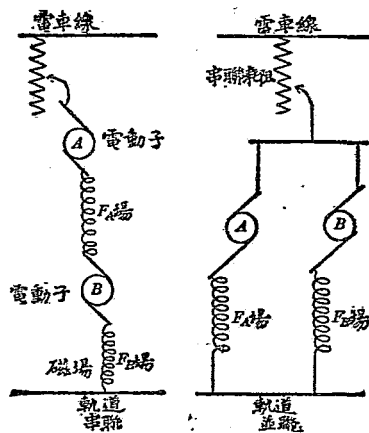


圖 381 電車之串聯並聯制御法。

而離電動機，乃取道鐵軌及地，而返於發電處。

359. 電動機之效率。 電動機之用途所以廣大者，其理由之一即為效率甚大，有時高至80%或90%。電動機之效率，與任何機械之效率同，亦指出能對於入能之比而言，加於電動機之安數及弗數，欲測之頗易，由此即可計算加入之瓦數。

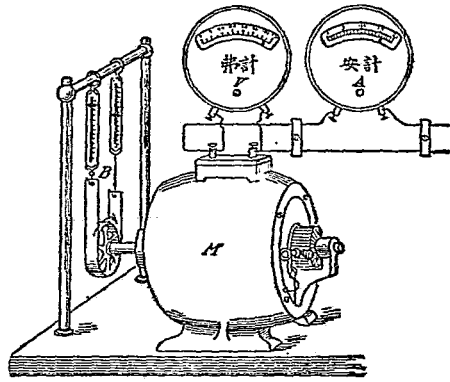


圖 382 用制動測驗法，測定電動機之效率。

欲求機械功之出能，工程師常用“制動測驗法 (brake test)”。有一種簡單之制動機，係以皮帶或繩索，繫於二彈簧秤上，且使套於電動機軸上之滑輪下而成，如圖 382 所示者然。

若滑輪旋轉，如矢所示，則因滑輪對於皮帶有摩擦作用，顯見一彈簧秤所用之力，較他彈簧秤為大，摩擦力之大小，即等於兩秤上度數之差，而此力作用於滑輪時，其作用點每分鐘所經之距離，則等於滑輪之

圓周乘每分旋轉數

一分鐘內所作之功,等於摩擦力乘滑輪所經之距離。

最後,若以某種普通功率單位表出能與入能,而以入能除出能,即得效率。下列之關係,頗有用處,宜知之。

$$\begin{aligned} 1 \text{ 瓦} &= \text{每分 } 44.3 \text{ 呎磅,} \\ &= \text{每分 } 6.12 \text{ 尪呎.} \end{aligned}$$

## 問答題與計算題

1. 圖 383 所代表者,為一雙極電動機,其電動子依反鐘向旋轉。試摹此圖,並以點與十字\*置於圓中,以表電動子與場線圈中各電流之方向。

2. 一安計與一電動機串聯,在疾轉之時,安計所示之度數為 6 安。問適在電動機初轉之時,安計所示之電流當較多,抑較少? 試說明其故。

3. 一電動機之耗阻為 0.75 歐,問當加入之外來電動力為 115 弗而反電動力為 112 弗時,流經電動子之電流為若干;

4. 一電動機與發電機相連而成一組,自 110 弗之電線,取用 40 安之電流,而發出 45 弗之電流 70 安,問此電動機

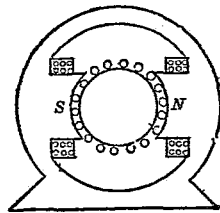


圖 383 雙極發動機上導線之剖面。

\*圓內之十字,表示尾穿過紙面,其意即電流正在流入,圓內之點,則指有電流外出而言。

與發電機之合成效率爲何?

5. 一電動機有四馬力,連於115弗之電路,在負荷已足之時,需電流32安,求其效率。

6. 一電動機其效率爲90%,當其正在發出5馬力且連於110弗之發電所時,其所吸收之電流爲何?

7. 一汽車自動器(self-starter),自6弗之蓄電池取用80安之電流,而其效率爲80%,問其馬力若干?

8. 有一電動機,用制動測驗法驗之,測得其在113弗之電壓下,取用電流67安,而所發出之馬力爲8.5。試計算其效率。

9. 在愛斐爾塔(Eiffel Tower)中有一電昇降機,舉7000磅之負荷,每分鐘昇高400呎,若此機之效率爲75%,而電費爲每瓦時洋4分,則此負荷舉高400呎,所需之值若干?

10. 電動機之發電機效應,其意何指?電車下山時,如何可以利用此效應?

11. 新墨西哥號,爲美國海軍第一艘燃油而用電推進之戰艦,問自油至推進機,能之轉變若何?此種動力機關,有何優點?

## 第二十二章 提要

發電機之原理:

當導線橫截磁力線時,即有誘導電動力發生。

欲決定誘導電流之方向,用右手——

拇指表示運動方向。

食指表示磁流方向。

中指表示電流方向。

誘導電動力之大小隨速率 $\times$ 磁流 $\times$ 捲數而變。

商用發電機之裝有——

滑環(slip ring)者,可發交流。

整流子者可發直流。

發電機決不能造“能”;惟將機械能轉變爲電能而已。

電動機將電能轉變為機械能。

有電流通過之導線，置於磁場而與之成直角時，為磁場所推而起側向運動。

欲知運動之方向，用左手。

凡電動機在轉動之際，同時有發電機之作用，此發電機作用之電動力，與運轉電動機之電流相反，即所謂反電動力是也。

淨電動力，驅電流而過電動子者，等於外來電動力減去反電動力。

歐姆定律祇在用淨電動力時，始可適用於電動機之電動子。

### 問 答 題

1. 導線之圈，應如何旋轉於地球磁場中，始可得極大之誘導電流。
2. 線圈如何旋轉於地球磁場中，則可不生誘導電流？
3. 商用發電機與電動機，何以不用單圈發電子與單圈電動子？
4. 在發電機中所損失之能，變為何物？
5. 餘磁性 (residual magnetism) 在發電機初動之時，有何用處？
6. 發電機之外電路中，燈數增加時，所需旋轉發電子之力，應否增加抑或減小？試說明其理。
7. 有一為皮帶牽動之分捲發電機，用以使蓄電池充電。皮帶忽裂而機仍轉動不息，試說明其故。
8. (a) “60 循環之交流”一語何解？(b) 以電燈置於 25 循環之電路中，何以其光閃爍不定？
9. 電車軌道上，雖有多量之電流流過，然人立軌上，永不受害，試明其理。
10. 常用於地道中之第三軌，有何用處？此第三軌皆

以爲其較軌道爲危險，何故？

11. 電車之運轉，概不用蓄電池以代架空電線即第三軌之傳電方法，何故？

12. 電車上山之時，流過軌道之電流，較下山時爲多，此何故歟？

13. 能常住定律如何可適用於電動機之入能與出能，試說明之。

14. 用於發動汽車及使蓄電池充電之電動發電機 (motor generator)，如何可就變動之速率維持固定之電壓，試求其故。

15. 分捲電動機中加入稱爲磁場變阻器 (field rheostat) 之輔助耗阻，與其場線圈串聯，藉以減少經過線圈之電流，即可節制其速率。問速率將因此而增加否，抑將減少？何故？若有實驗用之電動機，曷一試之。

### 實 用 題

1. 發電處。參觀電燈公司或電車公司之發電處 (electric power house)，並作關於汽鍋，引擎，發電機，交換機 (switch-board) 等等之報告。

2. 測驗發動發電機。向汽車修理舖購一舊發動機 (starter)，拆卸其各部分而考驗其場線圈，發電子，整流子，以及刷毛。將此機重行裝配，而測其用爲發動電動機 (starting motor) 時之效率。試求第三刷在使蓄電池充電時，如何有節制電流之功用。參閱霍伊康三氏所著之“用油汽車” (Hobbs, Elliot, and Consoliver—*The Gasoline Automobile*)，McGraw-Hill 圖書公司出版。

## 第二十三章

## 誘導圈及變壓器

磁石所誘起之電流——楞次定律

電流所誘起之電流——誘導圈——汽車點火器——自斷  
——斷續火花圈、電話。

變壓器之作用——變壓器之原理——變壓器之用途  
——長途傳遞——渦流。

## 360. 磁石所誘起之電流。絕緣細導線多捲所成

之圈，若將其兩端連於靈敏之電流計，然後再將強磁石之一極，迅速插入圈內，如圖384所示，則可察見電流計之指針暫有偏斜。當吾人再將磁石急舉而起時，又可察見相反之偏斜。今若放下磁石執之不動，即見電流計之指針回至零點。若將此實驗重行一次，而使磁石上下移動較緩，則見偏斜較小於前。

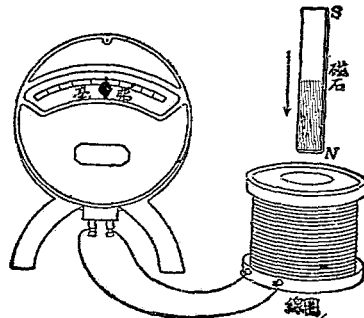


圖 384 以磁石NS急插入線圈，可生暫時之電動力。

由此實驗，可知由於移動磁石，使其出入線圈，能產生暫時之電流。此種電流稱為誘導電流。由此實驗，顯見電流之誘起，祇在磁石正當運動之際，而運動之

方向改變，電流之方向亦倒，因電流之流動，常有電動力使之然，故磁石出入線圈之運動，必生一誘導電動力無疑。

**361. 誘導電動力之方向。** 若取與前相同之裝置(圖 384)，而先使磁石之  $N$  極在下，後使  $S$  極在下，插之入圈，則見兩次之偏斜，方向相反，欲決定正在流過線圈之電流，其方向如何，可將銅線銜線各一，啣於口中，造成一微小之弗打電瓶而將兩線與電流計相連，因吾人知銅為陽極，故可比較電瓶電流與誘導電流所生電流計偏斜之方向，因而決定誘導電流之方向，用此方法，可察得當將磁石之  $N$  極插入線圈中時，誘導電流所取之方向，係在使線圈之上端為  $N$  極，仿此可發見當磁石之  $S$  極插入線圈時，誘導電流所取之方向，係在使線圈之上端為  $S$  極。不論以  $N$  或  $S$  極插入，線圈上端當成斥拒運動磁石之極。

誘導電流之方向，可以述之如下：

誘導電流所取之方向，在使其磁力作用，有抵抗產生該電流之運動之傾向，此稱楞次定律 (Lenz's law)。

**362. 電流所誘起之電流。** 因電磁石之能力，可使其較大於鋼製磁石，故以電磁石移近線圈，應預期有更大之電流，可以誘起。

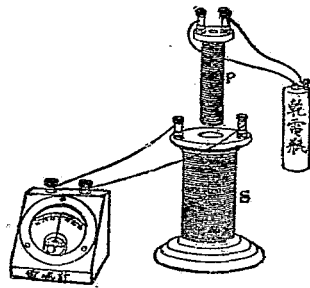


圖 385 運動之電磁石  $P$ ，使  $S$  圈中生一電流。



茲將圖 385 中之二次圈 (secondary coil)  $S$  連於電流計, 而將一次圈 (primary coil)  $P$  連於電池。當以有電流通過之一次圈  $P$ , 插入另一圈  $S$  或自其中抽出之時, 即有電流誘起, 正與移動磁石, 出入此圈相屬。然誘導電流則較前大甚。吾人又覺  $P$  圈中之電流加強, 則磁場強度增高, 因而誘導電流之強度亦然。

由於插一鐵心於一次圈內, 亦可增加誘導電流。蓋鐵心可使磁場大強, 因而線圈四週磁力線之數亦大增。

若置一次圈及其鐵心於二次圈內, 則由於啓閉一次電路內之開關, 即可得一誘導電流。開關一啓一閉, 電流計上之偏斜方向相反。

概言之, 經過線圈之磁力線, 其數一有變動, 即有誘導電流生於此線圈。

363. 商用誘導圈。在誘導圈 (induction coil) (圖 386) 中, 鐵心係用軟鐵線製成: 一次圈係用粗銅線繞成, 捲數頗少, 而二次圈則由極細之絲包 (silk-covered)

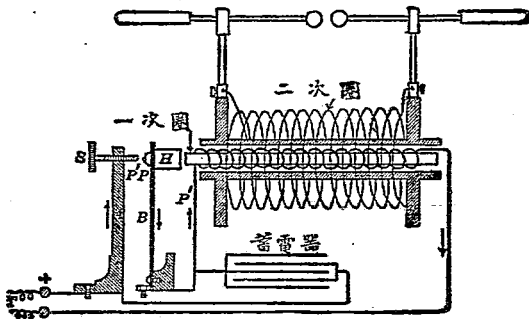


圖 386 誘導圈。

銅線捲成，捲數甚多，且與一次圈絕緣，頗為周密。欲使一次電流之斷續極速，通常以電流斷續器(interrupter)  $H$ ，連於線圈之端以司之。此自動斷續之動作，其原理與第 307 節中所述之振動電鈴完全相同。當此種線圈中之一次電路截斷時，電流仍有繼續之傾向，一似有惰性者然，故縱在開關間隙  $P'P$  已稍張開之後，亦可一躍而過之。有此原因，電流之“截斷”遂緩，而誘導電動力亦弱。故將蓄電器橫連於間隙，以除此弊。此蓄電器通常用錫箔製成，間以石蠟紙使其絕緣，排列之法如圖 277 所示。此器無異於儲電之棧。當一次電路截斷時，電流可急衝而入，斷續器上之電花即可減小。即使連以蓄電器，仍有電花發生，故接觸點之尖端必須鑲以銀或鎢，並須常使潔淨無垢。

誘導圈之種類，通常就其二次圈兩極間之距離為電花所能躍過者而定。當運用誘導圈時，祇須使其兩極充分接近，即有電花躍過其隙，繼續不斷。此種誘導圈，有時稱為藍姆考夫圈(Ruhmkorff coil)。

### 364. 誘導圈之用途 誘導圈

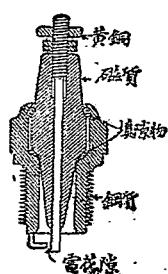


圖 367 油引擎電花栓之剖面。

最重要之實用,在於氣體引擎中之點火器無疑。欲發一電花躍過電花栓(spark plug, 俗稱火星塞)(圖 387)之兩端,須用數千弗之電壓。

在多數汽車及航海之引擎上,直流係由發電機及蓄電池供給,其上有調節電壓之裝置。在此組織中,須有一誘導圈,一斷續器,以及一分配器(distributor),此器可將高壓電流,給流入各栓。此組織之原理,如圖 388 所示。

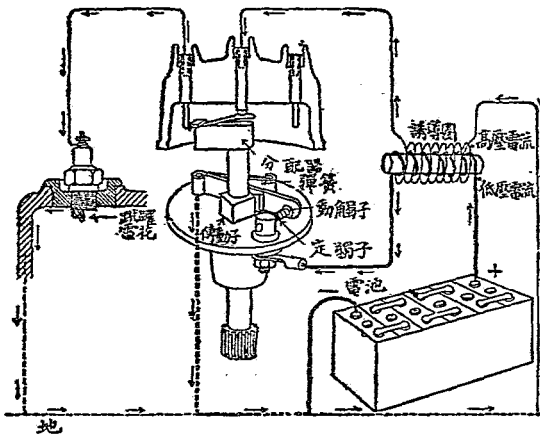


圖 388 汽車點火器之組織,用電池,電花圈,以及高壓分配器各一。

誘導圈有時與蓄電池合用,置於便於攜帶之器具中,以供激勵 X 線管 (X-ray tube) 及發生無線電報中之電波 (electric wave) 之用。此二者將於第三十及第三十一兩章中述之。

365. 自誘。若以捲數多而有軟鐵心之線圈，連於電池，可見當開關閉合之時，電流並不立達其充足之量，一如歐姆定律所決定，電流之有此結果（當然所歷時間甚短），其理如下，即電流初通時，造成一磁場，此磁場初生之際，其力線即橫截線圈之各捲，因而誘起一電動力於其中，此電動力反對電流之通過。

當開關放開之時，原電流並不立降至零，仍有躍過開關間隙而繼續流動之傾向，蓋電流自有之磁場初滅時，其力線又橫截線圈之各捲，但在此時之自誘電壓，扶持電流繼續流動。

欲顯示自誘之作用，可取一6弗之小電燈，橫連於電磁石之兩極間，若再連一蓄電池，使有4弗之電壓，越過此燈（圖389），則電燈先發光頗明，但當電流既已穩定之時，迅即變暗，當將開開放開時，燈又轉明。

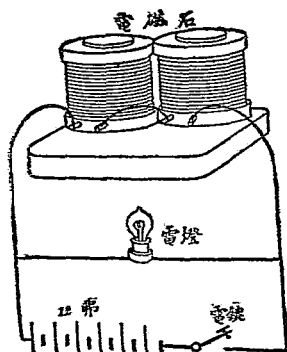


圖 389 表示電磁石中自誘，效驗之實驗。

電路反抗電流變動之性質，稱為該電路之自

誘 (self-induction) 或 誘導 (inductance)，電路之此種性質，有時稱之為電磁惰性 (electromagnetic inertia)，因其

極相同於吾人在機械中所發見之性質也。自誘作用，在交流電路中甚屬重要，尤以在高週率電流之電路中為然。

366. 自誘之應用。自誘之原理，可利用之於斷續點火器 (make-and-brake ignition)。所用者為單獨線圈，由多捲之線繞於軟鐵心上而成。當此種線圈，用以供給氣體引擎之汽缸中之電花時，其電路如圖 390 所示。其兩極為引擎之汽缸內之兩點，一點固定 ( $A$ )，而他點可動 ( $S$ )。當 ( $A$ ) 與  $S$  分離之時，因線圈之自誘而發之誘導電動力，足使電花躍過其間隙。

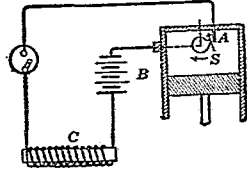


圖 390 用為氣體引擎點火器之斷續電花圈。

用電池電流以點家用之煤氣燈時，所用之線圈即屬此種。若於大電磁石例如電動機之場磁石之電路初斷之時，以指觸間隙任一側之導體，則因自誘而生之電流，有時使人起劇烈之震動。

## 電 話

367. 電話受話器。於一八七六年時，亞力山大格刺漢柏爾 (Alexander Graham Bell)，證明人類談話之音，可以用電傳遞，全世界為之驚奇不置。柏爾氏之器械，其主要部分至今仍用之者，以柏爾受話器 (Bell receiver) 聞。此器為一硬橡皮匣，中藏鋼製之蹄形磁石，其兩極皆繞有極細之線所成且捲數甚多之線圈

(圖 391) 一薄鐵圓片置於此磁石之前,其中心幾與其兩端相觸,圓片之外,套一中央有孔之硬橡皮蓋,或稱耳片 (earpiece),以使圓片固定,不致脫落。

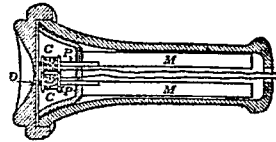


圖 391 雙極電話受話器之各部分。

欲顯示電話受話器之作用,可將大受話器一具,與電燈串聯於交流總線,或連於可發交流之磁石發電機。吾人立聞巨大之營營聲,發自器中。若使受話器向上直立,而以鉛筆輕點於鐵膜 (diaphragm) 之上,則見鉛筆即上下跳動,蓋通過線圈之交流,更迭使磁石忽強忽弱,其吸引鐵片之力遂時大時小,因而鐵片發生振動,此振動傳於空氣,於是發音。

368. 微音器。今製一極簡單之微音器 (microphone), 以示如何可生適當之電流,使受話器發言語之音,以易此營營之聲。

此微音器可以弧燈所用之炭棒三條製之(圖 392)。若此種微音器與電池及電話受話器串聯,而以一鐵置於其底板之上,則滴滴之

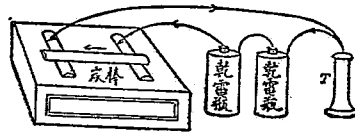


圖 392 簡單微音器。

聲,雖受話器與其相離頗遠,亦可於器中聞之。蓋鐵使底板微震,傳及炭棒,致其接觸點之耗阻發生變化,電流因亦變動,變動之電流,於是將受話器之膜前後牽曳,而將週圍之空氣,激之使動,音乃得聞。

369. 電話送話器 近代之電話送話器 (telephone transmitter), 不過一意匠精細之微音器而已。此器有一小匣(圖 393), 其中滿藏硬炭之粒。匣之前後, 爲磨光之炭板, 而匣之四側爲絕緣體。匣前之炭板, 連於膜之中央, 故當膜振動之時, 炭板隨之稍有忽進忽出之運動, 此一炭板固定於外套之堅實之背電

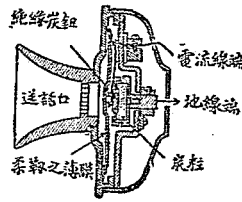


圖 393 電話送話器之剖面。

流自電池而來, 流至前板, 於是經炭粒向後流至他板, 再沿電話線流出而至受話器。當膜向後微動之時, 即壓緊炭粒, 其耗阻遂減小, 而電流加強, 亦將受話器之膜向後牽曳。當送話器之膜向外移動時, 電流減少, 而受話器之膜亦向外移動。若一人向送話器發言, 使其膜起相應之振動, 則受話器之膜, 起同樣之振動, 而在四週之空氣中, 發生同類之音波(圖 394)。

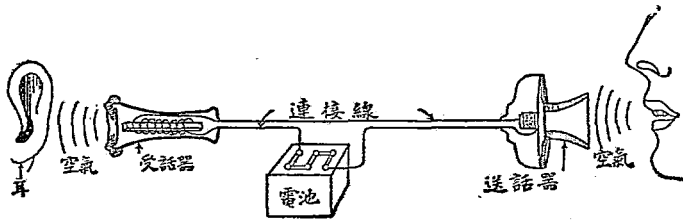


圖 394 簡單之電話電路。

370. 中央電池式與局部電池式。 適所述者，為各大都市所用通話之法。其電池為一碩大之蓄電池(或發電機)，置於中央電話局之內，各線在任何時刻通話，皆用其電流。

在多數鄉村電話總局中以及孤獨之支線上，則另用一法，稱為局部電池式(local-battery system)，因其設備費及維持費，皆較廉也。即在城市之中，於長途電話線上，所用者亦與此式相同。

在此式中，各用戶之電話機上，皆有乾電池數具，與其送話器串聯，如前所述。惟所生變動之電流，不經由總線送出，而取道一小誘導圈之一次圈，回至電池。其時誘導圈之二次圈，即將一誘導電流送入總線，其變化一如原電流，但其電壓則較前高甚。若斯則“線虧(line losses)”大為減小，因而能之入於受話器者，亦較原電流直接送出時為多。就電方面而言，此式實優於中央電池式(central-battery system)。此式之所以不用於城市中者，其主要原因，蓋在於欲使如是衆多之局部電池，同時可用，一無損壞，實屬困難耳。

### 問 答 題

1. 一密閉線圈置於桌上，以磁石之S極插入其中時，圈內電流之方向為何，試作一圖而註明之。
2. 試說明楞次定律對於(a)電動機，(b)發電機之應用。
3. 誘導圈所發之電花，欲決定其長度，有四要素，試列舉之。
4. 誘導圈之一次圈與二次圈中之電流，其主要之差別為何？
5. 誘導圈之二次圈兩端之間，僅在斷續器截斷電路之時發生電花，而在接連電路之時則否。何故？
6. 最初之電話送話器，有以磁化之鐵片，置於線圈



近傍而製成者，此器不用電池，問電流如何可因人之發言而生？

7. 當電話線近於交流電力總線而與之平行時，電話受話器中有時可聞營營之聲，說明其理。

### 變壓器

371. 何謂變壓器！前此已見誘導圈係由直鐵心繞以兩線圈而成——一為一次圈，捲數甚少，一為二次圈，捲數甚多。當斷續之電流經過一次圈時，即有連貫之同向高壓電花，躍過二次圈兩極之間。

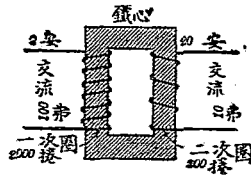


圖 395 理想降壓器。

此因一次圈之電流屢次急斷之故。反之，在變壓器 (transformer 俗稱方棚) (圖 395) 中，鐵心常為長方形，而成為密閉之磁路 (magnetic circuit)。其第二不同之點，則為變壓器中，常以交流加於其一次圈，因此生一交磁流於鐵心之中，此交磁流更在二次圈中誘起一交流。

372. 變壓器之作用。變壓器僅能變化電壓，不能將交流變成直流，此事須切記莫忘。變壓器之作用，可由敘述鳴鈴變壓器 (bell-ringing transformer) 知之，此器可從平常之交流電燈線，取用功率以運用電鈴。

蜂音器 (buzzer), 開門器 (door opener) 以及同類之器具, 故以此為例, 或最妥善。此小小之裝置, 可變電燈線之 110 弗, 為電鈴所需之 5, 10, 或 15 弗。

圖 396 所示者, 即為一種鳴鈴變壓器之外表及內部之構造。A 與 B 兩端, 經保險絲而連於 110 弗之交流電路, 稱為一次極 (primary terminals)。x 與 y 兩端, 為二次極 (secondary terminals), 當一次電壓為 110 弗時, 此兩極間之電壓為 10 弗。今如考察其內部, 則一見其構造之簡單, 將為之驚奇不止, 蓋其中僅有鐵心一與線圈二也。鐵心係由柔韌之薄鋼片若干所成, 鑄為適當之形狀, 使成密閉之磁路。用琺瑯包線 (enamel-covered wire 俗稱漆包線) 繞成之一次圈 P, 其捲數約為 880, 而二次圈 S 之捲數, 則約為 80。

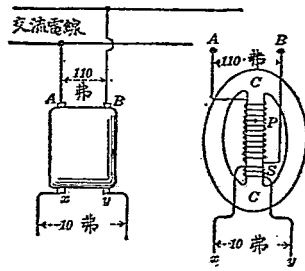


圖 396 鳴鈴變壓器及其內部構造。

373. 變壓器之原理。任何變壓器, 皆有二線圈, 相並而繞於公共鐵心之上。當使交流通過一圈 (稱為一次圈) 時, 鐵心即為其磁化, 發生洶湧之磁流, 先流於一方向, 繼流於他方向。此磁流除經第一圈外, 亦經過第二圈 (即稱為二次圈者), 故在二次圈中誘起一交流。因經過兩圈之力線, 其數相同, 故每圈之弗數相同。因此一次圈內之總電壓, 對於二次圈內總電壓之比,

同於一次圈之捲數對於二次圈之捲數之比此可以下列方程式表之：

$$\frac{\text{一次圈上之電壓}}{\text{二次圈上之電壓}} = \frac{\text{一次圈之捲數}}{\text{二次圈之捲數}}$$

若斯則交流之功率，可見其藉鐵心中之磁流，由一次圈而傳遞於二次圈。

**374. 尋常之廣布變壓器。** 因街道上之傳遞總線，其電壓常在2300弗左右，故必須變之或“降之(step it down)”為115弗，始可用於私人之家中而保無虞，此種變壓器，其高壓線圈(high-tension coil)係由多捲之細線所成，連於2300弗之電路；而低壓線圈(low-tension coil)則由粗線所成，捲數頗少，連於屋內之燈路。就此例而論，高壓圈即一次圈之捲數，須為低壓圈即二次圈之20倍，但二次圈之線，必須較一次圈為粗，因二次電流，約為一次電流之20倍也。故變壓器所發之能，幾與其所受之能同量，惟有一小部分(約自百分之二至百分之五)，在變壓器中變為熱而失去耳。因此變壓器之效率甚高，自百分之九五至百分之九八。

變壓器通常製成兩種：一為鐵心式(core type)(圖397, A)，其線圈係繞於長方形鐵心之兩側者，一為鐵殼式(shell type)(圖397, B)，其中之鐵心，係圍繞於外包薄片之線圈者。

兩種之鐵心，皆以柔韌之矽鋼薄片製成。

最新式之一種，實為改良鐵心式，並採取鐵殼式之許多優點而成。其線圈繞於鐵心之一股，而他股 (leg) 則分成四部分，圍繞套有線圈之中央一股而成對稱，如圖 397, C 所示。此一種稱為 H 式 (H-type)。欲保線圈之絕緣，常將變壓器置於鐵匣之中，而圍之以油。用交流以點電燈之諸屋，其近傍之電桿上，通常皆附有此等鐵匣。

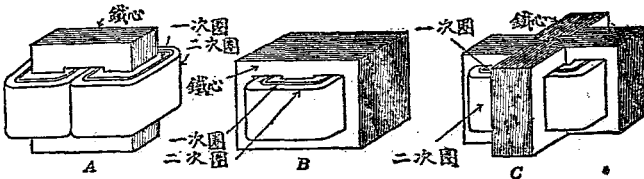


圖 397 三種變壓器：A，鐵心式；B，鐵殼式；C，H 式。

**375. 變壓器之用途。** 在電燈廠中，慣用交流機以發電壓在 2300 弗之電。電流即在此高電壓之下，傳遞至各區域，再就地降至 115 弗，以供屋內點燈之用。降壓器 (step-down transformer) 之另一重要用途，為以電壓極低之巨大電流，供給電爐及電鍛接之用。

欲證明此事，可以一捲或二捲之粗銅線，繞於小降壓器之鐵心上，如圖 398 所示，然後將其一次圈，連於 110 弗之交流電路 (有可得交流電路者)。粗線之兩端，應附鐵釘一雙。若於電流通時，使兩釘

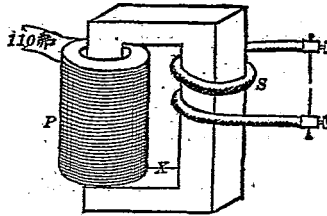


圖 398 實驗上之降壓器用於鍛接。

尖端相觸，則兩釘皆發赤熱，即可鍛接矣。

電車軌道之昆連各節，往往用此法鍛接之，所需之電流甚大，惟時間頗短，電流係用降壓器得來，降壓器之二次圈，祇有一捲或二捲，為極粗之銅條，此二次圈之兩端，夾於所欲鍛接之軌上，接合處之兩側，各有一端。

**376. 功率之長途傳遞。** 現時利用高電壓之交流，甚至達二十二萬弗者，可將功率傳遞於極長之距離以外，例如在美國加利福尼亞省之西拉尼瓦達山 (Sierra Nevada Mountains)，水電動力廠中所發之電功率，可以傳遞至250哩外之洛杉琪兒 (Los Angeles)，欲瞭解電之傳遞，何以需如是高之電壓始為經濟，當回憶所傳遞之功率，係視電壓與電流強度之乘積而定，然則若可使電壓升高，電流即可減低，其事頗顯，但較小之電流，即可使傳遞時之損失減少；因損失乃由電流之熱效應而來，而熱量依電流之平方而變，吾人固早已見之矣。

銅索三條或六條，其直徑約各為 $\frac{3}{4}$ 吋，懸於高出地面約75呎之鋼塔上如圖399所示者，並非不常見之物，而此諸銅線，有40,000瓩之電能正在其上通過，

亦非不常知之事。美國全境，水電動力廠正在發展。例如在耐亞嘎拉(Niagara)，有一發電之動力廠，將電壓

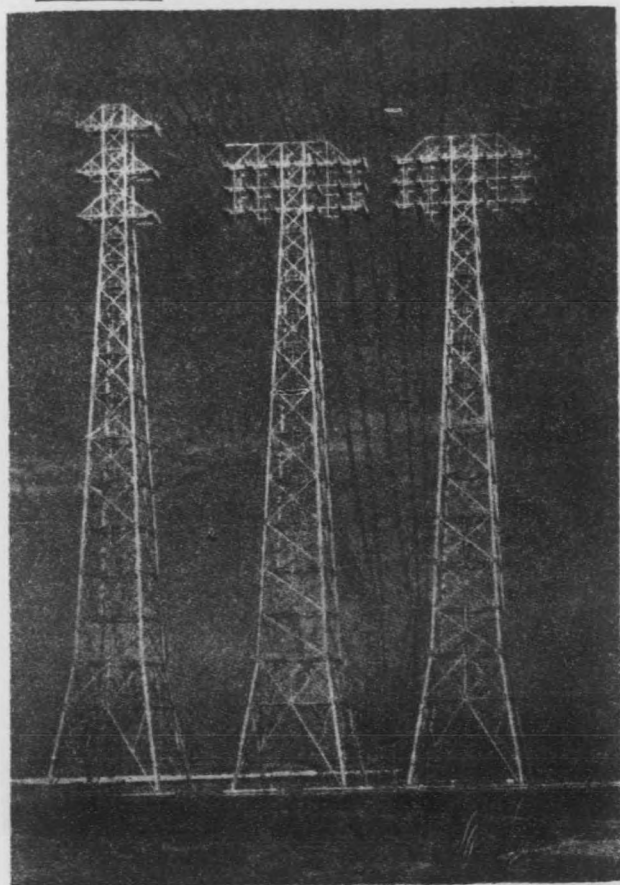


圖 399 南加利福尼亞之高電壓長途傳遞線。

升高至六萬弗，而將在瀑布下可得之巨大之能，傳遞其一部分至於羅徹斯特 (Rochester) 及敘拉古 (Syracuse) 諸城。適在城區以外，有變壓所 (substation) 若干。其地之電壓降至約 2000 弗，然後分配於工廠，以及供給點燈及曳重之用。在電流實際上入於屋內以前，電壓再降低至 220 弗或 110 弗。

在發電所則裝有昇壓器 (step-up transformer)，此器接受電壓自 2300 弗至 11000 弗之電能，而將其電壓昇至 50000 弗至 220000 弗，再送於傳遞線上。在此過程

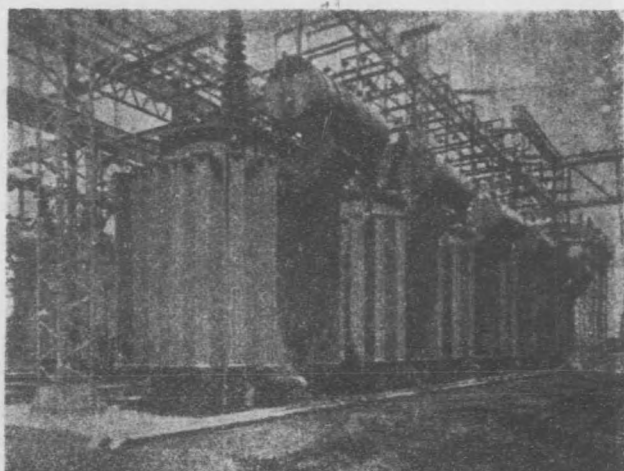


圖 400 近世戶外變壓器。

鐵盒內之油，用水冷卻，其表面凹凸不平，目的在增加空氣冷卻之面積。

中，變壓器並未增加功率，因電功率須視電流與電壓之乘積而定也。電壓或可增為10倍；但同時則電流變為不及十分之一，故功率恆有損而無益，在極巨之變壓器中，其用以絕緣之油，常用水冷却之；而對於高電壓之設備，則戶外式(out-of-doors type)之變壓器與開關(圖400)，遠較戶內式為多。

377. 渦流。變壓器之心，已見其乃由軟鐵或柔鋼之片，鑄成適宜之形式，然後合於一處而成。在誘導圈中，其心係用軟鐵之線，捆為一束而成。若將發電機之發電子，或電動機之電動子，加以考察，則見鐵製鼓體，係由軟鋼之薄片，層疊於一處而成。各片皆鑄成盤狀，在其邊緣之周圍，開凹槽若干(圖401)，然後集之於稱為“蛛狀殼(epider)”之架上，而貫之於軸，片與片間，以及繞於其上之線與線間，常塗以蠟膠片(shellac)，使其互相絕緣，且可減少所謂渦流(eddy current)，又稱佛科電流(Foucault current)。

前此研究發電機之際，已見任何導體橫截磁力線時，誘導電動力即有沿導體輸送電流之傾向。在發電機中，用以運送此電流者為銅線，但此等銅線係繞於鐵心之上者，而此心既屬鐵製，則其本身亦為導體，故當其旋轉於磁場中時，其中亦有誘導電動力發生。此誘導電動力即將送一

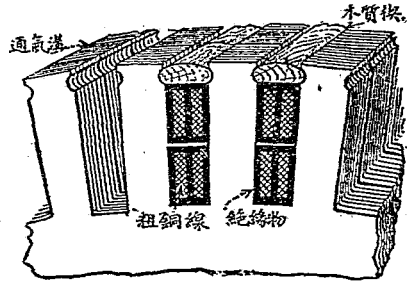


圖401 發電子之層疊鐵心。



電流經過鐵心之某部分，此即所謂渦流是也。渦流一起，鐵心立即發熱，而發電子之運動因以遲緩，功率遂受損失。欲儘量減少此等電流，須使鐵心各層間之絕緣體，橫截渦流所欲流動之方向。

378. 渦流之滯留效用。欲明渦流有遲延磁場中導體運動之傾向，可以厚銅片製成之擺，安設於強大之電磁石之兩極間而察之(圖 402)。若磁石未經激勵，則銅擺可以左右擺動，與其他任何之擺無二；但當開通電磁石內之電流時，銅擺即不能經磁場以擺動，因而立受遏制。若此銅擺，易以割開平行切口一排之相似之擺，即見渦流之滯留效應，大為減少。銅擺中所生之渦流，有遲延其運動之傾向，宛與擺在濃厚之糖漿中擺動時相仿。

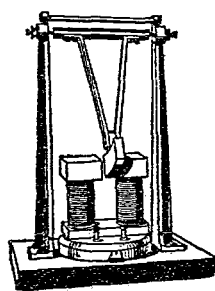


圖 402 銅擺為渦流所滯留。

此效應極有利於停止達孫發爾電流計(參閱第 309 節)中動圈之搖擺。動圈之銅線，常繞於輕銅架或鋁架之上，而此金屬架中之渦流，即可遏制其擺動。此種電流計稱之為“立止(dead-beat)”式。在第 380 節中，所見瓦時計之圓盤能自割其旋轉者，亦因利用此同一原理之故也。

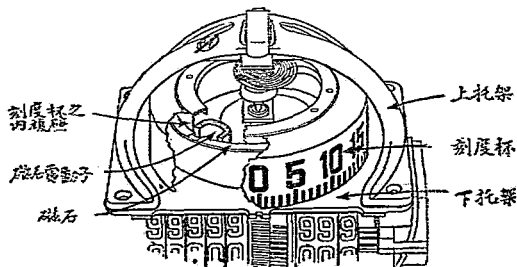


圖 403 汽車速度計，其匣已卸去。旋轉之磁石，使刻度杯中生一渦流，因而當速度增加時，可扭之以轉。

在某種速度計中(圖 403),可見有一磁石,置於鉛質鼓形輪之內,此輪用細密之方法,鑿於輻輪,且有渦狀細發條固定其位置。當其內部之磁石旋轉時,即在鼓體中誘起渦流,而曳之以轉過一角,此角之大小即視速率而定。

### 問答題與計算題

1. 在直流電路中,何以不能採用變壓器?
2. 鳴鈴變壓器(圖 396)之一次圈中之電流,自  $A$  流向  $B$  者,在某一瞬間方在增加。問 (a) 二次圈中之電流究在增加,抑在減少? (b) 在彼一瞬間其方向為何?
3. 欲用變壓器將 1100 弗之電壓,降至 220 弗,則其一次圈與二次圈之捲數之比,必須為何數?
4. 有一變壓器,其一次圈有 1000 捲,二次圈有 50 捲,而一次圈中之電流為 20 安,問二次圈中之電流約為若干安?
5. 圖 398 中所示之實驗,所需銲接二釘之熱,何由而生?銅線  $S$ ,何以並不與釘頭同時溶化?
6. 一變壓器之一次圈有 10,000 捲,二次圈有 500 捲,一次電流為 10 安,而一次電壓為 2000 弗。假定變壓器中無能之損失,試求二次圈中之電流及電壓。
7. 一傳遞線之耗阻為 5 歐。當有 5000 瓦之功率,在 (a) 5000 弗之電壓下,由此線傳遞時,試計算線上功率之損失, (b) 如電壓為 50,000 弗時,則功率之損失為何?(提示:線虧 (line loss)  $= I^2R$  (瓦).)
8. 美國全國各發電所目下所發之電流,其大部分(約為百分之九十五)為交流。何故如此?

### 第二十三章 提要

誘導電流祇於穿過電路之磁力線正在變動時,始得存在。

誘導電流之方向,為反抗使此電流發生之運動者,此

即楞次定律是也。

自誘爲電路之一種性質，在使其磁場反抗電流之有任何變化。

電話受話器中有永久磁石之二極，此磁石時強時弱，但其二極之性不倒。

微音器內藏炭粒，因膜之振動而所受壓力時起變動，故其耗阻亦變動不定。

在變壓器中，

$$\frac{\text{一次圈上之電壓}}{\text{二次圈上之電壓}} = \frac{\text{一次圈之捲數}}{\text{二次圈之捲數}}$$

長途傳遞電能時，用高電壓與低電流量，則線虧可以減少。

變壓器及發電機與電動機之鐵心，係層疊薄鋼片而成，以免因渦流而生之損失。

### 問 答 題

1. 大誘導圈之二次圈之兩端，觸之殊爲危險，何故？
1. 電路之自誘，在電流穩定之時，始終不顯，何故？
3. 誘導圈上須用斷續器，變壓器上則不用，何故？
4. 誘導圈如何可以用之爲昇壓器？
5. 變壓器中所用之油，其“通感強度(dielectric strength)”須細加測驗，何故？
6. 變壓器之鐵套，往往有竊欄，何故？
7. 在高電壓傳遞線上可用之電壓，因何而有限制？
8. 用於長途傳遞之海底電線，有時不用銅而用鉛製，何故？
9. 高電壓傳遞線上所用之絕緣體，爲懸吊式(suspension type)，其優點何在？
10. 用高電壓電線，傳遞功率至長距離外，常將電線架於鋼塔上，塔高於地者75呎或在75呎以上。電力公司更須購入100呎寬之路，以建塔架線。所以須此警備區域者，何故？

11. “Machines telephone switching” (機器通話) 一語何解? 若有機會, 試至用此系統之電話局一參觀之。

### 實用題

1. 裝配汽車點火器。 覓得汽車點火器之主要部分, 例如電花栓, 發火節時器, 以及電花圈, 按圖 388 所示連接之, 然後裝置電花栓, 使其在節時器旋轉之時, 發出連續之火花。

2. 關於電話總局之報告。 參觀電話總局, 請求詳細說明該局所採用之系統, 關於該局所用使兩用戶得以通話之法, 作一簡單報告。

3. 比較鳴鈴變壓器與乾電池之費用。 先求變壓器之代價, 以及使用時之所費, 包括“利息與折舊 (interest and depreciation)” 在內。 再求用乾電池以鳴門鈴之所費, 何者較廉?

4. 製一小變壓器。 良好之說明, 可於亞當 (John D. Adams) 所著“關於 110 弗交流之實驗 (*Experiments with 110-volts alternating current*)” 一書中得之。 此書為紐約第四街 250 號民衆科學印刷公司 (Popular Science Publishing Company, 250 Fourth Avenue, New York City) 所出版。

## 第二十四章

## 交 流

何故用交流——總阻——交流功率——容量——交流機——  
 多相電路——交流電動機——旋轉磁場——鼠籠旋轉子——  
 整流器。

379. 何故用交流。就發熱與發光之目的而論，交流與直流同可使人滿意。然電鍍及精鍊金屬，則交流即不可用，因欲使金屬沉積，必需專向一方流動之電流也。若電動機須以交流運轉之，則通常所用者皆屬特種之電動機，其構造與平常之直流電動機大不相同。用交流之實在利益，為傳遞之經濟，已由利用變壓器而達此目的矣。

## 交流電路之若干性質

380. 總阻。若測量鳴鈴變壓器一次圈之耗阻，則或可求得其值為 13 歐；當吾人以此變壓器置於 110 弗之交流電線上時，或將預期有  $\frac{110}{13}$  即 8.5 安之電流通過，但以交流安計 (a-c. ammeter) 測之，將見實際上祇有 0.05 安之電流，流經一次圈。然則除耗阻以外，顯見尚有他種阻力，方在阻止交流之流過。此種阻

止交流之阻力，稱為總阻(impedance)。在此例中，總阻為  $\frac{110}{0.05} = 2200$  歐。由此可見在 110 弗直流電線上或將迅速燒毀之線圈，在 110 弗交流電線上，幾未用電流。

設有一燈，與線圈串聯，圈有可除去之鐵心，如圖 404 所示。

除去鐵心，而命直流通過線圈與燈，即見燈之發光頗明。若以鐵心插入線圈之內，則見燈之照亮如故，絲毫未退。今若除去鐵心，而將線圈與燈連於交流電源，其電壓同於前所用之直流者，則燈之發光即暗；而鐵心若再插入線圈之內，則燈光之變暗愈顯。

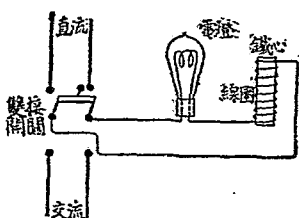


圖 404 與自誘量串聯於直流及交流電路之燈。

交流之此種停塞現象，係由線圈之自誘量(inductance)而來，蓋在電流變化之際，即有反電動力，或稱反電壓(back voltage)藉之以生也。

381. 交流電路中之功率。在直流電路中，以瓦數表示之功率，等於弗數與安數之乘積，此事早已知之矣。在無自誘作用之交流電路中，例如平常熾熱燈之電路，此一規則亦可適用。但在自誘電路(inductive circuit)中，例如鳴鈴變壓器之一次圈，即見由瓦計測得之功率，小於弗與瓦相乘之積，此真功率對於貌似

功率 (弗與安之乘積) 之比, 稱為功率因數 (power factor).

**交流功率(瓦) = 弗 × 安 × 功率因數.**

例如, 以瓦計測前節所述變壓器, 應預期所示者為  $110 \times 0.05$  即 5.5 瓦; 但瓦計實在所示者祇為 4 瓦. 是以此變壓器一次圈之功率因數為

$$\frac{\text{真功率}}{\text{貌似功率}} = \frac{4 \text{ 瓦}}{5.5 \text{ 弗安}} = 73\%.$$

若一電路中祇含耗阻, 則其功率因數為百分之 100; 但在自誘電路中, 功率因數即較百分之 100 為小. 電路中之自誘量愈大, 功率因數即愈小. 在實際上, 商用電路之有電燈及電動機者, 其功率因數之平均值約為百分之 85.

382. 交流電路中之蓄電器. 在電話機中, 係用交流以鳴鈴, 且有一蓄電器串聯於鈴 (圖 405), 以放交流之通過, 而阻止談話所用直流之流入.

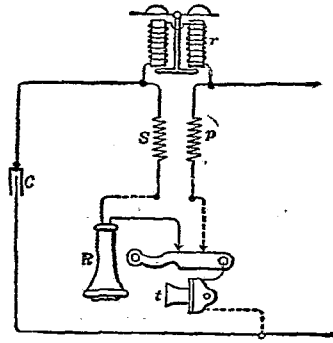


圖 405 用普通電池之桌上電話機, 其線路之連接圖. C 為蓄電器.

若以熾熱燈與蓄電器 (圖 406) 串聯於直流電路, 則燈不發光, 因電路在蓄電器之諸板間, 開而不合也. 但將此同一之電路, 連於交流電線上時, 縱使電路在蓄電器之諸板間, 開而未合, 燈亦發光

蓄電器在交流電路中，電雖未嘗流經其間，然確在器中屢出屢入，此即蓄電器之作用。電燈之發光，亦

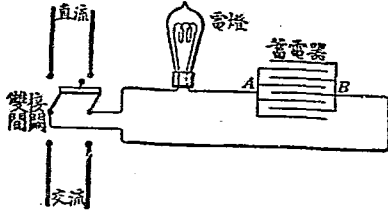


圖 406 與蓄電器串聯於直流及交流電路之電燈。

電之此種前後之激盪，有以致之。若減小蓄電器之體積，則燈光不復可察，因蓄電器之電容量 (capacity) 不足以使其發光也。

蓄電器喻以導管中有膜之箱，如圖 407 所示，則其在交流電路中之作用，即可想像得之。此箱用橡皮膜 D 隔為二室，如 C 與 C'，而二室皆由導管連於唧筒 P。此往復唧筒之排水也，當活塞移上時，先使流於一方向，然後於活塞下移時，使水循他方向流動。若斯則因水之前後激盪，而膜乃受機械的應力 (mechanical stress)。

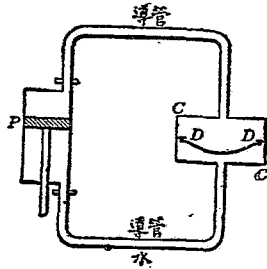


圖 407 交流電路上蓄電器之機械的比喻。

唧筒可擬之為交流發電機，箱之二室相當於蓄電器之二組導板，而膜則可比蓄電器之滲感體 (dielectric)。

當交流在電路中循一方向而行時，蓄電器之一組導板，即帶陽電，而他組則帶陰電，當電流反向之時，



蓄電器導板上之電荷亦易在平常電燈電路中，每秒中如是改變者 120 次，故電在蓄電器中出入流動頗速，在無線電報中，蓄電器占極重要之地位。

### 計 算 題

1. 有一變壓器，其一次圈之耗阻為 260 歐。問其在 115 弗之直流電線上所取之電流為何？

2. 前題之變壓器，在 115 弗之交流線上吸收 0.0575 安之電流，問其總阻為何？

3. 前題之變壓器，連於瓦計之時，知其所納功率為 4.5 瓦。問激勵變壓器之電流之功率因數為何？

4. 有一變壓器，其功率因數為百分之 80，自 110 弗之交流電線，收納 7.5 瓦之功率。問其所納電流為何？

5. 一線圈之功率因數為百分之 75 而其總阻為 45 歐，問此圈在 230 弗之交流線上，所消費之功率為何？

### 交流發電機與電動機

383. 交流機。在第 344 節中，已見線圈在磁場中旋轉之時，其上之電流每間半週，方向變換一次。即在雙極機中，每週交換二次是也。在直流機中，此交流即用整流子改正其方向，在稱為交流機之交流發電機中，發電子中誘起之電流，經滑環而出（圖 360），滑環或稱採電環（collecting ring）。

交流機之場磁石，通常皆為電磁石，而用來自稱為勵磁機（exciter）之直流以勵之。

因在任何發電機中,最重要者不過發電子線圈及場磁石之相對運動,故製造大交流機,常用定發電子 (stationary armature) 及旋轉磁場(revolving field),如

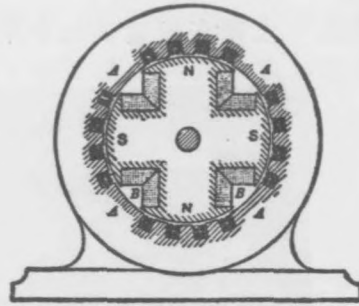


圖 408 旋轉磁場與定發電子之圖式。

圖 408 所示之突出之四極 N, S, N, S, 旋轉時即掠發電子之導線而過, 諸線皆嵌於固定圓架 A 之內壁四周之凹槽中, 激勵場線圈之直流, 經擦於二絕緣金屬環之二刷而入, 交流直接由固定發電子上所繞之線,

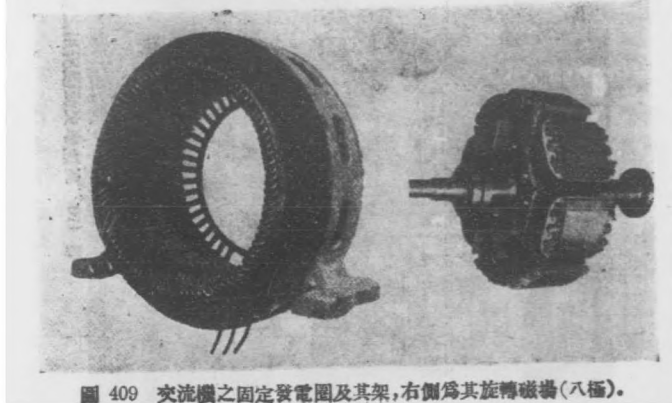


圖 409 交流機之固定發電圈及其架, 右側爲其旋轉磁場(八極)。

經電纜 (cable) 而入交換機。固定發電子較優於旋轉發電子之處；在於電流既在不動之導體內發生，則其

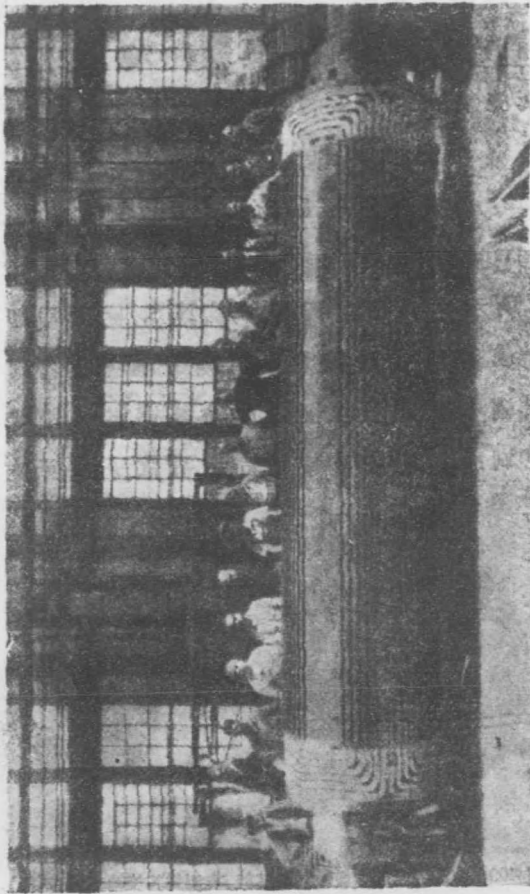


圖 410 高速度交流機所用之旋轉四極鐵芯，預備直接連於蒸汽機輪者。

發送於外路也,即無需任何滑移之接觸物.高電壓所需之絕緣體,亦易於構造.圖 409 所示者,即係商用交流機之旋轉磁場及固定發電子.其用蒸汽臥輪運轉者,有數種祇有二極或四極,其旋轉速率高至每分鐘 3600 次.

384. 交流之循環與相. 使導體移動而過磁石之  $N$  極時,誘導電動力係向一方;當其移動而過  $S$  極時,誘導電動力即取反對之方向.此可用圖 411 中之曲線表

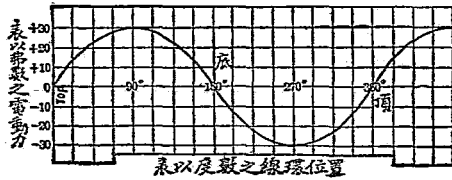


圖 411 交流電動力之曲線。

示之,最佳.導線在雙極機中運動,完全經過一週之時,或在多極機中,自北極經過南極而至其次之北極時,曲線上即生一波,是謂一循環。

在實際上,通常用以點燈之交流,其週率 (frequency) 為每秒 60 循環;而用以傳遞功率者,則通常為每秒 25 循環。

一完全之波,即一循環,謂之 360 電機度 (electrical degree), 相當於雙極發電機中完全一週.一循環中任何點或任何地位,稱之為某相 (phase). 例如在轉畢半循環時,即謂其相為 180 度,而當轉畢四分之一循環時,相為 90 度.二交流之流於支電路中者,可有不同之相,如圖 412 中所示

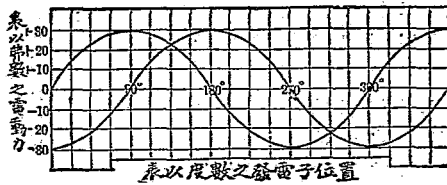


圖 412 二交流之曲線,其相之差為 90°。

者即是,其中一曲線代表一支之電流,而他曲線代表他支之電流.在此所舉之例中,即謂一電流較他電流滯(lag)後90度.

由實驗,知在有自誘量之電路中,交流常較使其發生之交流電壓,遲緩一定之時刻.故交流較其電壓為滯後.

385. 單相與多相電路. 若將發電機之定發電子之

所有線圈串聯,而旋轉其磁場,如圖413所示,則可發生一單相(single phase)交流,其週率可由旋轉子每極秒之轉數乘以極之耦數而決定之.欲利用此電流於任何目的,例如電

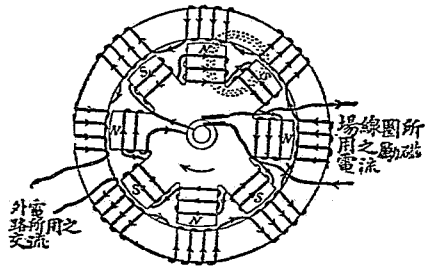


圖 413 單相交流機之旋轉磁場(八極)及其定發電子.

燈,祇須截此發電子於任何適宜之點,而將其兩端直接連於總線可矣.有一事須加注意者,即在單相機中,發電子上線圈之數,同於場磁石上之極數是也.

對於磁場之每一極,裝配多於一之線圈,則大可節省地位,故有二相(two-phase)與三相(three-phase)機之製,其中發電子上即有二組或三組之線圈.在三相機中,其三組之發電線圈,各可分別用以供給電流於三不同電路,如圖414所示者然.三相交流機乃今日最通用之一式也.

三電路中之電流,其相之差為120度(圖415).

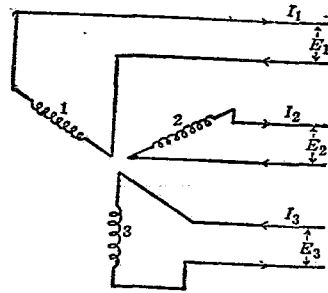


圖 414 三相交流機及其六總線之圖式.

由此圖可見在任何一瞬間，三電流之總和為零。

電機工程師已發明兩種方法，將任何種類之器械，連於三相電路，俾可祇用三總線，以代六總線(line wire)，如是則導線可以節省。此二法為星形連法(star-connection, 又稱 Y-connection), 如圖 412 (I) 所示, 及三角連法(delta-connection) 如圖 416 (II) 所示。大多數之交流機, 其線圈皆用星形連法; 而交流電動機有時用星形連法, 有時用三角連法。

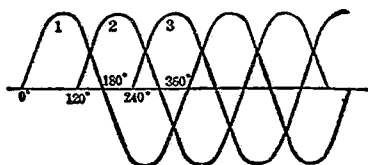


圖 415 三相系統中交流之曲線。

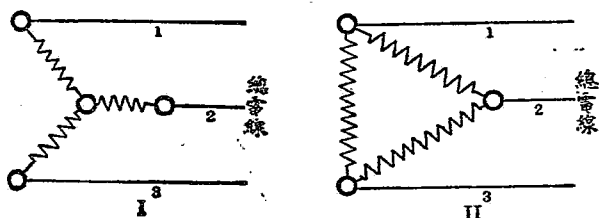


圖 416 三相系統之(I)星形連法, (II)三角連法。

**386. 交流機之用途.** 旋轉發電子式之交流機, 大概祇用於小電燈廠。旋轉磁場式之大交流機, 通常皆裝於(直接連於)轉動引擎或水車之同軸上。容量甚大之交流機, 連於蒸汽臥輪者, 其用今已甚廣。此種交流機之體積, 比較可以狹小, 因其速率頗高也。且其旋轉磁場亦祇有少數之極(有時僅有二極), 而發電

子之鐵心及場極之間，空氣間隙頗寬。圖 417 所示者，爲一五萬瓩之交流機，裝於蒸汽臥輪之軸上，用高電

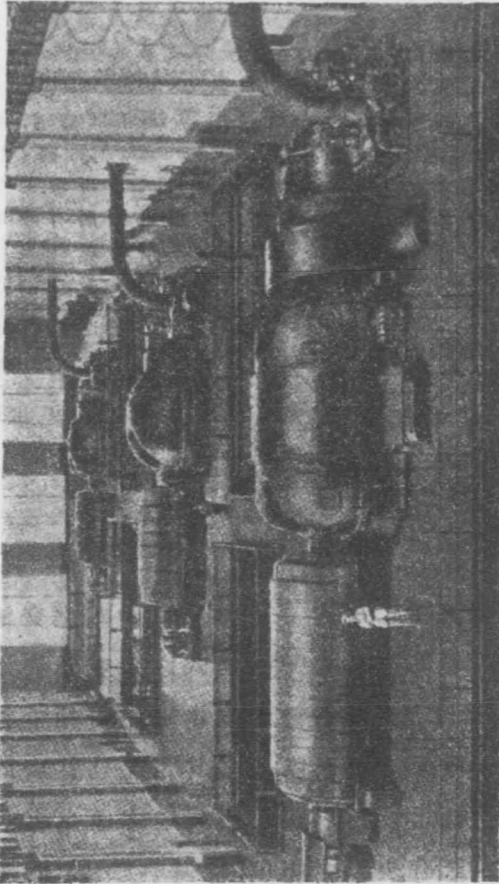


圖 417 美國意大利諾省號基干地方之三蒸汽臥輪發電機，其電容量爲 50,000 瓩，35,000 瓩，及 25,000 瓩。蒸汽臥輪左右，直接連於左側之交流機。

壓傳遞電能,普通皆用三線三相系統。

387. 交流電動機. 交流發電機可用為電動機而運轉之,祇須先使其旋轉,至其速率恰與供給電流於該機之交流機相同時,乃使其與所給電流之往復相應,即可.此種機械稱為諧和電動機 (synchronous motor). 因其不能自行發動,故不便於通常之用.在配電所中,則用以運轉直流發電機。

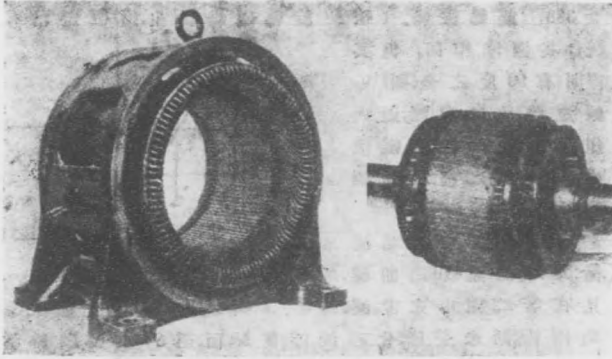


圖 418 誘導電動機:固定子在左而旋轉子在右。

尋常之順捲電動機,將其構造按一定方法加以改造,即可使其既能運轉於直流電路,又能運轉於交流電路.此種電動機稱為整流子電動機 (commutator motor),或稱單相順捲電動機 (single-phase series motor),近方流行,以供用交流之電車之用.又有製成極小之



形式，裝於電扇及真空掃除器上者，其名牌之上，皆註明“交流或直流”字樣。

交流電動機之最常用者，為誘導電動機 (induction motor)。此種電動機之特色，為固定之線圈，即固定子，(stator) (圖 419) 可生一旋轉磁場 (rotating field)，而電動機之旋轉部分，即旋轉子，則製成所謂鼠籠 (squirrel cage) 之式，此二者今將依次討論之。

388. 旋轉磁場。欲使旋轉磁場發生，須假定已有二交流，其週率相同，但其“相”則有 90 度之差 (圖 419)，並假定將此二交流，通入二組線圈，圍繞於圓鐵環內向內突出之極上，如圖 420 所示。

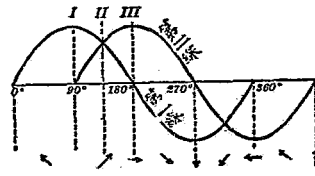


圖 419 曲線示二交流，其相之差為 90°，矢線示磁場之方向。

當第一線中之電流為極大時，由圖 419 之曲線，可見在第二線中之電流為零。A 與 A<sub>1</sub> 兩極，均受磁化，而 B 與 B<sub>1</sub> 兩極，則未受磁化。磁流即從 N 而至 S，如矢線所示。在

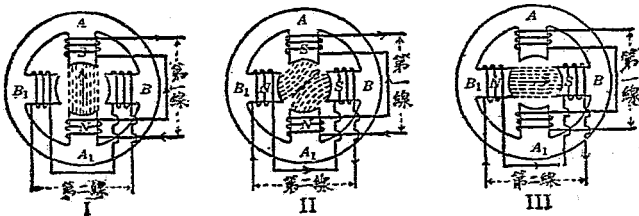


圖 420 相隔 90° 之二交流所生之旋轉磁場。

八分之一循環(45度)以後,第一線上之電流,降至第二線上電流所昇至之同值,四極今皆依同等程度而受磁化,而磁流之方向遂如II圖之矢所示。再經八分之一循環(45度)後,第一線上之電流已降至零,而第二線上之電流則昇至極大。此即謂 $A$ 及 $A_1$ 二極,不受磁化,而 $B$ 及 $B_1$ 二極皆受磁化至極大之度,從而磁流自 $N$ 至 $S$ ,如III圖中之矢所示。若此作用,在交流變化以舉一循環之際,刻刻繼續不斷,即見表示磁場之矢,亦轉畢一週,旋轉磁場由此而生,且可使磁石隨此磁場而同轉。於是可得一小小之二相交流電動機焉。

圖421所示者,為一活動模型,可以指示二相交流系統(在右側)及三相交流系統(在左側)所生之旋轉磁場。圖418所示者,乃實用電動機固定子架之構造。

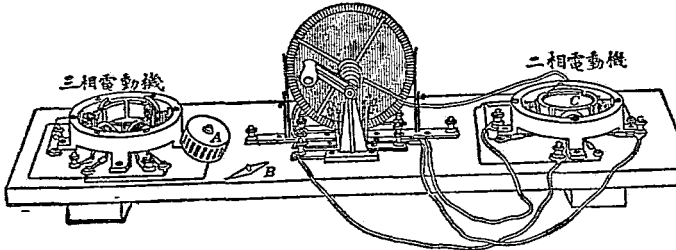


圖 421 指示二相(右)及三相(左)交流所生旋轉磁場之活動模型。

389. 誘導電動機之旋轉子。旋轉磁石,當然可代以電磁石,勵之以來自機外電源之直流。然商用交流電動機之旋轉子,甚為簡單,其構造為一鐵心,甚相似於鼓形電動子之鐵心,四週之凹槽中,嵌以粗銅條,銅條兩端,皆連於粗大沉重之二銅環。此稱鼠籠旋轉子(squirrel-cage rotor)(圖418)。

以旋轉子置於旋轉磁場時,兩側之導體及橫於兩端之環,其作用同於密閉之導線環,即使旋轉子絕不與外面任何電路通連,其中亦有大電流誘起,此大誘導電流,使鐵

心成爲磁石，而作用於此磁石之磁場，即曳之以旋轉。

旋轉子之旋轉，永不能與磁場同速，果如此者，將不能橫截磁力線，即無電流誘起，因而無可用之功率，使旋轉子反抗其負荷以運轉。

鼠籠旋轉子形式既簡，構造又堅，祇須常保其冷而不熱即可。冷卻之法，係用扇葉鼓風，使空氣通流於鐵心四週。全機裝竣之後，堅固小巧，且極簡便，雖愚人亦可明其用法。因此之故，誘導電動機在工場及工廠之中，甚至在電車頭上，推行甚廣也。欲使誘導電動機有良好之發動特性 (starting characteristic) 例如低電流與高轉矩，則採用捲式旋轉子並加入外阻即可。

### 問 答 題

1. 工程師如何可在發電處節制交流之週率?
2. 用四極機欲得 60 循環之電流，則每分鐘必須旋轉幾週?
3. 用 25 循環之交流以點燈，有何反對之理由?
4. 畫圖以示二交流有 45 度之“相”差。
5. 二相交流機所生之二交流，其相之差爲若干?

390. 改交流爲直流 在某種用途方面，例如使蓄電池充電，絕對必需單向電流 (unidirectional current)，用電動發電機 (即連於交流電動機之直流發動機) 改交流爲直流之法，在需要巨大功率之處用之。但用於使汽車蓄電池充電，則真空管整流器 (vacuum-tube rectifier, 又名鎢絲整流器, tungar rectifier) 遠較上述者爲便利。惟此種整流器 (圖 422) 雖可供給單向電流，

確不能供給絕對穩定之電流。

此器之構造，爲一真空泡，內有鎢質燈絲  $F$ ，爲交流熱至熾熱，又有一炭極  $A$ ，穿泡頂而入，泡之本身，充以低壓之惰性氣體，鎢絲連於一變壓器之二次圈，熱至熾熱時，即可放射電子（陰電），而此變壓器亦爲整流器之一部分，此燈絲對於其近傍之陽極而言，若爲陰極，則泡內稀薄之氣體，即經電離（ionized）而成爲導體，燈絲又連於交流電絲之一端，而炭極  $A$  則連於他端，在炭極爲陽極而燈絲爲陰極之半循環中，電流通過燈泡，因電子有電離之作用也，在其他半循環中，當炭極爲陰極時，氣體不復爲導體，因電子不能自燈絲逸出之故，如是則電流每間半循環，即自炭極流至燈絲而經過此滑辦，於是在此燈泡之電路中，可得一脈動電流，可供使蓄電池充電之用。

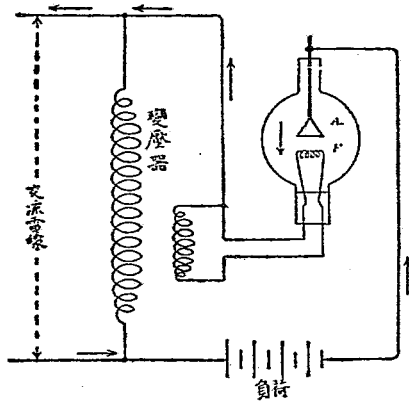


圖 422 真空管整流器之原理。

問 答 題

1. 在交流電路中，不能用普通之直流安計，何故？
2. 使大交流機之發電子固定，而旋轉其磁場，有何利益可得？
3. 何種交流機係與往復蒸汽引擎同時並用？何故？
4. 二交流機用以供給電流於同電路時，有何困難？

5. 誘導電動機較之需刷毛之電動機,有何優越之處?
6. 試舉交流可以變成直流之三法。
7. 在洛斯安琪兒(Los Angel)之某屋,其電燈所用之電,係由住於山中之水電廠而來,(a)說明燈所用之能,係自太陽而來,(b)追溯能之變形,自電燈以至太陽。

## 第二十四章 提要

$$\text{總阻} = \frac{\text{交流電壓}}{\text{交流電流}}.$$

交流功率 = 弗 × 安 × 功率因數。

功率因數通常恆小於一。

無電流經蓄電器,但確有電在其中流出流入,故交流電路中多用蓄電器。

在交流發電機中,通常運動者為磁場(旋轉磁場)。

場線圈係用來自外電源之直流以勵之。

滑環用以引導勵磁電流入於場線圈。

在交流機中:

週率 = 每秒旋轉數 × 極之耦數。

諧和電動機之構造與交流機同。

交流順捲電動機之構造,與直流順捲電動機甚相似,且同此一機,往往可兼用於交流及直流電線。

誘導電動機有一固定子,可發生一旋轉磁場,有一旋轉子,其中有電流因固定子中電流之磁力作用而誘起。

## 實用題

製電解整流器(electrolytic rectifier)。有一種簡單之整流器,係用四玻璃製成,各瓶中含有磷酸銨(ammonium phosphate)之溶液,鉛條一,及鋁條一。參閱亞當(Adams)著110弗交流之實驗(*Experiments with 110-Volt Alternating current*, Modern Publishing Company)。

## 第二十五章

## 音 波

音從何來——傳音者何——音之速度——水波——速度，波長，以及週率——縱波——音波——音強及距離——定向之音——求音之方向——反射音——室內之音。

391. 音從何來！當鐘鳴之時，吾人見鐘爲錘或鐘舌所擊而聞其所發之音。若於鐘適受擊以後，以鉛筆觸鐘之緣，即可察知製鐘之金屬，方在來往疾動。當六弦琴之弦索，以指挑之之時，即發出一可聞之聲，而同時可見挑動之弦，似較其在靜止之時爲粗。吾人斷定此弦正在前後振動 (vibrating)。以錘擊音叉 (tuning fork) 而置之於耳傍，亦聞一聲，若以此音叉觸唇，即覺其方在振動。

欲使音叉之振動，可以察見，祇須以絲線懸木髓球或輕玻璃泡，觸於叉上如圖 423 所示。玻璃泡一着於叉，立即跳盪甚劇。如用小弧燈將玻璃泡跳盪之影，射於幕上，則此實驗更有意味。

顯示音叉之振動之另一法，係在音叉之一臂上，附以尖形之硬紙，今試使此音叉振動，而於叉

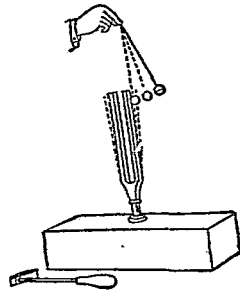


圖 423 音叉振動之狀況。

下置一用煙薰過之玻璃片，曳之以行(圖424)，則紙尖即在玻璃片上劃一波形之跡，以白紙視於玻璃片後，此跡即明晰可見，若用幻燈(lantern)投射之於幕上，更佳。



圖 424 振動之音叉，在煙薰之玻璃片上所劃之跡。

不問何時，聞音(sound)而探其源(source)，必見有某物體已起運動，或為某物之墜落，或係鐘之受擊，或以口吹笛，或有人大呼；又有某物體常在振動，而音之感覺，即由此而生。

392. 傳音者何？環於四圍，隨處皆有之空氣，即為平常傳音於人耳之物。欲明乎此，可試行下之實驗。

試取一鬧鐘，置於優良之真空唧筒接受器下之盤整上，如圖425所示。唧筒盤上，宜置厚約6耗之橡皮一塊，因橡皮不能傳音也。此時無須用蠟以密封其口。今若使鬧鐘之鈴，間歇發聲，然後抽出空氣，即覺鈴聲漸低。但當再將空氣放入時，鈴聲又與前同高矣。苟吾人果能得一完全之真空，且果無些微之音，由唧筒之架傳出者，則鈴聲之聲不可聞，似屬可能。

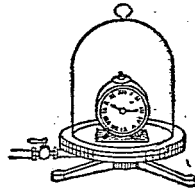


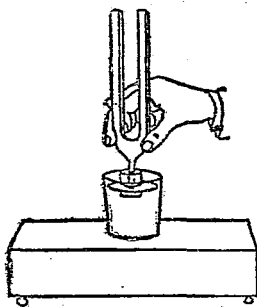
圖 425 真空不能傳音。

就電燈泡而論，即知熱與光皆能於真空中傳播。但由此實驗，則見音確不能於真空中傳播。

除空氣以外，其他氣體亦能傳音，而固體及液體

之傳音，猶較氣體為佳，此皆可以證明者。例如一人浸其耳於水面之下，而他人相離不遠之處取二石相擊，則擊石之聲，在水中聞之，甚為清晰。又如以耳貼於鋼軌之上，可聞遠處火車行動之聲，此亦習知之事。巨聲如大砲開放或火山爆發，則貼耳於地，在數百哩外亦能聞之。

欲顯示液體之傳音，可持音叉之柄，插入一大木塞之孔中。若使音叉振動，則其聲聞之頗難；但若手執此叉，而使木塞止於玻璃杯中之水面，杯置於共鳴箱(resonating box)上(圖 426)，則其音聞之頗明。所聞之音，似由箱而來。由此實驗，可知音叉之振動，經木塞及水而傳於室內之空氣。



欲顯示固體之傳音，可執長木棒一根，抵其一端於門，而以方在振動之音叉，觸於他端之上；音叉之音，似由門而來。此處之木棒，即用作傳音之媒介，而將音叉之振動，傳之於門。

故可作結論曰，固體、液體，以及氣體，皆可用以傳音。

393. 音行之遲速如何？在尋常之室內，音自其源入於人耳，恆不覺其須經任何可察之時間；然在廣廳之中，或在戶外，則常聞有回聲(echo)，由此可知音之行至反射表面(reflecting surface)而回也，確須經過



若干時間。在雷雨之際，常先見電閃之光，而後得聞雷聲隆隆。放電以發閃光之處愈遠，則見電光與聞雷聲，其間所隔之時間愈長。遠處之汽笛，必先見其中有蒸汽先出，而後始聞其長嘯之聲，此事人盡知之無疑也。故音行確較光行緩甚。

測定音行遲速如何之一法，係以大砲置於遠處之山上開放之，而測定見砲之火光與聞砲之爆聲其間經過之時間。在一七三八年時，有法國科學家某某數人，曾以兩砲架於相離約17哩之二山，先自此山觀察由他山而來之光及音，然後再自他山觀察此山所去者，以便消去因風而生之誤差。彼等所得之結果，就當時所用儀器之不適當而論，殊可謂為與真值相去無幾。嗣後決定音在空氣中之速度之實驗，又有若干次，從而知音在空氣中之速度，當溫度為 $0^{\circ}\text{C}$ 。而氣壓為76釐時，為每秒1087呎（即337呎）。音在水中之速度，約為空氣中速度之4.5倍；而在鋼鐵中之速度，較之在空氣中達16倍以上。音在空氣中之速度，又求得其每當溫度升高攝氏一度時，每秒約增加2呎（即0.6呎）。在實用方面，僅須記得音行於空氣中，在 $0^{\circ}\text{C}$ 。（即 $32^{\circ}\text{F}$ ）時，每秒約1090呎，或在 $20^{\circ}\text{C}$ 。（ $68^{\circ}\text{F}$ ）時，每秒

1130 呎已足。

### 計 算 題

(假定光行於平常之距離,其所經之時間略去不計,)

1. 在某日之溫度為  $25^{\circ}C.$ ,問此日音在空氣中之速度,以每秒若干呎表之,應為若干?若溫度為  $77^{\circ}F.$ ,則為若干?
2. 一人距教堂半哩,聞教堂之鐘,每隔半分而鳴一次,問鐘舌擊鐘聲,相接二次之間隔為何?
3. 一汽笛之蒸汽,見後 2.6 秒,始聞笛聲,聞汽笛之距離如何?假定溫度為  $15^{\circ}C.$
4. 在炎熱之夏季,某日溫度為  $30^{\circ}C.$ ,雷雨發生,電閃見後 6 秒,始聞雷聲,聞電閃之處,其遠若何?
5. 一錶按離開 2 哩之處所來之午報校正,其時之溫度為  $72^{\circ}F.$ ,問時刻之誤差為何?
6. 由某一實驗,知音行水中,當  $14^{\circ}C.$  時,每秒 4814 呎,問音在此溫度行於水中,其速若干倍於空氣之中?
7. 一炮在快艇上開放,其自岸上懸崖而來之回聲,在 6 秒內聞之,彼時溫度為  $62^{\circ}F.$  問快艇之離懸崖,其遠如何?
8. 一鋼軌受擊,擊聲經鋼軌而來,在 0.2 秒中即聞之,其後再經 2.8 秒,又在空氣中聞之,假定彼時之溫度為  $20^{\circ}C.$  問擊軌之處有若干呎之距離?音在鋼軌中之速度為何?
9. 武爾沃斯大廈(Woolworth Building)高 750 呎,一人在其巔落下一石,其時溫度為  $68^{\circ}F.$  問此人落石以後幾何時,始聞石擊人行道之聲?(所經時間包括石落與音回所共需之時間。)
10. 兩氣球相隔 4000 呎,在湖上同高之處,若在一氣球上開砲,則在他氣球上經 6 秒而聞回聲,問兩氣球之高度為何?

394. 音之感覺。吾人之所謂“音”，雖知其僅為一種方被傳播之運動，然其經過氣體、液體，以及固體之傳播情況，已在加以考究矣。音之為音也，平常若不思及耳可聞之，實覺其難於想像。是以地球上極遠之處，人或獸均從未到過者，其地之瀑布究能發音與否之問題，固嘗聞之也。由此顯見所謂“音”者，厥有二事，一為振動 (vibration)，一即振動擊於鼓膜 (tympanum 或 ear-drum) (圖 427) 時所生之感覺。耳及腦中所發生者如何，則以留作生理學及心理學之研究為宜。在物理學中，祇考究空氣或其他傳音媒質 (medium) 中之

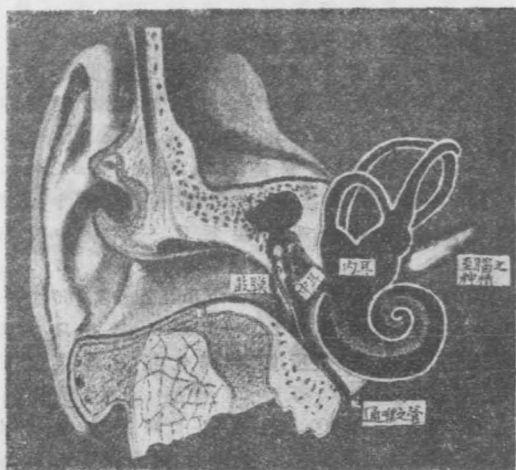


圖 427 人耳之縱剖面。

振動，而吾人之所謂“音”者，亦即指此而言。依此見解，則瀑布所發之音，有耳聞之與無耳聞之實相同。

395. 音係一種波動。耳之聞音也，顯無實質之物（即可權之物）自音源入耳；非然者，電鈴覆於玻璃鐘之下，其音將何由透玻璃而出耶？由此一事，更觀他事，確可斷定所傳播者，僅為一種振動，此種運動，稱之為波動（wave motion）。

396. 水波。因音波平常不可目見，故將以水波之研究始。當石落於平靜之池中時，即有騷動發生，蔓延於水面而成若干圓形，皆以石擊於水之處為其心。水為石所激而下降側沖，成一圓形之脊，此脊擴張為較大之圓，而第二圓脊又繼之以生，再行擴張，連綿不絕。其結果，水之全表面立即蒙有一串圓形之陵（crest），間以圓形之谷（trough），皆自騷動中心而遠去。

此等水波，可用以木為邊，以玻璃板為底之不漏水淺盆，投射之於天花板上。盆之裝置，在使可以自下射光於其上（圖428）。灌水入盆，深約四分之一吋，而逸過盆底之光，則使其射

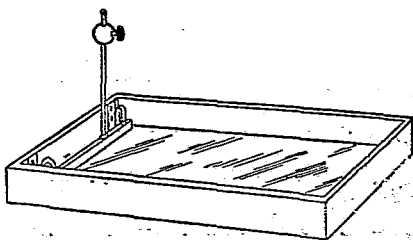


圖 428 自下照耀而投射水波於天花板之器械。

於天花板上，當水中有波發生之時，與波頭(wave front)相應之影，即可在天花板上見之。

停滯之水波，其表面可以圖 429 中所示曲之線代表之。靜止點  $A, B, C, D$  等等，稱之為節 (node)；介於兩節之

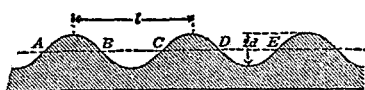


圖 429 水波之縱剖面。

間之空間，稱之為腹 (loop)。兩節間之水，倏起倏伏，當其起時，即聳為陵，當其伏時，即陷為谷。一陵與一谷，合而成一波，例如自  $A$  至  $C$ ，或自  $B$  至  $D$ ，即為一波。波長  $\lambda$ ，係自一波之任何點，至鄰波之對應點，沿水平方向而量得者。對應之點，稱為同相 (phase) 之點。波動之振幅 (amplitude)  $a$ ，則為自谷底至陵巔之豎垂距離之半。

397. 速度、波長、以及週率間之關係。就投石入平靜之池所起之波而論，則知圓形之波，愈放愈大時，任何特殊之一陵，似成輻射之狀而向外移動，直至達於池岸或消滅為止。波陵在一秒中所行之距離，稱為波之速度 (velocity, 略號  $v$ )。在一秒中經過某定點之波陵之數，稱為週率 (frequency, 略號  $n$ )。一波之波長、速度、以及週率間之關係，略加思索，即知其必為

$$\text{速度} = \text{週率} \times \text{波長},$$

或 
$$v = nl,$$

有一事當憶之勿忘，即行過水面者，僅為波之形，而非水之質點本身也。是以若取軟木塞一枚，或玩具船一只，使其浮於正有水波經過表面之池，則見軟木塞或船，當一波經過其下時，僅上下掀動而已，固未嘗隨波而去也。

398. 橫波與縱波。說明波動，有一簡易之法，即用橡皮管一根，長約 20 呎，以其一端縛於壁間之鈎上。若將未



圖 430 在橡皮管上之橫波。

縛之一端執於手中，則由疾抖此管，即可送一波沿管前進（圖 430）。若一單獨之波谷，沿管而至固定之一端，則反射而回，即成波陵；同樣，單獨之陵沿管而前，其返也必成爲波谷。

就水波及橡皮管或繩索上之波而論，則水或橡皮管之質點，皆起上下之振動，而此騷動之遠移，則循水平之方向。此種波稱爲橫波（transverse wave）。

此外尚有第二種之波動，發生於有彈性而可壓縮之物質，例如氣體及彈簧之中。取一彈簧線圈，代表傳播此種之波所經之物質，即可研究其性質。

圖 431 代表一彈簧，其各捲頗大，而其一端懸於天花板之鈎上。今若壓縮近於下端之數捲，則此數捲即微向上動，而壓縮適在其上方之數捲；而此致捲相繼將更在其上之數捲，壓緊於一處。若斯即有一脈動（pulse），或波，沿彈簧

而上。

其次將彈簧之下端急向下曳，使其近傍之數捲，暫時分離，斯時相鄰之數捲，亦必先後相繼分離，直至騷動達於頂而止。如是即見在彈簧之一端或引或推，此引與推之運動，立可傳至彈簧之他端。

此種之波，其傳播物質之質點前後移動，與波之進行方向相同者，稱為壓縮波 (compression wave)，或縱波 (longitudinal wave)。

### 399. 固體中之縱波。可以傳播

縱波者，不僅彈簧而已，即如氣體甚至固體如鋼，亦能。

設取鋼棒一，夾其中部，而以灑有松香末之布直擦之，即可生一清朗之鳴聲。欲示此棒之已生縱波，可以索懸小牙球，而將球貼於棒之一端。當棒方振動之際，球即跳盪甚烈，如圖 432 所示。

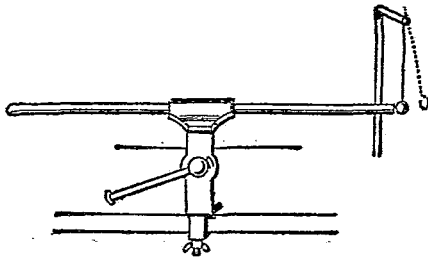


圖 432 球為棒中之縱波所激，而起振動。

在縱波中，各個質體雖僅在極短之距離內運動，然推曳之動作，可以傳及長距離以外，說明此一事實



圖 431 在直垂彈簧中之縱波。

之機械，如圖 433 所示者即是。

此器含有硬如玻璃之鋼球若干個，懸為一列，而相鄰兩球適相接觸。今若將第一球向外側拉開，然後放手，任其飛回，衝擊其餘諸球之隊伍，則首受其擊之球，確似未嘗運動，其次各球亦然，在實際上，此列之球，除在對側之末一球，躍起與第一球落下所經之距離相同外，其餘各球，皆似未受此一擊之影響，因鋼極富於彈性，故第一球所受之衝擊，即依次自此球授與彼球，直至達於末一球而止。此猶諸童排成一列，推第一童，則以循序傳至末一童，而末一童遂受推而躍出。

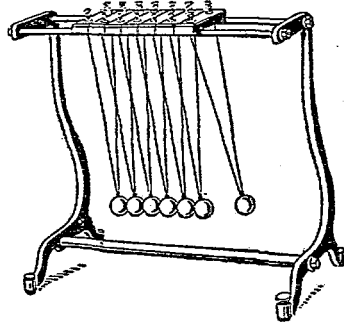


圖 433 說明音自此質體行至彼質體之器具。

400. 音波。吾人以爲音波中之空氣，係循波之進行方向而來往振動者；即音波乃縱波，即壓縮波，係由錯綜相間之密部 (condensation) 與疎部 (rarefaction) 所合成者是也。正因投石入池，發生水波，成爲時在擴張之同心圓，而向外四散，故思及鐘鳴之際，必送出無數球形之波 (spherical wave) 也。此等波係由疎密相間之球形空氣層所成，向各方進行，遍及全空間。

行於傳話筒 (speaking tube) 中之音波，欲以圖畫



傳其形，可幻想  
圖 431 中之螺旋  
彈簧之模型，  
易以空氣之柱，  
此柱之一端，有

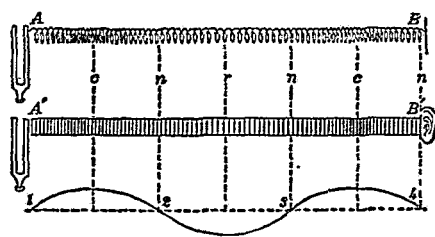


圖 434 說明音波可用曲線表之之圖。

一音叉，方使空氣柱起微小之脈動，而柱之他端則有一耳，接受此脈動(圖 434)。

相接之空氣之密部與疎部，在  $A'B'$  中以  $c$  及  $r$  表之，騷動自音叉移於耳中，但在任何點之空氣介於叉及耳之間者，祇微有往來之振動而已。圖 434 中之曲線，為此等音波之圖表，其中 1-2, 3-4, 等波陵，代表密部，而 2-3, 等波谷，則表疎部。波之振幅，對應於空氣之各質點，自其原位置來往移動之距離。一音波包括完全之一陵與一谷，即一密部與一疎部，在任何二鄰波之對應二點間之距離，稱為波長。

因音波之速度，波長，以及週率間之關係，與水波同，故音波之長，計算頗易。

例如，有一音叉，方在振動，每秒 256 次，而音在  $20^{\circ}C$ . 之速度為每秒 1127 呎，則波長即為 1127 呎除以 256，即約 4.4 呎。

音波之廣播於空曠之空氣中也,如欲想像其形,可幻想有無數之螺旋形彈簧,自音源處之公共中心輻射而出,方在同時感受一種衝動,即得之矣。

### 計 算 題

(除特別聲明外,溫度假定為  $0^{\circ}\text{C}$ .)

1. 四弦提琴 (violin, 亦譯梵啞林) 之弦每秒振動 545 次,問所生之音波,其波長為何?
2. 最低之鋼琴聲 (piano note), 其波長為 40.7 呎,問其週率為何?
3. 最高音 (soprano voice) 中之高  $C$ , 若其週率為每秒振動 1024 次,則其波長為何?
4. 自音叉出發之一音波,經過某定點所需時間,為 0.0025 秒: 問 (a) 此音叉每秒所生之波為若干? (b) 其波長為何?
5. 一四弦提琴之弦,於  $15^{\circ}\text{C}$ . 時送出長 1 呎之音波,求其振動週率.
6. 一汽笛所發之音波,各長 8 呎,而空氣之溫度為  $30^{\circ}\text{C}$ ,問其每秒中所發之波為數幾何?
7. 若某風琴管 (organ pipe) 在  $20^{\circ}\text{C}$ . 時之音調 (pitch) 為每秒振動 521 次,問此風琴管在  $10^{\circ}\text{C}$ . 時之音調 (即週率) 為何?
8. 一音叉每秒振動 1024 次,而其所發音波之長為 32 呎, (a) 求音之速度. (b) 求攝氏表上之溫度.

401. 音強. 電鈴鳴時,其聲處處可聞,此事須常憶毋忘;且由此可知音波係向各方散射如圖 435 所示,各波至音源之距離增加時,其中之能,所散布之表

面亦大,故音強(intensity 或 loudness of sound)即減小,

例如離開 10 呎之

鈴,其音之高,僅爲

此鈴離開 5 呎時

之四分之一;若離

開 15 呎,則其音之

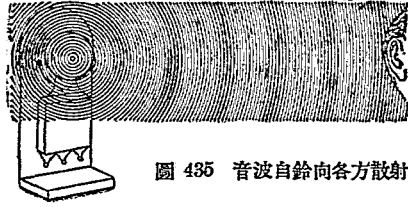


圖 435 音波自鈴向各方散射。

高,僅爲離開 5 呎時之九分之一,此因各波之能,在離源 15 呎之處,必須分與九倍於離源 5 呎之質點也,概言之,音強依其至音源之距離之平方而反變,此定律祇在空曠之空氣中始確。

乘飛機而上昇或登山至高處,空氣即不如地面之密,故其傳音之功用亦遜,因此在上空傳音頗難,概言之,音強又與傳音媒質之密度有關。

402. 傳話筒及擴音器. 用於連絡房屋或船舶中各室之傳話筒 (speaking tube), 目的在阻止音波之向各方散布,因而在遠處所聞之音,減少其原有之強度,在此種傳話筒中,應避免尖銳之彎曲,因彎曲過甚則生摩擦作用,且將吸收一部分之能也。

在擴音器(megaphone)中,來自口之音波,爲此器之諸壁所阻,不能向各方散布,語音之能,因此而大部分皆向一方散射。

403. 求音之方向. 傾耳靜聽之人,縱蔽其雙目,

亦常能辨出音之來自何方，惟音之逕自其前方，上方，或後方來者，有時極易誤此為彼耳，蓋就此三種情形而論，音自其源而來，達於其左右兩耳，係在同時，而自其他各方所來之音，因音源至兩耳之路徑，長短不同，故其達於兩耳也，亦略有遲早之別，是以音向之感覺，假定其係由音波激動遠近兩鼓膜，後先所隔之時間而來，似頗合理。

若以等長之兩管，各連於一耳，又若以針括兩管之較遠一端，括一管之時刻，較早於括他管者數百分之一秒，則雖雙目遮蔽之人，傾耳靜聽時，亦覺其似僅聞一括之聲，且完全決定其方向，係在頭之相當於早括之一側。

在世界大戰中，曾利用此等事實，以尋出潛水艇之所在地。長 10 呎或 12 呎之丁字形管橫臂之兩端，伸出橡皮球各一，置臂於船底，即可作為遠離之兩耳。從一球通一傳話筒於探聽者之右耳，而其他一球，亦用同法連於此人之左耳（圖 436）。當有音來自水中時，即將丁字臂按豎垂之軸而迴轉，直至水底之音，由探聽者聞之，似逕自其前方來而止。於是與丁字臂垂直之線，即指示潛艇在左右 1 度或 2 度內之方向。

在大海艙之船首近傍，用同樣之裝置，可使航海者決定船尾推進機激水之音，自洋底反射後，似由何方向而來。由簡單之計算，包括船身長在內，即可知水之深淺，於是當船將駛近淺水時，無庸以測錘測水矣（圖 437）。

在大戰之中，又曾用同樣方法索得大砲所在之地位，

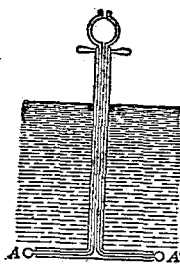


圖 436 探測水底音向所用之器具。

惟此法係用微小之電“耳”(electrical ear), 分布於戰線之後, 各耳相隔半哩, 砲聲達於此“耳”至達於彼“耳”之間隔, 由一靈敏之電流計, 記於一移動之軟片上, 此法稱為音距法 (sound ranging).

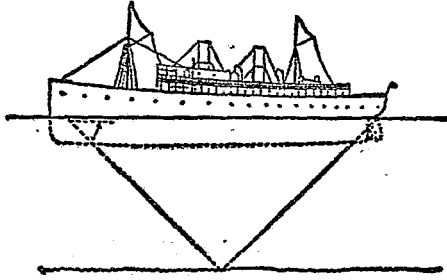


圖 437 由於決定船尾推進機所發音之方向, 以求水深之法。

**404. 音之反射.** 音波撞及另一物體如建築物, 懸崖, 或多林之山腹時, 即行折回, 或謂為反射(reflected), 正與任何彈性物體, 例如橡皮球之投於磚牆而躍回同, 又與水波之衝於石堤而反激同. 折回之音波, 稱為回聲 (echo). 若欲使回聲與原音有別, 則反射表面當在 20 或 25 碼以外, 距離愈遠, 反射波未達於耳以前之時間愈長, 因而回聲愈覺清楚. 如有平行之牆壁, 例如在峽谷之中, 或有遠近不動之物體, 則回聲頻繁, 即同一之音, 聞之次數是也, 例如雷聲之隆隆, 半由音之繼續反射於相接諸山而來.

下列之實驗, 可證音波與光波(light wave)相同, 亦能反

射於曲面。若使兩大拋物面鏡(parabolic mirror)相對而立,如圖 438 所示,則在一鏡主焦點(principal focus)處之汽笛所發之音,可反射越室,而由靈敏條(sensitive flame)在他鏡之焦點檢之,此係長而細之煤氣火燄,可用抽長至一點之尖口玻璃管爲燈頭以得之。音波可使此種火燄萎縮與“高張”,尤以音調高者爲然。

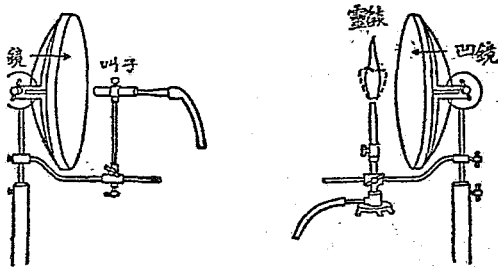


圖 438 自汽笛而出之音波,爲凹鏡兩度反射,而以靈敏條檢之。

在有拱形(arched)承塵之建築中,例如有圓形屋頂之美國華盛頓國會議事室,或倫敦聖保羅堂之耳語室(whispering gallery),可聞室中極遠處之耳語,因音由承塵反射而集中於傾聽者之耳也。

405. 室內之音. 廳與堂有極不適用爲演講之所者,因置身其中,幾不可聞講者之語音故耳。此種傳音缺點(acoustical defects),在已建之舊演講所中,宜改正之,在計劃之新演講所中,宜避免之,兩者皆爲重要之事也。

有時在室內一部分易於聽聞，在他部分則難，此種弊病，常因發言者之語音，自牆壁或承塵之特別部分，一度或數度反射而生，此種反射，可生一緊隨於原音後之回聲，以擾亂聽者之感覺，研究此種情形，常就所討論之演講廳，製一縱剖面之小模型，而將經過此型之音波，實地攝得其影，如圖 439 所示，於是將吸收音波之物質，例如厚幕或毛毯，遮於可厭之回聲所自來之表面，以矯正其弊。

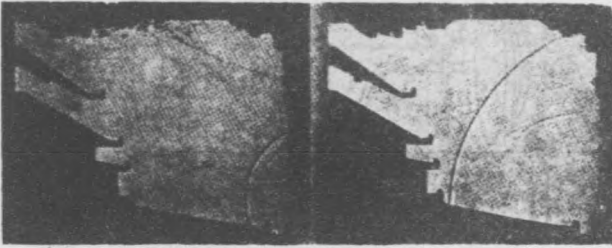


圖 439 戲院模型之縱剖面，表示音波向左移動，b 圖中之音波，較之 a 圖中後一秒之若干分之一。

主要之困難，乃由所謂餘韻 (reverberation) 而來，當一平正之樂聲或字音發於室中時，放出之音波，即自牆壁，地板以及承塵向前後反射，頗不整齊，終至全室一律充滿其音，此音係在逐漸消滅，因各波每經一度之反射，其音能 (sound energy) 即被吸收一部分之故，是以開放之窗，即有吸收一切達於其處之音之作用，因其聽諸音透出，而絕無反射作用也，當此之際，新能方自音源流入室中，而一般之音強，增加極速，乃至一切之吸收，適與自音源之流注相等之一點，今若音源驟然斷絕，則本已在室之音，即開始消滅；然其音仍能在可察之時間內聞之，有時可歷三秒或四秒之久，音源斷絕以後可聞之久暫，即用以測定室中餘韻之多寡，若餘韻太少，則室中即似沉寂而不能激動聽衆，反之，若餘韻太多，則發言者所發三字或四字之音，當第五字正在

出口之際，猶繞耳未絕，遂致混雜而聽不分明矣。大多數之大會堂或石壁教堂，皆有此弊，故於舉行儀式之時，常有吟詠之習慣，即按單調以發聲，俾使任何一瞬間方入耳際之各字音，適於聽聞。

數年以前，薩平 (Sabine) 氏曾在哈佛大學作一精細之實驗，證明小室之內，必須恰有幾途一秒之餘韻，始宜於奏鋼琴之樂。薩氏非但發見覆毛毯於牆壁或承壁之上，或用能吸音之家具，簾帷，及裝置，以改正過度餘韻之法，且又思得建築新式演講廳之計劃，俾可由於選擇適當之材料以作牆壁及承壁，而使其恰有合宜之餘韻。薩氏甚至創製一種特別之人造石，即瓦，其所吸之音，幾倍於尋常之石，用此以建石壁教堂，傳音方面即可獲美滿結果云。

## 第二十五章 提要

凡音皆來自方在運動之某物體。

音在物理學上言之，為一種振動的運動，可在空氣或他種氣體，液體，以及固體中傳播，但不能在真空中傳播。

音波係由一串交互之密部與疎部而成。

音在空氣中之速度，在  $0^{\circ}\text{C}$ . 時約為每秒 1090 呎，每昇  $\text{C}$ . 一度，約增 2 秒呎。

波長 = 自波陵至波陵之距離(或自密部至密部)。

週率 = 一秒間經過某定點之波數。

速度 = 週率  $\times$  波長。

音強在空曠之處依音源距離之平方而反變。

## 問答題與計算題

1. 說明(a)爆竹爆發時，(b)風吹電話線時，(c)鼓掌時發生之音波之起源。
2. 重按鋼琴之鍵，琴弦所發之音波，是否較之輕按琴鍵時為長？說明其理。
3. 用砲，按停表(stop-watch)，以及溫度計各一，即可



決定一湖之寬,其法如何?計算之法如何?

4. 電閃之後,即有雷聲,何故?

5. 雷聲何以“隆隆”不止。

6. 人以兩手張於耳後,即能助彼聽得輕弱之音,何故?

7. 兩人方各自立於離一汽笛 1200 呎與 2000 呎之處,試比較二人所聞之音強。

8. 音之調雖高低不同,其進行之速率則無二,試舉理由一端以堅其信。

(提示:試一思自遠處所聞軍樂隊之音樂。)

9. 古諺有云,“電光閃後,若待口唱一,二,三,始聞雷聲,則暴雨烈雨,必在遠處,決無危險。”據此而論,則雷發之處,當遠在若干路以外,始保安寧?

10. 如圖 440 所示之汽車喇叭,說明其發音之理。

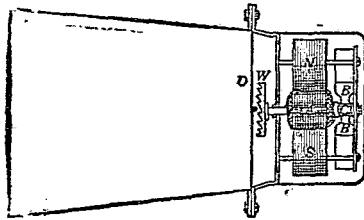


圖 440 用電動機發聲之汽車喇叭之普通形式。

### 實用題

測定音之速度。用一玩具之砲及按停錶重行第 393 節中所述之實驗,距離可自大尺度之地圖得之,溫度亦須記錄。

## 第二十六章

## 樂 音

樂音——音強,音調,及音色——共鳴器——倍音——音波之攝影——唸——音階——弦樂——管樂——膜樂——留聲機。

406. 樂音與噪音。音有人皆認其為噪音(noise)者,例如門之砰然閉闔聲,或貨車行於石子上之嶙嶙聲即是;但其他之音,例如自鋼琴之弦而來者,則衆皆立認其為樂音(musical sound, or tone),此二種音之區別,由於比較圖

441 所示二曲線而說明之,最為妥當,圖中之



圖 441 代表(甲)噪音及(乙)樂音之曲線。

甲為噪音之曲線,而乙係樂音之曲線。

由此二曲線,將見噪音所成之曲線雜亂無章,而樂音所成者,則整齊合度,後者聞之,適情悅耳,前者徒使人心厭神煩而已。

407. 樂音之三特徵。凡樂音必具音強(intensity 或 loudness),音調(pitch),以及音色(quality, 或 timbre),

或 colour) 三特徵;而此三特徵,各與音波之某種物理的性質有關,音強視振幅而定,音調視波之週率而定,而音色則視振動之狀態而定。

408. 音強. 吾人早已見及,音強大概因耳至音源之距離增加而消滅,又因空氣密度之減小而減少,而樂音之強度,對於一定之耳,在距音源一定長短之處,則視波之振幅而定,是以鋼琴之弦或音叉,重擊時所發之音,較輕擊之時為洪大。

409. 音調. 通常所謂樂聲之高低,係指其音調而言,自鋼琴鍵盤之一端起,順次相繼而按其鍵,則所發弦聲之不同,皆能辨認其所不同者係在音調之有高低,執一厚紙片觸於疾轉之輪齒,即可顯示所發之聲之音調,係視每秒之振動數而定;即視振動週率而定也。

此可用測音器(siren)表示之,甚為明顯,此器為一金屬圓盤(圖 442),其緣四週有孔,孔與孔之距離相等,可用某種急旋之器械轉動之,若使空氣流由

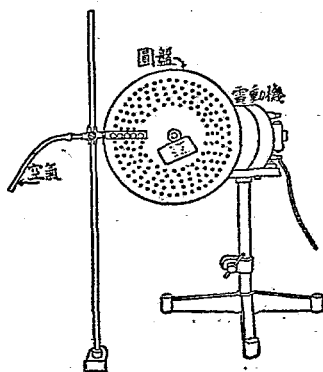


圖 442 音調依旋轉速度而變。

一管吹向外列之孔，則陣陣相繼，齊整有度之風，即發生一種樂音。輪之速度增加時，音即升高；即其音調升高是也。

以空氣流之噴口，移向半數之孔之一列時，即覺發音較低，若以噴口移向諸孔距離無定之一列，則所生者即為噪音。

測定樂音振動週率之一法，即係用此種旋轉圓盤。假定此盤有孔 48 個，連於每分旋轉 1800 次之電動機上。因圓盤每秒旋轉 30 週，故每秒間之吹風即有  $30 \times 48$  即 1440 陣，所發之音，其週率將為每秒振動 1440 次，此音實頗尖銳，標準甲種音叉，每秒振動之數，僅為 435 次耳。

**410. 可聞之限度。** 最低之音人耳可辨其為樂音者，其週率約為每秒振動 29 次。若音之週率，超出某數以上，則人耳即絕不能聞。此可聞之上限 (upper limit of audibility)，因人而異，自每秒 18000 次以至每秒 22,000 次。年齡愈增，則聽覺愈損，老人不能聞高調之音，即其一證。

**411. 音色。** 樂音之第三特徵為音色。不同之樂器所發之音，或不同之語聲與歌聲，雖同調同強，而仍能辨別之者，端賴此音色耳。縱為同種之樂器，亦可發異色之聲。例如提琴之價值有相差極遠者，即因二者所發之音其色不同之故。在電話中可辨友人之語氣，亦藉此音色之力也。

科學家赫爾姆霍斯(Hermann von Helmholtz, 圖

443) 氏,最先發見此稱爲音色之樂音中微妙之差別。赫氏研究音色之時,曾利用共鳴器,此器因受所欲研究之聲之感應而起振動。

#### 412. 感應振動。

欲命一擺振動,祇須在適當之時刻,相繼輕推之,使每推一次,能助其振動而不生阻礙,即可,

此事之易爲,人人皆由經驗所習知者也,反之,若僅任意推動,則收效殊鮮。同理,若音波或其他輕微之衝動,傳及或加於一物體時,適與此物體之自然振動週率 (natural frequency of vibration) 相應,即可使之發生強烈振動,此種現象稱爲共鳴 (resonance) 或感應振動 (sympathetic vibration)。

欲顯然證明此現象,可將鋼琴之高音腳板 (loud pedal) 踏下,使壓琴器 (damper) 自弦舉起,乃對琴唱一清越之音,吟聲既寂,其音即由琴弦重行發出,與原音絲毫不爽,殊足驚奇。



圖 443 赫曼達赫爾姆霍斯(1821-1894),  
德國生物學家,曾在力學,音學及光學方面有重要之發見。

說明感應振動之另一法，係將同音調之二音叉，裝於共鳴箱上，使其相離數呎，如圖 444 所示。今若以軟木槌猛擊一音叉，然後以手疾止其振動，則他一音叉即相繼發聲，雖廣室中亦能聞之。第二音叉之振動，亦可用第 391 節中所述之方法以見之。其所以能振動者，即因受第一音叉所發音波之影響之故。若以滑動子 (slider) 置於一音叉之一臂上，以變其調，則兩叉之音，其調即微有不同，而兩叉不復能互相感應矣。

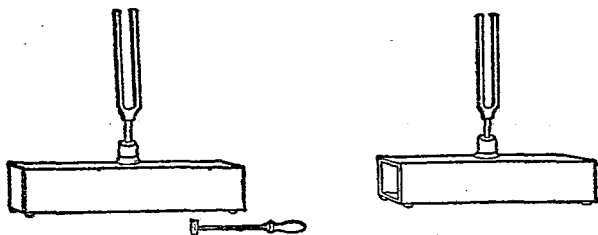


圖 444 同調音叉之感應振動。

由此實驗，顯知兩音叉必須按完全相同之率而振動，始能起感應振動。某種家具以及玻璃器皿，各自有其一定之振動率 (rate of vibration)，使其特殊之音發聲時，即能起感應振動。使此感應振動發生者，即此微弱之衝擊，依一定之間隔屢次重複而累積之效應也。

**413. 共鳴器。** 一方在振動之物體，其所發之音波，可使其近傍之另一物體亦起振動，祇須二者有相同之振動率。此二物體，於此時謂之為正在共鳴 (in reso-

nance) 在上述之實驗中,各音叉立於木箱之上,此箱一端開口,且其製作係使箱內空氣柱之振動率,同於音叉所自有者.此種空氣柱,稱為共鳴器(resonator).感受振動之影響者,實為此共鳴器而並非音叉自身也,

欲示共鳴現象,可使  $A$  管(圖 445) 在水瓶  $B$  中昇降,而同時手持音叉,近於管口之上將見  $A$  管移至一定之位置時,音叉之音合空氣柱之音而加強,似發最洪之聲。

音之由共鳴器而有此加強作用(reinforcement, 或 intensification)者,係因原音波與反射音波有同調(unison)之故。例如,在此實驗中所用之空氣柱,可示其長等於波長之四分之一。觀圖 446, 此事立悟,圖中  $ac$  為音叉之一臂,方振動於正在共鳴之空氣柱之上方,當此臂向下運動經過其中央位置時,即使空氣柱中發生一密部,此密部下行至底而復回至管口時,適當音叉向上運動經過其中央位置之際,此

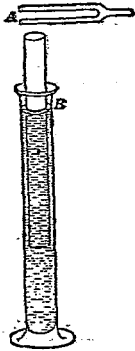


圖 445 音叉之音,由空氣柱之作用而加強。

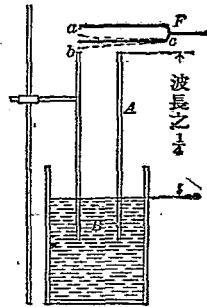


圖 446 說明空氣柱之共鳴。

折回之密部即可使音叉之振動加強。因在音叉之中振動時間內，音之行程爲空氣柱長之兩倍，故在四分一振動之時間內，音之行程適等於空氣柱之長，是以方在振動之空氣柱，爲波長之四分之一。更作同樣之實驗，可知共鳴之空氣柱，其長爲波長四分之一之 3, 5, 7, 或任何奇數倍。

**414. 強制振動。** 音叉受擊之時，必須持近耳旁，始聞其音；但若以其底座，緊抵於桌面，則其音即大強。若以另一音叉其音調不同者，重行此實驗，則見其音亦能加強。顯見桌面可使任何音叉之音加強，而空氣柱則僅能使一單獨之音加強。

音叉之振動，經底坐而傳於桌面，遂強制後者亦起同週率之振動。桌面之大表面，使多量之空氣發生振動，故可送一極強之音波入耳。鋼琴及其他弦樂上之音板 (sounding board)，其作用極與此實驗中之桌面相同。此種振動稱爲強制振動 (forced vibration)，因不問音叉或弦索之週率爲何，常可使之發生也。

**415. 本音與倍音。** 當鋼琴之弦全體作整個之振動時，其所發之音，稱爲此弦之本音 (fundamental note)。此本音即爲此弦所能發之最低之音。其調視弦之長度，張力，粗細以及質地而定。當弦全體作整

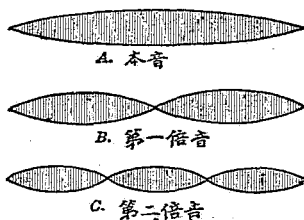


圖 447 一弦發其本音及其第一與第二倍音。



個之振動時，同時亦可作分段之振動；例如此弦一似分爲二段而振動然，此種副振動(secondary vibration)所發者爲倍音(overtone)，其週率二倍於本音，而爲本音之第八音(octave)，此倍音即稱爲第一倍音(first overtone)。仿此，一弦可作整個之振動，而同時又可作一似分爲三段之振動；此時弦所發者，爲其本音及其第二倍音(second overtone)，如圖 447 所示。較高之倍音，或“諧音(harmonics)”，亦能與本音同時並發。

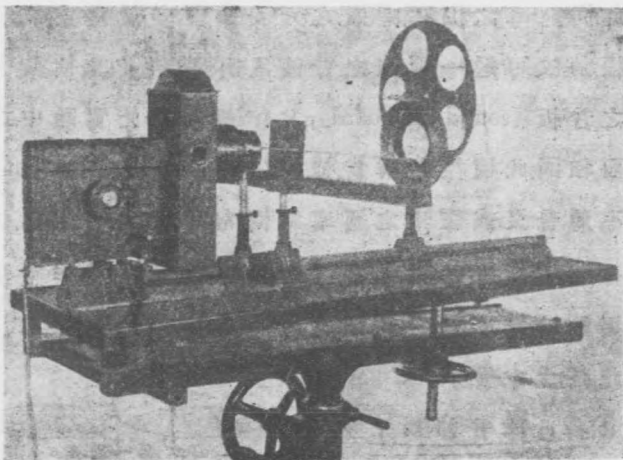


圖 448 投射絃索所發音波之器械。

張弦於映畫器(projecting lantern)之聚光透鏡(condensing lens)之前，如圖 448 所示，則此等振動，即可見之，相近於弦之

中點,插一金屬片,片上有一直隙,映射之透鏡,係用凸透鏡五枚,置於圓盤之周圍,若彈弦之中部,而旋轉物鏡(objective)圓盤,即可在幕上見一整齊之波狀線(表示本音者);但若彈弦之近端之處,即見小波(表示倍音者)疊合於本音波之上(圖 449)。

416. 赫爾姆霍

斯之實驗。赫爾姆霍斯曾證明音色祇

須用與本音混合之倍音數,以及倍音中之最顯著者即可決定之。赫氏為證明此事之故,曾製就球形共鳴器多種(圖 450),各有一大口 A,又有一小口 B,可配於耳內,此種形式之共鳴器,其特點在於僅對一音調之振動易起感應,故可用以析音。由於次第執此等共鳴器近其耳,赫氏即能細辨正在發聲之任何樂音之成分,而判斷其相對之強度。於是赫氏顛倒此

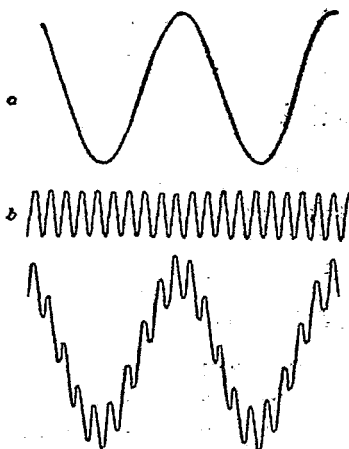


圖 449 曲線(a)表示本音, (b)表示高調倍音, (c)表示本音與倍音重疊。

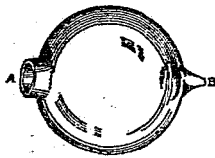


圖 450 赫爾姆霍斯共鳴器。

手續，而令此諸倍音成分相合，以重發原音。是以赫氏不但能仿造各種不同之樂器之音色，且能仿造各種母音之音色。

417. 耿尼格之舞燄。證明任何單音之音色，係視音波之形狀而定之另一方法，爲法人耿尼格(Koenig)所發明。此法稱爲舞燄(manometric flame)法，其優點在於可使此現象爲人所見。

舞燄之器械，如圖 451 所示。其主要之部分爲一小匣，由極薄之橡皮或牛之大腸膜 (goldbeater's skin) 所製之彈性膜，隔成兩室。一側之腔，連一漏斗管，而在他側之腔，則開有二孔，一係煤氣之入口，而他孔則連以細小之噴口，煤氣

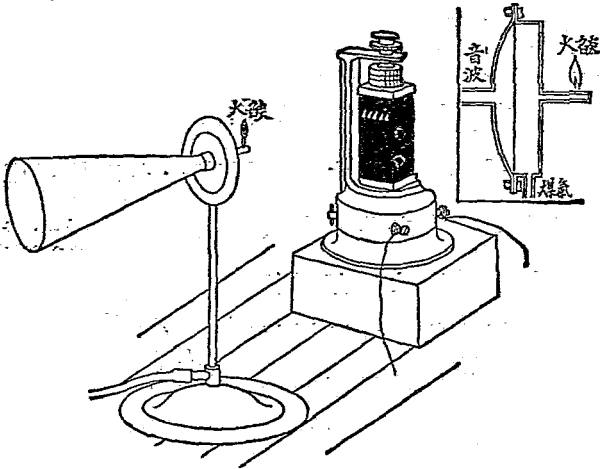


圖 451 用舞燄析音。

即在此口燃成微小之火燄。在彈性膜一側之空氣，發生振動時，他側之煤氣，其壓力亦起變化，因而火燄即作昇降之舞動。

茲請將此器配置，而在尙未有音發於漏斗管前之時，將鏡轉動，則見鏡內所現之火燄，並無高低之狀，其形如圖 452 之 a。次令一風琴管在送音口前發聲，然後再將各母音之聲，按同調同強送入漏斗管中，則所見鏡中之燄帶，形各不同，如圖 452 之 b, c, 及 d。

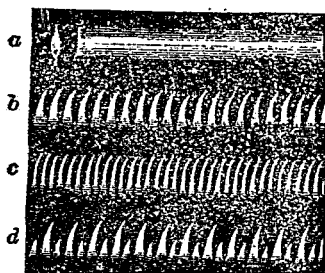


圖 452 舞燄所表示之振動形狀。

舞燄可用以研究音之振動，其週率高至幾不能聞其聲音。

**418. 音波之攝影。** 特登密勒 (Dayton C. Miller) 教授，曾發明一極靈敏之器械，可按攝影之法記錄音波，並將此器加以改良，可用以映音波於幕上。此小小之器械，密勒氏稱之為攝波器 (phonodeik)，構造異常精緻。圖 453 所示者，即為密勒攝波器在移動之軟片上所攝之音波。

近時已另製一種攝波器，其構造較密勒氏所計劃者為簡單。一小鐵音叉  $F$ ，連於膜片  $D$  之中心，其兩臂擺於一永久磁石兩極之尖端上，有一極細之鐵絲  $S$ ，隔於音叉及

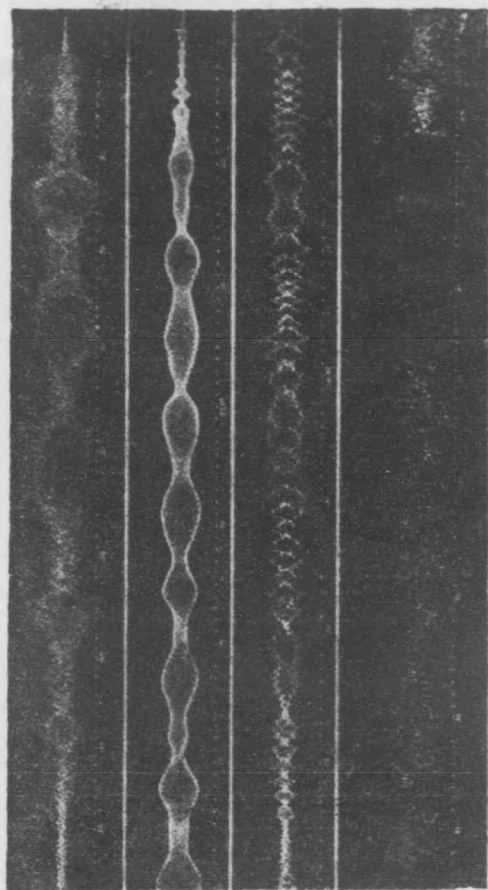


圖 453 特登密勒所攝音波之照相。所攝者爲希臘名劇中六音曲之一節：第一行爲次中音；第二行爲最高音；第三行爲上低音及最高音；第四行爲六音齊發之狀。

磁石  $PP$  之間。一小鏡連於此鐵絲之上(圖 454),當膜片振動時,音叉之臂即將鐵絲在磁石兩極上微微轉動,於是小鏡亦起振動,小鏡之此種振動,可使一光線上下晃動,將此光線射於方依直立之軸疾轉之鏡上,即可在幕上得一曲線,以表音波之特色。

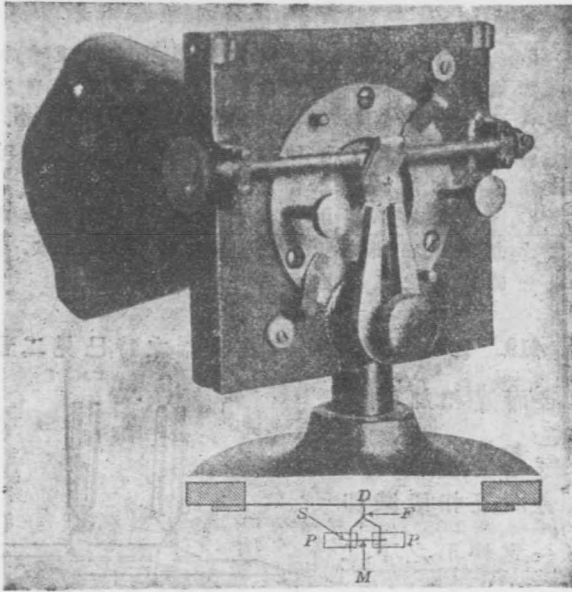


圖 454 簡單之攝波器,用以映射音波者,附構造原理圖。

### 計 算 題

(若不另行陳述,常假定溫度為  $0^{\circ}C$ .)

1. 一音叉持於長 6.5 吋之空氣柱上時,其音加強,問其波長為何?
2. 一汽笛之共鳴空氣柱,長 1.5 吋,試求其音之振動週率?

3. 一歌唱者所發之音，波長 2.8 呎，問可使其音加強之空氣柱，最短應長若干？
4. 若一音叉之週率為 512，而溫度為  $20^{\circ}\text{C}$ 。則空氣柱之長應為若干，始可得最大之共鳴？
5. 一音叉在  $15^{\circ}\text{C}$ 。時，可在長 50 釐之空氣柱中引起共鳴，求其週率。
6. 一音叉持於長 10 釐之空氣柱上時，其音加強，其次之加強位置，發現於空氣柱長 30 釐之時，假定音之速度，照室內溫度計，為每秒 345 呎，試計算此音叉之週率。
7. 若有一音叉，每秒振動 495 次，可用長 7.8 吋之空氣柱，使其音加強，試計算音之速度。
8. 若以第 7 題中所述之音叉，持近二氧化碳氣圓柱之上方，而音在此氣體中之速度，為每秒 846 呎，問共鳴二氧化碳氣柱之長度，應為若干？

#### 419. 音之干涉。研究共鳴器之時，已見二音波可

連合而互相加強。要知二音波亦可使其結合而互相毀滅。即在一定情形之下，二音結合可變為沉靜。此即稱為噓 (beats) 之現象之原因也。

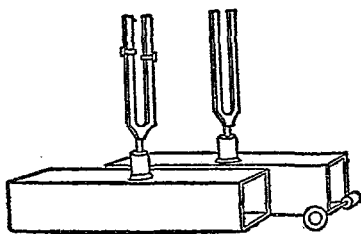


圖 455 週率微有不同之二音叉，可生噓。

若以裝於共鳴匣上之二音叉，其音調相同者，並置於一側，而軟木槌相繼擊二叉，即聞一平滑之音。但若以滑動子套於一音叉之臂上以變其音調，而重擊兩音叉(圖 455)，

即聞一顫動或脈動之音，此種顫動之音，即稱為唸，唸之發生，即因音之干涉與加強，交互爲之之故也。

若鋼琴或風琴上相鄰之二鍵，同時並按，即聞唸聲，尤以兩鍵在音階之低音部爲然。

唸可用以調整二弦或二音叉之音，使其同調，將弦或音叉調整至無唸可聞之時，音調遂同。

**420. 唸之釋理。** 欲說明二音波如何可連合而不發聲，命圖 456 中之 *A*，代表一音波，*B* 代表另一音波，其週期與 *A* 全同，

惟相則相反，即適在第一波之半波長後是也。若兩種衝動，將發生如是之二波，傳

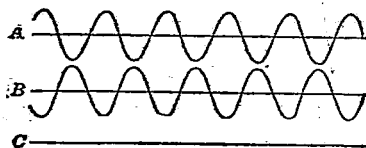


圖 456 反相同週期之二波 *A* 與 *B*，可生干涉現象 *C*。

於空氣，則空氣中即不受騷動之影響（曲線 *C*）。此一現象，即爲音波之干涉（interference）。

若同週期之兩波又兼同相，即彼此合拍，例如圖 457 中之 *A* 與 *B*，則

兩波互相加強，而發一振幅加倍之音，如圖 457 中末一曲線 *C* 所示者。

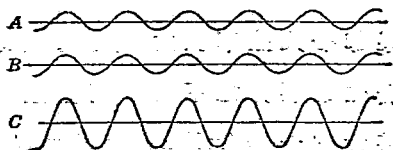


圖 457 合拍之兩波 *A* 與 *B*，可生加強現象 *C*。



然,此即音波之加強也。

最後,若週期微有不同之兩波(圖 458 中之  $A$  與  $B$ ) 互相疊合,則在某一瞬間發生加強作用,片刻之後又起干涉作用(曲線  $C$  所表者即是)。

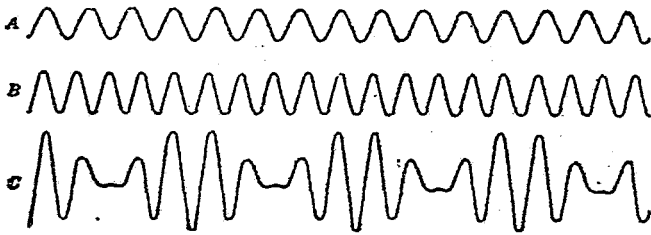


圖 458  $A$  及  $B$  二曲線,其週期微有不同;合成曲線  $C$  表示相繼之加強與干涉,即相繼之唵是也。

若兩波每秒之振動數,一為 255 次,一為 256 次,則顯知每秒中有一次之加強與一次之干涉,即有一次之唵是也。概言之,每秒中之唵數,等於兩波週率之差。

421. 不調和與唵。由實驗知不調和(discord)不過為唵之問題而已。若每秒有六次或更多之唵,則結果即令人生不快之感;若唵數每秒約有三十次,即可發生最惡劣之不調和。但當振數之相差多至七十之時,如中音階(middle scale)之  $C$  與  $B$  然,則又可得調和(harmonious)之效應。若二樂音其倍音頗強者,欲使其

調和，則根本宜使其任何二倍音間，不可發生使人感不快之唸數。奏鐘樂之時，不同時齊擊諸鐘而次第擊之者，即此故也。

422. 音階。前此所已研究者，為空氣中單列之波之行爲，以及單樂音之傳播情形；今將一考各樂音間之基本關係。易言之，將一索音樂之科學的基礎。

當吾人意在比較二樂音時，吾人先考其音調，即週率。同週率之諸音，稱之為有同調 (in unison)。當二音週率之比如 1 比 2，則二音之關係或間隔稱為一均 (octave, 亦譯八音)。例如週率為 512 之音，較週率為 256 之音高一均 (或謂高八音)；而週率為 128 之音，則較週率為 256 者低一均 (或謂低八音)。

人耳所認為調和之音，已知其僅為週率可與簡單整數 1, 2, 3, 4, 5, 以及 6 之中，任何二數成比例之各對之音。更為奇特者，人之兩耳，對於週率之比為 4:5:6 之三音，認其為互相調和已歷數百年之久。此種結合，稱為長三和音 (major triad)。此外由並無簡單週率比之特徵之音，連續疾發而成之任何結合，皆生不調和之感。

所謂長音階 (major scale) 者，為前後聯絡之音所

組成,其關係爲第一,第三,以及第五音合成長三和音;第四,第六,以及第八音(即第一音之第八音,或謂高於第一音一均之音)亦能合成長三和音;而第五音,第七音,以及第九音(即第二音之第八音)亦能合成長三和音,此種組合之法,示於下表,所載音階中之各音,均以樂譜中所用字母代表之。

一均之各音關係表

G (do)	D (re)	E (mi)	F (fa)	G (sol)	A (la)	B (si)	c (do)	d (re)
4		5		6			(8)	
			4		5		6	
	(3)			4		5		6
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2	$\frac{9}{4}$

鋼琴鍵盤上一均之各音,其排列之法如圖 459 所示,白鍵相當於一均之各音,黑鍵則爲中間鍵(intermediate note),係供合成其他音階之用。

任何週率即振動數,可選用於一均之第一音,其次諸音,即可照表求其振數而定之,在實際上,通常用爲起點之此等音調,不止一種,所謂國際音調(interna-

tional pitch)者,定 435 爲中部 *A* 音 (middle *A*) (高音譜上第二空格之音)之振數,以此爲準,則中部 *C* 音 (middle *C*) (高音譜上之下 *C* (lower *C*))之振數當爲 258.6,在物理實驗室中之 *C* 音又,其振數通常爲 256,以便計算。

### 樂 器

423. 鋼琴。鋼琴爲人皆熟知之樂器,至少曾見其鍵盤,盤上通常有鍵 88 個,開其蓋,可見長短粗細各不同之鋼弦 88 組(圖 459),鍵各連以包有毛氈之槌一,按鍵則撥動木槌以擊一弦,而發有一定音調之音,又可注意者,低調之音,由長而粗之弦發出,而高調之音,則由短而細之弦發出,調整鋼琴之人,常用音調鍵 (wrench) 旋轉鋼弦一端之柱,使弦放鬆或張緊,此事當有見之者。

若於桌上綑一鋼絲,而使其振動,則覺其音與鋼琴相比,甚爲微弱,此因鋼琴有一音板,直接裝於弦下之故,弦之振動,由弦馬 (bridge) 傳於此大而且薄之板,使其亦起振動,於是此板使多量之空氣振動,遠過於鋼弦獨自之影響所能及,而發較高之音。

424. 振弦之定律。弦之音調即週率,因弦之緊張



而升高，可用音計 (sonometer) 證明之，此器不過一金屬線，張於長木匣上而已(圖 460)。若加於一線上之拉力，恰為加於他線上者之四倍，則第一線之音，即覺其為第二弦之第八音。若將可動之弦馬，或琴柱 (fret) 墊於線下，即可使音調升高。線愈短則調愈高。最後可示同長且受同一張力之線，粗者所發之音較低。

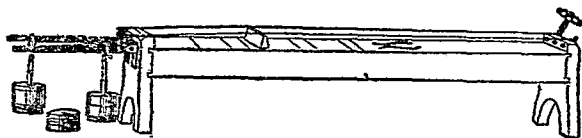


圖 460 用以證明振弦定律之音計。

由精細之此種實驗，證明下之定律：

(1) 振動週率依方在振動之弦之長而反變。是以置可動之弦馬於鋼線之中央，則其音調即可升高一均。

(2) 振動週率依張力之平方根而正變。是以若有 4 磅之力拉緊一弦而生每秒 100 次之振動，則欲使其音調升高一均，即使振動數為每秒 200 次，則所需之拉力為 16 磅。

(3) 振動週率依弦之單位長重量之平方根而反變。鋼琴上發低音之弦，所以繞有鋼絲以達必要之重量者，即此故也。

425. 其他弦樂。 提琴 (violin), 洋琵琶 (mandolin)

以及六弦琴(guitar),皆有一組之弦,可調整之以合某種音調,又有木質之身,使弦音加強,此等樂器與鋼琴相異之處,在於僅有少數之弦,以及弦之發生振動,不由槌擊,而由弓摩或甲撥,按各弦於不同之點,即變動其長度,因而可發多數之音,摩弦或撥弦之特別地位與狀態,即可決定倍音,從而可定音色,用此法奏提琴,則其所發之音,非惟音調之範圍廣大,即音色之變化亦多也。

426. 管樂。最簡單之管弦,爲風琴管(organ pipe),有時此管頂上開口,稱爲開管(open pipe),如圖 461 所示者即是;有時管頂封閉,稱爲閉管(closed pipe)。

若取一開管吹之,則空氣流激動管口之薄邊,使起振動,管之作用,猶如一共鳴器,此種開管所能發之最低音,其波長爲管長之二倍,此音稱爲開管之本音,若以手封閉管口,使成一閉管,則將見其所發最低之音,較低一均,即其波長爲管長之四倍,此稱閉管之本音。

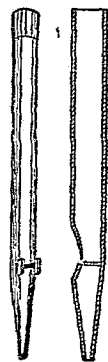


圖 461 風琴管,外貌及剖面。

然則普遍言之,開管之長度,爲其本音波長之半,  
而閉管之長度,爲其本音波長之四分之一。

第 413 節中之實驗所用之共鳴管,可見其爲一倒植之閉管,近音叉之一端,相當於風琴管之唇。

笛(flute),簫(clarinet),喇叭(cornet)以及活動喇叭(trombone),亦係管樂笛與簫中之空氣柱,係用孔截斷之開放管側之一孔,同於在此孔將管截斷,喇叭及其他數種樂器中之空氣柱,可用如圖 462 所示之活塞 *a*, *b*, 及 *c*, 按一定之量改變其長度,在活動喇叭中,空氣柱之長,可由滑動管之一部分,使其忽進忽退而變化之,又可猛力吹之,使生倍音而變其調。

在喇叭式之管樂中,空氣之振動,係由吹者之唇振動所致。

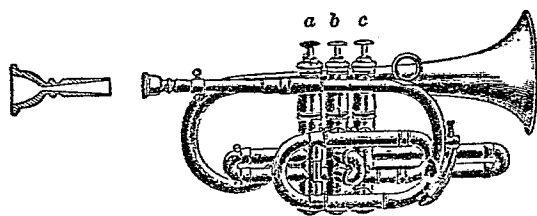


圖 462 喇叭及其吹口。

### 問答題與計算題

(除另行陳述外,假定溫度爲  $0^{\circ}\text{C}$ .)

1. 一風琴管長 3 呎, (a)當其開口之時,其所發之音之波長爲何?(b)當其閉口之時,波長爲何?



2. 一閉口風琴管長 60 釐，問可發較高第八音之開管，其長爲何？
3. 一測音器有孔 50 個，欲使其發週率爲 435 之音，必須使其每分鐘轉幾次？
4. 一開口風琴管長 18 吋，問在溫度爲  $15^{\circ}\text{C}$ . 之時，每秒所生之振動有幾次？
5. 一汽笛之閉管，須長若干釐，始能發中部 C 音（國際音調）？中部 C 音之週率，爲每秒振動 258.6 次。

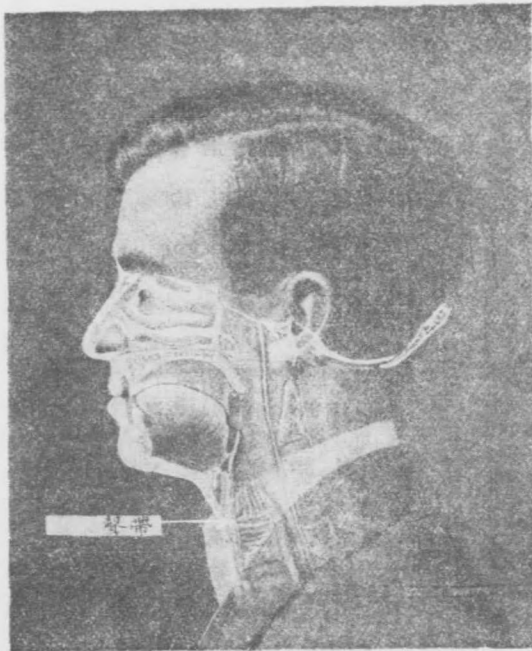


圖 463 用 X 光線畫出鼻腔，口腔，以及喉腔之頭，氣管中之聲帶亦可見之。

6. 高於中部 C 音二均之音, 試求其週率及波長。
7. 一弦之本音其週率為 256, 問其第四倍音為何?
8. 一六弦琴之弦, 長 18 吋, 每秒可振動 256 次, 問在同一張力之下, 弦長若干, 則每秒可振動 384 次?
9. 當 413 節中所述之空氣柱有一定長度時, 則音叉之音即可加強, 試說明何以此空氣柱, 不必為音叉之波長四分之一。
10. 二開口風琴管, 一長 20 吋, 一長 21 吋, 問在溫度為 20°C. 時, 使此二管同時發音, 每秒之唸數為何?

**427. 振膜.** 此種樂器之一例為鼓, 另有一種為一切樂器中最奇異者, 即人之聲官是也。其發音由於二膜之振動, 此二膜各居於喉之一側, 稱為聲帶(vocal cords), 此外更輔以舌與唇之振動。由於變動聲帶上肌肉之張力, 即可變動所發各音之調; 由於變動口之形狀, 舌與齒之地位, 即可使倍音起種種變化, 因此音色亦隨之而異矣。(圖 463)

**428. 留聲機.** 留聲機(phonograph)為著名之使音再生之機器。人向送音口(mouthpiece)發言時, 音波即使膜起振動; 此振動復使一可以上下移動之細金屬針尖, 或寶石針尖, 在硬蠟盤上劃出深淺各異之螺旋溝(圖

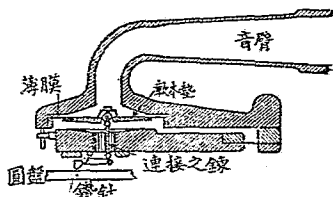


圖 464 愛迪生之鑽石唱頭。

464). 此溝之底,爲一波狀之線,代表音波之密部與疎部。

欲使此音再生,可用圓頭小針一枚,附着於膜上,而許其在圓盤旋轉之時,循蠟上之溝以行,因溝之深淺不同,針乃上下顛動,因而使膜起振動,以使原音再生。

另有一種留聲機(圖 465),其針尖作橫動以代上

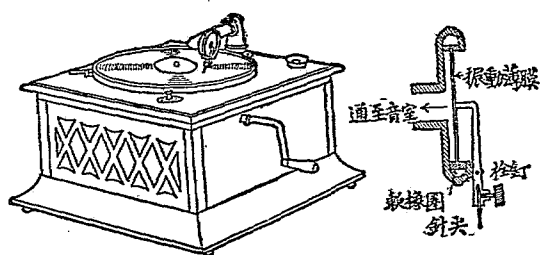


圖 465 盤式留聲機及其膜與針之剖面圖。

下運動,而膜則直立。圖 466 所示者,爲改良生音器之剖面,其構造在消去一切振動之爲膜片自身所特有者。關於唱片之製法,近時亦加改良,先將各音送入微音器,例如播音時所用者,使有一脈動電流發生,再用真空管擴大之。此電流於是按磁力作用,運轉一記音之針,使在軟蠟之上劃出波狀之迹,此留於軟蠟上之

迹,乃用電鍍法印於銅版之上,更用數噸之大力,將此銅版上之迹,壓於商用唱片(斯時唱片猶熱)。

留聲機不能重發完全之子音,各字多半因其母音而辨知,因母音強而清也。蓋母音大概為明定之樂音,可生有規則之振動;子音則僅為發出母音之前後,由口所生之噪音而已。

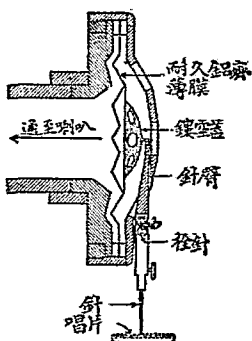


圖 466 改良之留聲機唱頭。

## 第二十六章 提要

樂音之三特徵者,音強,音調以及音色是也。

音強(即高低)視振幅而定。

音調視週率而定。

音色視波形而定,即視倍音之數及其中最顯著者而定。

本音為發音體作整個振動時所發最低之音,當物體作分段之振動時,發出倍音,比較簡單之倍音,稱為諧音。

絃之音調——(1)於絃長減短時升高。

(2)於張力增加時升高。

(3)在細而輕之絃上較高。

共鳴為物體受外來之衝動,其週期適與物體自有之自然週期相同時,所起相應之振動。

音之由共鳴器而加強,係因原波與反射波連合之故。

開管之長 =  $\frac{1}{2}$  本音之波長。

閉管之長 =  $\frac{1}{4}$  本音之波長。

每秒中之唸數，等於兩波週率間之差數。

調和音程 (harmonious musical interval) 相當於簡單之週率比，一均之比為 1 比 2。

長三和音由週率比為 4 : 5 : 6 之三音所組成。

長音階由三組長三和音所成。

### 問 答 題

1. 試舉求音又音調之三種方法。
2. 鋼琴之弦，有以銅絲繞於其上者，何故？
3. 留聲機之旋轉速率增加時，則唱片所發之音樂，將聞其有何變動？說明其理。
4. 一人欲效他人之口音，頗為困難，何故？
5. 共鳴與強制振動，其間之差別為何？六絃琴之“箱(box),”其作用可以說明共鳴抑可說明強制振動？
6. 一風琴管在夏日與在冬日，覺其音調有何差別？風琴管長度之稍有伸縮，可以略而不計。
7. 樂師用提琴，笛，活動喇叭，以及喇叭奏樂，欲將音調自低變高，其法如何？
8. 汽車迎面而來，愈近則其喇叭之音調愈高，何故？當汽車自身傍經過時，喇叭音調是否突變？
9. 一人有二風琴管，完全相同，此人自一管之一端鋸去少許，今使此二管同時發聲，則所聞者為何，試說明之。
10. 鋼琴之弦，其音之調(週率)(a)當張力加倍時，受何影響？(b)若長度加倍則如何？(c)若重量加倍則如何？
11. 當鋼琴之“高音腳板”壓下時，壓琴器即自琴離離開，若在中部 C 絃受擊時將板踏下，則除為槌所擊之絃外，尚有數弦亦起振動，問(a)此諸絃所發之音，其調較中部 C 音為高，抑較低？(b)此諸絃何以亦起振動？

## 實 用 題

1. 測驗汝歌聲之波長。用相仿於圖 461 所示者之器具，調整空氣柱之長度，使汝所能歌唱之最低及最高二音，可以加強，決定各音之波長。
2. 測驗可聞之上限。用弓形鋸 (hack-saw) 將直徑  $\frac{3}{8}$  吋之鋼條，鋸成數段，長自 1 吋至 4 吋。以線懸此諸段，使成水平。若順次擊此諸段，自最長以至最短，則可聞音之限度，即能在此中求得之。
3. 研究樂器。試與軍樂隊或音樂隊合作，考察各種樂器，注意共鳴柱之長度，以及每種樂器所用節制音調之方法。將每種樂器所發諸音之範圍，以鋼琴鍵盤為標準，作其圖線。
4. 鋼琴及自動奏琴機之機構。考察諸弦，研究其粗細，長短，以及張力對於音調之關係。鋼琴之調整方法如何？作圖以示鍵之動作，鍵盤，以及各均，黑鍵有何用處？踏板之作用為何？溫和音階 (even-tempered scale) 為何？試求自動奏琴機 (player piano) 中之空氣壓力，如何可以節制鍵之動作

## 第二十七章

## 照明：燈與反射器

照明——反平方定律——標準燭與燭光——本生光度計——呎燭——正反射之定律——平面鏡——凹鏡——凸鏡像之作圖法——像之大小——鏡之公式。

429. 照明之問題。 作工與游息,不得不有賴於燈光者甚多,故對於照明 (illumination), 宜有所知,最主要者,當然為先有充足之光,庶可明察各物,但由實驗,知雖有充足之光,而物體之位置與形狀,或有未能明辨之時,蓋諸燈或未能有各處合宜之地位,以投射人所習見之影,其次則為須有適當之燈光,使物體之色彩,與在日光中所呈者相同,此亦一困難之問題也。最後,雙目尚須加以保護,以避強大之新式電燈與煤氣燈之閃耀,蓋燈光太烈,極易使人眼花也,此照明之問題,除此物理學方面之數點外,尚有其代價之經濟問題焉。

日光之有療病效能,知之已歷數百年,而近代之實驗,似顯示所謂紫外線 (ultra-violet ray) 之極短波 (此波以過短之故,為人目所不能察), 尤有作用,既可

刺激動物，兼可刺激植物。

430. 光依直線進行 凡人皆知不能望見轉角彼側之景物，此因光在平常之環境下，恆依直線進行故也。

設在暗室之中，立一屏與一燈，如圖467所示，其間隔以刺有針孔之不透明(opaque)之屏，即見一倒立之燈絲之像。由此可見光循直線穿過針孔。簡單之“針孔”暗箱(pinhole camera)，有時係據此原理製成。

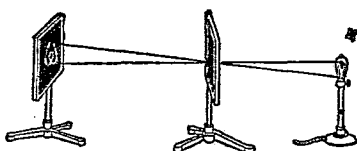


圖 467 光穿針孔而依直線進行。

測量家之精測角度，有賴於下之事實，即來自遠處物體之光線，乃循直線而達於觀察者之儀器是也。

此事實之另一結果，為不透明物體阻止光之通過時，即生一影(shadow)。然此影之邊緣，僅在光源極小之時，始能將光明與黑暗之部分，分清界限。例如弧燈所投射之影，其輪廓即較煤氣火燄或紗罩煤氣燈(Welsbach)所投射者為明確。地球所投射之影亦有此種情形，如圖468所示。區域

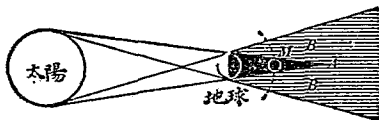


圖 468 地球投影於月，而成全蝕。



$A$ 係在全黑之中，稱為全影(umbra)，而在兩側之區域 $BB$ ，則光之濃淡調勻，自全黑以至全明，此區域稱為半影(penumbra)。當月球 $M$ 適逢全體在全影之內時，即成全蝕(total eclipse)。當月球一部分在半影內時，即成部分蝕(partial eclipse)。

\* 431. 明度：反平方定律。執書近燈，則覺其明，移書遠離，燈光仍舊，則覺其暗，此事盡人皆知，固無庸細述者也，易言之，光源之距離增加，則明度(intensity of illumination)減小，明度者，即落於單位面積上之光之量也。

以金屬薄片製成之圓筒，其上刺有小孔 $P$ 者(圖469)，套於燈上，俾可視光源如一點。於是在離孔一呎之處立一硬紙屏 $A$ ，其上有一正方形之孔，每邊長一吋，在離孔二尺之處，再立一屏 $B$ 。穿過 $A$ 屏上一吋方孔之光線，顯見其在 $B$

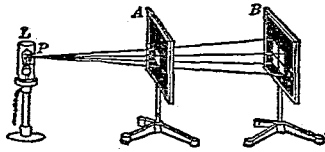


圖469 明度依距離之平方而減小。

屏上散射於二吋之正方形內；即散射於4方吋之上是也。今若移動 $B$ 屏，使其離 $P$ 點三尺，則經過 $A$ 屏上一吋方孔之光線，散布於三吋之正方形內；即散布於9方吋之上是也。此等正方之面積，增加如距離之平方數，但落於各全面積上之光，其量仍舊。故每方吋上之量，依距離之平方數而減少。

明度(同於音強且依同理)依光源距離之平方而反變。

此定律係假定光源小至足以視爲一點，而照明之表面，則置於垂直於光線之地位。

432. 燈之光度。計算一定面積上所受光量之際，非惟必須顧及至光源之距離，且須一考燈之本身之光度(luminous intensity)。例如室中照以新式電燈或煤氣燈，遠較點石油燈爲明亮，因現在市上所售之燈，不同之式樣甚多，故應有測定其光度之某種方法，實屬非常重要。欲爲此事，必須有一標準燈 (standard lamp)，以及某種比較燈光之儀器。此器吾人稱之爲光度計 (photometer)。

433. 標準燈。關於標準燈，雖有多種計劃，然皆不能使人滿意。最古之標準燈(此燈在計算方面仍用之，惟在實用方面，則罕有用之者)，爲英國標準燭 (standard candle)，係用鯨腦油 (sperm) 照一定之造法製成者。自此燭發出之水平光線，其照明能力 (illuminating power) 稱爲一燭光 (candle power)。

現在美國所用一燭光之值，係由一組標準熾熱燈所決定者，此組標準燈，保存於華盛頓標準局內。此種光度單位，稱爲國際燭光 (international candle)，已爲英國與法國所承認。在德國之法定光度單位，稱爲赫

(Hefner), 等於 0.9 國際燭光。

試驗煤氣時, 雖所謂標準燭之光度, 或有相差至百分之五者, 然在習慣上仍用鯨油燭。至於更精密之工作, 則今多採用哈考脫戊烷燈 (Harcourt pentane lamp)。此燈燃燒空氣與戊烷之混合物而發光, 其光度為十燭光。

平常之開口煤氣火燄, 每小時消費煤氣 5 立方呎以上, 而所發燭光則自 15 至 25。在麻省 (Massachusetts) 煤氣之法定標準, 為在每小時消費 5 立方呎之燈內, 應發 15 燭光。紗罩煤氣燈每小時消費煤氣約 3 立方呎, 能發 50 燭光至 100 燭光。

434. 本生光度計。本生光度計 (Bunsen photometer) 者, 比較已知之燈所發之光線, 與標準燈所發水平光線之照明能力之儀器也。此種“油點” (grease spot) 光度計 (圖 470), 為德國大化學家羅白脫本生 (Robert Bunsen) 所發明, 其主要部分為一白紙之屏, 中心有一半透明 (translucent) 之點, 可使光自由透過。屏置於所

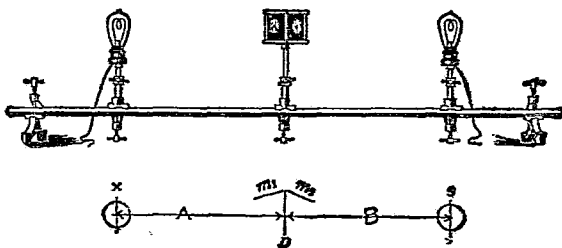


圖 470 本生光度計, 用以比較 X 燈與標準燈 S。

欲比較之兩燈間，使其一面爲一燈所照，而他面爲他燈所照。若屏之一面，所受之光較他面爲多，則此面似頗明亮，其中心有一較暗之點；而他面則較暗，其中心有一較明之點。若兩面所受之光相等，則點即消滅，至少由兩面觀之，明暗相同。此有油

點之屏藏於一匣之內(圖 471)，此匣在  $A$  及  $B$  二面開口，正對所欲比較之二燈。目在匣前  $B$  處窺之，二鏡  $m_1$  與  $m_2$  置於屏之各側，如

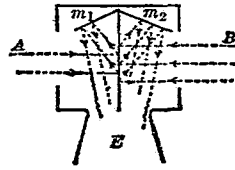


圖 471 本生光度計之匣，內藏有油點之屏。

圖中所示者然，俾可同時望見屏之二面。

435. 本生光度計之用途 此光度計必須在暗室中用之，或置之於不漏光之匣中亦可，所欲測驗之燈  $X$ ，置於架之一端，而標準燈  $S$  則置於他端(圖 470)。於是移動紙屏，直至得一兩面同明之位置而止，乃測定  $A$  與  $B$  二距離。

若  $A$  與  $B$  二距離相等，顯見二燈之燭光相同。若二距離不等，則離屏較遠之燈，其燭光較大，更有進者，因光度按距離之平方而減少，且因屏之兩面受光相同，故得方程式：

$$\frac{X\text{之燭光}}{A^2} = \frac{S\text{之燭光}}{B^2}$$

例若有一燈其燭光為  $X$ ，離屏 100 釐，另有一燈其燭光為 16，離屏 80 釐，此時屏之二面明度相等，

$$\frac{X}{(100)^2} = \frac{16}{(80)^2}$$

則  $X = 25$  燭光。

496. 光之分布。燈之發光，無各方一致者，例如平常之石油燈，其燈頭及貯油器，即將自燈下射之光遮斷；若燈頭潤而薄，則其潤面所發之光，即較發自薄邊者為多。同樣，熾熱燈向各方所發之光，其強度亦因燈絲之形狀而異。

因熾熱燈易使其轉至任何位置(圖 472)，故不難用本生光度計，測定其在種種不同位置之燭光，若在水平面上數方向內測其燭光，而將測得之結果求一平均數，則所得之結果稱為此燈之平均水平燭光 (mean horizontal candle power)。由此種測驗，知在水平面內各方向之燭光，相差並不甚巨。

若使欲測之燈，在豎平面內傾斜成種種不同角度，則結果將見正對燈底之燭光甚小，此等試驗之結果，以極坐標圖(圖 473 A)表示之最佳，在此圖中，曲線指示光在豎平面上不同方向內之強度，此曲線離同心圓中心之遠近，即隨

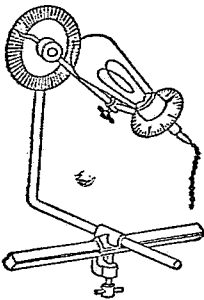


圖 472 測燈之光度時，使燈傾斜之器具。

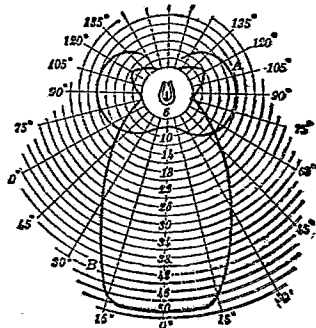


圖 473 光度曲線(A)屬於無罩熾熱燈者，(B)屬於同一之燈有反射器者。

光度之大小而異，例如正對燈泡底( $0^\circ$ )之燭光略小於 8，而在水平方向內( $90^\circ$ )者則為 16。

欲使燈光盡量逕向下方投射時，可用燈罩 (shade) 或某種反射器 (reflector)。圖 473 B 所示者，即為燈泡上加以特種燈罩時，光在豎平面內分布之情況，由此曲線，將見水平強度減少至 6 燭光，而向下之光度則增至 50 燭光以上。此種燈罩，因所望光之分布情況之不同，而製為種種不同之形式，居室之中，工場之內，燭光有效與否之問題，即能用此而據科學方法解決矣。

**437. 明度之計量。** 適已見及光源強度之單位為國際燭光，此種標準燭發光以照離燭一呎而與光線成直角之表面，其明度稱為一呎燭 (foot candle)。\* 此即明度之單位也，以式示之，顯係

$$\text{明度(呎燭數)} = \frac{\text{燭光(數)}}{\text{距離之平方(呎)}^2}$$

例如，有一 16 燭光之燭，照於離燭一呎之表面，其明度即為 16 呎燭，又若此燈為一 32 燭光之燈，而物體在離開 4 呎之處，則明度即為  $\frac{32}{(4)^2} = 2$  呎燭。

在此二例中，皆假定僅有一光源，且假定受光之表面，垂直於光線，實際上此種情形幾永不可遇，故計算任何已知表面上明度之問題甚為艱難。

圖 474 所示者為一極簡單之儀器，稱為呎燭計 (foot-

\*譯者按每平方呎上受光之呎燭數，稱為若干“留明”(lumen)。

candle meter), 可用以直接測定任何處所之明度。此器之最  
 主要部分爲一屏, 其  
 上有半透明之小點  
 一列, 此諸點皆爲屏  
 下一端之小電燭所  
 照, 爲確定此燈常保  
 其同一光度起見, 有  
 一可調整之變量耗  
 阻器, 串聯於電池, 且  
 有一靈敏之弗計, 可  
 以指示加於燈之電  
 壓。使用此計時, 祇須

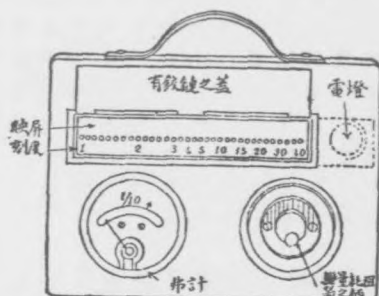


圖 474 直接測量明度之呎燭計。

調整變量耗阻器, 直至弗計指示電燈方得所需之電壓而  
 止; 於是在屏上選定一點, 幾似消滅者, 卽似與白屏表面同  
 明者; 最後讀出明度尺上正在此點下方之呎燭數。例如圖  
 475 所示之屏卽指示 7 呎燭。



圖 475 呎燭計之受光屏。

438. 需要若干明度乎? 欲得“合宜之光以見”,  
 所需明度之量, 視各種情形而大有不同(圖 476)。例如  
 畫圖室, 舞台, 以及商店, 約需 4 呎燭; 而教堂, 住宅, 以及  
 公共迴廊, 或祇須有 1 呎燭已足, 光之對於作事, 過猶  
 不足, 極亮(每方吋在 5 呎燭以上者)之光源顯露於外,  
 目疾之通因, 欲除此弊, 電燈泡當用毛玻璃, 且應多

用小光度之燈散布於各處，或遮以能擴散光線之罩，或隱藏之使其全不可見，就最後之一種方法論，係藉



圖 476 工作與遊戲所需之明度(燭燭數)。



自承塵及牆壁反射之光以照明,此種簡接照明之法,固可得最佳之光,尤以在公共建築中之大堂上爲然;但因所費較其他各法爲昂,遂皆視之爲奢侈。

### 問答題與計算題

1. 在一深6吋之針孔暗箱之背,有一正方玻璃底板,每邊4吋。問離針孔10呎之牆,在此玻璃底板上能見其若干面積?

2. 一4燭光之燈,離一屏120呎,問16燭光之燈,須離開若何遠,始能照屏以相等之明度?

3. 6呎遠之電燈光,與8呎遠之32燭光之光,照得同一之明度,試求電燈之燭光。

4. 有一燈,欲測定其燭光,乃以赫夫納耳(Hefner)標準燈(0.90燭光),置於本生光度計上離油點50呎之處,而將此欲測之燈,置於離屏150呎之處,兩燈照屏之明度適等。問此燈有若干燭光?

5. 一燈有80燭光,照於離開5呎之表面,問此表面之明度其呎燭數爲何?

6. 若叢書所需適當之明度,約爲3呎燭,則一60燭光之燈,可置於離本書若干遠之處?

7. 比較離燈塔1哩,2哩,以及3哩處之明度。

8. 離一1000燭光之弧燈50碼之表面,其上之明度爲何?在此題中之明度,是否合於人行道上所需0.04呎燭之最小明度?

9. 有二燈,其燭光彼此各爲25與100,相隔16呎。問在兩燈間之何處,明度相等?

10. 在燈光下晒相片,若相片離一50燭光之燈2呎時,所需露光時間爲10秒,則相片離一100燭光之燈3呎時,需時若干秒?

11. 若第436節中所述有特種燈罩之燈,欲懸之於閱

書桌之上方，則應離桌面若干遠？（參閱圖 473 B 之分布曲線）。

12. 有一 25 瓦之 B 種鎢絲燈，其發光耗電之率，為每燭光 1.1 瓦，問離此燈 3 呎之處，得明度若干呎燭？

13. 有一 50 瓦之丁種鎢絲燈，約能發 70 燭光，又有一紗罩煤氣燈，每小時用煤氣 3 立方呎者，約能發 100 燭光，今在某城用此二燈，其地之電價每瓦時洋 1 角，煤氣價每 1000 立方呎洋 1 元，試以每燈各發 1 燭光時 (candle power hour, 即 1 小時中常發 1 燭光，義與瓦時同) 為準，而比較使用各燈之所費。

**439. 反射器，正反射與亂反射。** 吾人四週之物體，大多數皆得藉其所反射入目之光以見，此固早已知之者也，大多數之物體，其表面皆粗糙，故投於其上之光，向各方反射，亂而不齊，如圖 477 所示。此種光之反射，即光之折回，稱為擴散的反射 (diffused reflection)。例如光之投於紙上或未經油漆之木上者，即向四方作亂反射。然光若射至細加琢磨，極為光滑之金屬平面之上，則反射之光入於人目，似覺其直接來自遠處之物體，並非由反射表面而來。此稱正反射 (regular reflection)，如圖

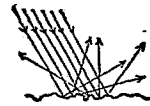


圖 477 自不整齊之表面所發之擴散的反射。

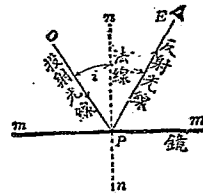


圖 478 自光滑表面所發之正反射。

478 所示者即是，圖中  $mm$  爲反射表面或鏡， $OP$  線指示落於鏡上之光之方向，而  $PE$  線則指示反射入目之光之方向。

**440. 反射之定律。** 當光穿過一小孔而來時，其光流 (stream of light) 稱爲光柱 (beam)，極細之光柱稱爲光線 (ray)\* 當一束之光來自遠如太陽之光源時，組成此光柱之光線，皆相平行，故稱之爲平行光柱。

在圖 478 中，命  $OP$  爲斜投於鏡  $mm$  上之平行光柱之方向，而  $PE$  爲反射光柱之方向。若在  $P$  點作一稱爲法線 (normal) 之線  $pn$ ，垂直於鏡面。則夾於法線與投射光柱方向線  $OP$  間之角  $i$ ，稱爲投射角 (angle of incidence)；而夾於法線與反射光柱方向線  $PE$  間之角  $r$ ，稱爲反射角 (angle of reflection)。

由精細之實驗，已知——

- I. 投射光線，法線，以及反射光線皆在同一平面之上。
- II. 投射角與反射角相等。

**441. 平面鏡中之像。** 人立於平面鏡前，則見其自己之像及其週圍之物體，一若皆在鏡後然，此乃衆所習知者也。今於圖 479 中，可見來自一物體

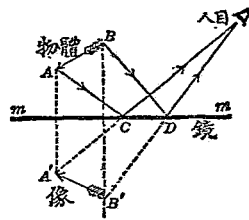


圖 479 平面鏡中之像。

\* “光線”，之較爲準確之定義，將見於次章之 460 節。

任何點  $A$  之光，爲鏡所反射而入於目時，似由鏡後一點  $A'$  而來。同樣，光自一羣之點（物體  $AB$ ）而來者，似由鏡後一羣相仿之點（像  $A'B'$ ）而來。此一羣之點，光似來自其處者，稱爲物體之像 (image)。自物體任何點，至其像之對應點之連線  $AA'$ ，垂直於鏡面  $mm$ ，而爲其所平分。

普遍言之，平面鏡中之像，與物體同大，且與物體對立在鏡之前後，距鏡面相等。

此種之像，實甚肖真形，故魔術家往往利用琢磨極佳而不可見之鏡，以引起人之惑視 (illusion)，然因鏡中之影，左右顛倒，故魔術家永不令有字之紙或鐘面，得於鏡中望見之。

442. 平面鏡之用途。家用之鏡，優良者係用玻璃板背敷銀質一薄層而成。光之自玻璃表面反射者，僅爲一小部分；其餘之大部分，皆自金屬之裏面反射。公共之室中，有時以巨大之玻璃板鏡，嵌於牆壁之上，使人起寬敞之感。

在科學儀器中，旋轉之部分上往往附一極小之鏡，例如電流計中之動圈即是。此種小鏡，其使反射光柱轉

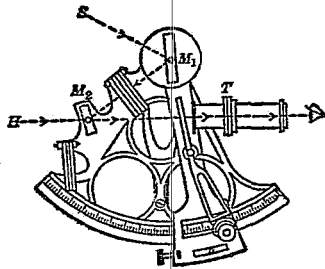


圖 480 測量及航海所用測量角度之六分儀。

過之角度，二倍於鏡所自轉者。試證明之。

航海家用以測太陽高度(altitude)之六分儀(sextant, 如圖 480), 其上有一轉鏡  $M_1$ , 爲此器之主要部分。另有一平面鏡  $M_2$ , 連於架上, 此鏡僅有一半塗銀; 其不塗銀之一半, 可以透光。一望遠鏡  $T$  連於架上者, 正對一半塗銀之鏡。圓上所刻之分度, 可以直接表示所測角之度數。決定太陽在地平以上之高度時, 轉動  $M_1$  鏡, 直至見太陽之像, 由  $M_1$  與  $M_2$  中二次反射, 而與自定鏡  $M_2$  之不塗銀部分, 直接望見地平之像相合而止。

### 問答題與計算題

1. 用相似於圖 468 之圖, 表示日蝕時太陽, 地球以及月球之相關位置。
2. 一電燈以長 4 呎之橫臂連於一竿。若此竿之粗細上下一致, 則其在地上之影, 最潤之部分爲何? 說明其理。
3. 大小如門之鏡, 琢磨甚精者, 往往誤爲通入他室之門口者, 何故?
4. 若一光線投射於平面鏡上時, 光線與鏡面所成之角爲  $25^\circ$ , 則投射光線與反射光線間之角爲何?
5. 若將第 4 題中之鏡面轉過  $1^\circ$ , 使投射光線與鏡面所成之角爲  $26^\circ$ , 則反射光線轉過若干度?
6. 假定投射角等於反射角, 試用幾何之理, 證明物體與其像, 離平面鏡之反射表面等遠。
7. 一婦人身長 5 呎 6 吋, 立於一直立之平面鏡前, 離鏡 4 呎之處而見其全身之像。問用以達此目的之鏡, 最長者須長若干? 試作一圖以證明之。
8. 置二鏡使其互成直角, 而以一物體置於此二鏡之前, 問可見若干之像? 試作一圖以示像之位置。
9. 平行之二鏡, 可生無窮多之像, 皆在經過物體之直線上, 試作圖以示此事實。
10. 在鏡中望見之鐘, 似指 8 點 24 分。問實際之時刻

爲何？

11. 一長方形平面鏡，直立於桌上，其一邊長5吋，抵於桌面。在鏡前3呎之處置一燭，正對離鏡之一端2吋之點，試按比例尺作一圖，以示桌上爲反射光所照之面積。

443. 曲面鏡。 曲面鏡常成球面形；即此鏡乃球表面之一部分是也。若爲外表面之一部分，則稱爲凸鏡(convex mirror)；若爲內表面之一部分，即稱之爲凹鏡(concave mirror)。 曲面鏡係

其一部分之球，其中心稱爲曲率中心(center of curvature)，圖481中之 $C$ 點即是。連結鏡之中點 $M$ 與曲率中心 $C$ 之線 $CM$ ，稱爲主軸(principal axis)。其他任

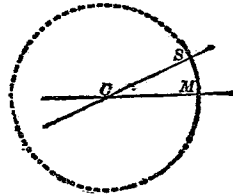


圖 481 曲面鏡之中心。

何直線之經過曲率中心者，例如 $CS$ ，稱爲副軸(secondary axis)。任何之軸，將見其皆垂直於反射表面。

444. 主焦點。

當平行於凹鏡主軸之光柱，投射於鏡面之時，爲鏡所反射之光線，皆通過或極近於單

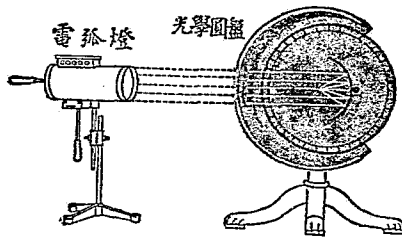


圖 482 凹鏡收斂平行光線。

獨之一點(圖 482)。此點稱為凹鏡之主焦點 (principal focus), 此點之定義, 又可述之如下, 即主焦點者, 凡平行於凹鏡主軸而近於主軸之光線, 經反射後相遇之一點也, 自主焦點至鏡面之距離, 稱為鏡之焦點距離 (focal length), 而等於其曲率半徑 (radius of curvature) 之半。

凡平行於球面凹鏡主軸之光線, 反射之後, 並不恰遇於同一之點, 光線之不能正確收斂於一點, 稱為球面收差 (spherical aberration), 祇用球之一小部分為鏡面時, 此缺點不甚顯大, 鏡之球面收差, 如圖 483 所示, 圖中可見祇有中央之光線, 反射後經過焦點  $F$ , 而投射於鏡邊近傍之光線, 顯見其必反射於  $F$  之右。

弧燈之發散光線, 有時必須使其盡行反射於一方向內, 例如探海燈然, 以弧燈置於球面凹鏡之主焦點, 粗可達此目的, 蓋斯時光線所取之路徑, 固

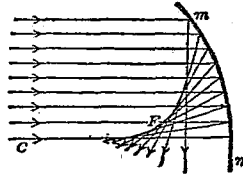


圖 483 球面凹鏡中之收差。

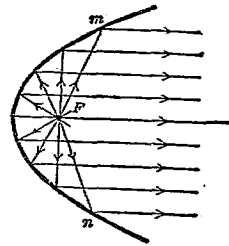


圖 484 拋物面鏡。

同於前，然其方向則相反矣。惟通常用拋物面鏡(parabolic mirror, 圖 484) 以除球面收差之缺點。

445. 凹鏡之用處。 檢察鏡 (ophthalmoscope) 即係一凹鏡，其中央有一小孔。醫生用此器具，可將燈光反射入於病

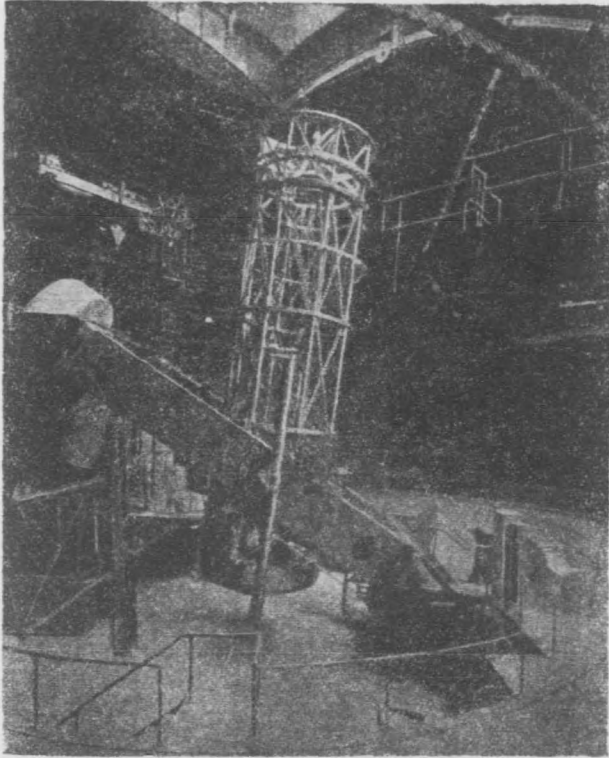


圖 485 加利福尼亞，帕薩第那城，威爾遜山天文臺之反射望遠鏡  
其凹面鏡之直徑為100吋。



者之目,鼻,及喉,而在同時可由小孔中窺察所照之腔。

有一種望遠鏡 (telescope), 稱為反射望遠鏡 (reflecting telescope) 者 (圖 485), 係由一長管其一端裝一凹鏡而成, 此鏡中即生一遠處物體之像。管之唯一用處, 為在其開口一端之近傍, 支持一目鏡 (eye-piece) 即廓大鏡 (manifying glass), 所現之象, 由此鏡窺之, 即易考察。

在複顯微鏡 (compound microscope) 中, 係將來自窗外之光, 或燈光, 用凹鏡集中於所欲考察之物體之上。

凹鏡在探海燈 (search light) 及頭燈 (head light) 中, 為用亦廣。

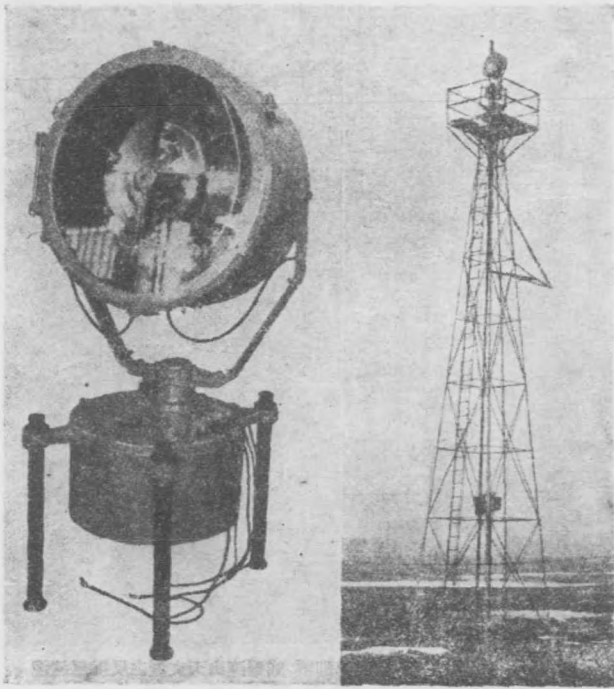


圖 486 空路轉動探望燈, 左端為24英寸之空路燈, 右端為燈塔。

446. 凸鏡。當一束之光，平行於凸鏡之主軸者，投射於鏡面(圖 487)時，為鏡面所反射之光線，似由鏡後一點  $F$  而來。此點介於曲率中心  $C$  及鏡面之中央，稱為虛焦點 (virtual focus)，因光線並非實際通過此點，不過望之似由此點發出而已。就凹鏡而論，光線確皆通過焦點  $F$ ；此可以下述事實證明之，即焦點距離頗短之大凹鏡，集中太陽之輻射能多，以致紙或木片若置於  $F$  點，即能着火自燃。此種焦點方為實焦點 (real focus) 也。

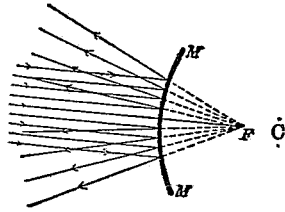


圖 487 凸鏡與虛焦點。

凸鏡前任何物體之像，現於鏡後，似係直立但較原物體為小。因此之故，汽車遮風板 (wind-shields) 之旁，往往裝一小凸鏡，使駕車者能望見車後有何物追隨。

447. 像之作圖法。曲面鏡所生之像，欲研究其大小與位置，可作精密之圖，以示光線之途徑，即能知其詳情。

假定圖 488 中之  $mn$  為一凸鏡，而  $AB$  為一物體。試作垂

直於鏡面之光線  $AC$ 。此光線在  $P$  點反射，將直接循原方向而回，再作平行於主軸之光線  $AD$ 。此光線經反射後，似由  $F$  (焦點) 而去。於是  $A$  之像點  $A'$ ，必為二反射光線之交點。 $B'$  之位置，亦可用同法得之。

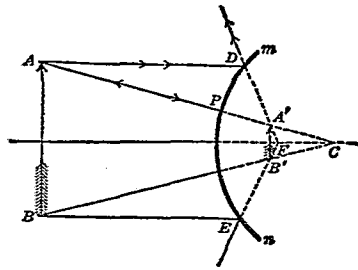


圖 488 物體  $AB$  在凸鏡  $mn$  前所成之像之作圖法。

由此圖可見凸

鏡中之像，常似在鏡後，而較實物為小。此像直立，而較實物離鏡為近，且常係虛像。是以磨光之球體中，能現人面之虛像，且常正立而較小。

假定  $mn$  (圖 489) 為一凹鏡，其曲率中心為  $C$ 。設  $AB$  為一物體，置於曲率中心以外。欲決定像之位置，可求自  $A$  發出二光線之迹。設  $AP$  為此種光線之一，經過  $C$  點者，則此光線將依垂直方向投射於鏡，而沿  $PC$  線

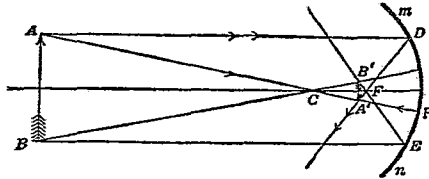
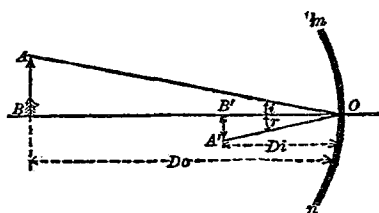


圖 489 物體  $AB$  在凹鏡  $mn$  中之實像  $A'B'$  之作圖法。

直接反射以回。又設自  $A$  發出之他光線為  $AD$ ，平行於軸，則經反射以後，即將通過焦點  $F$ 。二反射光線之交點  $A'$ ，即為  $A$  之像。仿此可決定  $B$  之像  $B'$  之地位；故矢  $AB$  之像為矢  $A'B'$ 。

當物體在曲率中心以外時，將見其像係倒立者，且在鏡之前面，因自  $A$  發出之光線，確皆經過  $A'$ ，故所成者係實像。

**448. 實像之大小。** 今試作光線  $AO$  及其反射光線  $OA'$  (圖 490)。由反射定律，投射角  $i$  等於反射角  $r$ 。故直角三角形  $AOB$  與  $A'OB'$  相似，而其對應邊成比例。即

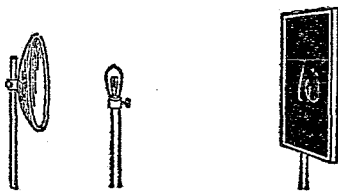


$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{B'O}{BO} = \frac{Di}{Do}$$

圖 490 物體  $AB$  之大小，對於實像  $A'B'$  大小之比，等於  $Do$  對於  $Di$  之比。

像之大小對於物體大小之比，同於像至鏡之距離對於物體至鏡之比。

**449. 共軛焦點。** 在圖 489 中，已見當  $A$  為物體之一點時，像點在  $A'$ 。但若  $A'$  為物點時，像點必在  $A$ ；蓋光線將依相反之方向，而取同一之路徑。例如一燈若置於  $AB$  處，則一倒立而較小之像，將現於置於  $A'B'$  處之屏上；又若此燈置於  $A'B'$  處，即有倒立而較大之像，現於置於  $AB$  處之屏上(圖 489)。



兩點所在之位置，

圖 491 凹鏡之共軛焦點。

若能使發自此點之光線,集中於他點,則此二點稱為共軛焦點 (conjugate foci). 例如圖 491 之燈與屏,即在如是之二點,故係共軛焦點.

450. 凹鏡中之虛像. 適已見及當物體在曲率中心以外時,其像係在主焦點  $F$  與曲率中心  $C$  之間,又當物體在  $F$  與  $C$  之間時,其像係在  $C$  之外. 就此二種情形而論,所成者皆為實像故當物體在主焦點  $F$  以外時,鏡所造成之像常為實像.

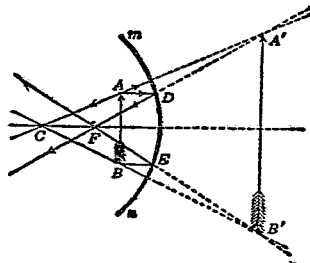


圖 492 物體  $AB$  在凹鏡  $mn$  中所成虛像  $A'B'$  之作圖.

然當物體置於主焦點以內時,即在  $F$  與鏡之間,如圖 493 所示,則像即在鏡後,直立,放大,且為虛像.

此以幾何方法示之,可如前求自  $A$  點發出之二光線之迹,其一平行於軸,反射後經過  $F$  點,又一垂直於鏡面,反射後循原路而回,經過  $C$  點. 此二光線反射後皆向外發散,必須向後延長,始能求得交點  $A'$ .  $A'$  係  $A$  之虛像,因自  $A$  而發之光線,實際上並不經過  $A'$ .

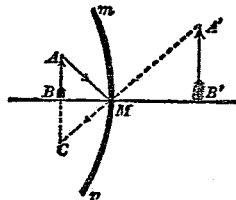


圖 493 物體  $AB$  及其虛像  $A'B'$  之大小.

451. 虛像之大小. 因凡

自  $A$  發出之光線(圖 493), 反射後似由  $A'$  而來, 故自  $A$  至鏡之中央  $M$  點之光線, 反射後將取  $A'MC$  之方向. 投射角既與反射角相等, 則  $\angle AMB = \angle BMC$  角.

但  $\angle MB'A$  與  $\angle BMC$  爲對頂角而相等, 故

$$\angle AMB = \angle MB'A.$$

是以直角三角形  $AMB$  相似於直角三角形  $A'MB'$ , 而有

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{B'M}{BM}.$$

故此情形而論, 像之大小對於實物大小之比, 亦等於像之距離對於物體距離之比, 與前相同.

452. 鏡之公式. 由實驗知

$$\frac{1}{\text{實物距離}} + \frac{1}{\text{像之距離}} = \frac{1}{\text{焦點距離}},$$

$$\text{或 } \frac{1}{D_o} + \frac{1}{D_i} = \frac{1}{f}.$$

由此方程式, 可得實物至鏡之距離, 像至鏡之距離, 以及焦點距離三者間有用之關係. 此三量中若有二量已知, 即可計算第三量.

此方程式, 可以證明其兼合於凹鏡及凸鏡. 實物距離  $D_o$ , 常取爲正數.  $D_i$  之值算得爲正數時, 像係實像, 爲負數時, 即得虛像. 焦點距離  $f$  對於凹鏡爲正數, 對於凸鏡爲負數.

在次章之中, 將見此同一方程式亦適用於透鏡.

### 問答題與計算題

1. 一物置於離一凹鏡 15 吋之處, 此鏡之曲率半

徑為 12 吋，問像離鏡面若干遠？此像係實像，抑係虛像，正立抑係倒立？

2. 若第 1 題中之物體長 8 吋，問像之長為若干？

3. 一燭置於離一凹鏡 10 吋之處，若其火燭之像成於離鏡 30 吋處之屏上，頗為明晰，則曲率半徑為何？

4. 一凹鏡之焦點距離為 10 吋，欲使一物體之像現於離此鏡 18 吋之處，則此物體必須置於何處？

5. 一凹鏡之曲率半徑為 12 吋，執一鉛筆置於鏡前 10 吋之處，試比較此鉛筆與其像之大小。

6. 一矢長 1 吋，置於離一凹鏡 4 吋之處，此鏡之曲率半徑為 12 吋，試求像之位置，長度，以及性質。

7. 一燈離一凹鏡 12 吋，有一實像離鏡 8 吋，若將此燈移動，使離鏡更遠 4 吋，則其像將於何處得之？

8. 當平行光線落於 (a) 凸鏡之上時，(b) 落於凹鏡之上時，試作二圖以反射光柱之形狀。

9. 若一凹鏡之曲率半徑為 12 吋，則必須置一熾熱燈於何處，始可使燈光自鏡面反射後，近於依平行線而發出？

10. 一凹鏡之焦點距離為 2 呎，一人必須立於離鏡若干遠之處，始能望見鏡中有其顏面之像，正立而二倍於本來之大小？

11. 試就凹鏡補足下表之空白：

物體之位置	像之位置	實像抑虛像	像係放大抑縮小者	像係倒立抑正立者
在 $F^*$ 之內				
在 $F$ 點				
介於 $F$ 與 $C^*$ 之間				
在 $C$ 點				
在 $C$ 之外				

\*  $F$  = 主焦點。  $C$  = 曲率中心。

## 第二十七章 提要

明度依光源距離之平方而反變。

燈之照屏以相等之明度者,其燭光正比例於燈至屏之距離之平方。(即燈愈遠,其燭光愈大。)

單位明度,即呎燭者,為自離開一呎之一燭光之燈所得之明度。

$$\text{明度(呎燭數)} = \frac{\text{燭光}}{\text{距離之平方(呎)}^2}$$

就正反射而論:

I. 投射光線,法線,以及反射光線,皆在同一平面內。

II. 反射角 = 投射角。

平面鏡:像常在鏡後,正立,為虛像,與實物同大,與實物離鏡等遠。

曲面鏡(或凹或凸)之主焦點——

定為平行於鏡軸之光線之收斂點。

其位置在鏡與曲率中心之中央。

凹鏡:

若物體在焦點以外,其像亦在焦點以外,而曲率中心則在物體與其像之間,像係倒立,且為實像。

若物體在焦點以內,則其像在鏡後,正立而為虛像。

凸鏡:

像常在鏡後,正立且為虛像。

鏡之公式(兼合於凹鏡及凸鏡):

$$\frac{1}{\text{實物距離}} + \frac{1}{\text{像之距離}} = \frac{1}{\text{焦點距離}}$$

實物距離常取為正數。

像之距離——實像之距離為正數,虛像之距離為負數。

焦點距離——對於凹鏡為正數,對於凸鏡為負數。

大小之定則(兼合於凹鏡及凸鏡):

$$\frac{\text{像之長度}}{\text{物體之長度}} = \frac{\text{像(離鏡)之距離}}{\text{物體(離鏡)之距離}}$$



## 問 答 題

1. (a)完全透明之物體,能見之否?(b)完全反射之表面,能見之否?各述其理之所在。
2. 當電燈之光自一片紅玻璃反射時,可見二像,一紅一白,試解釋此事實。
3. 如何可將鉛筆之端,置於玻璃板鏡之上,而決定板之厚薄?
4. 16 燭光與 16 呎燭之差別為何?
5. 適當之明度,係自 2 呎燭至 10 呎燭,(a)何種用途以較小之明度為宜?(b)何時須用較大之明度?
6. 電燈之像,可用(a)平面鏡投射於屏否?(b)可用凹鏡否?(c)可用凸鏡否?
7. 縫衣匠如何排列二鏡,使顧客能自見其定製衣服之背,試作一圖以示之。
8. 拋物線與圓弧二種曲線,有何差別?
9. 拋物面鏡之作用,不同於球面凹鏡者為何?
10. 一人望鏡中,見其自己容顏之像,倒立而甚小。問此人所對者為何種之鏡?
11. 一人向上伸其一指,置於一曲面鏡前,見其像倒立。問(a)此人所見者為實像抑虛像?(b)此鏡係凸鏡抑係凹鏡?
12. 一發光點自極遠之處,沿一凹鏡之軸,向鏡面移動,試述其像之位置及性質之變化。
13. 在汽車上用凸鏡以反射路旁之景,其特別之優點為何?

## 實 用 題

1. 明度之測定。試用呎燭計測定汝家中書桌上,膳桌上,以及起坐間中桌上之明度。將所得之結果,與光學工程師所定者作一比較。(參閱呎燭計所附之說明書。)

2. 六分儀。若能借得一六分儀，則由觀察午刻太陽高度以決一地緯度之法，試學習之。用六分儀及三角函數表，即能計算池沼之寬，飛機之高，以及其他難於直接測量之距離。

3. 汽車頭燈。在汝所居之處，何種電燈，為法定用於頭燈者？決定頭燈曲面鏡之焦點（圖494），由實驗以求置燈絲於焦點以前之效應。作圖以示此效應之理由。

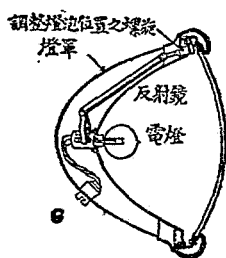


圖 494 有拋物面鏡之汽車頭燈。

## 第二十八章

## 透鏡與光學器械

屈折—屈折之定律—光之速率—波頭—屈折之解釋—屈折率表以速率之比—全反射—三稜鏡—透鏡—透鏡方程式—大小之定則—透鏡之缺點。  
 照相器—目—目之缺點—映畫器—活動影戲—有聲活動影戲—光電瓶—廓大鏡—顯微鏡—望遠鏡—正像望遠鏡—觀劇鏡—三稜雙眼鏡。

453. 光學器械。人目爲有名之光學儀器中最奇之一種，但人目往往有缺點，必須加以改正，始能明視；或云加以幫助，較爲確當，蓋有病之眼，鮮能用眼鏡治愈之也，卽爲健康之眼，亦有其視物之限度，有多種光學儀器，已經發明，可助人目以視過遠之物，或過小而爲尋常目力所不能察見之物，最後尙有多種器械，例如照相器，大幻燈器(stereopticon)，以及活動影戲機，可使人見遠離實際所在之處或久隔實際發生之時之景物，凡此種種發明之具，能使人明視，遠視，以及在不同之時刻得見以前之事物者，皆稱爲光學器械(optical instrument)。

所有此種器械，可見其中皆有透鏡(lens)，且有

兼用三稜鏡 (prism) 者。但欲了解光學器械之作用，吾人必須先研究光穿透鏡及稜鏡而過之通路；即須先研究光之屈折 (refraction) 是也。

### 屈 折

454. 水中之屈折。當一棒斜植於水中時，可見此棒似齊水面而折為二段，其在水中之一部分，似向上屈 (圖 495)。水槽之底，望之常似較其實實際上離水面為近。魚游水中，望之似較實際上所在之處為高，故若欲用魚叉刺之，須以魚像之下方為

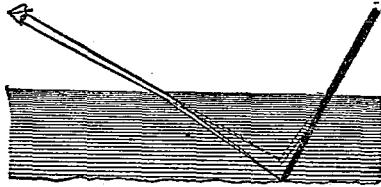


圖 495 一部分在水中之棒，似斷為二段。

的。凡此種種現象，皆由光自水中入空氣時，生屈折作用而來。吾人曾謂光之進行，係循直線，但此一性質，僅在單獨之物質中為然。普遍言之，光自一物質通入密度不同之他物質時，即在分界之表面屈折。

455. 屈折之定律。欲測定光柱自水通入空氣之中，屈折若干度，可實行下述實驗。

取一瓶，使其直立於水槽中，瓶上附木條二，用大扁頭釘 (thumb-tack, 便於用拇指壓入者) 連於 O 點 (圖 496)。若以水

充槽，然後沿  $AO$  線下望，即見在水面下之部分  $OBC$  似向上屈。若將露於水面以外之部分  $AO$  折轉，直至全線  $AOBC$  似成直線而止，即可得一模型，以示光行於水及空氣中之路徑。今可將板由水中取出，而在板上作水線及  $AM$  與  $CN$  二垂線。

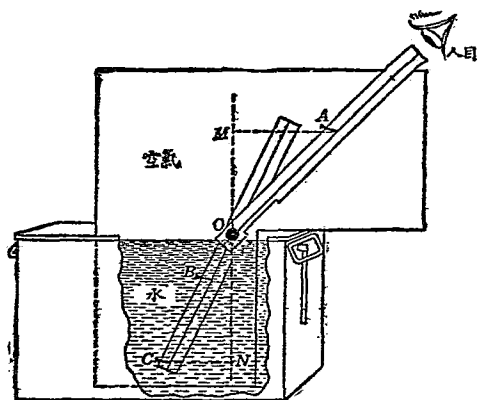


圖 496 光柱斜離水面之際即行屈折。

由此實驗，可見光柱由水中經過而入於空氣時，離開垂線而屈折。

光柱循  $BO$  之方向 (圖 497) 自空氣通入水中時，亦可知其係依  $OA$  之方向而屈折。即光柱自空氣通入水中時，係向垂線而屈折是也。此時  $BO$  線代表投射光線 (incident ray)，而  $OA$  線則代表屈折光線 (refracted ray)，介於投射光線與法線間之角  $COB$ ，

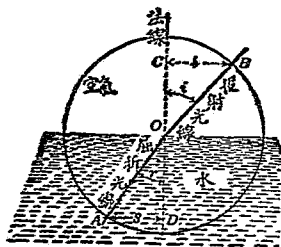


圖 497 光由空氣斜行入水之屈折。

亦稱投射角(angle of incident), 而夾於屈折光線及法線間之角  $AOD$ , 則稱屈折角(angle of refraction).

**456. 屈折率.** 欲顯示投射角與屈折角間之關係, 可在投射光線及屈折光線上, 截取相等之距離如  $AO=BO$ , 而作兩垂線  $AD$  與  $BC$  至法線, 吾人將察知不問投射角之大小如何,  $BC$  線常較  $AD$  為大, 且為  $AD$  之定倍數例如就圖 497 所示者而論,  $BC$  或長 4 吋, 而  $AD$  或長 3 吋, 於是  $BC/AD$  之比即為  $\frac{4}{3}$ , 或 1.33. 此比稱爲屈折率(index of refraction). 由實驗, 知其對於同一兩種物質, 不問投射角如何, 常相同.

此比又可表以投射角與屈折角之“正弦(sine)”. 正弦乃三角學中之名詞, 用以表示直角三角形中, 銳角之對邊對於斜邊之比者; 是以投射角  $i$  之正弦為  $BC/BO$ , 而屈折角  $r$  之正弦為  $AD/AO$ . 因由作圖知  $AO=BO$ , 故

$$\frac{\angle i \text{ 之 正 弦 }}{\angle r \text{ 之 正 弦 }} = \frac{BC/BO}{AD/AO} = \frac{BC}{AD} = \text{屈折率}$$

#### 457. 光經玻璃之屈折.

吾人又可顯示光柱自空氣通入玻璃時, 亦呈屈折現象.

取半圓形之玻璃一塊, 附於光盤(optical disk)之上, 如圖 498 所示. 將見射於其上之光線, 一部分為玻璃所反射, 一若射於鏡上然, 而另一部分則當其透過玻璃時向垂線屈折. 又將見投射角等於反射角, 但大於

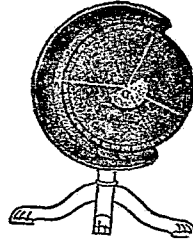


圖 498 光線一部分為玻璃所反射, 一部分經玻璃而屈折.

屈折角。自盤上所見投射光線與屈折光線之端點，至法線之垂直距離，可測之以計算關於玻璃與空氣之屈折率。

平常之冕玻璃(crown glass)，使光線所起之屈折，小於鉛玻璃(flint glass)，即其屈折率較小是也。鉛玻璃之密度較大，其對於空氣之屈折率約為 1.7；而冕玻璃對於空氣之屈折率約為 1.5。

普遍言之，光自一物質斜行而入於他物質時，例如自空氣入玻璃，自金剛鑽至空氣，常起曲折，甚或自真空至空氣，或自此一空氣層至密度不同之他一空氣層亦然。例如火爐上部近傍之各物，望之似發閃光，又似在跳躍者，即因通過方在上昇之熱空氣柱之光，起屈折之故也。普遍言之，當光斜入密度較大之物質，必向垂直線而屈折。

458. 日光之屈折。有一有趣味之光之屈折現象，發生於地球週圍之大氣層中。空氣在地球表面以上，僅擴張至數哩，且愈遠愈稀薄；以外即為空無所有之空間。故當日光之光線，例如圖 499 中之  $SO$ ，斜穿空氣而來時，自彼層以至此層，漸向垂直法線接近而屈折；其結果則目在  $O$  處，不能見太陽之在其真實地位，祇見太陽之光，似沿  $OS'$  之方向而來。因此之

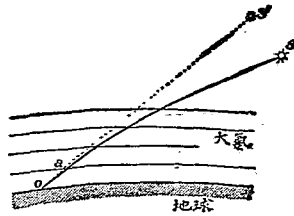


圖 499 光經地球上之大氣而屈折。





由天文臺，重行決定光之速率。圖 501 所示者，即係邁氏實驗中隱含之原理。邁氏測定八角轉鏡旋轉之適當速率，使其轉過八分之一時，光適行至遠處一鏡而折回。邁氏求得光在真空中之速率為每秒 299,769 杆。

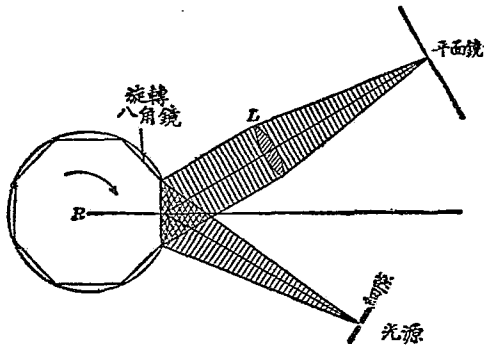


圖 501 邁克爾孫測定光速之法。

此速率既如是巨大，無怪古時之實驗家不能決定之。在地球上人所能窮其目力望見之遠處，光質祇須 0.001 秒即可達。光行於空氣之中，較在真空中稍緩。在較密之物質中，例如水與玻璃，則光行更緩。

460. 光波。光之傳播於空間，亦想像其係藉一串之波，正與想像音之自其源傳播於空氣中，係藉一串之波相同。當光自源點發出時，各波之球形波陵，即波頭 (wave front)，向各方依等速度而散布，而其進行方向既屬輻射之狀，自與波頭成直角。如圖 502 (a) 所示者，即係方在擴張之此種波列，圖中曲線示波頭，而

矢線則指波頭各小部分進行之方向,此等進行方向線,即前章所謂光線是也,一束之光線稱為光柱 (beam). 在“平行光柱”(圖 502 (b))中,波頭皆為平面,而光線皆為平行線。

用透鏡或曲面鏡,可使光線向稱為焦點之一

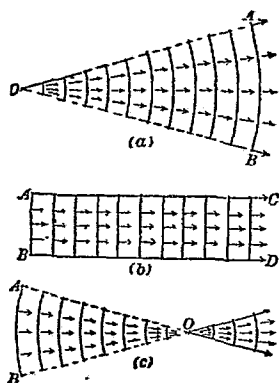


圖 502 波頭。

點收斂,在此情形之下,波頭為凹球面,愈近於焦點愈縮,如圖 502 (c) 所示。

461. 光起屈折之故. 當光柱自空氣通入水中時,其速率即有變化,欲顯示光柱如何因此變化而起屈折,命圖 503 中之平行線,代表依矢之方向進行之波頭,當波頭之邊  $B$  一入水中,立即開始緩進,而其一部分  $A$  仍在空氣之中,進行時與前同速,因此波頭之方向,遂變成  $CD$  之位置,而光柱即

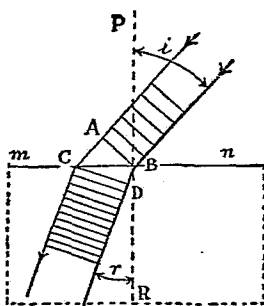


圖 503 屈折之原因。

取近於垂直線  $PR$  之方向以起屈折。

此現象可以一隊之兵，自平滑之硬田行入高低不齊之已耕之田中，所發生之情狀以喻之。兵士在高低不平之田中，進行自較在平滑之田中為緩。今在  $B$  處之兵，既較  $A$  處之兵先入不平之地，則當  $A$  處之兵行畢距離  $AC$  之際， $B$  處之兵已前行較短之距離  $AD$ 。其結果，若  $B$  不能急行，且若  $A$  不減其進行之速，則全隊即自其原位置，移入相近於垂線  $PR$  之位置。

當光柱垂直於水面而通入水中時，即不起屈折。光之入水，不論其係垂直於水面或斜交於水面，光速之變化當然相同；但屈折之現象，僅起於光在斜行入水之時。

462. 光速與屈折率。由圖 503，將見光自空氣通入水中時，其所起屈折之度，須視  $AC$  與  $BD$  兩距離間之關係而定；即須視光在空氣中之速率，及其在水中之速率兩者間之關係而定是也。在水中光行之速，雖屬不易測定，然而終獲成功。光在水中之速率，已證明其約為空氣中之四分之三。此即謂光在空氣中之速率，為水中速率之 1.33 倍是也。此數與得自水與空氣之屈折率者相同。普遍言之，

$$\text{屈折率} = \frac{\text{在空氣中之速率}}{\text{在其他物質中之速率}}$$

此可證明之如下：

由第 456 節，知  $\text{屈折率} = \frac{\sin i}{\sin r}$ 。

但  $i$  等於  $\triangle ABC$  角 (圖 503)，而  $\sin ABC = AC/BC$ ；又  $r$  等於  $BCD$  角，而  $\sin BCD = BD/BC$ 。

故  $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{AC/BC}{BD/BC} = \frac{AC}{BD} = \frac{\text{空氣中之光速}}{\text{水中之光速}} = \text{屈折率}$ 。

**463. 全反射。** 在第 454 節中，已見光柱自水或玻璃斜行而入空氣時，屈折之光線係與垂直線遠離者，例如在圖 504 中，自水面下  $o$  點依  $oa$  之方向而發之光，即循  $aa'$  之方向

而起屈折；光線  $ob$  沿  $bb'$  而屈折，而光線  $oc$  則沿  $cc'$  而屈折，在水中之投射角逐漸增大，終必達於光線  $od$ ，此光線沿  $dd'$

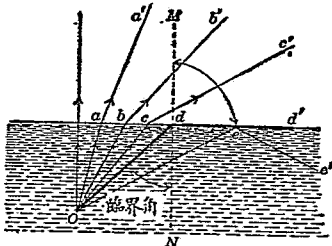


圖 504 光在水中之全反射與臨界角。

而起屈折，適掠水面而過。在光線  $od$  及法線  $NM$  間所成之角，稱為臨界角 (critical angle)。就水與空氣而言此角約為  $49^\circ$ 。若投射角大於此角，例如光線  $oe$ ，則光線即全然不能離水外出，祇能全部在  $o$  處作反射，而取  $ee'$  之方向，猶如落於磨光之金屬表面然。

臨界角者，光在較密之媒質中如欲出外，其投射

角切不可超過之角度也。

欲以實例證明全反射(total reflection)之現象,可取盛水之玻缸,中置羹匙,持近於目之上方,而向上望水面,羹匙一部分在水中所成之極亮之像,將由全反射而見之。

若有圖 505 所示之器具,則各屈折光線以及反射光線,兼及完全反射之一部分光線,其不同之路徑,皆極易研究之。

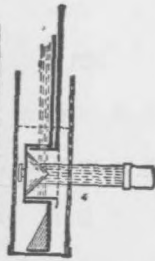
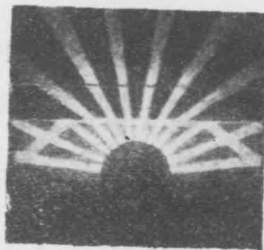


圖 505 光在水中之屈折及全反射,以及所用器具之剖面。

#### 464. 三稜鏡。

在光學器械中,往往需要極完全之反射器,為達此

目的之故,乃用各面磨光之直角三稜鏡 (right-angle prism), 設有光線  $AB$ , 投射於此種三稜鏡之一面  $XZ$ , 而與  $XZ$  成直角(圖 506), 則此光線即不受屈折之影響,而直穿玻璃以達  $YZ$  面上之一點  $B$ , 在  $B$  處與法線  $mn$  成  $45^\circ$  之角。但冕玻璃之臨界角約為  $42^\circ$ ; 故光線  $AB$  不能自玻璃出現,祇能完全循  $BC$  之方向而反射。於是又垂直投射於  $XY$  面上,出現於鏡外,一無屈折,其結果為光線折轉  $90^\circ$ , 宛如  $YZ$  處有一平面鏡然。

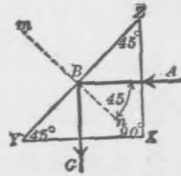


圖 506 光在直角三稜鏡中之全反射。

465. 因兩面平行之玻璃板而起之屈折。當光線(圖 507 中之  $AB$ ) 通過兩面平行之玻璃板,例如明淨之玻窗時,即在  $B$  處向法線  $BN$  而起屈折,又在  $C$  處離法線  $CM$  而起

屈折。其結果為光線  $CD$  與光線  $AB$  互相平行。因此之故，當吾人由玻璃板望任何物體時，見其地位微有移動，但其他則均仍舊觀。玻璃板極薄之時，此種地位之變易過微，不足以引起注意耳。

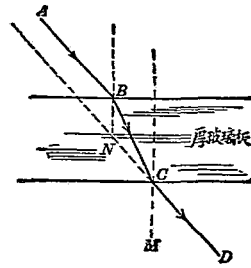


圖 507 光透過玻璃板之路徑。

466. 由三稜鏡而起之

屈折。如圖 508 所示，當光

線  $XY$  入三稜鏡  $ABC$  之一面時，即循  $YZ$  之方向而起屈折；在透出鏡外時，又依  $ZW$  之方向而屈折。是以光線  $XO$  即由其原路折至  $X'W$ 。其進行方向之全變化，以  $XO X'$  角計其量，而稱此

角為偏角 (angle of deviation)。任何物質之有二反射平面互相斜傾者，皆係三稜鏡。其角稱為三稜鏡之屈折角 (refracting angle)。

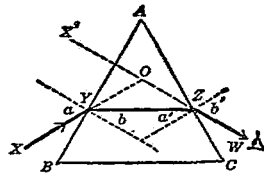


圖 508 由三稜鏡而起之光之屈折。

光線通過三稜鏡之路徑，可由作圖而得，如圖 497，先在  $Y$  處作圖，又在  $Z$  處作之。所當記憶者，光柱常向三稜鏡較闊之部分而屈折。

## 問答題與計算題

(學者須用一小量角器)

1. 用圖說明池水何以似較實際為淺。
2. 若光線自空氣通入玻璃中之投射角為  $68^\circ$ ，而屈折角為  $36^\circ$ ，試由作圖以求屈折率。
3. 某種液體之屈折率為 1.63，光自空氣入其中，投射角為  $45^\circ$ 。由作圖求液體中之屈折角。

4. 玻璃槽中之水，如何可用水平光柱，及一可以調整，使其傾斜成任何角度之小平面鏡(圖 509)，求其臨界角。

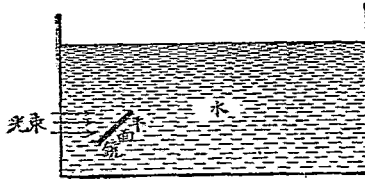


圖 509 在水中使光反射。

5. 若冕玻璃之屈折率為 1.5，試由作圖求其臨界角。

6. 若水晶之臨界角為  $40^\circ$ ，試由作圖求其屈折率。
7. 若水之屈折率為 1.33，則光在水中之速率為何?
8. 由實驗知光自空氣通入水中時，其屈折之度，較之自空氣中按相等之投射角，通入二硫化炭時為小。問光在二硫化炭中之速率，較在水中為大抑小?

9. 一三稜鏡之三角為  $20^\circ$ ， $70^\circ$ ，及  $90^\circ$ 。一光線正射於  $90^\circ$  及  $70^\circ$  二角間之面而入。此鏡之玻璃，其臨界角為  $42^\circ$ 。證明光線須在鏡內經二度反射以後，始離鏡而出。

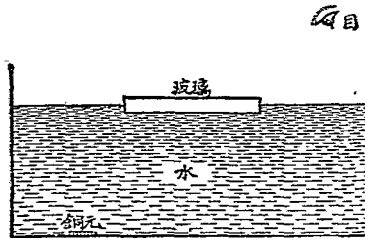


圖 510 光經水與玻璃而屈折。

10. 一銅幣在水

槽之底(圖 510), 持一厚玻璃板, 平覆於水面上, 而由玻璃望之。試用圖表示光經水, 玻璃, 以及空氣而入目之近似路徑。水之屈折率為 1.3, 而玻璃之屈折率為 1.5。

透 鏡

467. 收斂透

鏡與發散透鏡。  
透鏡(lens)者, 有磨光之球面之玻璃或其他透明物質也。通過兩球面中

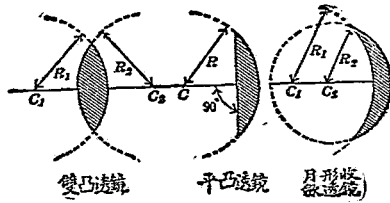


圖 511 收斂(薄邊)透鏡。

心  $C_1$  及  $C_2$  (圖 511) 之線, 稱為透鏡之主軸。

透鏡分為兩類, 一類為收斂透鏡(converging lens), 又稱“薄邊(thin-edged)”透鏡, 如圖 511 所示者是; 一類為發散透鏡(diverging lens), 又稱“厚邊(thick-edged)”透鏡, 如圖 512 所示者是。收斂透鏡之邊, 較其中心為薄。此類之普通形式, 為雙凸透鏡(double convex lens)。

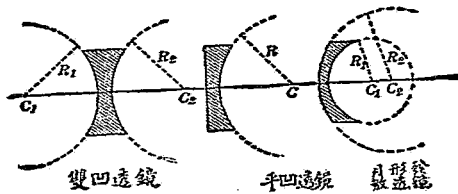


圖 512 發散(厚邊)透鏡。



發散透鏡之邊較中心爲厚，雙凹透鏡 (double concave lens) 爲此類中最普通之透鏡。當光線通過透鏡時，常向透鏡較厚之部分而屈折，正與在三稜鏡中同，此應牢憶勿忘。

**468. 凸透鏡之作用。** 若取雙凸透鏡一面，持向太陽 (或其他平行光線之光源)，使日光沿其主軸而來，則見光線穿鏡而屈折，幾收斂於一點。若持紙片置於此處，即有一雖小而極亮之日像，成於紙上，且紙片迅即燒焦。此點亦稱焦點，透鏡愈厚，則離鏡愈近。

此處可用光盤以顯凸透鏡對於平行光線之作用，如圖 513 所示。

平行於凸透鏡主軸之光線，收斂於其處之一點，稱爲凸透鏡之主焦點 (principal focus)。簡單之透鏡 (即雙凸透鏡)，其兩側各有一主焦點，且此二點離透鏡等遠。自透鏡至任一主焦點之距離，稱爲透鏡之焦點距離 (focal length)。

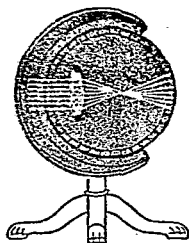


圖 513 用光盤以顯收斂透鏡之作用。

因投射光線與其對應之屈折光線，可以顛倒相通，從而知置光源於主焦點，必將送其光線經過透鏡，使成平行線而射出。

平常之雙凸透鏡，其兩球面之曲率相同，而用屈折率約爲 1.5 之玻璃製成者，其焦點距離等於曲率半徑，若一面爲平面，則其焦點距離爲曲率半徑之兩倍。

**469. 凸透鏡使波頭發生之變化。** 在第 462 節

中,早已知光行於玻璃中,較之在空氣中為緩,自太陽或遠處物體而來之光波,投射於透鏡時幾為平面之波。圖 514 中所作橫越光柱之線,即示方在前進之波,其次第

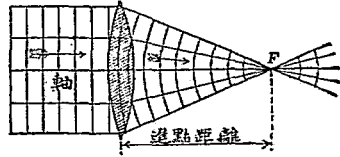


圖 514 收斂透鏡對於平面波頭之作用。

之位置及形狀,此等波之中央部分,於經過透鏡之際,將見其較外面之部分為遲緩,故光波於離透鏡而出之時,其波頭成凹面之狀,因光波前行之方向,係與波頭成直角,故光皆引至焦點,但經過焦點之後,諸波之波頭又成凸面矣。

**470. 透鏡之造像。** 若置一發光之物體,例如電燈,近於一凸透鏡,惟在其主焦點以外,則自物體發出之光線,將引至透鏡彼側之焦點,而燈像可見之於置於此點之屏上,頗為明晰(圖 515),所成之像,將見其係倒立者,且較物體為大。若將物體(即燈)與像(即屏)之地位交換(或將透鏡移近於屏,使物體距離與像之距離,彼此交換,結果亦等),即得透鏡之另一位置,以造一清晰之倒像,但

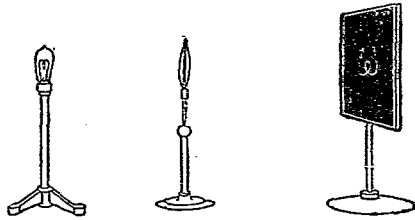


圖 515 以凸透鏡在屏上生一實像。

此像較物體爲小,若將屏移動,使離燈更遠,則又可求得透鏡之二位置,使明晰之像成於屏上。

在透鏡對側之二點,其所處之地位,若能使在一點之物體,生一像於他點,則此二點稱爲共軛焦點。

471. 凸透鏡之方程式。物體及其由透鏡所成之像,其相對之位置,可由透鏡之焦點距離決定之物體至透鏡之距離,其像至鏡之距離,以及焦點距離,此三者間之關係(當透鏡甚薄時),可由爲曲面鏡(第452節)而立之同一方程式得之如下:

$$\frac{1}{\text{物體距離}} + \frac{1}{\text{像之距離}} = \frac{1}{\text{焦點距離}}$$

或 
$$\frac{1}{D_o} + \frac{1}{D_i} = \frac{1}{f}$$

472. 透鏡方程式之討論。若物體離透鏡甚遠,以致自物體任何點射至透鏡各處之光線,幾相平行,則像即成於 $F$ 點;蓋 $D_o$ 既係極大,則 $\frac{1}{D_o}$ 即近於零;因此得 $D_i=f$ 也(圖516)。

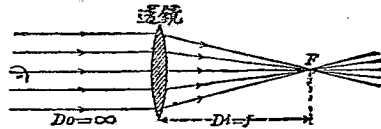


圖 516 遠處物體之像成於 $F$ 。

若使物體移近透鏡,則像即遠離透鏡。當 $D_o=2f$ 時,亦必

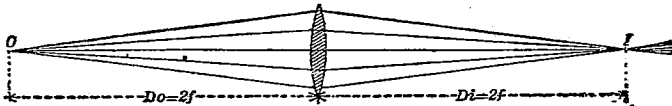


圖 517 像與物體離鏡同遠,試比較像與物體之大小。

$D_i = 2f$ , 如圖 517 所示者是也。

若使物體更向透鏡接近, 則像即更自透鏡遠離, 直至物體在主焦點  $F$  處時, 像之距離即變為無窮大, 而自透鏡射出之光線, 遂相平行(圖 518)。

若將物體更向透鏡移近, 至於焦點以內, 則在彼側之光線即行發散, 一似由透鏡後之焦點  $I$  而來者(圖 519), 在此時公式中之  $D_i$  為負數, 負數之意, 即謂像在透鏡之後, 即與物體在透鏡之同側是也。

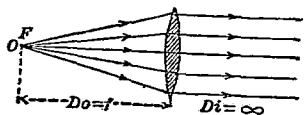


圖 518 物體在  $F$ , 光線平行。

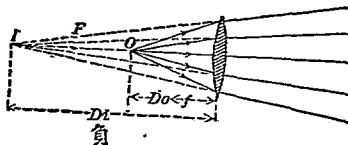


圖 519 物體在  $F$  內, 成虛像。

473. 透鏡所造之像之作圖法。透鏡所造之像, 以幾何方法作其圖, 可指明其大小與地位。作圖之法, 與用於球面鏡者(第 447 節)相同。

若描繪自物體任何點發出之二光線而求其交點, 即得像之對應點之位置。例如在圖 520 中, 自  $A$

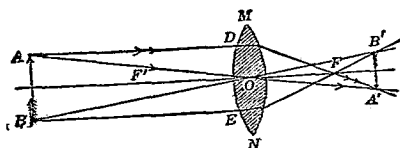


圖 520 物體及其實像之大小。

發出之光線平行於主軸者, 經透鏡而屈折之後, 必通過主焦點  $F'$ 。自  $A$  發出之另一光線, 經過透鏡中心者, 其方向不偏, 此二光線相交之點  $A'$  即為  $A$  點之像。於是由相似三角形, 立見

$$\frac{\text{像之長度}}{\text{物體長度}} = \frac{\text{像至透鏡之距離}}{\text{物體至透鏡之距離}}$$

像長對於物長之比, 稱為線廓大率(linear magnification)。

在圖 520 中, 物體  $AB$  係在凸透鏡之主焦點以外, 而其像  $A'B'$  為倒立之實像, 且在此情形之下, 較小於物體。

在圖521中,物體 $AB$ 介於主焦點 $F$ 與透鏡之間,其像 $A'B'$ 係正立之虛像,較物體為大,且祇能由透鏡中窺見之,實像可以投射於屏上,虛像則不能。

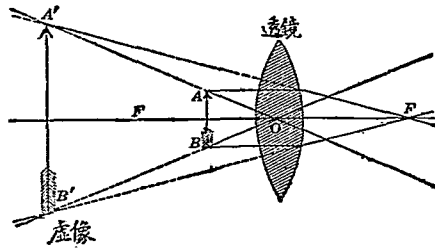


圖 521 物體 $AB$ 及其虛像之大小。

474. 凹透鏡中之像。當一束平行於主軸之光線經過凹透鏡時,即成為發散之光線而自透鏡出現,且似來自稱為虛焦點之一點。

凹透鏡之此種發散作用,可用光盤證明之,如圖522所示。

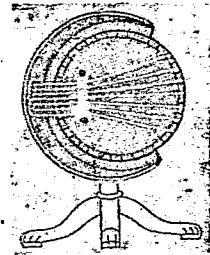


圖 522 用光盤以顯發散透鏡之作用。

欲解釋此現象,祇須幻想有一串之平面波,方射於凹透鏡上,因凹透鏡之中心較邊緣為薄,故波之中部為透鏡所延緩之時間,較其四邊為少,於是離透鏡而出之波頭,遂為凸球面,而成一發散之光錐,宛似來自虛焦點者然。

圖523所示者,為作凹透鏡中之像及定其位置之幾何方法。將見此像宛然如與物體同在透鏡之一側,且係正立之虛

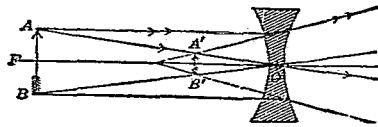


圖 523 凹透鏡所造虛像之作圖法。

像較物體爲小。透鏡方程式應用於凹透鏡時，焦點距離常視之爲負數；故凹透鏡往往稱之爲負透鏡 (minus (-) lens)，而凸透鏡則稱之爲正透鏡 (positive (+) lens)。

**475. 透鏡造像之缺點。** 第 520 圖之作法中，係假定凡自物體一點而來之光線，確由透鏡使其屈折至一點。但就事實而察之，則投射於透鏡外緣之光線，其屈折之度，較大於落在透鏡中部者，故其所至之焦點，較近於透鏡。此現象稱爲球面收差。

此事證之頗易，祇須用平常映畫器 (參閱第 481 節) 之收斂透鏡，造一電燈之像於遠處之屏上即可。所造之像，將見其模糊不清。但若將透鏡遮蔽，僅露其中部，則像即輪廓顯明。試將透鏡遮蔽，僅露一環形之帶，離中心等遠者，而觀其效應。用此環狀之帶時，透鏡應如何移動，始能得分明之像？

球面收差之結果，使所成之像模糊不清，且改變其形狀。若用光圈 (diaphragm, 或 stop) 將外圍之光線遮斷，像即較爲清晰；但同時其光明則減退。

透鏡之此種幾何理論，其全部祇適用於極薄之透鏡，且限於光之經過透鏡時，可假定其方向不與透鏡之軸斜成大角。在實用方面，幾常用複合之透鏡以代簡單之透鏡，其複合之目的，在於使一透鏡之缺點，可爲他透鏡之缺點所補償。

## 問答題與計算題

1. 在何種情況之下,雙凸透鏡可生(a)實像? (b)虛像? (c)倒像?
2. 一凸透鏡其焦點距離為 16 吋,當物體置於離此透鏡 10 呎, 50 吋,以及 10 吋之處時,其各次所成之像之地位與性質如何,試一求之。
3. 一燈置於離一透鏡 60 吋之處,在透鏡他側離開 20 吋處之屏上,成一清楚之像,求此透鏡之焦點距離。
4. 一雙凸透鏡用作讀書鏡(reading glass),其焦點距離為 15 吋,而持之離書 10 吋,問像至鏡之距離為何?
5. 第 4 題中所成之像,其長對於物體長度之比為何?
6. 若由雙凸透鏡所成之像,與物體同大,試用透鏡方程式,證明像至鏡之距離,為焦點距離之二倍。
7. 雙凸透鏡所造之虛像,常較實物為大,試用光線之圖解釋此一事實。
8. 一雙凸透鏡,其焦點距離為 8 吋。一物體置於離此透鏡 6 吋之處。問(a)像離透鏡若干遠?(b)此像與物體比較,大小若何?(c)像係正立者,抑係倒立者?為實像抑為虛像?
9. 一物體離一透鏡 30 吋,而其像則離鏡 3 吋,且與物體在透鏡之同側,此透鏡係凸透鏡抑為凹透鏡?其焦點距離為何?
10. 用一焦點距離為 10 吋之雙凸透鏡,試求一電筒(flash-light)燈泡之地位,可使(a)生一實像大如燈泡之二倍者,(b)生一虛像大如燈泡之二倍者。
11. 若有一光源在(a)雙凸透鏡之主焦點,(b)主焦點與透鏡之間,試用圖表示光柱經過透鏡後之形狀。
12. 一電燈離一屏 4 呎。若將一透鏡置於離燈 1 呎之處,可造此燈之像於屏上,則透鏡之他一位置,亦可使屏上現一燈像者,在於何處?比較此二像之高度?

13. 一燈置於離牆 90 吋之處,在燈與牆之間,有一凸透鏡,其所在之地位,可使牆上現一燈像,3 倍於燈。問此透鏡之焦點距離為何?

### 光學器械

476. 照相器. 照相器(photographic camera)不過一不漏光之箱(圖 524),其一端有一收斂透鏡,裝配合宜,可使箱外之人物風景,成一像於他端之“感光”硬片(“sensitized” plate),或軟片(film)之上,此感光片係由銀化合物敷於玻璃片或假象牙片(軟片)上而成,光之通過透鏡,准歷一定之時間,其久暫由千分之一秒以至數分,須視透鏡之大小,所欲照相之物體之明度,以及感光片之“感光率”(speed)而定,感光片上之像初不能見,須浸之於稱為顯像液(developer)之化學藥品混合物中,始現。

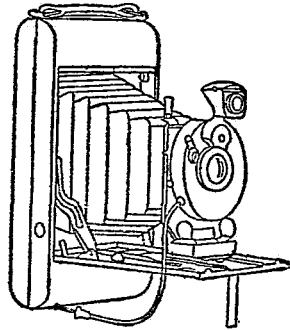


圖 524 摺疊袖珍照相器。

欲限制簡單透鏡之球面收差,常在透鏡之前遮一光圈,以限制光柱之大小,光圈收小時,所生之像極為明晰,但露光必須較久,以消色透鏡(achromatic lens)



兩枚,前後正對,中間隔以光圈,即可用以攝取疾動物體清晰之快相 (snap shot). 感光片之地位,必須為物體所占地位之共軛焦點,像生於其上始能清晰,故照相器上常附有可伸縮之“韃(bellows)”,以便就距離不同之物體而“對光(focus)”。

477. 眼. 人類之眼(圖 525),本為一小照相器,前有透鏡,後有感光軟片。

眼有卓越之優點,為其他任何照相器所萬不能及,因其能將各種畫像,不絕攝於同一軟片之上,同時立用一種尚未探悉之神經中

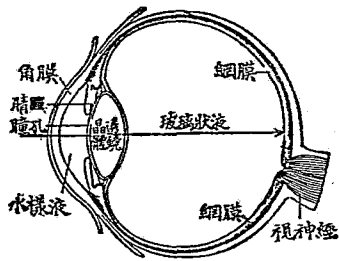


圖 525 人眼之剖面。

之化學的或電的方法,以“顯其像”,且幾於同時立將結果由“私設之電線(private wire)”,即視神經(optical nerve)傳達於“總部(headquarter)”,即腦。

眼之構造,如圖 525 所示. 外層有一角質之膜稱為角膜 (cornea), 其中包含一種水狀之液體,稱為水樣液 (aqueous humor). 又有一可以收放之光圈,稱為睛簾 (iris, 又稱虹彩), 以及一晶體透鏡 (crystalline

(lens),此透鏡之屈折率,略較其前之水樣液,以及其後之同樣液體稱為玻璃體 (vitreous humor) 者為大,再後即為神經層,稱為網膜(retina),其作用如感光片。

有當注意者,眼之收斂能力,其大部分不在晶體透鏡中,係來自角膜之前面。人在水底潛泳時,見物不清者,即因此故也。眼中之水樣液與眼外之水,極相近似,以致光射於角膜,屈折甚微,或竟無之;而晶體自身,無充足之能力,使光集於網膜上清晰之焦點。

478. 目光之校準。若使一物體移近照相器,則感光片與透鏡間之距離必須增加,否則必須以較凸之透鏡,即焦點距離較短者,易原透鏡,始能得分明之像。此二方法,皆屬可行,而眼則擇其第二種,其使自身適應於遠近不同之物體也,不由於移動網膜,惟由於變更晶體透鏡之焦點距離。當眼之肌肉舒張之時,其透鏡之形狀,常能使極遠之物體,其光線明集於網膜之上。當欲注視近處物體時,晶體透鏡週圍之環狀肌肉,即收縮而使透鏡之凸度增加,俾可在網膜上生一清楚像。眼之對於遠近不同之物體,其透鏡所具此種校準目光之能力,稱為調節 (accommodation)。人常謂物體持於離眼約 10 吋 (25 釐) 之處,視之最明。此不過謂人之可使物體生一鮮明之像於網膜上,物體離眼最近約為 10 吋而已。因最短之距離,可生最大之像,故於欲細察一物時,恆不自覺而持物近眼約 10 吋也。

479. 眼之缺點。在近視眼 (short-sighted eye) 中,遠處物體之像,係成於網膜之前(在圖 526 中之 A 處)。此或由於晶體透鏡太凸之故,或由眼球 (eyeball) 之成卵形所致。近視之人,必須移物近於其目,始能明視

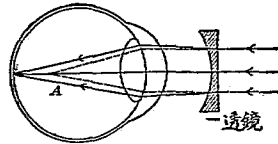


圖 526 近視眼。

之。欲校正近視者之目光，須用凹透鏡製成之眼鏡。

在遠視眼(far-sighted eye)中，相距不甚近之物體，其像係成於網膜之後(在圖 527 之 B 處。)此因晶體透鏡太扁，或眼球之長度太短之故。遠視之人欲視物清晰，必須置物於遠處。校正遠視眼之目光，可用凸透鏡。老年之人，其眼之透鏡失其調節能力，故須用一種雙焦點鏡(bifocal lens)，此鏡係由兩部分所成，上半可用以視遠處之物，而下半可用以讀書閱報。

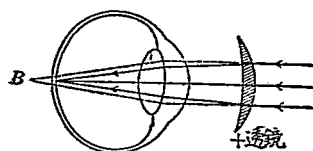


圖 527 遠視眼。

尙有一種眼之缺點，稱為散光(astigmatism)。當眼之透鏡或角膜無真正之球面時，即生此弊。其結果則一點大光，例如星辰，視之猶如一短而明之線。圖 528 中所示之線，目有散光缺點之人視之，似非一律清晰。其在一方向內者，望之黑白分明，而與此方向成直角者，即見其模糊難辨。此缺點可用圓柱形(cylindrical)透鏡補救之。

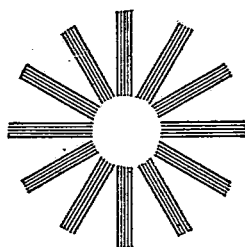


圖 528 驗散光用之線。

480. 外觀上之距離及大小。物體外觀上之大小，係視成於網膜上之像之大小而定，因此須由視角(visual angle)而定。

自圖 529，顯見物體愈近於眼，則視角愈增。例如遙望鐵路之軌道，則見距離愈遠，兩軌愈似相近。離開 100 碼之人，其像僅爲此同一人在 10 碼遠處所生之像之十分之一。吾人實際上並不因較大之像與較大之視角，而定其爲較大之人，蓋由經驗得知，

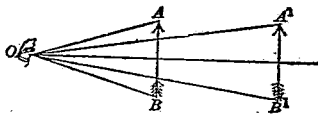


圖 529 視角。

於估量物體之大小時，須計及已知之距離也。  
 遠處之物體，於山頭清明之空氣中望之，見其往往似較實際上之距離為近，此因吾人見之，較平時清晰，可以明辨其界限故耳，此情此景，往往令人揣想此諸物體較其原狀為小，反之，明月近於地平時，較之高懸天空時為大，蓋月近地平，可與其他大小已知之物體比較也，吾人之得知計物體之真大小與真距離，實僅由豐富之經驗而來。

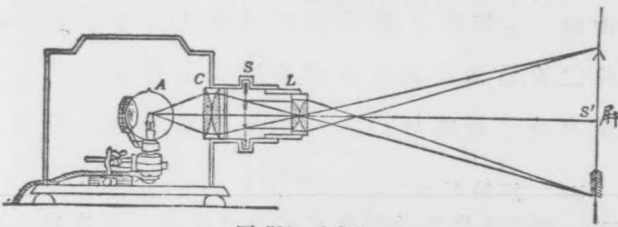


圖 530 映畫器。

481. 映畫器。

映畫器 (projecting lantern, 或稱 stereopticon) 用以投射明照之物體或畫片之像於屏上，其主要部分為一強大之光源，例如電燈 A (圖 530)，二收斂透鏡 C，使光線收斂而通過滑片

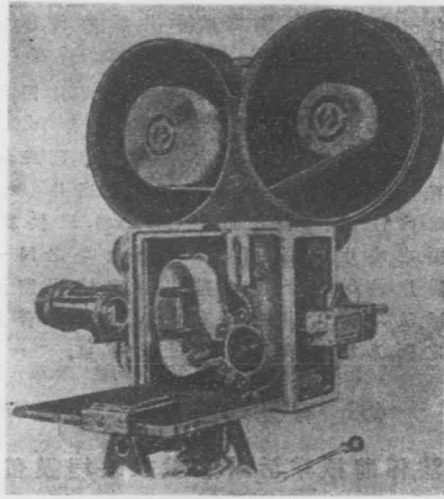


圖 531 活動影戲用照相器。

(slide) 即透明之畫片,  $S$ , 以及燈前之複透鏡即物鏡 (objective),  $L$ , 使畫片之實像成於屏  $S'$  上有須注意者, 映畫器與照相器, 除物體與像二者之位置互易以外, 無大差別, 因屏之離燈常甚遠, 故滑片  $S$  僅在略遠於物鏡  $L$  主焦點之處, 光源宜強而小, 此事十分重要, 因此之故, 通常咸用電弧燈, 或燈絲捲裹極密之白熱電燈, 有時在鏡後加一金屬凹鏡, 以增滑片之明度。

482. 活動影戲。活動影戲用照相器 (motion-picture camera) (圖 531) 於長而且狹之軟片上攝取連續之畫像, 此照相器係用拐臂運轉之, 使其快門 (shutter) 每秒開閉約十六次, 當快門關閉之時, 軟片稍向前移, 但於快門開放之際, 則靜留不動, 影片上各畫 (圖 532) 約高  $\frac{3}{4}$  吋, 寬約 1 吋, 軟片分捲 (reel) 製成, 每捲約長 1000 呎, 且因通過透鏡之軟片, 每秒約為 1 呎, 故全捲軟片約有畫片 16,000 張, 若在照相器所能照取之區域中, 各物方在動作, 則此種連續之畫片, 各與其前畫微有不同, 由此一串之底片 (negative, 又稱陰片), 可印成任意捲數之陽片 (positive), 以供放映之用, 用一種特製之映片機 (圖 534), 可按攝取時之同一速率, 將此一串之陽片映射屏上, 由一畫引起之感覺, 留至第二畫出現時始滅, 故不覺兩畫之間有何頓挫, 是以吾人所見者, 實非活動之影, 乃相繼淡現之靜止之畫也。

483. 有聲活動影戲。開映有聲活動影戲之一法, 係將標準活動影戲放映機及留聲機, 合為一機而使用之, 即以唱機影片合用式 (vitaphone, 俗稱維太

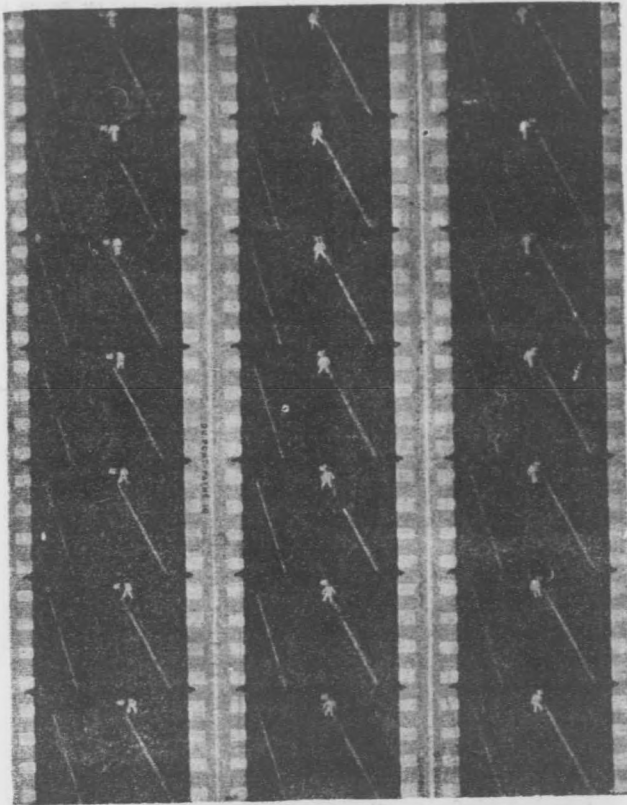


圖 532 活動影片之一節，為比賽足球之情形。注意此穿白色運動衣之球員。此三條各有圖七，約共長15吋，全捲長1000呎。因每秒曳過影戲機之透鏡前之軟片1呎，故此21圖經過目前，需時約一秒又四分之一，每圖映出之際，靜止不動；於是軟片急跳向前，更換次圖，其時燈光暫滅。

風)聞者是也。兩機由同一電動機運轉之,使留聲機轉盤上之唱片,其所發之音,適與影片上映出之動作相應。留聲機之唱針之振動,為一磁場內之小線圈所接去,因而發生一電流,其週率對應於所發之音。於是將此電流擴大,而用以鼓動喇叭。

另一方法,即所謂片上發音式者 (movietone 或 photophone, 俗稱慕維通或富托風),聲音之跡,係留於

影片本身之上。在圖 533 中,即見軟片沿片有聲跡一條,介於畫片及扣鏈齒孔 (sprocket hole) 之間。欲將此痕跡重化為聲音,可用密集燈絲之電燈,送一強光透過軟片,而至位於映片機 (圖 534) 上之光電瓶 (photo-electric cell, 將於下節中述之)。音跡上之

黑暗部分,其深淺之度比例於原來之音,而可使光電瓶中生一脈動電流,此電流經擴大之後,乃用以鼓動喇叭而發音。

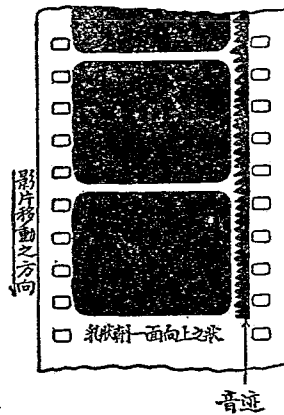


圖 533 活動影片之節,其右有音跡一條。

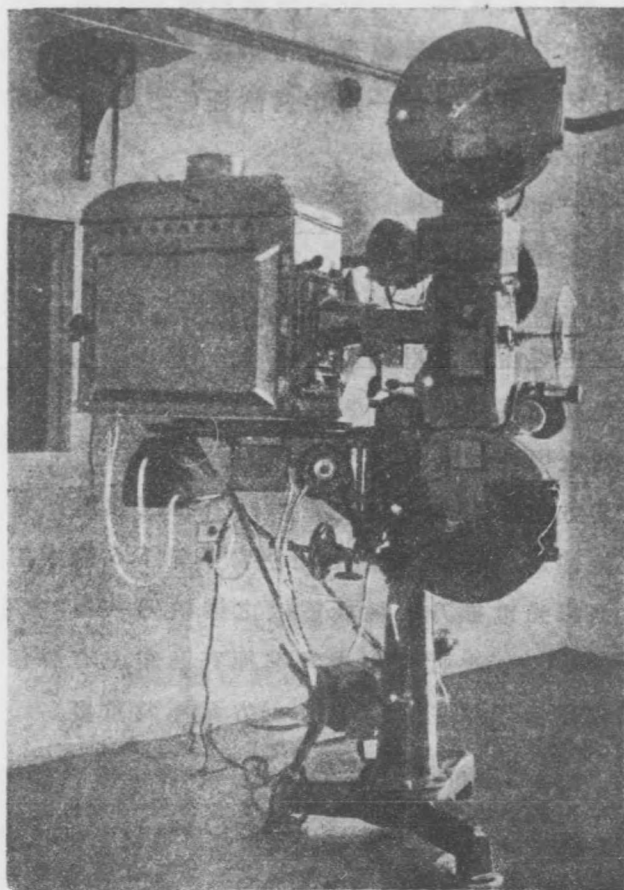


圖 534 有聲活動影戲映片機。光電瓶係在平常映片機構之上，而在上捲片箱(reel box)之下。



484. 光電瓶。此器之構造如圖 535，係一真空球，其中心有一金屬線環，用作陽極  $A$ 。球之玻璃內壁，其上又敷有金屬鉀一層，作為陰極  $C$  之用。當光落於鉀上時，鉀即放射電子，電子即行至陽極。此電子流即構成一電流，流動於電池之電路中，可由電流計知之。在此圖中，仍依平常之慣例，用矢鏃

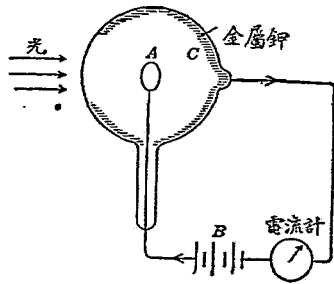


圖 535 光電瓶。

示其方向，此電流之強度，正比例於光之強度。此電流當然甚為微弱，但可擴大，此法當於第 525 節中解釋之。是以光電瓶乃一種極靈敏之器械，乃一種“電眼”(electric eye)也。近數年中，光電瓶在商業上有聲活動影片以及電傳影像(television)方面，極為重要。

實用電傳影像系統之要素，如圖 536 所示。在播影處所，有一強大之光柱，掃過所欲傳播之景象。一光電瓶即生一電流，其變化對應於景象連續各部分明暗之變化。此等變化用真空管擴大之，而由電線或無線電傳播至遠處之收影站。在收影站再將其擴大，而通之於霓虹管(neon tube)中，此管即行發光，其各瞬間之明暗，對應於發生此電流之景象一部分之明暗。觀察者由一轉動之巡視光圈(scanning

aperture)窺之,此光圈之轉動,與攝影處節制光柱之對應光圈,同時並發,全景巡視完畢之過程,以及顯露霓虹管連續各部分之過程,所占時間不過一瞬,完全在視覺之遺像(persistence of vision)之限度以內,因此觀察者之眼與腦,覺所見者乃全景。\*

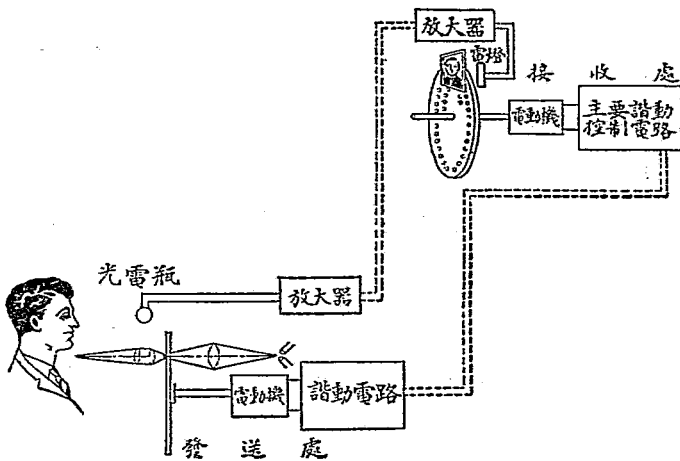


圖 536 電傳影像時所用之主要部分。

485. 簡單顯微鏡,即廓大鏡. 在第 478 節中,已謂明視距離(distance of most distinct vision)約為 10 吋. 若將物體置於 10 吋以外之處,則網膜上所生之像即較小,而不能細察物體之各部,若將物體置於 10 吋以內之處,則網膜上所生之像,即模糊不清.

\* 參看 John Mills 著 Through Electrical Eyes, 該書由拜爾電報實驗室(Bell Telephone Laboratories)出版。

以目近於一雙凸透鏡，往往稱為廓大鏡(magnifying glass)者，而將所欲考察之物體，置於透鏡彼側離鏡略近於主焦點之處，即見一正立廓大之像如圖 537 所示者。然將物體之距離調整，直至得一輪廓鮮明之像

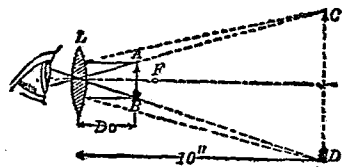


圖 537 廓大鏡。

而止。於是像之距離為 10 吋或在 10 吋以上。單顯微鏡 (simple microscope) 之倍率 (magnifying power)，為像之大小對於物體大小之比。此比等於像之距離除以物體之距離，即  $10/D$ 。是也， $D$  乃物體至透鏡之距離 (吋數)。

是以持廓大鏡窺一物體，欲鏡離物體 1 吋而能明視其像，則鏡之倍率當為 10。

486. 複顯微鏡。極小之物體，可用複顯微鏡 (compound microscope) 使之得見。複顯微鏡係由兩透鏡或透鏡系置於一管之兩端而成。物體  $AB$ ，置於適在較小之透鏡  $L$  之主焦點以外之處， $L$  稱為物鏡 (objective)，可造成一放大之實像  $CD$  (圖 538)。此實像然後由目鏡 (eyepiece)  $E$  窺察之，目鏡之作用，猶如一

廓大鏡,可生一更大之虛像於 $C'D'$ ,離目10吋或10吋以上

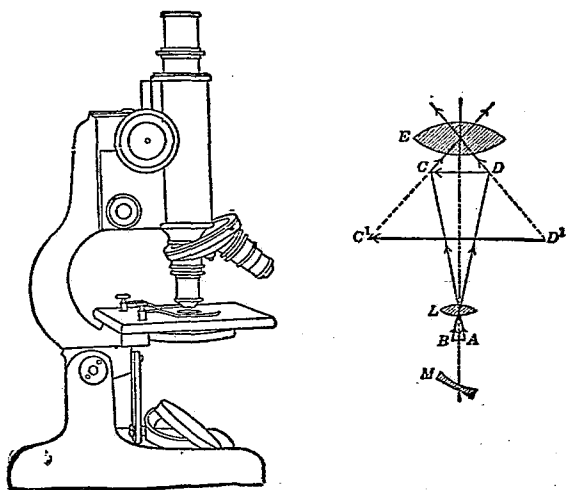


圖 538 複顯微鏡,及其光學方面之各部分.

$CD$  像廓大之倍數,爲其至透鏡  $L$  之距離,大於透鏡  $L$  之焦點距離之倍數。 $CD$  至  $L$  之距離,通常約爲 150 耗;因此之故,若此透鏡之焦點距離爲 5 耗,則  $CD$  像即爲物體  $AB$  之 30 倍,若目鏡更將其像廓大 10 倍,則此複顯微鏡之倍率,即爲  $10 \times 30$ , 即 300 倍。考察微小物體,有時須用倍率高達 2500 之複顯微鏡。

關於動植物之組織與生活,關於最小之生物,以及關於疾病之原因,有許多可貴之發見,皆賴顯微鏡而得,吾人之受其惠賜實深也。

487. 望遠鏡 望遠鏡(telescope)能助吾人以見極遠之物體,此等物體若不用望遠鏡窺之,即莫由細辨其各部,較爲簡單之一種,稱爲天文望遠鏡 (astronomical telescope)者(圖 539),係由大物鏡與目鏡二透鏡或二透鏡系所成.倒像  $im$ , 爲物鏡所造者,較小於

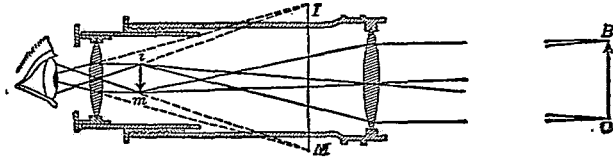


圖 539 天文望遠鏡。

物體  $OB$ ; 但其像既引至極近於觀測者之處,即能由目鏡窺察之,目鏡之作用亦爲一廓大鏡.此二透鏡裝於可以伸縮之管上,俾可於欲察近處之物體時,將目鏡拉出,使離物鏡較遠.因廓大鏡即目鏡不再使像顛倒,故觀測者見物倒立,猶如在顯微鏡中然.

巨大之屈折望遠鏡(refracting telescope),例如加利福尼亞赫密爾頓山李克(Lick)天文台之望遠鏡,或威斯康辛基尼華湖葉耳克斯(Yerkes)天文台之望遠鏡,有極大之物鏡,直徑 40 吋,裝於長 63 呎之筒上.物鏡之直徑大,即可收集多量之光,斂之爲一束之光線,盡透入觀測者瞳孔以內.天文望遠鏡之倍率,可以證明其等於物鏡之焦點距離,除以目鏡之焦點距離.故欲得高大之倍率,物鏡必須有深長之焦點距離.

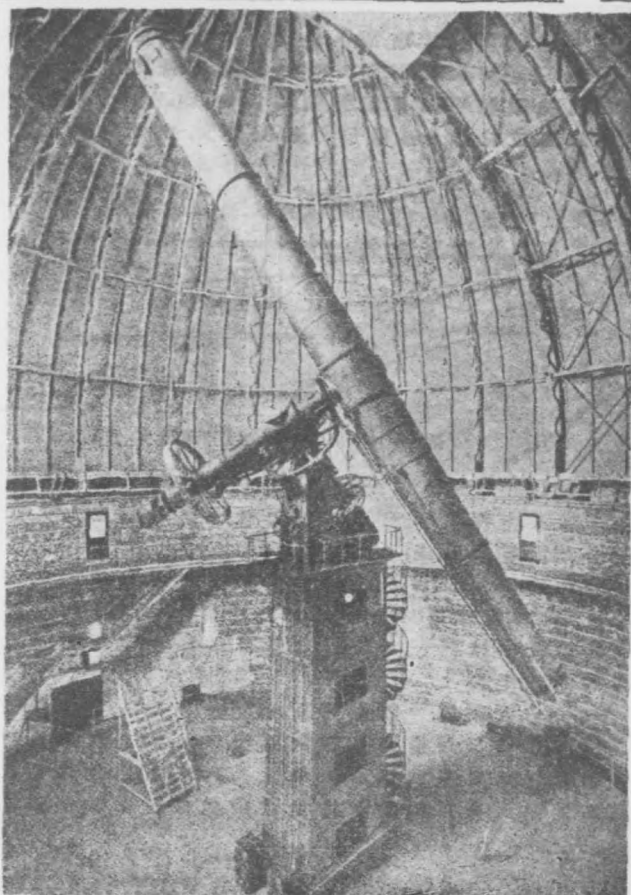


圖 540 在威斯康辛基尼華湖濱之葉耳克斯天文臺之望遠鏡，為西半球最大之屈折望遠鏡。其物鏡為一消色透鏡，直徑為40吋，裝於長63呎之筒上。此筒及平衡錘之重量共21噸，係用鐘機移動之，地板全部，可以昇降，以調節觀測者之地位。

488. 正像望遠鏡,或小望遠鏡。此器械如圖 541 所示,除於物鏡及目鏡之間,加一第三收斂透鏡或透鏡系外,與天文望遠鏡相同。此第三透鏡轉倒  $im_1$  像,另成一實像  $im_2$ ; 然後此正立之像  $im_2$ ,再為目鏡所擴大,而成一放大,正立

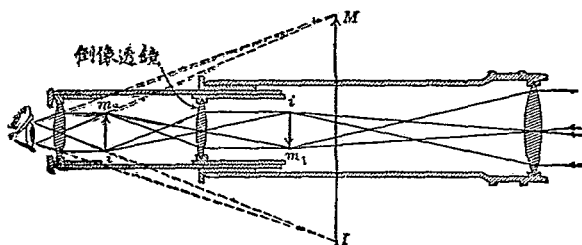


圖 541 正像望遠鏡,或小望遠鏡。

之虛像  $IM$ 。在平常之小望遠鏡 (spyglass) 中,目鏡係由兩透鏡合成,其作用與單一之廣大鏡同。轉倒透鏡之加入,使望遠鏡之筒增長甚多。

此種望遠鏡,可用以描準來福槍之射擊遠距離。測量家所用之“經緯儀 (transit)”及“水平儀 (level)”,其上亦有望遠鏡,鏡筒中橫隔一十字形之髮絲,張於物鏡所造遠處物體之像之平面上。

489. 觀劇鏡。觀劇鏡 (opera glass) 亦為一種望遠鏡 (圖 542),其目鏡係發散透鏡,即凹透鏡,因目鏡之焦點距離,幾與觀察者眼之焦點距離相同,故其實際上之效用,為抵消眼之透鏡,因此可視物鏡之造像,係直接造之於網膜上者。

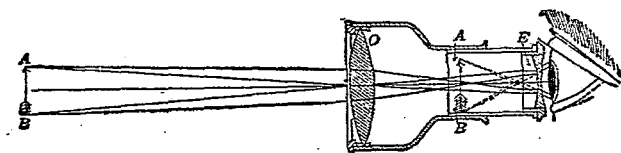


圖 542 觀劇鏡之剖面。

觀劇鏡之視界 (field of view) 甚小,是以通常僅使其將物體放大至三倍或四倍,但此鏡所占地位既少,又能生正立之像,亦有其優點之所在。二透鏡間之距離,等於二透鏡焦點距離之差,伽利略曾根據此計劃製成一望遠鏡,其倍率約為 30,伽氏有若干非常重要之發見,皆藉此望遠鏡而成。

490. 三種雙眼鏡. 近年來有一種器械,稱為雙眼鏡 (binocular) 者,漸見通行,此器既具小望遠鏡之廣潤之視界,而同時又有觀劇鏡之小巧之便,其小巧之處,在於使光線往復經過二反射三稜鏡之間,如圖 543 所示。此種裝置之法,可使物鏡之焦點距離,三倍於同長之地,上望遠鏡,故其倍率亦相應而增加。

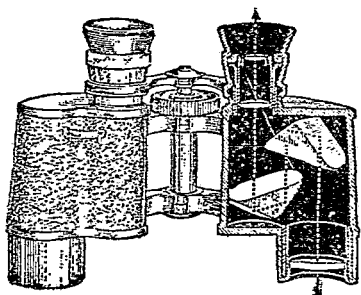


圖 543 三種雙眼鏡。

更有進者,此兩個三稜鏡之反射作用,毋須使用平常地上望遠鏡之正像透鏡,即可得一正立之像;因一次雙反射,正其首尾,再經一次雙反射,並左右而互易,於是完全恢復其原來之地位。

### 問答題與計算題

1. 當一照相器向離開 100 碼之一汽車對光時,感光片離透鏡 8 吋。問當此汽車離開 10 呎時,透鏡與感光片間之距離,必須移動若干?應移近抑當移遠?
2. 一攝影師用一 12 吋透鏡(即焦點距離  $=12'$ ),欲攝取身長 6 呎,立於離鏡 10 呎處一人之全身相片。問感光片必須置於離鏡若干呎之處?
3. 第二題中所用之感光片,其長必須為何?



4. 有一活動影戲映片機，其物鏡之焦點距離為 6 吋，而銀幕之遠為 60 呎，問影片與透鏡間之距離為何？
5. (a)活動影戲之銀幕上，當映片機之快門關閉，光柱切斷時，是否真正黑暗？(b)“視覺之遺象”一語何解？
6. 一雙凸透鏡，其焦點距離長 2 吋，持於一布片上方  $1\frac{2}{3}$  吋之處。(a)所成者為何種之像？(b)像之位置在何處？(c)放大若干倍？
7. 一讀書鏡之焦點距離為 6 吋，欲使書上字跡放大 4 倍，則須持鏡於書之上方何處？
8. 在一複顯微鏡中，物鏡  $L$  (圖 538) 之焦點距離為一吋，而物體  $AB$  離鏡 1.1 吋，問  $CD$  像離物鏡若干遠？此物體放大若干倍？若目鏡將此像再放大 20 倍，則此顯微鏡之倍率為何？
9. 若一活動影片之寬為 1 吋，而映於銀幕上之畫寬 10 吋，則光照軟片及銀幕之相對明度為何？
10. 利用虛像之方程式，證明望遠鏡之目鏡，其焦點距離大者，倍率小於焦點距離短者。
11. 一活動影戲映片機，位於銀幕中心水平線上方之浮台上。(a)比較銀幕上畫之上部與下部之寬，說明其理。(b)在此種情況之下，畫之對光頗難，何故？
12. 在活動影戲中，有時見方在前行之四輪馬車之輪，似向後轉，有時又似停止不動，試說明其所以然之故。

## 第二十八章 提要

屈折之發生，係在光自一透明之物質，斜入他透明之物質之時。

當光斜入於密度較大之物時，向垂線而屈折。

$$\begin{aligned} \text{屈折率} &= \frac{\text{投射角之正弦}}{\text{屈折角之正弦}} \\ &= \frac{\text{光在空氣中之速率}}{\text{光在其他物質中之速率}} \end{aligned}$$

光之速率 = 每秒 186,000 哩,  
= 每秒  $3 \times 10^{10}$  浬。

臨界角為光線自較密之媒質透出時,其投射角不可超過之角度。

三稜鏡使光向較厚之一邊屈折。

凸透鏡(即薄邊透鏡)使光向內收斂。

凹透鏡(即厚邊透鏡)使光向外發散。

主焦點為平行於軸之光線收斂集中之點。

透鏡公式兼合於收斂透鏡與發散透鏡:

$$\frac{1}{\text{物體距離}} + \frac{1}{\text{像之距離}} = \frac{1}{\text{焦點距離}}$$

對於凸透鏡,焦點距離為正數。

對於凹透鏡,焦點距離為負數。

對於實像,透鏡在像與物體之間,像之距離為正。

對於虛像,物體與像在鏡之同側,像之距離為負。

大小之定則兼適於收斂透鏡及發散透鏡:

$$\frac{\text{像之長度}}{\text{物體之長度}} = \frac{\text{像之距離}}{\text{物體之距離}}$$

在光電瓶中,光落於鉀之陰極,即有電子放出,電流與光之強度成正比例。

### 問 答 題

1. 游魚欲望見夕陽,須向何方?
2. 用圖說明大氣之屈折如何增加晝長。
3. 藏於圓柱形玻璃缸中之水菓,視之宛似放大,何故?
4. 日光透過充水之玻璃瓶,有時能燃瓶底之紙片或乾燥之樹葉,試說明其理。
5. 微凹與微凸之眼鏡,汝將如何辨別之?
6. 就曲面鏡與透鏡而論,實像當倒,此語確否?
7. 小攝影箱之透鏡,其焦點固定,何以此種透鏡不加調整,亦可攝取遠近物體之相片?

8. 在照相機之光圈上,有  $f/8$  之記號,作何解?
9. 大角透鏡(wide-angle lens)與長焦點透鏡(long-focus lens),有何差別?
10. 照相機軟片上之像,是(a)實抑虛?(b)放大抑縮小?(c)正立抑係倒立?
11. 像在眼之網膜上是(a)實抑虛?(b)放大或縮小?(c)直立或倒立?
12. 人在明亮之日光中驟然入室,覺其內部非常黑暗,何故?
13. 眼鏡有時用兩組透鏡(雙焦點鏡)製成.此種透鏡有何優點,又有何缺點?
14. 讀書,習字,或縫衣,光線從左肩來最佳,何故?
15. 收斂透鏡在映畫器中有何作用?
16. 若映畫器在屏上所造之像大小,則映畫器須如何移動,始能增加像之大小?
17. (a)反射望遠鏡與屈折望遠鏡之區別為何?(b)此二器械,各有何種利弊?
18. 望遠鏡之目鏡所成之像,往往較望遠鏡筒為大,如何得見像之全體?

## 實 用 題

1. 潛望鏡,潛望鏡(periscope)之一種,其主要部分如圖 544 所示.試說明各部分之作用,製一簡單之潛望鏡,以說明其所據之原理.
2. 測距器(range finder) 一察此器如何能使觀測者迅速決定物體之距離。(參閱弗雷氏物理學概論。)(Ferry—General Physics. John Wiley and Sons 出版.)
3. 望遠鏡. 考察望遠鏡之

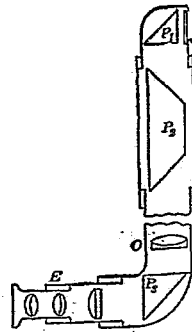


圖 544 潛望鏡之主要部分。

透鏡。求各透鏡之焦點距離，而算出此望遠鏡之倍率，試由望遠鏡中窺得之鉛磚直列數，及在鏡之附近所見之直列數，建議一決定望遠鏡倍率之方法而試之。

4. 製一 10 吋之反射遠望鏡。詳細之製法，載於 Porter and Others—Amateur Telescope Making (Scientific American Publishing Company)。

鏡平常  
因像之明

8. 在照相機之光圈上,有  $f/8$  之記號,作何解?
9. 大角透鏡(wide-angle lens)與長焦點透鏡(long-focus lens),有何差別?
10. 照相機軟片上之像,是(a)實抑虛?(b)放大抑縮小?(c)正立抑係倒立?
11. 像在眼之網膜上是(a)實抑虛?(b)放大或縮小?(c)直立或倒立?
12. 人在明亮之日光中驟然入室,覺其內部非常黑暗,何故?
13. 眼鏡有時用兩組透鏡(雙焦點鏡)製成.此種透鏡有何優點,又有何缺點?
14. 讀書,習字,或縫衣,光線從左肩來最佳,何故?
15. 收斂透鏡在映畫器中有何作用?
16. 若映畫器在屏上所造之像太小,則映畫器須如何移動,始能增加像之大小?
17. (a)反射望遠鏡與屈折望遠鏡之區別為何?(b)此二器械,各有何種利弊?
18. 望遠鏡之目鏡所成之像,往往較望遠鏡筒為大,如何得見像之全體?

## 實 用 題

1. 潛望鏡. 潛望鏡(periscope)之一種,其主要部分如圖 544 所示. 試說明各部分之作用. 製一簡單之潛望鏡,以說明其所據之原理.

2. 測距器(range finder) 一察此器如何能使觀測者迅速決定物體之距離. (參閱弗雷氏物理學概論.) (Ferry—General Physics. John Wiley and Sons 出版.)

3. 望遠鏡. 考察望遠鏡之

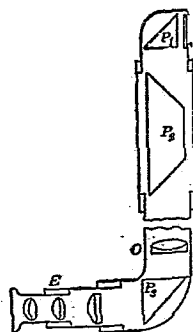


圖 544 潛望鏡之主要部分.

透鏡,求各透鏡之焦點距離,而算出此望遠鏡之倍率,試由望遠鏡中窺得之牆磚直列數,及在鏡之附近所見之直列數,建議一決定望遠鏡倍率之方法而試之。

4. 製一 10 吋之反射遠望鏡。詳細之製法,載於 Porter and Others—Amateur Telescope Making (Scientific American Publishing Company)。

## 第二十九章

## 光譜與色

三稜鏡光譜——消色透鏡——分光器——光譜之種類——光譜分析術——弗氏黑線——光之波長——物體之色——薄膜之色——赤外線與紫外線——電磁說。

## 491. 用三稜鏡析光。若令一束日光(或一束電弧

燈發來之光)穿過細隙而入暗室,並置一三稜鏡於其路徑中(圖 545),則此光柱即起屈折。若置一白色之屏於屈折光線之路徑中,即生一色帶(band of colors)。在此帶中,計有赤(red),橙(orange),黃(yellow),綠(green),青(blue),藍(indigo)以及紫(violet)七色,諸色彼此皆漸相調和。

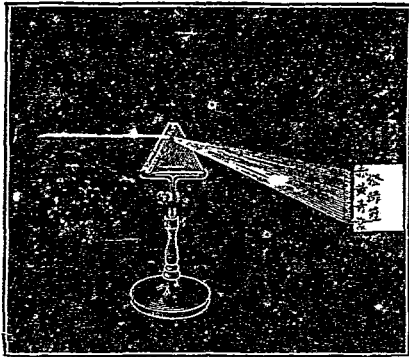


圖 545 日光為三稜鏡所分散而成光譜。

若用一凸透鏡(焦點距離約 12 吋者),使細隙之像生於屏上,而將三稜鏡置於屏之同側,且離透鏡較近於屏,即可得一較清晰之像。吾人將屏移動,使光再落於其上,但自透鏡至屏之路徑,須仍與前同長。今所得之光譜(spectrum),將為若干有色之細隙之像所成,而諸像亦彼此相併合。

牛頓爵士，曾因此雖屬簡單然實著名之實驗，證明平常之白光，係由色光混合而成。由赤色漸漸變成紫色之色帶，稱為光譜。白光分解其成分而為各種色光之此種現象，稱為光之分散 (dispersion)。屈折最少之光，人目辨其呈赤色，而屈折最甚者，則認其呈紫色。光之物理的性質，決定屈折度 (refrangibility) 之此種差別者，為波長，將於以後證明之。

牛頓欲證明三稜鏡自身，不能生此不同之色光，祇能分解早在光柱中各種之光，乃以第二三稜鏡置於此光譜之中，使落於鏡上者祇為紫光，彼察得紫光又起屈折，但顏色則不再發生變化。牛氏又發見當一切分散之色光，用收斂透鏡集之於一處時，結果仍得白光。

492. 消色透鏡。當日光通過平常用獨塊玻璃製成之雙凸透鏡時，光線即起屈折而收斂於稱為焦點之一點，但光線亦起分散現象，正與在三稜鏡中同，而赤色光線之焦點 (圖 546 中之  $R$ )，

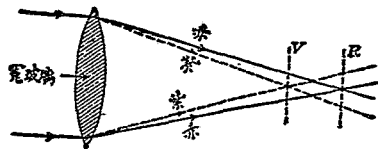


圖 546 由凸透鏡而起之分散。

離鏡較紫色光線之焦點  $V$  為遠。由此種單透鏡，平常白光所照之物體，不能得其輪廓鮮明之像，因像之明



暗部分之一切界線,皆有色彩故也。

此種缺點稱為透鏡之色收差(chromatic aberration),補救之法,係使冕玻璃製成之透鏡,與鉛玻璃製成者互相密合,

如圖 547 所示。

由於精密計劃

此二透鏡之凹

凸之度,可造成

一消色透鏡,使光通過此鏡時,起必要之屈折,而又無可察之分散現象。

493. 分光器。在三稜鏡所生之光譜中,不同之色互相疊合其一部分,此可用分光器 (spectroscope)

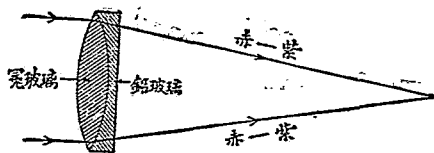


圖 547 消色收斂透鏡。

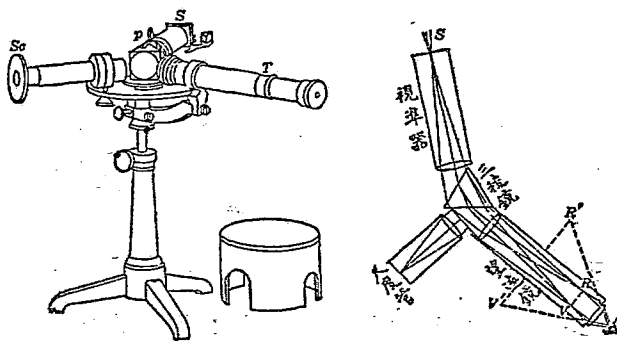


圖 548 本生分光器,附圖式。

除之。分光器中，有主要部分四（圖 548）：一，視準器（collimator），其一端有一細隙，而他端有一凸透鏡；二，三稜鏡，普通為鉛玻璃所製；三，望遠鏡，其中有一物鏡及一目鏡；四，尺度管（scale tube），其一端有一玻璃尺度，而他端有一透鏡。視準器中之細隙，係在透鏡之主焦點處，故自細隙發散之光，由透鏡使成平行光線，始達三稜鏡，既至三稜鏡中，即起屈折而分散，各色之光，皆成平行光柱而依其自己之方向前進。色光入於望遠鏡，即成一界限分明之光譜之像。尺度管之加入，係用以決定光譜各部分之地位者，其裝於器上之位置，在使透過尺度上之光，由三稜鏡之第二面反射，而與光譜平行以入望遠鏡。

494. 光譜之種類。日光之光譜，一稱太陽光譜（solar spectrum），常現為虹（rainbow），可見之於夏日雷雨之後，此因日光經過雨滴，即起屈折而分散之故也。用分光器細究太陽光譜時，可察知其並非連續之色帶，而有黑暗之縱線多條，貫於其上。因最初將此等黑線加以精細之研究者，為青年德國光學家弗朗和弗爾（Fraunhofer），故此諸線以弗氏黑線名。

凡白色之光源，非盡能發生此等黑線者。例如電

弧燈、鎢絲熾熱燈，平常之煤氣火燄，其中含有許多熾熱之炭之微粒（即煤灰）者，皆發連續光譜，實則一切熾熱之固體，莫不如此。

熾熱之蒸汽或氣體，其光譜與前大不相同。此種光譜稱為輝線光譜（bright-line spectrum），足以表現所用物質之特性（參閱圖 549 之光譜圖表）。

若以鉑線或石棉，蘸普通之食鹽溶液（即氯化鈉），而置之於本生燈之火燄中燃之，即得一明亮之黃色火燄。若用分光器考察此火燄，即見光譜中黃色部分所在之處，有一光輝之黃線。此黃光即自熾熱之鈉蒸汽發來者。

若以鉑線蘸氯化鋰（lithium chloride）之溶液，而重行此實驗，即得一紅色之火燄，此燄在分光器中生二輝線，一黃一赤。氯化鈣（calcium chloride）亦生二線，一綠一赤。（其中尚見有黃線一條，此係雜有鈉所致。）

495. 光譜分析術。在氣體狀態中之各種物質，用分光器考察其光譜時，可見各原質各自有其特有之輝線光譜。此光帶式甚簡單，例如鈉燄之光譜僅有輝線一條；或極繁複，例如鐵之蒸汽，其所生之光譜即有輝線數百條。因一物質之極少量，即可顯出其特有之光譜輝線，例如就鈉而論，不及一毫（milligram）之一百萬分之一，即可檢查之。故得一極精細之分析物質之方法。最初用此光譜分析術（spectrum analysis）

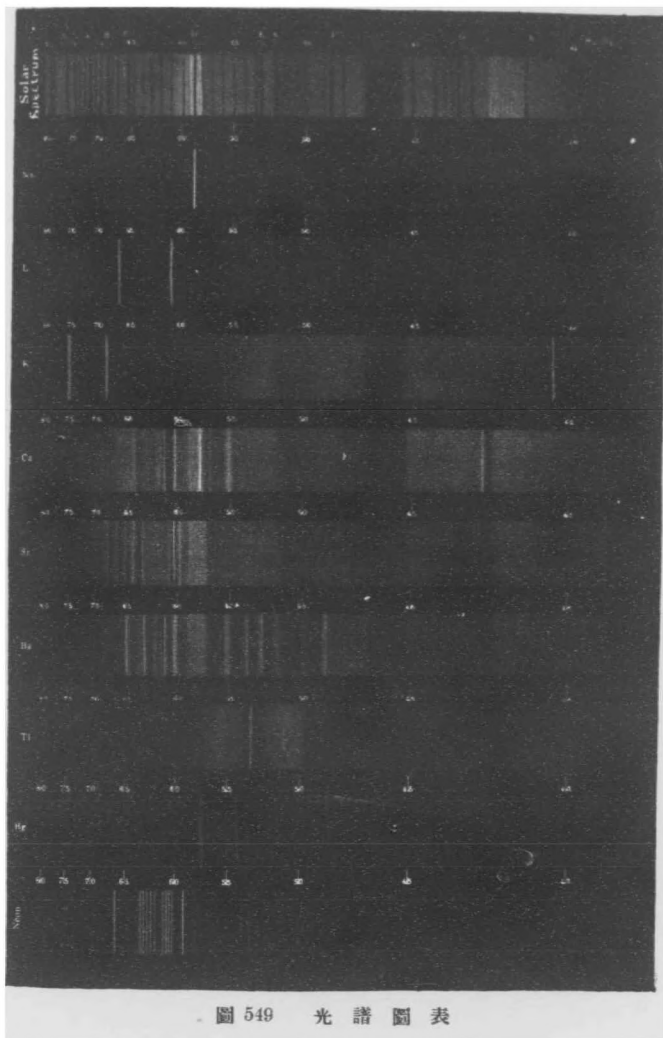


圖 549 光 譜 圖 表

者，爲本生時在一八五九年。

496. 吸收光譜。克希荷夫 (Kirchhoff) 氏在海德堡任物理學教授時，曾與本生連合用分光器作此等研究。克氏曾察得，當彼以含有普通食鹽之黃色酒精火燄，置分光器之細隙前，而容日光穿隙以過時，見鈉線格外黑暗而清晰，適與彼所預期之格外光明相反。顯見日光之一部分，爲黃色之鈉燄所吸收，而鈉燄本身在平時所發之特別部分，亦已移去。克希荷夫斷定，普通言之，方在發光之氣體，恆自熱光源之光線，吸收該氣體自身所發出之一種光線。

用圖 550 所示之器具，即可證明克希荷夫之定律。光源爲方在發光之電弧燈之陽炭極，其光線透過一圓柱形之透鏡而成平行，以石棉板兩條，浸透鹽水，置於本生燈上。

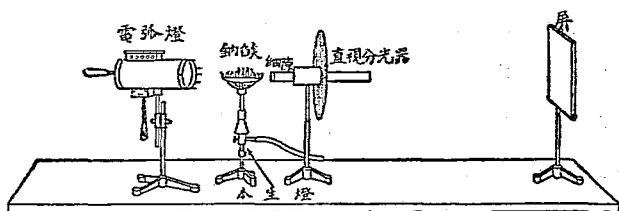


圖 550 白光經過鈉燄，光譜中之鈉線即被吸收。

熱之，自電弧發來之光，直接通過鈉燄而入一“直視 (direct-vision)”分光器，此器即使光分散於屏上。

先於屏上生一連續光譜，於是將鈉燄置於適當之位，置，即見光譜之黃色部分有一黑線。

然則欲使黑暗之吸收線出現，顯見起吸收作用之蒸汽，必須較光源為冷。

497. 弗氏黑線之意義。在第 494 節中，曾謂太陽光譜含有多數之黑線。克希荷夫斷定此等黑線之發生，係因正在發光之太陽，其週圍之大氣中，含有許多物質其自身可發同地位之輝線者所致。太陽之心，其溫度非常之高，且發出一連續光譜，但此心之週圍，包有氣體一層，此氣層溫度較低，且將其自身所能發之光線吸收以去。克氏以此為據，斷定如鐵、鎂、銅、鋅，以及鎳等金屬，皆成蒸汽狀態存在於太陽之大氣中。克氏再深加研究之後，發見地球上已知之一切原質，其輝線光譜，與一定之弗氏黑線地位相應者，幾及全體，因而斷定地球上已發見之一切原質，幾全存在於太陽之大氣中。在克希荷夫時代，尙有其他一定之弗氏黑線，不與地球上已知原質之光譜相應。此等新原質之一，即氦 (helium)，已於克氏以後在地球上發見，其他各原質，或將待時而出現也。太陽光譜中之黑線，尙未有輝線與之相合者，幾全數必屬於已知之原質，且在太陽上與此等原質所發其他輝線相合。此等奇特之輝線，必須物質在某種狀態之下始發出，在實驗室

中，無法使物質入於此種狀態也。

498. 光之性質。吾人已謂光以一種波動視之，即光與熱二者，皆屬輻射能是也。但此說並未常為公認之理論。在十七世紀時，荷蘭大物理學家海互史 (Huygens)，固曾創波動之說，甚為完全；但其英國之敵牛頓爵士，仍力持陳舊之微塵說 (corpuscular theory)，按此說謂光係極小之微粒即微塵所構成，以巨大之速度自光體射出。牛頓為當時之大科學家，聲望甚著，遂使其不幸之微塵說，控制科學思想者歷一百餘年；其後至十九世紀初葉，英國之湯姆斯楊 (Thomas Young) 與法國之弗勒斯納耳 (Fresnel)，始由實驗暫時以波動說置於堅固之基礎之上，近年量子 (quantum) 說興，又推翻其一部分矣。

499. 不同之色由於不同之波長。不同色之光，其波長今可直接測定，且可顯示赤光之波最長，而紫光之波最短。故在三稜鏡中日光分散時，屈折最少者為最長之波 (赤色)，而屈折最多者為最短之波 (紫色)。下表所載者，為若干顏色之近似波長。

光之波長

赤光.....	0.000068 浬	綠光.....	0.000052 浬
橙光.....	0.000063 浬	青光.....	0.000046 浬

黃光……………0.000059 種      紫光……………0.000040 種

**500. 物體之色.** 任何物體之色,須視(1)照於其上之光及(2)其所反射或傳播至目之光而定.

赤色紗線一束,執而置於光譜赤色之一端中,即呈赤色.但當置於光譜青色一端之中時,即見其幾現黑色.仿此,純青色之紗線一束,在光譜各部中皆似呈黑色,惟在青色之處,現其本來之色.

在另一奇異之實驗中,吾人用鈉燄所發之光,照於顏色鮮明之毛絲或紙花上.此光祇含一組有特殊波長之波.毛絲之反射此等有特殊波長之光波者,視之呈黃色,而其不反射此等光波者,望之似現黑色.

若斯則一片之紙,在日光中視之呈白色者,乃因其反射各種波長之光波,多寡相等之故,而一幅之布,在日光中視之呈紅色者,乃因其祇反射可發紅光之長波之故,兩事皆彰彰明甚.若白紙僅受紅光之波,即似呈紅色,又若紅布所受諸波之中,並無紅光在內,則望之似黑.質言之,不透明之物體,其色視其所反射之光之波長而定.庫拍休易特水銀蒸汽燈,為效率極高之電燈;但此燈不能用於必須辨別色彩之處,因其不能發紅光之波也.

為三稜鏡所分散以成光譜之光,其路徑中若隔以紅玻璃一片,則光譜祇有紅色之一部分得見.由此可知除紅光外,其餘一切波長皆被吸收.同樣,綠色之玻璃,將聽綠色



之光透過，但光譜之其餘各部分，則大為減少。若將紅玻璃與綠玻璃，二者同置於光路之中，則光譜幾消滅。

故知透明物體之色，視其所許透過之光之波長而定。平常之紅玻璃，例如攝影家之紅燈上所用者，祇使紅光得自由透過，其餘之黃光，綠光，青光，以及對於感光片上所用化學藥品有特殊影響之紫光等，幾全為其所吸收。

501. 混合之色及混合之顏料。除白光外，尚有其他種之色，無一定之波長，使數種波長混合，亦可得生同於單一波長所發生之色感。

今試將一部分為赤而一部分為綠之盤(圖 551)，疾轉之使其對於目之效應，與二色宛如同時入目時相同。此方在旋轉之盤，望之呈黃色，極與光譜之黃色相同。由於混合赤與青二色，可得紫紅色(purple)，此色為光譜中所無。由於混合黑色與赤色，黑色與橙色，或黑色與黃色，可得深淺不同之各種棕色(brown)。

光譜中之諸色，稱為純色(pure color)，而其餘各色，則稱為複色(compound color)。若黃光適與合度之青色相混，即可發生白光。此種

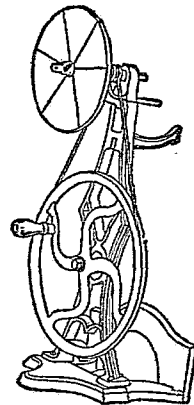


圖 551 牛頓之色盤及手搖旋轉器。

之色稱爲餘色(complementary color).

然在混合之顏料(pigment)中,所得結果異於此

試取黃色粉筆及青色粉筆各一枚,研之成末.若將此二種粉末混於一處,約各占成分之半,則所得之混合物,其色爲明綠(bright green).

由此可知黃色與青色光線混合時雖可發生白光,而黃色與青色之顏料相混合,則發生綠色.此因黃色顏料,自白光中吸收或扣除黃光及綠光以外之一切諸光,而青色顏料,則自白色中扣除青色及綠色以外之一切諸色;故未爲兩種顏料所吸收者,僅爲綠色,易言之,混合顏料時,混合物之色,乃未爲各成分所吸收之色也.

**502. 家庭有色活動影戲.** 欲製有色活動影戲,須用極快之照相透鏡(例如  $f/1.9$ ),且須在透鏡之前,遮一濾色鏡(color filter).此濾色鏡係由各別之三直條所成,一赤,一綠,一青.照相器中穿以特製之軟片,但其用法,則完全與攝取平常之黑白影片相同,唯一之限制,僅係必須在直照之明亮日光中,攝取各畫片而已.然軟片須在工廠中用特殊之方法以顯其像,再送回用此軟片之人,以備映射已顯像之軟片,本身並無

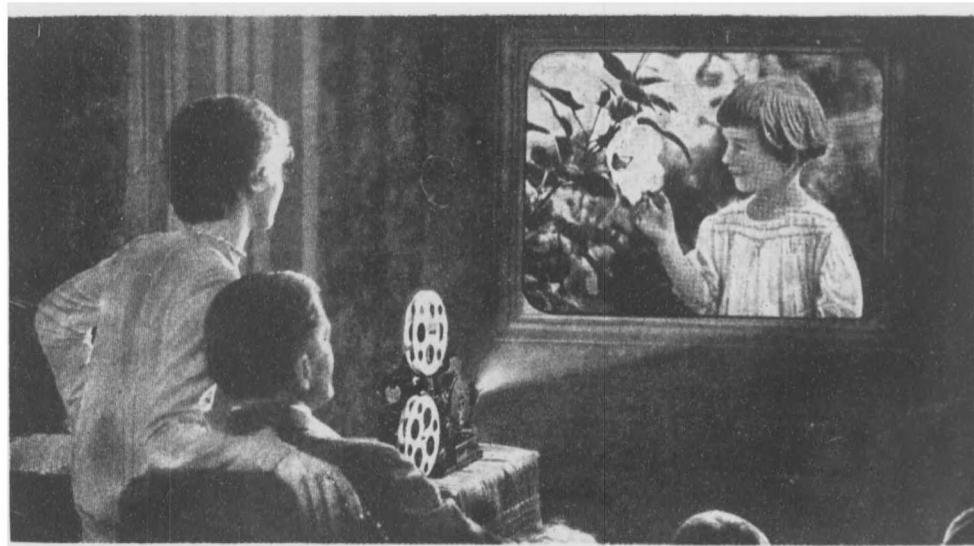


圖 552 有色活動影戲,今可在家庭中開映。

色彩欲映射此軟片，僅須在映片機上，裝置與照相器上所用濾色鏡完全相同之複製品即可。因此等濾色鏡，吸收多量之光，故祇能映射小影片（現在所達之尺寸為  $16\frac{1}{2} \times 22$  吋），且須映於特製之鋁幕上（圖 552）。

製造有色影片之此種方法，其祕密之處，在於特製之軟片，其表面上鋪有微小之圓柱形透鏡，隆起而直列，每吋之中約有 559 枚。此等微小之透鏡，完全將軟片上感光劑反面之表面遮蓋。在攝取各畫時，凸起之一面向照相器之透鏡，而感光劑則背向透鏡，浮起於軟片上之小透鏡，其所司之職，係引導光線落於每一微小之面積上，而使其結成清楚之三像，即於感光藥膜，與濾色鏡上三面積對應。如此則分布於透鏡之三色，即結像於每一微小圓柱形透鏡之後，成為平行之三直條，因微小之圓柱形透鏡，平行於濾色鏡上之三條故也。此等不可見之軟片上感光小面積，即合成全相片之像。

503. 薄膜之色。自透明之薄膜例如肥皂泡膜反射之光，其所生之鮮明色彩，可作光之波動說之最有力之一證。

試取二玻璃板 A 與 B，用橡皮帶縛於一處，如圖 553 所示，縛法使板之一端，由吸水紙 C 隔開。若手持此玻璃板置於燭焰之後，即見反射之黃色火燄之像，其中有水平之細而暗之線一排。

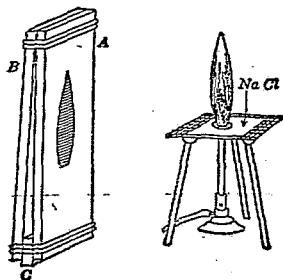


圖 553 鈉光波之干涉。

欲解釋此效應，可作一

放大之圖,表示玻璃板及其間之楔形空氣,在圖 554 中,命  $AB$  與  $BC$  爲二玻璃板,而命黃色之鈉光,方自右來,成一串之橫波,此可表以波狀之曲線吾人知此光之一部分透過玻璃之各面,而一部分則在各面反射,但今所欲研究者,僅係在兩板之內表面  $AB$  與  $BC$ ,有何現象發生,命實線  $DE$ ,代表在  $AB$  表面上  $D$  點反射之光,而命虛線  $D'E$  代表在  $BC$  表面上  $D'$  處反射之光,若自  $D$  至  $D'$  之距離,適可使一反射波,其相較他一波遲緩半振動,則兩

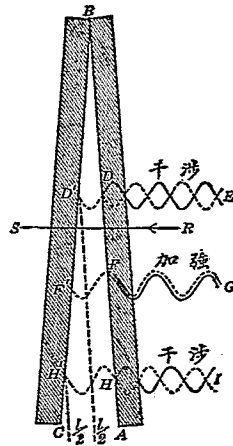


圖 554 明線與暗線形成之說明。

波即彼此干涉,而互相中和,在此點即有暗線發生,但在另一點  $F$  處,兩板間之距離,可使在  $F'$  反射之波,合於在  $F$  處反射之波而令加強,\* 在此處即見有明亮之黃線,若吾人選擇任何二連續暗線,即知在一線處

\*在高等光學書中,可證明光波在反射表面,其相發生變化,以致明亮之黃線,現於吾人預期將生暗線之處,而暗線則現於預期將生明線之處。

之二板間之來往路徑，適較在他線處之來往路徑，長一波長。由此可得一計算波長之方法。

例如楔形空氣之長度，假定為100耗，吸水紙之厚為0.03耗，而用鈉光所得之二暗線間之距離，為1耗。因楔之寬，在距離100耗內增加0.03耗，故在距離1耗內增加0.0003耗，而在相鄰二黑線間，來往路徑之增加為0.0006耗。此數與鈉光之波長頗近。

#### 504. 日光由干涉而分解。 試取金屬環一枚，浸之

於肥皂溶液中，然後取出而置之於架，使皂膜直立，膜中之水分，向下流至環之底部，而膜遂成楔形。乃令一束日光，或來自映畫器之光，落於此肥皂膜上，而反射至一白色之屏，更取一凸透鏡依適宜之法配置，如圖555所示，使可生一清晰之皂膜F之像於屏，吾人可見屏上有種種顏色之橫帶一列。

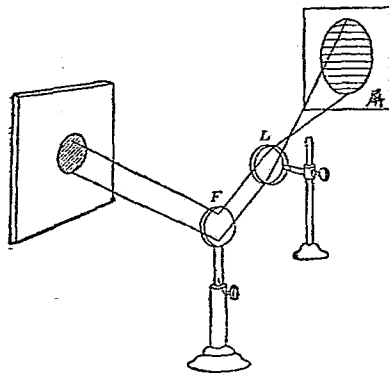


圖555 白光在肥皂膜中所起之干涉現象。

白色之太陽光，係由不同之色光組成，因而含有不同之波長。紅波之干涉，發生於一點，而黃波之干涉，則起不同之一點。在紅波發生干涉之處，遺留其餘色，為一種淡青綠色 (bluish-green)；而在黃波受干涉之

處，則生黃色之餘色，即青色是也。如是即得一系列之色帶，其色盡為光譜各色之餘色。

光波在極薄之膜中起干涉，可生多種美麗之色彩。水面上之油膜，金屬表面及威尼司玻璃杯 (Venetian glass) 上之氧化物薄膜，以及孔雀之毛羽，其色彩皆自光波之干涉而來。

505. 赤外線與紫外線。用靈敏之吸收熱之器械，即能知太陽非惟時在送出感動視神經之光波，且常在送出其他較長之波，此等波雖目不能察之，然可生強烈之熱效應。此種長波稱為赤外線 (infra-red ray) (圖556)。由於攝取太陽光譜之相片，又得知太陽正在發出另一種光線，其波過短，不能見之，但能感動乾片。此種短波稱為紫外線 (ultra-violet ray)。

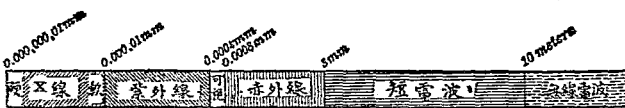


圖 556 各種長度之波之分配。

506. 光之電磁說。法刺第氏曾起一念，以為彼之“力線”，能傳播電與磁以經空間，此事吾人已知之矣。數年以後，麥克斯惠爾 (Maxwell) 取法氏此說發展

之，而立之於算學的基礎之上，此理論最後爲一年青之德人名赫支(Hertz)者所證實，時在一八八八年，赫氏之實驗，證明電波確實存在，且與光同速，惟電波有時長至數呎而已，此種電磁波 (electromagnetic wave)，亦能反射與屈折，一如光波，故吾人感覺光波確爲電波。此一概念及能常住之概念，爲十九世紀中物理學上最著名之二大建樹。

507. 光之性質如何？三十年以前，科學家咸滿意於光之波動說，因觀測所得之效應，似可由此以得使人滿意之解釋也。彼等既立此說，當然須假定空間充滿一種傳波之媒質；此種媒質，彼等稱之爲能媒 (ether)。更有進者，尙須假定此能媒非惟瀰漫於星辰之間，且充塞乎分子之隙。然能媒究係何物，此間仍懸而未答。惟有簡單之實驗的事實多端，例如迴折 (diffraction)\* 及干涉現象，則除假定光爲某種波動似不能有其他根據以理解之。

在最近三十年間，理論物理學之範圍內有非常之活動，此種活動之結果之一，即爲相對論 (theory of relativity)，此說已使許多科學家，對於如能媒之此等

---

\*迴折係指光在轉角之處，起極微之屈折而言。



媒質之存在,發生疑問.另一結果則爲量子論 (quantum theory), 此說係以下之概念爲根據,即輻射能之發送,係成不連續之狀態,由此概念,現有之簡單波動說,必須根本加以更改.關於光電瓶已有若干實驗方面之事實,用改良之微塵說解釋之,較用波動說爲簡.然在目前,初學物理學者,自以認能媒說爲有效之假定爲最妥,不過須牢憶關於光之性質之問題,並不藉此而獲得解決也.

### 第二十九章 提要

白光爲無數長短不同之波所混合而成之光。

色之不同,對應於波長之不同,赤波較紫波爲長。

可見之光譜,其波長之範圍約自 0.000068 浬(赤),至 0.000040 浬(紫)。

短波在三稜鏡及透鏡中,屈折較甚於長波。

連續光譜係由熾熱之固體造成。

輝線光譜係由熾熱之氣體造成。

黑線光譜係由熾熱之固體,照經較冷之吸收氣體而成。

物體之色,視達於眼中之波長而定。

薄膜之色,係自某種波長因干涉以消滅而來。

### 問 答 題

1. 煙火之放出各種色光,其因何在?
2. 由月光可得何種弗氏黑線?
3. 一清潔之鉑線,持之置於青色之本生管中,而由分光器中觀測之,問見有何種光譜造成?

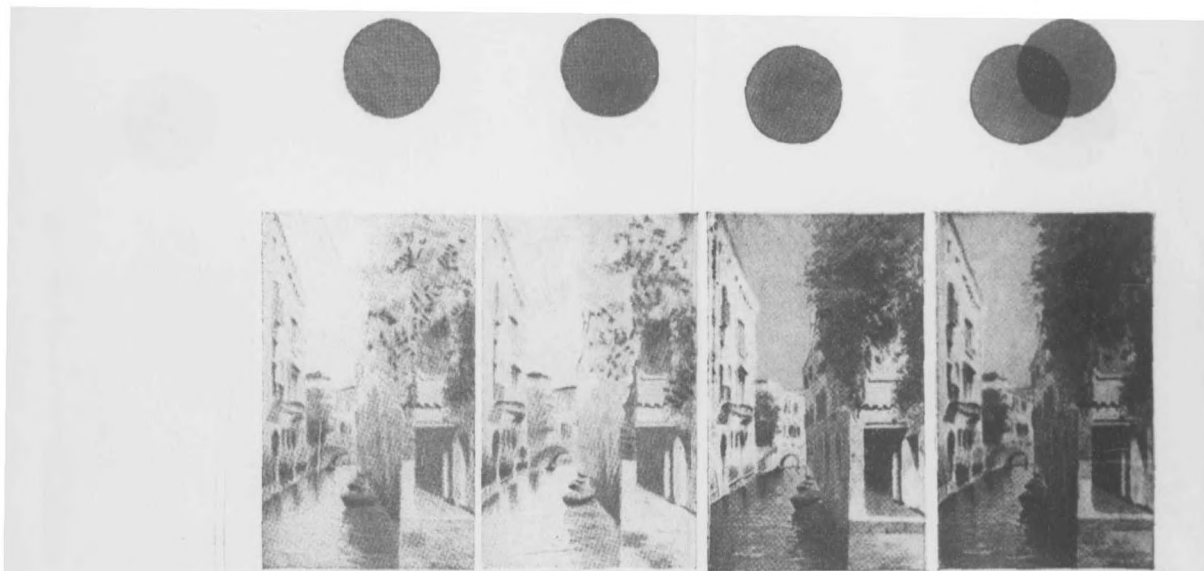


圖 557. 三色版印刷之程序：1，黃色印刷(底版係用紫青色濾鏡製成)；2，赤色印刷(底版係用綠黃色濾鏡製成)；3，赤色印於黃色之上；4，青色印刷(底版係用赤黃色濾鏡製成)；5，黃色，赤色及青色三者相合。注意 5 中不同之各色，皆由黃色，赤色以及青色印油混合而成。

4. 白,灰及黑,名之爲“色”,適當否?說明其理。
5. 在攝影時何故用“濾色鏡”?
6. 在照相暗室中所用者,僅爲通過紅玻璃窗之光,說明其理。
7. (a)何謂“日光燈(daylight lamp)”?(b)因何目的而用之?
8. 晚間室中有紅色之燈影,似覺愉快,何故?
9. 青色之衣服,在煤油燈光下視之,則呈墨綠色(greenish-black),何故?
10. 映射彩色活動影戲之一法,係利用一種軟片,一面着赤色,而他面着綠色,其他各色,如何可由此軟片現於幕上?
11. 光譜上任何一色,其餘色常爲複色,而非純色,試解釋其所以然之故?
12. 測量光波之長度時,爲便利起見,有時用一種“安格司脫羅姆(Angstrom)單位”,其值爲一耗之千萬分之一,試用“安格司脫羅姆單位”計算可見光譜之上限與下限。

### 實 用 題

1. 彩色印刷。試用放大鏡考察一彩印明信片,查明平常之黑白濃淡影印板如何製成,及三色濃淡影印板(three-color half-tone)如何製成,考察圖557所示之彩印畫,此畫即說明三色印刷術中各步手續。
2. 色盲。用霍爾姆格倫氏測驗羊毛(Holmgren's Test Wools),驗自己及友人有無色盲(color blindness)之病,將威斯脫考脫彩色滑片(Westcott Color Slides),映射於屏上,以檢同班學友有無色盲病,查明關於此項缺點之原因之近世理論爲何,此缺點對於何種職業確有重大之妨礙?

## 第三十章

## 無線電報及無線電話

蓄電器之振盪放電—電諧振—電波。  
 無線電報—無線電波與光波—配諧電路—天線與地線—環狀天線—接收機中之電流—晶體檢波器。  
 真空管—真空管中各部分—真空管之作用—柵極之作用—回授接收機—接收機中之振盪—振盪器—放大。  
 無線電話—廣播機械—接收機械—種種之改良—優等喇叭。

## 電 諧 振

508. 來頓瓶之放電成振盪之狀。在一八四二年，約瑟夫亨利(Joseph Henry)發見，當來頓瓶由圍繞一鋼針之線圈以放電時，鋼針即受磁化，亨利所見者尚不止此，且見瓶之充電，雖依同法，而針之一端，時而為北極，時而為南極，亨氏引以為異，彼假定放電之電流，常在前後顛倒，假定此等振盪，逐漸消滅，並假定鋼針受磁化之方向，有賴於上一次可察之振盪所曾取之方向，以說明此一事實，此種振盪電可用圖 558 表示之。

數年以後，英國大物理學家兼大電工程師，開爾文爵士 (Lord Kelvin)，依算學方法證明來頓瓶之放電，必成振盪之狀。最

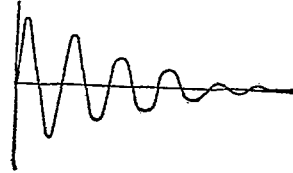


圖 558 振盪放電之曲線。

後於一八五九年，斐特森 (Feddersen) 竟得用疾轉之鏡，攝取電火花之相片。由此實驗，可以計算一次振盪之時間，此時間非常之短，各不相同，自一秒之千分之一以至一秒之千萬分之一。

509. 電諧振。在研究音波時，吾人早已見及，二物體其振動週率相同者，有共起振動之傾向，而振動物體之此種性質，稱為諧振 (resonance, 在音學中謂之共鳴，就一般物性而論，宜稱為諧振)。

今試以橡皮管張於兩柱之上，而用等長之線，懸二重物  $x$  與  $y$  於橡皮管上，如圖 559 所示。若使一擺  $y$  擺動，則他擺  $x$  立即開始擺動，而第一擺漸漸停止，其能流入他擺。此現象之發生，僅在兩擺之長度相同，因而其週率亦相同之時，質言之，能之傳遞必需諧振。

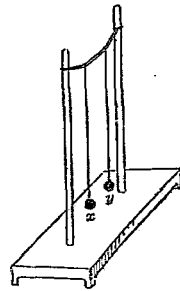


圖 559 二擺之諧振。

今由蓄電器放電而生之振盪電流，其週率視蓄電器之容量，

以及電流激盪所經電路之耗阻與誘導量 (inductance) 而定。故若二來頓瓶之電路,其容量,誘導量,以及耗阻皆相同者,即有同一之週率,而一電路可以影響他電路。

設有二來頓瓶  $A$  與  $B$  (圖 560), 大小相同, 瓶之厚薄亦相同。  $A$  瓶之上, 連一粗銅線之長方形電路, 其一端接觸瓶之外層, 而他端則與瓶之銅球相離, 中隔一小電花隙。  $B$  瓶連於相仿之電路, 惟長方形之一邊  $CD$ , 可以前後滑移, 且無電花隙。最後用錫箔一條, 將  $B$  瓶之內層連於外層, 而於  $X$  處切開之。

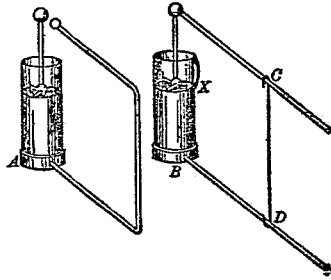


圖 560 二電路間之諧振。

若置此二電路於相隔一呎之處, 並使其互相平行, 而用誘導圈將電花送過  $A$  瓶之隙, 即見滑線  $CD$  有一位置, 可使小電花出現於  $B$  瓶上錫箔條之  $X$  隙。當滑線稍離此位置, 不問向外或向內,  $X$  處之電花立即消滅。

近世無線電之傳播與接收, 其一切方法皆有賴於此一現象, 此現象即稱為電諧振 (electric resonance)。當二電路成配諧 (in tune) 之時, 縱其間毫無連絡, 能亦可自一電路傳至他電路, 而使電花在第一電路中發生。欲為此現象求一解釋, 應注意當來頓瓶一度放

電之際，在連接蓄電器內外層之電路中，有一交流發生。此電流有極高之週率，遠超於平常60循環之家用電燈電流，蓋每秒中有數千次乃至數百萬次之顛倒，奚止六十。此種電流，又有不同於吾人早已習知之交流之處，即每一激盪，其勢殺於前一次是也。是以發生一種減幅振盪電流(damped oscillatory current)，如圖558所示者然。

510. 使電波發生。無論何時，苟有一週率極高之電流，不問其為一如來頓瓶放電所生之減幅交流，抑係某種特式發電機，按極高之速率轉動而生之穩定交流，即有在圍繞發電機械之空間中，使波發生之效應。此種波將能自一來頓瓶傳至他來頓瓶，其情狀頗同於前述兩擺之實驗中橡皮管之所為。赫支氏 (Heinrich Rudolf Hertz) (圖561) 於一八



圖 561 赫支(1857-1894)，發見麥克斯惠爾所預示之電磁波。

八八年,始將此波加以檢探而測定之,故有時稱之爲赫支波 (Hertzian wave), 惟稱之爲無線電波 (radio wave), 較爲普通。

若以天線 (antenna) 與地線 (ground) (圖 562) 代來頓瓶, 則同強度之電流, 可以發出強甚之波。此處天線與地線之作用, 一如巨大蓄電器之二導板, 而空氣則爲兩板間之通感體, 慣例又用線圈爲誘導量, 以代單線。

### 無線電報

#### 511. 無線電廣播與無線電報。

在過去數年之中, 廣播 (broadcasting) 事業之發展, 已使無線電收音機成爲一件家具, 其普通一如留聲機。當聞人談

及無線電時, 自然先思及由某種喇叭發出之演講或音樂。然須憶及在未有此等廣播事業以前, 曾用無線電報 (radio telegraphy) 以傳遞消息, 越大洋而達海舶者歷時多年。至今用之者仍多, 在無線電收音機中, 時或聞一陣營營之聲或唧唧之聲, 按電碼拼成字句, 習於此道者聞之, 自能辨其爲何種消息。故在吾人可望領悟音樂及言語之如何播送與接收以前, 必須對於無線電報, 有清澈之了解。

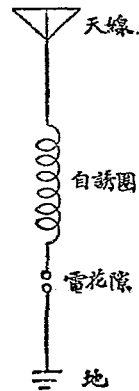


圖 562 天線與地線, 作用如蓄電器。



最初之各種無線電報發送機 (transmitting set), 皆用一誘導圈及一電花隙, 以發生交流, 此交流當然有減幅之性, 其後發見連續之交流, 尤宜於發生無線電波。然以欲用相仿於動力廠中所用之發電機, 以發充分高週率交流, 甚感困難, 故此種傳信之法, 遂受限制, 而不能在商業方面有廣大之應用。

在前十年間, 已發見可用特製之真空管 (vacuum tube), 以發有合意之任何週率之連續交流, 此等真空管, 其作用甚使人滿意而極有效率, 故已疾取傳播無線電之其他一切機件而代之, 其作用之原理, 將於第 525 節中加以說明。

**512. 無線電波與光波.** 無線電波之進行, 與光同速, 即每秒行 300, 000, 000 呎是也。無線電波與光波, 在實際上為同一之波, 惟前者之週率遠較後者為低而已。下之簡單公式, 可以適用於光波及音波者, 亦可適用於無線電波:

$$\text{速度} = \text{週率} \times \text{波長},$$

或

$$\text{波長} = \frac{\text{速度}}{\text{週率}}.$$

例若, 吾人用一交流每秒有百萬次循環 (1000 啓羅週波 (kilocycles)) 者, 以生無線電波, 則此等波之波長即為 300 呎, 此波長較之光波, 可謂非常巨大, 蓋光波視其色而異, 亦不過自 0.00007 呎至 0.00004 呎也。

513. 配諧接收電路. 在用二來頓瓶之實驗中, 第二瓶及其電路與電花隙, 其作用猶如檢探無線電波是否在場之裝置. 此法當然極為簡陋, 而永不能採作商用, 因使用此器之範圍, 僅及數呎也. 近世無線電接收器之主要部分, 為一配諧電路 (tuned circuit), 一天線或環狀天線 (loop antenna), 一檢波器 (detector), 以及一受話器.

配諧電路僅由一誘導量及一串聯之電容量所成. 此等電路之電諧振, 視誘導量及電容量之乘積而定, 故此電路可由變動此二量之任一量, 以配諧之.

在來頓瓶之實驗中, 誘導量即係單圈之線, 而電容量可由瓶得之. 第二瓶之電路, 係由沿二粗銅線移動滑線, 以配諧之. 蓋滑線移動, 則附於瓶之線環, 其大小即有變動, 因而變動電路之誘導量, 若斯則電諧振亦起變化矣. 火花之發現, 僅在此電路與他一瓶之電路成配諧之時.

近世實用方面, 係用固定之誘導量, 由不止一捲之線圈所成, 而由變動電容量以配諧電路. 因此必須用一種可變蓄電器 (variable condenser), 以代來頓瓶.

近代之可變空氣蓄電器，其構造如圖 563 所示。一組導片固定不動，另一組其排列之法，在使可以轉動於定片之間，而不與定片相觸，此二組導片，其作用猶如來頓瓶之內外二層錫箔，而諸片間之空氣，則代玻璃而為通感體，其容量隨兩組導片互相連鎖之量而變動。

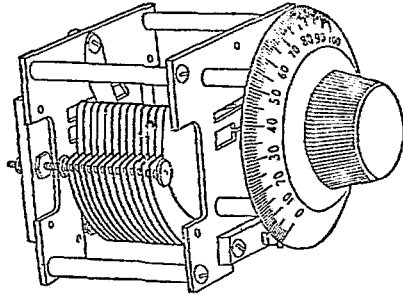


圖 563 可變蓄電器，有固定片一組，及可轉動之片一組。

514. 天線與地線。天線與地線，亦屬必需，惟非絕對必要之具而已，此處之天線與地線，其作用與在發送機中同，亦如一大蓄電器之二導板。

此二線以線圈連之。此線圈復相繼而有空氣心變壓器之一次圈之作用，在配諧電路中之線圈，即係此變壓器之二次圈（圖 564），此變壓器必

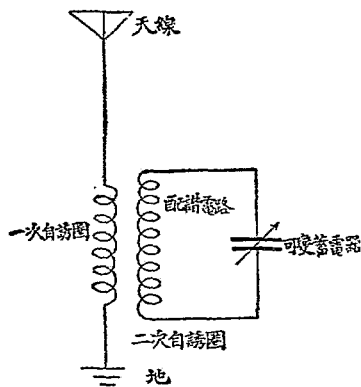


圖 564 天線電路及配諧二次電路。

須用空氣爲心,以代電燈用變壓器中所用之鐵;蓋鐵之磁性,欲其方向顛倒,不能有充分之速,以與無線電之電路中,所用非常高週率之交流相呼應也。天線電路可由變動線圈之捲數,因而變動誘導量以配諧之;惟此項調節裝置,往往省去。

515. 環狀天線。無線電接收機,有於計劃之初,擬不用天線即可運用之者。就此種接收機而論,配諧電路中之線圈,係放大而成所謂一環(loop),此環係由數捲之線,繞於一大架之上而成,環之大小,自直徑一呎乃至四呎(圖565)。當旋轉線環,使其邊緣指向無線電發送機,而又調整蓄電器,使電路成配諧之時,環中即有一交流發生。若使環面向發送機,環中即無電

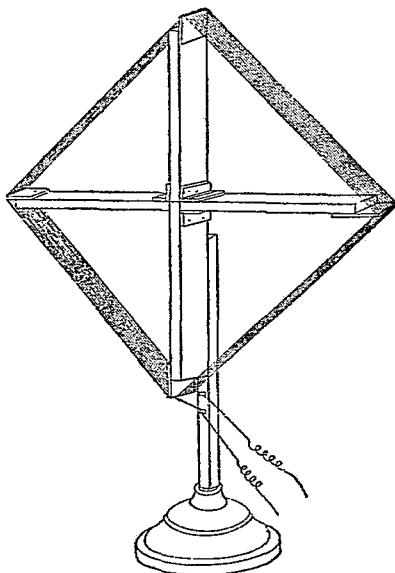


圖 565 標準環狀天線。

流誘起，縱使電路成配諧亦然。由此即能決定，無線電波係從何方射來，而無線電羅盤 (radio compass) 即以此為根據。在線環中誘起之電流，殊不若用大天線所得者之強大，因而此種接收器，祇可當發送器係在附近之處，或有一種放大之裝置，可用以增加誘導電流之強度時用之。

516. 接收機中之電流。在任何無線電接收機中，不問此機有無天線，或是否用環狀天線，入機之無線電波，其效應在於引起配諧電路中之交流，其次所需者，即為決定何時有此等電流發現之某種方法。

在用二來頓瓶之實驗中，電流之出現，係由電花指明，因誘導電流通常極為微弱，又因所欲生之電火花縱小，亦需不少之能，故此檢查無線電波之方法，不足應用於長距離之接收，因欲生可聞之音，祇需極少之能，故在配諧電路中誘起之能，其量已足使電話聽話器之薄膜發生振動。然電話聽話器不能直接串聯於配諧電路，蓋電流之振盪過疾，遂致薄膜之惰性，阻止其隨電流而振動，不特此也，即使薄膜振動而發聲，其音調之高，亦在人類可聞之範圍以外。

用誘導圈傳播無線電時，蓄電器每放電一次，相

當於誘導圈上斷續器振動一次，且其放電，係由一列高週率減幅振盪所成，此事固已見及矣。雖各個振盪之發生，週率甚高，然各列振盪之相繼而起，其率較低，自每秒數百次以至每秒千次，相當於此率之音，全在人類聽覺範圍以內，且其率之低，足使受話器之膜，按此週率而振動。因此之故，若在電路中加一裝置，可使薄膜爲每列之波振動一次，以代爲每一單個之振盪振動一次，則問題即可解決矣。

#### 517. 晶體檢波器. 晶體檢波器(crystal detector)

卽爲此種裝置。此器係由數種物質例如矽或方鉛礦之任一種之小晶體所成，其一端埋於軟金屬中，而他端則爲一金屬

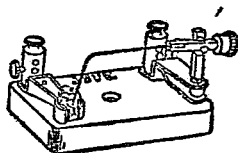


圖 566 晶體檢波器。

針尖所觸(圖 566)。此器准許電流通過，循一方向較循他方向爲易，故爲適用於微弱電流之整流器。其連結於電路之法，如圖 567 所示。在配諧電路中所生每列之振盪，皆爲此晶體所整理，而整理之電流，使固定蓄電器充電，此蓄電器復相繼放電以經聽話器之膜，每有一列振盪發生，卽放電一次(圖 568)。薄膜因此而按成音週率(audible frequency，亦稱低週率)起振動。當欲

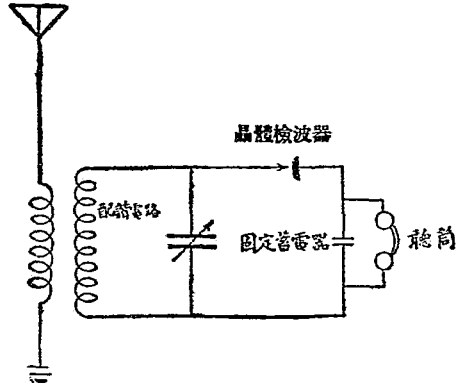


圖 567 無線電接收機中之晶體檢波器。

發送信息之時，發送處之電鍵，經或長或短之時間而下按，以成國際電碼 (international code) 之點與劃。此種信號，收音者聞之，為一串或長或短之營營聲，即能辨其為何字母焉。

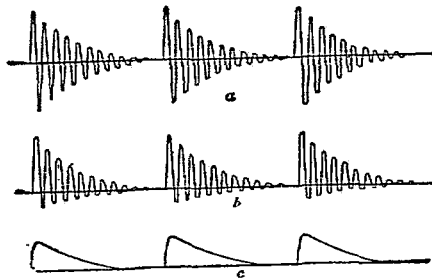


圖 568 減幅電流為檢波器所整理。a. 減幅振盪電流；b. 減幅振盪電流一部分為檢波器所整理；c 結果使聽話器發聲之電流。

## 真空管

518. 真空管之各部。真空管一稱三極球(thermionic valve), 其發明與改良, 已將無線電之接收與傳播加以革新。接收用之真空管, 其外觀為吾人所習見。此管係一小玻璃泡, 其內部常塗以銀, 且有一底, 底上有接觸長脚四枚。在泡內封有用鎢及鈦之齊製成之燈絲 (filament) (圖 569)。燈絲之兩端, 連於底上之二粗脚。在燈絲之週圍, 有一金屬線之網狀屏, 稱為柵極 (grid)。此柵極與燈絲絕緣, 而連於較細之一脚。在燈絲及柵極之週圍, 又有一金屬筒, 與二者皆絕緣, 而與管底之他一細脚相連。此筒稱為屏極 (plate)。泡中空氣抽出, 抽至吾人所能獲得之最完全之真空。

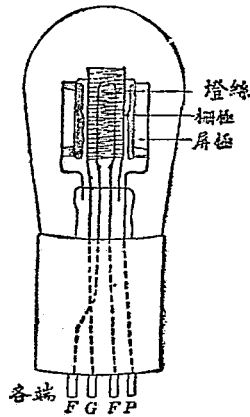


圖 569 三極真空管, 內有燈絲, 柵極, 以及屏極。

519. 真空管之作用。使用此管之時, 燈絲之兩端連於電流之源, 此源稱為“甲”電池 (“A” battery) (圖 570)。此電流加熱於燈絲, 使呈明亮之赤色。組成



燈絲之分子,受熱而起激烈之騷動,而電子即自此等分子擺脫,其中有若干電子,實際上完全被驅逐至燈絲以外,而廣集於其四週。

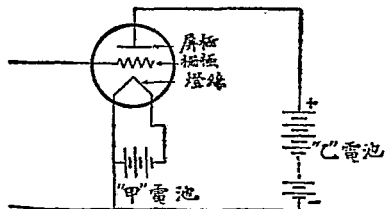


圖 570 真空管及“甲”電池與“乙”電池。

屏極之腳,連於電勢為二十弗或二十弗以上之電池之陽極,而此電池之陰極,則連於燈絲之二端之一,此電池稱為“乙”電池 (“B” battery), 其效應在使屏極帶陽電,由燈絲放射之電子,既帶陰電,乃為帶陽電之屏極所吸引,而經過柵極之網眼以達其上此等電子繼續前行,經過電池而回至燈絲之上,因電子沿導體之運動,構成一電流,故在“屏路” (plate circuit) 中有此種電流存在。

520. 柵極之作用。柵極之用途,即在於控制此電子之流,其情況與滑瓣控制導管中之水流相仿,若使柵極帶電,其電勢對於燈絲為負,則柵極即有斥拒由燈絲射來之負電子之傾向,迫使彼等留於燈絲之

附近,而不能穿過柵極以至屏極,因此屏路中之電流即行停止。若使柵極帶陽電,則柵極即能幫助電子經過柵極以至屏極,而屏電流即行增加。柵極電勢與屏電流間之關係,如圖 571 所示。

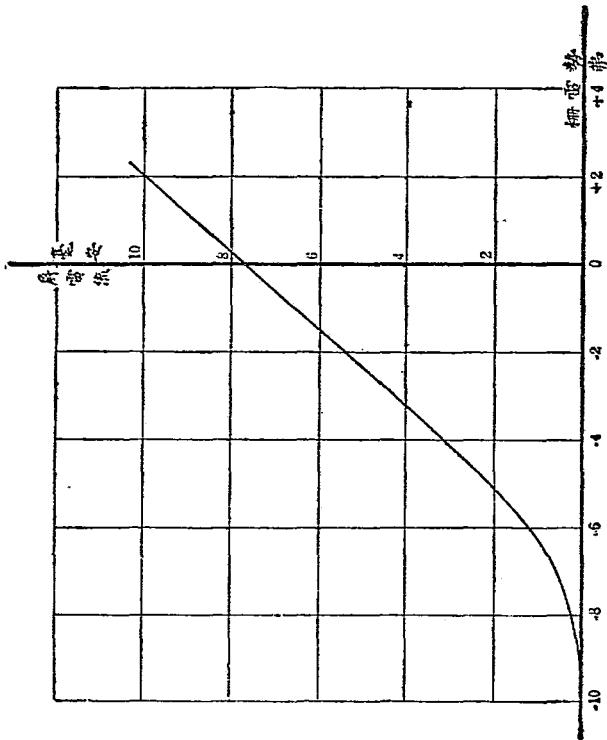


圖 571 表示屏電流與柵電勢間關係之曲線。

521. 真空管檢波器，燈絲所射出之電子，雖大多數經過柵極而至屏極，然其一部分在柵極帶陽電之時，為柵極所吸引，欲用真空管為檢波器時，吾人即利用此一點，圖 572 所示者，即為以真空管代接收電路中之檢波器時，所用連結之法，須注意天線，地線，以及配諧電路之連接法，與晶體接收器仍相同，然配諧蓄電器之一側，不連於檢波器，而連於一固定小蓄電

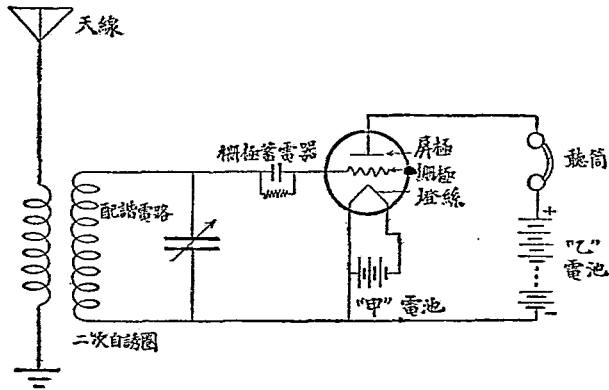


圖 572 簡單接收機，有一真空管檢波器。

器，稱之為柵極蓄電器 (grid condenser)。此柵極蓄電器有一極高之耗阻為其分路，此耗阻稱為柵漏 (grid leak)，通常為二百萬或三百萬歐。柵極蓄電器之他一端，連於真空管之柵極，而配諧蓄電器之他一極，則連

於燈絲。

當無線電波觸及接收機之天線時，即使配諧電路中發生一交流，此電流由誘導作用，通過柵極蓄電器，而使真空管內之柵極，更迭帶陽電與陰電。在每一循環之正半週中，柵極吸引由燈絲發出之電子之一部分，此等電子欲自柵極逸去，其唯一方法為取道於柵漏。但柵漏之耗阻既如是之高，則在正半循環中積聚之電子，勢不能於其次之負半循環中漏去，其結果則為當配諧電路中有交流之際，柵極使自己帶陰電。若方在接收一串之減幅波列，則柵極於每列初入之際，自帶陰電。此陰電荷須至每列之後半，即當振盪微弱之際，以及在各列間之歇止時期，始能漏去。因柵極上之陰電荷，使屏電流減少，故聽話器中之膜，對於每一波列運動一次，正與晶體檢波器之所為同。

**522. 晶體檢波器與真空管檢波器之比較。** 是故真空管可用之為檢波器，且遠較晶體檢波器為靈敏而可靠，後者須時加調整，殊屬不便也。雖使用真空管，必需電池，似覺繁瑣，然在今日，真空管幾成為專用之品矣。

真空管檢波器之靈敏度 (sensitivity)，所以較大

於晶體檢波器者，即因其有滑瓣作用之故。實際上使聽話器發聲之能，係來自“乙”電池，而天線所收納之能傳至配諧電路者，僅用以控制屏路中能之流動而已。天線所收得之極少量之能，即可控制屏路中遠過於此之能；頗與一人司開關，即可控制耐亞嘎拉水電廠之數千馬力相彷彿。

523. 回授接收機。用所謂回授(regeneration)之法，可使真空管之靈敏度，再行增加。因在屏路中可獲得之功率，遠較在柵路中所得者為大，故可將此屏功率之一部分，回授於柵路中。欲達此目的，可串聯一線圈於真空管之屏極，而使此線圈在一適當之地位，俾可在配諧電路中誘起一電流(圖 573)。此屏路線圈通常稱為回授圈(tickler)。此種接收機之作用如下。當入機之信號，使配諧電路中生一振盪電流時，此電流經柵極而起作用，使屏電流按同狀增減。屏路中振盪能之一部分，經回授圈回授於配諧電路，而配諧電路中之能即增加，如是則其影響屏路中電流之能力，較前更大。屏路中之能，因此復相繼增加，而由回授圈回授於配諧電路之能更多。故此項程序，有交相屯積之性，而將回授圈與配諧電路線圈之交連(coupling)，細

加調整,即可使聽話器中所聞信號之強度,大為增加。

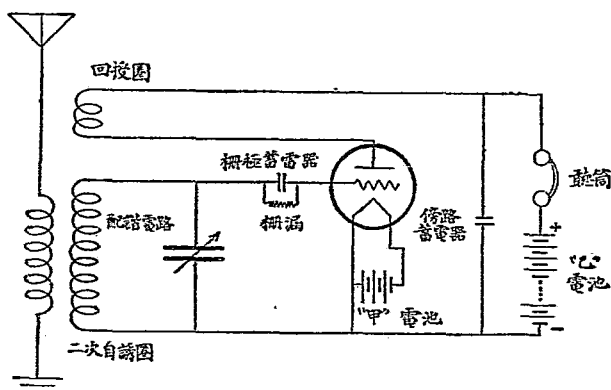


圖 573 有回授圈之接收機。

圖 573 中所示之傍路蓄電器 (by-pass condenser), 其為用也, 在使由屏極經過回授圈之高週率振盪能, 得取道於此, 回至燈絲, 不致為聽話器及“乙”電池所阻。不用回授圈, 而配諧真空管之屏路, 一如柵路, 亦可發生回授作用。

**524. 接收器中之振盪。** 在簡單之 (非回授式) 真空管接收機中, 配諧電路中為入機之信號所誘起之電流, 其強度當然為配諧電路之耗阻所限, 在回授接收機中, 此同一信號, 即可產生較強之電流, 故以回授作用加諸接收機, 相當於減少配諧電路之耗阻, 當吾人增進回授圈與二次圈間之交連時, 吾人即減少配諧電路之有效耗阻; 而此交連若充分使之增進, 則

有效耗阻 (effective resistance) 或可減至零。就此情形而言,在配諧電路中發生之電流,即將繼續流動,無有已時,因此電流無當止之理由也,此種情形稱為振盪 (oscillation)。當收音機之靈敏度,增加至適當限度以外時,吾人所聞長嘯式怒號之聲,大半因此振盪所致。

**525. 真空管振盪器。** 在接收器中,顯然無需振盪;然振盪固為真空管最重要之一用途之基礎也。當接收器振盪之時,當然合於電路所配諧之週率。此週率可調整之,使有任何合意之值,祇須變動配諧電路之誘導量或電容量即得。故振盪器 (oscillator) 能發出可調整之高週率交流,此交流正係發生無線電波之所需,吾人已見之矣。在接收電路中可獲得之能,其量當然微小;但此少量之能,已足產生可聞於遠離數哩之處之波焉。當需要大量之能時,可用較大之真空管,或連合大真空管若干具於一處,真空管之能使用功率多至每管 100 瓦者,今方在製造,此等真空管,與接收用之真空管無少異,惟有用水冷却之屏極,及其所需屏極電壓,高至 2000 弗而已。大多數之無線電報站,以及所有廣播電台,現在皆採用真空管振盪器。

**526. 放大。** 吾人有時欲增加交流中之能量,而

不變其週率或波形。此即所謂放大 (amplification) 是也。放大不僅用於無線電接收機中，且用於廣播方面，用於長途電話，用於公共演講之喇叭，用於“以電灌音 (electrically recorded)”之唱片之製造，以及其他各方面。真空管可按合宜之法連結，使有放大器之作用。若參閱圖 571 所示之真空管之特性曲線 (characteristic curve)，即見曲線之一大部分，幾成直線。若變動柵極之電勢，自 -5 弗至 0 弗，則屏電流即自 2 安變至 7.7 安。在此範圍以內，柵極電勢一有漲落，不問多少，屏電流即起相應之增減，使此漲落之狀再現；且屏功率遠較柵功率為大，與以前所論者同。因此可用一串之真空管，以放大微弱之交流，幾可放大至任何合意之程度。單管放大器之適用於前述任何目的者，其連結之法，如圖 574 所示。圖中將見有一“丙”電池 (“C” battery)，

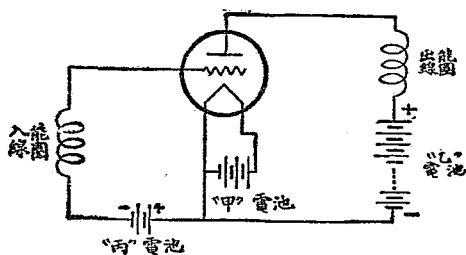


圖 574 真空管用作放大器。



係在“甲”與“乙”二電池以外加用者，此電池之用途，在於固定柵電勢，使達特性曲線之直線部分上某一點。當交流經入能線圈 (input coil) 回授於柵極時，柵極電勢即在此固定點左右漲落；而此漲落之狀，即由屏電流之相應增減，而恰令再現放大之能，然後再經出能線圈 (output coil) 輸出，以供達任何所欲達之目的之用。

### 無線電話

以前所論者，係限於無線電報之傳遞與接收。然自廣播事業勃興以來，言語與音樂之播送及接收，已屬十分重要，故無線電傳聲之器械，其詳細之論述，雖在本書範圍之外，而其所採用之方法，仍宜略有說明也。

**527. 廣播機械。** 廣播所必需之機械，可分為二類，一係振盪器，而他一則為調幅器 (modulator)。振盪器之用途，為發生一高週率之連續交流，此交流即以正欲播送之音之作用控制之，或謂使其受調幅作用 (modulated)。

真空管振盪器之原理，早已述及。此器大概須用大管數具，有此數管，即可使配諧電路中生一大力之交流，各廣

播電台，皆指定一定之週率，令其必須按此週率播送。此等週率，在美國由中央無線電委員會採擇，務使鄰近兩電台間，儘量減少干涉；而其值自每秒 550 啓羅週波起至每秒 1500 啓羅週波止。

在敘述調幅器之作用以前，宜略溫平常電話之作用。音波擊送話器之膜，而使其發生振動，膜之運動，使一小匣中所含之炭粒，其上之壓力起變化，因而炭粒對於電流通過之耗阻亦起變化。送經炭粒之電流，因此而時增時減，其增減之度，與空氣中疎密波之狀況相同。例若執一方發中音部 C 音之音叉，置於送話器之前，即可生一波動電流，其週率為每秒 256 循環。此波動電流，即可用以使受話器之膜振動，而送出相似於擊動送話器者之音波，就較為複雜之音例如言語而論，電流之波動，遠較此為複雜；但此等波動，仍可使受話器之膜，再生送話器之膜之運動，因而再發擊動送話器之音。

**528. 音之播送法。** 廣播電台之播音室中所發之音，為傳話器(microphone)所收納。傳話器作用之原理，全與電話送話器同，惟其外貌相異而已(圖 575)。音對於傳話器之作用，發生一波動電流，此電流將謂之為聲流(voice current)。此聲流先用一串真空管放大器放大之，然後為調幅器所用，以控制振盪器所生電流之強度。調幅器為一複雜之電路，有強力真空管數具。聲流之變率，一與振盪器所發之週率相較，即見其甚低；故聲流之單一波動，相當於振盪器中電流之無數循環。當聲流增加時，調幅器即使振盪器中電流增

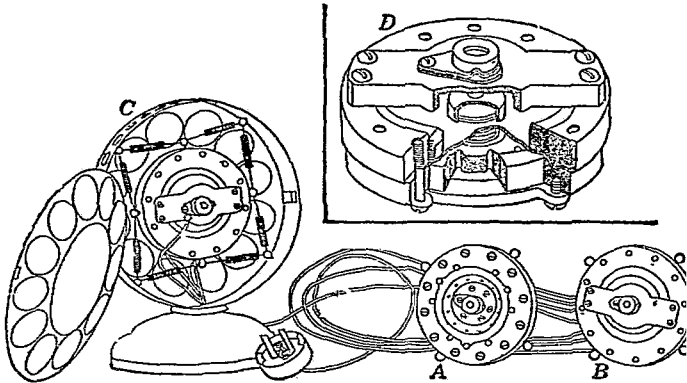


圖 575 炭粒式傳話器。膜爲金屬架A及B所夾，而張緊於其間，膜之兩側，各有可變耗阻箱一具，如D所示。欲免膜之受室內地板或鄰近其他物體振動之影響，故用彈簧數條，懸此架使其凌空，如C所示。

加；當聲流減少時，調幅器即使振盪器中電流減少，振盪器中電流之週率，並未爲調幅器所變，所變者僅其強度而已。振盪器所生之“主流 (carrier current)”，受聲流之作用所發之調幅作用，欲領悟其情況，請參閱圖 576，將更覺明白。已受調幅作用之交流，放之入天線系，此交流即在天線系中產生無線電波，自發送電台向各方散布。

529. 廣播電波之接收法。任何接收器之適於接收無線電波者，均可用以接收無線電話經過調幅

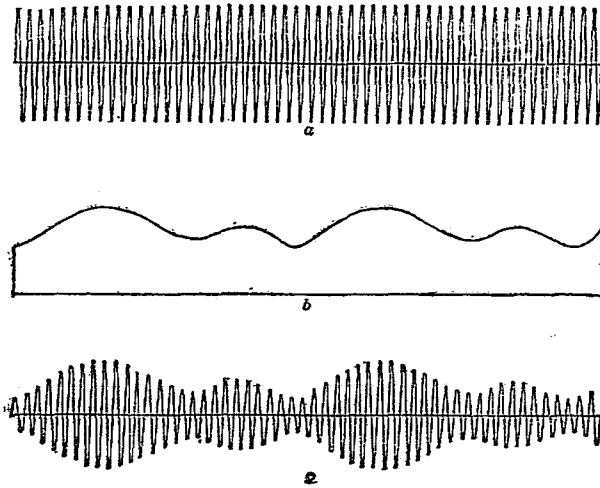


圖 576 高週率主流之調幅情況：*a*，未經調幅之電流；*b*，聲流；*c*，已受聲流調幅作用之主流。

之主波 (carrier wave)，擊於接收天線，而使已受調幅作用之高週率交流，發生於接收器之配諧電路中，祇須後者配諧至主波之同一週率即可。因各播音台確接不同之週率播送，故吾人可隨意選聽所欲聽之特別節目。欲達此目的，祇須調整可變蓄電器，以配諧接收器，使與所欲接收之播音台之週率相同即可。

配諧電路中之振盪電流，為檢波器之作用所改正，而生一聲流，與發源於播音室之傳話器中者相同。

此聲流於是激動聽話器之膜，俾其再生原來之各音。

**530. 收音機。** 近時所用收聽廣播節目之接收機，大都遠較已述之單管接收機為複雜。除真空管檢波器以外，尚用其他真空管若干具，作為放大器，以增加所收信號之強度。此等真空管，可用以放大尚未送入檢波器之信號，就此種情形而言，諸管稱為射電週率放大器 (radio-frequency amplifier 亦稱高週率放大器)；又可用以放大檢波器所產生之聲流，此時稱之為成音週率放大器 (audio-frequency amplifier 亦稱低週率放大器)。近世收音機之製造者，其目的皆在使所造之機，靈敏善感，有選擇性，易於使用，且能再發由播音台傳來之音，儘量不失其真。因大多數之聽眾，不願用受話器，而喜用喇叭，故優良之收音機，又須給以充分之能力，使喇叭之發聲滿意。凡此種種需要，可由適當採用兩種放大之法而得之。

**531. 射電週率放大。** 前已究及，射電週率放大，係用以增加無線電波在天線中所生調幅交流之強度者，其效應為增加接收器之靈敏度 (sensitivity)，即其收納來自長途之波之能力是也。諸放大管係藉空氣心變壓器而得交連，此等變壓器之二次圈，各須用

一蓄電器配諧之，因不配諧之電路，對於高週率電流之總阻甚大，故用不配諧之放大器，所得將甚微小，多用配諧電路，尙有下之利益，即可增加配諧之精確（即選擇性），且可使接收器摒除所欲接收之一波以外所有各種週率之波是也，如是則幾按同一週率播音之二電臺間之干涉，即可消去。在最初之各式收音機中，每有一配諧電路，即在調節列盤（control panel）上別置一盤以調整之。近時之慣例，則將所有配諧蓄電器，裝於同一軸上，或用齒輪連接之，使祇用一配諧盤已足。

前此早已指出，由於配諧真空管之屏路，同於柵路，亦可發生回授作用，此卽用一串之高週率放大級時，所生主要之現象，一定量之回授作用，乃屬必需；但在一級放大以上或二級放大以上之接收器中，回授作用甚強，致在接收器中發生振盪，除非有某種裝置制止之始無。阻止振盪最簡單之方法，係在配諧電路中，再加一耗阻，使回授作用，不減少其有效耗阻至零，另法係將一小蓄電器，加於電路中，以與回授作用抵消，凡“平差”接收機（“neutrodyne” receiver），皆用此法以中和回授作用。

532. 成音週率放大。高週率電流，已爲射電週率放大器所放大以後，卽爲檢波器所整理，而變之爲聲流。此聲流之力，已足鼓動聽話器之膜；但如欲用喇叭，必須再行放大，因聲流之起伏，係按成音週率，故此

種放大即以“成音放大”名。欲達此目的，可在檢波器電路中，以一鐵心變壓器之一次圈，易聽話器即得。此變壓器之二次圈，成爲真空管放大器之入能線圈，一如前所述者然（圖 574）。放大管之出能，或用以鼓動聽話器，或用以控制第二級之成音放大檢波器所生原來之聲流，可用此法放大，至鼓動喇叭之程度。

**533. 失真。** 無線電廣播事業方興之際，能發最宏亮之音之接收機，一致譽爲最佳。然在今日，於宏亮之外，尚須求其發音正確。此目的之得達，祇可由於精細計劃播送及接收二者之設備，俾可免除複雜交流之失真。廣播電臺已盡力改良，其所發之波，今已差堪免於失真。在接收機中，成音週率放大級，最易犯失真之弊。鐵心變壓器，有對於聲流之特殊週率起諧振之傾向，故放大此等週率，較其他爲甚。接收機其成音變壓器不良者，或將使鋼琴之樂音，變爲細小之聲，或將最高音變成中音。由於適宜之設計，此等傾向，幾可完全消去。在成音放大系中之最後一管，負荷過度，亦常爲失真之一因。蓋此時信號既已爲射電週率級及第一成音級所放大，往往變爲甚強，以致使末一級中平常接收管之柵極，其電勢變動至特性曲線直線部分。

之範圍以外,此項困難,可用“強力管”(power tube)\*除去之。

534. 優等喇叭。即使最佳之無線電收音機,若與設計不良之喇叭合用,亦不能發優美之音。最初之各式喇叭;不過一大型聽話器,連以相仿於舊式留聲機所用之號角(horn)而已。號角有加強某種週率之音波,而壓制他種週率之音波之傾向,其結果則所發之音,與播音室中原來所發者大不相同。在最近數年之內,已有種種喇叭出現,其再生之音,遠較以前各種近於原音。

錐式喇叭 (cone speaker) 或為此中最普通之一種(圖 577)。在此種喇叭中,聽話器之膜,易以硬紙製成之大平圓錐。圓錐之面積頗大,無須用號角,足以鼓起強有力之音波。

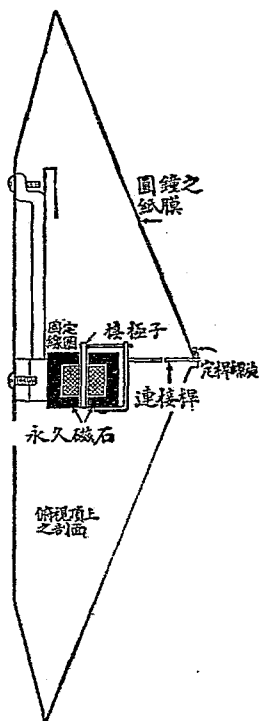


圖 577 錐式喇叭。

\*無線電強力管,為特製之真空管,其所用電功率,遠較平常真空管為多。平常真空管須用 1.25 瓦,而強力管須用 5 瓦或 5 瓦以上。



所謂動電喇叭(dynamic loudspeaker)者,係利用直接作用於線圈之強力電磁石製成,如圖 578 所示。當電流通過動圈時,圈即為電磁石所吸引,此磁石有一特殊形狀之架,可使中央極及其接近之架兩者之間,有一強磁場發生,動圈係由少數之線捲所成,直接緊附於圓錐之尖頂,自放大管而來之電流,先引入一降壓器,然後由此降壓器通入動圈,據稱此輕圈及小圓錐,重量異常微小,易按較高之週率而振動。

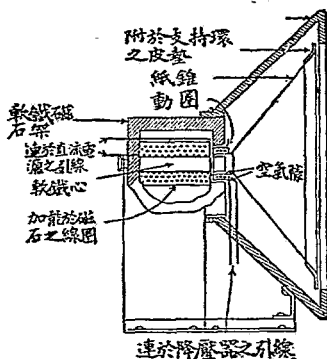


圖 578 動電喇叭之剖面。

高等無線電收音機之運用優良之喇叭者,其所生之音色,現在殊可使人滿意,有訓練之音樂師聞之,或似欠佳,然至少可與留聲機媲美也。

**535. 交流收音機.** 交流收音機可連於屋內電燈電路中以運用之,其構造除有一整流器,一濾波器以及一變壓器用以使60循環之電流適於無線電之需要者外,與平常之電池收音機相仿,整流器與濾波器使交流改變為十分純粹之直流,以供屏路及柵路之用,變壓器將交流電壓自110弗減至2弗,以供真空管燈絲之用,大多數之交流收音機,常發頗為明顯之

60 循環營營聲。此項缺點，已由採用有特殊燈絲之真空管而使其減少，若設計改良，或可全行除去也。交流收音機較電池收音機為緊密而堅固，且對於非專門家之無線電聽衆，較為適用，因其不易失常態也。

### 536. 無線電方在

進步。無線電播送與接收之發展，方興未艾，且其範圍早已擴大，以致在本書中不能詳述其一切。然基本原理，則自赫支氏之時代以來，仍未改變也。吾人所已



圖 579 無線電管，大型及小型。此婦人右手所持者為 UV-199 式，而立於地上者，為一 100-KW 之水冷管。

試述者，僅為此等基本原理，以及真空管(圖 579)作用之解釋而已。

### 問答題與計算題

1. 無線電波能見之否？能聞之否？
2. 在接收機中，何故需要檢波器？

3. (a)天線與引入線之連結處,何以必須銜合? (b)何以煤氣管不能用作地線?
4. 作一圖以示某種避雷器(lightning arrester)之用於無線電引入線(lead-in wire)上者,何以保險絲不可用作避雷器?
5. 環狀天線之弊何在?
6. 在播音台之音波,變為無線電波而發射,而在接收機中復將其變為原來之音波,其過程中之主要各步為何?
7. (a) 200 呎之無線電波,其週率與最高之可聞之音(每秒振數 20,000)相較,結果如何? (b) 無線電波何以不能直接聞之?
8. 波長 360 呎之無線電波,與之相應之週率,有若干啓羅週波?
9. 用於真空管上之“甲”,“乙”二種電池,各司何事?
10. 若將“乙”電池連於“甲”電池應置之處,則對於真空管有何影響?
11. “甲”電池之情狀,將如何測驗之?“乙”電池用何法測驗之?
12. 在無線電收音機中,有時須用變壓器,何故?
13. (a) “天電(static)”一語何解? (b) 其或然之原因為何?
14. 收音機中普通所用之成音放大,限制其級數者為何?
15. 成音週率放大及射電週率放大,其相對之利益為何?
16. 關於用射電週率放大法之主要困難為何?
17. 優良之聽話器,其特性為何?
18. 在何種情形之下,一收音機與鄰近之另一收音機互相干涉?
19. “有線射電(wired wireless)”如何增加長途電話線

之輸送容量?

20. 真空管如何可在長途電話之電路中,用作繼電器以增加電線上電衝動之強度?

### 第三十章 提要

蓄電器之放電經過耗阻微小之電路者,成振盪狀。

二電路配諧而有同一週率者,稱為成諧振。

無線電波長度(積數) =  $\frac{\text{速度}(300,000,000 \text{ 呎/秒})}{\text{週率(循環/秒)}}$ 。

晶體檢波器與真空管檢波器有整流器之作用,後者又可用作振盪器與放大器。

發無線電報時,電波由天線送出,傳遍空間,而為另一天線連於檢波器及聽話器者所接收。

三極真空管為一抽去空氣之管,內含三種要素:一為燈絲,熱時放出電子;一為屏極,常帶陽電,電子向之而流;一為柵極,連於接收電路,而在燈絲及屏極兩者之間,能節制電子之流動。

回授電路可由連一第三誘導量,即回授圈於屏極至聽話器之電路中,且置之於其他二誘導量鄰近之處而成,此圈對於二次圈發生誘導作用,而使屏路中之電流大為增加。

放大之目的,可由插入昇壓器之一次圈於屏路中以代聽話器,而將二次圈連至稱為放大器之第二真空管之柵路而達,此種成音放大之法,可用第二變壓器及第二放大管而再加一級。

合宜之變壓器與真空管,可用以放大未達檢波器之無線電流;此法稱為射電放大。

成音(可聞)週率包括自每秒 15 次起至每秒 15,000 次止之各種週率,而射電週率之範圍,則自每秒約 15,000 循環起,乃至每秒數百萬循環。

播送無線電話時,週率極高之不減幅連續振盪,其強度受發送機之變量耗阻之調幅作用。

## 實 用 題

1. 無線電報發送機及接收機。製造一低功率之發報機與收報機。練習國際電碼，且與友人合作，互相收發電碼之消息。須避免對於鄰近之無線電收音機發生干涉。
2. 無線電話收音機。考察某種商用收音機之構造。作該機之大圖，詳細註明各部分，且決定每一真空管之用處。向無線電材料行購買各零件，自造一收音機。
3. 無線電用“乙”電池。覓一廢棄之乾電池，拆開之。計其電瓶之數而察其相聯之法。解剖電瓶之一，考察其各部分。

## 第三十一章

## 陰極線與X線 放射性

電花電壓——半真空內之放電——陰極線及其特性與本質——X線。

放射性——鐳——鐳之輻射——蛻變——鐳之用途——能之變化。

## 通過氣體之放電

537. 電花電壓。使電花在二球頭間躍過所需之電壓，視數種要因而定。此數者，即球頭之大小，其相隔之距離，及大氣壓力是也。使電花在二尖頭間躍過，所需電壓較之在二圓球間為少。例如相隔 1 厘米之二尖頭間，所需之電花電壓 (sparking voltage) 約為 8,400 弗，而相隔 1 厘米之二圓球，其直徑為 1 厘米者，所需之電壓約為 27,000 弗。二尖頭間之電花電壓，幾與相隔之距離成正變，甚至此係用以測量極高電壓之一法。

欲表示大氣壓力之效應，可以長 2 呎或 3 呎之玻璃管，與一誘導圈相連，如圖 580 所示者然。此管之側又有一管與抽氣唧筒相通。當誘導圈先通以電時，放電現象發生於誘導圈之兩端  $x$  與  $y$  之

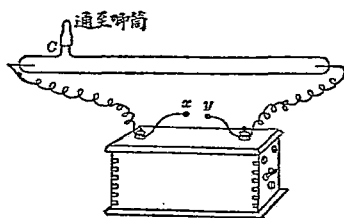


圖 580 在半真空內之放電。

而  $x$  與  $y$  僅相離數耗;但當管中空氣抽去之時,電花即由長玻璃管中通過,而不再越過短隙  $xy$ ,由此可知壓力減小時,電花電壓即行降低。

538. 半真空內之放電。由於減少兩尖端之大氣壓力,可使放電通過較易,直至抽氣之程度達於某定點而止。自此以後,又較困難,至抽氣程度,達於今日可達之最高點時,欲使電花通過真空管,幾屬不可能。

當抽氣程度愈趨愈高時,此種真空管之外觀,其變化極有趣味,最初之電花為閃爍搖曳之細線;但當壓力漸減時,放電之線漸形粗大,直至充塞全管而放穩定之光為止。

真空之程度更高,即有不耀目天鵝絨狀之光



圖 581 蓋斯勒管,供研究氣體例如氫之光譜之用。

覆於陰極之表面,而管之大部分,充滿所謂陽極柱 (positive column),此柱成層狀而發燦爛之光,且直達陽極,所謂蓋斯勒管 (Geissler tube) (圖 581),即此種真空管之小者,常製成奇特之形狀,而用作玩具。自蓋斯勒管發出之光,其色視管中所有之氣體及所用者為何種氣體而定。

539. 陰極線。抽去管內之空氣,其程度高至壓

力約等於水銀柱 0.01 耗時，陽極光即非常暗淡，而陰極四週之黑暗部分，則為放電所普及。有一種不可見之輻射，自陰極流出，幾與陰極之表面成直角，而與管中陽極之位置無關係，自陰極發出之此種輻射，稱為陰極線 (cathode ray)，其自顯之道，有下之數端：第一，此線觸及管壁之處發生黃綠色之螢光 (fluorescence)；第二，可以集中於一焦點而發強熱；第三，其路徑中插入金屬板，則在管之一端螢光中即現極顯明之影。

一真空管，其配合如圖 582，可顯示陰極線之熱效應，當誘導圈放電經過此管自頂至底時，陰極線即集結於一箔片上，而箔片變為赤熱。

另有一種真空管，其配合之狀如圖 583，可顯示管之一端，有一鉛製十字所成之影。



圖 582 陰極線之熱效應。

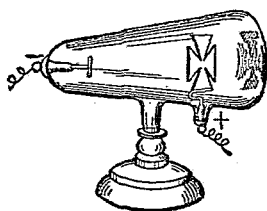


圖 583 由陰極線所成之影。



540. 陰極線為何物? 真空管之製成圖 584 之形狀者,其所發之陰極線,通過一鋁屏  $mr$  上之細隙  $s$  而成狹帶,且射於稍向此帶偏斜之螢光屏  $f$  之上.當以強磁石  $M$  移近管之一側時,即可察見陰極線偏向.其所偏之方向,與假定此輻射線係由陰粒子組成時,所預料之方向

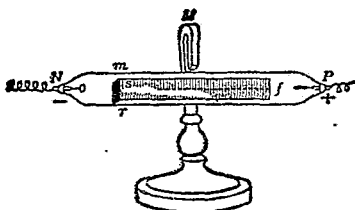


圖 584 陰極線因磁石而起之曲折。

相同.由此及其他實驗,吾人可信陰極線乃由陰極表面按極高之速率而射出之電子流.

英國物理學家湯姆孫(J. J. Thomson)氏,曾由關於陰極線之種種實驗,估得此等電子,其質量約為氫原子質量之一千八百分之一,而其運動之速率,則自光速之十分之一至三分之一.每一微粒,假定其所帶之陰電荷,等於電解時氫離子之電荷.

541. 近來對於陰極線之實驗. 奇異電器公司研究所 (Research Laboratories of the General Electric Company)之柯立奇(W. D. Coolidge)博士,近來曾發明一種新式陰極線管,如圖 585 所示.在此管中,自熱陰

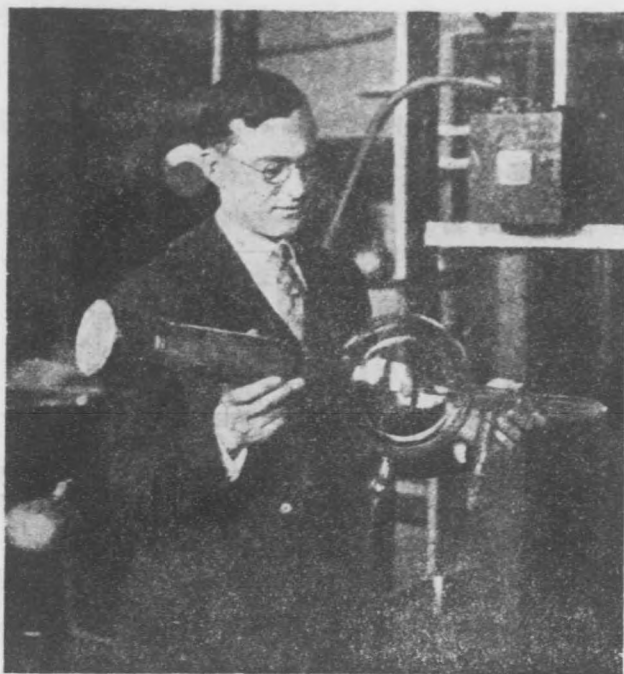


圖 585 柯立奇博士在其近來之實驗中所用之陰極線管，陰極線係由管之左端透過金屬窗而射出。

極發出之電子，集中於一管狀之陽極，當以 350,000 弗之電壓，加於陰極與陽極之間時，此等電子即經過此管而撞擊其底，底為極薄之鎳片，其厚度僅有萬分之五吋，大多數之電子，皆透過此金屬窗而入於空氣之中，在暗室內可見電子之發射，伸展至離管底 2 呎以

外,以礦石置於此諸線之路徑中,即發燦爛之磷光與螢光,當此線觸及皮膚時,皮膚受灼,其創頗鉅,此等陰極線管中所需之真空,程度極高,為欲達此高度真空計,故於泡上連一傍管(side tube),其中貯有木炭,而將此傍管浸於液體空氣之中,木炭受冷,即將殘餘之空氣,迅速吸收之。

#### 542. X線 樂琴 (Wilhelm Konrad Roentgen)

(圖 586)氏因用真空管作實驗,而於一八九五年發見另外一種輻射線,稱之為X線,當陰極線撞於如圖 587 所示之鉑盾上時,X線即自此盾送出,此等線對於乾片之影響,頗與日光相似;但其線可透過平常之光所不能透過之物質多種,例如木,厚紙板,以及人體皆是,此性



圖 586 樂琴 (1845-1923), 德國物理學家, 發見不可見之新輻射線, 以X線聞。

質與陰極線同,此線之不同於陰極線,可由不為磁石

迫使偏向之事實顯示之。

以乾片置於平常之乾片夾(plate holder)中,其兩面掩以硬橡皮或厚紙板,覆一手於其上,而使之露於X線中時,即攝得一陰影畫,與現於螢光屏上者同(圖588)。此種照相之造成,係因各種物質對於X線之可透性(penetrability),不相同之故。

用誘導圈使X線管發出X線,而置一螢光屏(fluorescent screen)於泡前,即可證明X線之作用。若室內黑暗,而以手插入管與屏之間,則易為X線所透過之皮肉,其影淡而輪廓不清,而X線不易透過之骨,其影甚濃。牙科醫生於診察齒根膿瘡所在處時,即須借重齒之此種放射線照相。

陰極線落於任何

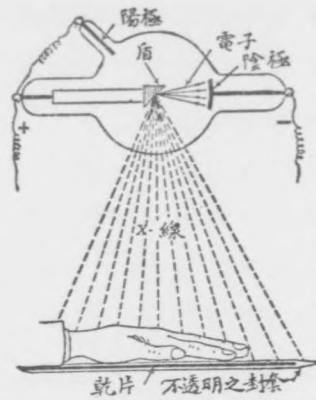


圖 587 X線管,用以攝取手之放射線照相(radiograph)。



圖 588 手之放射線照相。

固體之上，即有X線發生於此固體而向外射出。今知此線亦為能媒波，正與光波相同，惟波長遠較光波為短而已。

減少管內氣體之壓力，而增加越過電極之電壓，即可增加X線透射力或“硬度”(hardness)。柯立奇X線管(圖589)即係儘量抽去空氣者，其所用陰極，係螺旋形之鎢絲，以來自12弗密電池之補助電流熱之，以得必需之電子。鎢絲之四週圍以鉾管，供集中電子流於對陰極(anticathode)上之用，對陰極亦由鎢絲製成。調整陰極之溫度，逕可精密節制X線之強度。因所得X線之硬度，比例於電子之速度，故此性質可由改變所加電壓以節制之。

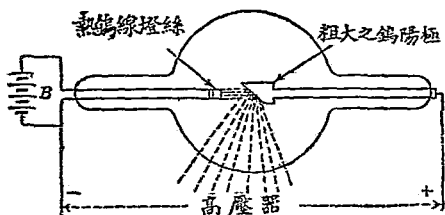


圖 589 柯立奇式X線管。

543. 用X線以研究晶體。於一九一三年，威廉布刺格(William Bragg)及其子取食鹽(NaCl)之晶體(此晶體屬於立方晶系)細加研究，而斷定鈉(Na)之原子與氯(Cl)之原子連合成等軸結晶質(regular crystalline structure)(圖590)。由於食鹽

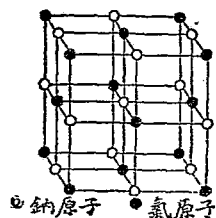


圖 590 食鹽之結晶。

結晶之密度及原子之質量，威廉氏父子二人能計算每單位體積之原子數，然後算出二原子間之距離，約為  $2.814 \times 10^{-8}$  厘米。威廉氏父子得此智識以後，即用食鹽之晶體代迴折格\* (diffraction grating)，以測種種  $X$  線之波長。用此法測得之  $X$  線之波長，其範圍自  $0.1 \times 10^{-8}$  厘米至  $12 \times 10^{-8}$  厘米。科學家已用  $X$  線分光照相器 (spectrograph)，將其他晶體之構造細加研究。

莫司雷 (Henry G. J. Moseley) (圖 591) 約在同時用此同一之儀器，以研究某一定原質用作  $X$  線管中之盾時，所發  $X$  線之性質。莫氏察得各種金屬之  $X$  線光譜，係由少數一定波長之分明之線所成。彼又發見下之重要事實，當彼以原子量較高之次一原子易每一原子時，諸線之波長依一定之規則



圖 591 亨利莫司雷 (1887-1915)，英國物理學家，決定諸金屬之  $X$  線光譜，而建立原子數之基礎。

\*在金屬或玻璃上劃極細之平行線而製成之迴折格，於分光術中用之已久。

遞減質言之，莫氏曾將諸原質按一定次序排列，使各原質之光譜線，當原質增其原子量時，須遞向波長減少之方向移動。此種以原子之X線光譜為根據之排列方法，知其大概與根據原子量排成之一列相合。在此新列中，若吾人定氫為一，則指明原質位置之數，即稱為原質之原子數 (atomic number)。此種原子數，又可見其對應於繞原子核之電子數，兼與核之陽電荷相對應。

### 放 射 性

544. 放射性。 法人 亨律倍格勒爾 (Henri Becquerel)，於一八九六年發見有相似於X線者，自瀝青鈾礦 (pitchblende) 以及其他含鈾原質之礦石放射而出。倍格勒爾察知若以黑紙包裹之乾片，置於此等礦石之一之近傍，則介於其間之銅元或其他堅密之物體，即能留其影於乾片上。此現象稱為放射性 (radioactivity)。

545. 鐳之獲得。 法人 居禮 及 居禮夫人 (Mme. Marie Skłodowska Curie) (圖592) —— 亦在巴黎 —— 立即繼此而發見當時所知次於鈾之最重原質之鈷 (thorium)，亦具同一之性質。然夫婦二人，因察知在奧

國某處所產之瀝青鈾礦，其放射性較等重之純鈾或純釷為強，而大為驚異。由是顯見此種特殊之瀝青鈾礦，必含有他種物質，其放射性較鈾或釷均強。居禮夫人經長期之辛苦工作以後，竟得自許多噸之瀝青鈾礦，析出極少量之此種新物質，尚屬純淨。此物質確可斷定其



圖 592 居禮夫人(1867-1934)。索蓬納(Sorbonne)大學之物理學教授。圖係夫人在其巴黎實驗室中正在工作之狀。

為未知之原質，居禮夫人稱之為鐳 (radium)。鐳之放射性，一百萬倍於其最初所由發現之瀝青鈾礦之重量相等者，而其活動能力四百萬倍於純粹之鈾。

今日世界中所產之鐳，其大部分係得自非洲剛果 (Congo) 河流域之某種礦石。須有此種礦石 500 噸，以及提煉所需之化學藥品 500 噸，始可提出一克之鐳，加熱用之煤與溶解沖洗用之水尚不在內；此外且須專門技師參與其役，工程甚為浩大，故鐳之價值，每



克達金洋六萬五千元,殊不足怪也。

平常所售及所用之鐳,並非純粹之金屬,係與溴化合而成鹽,其外觀與普通食鹽十分相似。此鹽之含有鐳 1 克者,其重量約為 1.7 克。

546. 自鐳放射而出之三種線 若取鐳鹽少許,置於鉛塊之凹處,即可用磁場使三種線分開(圖 593)。一稱  $\alpha$  線 ( $\alpha$ -ray), 其透射力甚弱,且知其為帶陽電之微粒,即氦原子是也。一稱  $\beta$  線

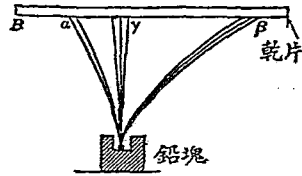


圖 593 用磁場分開鐳之輻射線。  
( $\beta$ -ray), 其透射力較強; 此線實際上不過為電子流, 全然與真空管中所察見之陰極線相似。一稱  $\gamma$  線 ( $\gamma$ -ray), 不受磁場之影響; 此線非他, 僅為非常短之 X 線耳。最初注意所及之鐳之照相能力, 即由此  $\gamma$  線即 X 線而來。

547. 鐳之用途 鐳所放出之輻射線, 異常活動。藉此輻射線可以攝取相片, 全與用 X 線相同。鐳線對於有生命之物質, 有甚強之作用, 而此種作用, 已引起鐳線利於療治種種疾病之希望; 誠如此望, 於治療某數種毒瘤以及相仿之贅疣時, 鐳似極有益也。此異常

昂貴之鐳，時在發出鐳射氣 (radium emanation)，絡繹不絕；而普通所用以療病者，即係此鐳射氣，並非鐳之本體。每日將此射氣自鐳鹽抽出，收集於極細之玻璃管中，然後將此等細管，插於贅瘤近傍之肉內，其療治力係由下之事實得來，即鐳線之毀壞有病之組織，較之毀壞健全之組織為速也。

有數種放射性原質，雜有他物者，已用以製造發光油漆 (luminescent paint)。此等原質與硫化鋅混合，則硫化鋅一與鐳之微粒相觸，即能自發螢光。發光油漆可使鐘錶之面，在黑暗之中發光；而塗有此種發光油漆之小鈕，可藉以在夜間覺得電燈開關或門柄之位置。

548. 鐳之能。 鐳及鐳鹽最著名之性質之一，為繼續生熱，且其溫度，通常較其四週各物高出三度至五度。由精細之實驗，知一克之鐳，每小時放出之熱量為 100 卡。鐳之放熱，其率雖低，然於一克之鐳未經完全蛻變 (disintegrate)\* 以前，繼續甚久，在其綿長之一生中可發之熱，全量約為一克之煤燃燒時可發者

---

\* (譯註) 關於原子之蛻變，原著者竟未述及，茲就密爾根蓋爾實用物理學，摘譯一節以補之。

之三十萬倍。

此等事實,自工商業所需之能之見地觀之,實不重要,因鐳既稀少而價又昂貴也。然由此顯見在一切物質以及煤之原子內,蘊藏之勢能,遠較現在可得之平常之燃燒熱為大,故苟知如何使其自由之法,則其重要必將駕一切而上之。

549. 原子之蛻變 放射性物質之不絕射出微粒,無論其原因為何,可斷言其決非由普通化學反應所致。蓋當居禮夫人發見鈾之放射性時,曾證明各種放射性物質之放射性,其強弱僅與該物質存在量成正比,而與其所由來之化合物之性質無關係,且與一切物理上及化學上之情況,皆無關係。極低之冷,極高之熱,對之絕無影響。故放射性實屬放射性物質原子之性質,其不可變易,正與其重量之不可變易同。現已審知放射性物質之原子,漸次變成較為簡單之原子。各原質中,以鈾,鈾之原子為最重。不知何故,此等物質常變為不安定之態,而射出其質量之一部分。射出之質量,即係 $\alpha$ 微粒。分裂後所餘之原子,即成為新物質,其化學上之性質,與原來之原子不同。此新原子仍不安定,再分裂為他種原子。此種過程繼續進行,至原

子之狀態安定而止。當原子分裂之際，有許多電子，離其質量而去；是即  $\beta$  線也。

由此點察之，一般已公認鐳不過為鈾原子蛻變之一階。鈾之原子量為 238.2，鐳為 226；氦為 4.00。可見鈾若失去三氦原子，即成為鐳。鐳之蛻變，更進四次，皆已研究得之。預料其第五次，或其末次之蛻變，當成為鉛。自 238.2 減去  $8 \times 4.00$ ，即得 206.2，與鉛之原子量 207.2，相去頗近也。用相同之方法，已求得原子量為 232.4 之釷原子之蛻變至第六階，但其終局為何，尚不可知。

### 問 答 題

1. 設想電花之發生能媒波一列，有何證據？
2. 陰極線為帶陰電之微粒而非能媒波，有何實驗上之證據取信於人？
3. 放射性如何異於尋常之化學作用？
4. 對於鐳之實驗，何以危險？
5. 放射性物質之活動能力，如何可以測驗之？
6. 試舉不可見之輻射四種，而各述其一種用處。

### 第三十一章 提要

陰極線乃帶有陰電之微粒稱為電子之流，自陰極之表面射出。

X 線發生於陰極線撞擊固體即屏之處，此線能透過玻璃而使乾片受其影響，其透射各種物質之能力，約與各物質之密度成反變，此線與波長極短之紫外光相同。

放射性物質於同時射出三種線：

(1)  $\alpha$  線，此線為帶陽電之氦原子；

(2)  $\beta$  線，此線係帶陰電之電子；

(3)  $\gamma$  線，此乃非常短之X線。

鐳能放熱，雖緩而持久。

放射性物質之原子，可漸次變為較簡單之原子。

### 實 用 題

1. 放射性。 裹一乾片於黑紙之中，取一煤氣燈之紗罩，置於乾片感光膜之一側，將紗罩壓扁，然後封之於不透光之匣中。歷一星期後，取出乾片而顯其像，將見片上留有紗罩之影。

2. X線器械。 若學校之實驗室內未備X線器械，則通常可得之於醫院中，醫生或牙醫，或有X線之設備，彼將向汝說明乾片及螢光鏡(fluoroscope)之用途。

3. 氬氣廣告燈。 考察氬氣之光譜而與光譜圖比較，以何色最為顯著？考察路旁街頭用玻璃管充以氬氣製成之廣告燈，比較此等玻璃管與蓋斯勒管，使其發光之高壓電流如何獲得？此種廣告電燈有何優點？



## 附 錄

## 度 量 衡 表

## 長 度

12 吋 = 1 呎 (ft.)

3 呎 = 1 碼 (yd.)

$5\frac{1}{2}$  碼 = 1 杆 (rod)

40 杆 = 1 浪 (furlong)

8 浪 = 1 法定哩 (5280 呎)

## 體 積

1728 立方吋 = 1 立方呎

27 立方呎 = 1 立方碼

144 立方吋 = 1 板呎 (board foot)

128 立方呎 = 1 堆 (cord)

## 常 衡

16 兩 = 1 磅

2000 磅 = 1 短噸

2240 磅 = 1 長噸

## 弧 度

60 秒 = 1 分

60 分 = 1 度

90 度 = 1 象限

4 象限 = 1 週

## 液 量

- 4 汲 (gill) = 1 呀 (pint)  
 2 呀 = 1 夸 (quart)  
 4 夸 = 1 加侖 (gallon)  
 $31\frac{1}{2}$  加侖 = 1 罐 (barrel)  
 2 罐 = 1 桶 (hogshead)

## 時 間

- 60 秒 = 1 分  
 60 分 = 1 小時  
 24 小時 = 1 日  
 365 日 = 1 年

## 萬 國 通 制

在此制中,基本單位為米 (meter, 米突, 公尺), 乃長度單位也。容量之單位升 (liter, 公升), 與重量之單位克 (gram, 格蘭姆, 公分), 皆由此基本單位推得。其他一切單位, 皆係此三者以十遞乘之倍數, 及以十遞分之小數。在一切實用方面, 一立方分 (decimeter, 公寸) 等於一升, 而 1 升之水重 1 尪 (kilogram, 公斤)。

長 度 單 位	容 量 單 位	重 量 單 位
耗 (公釐) = 0.001 呎	耗 (公撮) = 0.001 升	耗 (公絲) = 0.001 克
厘 (公分) = 0.01 呎	厘 (公勺) = 0.01 升	厘 (公毫) = 0.01 克
粉 (公寸) = 0.1 呎	粉 (公合) = 0.1 升	毫 (公釐) = 0.1 克
呎 (公尺) = 1 呎	升 (公升) = 1 升	克 (公分) = 1 克
寸 (公丈) = 10 呎	斗 (公斗) = 10 升	尪 (公錢) = 10 克
指 (公引) = 100 呎	石 (公石) = 100 升	兩 (公兩) = 100 克
杆 (公里) = 1000 呎	斗 (公乘) = 1000 升	斤 (公斤) = 1000 克

1 耗 = 1 立方厘。1 立方厘之水重 1 克。



## 重要之等值式

$$1 \text{ 积} = 39.37 \text{ 吋} (1 \text{ 吋} = 2.54 \text{ 釐})$$

$$1 \text{ 尪} = 2.2 \text{ 磅略} (1 \text{ 磅} = 453.6 \text{ 克})$$

$$1 \text{ 罇} = 1.06 \text{ 夸} (\text{liquid quart})$$

$$1 \text{ 立方呎之水} = 62.4 \text{ 磅}$$

$$1 \text{ 氣壓} = \text{每方吋} 14.7 \text{ 磅}$$

$$= \text{水銀柱} 76 \text{ 釐} (30 \text{ 吋})$$

$$= \text{水柱} 1034 \text{ 釐} (34 \text{ 呎})$$

$$1 \text{ 英國熱單位} = 252 \text{ 卡}$$

$$= 778 \text{ 呎磅}$$

$$1 \text{ 馬力} = \text{每分} 33000 \text{ 呎磅}$$

$$= \text{每秒} 550 \text{ 呎磅}$$

$$= 746 \text{ 瓦} = \frac{3}{4} \text{ 瓩略.}$$

## 市用制與萬國通制比較表

(譯者附)

$$1 \text{ 市尺} = \frac{1}{3} \text{ 公尺} (1 \text{ 公尺} = 3 \text{ 市尺})$$

$$1 \text{ 市斤} = \frac{1}{2} \text{ 公斤} (1 \text{ 公斤} = 2 \text{ 市斤})$$

$$1 \text{ 市升} = 1 \text{ 公升}$$

## 計算用之簡便規律

$$\text{三角形之面積} = \frac{\text{底} \times \text{高}}{2}$$

$$\text{圓周} = \pi \times \text{直徑} = 2\pi \times \text{半徑}$$

$$\text{圓面積} = \pi \times \text{半徑}^2 = \frac{\pi}{4} \times \text{直徑}^2 = 0.785D^2$$

$$\text{球之體積} = \frac{4\pi \times \text{半徑}^3}{3} = \frac{\pi}{6} \times \text{直徑}^3 = 0.524D^3$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{球} \\ \text{柱} \end{array} \right\} \text{之體積} = \text{底面積} \times \text{高}$$

$$\pi = 3\frac{1}{7} = 3.14$$

軟銅線之耗阻表

B&S標 單號數	直徑之毫數 $d$	面積之圓毫數 $d^2$	在20°C或68°F 時每1000呎之 歐數	B&S標 單號數	直徑之毫數 $d$	面積之圓毫數 $d^2$	在20°C或68°F 時每1000呎之 歐數
1	289.30	83,694	0.1237	21	28.462	810.10	12.78
2	257.63	66,373	0.1560	22	25.347	642.40	16.12
3	229.42	52,634	0.1967	23	22.571	509.45	20.32
4	204.31	41,742	0.2480	24	20.100	404.01	25.63
5	181.94	33,102	0.3128	25	17.900	320.40	32.31
6	162.02	26,250	0.3944	26	15.940	254.10	40.75
7	144.28	20,816	0.4973	27	14.195	201.50	51.38
8	129.49	16,509	0.6271	28	12.641	159.79	64.79
9	114.43	13,094	0.7908	29	11.257	126.72	81.70
10	101.89	10,381	0.9972	30	10.025	100.50	103.0
11	90.742	8,234.0	1.257	31	8.928	79.70	129.9
12	80.808	6,529.9	1.586	32	7.950	63.21	163.8
13	71.961	5,178.4	1.999	33	7.080	50.13	206.6
14	64.084	4,106.8	2.521	34	6.305	39.75	260.5
15	57.068	3,256.7	3.179	35	5.615	31.52	328.4
16	50.820	2,582.9	4.009	36	5.000	25.00	414.2
17	45.257	2,048.2	5.055	37	4.453	19.82	522.2
18	40.303	1,624.3	6.374	38	3.965	15.72	658.6
19	35.890	1,288.1	8.038	39	3.531	12.47	830.4
20	31.961	1,021.5	10.14	40	3.145	9.89	1,047.

在此表中，將見每加三號，相當於耗阻加倍。例如13號線之耗阻，約大於10號線二倍。

在種種壓力下水之沸點

絕對壓力 磅數/方吋	華氏溫度	攝氏溫度	絕對壓力 磅數/方吋	華氏溫度	攝氏溫度
1	102°	39°	20	228°	109°
3	142°	61°	25	240°	116°
6	170°	77°	30	250°	121°
10	193°	90°	40	267°	131°
14.7	212°	100°	50	281°	138°

相對濕度百分數表

乾球溫度 計華氏度數	乾濕球兩溫度計之差數												
	5.0°	6.0°	7.0°	8.0°	9.0°	10.0°	11.0°	12.0°	13.0°	14.0°	15.0°	16.0°	17.0°
60°	73	68	63	58	53	48	44	39	34	30	26	22	18
61°	73	68	63	58	54	49	44	40	35	32	27	23	19
62°	74	69	64	59	54	50	45	41	37	32	28	24	20
63°	74	69	64	60	55	50	46	42	37	33	29	25	21
64°	74	70	65	60	56	51	47	43	38	34	30	26	22
65°	75	70	66	61	56	52	48	44	39	35	31	27	24
66°	75	71	66	61	57	53	48	44	40	36	32	29	25
67°	75	71	66	62	58	53	49	45	41	37	33	30	26
68°	76	71	67	62	58	54	50	46	42	38	34	31	27
69°	76	72	67	63	59	55	51	47	43	39	35	32	28
70°	77	72	68	64	59	55	51	48	44	40	36	33	29
71°	77	72	68	64	60	56	52	48	45	41	37	33	30
72°	77	73	69	65	61	57	53	49	45	42	38	34	31
73°	78	73	69	65	61	57	53	50	46	42	39	35	32
74°	78	74	70	66	62	58	54	50	47	43	40	36	33

此表係為迅速強迫通風而計算。

復習問答題與計算題

第 一 章

1. 於一九二八年時,有一飛機自羅馬飛至巴西,行程4600哩,經過48小時,問平均速率(a)用每小時若干哩表之為何?(b)用每小時若干杆表之為何?
2. 百米賽跑之記錄為10.4秒,問同速之百碼賽跑所需時間為何?
3. 一水槽長45呎,寬30呎,其中所貯之水深20呎,問以體積3呎之石塊投入槽中以後,水深當為若干?
4. 試求(a)一10克銅砵碼之體積:(b)一10磅銅砵碼之體積。
5. 1呎之水,必須加入若干立方呎之濃硫酸,始可使所得之稀硫酸,其密度為每立方呎1.3克?

6. 一鋼球之直徑為1呎,若其密度為每立方呎488磅,試求此球之重量。
7. 有一金屬管,重10.1斤。管長10呎,其外直徑為13呎,而其內直徑為5呎。求此金屬之密度。此係何種金屬?

## 第二章

1. 畫(a)一槓桿可用以舉重較速於力點之移動者;(b)一槓桿其機械利率為1.5者。

2. 有一8磅之力,由手加於一掃帚柄之A處(圖594),又有一12磅之力,由手加於掃帚柄之B處,A與B相距16吋。問掃帚觸地板之處,抵抗力之大小為何?此三力皆視為平行者。

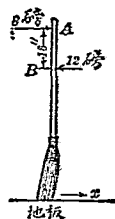


圖 594 掃帚。

3. 有一長16呎之樑,重180磅,關於A與B二支點上,A離樑端3呎,而B離樑端4呎。一木匠執離A最近之一端,欲舉此樑離開A點,必須用力幾何?

4. 有二人運送一200磅之負荷,懸於一長10呎之桿上。A能較B多負擔40磅。問懸掛之點離A若干遠?

5. 一等臂槓桿長16吋,其各端懸一10磅之砝碼。當槓桿成水平之時,各力矩為80。使此槓桿在其支點上旋轉,則此二力矩皆漸次減少其值。用圖表示此槓桿當(a)各力矩為零時之位置;(b)各力矩為40時之位置。

6. 已有二滑車,各含輪二,試繪圖表示可用此二滑車舉重之二法。何種排列可使汝用較少之力,舉等重之物?

7. 一向下之力80磅,加於長6呎之棒之一端,欲舉起在棒他端之負荷500磅。若棒之粗細均勻,而重量為20

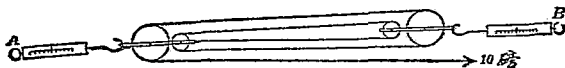


圖 595 用彈簧秤以測A與B。

磅,則支點必須在離負荷若干遠之處?

8. 以 10 磅之力,拉繩之束之一端(圖 595),試求  $A$  與  $B$  二彈簧秤上所示度數之差。

9. 有一重之運貨車(圖 596),若其重心在地面以上 35 吋,則當其被驅上一傾斜  $45^\circ$  之山坡時,將顛覆否?兩側車輪之距離為 56 吋,按比例尺作圖,證明汝之答語。

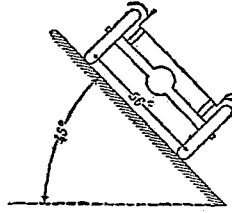


圖 596 斜坡上之運貨車。

### 第 三 章

1. 欲用軸轆舉一 600 磅之石,必須有 84 磅之力,加於其 14 吋拐臂上,問搖動拐臂之人,於拐臂旋轉一週之際,所作之功為若干?若將拐臂加長,則此人於拐臂旋轉一週之間,所作之功減少否?說明其理。

2. 繪出數種機械,其效率幾為 100% 者,而一一說明其功之損失在於何處。

3. 當一汽車方在按每小時 30 哩之速率,疾行於平坦之路上時,所用之馬力為何?假定所有摩擦力合計 150 磅。

4. 當一車方在傾斜之軌道上被曳而起時,繩索上之張力為 120 磅;但當其下行於此軌道上時,繩上之張力減為 90 磅。問 (a) 使此車止於此斜面上,所需之力為何? (b) 摩擦力為若干磅?

5. 一木材重 1200 磅,長 66 呎,在冰凍之地上曳之,若平均摩擦係數為 0.35,則曳經  $\frac{1}{2}$  分鐘,所需之馬力為何?

6. 有一重 1000 磅之鋼樑,用三輪複滑車二具合成之滑輪系,使之升起 40 呎,繪一滑輪系,可使此樑升起而所用之力磅數最少者。若效率為 52%,則牽曳繩索之起重引擎,其所作之功為何?

7. 以圖 37 中所示之單滑輪系,舉起石灰一罐,試利用力,功,功率,以及能等諸名詞討論之。

8. 以起重機舉起一汽車之一輪離地,機所支持之重量,估計之為 720 磅,欲舉高 2 吋,須將機柄連接 18 次,機柄每按一次經過 6 吋,若加於柄之力為 20 磅,問此起重機之效率為何?

9. 一救火員重 160 磅,在 12 秒內奔上一 30 呎之梯,問其作功之率,(a)以每秒若干呎磅計之為何?(b)以馬力計之為何?若人之馬力,通常估計約為 0.1,則汝之第二答案合理否?

10. 有一勻稱之門,重 60 磅,高 80 吋,寬 30 吋,其對角線量得約長 86 吋,若將其一角舉起,直至此門立於其另一角上成平衡而止,則變門之位置,(a)自  $A$  至  $C$  與 (b) 自  $B$  至  $C$ ,如圖 597 所示,所作之功為何?(提示:門之重心已升起.)

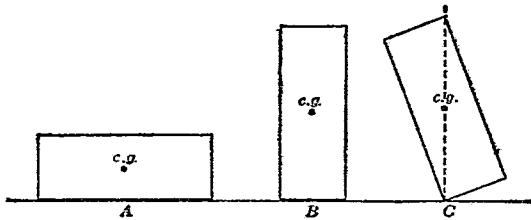


圖 597 使門傾側時所作之功。

#### 第四章

1. 一長方水槽長 12 呎,闊 10 呎,問水壓於一側之全力,(a)當槽中盛水深 2 呎時為何?(b)當槽中水深倍於此數時為何?

2. 一童子體重 140 磅,其全身表面積約為 16.5 方呎,若此童子潛入淡水中深 8 呎之處,問其全身所受水之全力為何?

3. 於一九二七年,有一潛水者身穿鐵甲,深入鹹水中 860 呎。問加於此人身上之水壓力,以每方吋若干磅計之爲何?

4. 一木質圓柱浮標 (spar buoy, 圖 598), 其截面積爲 0.33 方呎, 重 366 磅。此浮標用鍊縛於淡水湖底之水泥塊上, 直立於水中, 其在水面下之部分爲 24 呎。問鍊上之張力爲何?

5. 某物體之體積爲 1 立方呎, 使之沉入一比重爲 1.25 之液體中, 然後放之, 若此物體在空氣中重 80 磅, 則在液體中浮起抑沉下? 說明計算之法。

6. 鋁一片與一鐵製砝碼, 在天秤兩盤中成平衡。(a) 若以此天秤及鋁鐵二物同浸於水中, 則結果爲何? (b) 若將此器械置於玻璃鐘內, 而將空氣抽去, 則結果爲何?

7. (a) 一金屬之密度爲每立方呎 165 磅, 問其比重爲何? (b) 使此金屬沉入 圖 598 錙標。比重爲 1.03 之鹹水中時, 其每立方呎之重量爲何?

8. 某金屬 45 立方呎, 在水中權之, 若其重量爲 330 克, 則其比重爲何?

9. 有甲乙二種液體, 甲之比重爲 0.8, 而乙之比重爲 1.2。試求由甲種液體 24 克, 與乙種液體 42 克所成混合液體之比重。

10. 某種木材 100 立方呎, 其比重爲 0.75, 浮於某種液體之中, 其體積之十分之六, 在水面以下, 問此液體之比重爲何?

11. 花崗石一塊, 長 2 呎, 寬 2 呎, 而厚爲 1 呎 (比重爲 3), 用雙輪履滑車二具舉之, 若此石在水中之摩擦係數爲 54 磅, 則須以何力曳繩向下, 始可將此花崗石在水中舉起?

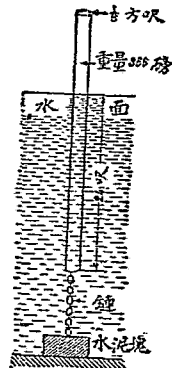


圖 598 錙標。

## 第五章

1. 電燈泡墮地而碎,有時謂之爲爆裂,“爆裂”一語用於此處是否得當,試一評之。
2. 華盛頓紀念碑高 550 呎,荷有一氣壓計自地面取至碑頂,則其所示之度數,有顯著之差別否?試算出確定之數字。
3. 當汝呼吸之時,空氣推入肺中抑係拉入肺中?說明空氣入肺之過程。
4. 壓上唧筒較優於吸上唧筒之處爲何?若有一井,其水平面在唧筒以下 50 呎,可用壓上唧筒抽出井中之水否?
5. 居屋給水自行設備時,常將水槽置於樓面以上,庶可不問唧筒之是否正在工作,而得固定之水頭,另有一種計劃,結果與此相同者,係利用置於地下室中之密不透氣之鋼製水槽,問後法如何可得“水頭”?
6. 一鐘沉入水中,須沉至水面下何處,始可使閉於鐘內之空氣,其密度三倍於平時?
7. 一氣球胎,其容量爲 2 立方呎,須以一氣壓之空氣若干充之,始可達每方吋 45 磅之壓力?假定當壓力計所示度數,開始爲零時,球胎中含有一氣壓之空氣 2 立方呎。
8. 於一九一九年,有一英國飛行船,其容氣量爲 2,000,000 立方呎,曾第一次飛渡大西洋。(a)比較其氣袋中充滿氫時及充滿氦時所排空氣之重量。(b)比較此二種氣體充滿時之重量。(c)說明何以氫之“上昇力”較大於氦。
9. 有一玻璃管,其腔細而且勻,下端封閉,中含長 8 呎之空氣柱,柱上有水銀一



圖 599 倒立含有空氣之玻璃管。



節，長 12 呎(圖 599)。若倒立此管，則空氣柱之長度將爲若干？假定氣壓計所示度數爲 76 呎。

## 第 六 章

1. 救火龍頭與城市蓄水池之水面，其高度必須相差幾何，始可在龍頭之口得每方吋 50 磅之壓力？

2. 有一 50 加侖之櫃，中含一氣壓之空氣，由導管通至自來水源，其壓力爲每方吋 60 磅(壓力計所示者)。問有若干加侖之水，將流入櫃中？

3. 有一水沖輪其效率爲 65%，用於水降 20 呎之壩下，若每秒流經此沖輪之水，爲 200 立方呎，則其所發之馬力爲若干？

4. 耐亞嘎拉河中流過之水，在瀑布以上者，平均每秒 1,500,000 加侖(一加侖之水約重 8 磅)，而瀑布之水降約爲 164 呎。

(a) 問此瀑布所有之馬力爲何？

(b) 於一九二九年，瀑布近處之動力廠，所利用之馬力爲 1,400,000。問此數占耐亞嘎拉瀑布可用功率總數之百分之幾？

## 第 七 章

1. 人體含有“減震組織”(shock absorber)甚多，以保護身體不受驟然震動之害，此等組織，其中有若干位於何處？當人自高處躍下而兩足著地時，彎膝可以減少震動，何故？

2. 試舉作用於下列各物上應力之種類：鋼琴之弦，引擎中之拐臂軸，煙囪，桌腳，皮帶，唧筒之活塞，以及衣服上縛牢鈕扣之線。

3. 彈簧秤上自零至 4 磅標誌處之實在距離，是否二倍於自零至 2 磅處之距離？試述應用於此例之定律。

4. 有一含氫氣之橡皮小氣球，置於空氣唧筒之接

受器下，而將氣球周圍之空氣抽去。試就氣球內氫分子及氣球四周空氣分子之效應，而說明其結果。

5. 一含氫氣之橡皮小氣球，浸於水中。說明發生於氣球內之壓力變更及分子作用。

6. 墨水及鉛筆之石墨著於紙上時，說明其作用之差別。

7. 將手巾搭於洗手盆之邊上，一端浸於水中，其較長之部分懸於盆外，則盆中之水，即由手巾流出，何故？

## 第八章

1. 二力各為 12 磅，作用於某定點，問(a)其合力之最大值與最小值為何？(b)二力交成何角，可得 12 磅之合力？

2. 一車其負重時之重量為 4800 磅，以纜曳之上一過山鐵路，若路軌每伸長 10 呎昇高 1 呎，試用力之分解原理求纜上之張力。

3. (a)當列車方在疾駛時，決定兩點在車窗上所行路徑之二速度為何？(b)此路徑何以永不恰成水平？(c)當此路徑與窗底成角  $45^\circ$  時，比較二速度之大小。

4. 欲將一桶吊起，有時用穿於一環之二鍊，套於桶底之鉤上，如圖 600 所示者然。今圖中兩鍊間之角若為  $120^\circ$ ，

而桶內有鹽 200 磅，則將桶吊起時，各鍊上之張力為何？若將二鍊縮短，則(a)對於各鍊上張力之影響為何？(b)對於直鍊上張力之影響為何？(c)二鉤之一，加於桶底之水平力受何影響？

5. 一童子曳一負重之橇前行，其手在橇之水平面以上 3 呎處。當彼用 4 呎長之繩時，所費曳橇之力，是否必須較用 6 呎長之繩時為大？用二圖

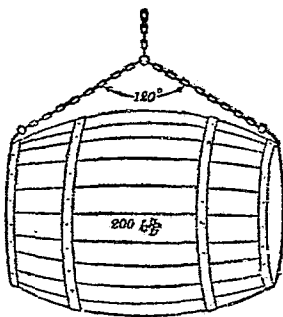


圖 600 以二鍊吊起一桶。

及簡短之說明證明汝之答案。

6. 一飛機自高 2000 呎之處,下降至 200 呎處,其所取路徑幾成直線。當其方降之際,地上之影移動 800 碼。求此飛機在下降中所經之實在距離。假定太陽係在當頂。

7. 圖 601 中之  $A, B,$  及  $C,$  順次成角  $45^\circ,$  且代表一拐臂柄之三位置。若以 12 磅之水平力加於  $A,$  適能使拐臂轉動,則以如何大小之水平力加於  $B,$  即可使之轉動?當柄在  $C$  時,何以不能用水平力使其旋轉?

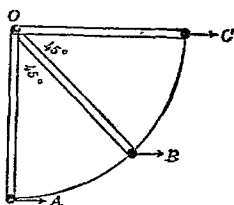


圖 601 拐臂柄之三位置。

### 第 九 章

1. 一汽車方按每小時 15 哩之速率前行時,駕車者按加速機而使其車加速 2 秒秒呎。問在 11 秒之末,此車之速率爲每小時若干哩?

2. 由實地試驗,知 10 節之列車按每小時 60 哩之速率前行時,可用空氣制動機在 700 呎之距離內使之停止。問此機使列車減速若干秒秒呎?

3. 一打樁機之重錘先落下 5 呎,後落下 15 呎。問其第二次擊樁時,移動之速率較之第一次擊樁時大若干?

4. 一電車頭自靜止發動,在 30 秒之內,可達每小時 60 哩之速率。(a) 求其加速之秒秒呎數。(b) 在離出發點若干呎之處,獲得其終速度?

5. 一來福槍彈向上直射,若其速率爲每秒 2000 呎,則其上昇之時間有若干秒? 其昇起之高度爲若干哩? (空氣之抵抗不計,否則所得結果將大爲減少。)

6. 自每小時前行 30 哩之列車之後月台,離地 9 呎之處,墜下一包裹,問此包裹在未達地面以前,沿鐵軌前行若干遠?

7. 航空母艦雷克新登號(Lexinton), 其甲板上近艦首之處, 有一長 50 呎之軌道, 飛機可自此軌離艦起飛, 每小時速率 50 哩。問 (a) 當在軌道上時, 飛機之平均加速度爲何? (b) 若艦每小時行 30 哩, 則飛機當離軌道時之實速爲何?

### 第十 章

1. 下列諸事, 如何各可證明惰性:

(a) 以鏟抄煤, (b) 投擲棒球, (c) 急奔而遠跳, (d) 拍去毯上之灰塵?

2. 3 磅之力, 使重 16 磅之物體所得之加速度爲何?

3. 一人方立於赤道之上, (a) 此人因地球繞軸旋轉而移動之速率爲何? 地球之直徑約爲 8000 哩, 以每小時若干哩表答數。

(b) 若地球旋轉之速, 大至一日之長僅爲一小時又半, 則在赤道之人即無重量, 說明其理。

4. 有一 10 克之鋼球, 止於長 100 呎之光板上, 板之一端昇高 5 呎。

(a) 平行於板而作用於球之力爲何?

(b) 當球在板上滾下時, 其加速度爲何?

5. 試舉本書中所未曾提及之三例, 說明可供某種實用之反作用力。

6. 一物體重 49 克, 由靜而動, 每秒加速 20 秒<sup>2</sup>。

(a) 使此物體得此加速度之力爲何(克數)?

(b) 此物體在動後 10 秒之末, 其速度爲何?

### 第十一 章

1. 一物體自由落下經 4 秒鐘, 當其着地之一瞬間, 其所有之能爲 1280 呎磅。此物體之質量爲何?

2. 一棒球重 0.33 磅, 向上直投, 速度每秒 96 呎。在升起 2 秒之末, 其動能爲何?

3. 一童子重 100 磅, 開始在冰上滑走, 速率每秒 20 呎。(a) 問其初用之能爲何? (b) 若因摩擦作用而生之阻力爲

40 磅，則彼滑走若干遠而停止？

4. 已知一鎗彈之重量及其槍口速度，並知鎗膛之長度及火藥之平均力，如何可以計算鎗彈之“出口能”？試述二種算法。（出口能為鎗彈離來福鎗口一瞬間之動能。）

5. 自來所發見之隕石（即流星），最大者約重 36 噸。其着地時之速率，揣想之約為每秒 10 哩，問其動能以呎噸計之為何？（答數祇須有效數字三位，其後加零可矣。）

6. 有一 1 磅之球在 2 秒內落於地上，跳回 50 呎之距離，問此球失去之機械能為若干？所失之能變為何物？

7. 一人用滑輪系將一 400 磅之石塊，舉高 12 呎時，其所曳下之繩長 48 呎，所用之力為 150 磅。

(a) 此人所作之功為若干？

(b) 給與石塊之勢能為若干？

(c) 此滑輪系之效率為何？

8. 一 40 克之質量，方在按每秒 10 呎之速度移動，若以 100 克之力反抗之，則在若干秒內可使其停止？

## 第 十 二 章

1. 浴水之溫度為  $40^{\circ}\text{C}$ 。時，手入其中似覺其冷抑覺其熱？說明計算之法及理由。

2. 氫之溫度至  $15^{\circ}\text{K}$ 。時即變成固體狀態，此溫度在攝氏表上與華氏表上為若干度？

3. 當火藥爆發時，試舉其發生壓力之二理由。

4. 一鋼卷尺長 50 呎，在  $20^{\circ}\text{C}$ 。時準確無誤。(a) 在  $-10^{\circ}\text{C}$  時其長為何？（鋼之線膨脹係數約為  $0.000013$  每度  $\text{C}$ 。）(b) 用此卷尺在  $-10^{\circ}\text{C}$ 。時量某定線，其外觀之長度較其真長為短抑長？

5. 一玩具氣球之體積，在  $17^{\circ}\text{C}$ 。時為 1200 立方呎，假定壓力無變化，試求其體積變成 1250 立方呎時之攝氏溫度。

6. 一中空之壓煮器，其蓋密閉，其時器內空氣之溫

度為  $20^{\circ}\text{C}$ 。若連於此器之壓力計，在一氣壓時所示之度數為零，則當空氣熱至  $200^{\circ}\text{C}$ 。時，其所示之度數為何？

### 第十三章

1. 舉出優良之隔熱體材料三種，而各述其緊乎不良導熱率之用途。
2. “熱空氣上昇而冷空氣進以代之”一語，試評判之。
3. 以輻射器煖室時，熱之傳播三法，各有何用？
4. 以細眼鐵紗一塊，置於本生燈上方約三吋之處，而將煤氣開通，若在紗之上方或下方點火，火燄終不穿過紗眼，說明其理。試在百科全書中查閱礦工所用之達威安全燈(Davy's lamp)(圖 602)。
5. 二水槽  $A$  與  $B$  (圖 603) 中，彼此充以  $4^{\circ}\text{C}$ 。與  $0^{\circ}\text{C}$ 。之水，其時二水槽間之  $C$  與  $C'$  二活栓，皆關閉不通。

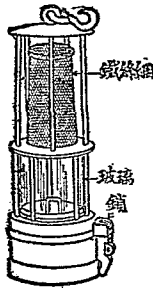


圖 602 達威安全燈。

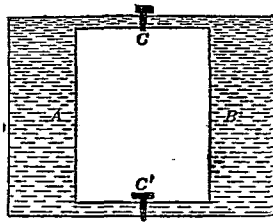


圖 603 有二活栓  $C$  與  $C'$  之二水槽。

(a) 若將此二活栓同時開放，則水將流向何方？說明其故。

(b) 若在  $A$  中之水，其初溫度為  $50^{\circ}\text{C}$ ，而  $B$  中之水之初溫度為  $90^{\circ}\text{C}$ ，則循環之方向為何？說明其理。

6. 用分子說解釋：

- (a) 鐵棒中熱之傳導。  
(b) 輻射計之作用(圖 209)。

## 第十四章

1. 鋅能溶解於水銀中。試說出一方法,可用以精煉水銀,除淨其中所含之鋅。
2. 鉛之溶解熱為 5.6 一語何解? 溶解一磅之冰所需之熱, 14 倍於溶解一磅之鉛所需者, 確否? 說明其理。
3. (a) 若等重之鉛與鋅, 皆熱至  $100^{\circ}\text{C}$ ., 而分別投之入二器, 器中盛等量之水, 溫度為  $10^{\circ}\text{C}$ ., 則在何器中水之溫度上昇較高? 說明其理。  
(b) 若將上述程序顛倒, 即水之原溫度為  $100^{\circ}\text{C}$ ., 而二金屬塊之溫度為  $10^{\circ}\text{C}$ ., 則結果將如何? 說明之。
4. 在何種情形之下, 用蒸汽煖室所得之結果, 較用熱空氣或熱水所得者為佳? 說明其理。
5. 若欲使水蒸發迅速, 以增加室內之溫度, 則催促其程序可用之三法為何?
6. 管理火爐之火夫, 若有鐵球一枚, 水一桶, 溫度計一具, 以及秤數桿, 即可查驗爐柵上各點火之溫度, 問其進行之方法為何?
7. 在西伯利亞之若干地方, 溫度約在華氏零度下 30 度, 其地穿着冰鞋不能立足於冰上, 說明其故。
8. 大雪將降之前, 往往覺空氣之溫度升高, 說明其理。
9. 在  $10^{\circ}\text{C}$ . 之水, 欲以蒸汽吹入其中, 使溫度昇至  $40^{\circ}\text{C}$ ., 每甌之水, 需蒸汽若干?
10. 溫度在零下  $16^{\circ}\text{C}$ . 之冰 50 克, 欲使其變為  $120^{\circ}\text{C}$ . 之蒸汽, 求所需之熱之總量。(假定冰與蒸汽之比熱為 0.5)。
11. 一火爐燃燒酒精 150 克, 在 10 分鐘內, 將  $0^{\circ}\text{C}$ . 之冰 4500 克變成  $100^{\circ}\text{C}$ . 之水。若酒精之燃燒熱(heat of combustion)為每克 7400 卡, 則所生之熱用及者為百分之幾?

12. 以  $100^{\circ}\text{C}$ . 之蒸汽, 加熱於重 35 呎之鐵管, 自  $20^{\circ}\text{C}$ . 至  $100^{\circ}\text{C}$ ., 須用蒸汽若干克?(假定鐵之比熱為 0.1.)

## 第十五章

1. 試述指明熱係能之一種之三事.
2. 火車頭汽鍋之下列各部分, 各有何用: 煙囪, 火管, 驗水計, 安全瓣, 蒸汽壓力計, 節氣瓣?
3. 火車頭方按固定速率疾行時, 欲決定其實馬力, 必須先知何等事實? 舉出可用以演算之公式.
4. 試將蒸汽風輪之主要原理, 與往復引擎之主要原理相比, 何種引擎運轉之速率較高? 何故?
5. 一動力廠之汽鍋與蒸汽風輪之合成效率為 22%, 所發之馬力為 5000. 若此動力廠每日開機 9 小時, 則煤之每日消費量為何? 一磅之煤可發 14,000 英國熱單位之熱.
6. 燃料油每加侖約可供給 150,000 英國熱單位之熱. 若有一狄塞耳引擎 (Diesel engine) 每小時消費此油 30 加侖, 則其所發之馬力為何? 假定此引擎之效率為 24%.
7. 一負重之雪車, 以 12 呎之力曳之行於冰上. 在此雪車曳經 100 呎之距離後, 若由摩擦作用而生之熱一無損失, 則在  $0^{\circ}\text{C}$ . 冰熔解者若干克?
8. 自 16 吋口徑之砲射出之鋼彈, 約重一噸, 若彈着鋼板時之速度為每秒 5000 呎, 則砲彈之溫度升高若干? 假定能之百分之二十用於使彈發熱. (鋼之比熱為 0.12.)

## 第十六章

1. 試舉磁性物質三種及非磁性物質三種之名.
2. 棒磁石加熱至高溫度, 即失去其磁性, 說明之.
3. 磁石引鐵, 同時鐵亦引磁石, 此時如何可以證明之? 其作用如何解釋之?



4. 用棒磁石擦銅片,使之磁化,磁石何以不失其磁性?
5. 世界上多數地方之測量家,必須改正其羅盤所示之度數,何故?
6. 一小棒磁石平置於軟木塞上,浮之於水盆中.此事如在北半球爲之,軟木塞有彙向盆之北側之傾向否?表明所持意見之理由.
7. 剪刀常照同一掛法懸於同一鈎上,日久變成磁化,何故?

## 第十七章

1. 試舉製造無線電收音機時,普通所用絕緣物質之名稱數種.
2. 摩擦玻璃棒使其帶電時所用之能,變爲何物?
3. 工場之空氣中充滿易燃之細塵者,有時起不可思議之火.運轉機器之皮帶能使此火發生否?說明其理.
4. 如何可用玻璃棒一根,絲巾一塊,以及驗電器一具,查驗棉線之導電率?
5. 以梳理髮,有時有火星跳至手指.此現象往往發生於寒冷之室內,何故?梳上有陽電荷或陰電荷否?
6. 自飛機播下帶電之沙,可以消霧,此事已由數次成功之實驗證明.汝能說明沙上電荷之作用否?
7. 若將自來水筆之管,在羊毛衣袖上摩擦,然後移近驗電器之球頭,此器已帶有陽電在前,則兩箔將張開更大抑落下?用電子說解釋之.
8. 繪二圖,表示用二絲線平懸之鐵棒如何可由誘導作用暫時(a)使受磁化,(b)使其帶電?就此二種情形而論,鐵棒中各有何現象,或在發生?

## 第十八章

1. 若加於電車上之電壓爲 550 弗,而流經車廂發

熱器(car heater)之電流爲5安,則此發熱器之耗阻爲何?

2. 在某電路中之電流,欲保其不變,若當電壓爲50弗時,15歐之耗阻可供給合宜之電流,則當電壓落至40弗時,所需之耗阻爲何?

3. 試舉影響電線耗阻之四要因。

4. 某電線之耗阻爲12歐,求同質料之電線,(a)其長加倍者;(b)長度相同惟截面積加倍者;(c)長度相等惟直徑加倍者之耗阻。

5. 鎳鉻鋼(nichrome)爲比阻約6倍於銅之齊,問B. & S. 標準(B. & S. gauge) 18號之鎳鉻鋼線100呎,其耗阻爲何?(參閱附錄中之銅線表。)

6. 長途電話用之電纜,通常由1212雙之19號銅線所成。(a)自紐約至舊金山(2800哩)之單線,其耗阻爲何?(b)有此長度之電纜,其耗阻爲何?

## 第十九章

1. 弧燈六盞,各需電流9安,各有15歐之耗阻,串聯於耗阻爲5歐之電線上,求全耗阻及使燈在此電路中所需之電壓。

2. 一6安之電流,供給並聯之熾熱燈12盞,燈之耗阻各爲230歐。(a)此電路之電壓爲何?(b)諸燈之合阻爲何?

3. 一並聯電路由2歐,4歐,5歐,以及10歐之四支路所成,有150弗之電動力加於其上。(a)各支路中流過之電流爲何?(b)經過合成電路之總電流爲何?

4. 一電路有二支路,其上各自有4安與6安之電流流過,若第一支路之耗阻爲4歐,則(a)第二支路之耗阻爲何?(b)二支路之合阻爲何?

5. 如何可用4歐,8歐,以及12歐之綫圈各一,連於一處,使其合阻爲11歐?繪圖示之。

6. 揣想一乾電瓶在中段鋸開,而顯出其圓截面,繪出此圖,註明其各部分。

7. 欲自 6 電瓶得極大之電流,流過 1 歐之外阻,則應串聯抑或並聯?假定各瓶有電動力 1.6 弗及 1.2 歐之內阻.說明算法.
8. 設有電燈若干,共需電流 12 安,顯發電機 500 呎,且若線降(line drop)必不可超過 2.6 弗,則須用若何粗細之銅線?
9. 有二乾電瓶,各有 1.5 弗之電動力及 0.2 歐之內阻,串聯之以送電流經過並聯之 4 歐及 6 歐線圈各一.求 (a)此二線圈之合阻,(b)電池中流出之電流,(c)各線圈中之電流.

## 第 二 十 章

1. 何以電磁石較永久磁石通用?試舉電磁石在不能用永久磁石之處之二種用途.說明其故.
2. 一電磁石係以串聯之二乾電瓶運用之.若用電瓶四個,則磁石之強度加倍否?說明其理.
3. 一電鈴有 10 歐之耗阻,需電流 0.2 安以鳴之.電路之其餘部分有 0.1 歐之耗阻,電力為 1.5 弗而內阻為 0.05 歐之乾電瓶一具,足以鳴此鈴否?說明算法.
4. 一鐵鑄之物,欲先鍍以銅,然後塗以鎳,若每次所用之電流為 10 安,則欲使各金屬有 8 噸堆積於其上,其留於鍍槽中之時間,各須若干? (1 噸 = 28.35 克.)
5. (a)充電之蓄電瓶,有何相同於簡單買法尼電瓶(Galvanic cell)之處?(b)蓄電瓶中果蓄有電否?(c)欲使蓄電瓶之耗阻微小,其構造當如何?
6. 有一 12 瓶之蓄電池,其電動力為 24 弗,而內阻為 0.06 歐.若用 20 安之電流使之充電,則必須加於其上之電壓為何?
7. 熾熱燈 20 盞,各需 112 弗之電流 0.4 安,用蓄電池使其發光,問需電動力各為 2 弗,而內阻各為 0.004 歐之蓄電瓶若干?

## 第二十一章

1. 500 瓦之電烘器一具及 40 瓦之電燈五盞，在 115 弗之電路上使用 2 小時，若電費每瓦時爲金洋 9 分，試求所需電流之代價。
2. 一內阻可以不計之 6 弗蓄電池，與並聯之 3 歐線圈及 5 歐線圈各一相連，此二線圈所用之功率爲何？
3. 一弧燈連於 45 弗之電路上，有 9 安之電流經過其中，問在 3 小時內此燈所發之熱若干？
4. 註明 110 弗之 50 瓦電燈，若有一線圈串聯於其上，以保其電流不變，即可用於 220 弗之電路。此線圈之耗阻應爲何？
5. 若能一無損失，則自一瓦時可得熱若干卡？
6. 以 20 歐之發熱線圈，連於 110 弗之電路上，加熱於 240 克之水，使自  $20^{\circ}\text{C}$ . 熱至沸點，若熱無損失，則須經若干時間？
7. 熾熱燈六十盞，放光時各有耗阻 220 歐，並聯於 110 弗電路之上。使此諸燈發光之發電機，若於傳遞電能時有 750 瓦之損失，則其瓦容量爲何？
8. 以 50 歐之耗阻橫連於 50 弗之電線，或以 100 歐之耗阻橫連於 100 弗之電線，使電車中溫燈，何者所發之熱較多？
9. 若電能之價每瓦時爲金洋 1 角，試比較於 55 弗電路上，及 110 弗電路上，使用 55 歐之電熱器每小時之費用。
10. 近來製造之軍用探照燈，用 25 瓦之電能時，可發 800,000,000 燭光。(a)此燈自 110 弗電線取用之電流爲何？(b)其效率以每燭光若干瓦計之爲何？
11. 一 50 瓦之電燈泡，置於  $10^{\circ}\text{C}$ . 之水 400 克中時，使水在 8 分鐘內熱至  $18^{\circ}\text{C}$ . 此燈泡用爲發熱器，其效率爲何？

## 第 二 十 二 章

1. 直流發電機之下列諸部分,各述其用途:發電子,場線圈,電刷,整流子。
2. (a)直流發電機之勵磁電流及(b)交流發電機之勵磁電流,通常如何得之?
3. 用簡略之圖,說明順捲發電機及分捲發電機之差別。
4. 畫一簡單電燈電路圖,指明發電機,總線,若干電燈,一安計,以及一弗計之地位,安計及弗計所置之地位,須使其可示總電流及極電壓之度數,發電機之各部,不必詳細畫出。
5. 以1200馬力之引擎運轉之發電機,假定其效率為80%,則其所發之電流,可供給各需110弗之電流0.4安之電燈若干盞?
6. 一瀑布高25呎,每分鐘流過其上之水為550立方呎,若水車與發電機之合成效率為75%,則可自此瀑布獲得若干瓦?
7. 一電動機,其電動子之耗阻為0.3歐,流過之電流為15安,而外來電壓為110弗,求其中之反電動力。
8. 有半馬力之電動機一具,自110弗之電線收納電流4安,問其效率為何?
9. 若電價每瓦時金洋6分,則第8題中所述之電動機,運轉一星期(48小時),其費用為何?

## 第 二 十 三 章

1. 電磁誘導作用與靜電誘導作用,有何相同之處?有何不同之處?
2. 下列數物,利用電磁誘導作用者為何:安計,變壓器,發電機,聽話器,電鈴?
3. 電可生磁,而磁可生電,試再舉關於電之可逆作用之其他二例。

4. 說明電話送話器及聽話器之作用,用圖表示各器之內部。

5. 一變壓器用以減低家用電燈電路之電壓,自550弗至110弗,當諸燈方在取用9安之電流時,流經此變壓器一次圈中之電流為何?

6. 一變壓器連於550弗之電線,其一次圈中有電流5安流過,若此變壓器之效率為95%,則其二次圈上有若干電燈方在放光?假定各燈需110弗之電壓及0.4安之電流。

## 第二十五章

1. 一燈船備有水底鈴及霧號 (foghorn)。某船之船長,在聽話器 (圖 604) 中,聞水底信號4秒以後,始聞號角之聲。假定音在空氣中每秒行1100呎,而在水中每秒行4800呎,試計算船長與燈船之距離。

2. 一善射者於開鎗4秒以後,聞鎗彈中之之聲。若鎗彈之平均速度為每秒1600呎,而空氣之溫度為 $22^{\circ}\text{C}$ ,則此人立於離的若干遠之處?

3. 一峽谷寬5500呎,有直立之峭壁二,若有一人在此峽谷中開鎗,而聞自各壁來之二回聲,相隔6秒,則此人離較近之壁若干遠?

4. 一鈴其週率為每秒振動150次,在水中鳴之,音在水中進行之速率,為每秒4800呎,求此鈴所生之波長。

5. 一鈴在相距 $\frac{1}{4}$ 哩處所發之音,高於在相距一哩處所發者若干倍?

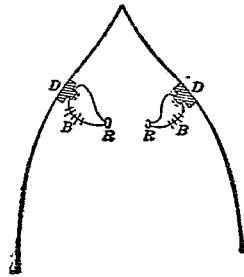


圖 604 附於船側之海底電話。

## 第二十六章

1. 人耳可聞之最低音,其週率約爲振動 30 次,而最高音之週率約爲 20,000 次,計算此二音之波長。
2. 一音叉每秒振動 256 次,以長 4 呎之氫管使其發音加強,求音在氫中之速度。
3. 某工廠之汽笛爲高 14 吋之閉管,(a)此笛所發之音波長若干?(b)當溫度爲  $20^{\circ}\text{C}$ . 時,一秒內有若干音波達耳?
4. 某提琴之絃所發之音,試述(a)改變其強度之一法;(b)改變其高低之二法;(c)改變其音色之一法。
5. 飛機引擎二具方按微有不同之速率運轉時,推進器之音有脈動效應,說明其故。
6. 開口風琴管須長若干,始可使其本音發爲中部 4 音(國際音調)?

## 第二十七章

1. 一紙片長  $3\frac{1}{2}$  吋,寬  $2\frac{1}{2}$  吋,平持於桌面以上一呎之處,在紙片以上 3 呎處之燈,射於桌上之紙影,其面積爲何?假定燈光係集中於一點者。
2. 一人注視離開 8 呎之小水池,見離彼 28 呎之街燈之映影,若彼之眼在水面以上 5 呎,則燈高若干?
3. 一平面鏡與地板斜交成  $45^{\circ}$  之角,人立鏡前,其像望之似成水平,說明其故。
4. 離開 4 呎之電燈二盞,或離開 6 呎之同樣電燈 4 盞,可由何者得較佳之明度以供閱讀之用?
5. 四呎燭乃閱讀用之充分明度,如欲一可發 45 燭光之 50 瓦電燈,得此明度,則應置書於離燈若干遠之處?
6. 若自遠處物體例如太陽發來之光,落於凹鏡之上,則像成於何處?
7. 一凹鏡之焦點距離爲 8 呎,欲得一物體放大 4 倍之實像,此物體當置於何處?

8. 若一凹鏡之曲率半徑為 12 吋, 離鏡 4 吋之處有一燭, 求燭像之位置。

## 第二十八章

1. 繪一大圖, 表示光線斜射而過下列各物時, 所取近似之路徑:

(a) 有平行面之厚玻璃,

(b) 有  $60^\circ$  角之三稜鏡,

(c) 實質之玻璃球。

2. 水之屈折率約為 1.33 而玻璃之屈折率約為 1.5 此二物質, 何者之中, 光行較速? 說明其故。

3. 一測量家以其器械自  $A$  向  $B$  瞄準 (圖 605), 而察得因日光照於其視線近傍之塗漆旗竿, 以致方向有誤, 問其瞄準之點偏向何方? 何故?

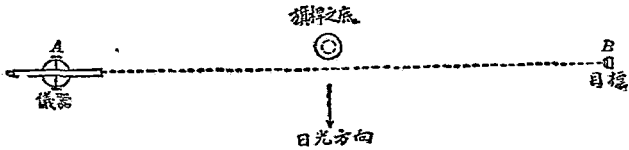


圖 605 一測量家將其器械  $A$  向目標  $B$  瞄準。

4. 繪一圖表示凸透鏡之主焦點處置一孤燈時, 來自此鏡之光束。再畫一圖, 表示孤光移向離鏡稍遠之一點時, 自鏡發出之光束。

5. 有一焦點距離為 9 呎之雙凸透鏡, 須將物體置於離鏡若干遠之處, 庶可得 (a) 與物體同高之實像, (b) 高為物體三倍之實像?

6. 一熾熱燈懸離桌面 5 呎, 燈與桌間插入一透鏡, 在桌上造成一 4 倍於燈之像。 (a) 所用者為何種透鏡? (b) 透鏡離燈若干遠? (c) 透鏡之焦點距離為何?

7. 一原大鏡其焦點距離為 3 呎, 持之於離一物體 2.7 呎之處, (a) 像將成於何處? (b) 擴大至若干倍?



8. 何種事實,使吾人斷定成於眼內網膜上之像,係倒立者?若此果確,何以各物在吾人看來,似皆正立?
9. 近視之人,其晶體透鏡係太厚抑係太薄?其焦點距離太長抑太短?可用凸透鏡或凹透鏡改正之否?
10. 某照相器之軟片,離透鏡 8 吋時,可以攝取遠處山景分明之影,若一人離此照相器 8 呎,欲照一相,則軟片離透鏡之遠近,必須有何變更?
11. 已有一短焦點透鏡及長焦點透鏡,如何可用以製(a)一望遠鏡,(b)一複顯微鏡?
12. 利用實或虛,正或倒,放大,縮小,或同大小等語,以敘述(a)照相器軟片上所成之像,(b)由讀書鏡所成之像,(c)由平面鏡所成之像。

## 第二十九章

1. 試述波之短於紫光波者之用途數種。
2. 自銀弧燈發出之光照於人手時,手呈特殊之色,說明其故。(參閱第 500 節。)
3. 各種不同之色光,經過三稜鏡時,是否依不同之角度而屈折?比較對於赤光之屈折率及對於青光之屈折率,比較紅光與青光在玻璃中之速度。
4. 有一廣告牌,以互為補色而深淺不同之數種赤光與青光照之,此等色光,能自明自滅,或分前後,或在同時,閃耀於牌上。(a)當牌上赤色各字單為赤光所照,單為青光所照,為赤光與青光所共照時,有何效應?(b)牌上青色各字,單為赤光所照,單為青光所照,為青赤二種光所同照時,有何效應?(c)牌上白地單為赤光或單為青光所照,或為青赤二光所同照時,生何效應?

## 第三十章

1. 無線電波與光波,就速度,速率,以及波長而論,有何差別?

2. 無線電波與音波,在速度,波長,以及週率方面,各有何不同之點?

3. 以聽話器連於天線與地線之間而成之接收器械,可用以收聽無線電信息否?何故?

4. 自燈絲流至屏極之電子流,所受(a)使柵極帶陽電與(b)使柵極帶陰電之影響如何?

### 第三十一章

1. 依波長之次序,自最長至最短,排列下述各波: X 線,赤光,青光,熱波,紫外線,無線電波.

2. X 線爲極短之波,相似而較短於紫外光線,此有何種實驗上之證據,取信於人?

3. 鉀瓶如何能使照相可由電線或射電傳遞?

# 最新實用物理學

## 西文索引

### A

	PAGE		PAGE
"A" battery, "甲"電池	690	ampere turns, 安培	433
absolute temperature, 絕對溫度	261	amplification, 放大	698
absolute zero, 絕對零度	281	amplitude, 振幅	548
abstract number, 抽象之數	87	André Marie Ampere, 安培	364, 393
achromatic lens, 消色透鏡	639	aneroid barometer, 無液氣壓計	120
a-c. ammeter, 交流安計	524	angle of deviation, 偏角	629
acceleration, 加速度	202	angle of incidence, 投射角	602, 621
accommodation, 調節	641	angle of reflection, 反射角	602
acetylene, 乙炔	140	angle of refraction, 屈折角	621
acoustical defects, 傳音缺點	557	anode, 陽極	441
active material, 作用物質	448	antenna, 天線	682
adhesion, 附着	173	anticathode, 對陰極	719
air-bound, 氣塞	305	aqua ammonia, 氨精水	175
air brakes, 空氣制動機	154	aqueous humor, 水樣液	640
air compressor, 空氣壓縮器	133	$\alpha$ ray, $\alpha$ 線	723
air-cooled engine, 空氣冷卻引擎	193	Archimedes, 阿基米得	92
air pump, 抽氣唧筒	172	arched, 拱形	557
airship, 飛艇	130	Aristotle, 阿里士多德	210
air vent, 自動小氣門	306	armature, 發電機	476, 487, 489
Alessandro Volta, 弗打	289	artesian well, 自流井	159
Alexander Graham Bell, 亞力山大格刺漢柏爾	508	artificially aged, 成熟	363
alloy, 合金	68	artificial magnet, 人造磁石	351
alternate disks, 交替圓板	66	aspirator, 吸氣器	297
alternating current, 交流	461, 477	astigmatism, 散光	642
alternating-current generator, 交流發電機	478	astronomical telescope, 天文望遠鏡	652
alternator, 交流發電機	478	atmosphere, 氣壓	119
altimeter, 測高計	123, 142	atom, 原子	374
altitude, 高度	604	atomic number, 原子數	721
ammeter, 安計	369	atomizer, 噴霧器	156
ammonia, 氨精	169	audible frequency, 成音週率	688
ammonium phosphate, 磷酸銨	540	audio-frequency amplifier, 成音週率放大器	203
ampere, 安	393, 446	automatic lamp, 自動弧燈	466
ampere hour, 安時	448	automatic stoker, 自動添煤器	323
		automobile jack, 汽車起重器	75

## B

PAGE		PAGE
	back electromotive force, 反	
491	電動力 ... ..	boil, 沸騰 ... .. 297
525	back voltage, 反電壓 ... ..	boiler, 汽鍋 ... .. 300
454	baking soda, 焙用礬 ... ..	boiling point, 沸點... .. 298
256	balance wheel, 擺輪 ... ..	bolt, 螺釘 ... .. 54
68	Balbit metal, 巴璧金 ... ..	Bourdon spring gauge, 鮑唐氏
406	B. and S gauge, 白沙尺度 ... ..	彈簧壓力計 ... .. 138
660	band of colors, 色帶 ... ..	brake shoe, 制動機包頭... .. 67
121	barograph, 自錄氣壓計... ..	brake test, 制動之試驗 ... 159, 497
120	barometer, 氣壓計 ... ..	$\beta$ ray, $\beta$ 線 ... .. 723
417	battery, 電池 ... ..	bread mixer, 麵包混製器 ... 75
691	"B" battery "乙" 電池... ..	breaking strength, 折斷強度 160, 166
602, 625	beam, 光柱 ... ..	bridge, 弦馬 ... .. 579
574	beats, 噓 ... ..	bright green, 明綠 ... .. 670
640	bellows, 韌 ... ..	bright-line spectrum, 輝線光
508	Bell receiver, 柏爾受話器 ... ..	譜 ... .. 664
512	bell-ringing transformer, 鳴	British thermal unit, 英國熱
161	鈴環壓器 ... ..	單位 ... .. 265
383	Benjamin Franklin, 彭家明弗	broadcasting, 廣播 ... .. 682
388	蘭克林 ... ..	brown, 棕 ... .. 669
655	binding post, 縛柱 ... ..	Brown, 白朗 ... .. 406
192	binocular, 雙眼鏡 ... ..	Brownian movement, 勃郎運
482	biplane, 雙翼機 ... ..	動 ... .. 171
329	bipolar generator, 雙極發電機	bucket, 肩斗 ... .. 348
39	blade, 葉版 ... ..	Bunsen photometer, 本生光度
126	black, 整車 ... ..	計 ... .. 594
457	blower, 通風器 ... ..	Bureau of Standards, 標準局 160
660	blow cut, 爆斷 ... ..	burning glass, 聚火鏡 ... 280
660	blue, 青 ... ..	burns out, 燒滅 ... .. 68
673	bluish-green, 淡青綠色 ... ..	buzzer, 蜂音器 ... .. 513
		by-pass condenser, 傍路電器 696
		Byed 皮由特 ... .. 240

## C

530	cable, 電纜 ... ..	capacity in ampere hours, 容
134	caisson, 沉櫃 ... ..	量之安時 ... .. 449
664	calcium chloride, 氯化鈣 ... ..	capillary tube, 毛細管 ... 173
469	calcium carbide, 二碳化	capillarity, 毛細管現象 ... 175
318	鈣 ... ..	capstan, 扳鎖機 ... .. 39
52	calorimeter, 熱量計 ... ..	carbon dioxide, 二氧化碳 ... 125
195	cam轉輪 ... ..	carbureter, 揮發器 ... .. 33
45	cambered wing, 眉形翼... ..	carrier current, 主流 ... .. 701
106	computing scale, 磅秤 ... ..	carrier wave, 主波 ... .. 702
593	can buoy, 浮標... ..	cartridge fuse, 筒式保險絲 ... 456
601	candle power, 燈光... ..	cast iron, 鑄鐵... .. 291
527	candle power hour, 燭光	cathode, 陰極 ... .. 441
	時 ... ..	cathode ray, 陰極線 ... .. 714
	容量 ... ..	caustic soda, 苛性鈉 ... .. 439

	PAGE
"C" battery, "丙"電池...	698
center of curvature, 曲率中	
心 ... ..	605, 606
center of gravity, 重心...	33
centigrade thermometer, 攝	
氏溫度計 ... ..	249
central-battery system, 中央	
電池式 ... ..	511
centrifugal pump, 離心唧筒	126
centrifugal tendency, 離心之	
傾向 ... ..	221
centrifuge, 離心分析器 ...	221
centripetal force, 向心力 ...	220
check valve, 阻止瓣 ... ..	337
characteristic curve, 特性曲線	698
charge, 充電 ... ..	102
charging, 充電 ... ..	446
charge with electricity, 光電	368
charging by induction, 由誘	
導而使帶電 ... ..	376
Charles, 查理 ... ..	261
chromatic aberration, 色收差	662
circuit breaker, 電路自斷器	456, 457
circular mil, 圓密 ... ..	403
clarinet, 簫 ... ..	563
claw hammer, 鷹爪錘 ... ..	30
clinical thermometer, 體溫計	250
closed manometer, 閉管壓力計	137
closed pipe, 閉管 ... ..	582
clutch, 接合子 ... ..	343, 466
coefficient of linear expansion,	
線膨脹係數 ... ..	255
coffee percolator, 電濾咖啡器	455
cohesion, 凝聚 ... ..	173
coke, 骨炭 ... ..	465
cold-storage, 冰庫 ... ..	308
collar, 軸銷 ... ..	325
collecting ring, 採電環 ... ..	528
collimator, 視準器 ... ..	663
Colonel Lindbergh, 林白大佐	340
color blindness, 色盲 ... ..	677
color filter, 濾色鏡 ... ..	670
Colorado, 考羅雷杜 ... ..	128
commutating pole, 交換極 ...	491
commutator, 整流子 ... ..	478
commutator motor, 整流子電	
動機 ... ..	535
compass, 羅盤 ... ..	351, 369
compensate, 補償 ... ..	366
complementary color, 餘色 ...	670
component force, 分力 ... ..	182

	PAGE
composition of forces, 力之合	
成 ... ..	182
compound color, 複色 ... ..	669
compound engine, 複合引擎	327
compound microscope, 複望	
遠鏡 ... ..	608, 650
compound wound, 複捲 ... ..	483
compression pump, 壓氣唧筒	136
compression stroke, 壓縮衝程	337
compression wave, 壓縮波 ...	550
concave mirror, 凹鏡 ... ..	605
concrete number, 具體之數 ...	95
condensation, 密部 ... ..	551
condenser, 凝集器 ... ..	110
condenser, 凝縮器 ... ..	302
condenser, 凝汽器 ... ..	302
condenser, 蓄電器 ... ..	378
condensing engine, 凝汽引擎	328
condensing lens, 聚光透鏡 ...	568
conductance, 形導 ... ..	414
conductor, 導體 ... ..	369
conduction, 傳導 ... ..	272
cone clutch, 錐狀接合子 ... ..	66
cone speaker, 錐式喇叭 ... ..	706
conjugate foci, 共軛焦點 ... ..	612
Conowingo, 康諾永哥 ... ..	151
consistent units, 相合之單位	206
controller, 制御器 ... ..	496
control panel, 調節列盤 ... ..	704
convection, 對流 ... ..	272
converging lens, 收斂透鏡 ...	631
convex lens, 凸透鏡 ... ..	466
convex mirror, 凸鏡 ... ..	605
cooling coil, 蛇管 ... ..	310
Cooper-Hewitt, 庫拍休易特	
(弧燈) ... ..	467
core type, 鐵心式 ... ..	514
cornea, 角膜 ... ..	640
cornet, 喇叭 ... ..	583
corpuscular theory, 微塵說 ...	667
cotter pin, 楔門 ... ..	74
coulomb, 庫 ... ..	446
Coulomb, 庫隆 ... ..	393
coupling, 交連 ... ..	695
crank case, 拐臂匣 ... ..	336
crater, 火坑 ... ..	466
Creek, 克利克 ... ..	150
critical angle, 臨界角 ... ..	627
cross-bar, 橫桿 ... ..	256
crown glass, 冕玻璃 ... ..	622
crude petroleum, 粗石油 ... ..	302

	PAGE		PAGE
cubical expansion, 體膨脹 ...	256	cycle, 循環 ... ..	339
curved grating, 彎曲格子 ...	345	cylinder, condensation, 汽筒 凝汽作用 ... ..	326
crystal detector, 晶體檢波器 ...	688	cylindrical, 圓柱形 ... ..	642
crystalline, lens, 晶體透鏡 ...	640		

## D

damped oscillatory current, 減幅振盪電流 ... ..	681	direct-current generator, 直 流發電機 ... ..	479
damper, 風門 ... ..	284	direct-vision, 直視 ... ..	665
damper, 壓琴器 ... ..	564	discharge, 放電 ... ..	102, 381
Dayton C. Miller, 特登密勒 ...	571	discharging, 放電 ... ..	446
daylight lamp, 日光燈 ... ..	677	discord, 不調和 ... ..	576
dead-beat, 立止 ... ..	520	disintegrate, 蛻變 ... ..	724
delta-connection, 三角連法 ...	533	disk type, 盤式 ... ..	148
delineation, 方位角 ... ..	353	dispersion, 分散 ... ..	661
denatured alcohol, 變性酒精 ...	303	disposable lift, 浮力 ... ..	132
denver, 鄧佛 ... ..	128, 145	distance of most distinct vision, 明視距離 ... ..	649
deposit, 沉積 ... ..	443	distillation, 蒸溜 ... ..	301
detector, 檢波器 ... ..	684	distributor, 分配器 ... ..	506
developer, 顯像液 ... ..	639	diverging lens, 發散透鏡 ...	631
dew point, 露點 ... ..	312	divers, 潛水者 ... ..	134
diaphragm, 鐵膜 ... ..	509	door opener, 開門器 ... ..	513
diaphragm, 或 stop, 光圈 ...	637	double concave lens, 雙凹透鏡	632
Diesel (engine), 狄塞爾 (引擎)	341	double convex lens, 雙凸透鏡	631
dielectric, 通感體 ... ..	379, 527	draft, 氣流 ... ..	274
dielectric strength, 通感強度 ...	522	drinking fountain, 飲料貯藏器	142
difference in level, 水平差 ...	388	drip valve, 滴水滑瓣 ... ..	146
differential, 差動輪 ... ..	343	driven disks, 傳動圓板 ... ..	66
differential pulley, 差動滑輪 ...	56	driven machine, 推動機器 ...	61
diffraction, 衍射 ... ..	675	driving disks, 轉動圓 ... ..	66
diffraction grating, 衍射格 ...	720	driving electromotive force, 外來電動力 ... ..	491
diffused reflection, 擴散的反 射 ... ..	601	driving shaft, 轉動軸 ... ..	348
diffusion, 擴散 ... ..	168	driving machine, 原動機器 ...	60
diffusion pump, 擴散噴筒 ... ..	112	drum, 鼓狀汽筒 ... ..	322
digester, 密煮器 ... ..	300	drum, 鼓形輪 ... ..	330
dimensions, 直線向度 ... ..	6	dry cell, 乾電池 ... ..	288, 420
dip, 俯角 ... ..	354	dynamic loudspeaker, 動電喇 叭 ... ..	707
direct current, 直流 ... ..	478	dyne, 達 ... ..	224
direct current circuit, 直流電 路 ... ..	461		

## E

earpiece, 耳片 ... ..	509	effective resistance, 有效耗阻	697
eccentric, 偏心輪 ... ..	325	efficiency of the machine, 機 械之效率 ... ..	71
echo, 回聲 ... ..	556, 543	effort, 發動力 ... ..	21
economizer, 聚熱機 ... ..	274	elasticity, 彈性 ... ..	165
eddy current, 渦流 ... ..	461, 519		

	PAGE		PAGE
elastic limit, 彈性限度 ... ..	166	electromagnetic wave, 電磁波	675
electric, 電的 ... ..	368	electromotive force, 電動力	391, 395
electrical degree, 電機度 ... ..	531	electron, 電子 ... ..	375
electrical ear, 電耳 ... ..	556	electrophorus, 起電盤 ... ..	332
electrically recorded, 以電灌 音 ... ..	698	electroplating, 電鍍 ... ..	442
electrical resistance, 電耗 阻 ... ..	381, 394	electroplating vat, 電鍍槽 ... ..	443
electrical safety valve, 電安 全瓣 ... ..	456	electroscope, 驗電器 ... ..	271
electric charge, 電荷 ... ..	368	electrostatics, 靜電 ... ..	387
electric circuit, 電路 ... ..	390, 391	electrotype plate, 電鋅版 ... ..	444
electric damping, 電滯 ... ..	461	element, 原質 ... ..	374
electric eye, 電眼 ... ..	648	enamel-covered wire, 玻璃包 線 ... ..	513
electric flatiron, 電熨斗 ... ..	455	energy, 能 ... ..	235
electric furnace, 大電爐 ... ..	247	equilibrant, 平衡力 ... ..	181
electricity in motion, 動電 ... ..	387	equipotential, 等勢 ... ..	401
electric motor, 電動機 ... ..	487	erg, 厄 ... ..	239
electric oven, 小電爐 ... ..	247	ethyl glycol 碳 prenone, 酸鈹 之氨水溶液 ... ..	317
electric power house, 發電 廠 ... ..	501	evaporator, 蒸發器 ... ..	310
electric radiator, 電射熱器 ... ..	455	even-tempered scale, 溫和音 階 ... ..	589
electric resonance, 電諧振 ... ..	680	Ewing, 伊溫 ... ..	364
electric towels, 電拭器 ... ..	312	exciter, 勵磁機 ... ..	528
electric wave, 電波 ... ..	506	exhaust manifold, 排氣室 ... ..	337
electrified, 帶電 ... ..	368	exhaust port, 排氣門 ... ..	336
electro-chemical equivalent, 電化當量 ... ..	445	exhaust stroke, 排氣衝程 ... ..	339
electrolysis, 電解 ... ..	442	exhaust valve, 排氣瓣 ... ..	337
electrolyte, 電解質 ... ..	390, 441	expansion joint, 伸縮關節 ... ..	269
electrolytic copper, 電解銅 ... ..	445	expansion or working stroke, 膨脹衝程或工作衝程 ... ..	339
electrolytic rectifier, 電解整 流器 ... ..	540	expansion pipes, 膨脹導管 ... ..	309
electro-magnet, 電磁石 ... ..	432	explosive mixture, 爆發劑 ... ..	333
electromagnetic inertia, 電磁 慣性 ... ..	507	external circuit, 外路 ... ..	391
		eye-ball, 眼球 ... ..	641
		eye-bolt, 眼螺釘 ... ..	74
		eyepiece, 目鏡 ... ..	608, 650

F

Fahrenheit, 華氏 ... ..	349, 270	filament, 燈絲 ... ..	690
far-sighted eye, 遠視眼 ... ..	642	film, 軟片 ... ..	639
farm tractor, 農用曳引車 ... ..	333	fire tube boiler, 火管式汽鍋 ... ..	321
fatigue, 疲勞 ... ..	177	first overtone, 第一倍音 ... ..	568
faucet, 龍頭 ... ..	78, 146	fixed pulley, 定滑輪 ... ..	39
Feddersen, 斐特森 ... ..	679	flash-light, 電筒 ... ..	638
feeder, 饋電線 ... ..	495	Flatiron Building, 熨斗屋 ... ..	166
field of view, 視界 ... ..	655	Fleming, 佛勒明 ... ..	475
field of communication, 交換 磁場 ... ..	362	flint glass, 鉛玻璃 ... ..	622
field rheostat, 磁場變阻器	493, 501	floating drydock, 浮塢 ... ..	94
		fluid, 流質 ... ..	116

	PAGE		PAGE
fluorescence, 螢光 ... ..	714	four-stroke engine, 四衝引擎 ... ..	335
fluorescent screen, 螢光屏 ... ..	718	fractional distillation, 分溜 ... ..	302
fluoroscope, 螢光鏡 ... ..	727	freeze, 凍結 ... ..	88, 270
flute, 笛 ... ..	583	freezing point, 冰點 ... ..	249, 290
focal length, 焦點距離 ... ..	606, 632	freezing point, 凝固點 ... ..	290
focus, 對光 ... ..	640	frequency, 週率 ... ..	548, 531
Fanault current, 佛科電流 ... ..	519	Fresnel, 弗勒斯納耳 ... ..	667
foot-candle meter, 吹燭計 ... ..	589	fret, 琴柱 ... ..	581
food candle, 吹燭 ... ..	597	friction clutch, 摩擦接合子 ... ..	66
force, 力 ... ..	398	frost, 霜 ... ..	314
forced draft, 強壓通風 ... ..	323	fuel value, 燃燒價 ... ..	346
force diagram, 力之圖解 ... ..	183	fulcrum, 支點 ... ..	19
forced vibration, 強制振動 ... ..	567	fundamental note, 本音 ... ..	567
force of suction, 吸力 ... ..	112	furnace, 熔爐 ... ..	274
Fortin, 福丁 ... ..	120	fuse, 保險絲 ... ..	456

## G

Galileo, 伽利略 ... ..	116	Good, 哥特 ... ..	143
galvanometer, 電流計 ... ..	437	Good conductor, 良導體 ... ..	370
gas equation, 氣體方程式 ... ..	265	Graf Zeppelin, 齊柏林 ... ..	130
gasmeter, 氣量計 ... ..	143, 460	gram, 克 ... ..	8
gasoline, 汽油 ... ..	302, 333	gram calorie, 克卡 ... ..	286
gauge, 尺度 ... ..	406	granulated sugar, 粒狀糖 ... ..	299
Geissler tube, 蓋勒斯管 ... ..	713	graphite, 石墨 ... ..	444
general principle, 一般之原理 ... ..	398	green, 綠 ... ..	660
generator, 發電機 ... ..	476	greenish-black, 墨綠色 ... ..	677
George Simon Ohm, 歐姆 ... ..	394	grease spot, 油點 ... ..	594
Gilbert, 吉爾伯特 ... ..	355	grid, 柵極 ... ..	690
guitar, 六弦琴 ... ..	582	grid condenser, 柵極蓋電器 ... ..	693
gland, 白蓋 ... ..	146	grid leak, 柵漏 ... ..	693
goldbeater's skin, 大腸膜 ... ..	570	ground, 地線 ... ..	682
gold leaf, 金箔 ... ..	372	guide vane, 旋轉導翼 ... ..	151
		gyroscope, 旋運器 ... ..	233

## H

hack-saw, 弓形鋸 ... ..	583	heat conductivity, 導熱率 ... ..	278
band wheel, 手輪 ... ..	39	heat insulator, 隔熱體 ... ..	278
Harcourt pentane lamp, 哈考脫戊烷燈 ... ..	594	heat of fusion of ice, 冰之熔解熱 ... ..	293
hardness, 硬度 ... ..	719	heat of vaporization, 蒸發熱 ... ..	303
harmonics, 諧音 ... ..	568	heat value, 熱值 ... ..	318
harmonious, 調和 ... ..	576	Hefner, 赫 ... ..	594
harmonious musical interval, 調和音程 ... ..	588	Heike Kamerlingh Onnes, 赫克卡墨林登納 ... ..	406
head light, 頭燈 ... ..	608	Heinrich Rudolf Hertz, 赫支 ... ..	681
head of water, 水頭 ... ..	82	helium, 氦 ... ..	132, 666
headquarter, 總部 ... ..	640	Helmholtze, 赫爾莫爾慈 ... ..	243



	PAGE		PAGE
Henri Becquerel, 亨律倍格勒		Hook's law, 虎克定律 ... ..	164
爾 ... ..	721	horse power, 馬力 ... ..	59
Henry G. J. Moseley, 莫司盧	720	horse, power hour, 馬力時 ... ..	460
Hermann von Helmholtz, 赫爾姆霍斯	563	hot boxes, 車廂發熱 ... ..	68
Hertz 赫支 ... ..	675	hot-water system of heating house, 熱水暖室法 ... ..	274
Hertzian wave, 赫支波 ... ..	682	H-type, 日式 ... ..	515
high-tension coil, 高壓線圈 ... ..	514	Humphry Davy, 亨吉雷達威	465
high-vacuum rectifier, 高度真空整流器 ... ..	113	Huygens, 海耳史 ... ..	667
hoisting derrick, 動臂起重機	43	hydraulic head, 水壓高度 ... ..	388
Holmgren's test wool, 霍爾姆格倫氏測驗羊毛 ... ..	677	hydraulic jack, 水壓起重機 ... ..	88
		hydraulic press, 水壓機 ... ..	87
		hydrometer, 比重計 ... ..	100

I

ice house, 冰房 ... ..	283	聯 ... ..	412
iceless refrigerator, 無冰冷藏器 ... ..	309	input (work), 入功 ... ..	48
ice tank, 冰櫃 ... ..	308	input coil, 入能線圈 ... ..	699
illuminating power, 照明能力	593	in resonance, 正在共鳴 ... ..	565
illumination, 照明 ... ..	590	in series, 串聯 ... ..	410
illusion, 感視 ... ..	603	insulator, 絕緣體 ... ..	369
image, 像 ... ..	603	intension, 伸張作用 ... ..	161
impedance, 總阻 ... ..	525	intensity, 強度 ... ..	395
impulse, 動勢 ... ..	241	intensity 或 loudness of sound, 音強 ... ..	554, 561
inclined plane, 斜面 ... ..	49	intensity of illumination, 明度 ... ..	592
incompression, 壓縮作用 ... ..	161	interest and depreciation, 利息與折舊 ... ..	523
incondescence, 凝熱 ... ..	463	interference, 干涉 ... ..	575
incubator thermometer, 孵卵溫度計 ... ..	250	intermediate note, 中間鍵 ... ..	578
index of refraction, 屈折率 ... ..	621	intermittent circuit, 間歇電路	420
indicated horse power, 寶馬力 ... ..	327	internal circuit, 內路 ... ..	391
indigo, 藍 ... ..	660	internal-combustion engine, 內燃引擎 ... ..	333
indirect heating, 筒接暖室法	305	international candle, 國際燭光 ... ..	593
induced magnet, 誘導磁石 ... ..	360	international code, 國際電碼	688
inductance, 誘導 ... ..	507	international pitch, 國際音調	578
inductance, 自誘量 ... ..	525	inter-pole, 中間極 ... ..	491
inductance, 誘導量 ... ..	680	interrupter, 電流斷續器 ... ..	505
induction coil, 誘導圈 ... ..	380, 504	in tune, 配譜 ... ..	680
induction motor, 誘導電動機	536	in unison, 同調 ... ..	577
inductive circuit, 自誘電路 ... ..	525	ionized, 電離 ... ..	539
inertia, 慣性 ... ..	219	isobars, 等壓線 ... ..	123
infra-red ray, 赤外線 ... ..	674	isogonic lines, 等方位線 ... ..	358
inlet valve, 進氣瓣 ... ..	337		
in parallel 或 in multiple, 並			

## J

PAGE		PAGE	
73	jack screw, 起重螺旋 ... ..	413	joint resistance, 合阻 ... ..
334	jaket, 護套 ... ..	433, 678	Joseph Henry, 約瑟夫亨利
58, 320	James Watt, 詹姆斯瓦特 ... ..	239, 460	joule, 朱 ... ..
715	J. J. Thomson, 湯姆孫 ... ..	344	Joule, 朱耳 ... ..
248	John Tyndall, 約翰丁達爾 ... ..	623	Jupiter, 木星 ... ..

## K

261	Kelvin scale, 開氏計 ... ..	237	kinetic energy, 動能 ... ..
665	Kerchhoff, 克希荷夫 ... ..	171	kinetic theory of gas, 氣體運 動說 ... ..
302	kerosene, 煤油 ... ..	68	knocks, 互相衝突 ... ..
341	kerosene engine, 煤油引擎 ... ..	200	knot, 海里 ... ..
286	kilogram calorie, 瓦卡 ... ..	570	Koenig, 耿尼格 ... ..
460	kilowatt hour, 瓦時 ... ..		

## L

101	lactometer, 驗乳器 ... ..	359	line of magnetic force, 磁力 線 ... ..
74	lag screw, 螺絲套 ... ..	187	lines of action, 作用線 ... ..
112	Langmuir, 郎滿 ... ..	354	lines of equal declination, 等 方位線 ... ..
293	latent heat, 潛熱 ... ..	533	line wire, 總線 ... ..
188	lawn mower, 刈草機 ... ..		liquids seek their own level, 液體自得其平 ... ..
262	law of Charles, 查理定律 ... ..	85	liquid type, 液體式 ... ..
243	law of the conservation of energy, 能常住定律 ... ..	664	lithium chloride, 氯化鋰 ... ..
229	law of universal gravitation, 萬有引力定律 ... ..	511	local-battery system, 局部電 池式 ... ..
356	laws of attraction and re- pulsion, 引斥定律 ... ..	231	local weight, 本地重量 ... ..
195	leading edge, 翼首 ... ..	74	lock nut, 鎖釘帽 ... ..
709	lead-in wire, 引入線 ... ..	350	lodestone, 吸鐵石 ... ..
431	leakage flux, 磁漏 ... ..	688	long-focus lens, 長焦點透鏡 ... ..
515	leg, 股 ... ..	550	longitudinal wave, 縱波 ... ..
618	lens, 透鏡 ... ..	548	loop, 脈 ... ..
503	Lenz's law, 楞次定律 ... ..	686	loop, 環 ... ..
654	level, 水平儀 ... ..	684	loop antenna, 環狀天線 ... ..
75	leveling, 瞄準 ... ..	234	looping the loop, 筋斗飛行 ... ..
266	Leyden, 勒登 ... ..	244, 260, 679	Lord Kelvin, 開爾文爵士
379	Leyden jar, 萊頓瓶 ... ..	131, 145	Los Angeles, 羅斯安琪兒 ... ..
125	lift or suction pump, 吸上唧 筒 ... ..	564	loud pedal, 高音踏板 ... ..
385	lightning arrester, 避電器 ... ..	579	lower C, 下 C ... ..
383	lightning rod, 避電針 ... ..	514	low-tension coil, 低壓線圈 ... ..
556	light wave, 光波 ... ..	68	lubricant, 滑潤劑 ... ..
635	linear magnification, 線放大 率 ... ..	67	lubrication, 滑潤作用 ... ..
511	line losses, 線虧 ... ..	597	lumen, 窗明 ... ..
359	line of force, 力線 ... ..	593	luminous intensity, 光度 ... ..
		724	luminescent paint, 發光油漆 ... ..

## M

PAGE	PAGE
Machine telephones switch- ing, 機器通話 ... .. 523	mercurey-arc, 錄弧(燈)... .. 467
main shaft, 總軸 ... .. 66	metallic arc lamp, 金屬弧燭 ... 467
Magdeburg, 麥德堡 ... .. 110	metallic thermometer, 金屬溫 度計 ... .. 254
Magdeburg hemispheres, 麥 德堡半球 ... .. 116	metallic tungsten, 金屬鎢 ... 463
magnetic circuit, 磁鐵路 ... 512	method of mixture, 混合法 ... 287
magnetic flux, 磁流 ... .. 359	methyl chloride, 氯甲烷 ... 310
magnetic Pole of the North, 北磁極 ... .. 356	Michael Farady, 米歇爾法刺第 ... 358
magnetic Pole of the South, 南磁極 ... .. 356	Michelson, 邁克爾孫 ... .. 623
magnetic screen, 磁屏 ... .. 362	micrometer screw, 測微螺旋 54,164
magnetite arc lamp, 磁鐵礦 弧燈 ... .. 467	microphone, 微音器 ... .. 509
magnetized by induction, 誘 導作用而磁化 ... .. 360	microphone, 傳話器 ... .. 700
magnets, 磁石發電機 ... 361,476	middle A, 中部 A 音 ... .. 579
magnifying glass, 廓大鏡 ... 650	middle C, 中部 C 音 ... .. 579
magnifying power, 倍率 ... 650	middle scale, 中音階 ... .. 576
mains, 總管 ... .. 145	mil, 毫 ... .. 403
major scale, 長音階 ... .. 577	mil foot, 毫呎 ... .. 403
major trial, 長三和音 ... 577	miles per-hour, 小時里 ... 202
make-and-brake ignition, 斷 續點火器 ... .. 508	millivoltmeter, 赫計 ... .. 475
mandolin, 洋琵琶 ... .. 581	minus lens, 負透鏡... .. 637
manganin, 錳線網 ... .. 394	Mme. Morie Sklodowska Curie, 居禮及居禮夫人 ... 721
manifying glass, 廓大鏡 ... 608	modulated, 受調幅作用 ... 699
manometric flame, 舞燄 ... 570	modulator, 調幅器 ... .. 699
Mariotte, 馬律奧脫... .. 136	molecule, 分子... .. 168,374
mass, 質量 ... .. 230	molybdenium, 鉬 ... .. 469
Maxwell, 麥克斯惠爾 ... 674	monoplane, 單翼機... .. 192
mean affective pressure, 平均 有效壓力 ... .. 327	mother liquor, 原漿 ... .. 221
mean horizontal candle power, 平均水平燭光 ... 596	motion-picture camera, 活動 影戲用照相器 ... .. 644
mechanical advantage, 機械 利率 ... .. 25	motor generator, 電動發電機 ... 501
mechanical stress, 機械的應力 ... 527	mouth-piece, 送音口 ... .. 585
mechanics, 力學 ... .. 163	movable pulley, 動滑輪... .. 40
medicine dropper, 滴藥管 ... 142	movietone, 或 photophone, 片上發音式 ... .. 646
medium, 媒質 ... .. 546	moving coil, 可動之線圈 ... 437
megaphone, 擴音器 ... .. 554	muffler, 減聲器 ... .. 337
melting point, 熔解點 ... .. 230	multiple-dish clutch, 複式圓 板接合子 ... .. 66
	multipolar generator, 多極發 電機 ... .. 483
	Munich, 莫尼區 ... .. 124
	musical sound, or tone, 樂音 ... 561
	muzzle energy, 噓口能 .. 241

## N

PAGE	PAGE
natural frequency of vibration, 自然振動週率 ... .. 564	node, 節 ... .. 548
natural magnet, 天然磁石 ... .. 351	noise, 噪音 ... .. 561
nature abhors a vacuum, 自然忌真空 ... .. 116	noncondensing engine, 不凝汽引擎 ... .. 325
negative, 底片 ... .. 644	non-conductor, 非導體 ... .. 369
negative electricity, 陰電 ... .. 271	non-crystalline, 非晶體 ... .. 290
negative electrode, 陰極 ... .. 390	normal, 法線 ... .. 602
neon tube, 氖氬管 ... .. 648	north-seeking pole, 指北極 ... .. 352
neutral, 中和 ... .. 388	nozzle, 噴汽口 ... .. 330
neutrodyne receiver, 平差接收機 ... .. 704	nozzle type, 噴口式 ... .. 333
Niagara Fall, 尼亞加拉瀑布 150, 236	nucleus, 核 ... .. 375
	nutaton, 章動 ... .. 148

## O

objective, 物鏡 ... .. 589, 644, 650	optical instrument, 光學器械 ... .. 618
octave, 第八音 ... .. 568	optical nerve, 視神經 ... .. 640
octave, 均 ... .. 577	orange, 橙 ... .. 660
Oersted, 厄斯特德 ... .. 429	organ pipe, 風琴管 ... .. 553, 582
ohm, 歐 ... .. 394	oscillation, 振盪 ... .. 697
Ohm's law, 歐姆定律 ... .. 397	oscillator, 振盪器 ... .. 697
Onnes, 奧涅斯 ... .. 266	oscillatory, 震盪的 ... .. 381
opaque, 不透明 ... .. 591	Otto von Guericke, 奧吐達古立克 ... .. 110
opaque to heat, 不透熱 ... .. 281	out-of-doors type, 戶外式 ... .. 519
open circuit, 開電路 ... .. 420	output (work), 出功 ... .. 48
open pipe, 開管 ... .. 582	out put, 出能 ... .. 455
open tube manometer, 開管壓力計 ... .. 137	output coil, 出能線圈 ... .. 699
opera glass, 觀劇鏡 ... .. 654	overshot, 上擊 ... .. 149
ophthalmoscope, 檢察鏡 ... .. 607	overtone, 倍音 ... .. 568
optical disk, 光盤 ... .. 621	

## P

paddle wheel, 翼輪 ... .. 344	periscope, 潛望鏡 ... .. 658
parabolic mirror, 拋物面鏡 ... .. 557	permalloy, 透磁齊 ... .. 332, 437
partial eclipse, 部分蝕 ... .. 592	permanent magnet, 永久磁石 ... .. 360
parabolic mirror, 拋物面鏡 ... .. 607	permeability, 透磁性 ... .. 361
partial vacuum, 部分真空 ... .. 110	perpenal-motion machine, 永動機 ... .. 246
Pascal's law, 巴斯恰氏定律 ... .. 87	persistence of vision, 視覺之遺像 ... .. 649
pasing, 輪匝 ... .. 330	phase, 相 ... .. 531, 548
passage, 通路 ... .. 322	phonodeik, 攝波器 ... .. 751
peak, 高峰 ... .. 448	phonograph, 留聲機 ... .. 585
Pelton, 拍爾吞 ... .. 149	photo-electric cell, 光電瓶 ... .. 646
penetrability, 可透性 ... .. 218	photographic camera, 照相機 ... .. 639
penumbra, 半影 ... .. 592	
perfect vacuum, 完全真空 ... .. 110	

PAGE		PAGE	
photometer, 光度計 ... ..	593	power tube, 強力管 ... ..	706
piano note, 鋼琴聲... ..	553	precipitation, 降霜量 ... ..	315
pigment, 顏料... ..	670	pressure coefficient, 壓力係數	264
pinhole camera, 針孔暗箱 ...	591	pressure cooker, 密煮器 ...	300
pint, 派 ... ..	7	pressure cooker, 壓煮物器 ...	343
pitch, 旋距 ... ..	53	pressure sleeve, 壓力筒... ..	144
pitch, 音調 ... ..	561	primary cell, 原電池 ... ..	420
pitchblende, 溼清鈾礦 ... ..	721	primary coil, 一次圈 ... ..	504
plate, 屏極 ... ..	690	primary terminals, 一次極 ...	513
plate circuit, 屏路 ... ..	691	priming, 開機 ... ..	412
Plato, 柏拉圖 ... ..	3	principal axis, 主軸 ... ..	605
player piano, 自動奏琴機	584	principal focus, 主焦點 557,606,632	
plug fuse, 栓式保險絲 ... ..	456	principle of work, 功之原理	46
plumb line, 錘線 ... ..	34	prism, 三稜鏡 ... ..	619
pneumatic dispatch tube, 空		private wire, 私設之電線 ...	640
氣輸送管 ... ..	113	producer gas, 發生爐煤氣 ...	333
point of application, 作用點	179	projecting lantern 或 stere-	
polarization, 極化 ... ..	422	opticon, 映畫器 ... ..	568,643
poles of the magnets, 磁極 ...	352	Prony brake, 康擦制動機 ...	59
pontoon, 平底舟 ... ..	107	proof plane, 驗電板 ... ..	373
positive, 陽片 ... ..	644	propeller, 推進機 ... ..	54
positive column, 陽極柱 ... ..	713	pulsating, 脈動 ... ..	479
positive electricity, 陽電	271,390	pulse, 脈動 ... ..	549
positive lens, 正透鏡 ... ..	637	pure color, 純色 ... ..	669
potential energy, 勢能... ..	236	purple, 紫紅色... ..	669
power, 功率 ... ..	58	push, 推力... ..	395
power factor, 功率因數... ..	526		

Q

quadruple-expansion engine		quantum, 量子... ..	667
四次膨脹引擎 ... ..	327	quantum theory, 量子論 ... ..	676
quality, 或 timbre, 或 color,		quart, 夸 ... ..	285
音色 ... ..	561		

R

race, 空轉... ..	495	radium emanation, 鐳射氣 ...	724
radial form, 輻射式 ... ..	339	radius of curvature, 曲率半	
radial type, 輻射式... ..	193	徑 ... ..	222
radiation, 輻射 ... ..	272	rainbow, 虹 ... ..	663
radiator, 射熱器 ... ..	273	range finder, 測距器 ... ..	658
radioactivity, 放射性 ... ..	721	rarefaction, 疎部... ..	551
radio compass, 無線電羅盤 ...	687	rate of expansion, 膨脹率 ...	255
radio-frequency amplifier, 射		rate of vibration, 振動率 ...	565
電週率放大器 ... ..	703	ray, 光線 ... ..	602
radiometer, 輻射計... ..	281	reading glass, 讀書鏡 ... ..	658
radio telegraphy, 無線電報 ...	682	real focus, 實焦點 ... ..	609
radio tube, 無線電真空管 ...	113	recording thermometer, 自錄	
radium, 鐳 ... ..	722	溫度計 ... ..	254

PAGE		PAGE
	recording watt-hourmeter, 自錄瓦時計(電表) ... ..	460
	red, 赤 ... ..	660
	reduction gear, 減速齒輪 ...	330
	reel, 捲 ... ..	644
	reel box, 捲片箱 ... ..	647
	reinforced concrete, 鋼筋混凝土 ... ..	177
	reinforcement, 或 intensification, 加強作用 ... ..	566
	reflected, 反射 ... ..	556
	reflecting surface, 反射表面 ...	543
	reflecting telescope, 反射望遠鏡 ... ..	608
	reflector, 反射器 ... ..	597
	refracted ray, 屈折光線 ... ..	620
	refracting angle, 屈折角 ... ..	629
	refracting telescope, 屈折望遠鏡 ... ..	652
	refraction, 屈折 ... ..	619
	refrangibility, 屈折度 ... ..	661
	refrigerating coil, 消熱蛇管 ...	310
	refrigerating plant, 消熱機 ...	493
	regeneration, 回授 ... ..	695
	regular crystalline structure, 等軸結晶質 ... ..	719
	regular reflection, 正反射 ... ..	601
	relative humidity, 相對濕度 ...	313
	reluctance, 抗磁性 ... ..	362
	reverberation, 餘韻 ... ..	558
	residual magnetism, 餘磁性 ...	432, 500
	resiliency, 彈力 ... ..	135
	resistance, 抵抗力 ... ..	21
	resistance, 抵抗 ... ..	398
	resistance box, 耗阻箱 ... ..	402
	resistance to a vacuum, 對於真空之抵抗 ... ..	116
	resistivity, 阻率 ... ..	403
	resonance, 諧振 ... ..	679
	resonance, 共鳴 ... ..	564
	resonating box, 共鳴箱 ... ..	543
	resonator, 共鳴器 ... ..	566
	result, 結果 ... ..	398
	resultant, 合力 ... ..	180
	retardation, 減速度 ... ..	203
	retina, 網膜 ... ..	641
	return flue, 迴氣管 ... ..	272
	reversible machine, 兩用之機器 ... ..	487
	revolving field, 旋轉磁場 ... ..	529
	rheostat, 變阻器 ... ..	493
	right-angle prism, 直角三稜鏡	628
	riveting hammers, 打帽鎚 ...	134
	Robert Boyle, 羅伯脫波義耳 ...	135
	Robert Bunsen, 羅白脫本生 ...	594
	Robert Mayer, 羅伯特梅葉耳 ...	243
	rock drill, 石鑽 ... ..	134
	Roemer, 勒麥耳 ... ..	623
	rotating field, 旋轉磁場 ... ..	536
	rotating pump, 旋轉唧筒 ... ..	112
	$\gamma$ ray, $\gamma$ 線 ... ..	723
	Ruhmkorff coil, 蓋姆考夫圈 ...	505

## S

Saint Louis, 聖路易 ... ..	146	self-induction, 自誘 ... ..	507
sal ammoniac, 氯化碓 ... ..	430	sensitive flame, 靈敏燄 ... ..	557
Samuel F. B. Morse, 薩繆爾 模斯 ... ..	435	sensitivity, 靈敏度 ... ..	694, 703
sand blast, 沙吹 ... ..	134	sensitized plate, 感光硬片 ...	639
saturated, 飽和 ... ..	365	series wound, 順捲 ... ..	483
scale tube, 尺度管 ... ..	663	sextant, 六分儀 ... ..	604
scanning aperture, 光圈 ... ..	648	shade, 燈罩 ... ..	597
Scotch boiler, 蘇格蘭式汽鍋 ...	327	shadow, 影 ... ..	591
seaplane, 海上飛行機 ... ..	192	Sharper, 沙伯 ... ..	406
searchlight, 探海燈 ... ..	470, 608	shear, 軋剪 ... ..	162
secondary axis, 副軸 ... ..	605	sheave, 轉轆 ... ..	39
secondary coil, 二次圈 ... ..	504	shell, 外套 ... ..	321
secondary terminals, 二次極 ...	513	shellac, 蟲膠片 ... ..	519
secondary vibration, 副振動 ...	568	Shenandoah, 昇南渡號 ... ..	132
second overtone, 第二倍音 ... ..	568	shock absorber, 平震器 ... ..	178
segment, 裂片 ... ..	480	short circuited, 短路 ... ..	381, 423
		short-sighted eye, 近視眼 ... ..	641

	PAGE		PAGE
shunt, 分路	438	spectroscopy, 分光術	345
shunt, wound, 分捲	483	spectrum, 光譜	660
shunted moving coil galvanometer, 分路動圈電流計	438	spectrum analysis, 光譜分析術	664
shutters, 遮葉	150	speed, 感光率	639
shutter, 快門	644	speed counter, 計速器	55
side tube, 傍管	717	speedometer, 速度計	201
silicon steel, 矽鋼	362	sperm, 鯨腦油	363, 593
silk-covered, 絲包	504	spherical aberration, 球面收差	606
silver and potassium cyanide, 氰化銀鉀	443	spherical wave, 球形之波	551
silver coulometer, 銀庫計	446	split ring, 裂環	478
simmering, 水滾	297	spray carburetor, 噴霧揮發器	333
simple microscope, 單顯微鏡	650	spray type, 噴霧式	333
sine, 正弦	621	sprocket hole, 扣鏈齒孔	646
single-disk clutch, 單式圓板接合子	66	spyglass, 小望遠鏡	654
single phase, 單相	532	squirrel cage, 鼠籠	536
single-phase series motor, 單相串聯電動機	535	squirrel-cage rotor, 鼠籠旋轉子	537
siphon, 虹吸	127	stability, 穩定	35
siren, 測音器	562	standard candle, 標準燭	593
Sir Isaac Newton, 牛頓爵士	218	standard life preserver, 標準救生器	107
skidding, 溜動	65	standard pressure, 標準壓力	299
skids, 溜動	220	standard weight, 標準重量	231
slide, 滑片	644	star connection, 星形連法	533
slider, 滑動子	556	starter, 發動機	501
slide valve, 移動滑瓣	324	starting box, 發動箱	493
sliding friction, 滑動摩擦力	67	starting characteristic, 發動特性	538
slip ring, 滑環	499	starting friction, 發動摩擦力	67
snap shot, 快相	640	starting motor, 發動電動機	501
socket, 燈座	456	starting resistance, 發動耗阻	492
soda water, 蘇打水	175	starting torque, 發動轉矩	494
solar spectrum, 太陽光譜	663	static, 天電	709
sonometer, 音計	531	stationary armature, 定發電機	529
soprans voice, 最高音	553	子	529
sound, 聲音	542	stator, 固定子	536
sound board, 音板	567	steady, 穩定	480
sound energy, 音能	558	steam chest, 汽室	324
sounder, 音響器	433	steam turbine, 蒸汽風輪	329
sound ranging, 音距法	556	steel sheath, 鋼鞘	437
source, 源	542	steering wheel, 舵輪	39
south-seeking pole, 指南極	352	step-down transformer, 降壓器	515
sparkling voltage, 電火花壓	712	step it down, 降之	514
sparkling plug, 電花栓	506	step-up transformer, 昇壓器	518
speaking tube, 傳話筒	551, 554	stereopticon, 大幻燈器	618
specific-gravity flask, 比重罇	99	stop watch, 按停錶	75, 559
specific heat, 比熱	237	storage battery, 鉛板蓄電池	102
specific resistance, 比阻	403		
spectrograph, 分光照相器	720		
spectroscope, 分光器	662		

	PAGE		PAGE
straid, 應力變形 ... ..	163	super-heater coils, 蛇管過熱器	322
stream of light, 光流 ... ..	602	supersaturated, 過度飽和 ...	311
stress, 應力 ... ..	161	surface tension, 表面張力 ...	172
stroke, 衝程 ... ..	326	suspension type, 懸吊式 ...	522
submarine boat, 潛水艇 ... ..	95	Susquehanna (River), 塞司奎	
submarine telegraphy, 海底		哈那 ... ..	151
電報 ... ..	437	switch, 開關 ... ..	396
substation, 變壓所 ... ..	518	switch-board, 交換機 ... ..	501
suction stroke, 吸氣衝程 ... ..	337	sympathetic vibration, 感應	
sugar centrifuge, 離心析糖器	221	振動 ... ..	564
sulfur dioxide, 二氧化硫 ... ..	310	synchronous motor, 諧和電動	
superconductivity, 超逾導電		機 ... ..	535
性 ... ..	406		

## T

tail race, 尾閘 ... ..	150	tickler, 回授圈 ... ..	695
telephone exchange, 電話總		timer, 計時調節器 ... ..	339
局 ... ..	449	tip-cart, 貨車 ... ..	44
telephone transmitter, 電話		tonster, 電烘器 ... ..	247
送話器 ... ..	510	Toepfer-Holz electric ma-	
telescope, 望遠鏡 ... ..	608, 652	chine, 都伯勒霍爾士起電機	382
television, 電傳影像 ... ..	648	to follow its nose, 向前直射 ...	157
terminal 電極 ... ..	388	torque, 扭率 ... ..	164
terrella, 小地球 ... ..	355	Torricelli, 托里拆利 ... ..	116
Thales, 泰勒斯 ... ..	368	total eclipse, 全蝕 ... ..	592
Thomson form, 湯姆森式 ... ..	461	total reflection, 全反射 ... ..	628
theory of magnetism, 磁性之		track, 軌道 ... ..	495
理論 ... ..	364	traction, 曳引阻力 ... ..	64
theory of relativity, 相對論 ...	675	traction work, 牽引工作 ... ..	451
thermionic valve, 三極球 ...	690	trajectory, 真空的軌道 ... ..	215
thermoelectric detector of		transformer, 變壓器 ... ..	512
radiant heat, 輻射熱之熱電		transfer port, 送氣門 ... ..	336
檢熱器 ... ..	282	transit, 經緯儀 ... ..	654
thermometer, 溫度計 ... ..	249	translucent, 半透明 ... ..	594
thermostat, 整溫器 ... ..	255	transmission, 傳動機 ... ..	348
thick-edged, 厚邊 ... ..	631	transmitting set, 發送機 ... ..	683
thin-edged, 薄邊 ... ..	631	transparent to heat, 透熱 ... ..	280
third rail, 第三軌 ... ..	395	transverse wave, 橫波 ... ..	549
thistle tube, 漏斗管 ... ..	115, 168	trap, 試車界 ... ..	201
Thomas A. Edison, 湯麥司愛		triple-expansion engine, 三	
迪生 ... ..	450	次膨脹引擎 ... ..	326
Thomas Newcomen, 湯麥斯牛		trolley line, 電車線 ... ..	495
考孟 ... ..	319	trolley pole, 接電桿 ... ..	496
Thomas Young, 湯姆斯楊 ... ..	667	trombone, 活動喇叭 ... ..	583
thorium, 鈾 ... ..	721	trough, 谷 ... ..	547
three-color half-tone, 三色滷		tuned circuit, 配諧電路 ... ..	684
淡影印板 ... ..	677	tungar rectifier, 鎢絲整流器	538
three-phase, 三相 ... ..	532	tuning fork, 音叉 ... ..	541
thumb rule, 姆指定則 ... ..	430	tunnels, 隧道 ... ..	134
thumb-tack, 大扁頭釘 ... ..	619	turbine, 風輪 ... ..	150



最新實用物理學

15

	PAGE		PAGE
twisting, 扭轉 ... ..	161	two-stroke engine, 二衝引擎	336
two-phase, 二相 ... ..	532	tympanum 或 ear-drum, 鼓膜	546
two-pole, 二極 ... ..	481	type metal, 活字金屬 ... ..	444

U

ultra-violet ray, 紫外線	468, 590, 674	uniformly accelerated motion, 等加速運動 ... ..	207
umbra, 全影 ... ..	592	uniform motion, 等速運動 ... ..	207
unbalanced forced, 不平衡之力 ... ..	223	unison, 同調 ... ..	566
under feed stoker, 下撥添煤器	323	upper dead center, 靜點 ... ..	336
undershot, 下擊 ... ..	149	upper limit of audibility, 可聞之上限 ... ..	563
unidirectional current, 單向電流 ... ..	588		

V

vacuum clearing, 真空清除法	112	velocity, 速度 ... ..	548
vacuum-feed system, 真空供給組織 ... ..	143	Venetian glass, 威尼司玻璃杯	674
vacuum pan, 真空罐 ... ..	299	vibrating, 前後振動 ... ..	541
vacuum pump, 真空唧筒 ... ..	109	vibration, 振動 ... ..	546
vacuum tube, 真空管 ... ..	663	violin, 提琴 ... ..	581
vacuum-tube rectifier, 真空管整流器 ... ..	538	virtual focus, 虛焦點 ... ..	609
vapor pressure, 蒸氣壓力 ... ..	298	vitaphone, 唱機影片合用式 ... ..	644
variable condenser, 變量蓄電器 ... ..	380	vitreous humor, 玻璃體 ... ..	641
variable condenser, 可變蓄電器 ... ..	684	voice current, 聲流 ... ..	700
		volt, 弗 ... ..	395
		voltage, 電壓 ... ..	395
		voltage drop, 電壓降 ... ..	424
		voltmeter, 弗計 ... ..	400

W

Wallis, 華利斯 ... ..	153	Wheatstone bridge, 威斯頓橋	401
Walter Johnson, 華脫強室 ... ..	240	wheel and axle, 繞輪軸 ... ..	38
water equivalent, 水當量 ... ..	289	whispering gallery, 耳語室 ... ..	557
watt, 瓦 ... ..	458	wide-angle lens, 大角透鏡 ... ..	658
wattmeter, 瓦計 ... ..	459	Wilhelm Konrad Roentgen, 琴琴 ... ..	717
watt second, 瓦秒 ... ..	460	William Bragg, 威廉布刺 ... ..	719
wave motion, 波動 ... ..	547	Wimshurst (electric machine), 格威姆孝斯脫起電機	383
W-D. Coolidge, 柯立奇 ... ..	715	wind-shields, 汽車遮風板 ... ..	609
wedge, 楔 ... ..	52	wind tunnel, 風筒 ... ..	155
weight, 重量 ... ..	230	wing nut, 翅釘帽 ... ..	24
Welsbach, 紗罩煤氣燈 ... ..	591	wired wireless, 有線射電 ... ..	709
Welsbach lamp, 威爾斯巴克煤氣燈 ... ..	470	Woods' metal, 武德合金 ... ..	291
Westcott color slides, 威斯脫考脫色彩滑片 ... ..	677	wood screw, 木螺旋 ... ..	54

	PAGE		PAGE
Woolworth; 武爾沃史 ... ..	213	Wright wrightwined engine; ... ..	340
worm condenser, 螺旋凝結器	302	來特旋風引擎 ... ..	340
worm gear, 螺旋齒輪 ... ..	55	Wright whirlwind motor, 盤	
wrench, 音調鍵 ... ..	579	脫旋風發動機 ... ..	192
Wright, 雷脫 ... ..	191		

## X Y Z

X-ray tube, X 線管 ... ..	506	yellow, 黃 ... ..	660
Y-connection 卽 star connection, 星形連法 ... ..	533	Zeppelin, 齊泊林 ... ..	130

中華民國二十四年八月初版

(166083)

高級中學  
適用教本  
最新實用物理學二冊

New Practical Physics

每部定價大洋貳元

外埠酌加運費匯費

原著者 Black and Davis

譯述者 陳 嶽 生

發行人 王 雲 五  
上海河南路

印刷所 商務印書館  
上海河南路

發行所 商務印書館  
上海及各埠

\*\*\*\*\*  
翻印必究  
\*\*\*\*\*

(本書校對者杜其堯)

二九二五 商

