

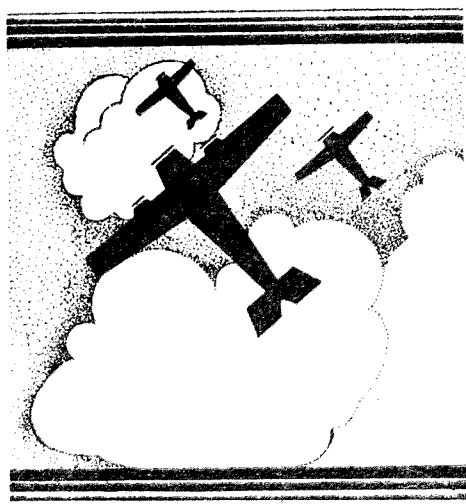
教育部審定

師範學校及簡易鄉村師範學校

# 物理學

下 冊

編 著 者            常 伯 華



正中書局印行

本書奉教育部編陸7第8736號批審定

中華民國二十四年十月初版  
中華民國三十五年八月六版

簡師  
簡鄉師  
物 理 學

下 册 實價國幣三角二分

(外埠酌加運費滙費)

編 著 者 常 伯 華

發 行 人 吳 秉 常  
南京河北路本局

印 刷 所 正 中 書 局  
南京河北路黨家巷口

發 行 所 正 中 書 局  
上海南京路  
蘇州太平路

(199)



## 第十五章 光的折射

(1)光的折射	200
(2)全反射	202
(3)稜鏡	203
(4)海市蜃樓	204
(5)透鏡	205
(6)透鏡所成的像	207

## 第十六章 光學

(1)照相機	210
(2)幻燈	211
(3)活動電影	211
(4)眼和眼鏡	212
(5)放大鏡	215
(6)顯微鏡	215
(7)望遠鏡	216

## 第十七章 光的色散

(1)光的色散	219
(2)虹的成因	220
(3)物體的顏色	222

- (4)顏料的色 …… 224

## 第十八章 磁鐵

- (1)磁鐵 …… 225
- (2)磁鐵的性質 …… 225
- (3)磁感應 …… 227
- (4)磁力線 …… 228
- (5)磁性的分子說 …… 230
- (6)磁偏角和磁傾角 …… 231
- (7)地磁 …… 232

## 第十九章 雷電

- (1)摩擦起電 …… 235
- (2)導體和絕緣體 …… 235
- (3)電的性質 …… 236
- (4)金箔驗電器 …… 237
- (5)電子說 …… 238
- (6)靜電感應 …… 239
- (7)容電器 …… 241
- (8)起電盤和起電機 …… 243
- (9)尖端放電 …… 245
- (10)雷電 …… 246

## 第二十章 電流與電池

(1)電池	… … … … …	248
(2)電池的種類	… … … … …	248
(3)電解	… … … … …	250
(4)電鍍	… … … … …	251
(5)電流和電量的單位	… … … … …	252
(6)磁效應	… … … … …	253
(7)電鈴	… … … … …	255
(8)電報	… … … … …	256
(9)電流計	… … … … …	257
(10)電阻	… … … … …	258
(11)電動勢	… … … … …	259
(12)電阻的組合	… … … … …	260
(13)電池的組合	… … … … …	261
(14)熱效應	… … … … …	263

## 第二十一章 應電流

(1)應電流	… … … … …	267
(2)發電機原理	… … … … …	269
(3)發電機	… … … … …	270
(4)感應圈	… … … … …	272

(5)電動機	273
(6)瓦時計	274
(7)變壓器	275
(8)電話	276

## 第二十二章 電波和真空放電

(1)電波	279
(2)檢波器	280
(3)無線電報	281
(4)無線電話	293
(5)真空放電	284
(6)X射線	286

## 第十三章 光的傳播

(1) 太陽和光 在白晝裏我們的眼睛能看見許多東西，一到黑夜，這些東西雖依然存在，但我們什麼也看不見。這因爲在白晝裏，太陽能發出很強烈的光輝，我們的視神經須有光的刺激，才能發生一種視覺。

在物理學上，凡自身能發光的物體，叫做發光體，亦稱光源；凡自身不能發光的物體，叫做不發光體，亦稱暗體。太陽自身能發出很強烈的光輝，所以在太陽系內，太陽是一個最大的發光體。人類所能控制的電燈和火焰，自身也能發出光輝，所以也叫做發光體，這種人造的發光體，都是利用固體在高溫度時所發的光輝。

如玻璃空氣和水等，能讓光線自由通過，在物體的後面，也能感到光輝的，叫

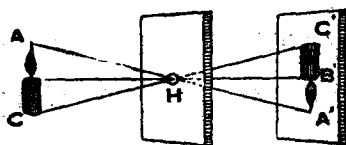


做透明體；如金屬、木頭、磚石等物不能讓光線通過，在物體的後面，即完全不能感到光輝的，叫做不透明體；如毛玻璃和薄紙片等介於透明體和不透明體的中間，能讓光線透過一部分，但在物體的後面，只能感到光輝，不能認清光源的形狀的，叫做半透明體。但這種分類，也不是絕對的，因為極不透明的金屬，如果錘成很薄的薄片，也能透過一部分的光，水雖然是透明體，海洋的深處，還是一種黑暗的世界。

(2) 光的直進 一塊不透明的木板可以遮斷燈光，由窗隙內走進來的日光，可以看出一條直進的路徑。由這些日常現象，我們可以確定光的傳播是依直線進行的，因為牠常依直線進行，所以叫做光線，下面的實驗更可作一個切實的證明。

〔實驗〕 在暗室內點燭一支，離燭約兩尺遠

處設紙屏一塊，再將一穿有一小孔的不透明紙屏插於兩物中間，如第 145 圖，則紙屏上可現一蠟燭的倒像。



第一四五圖 針孔所成的像

上面實驗內，中間紙屏上的小孔如果過大，則不能得出清晰的物像，精細的觀察，可以發現  $AA'$ 、 $BB'$ 、 $CC'$  都是直線，故惟有承認光線是依直線進行，才能解釋這種現象。針孔照相機就是利用這種原理。

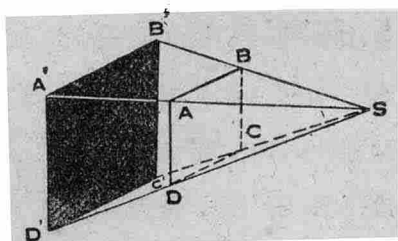
習題 1 怎樣才可以使經過針孔所生的像，比原物體大？

習題 2 太陽光由樹葉的縫隙內射到地上，為什麼都成圓形？

習題 3 欲望遠方，為什麼必登高處？

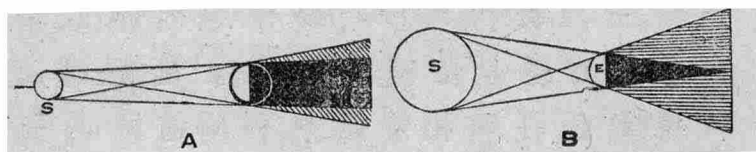
(3) 影 因為光線是直進的緣故，所以如果被一個不透明的物體遮斷，後面就現出一個黑暗的影。設光源甚小，可視為一點時，如第 146 圖  $S$ ，則不透明體

$ABCD$  的後面,生一形狀相似而面積較大的黑暗部分  $A'B'C'D'$ , 這黑暗部分,叫做**本影**。



第一四六圖 光源為一點時所生的影

但實際上,發光體總有相當的面積,而非一小點,故所生影的界線常不清晰。

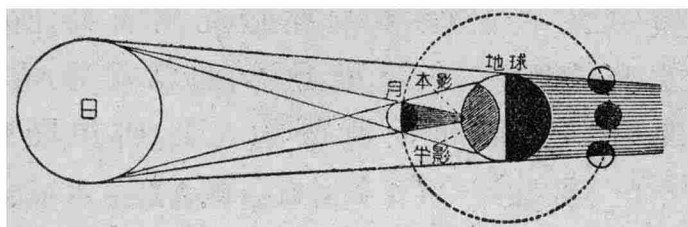


第一四七圖 A.障礙物大於光源所生的影 B.光源大於障礙物所生的影

如第147圖A,係表明障礙物大於光源,B則係表明光源大於障礙物,如地球遮斷太陽光所生的影.在上面兩種情形時,除均具有一完全黑暗的本影外,都有一半明半暗的部分,叫做**半影**。

(4) **日蝕和月蝕** 當月球走入太陽與地球的中間,遮斷了太陽一部分的光線,因此在地球的這一面發生了陰影,這

就是所謂日蝕的現象，在地球上的人如



第一四八圖 日蝕和月蝕

果是在月球的本影範圍內，太陽的光線完全被遮斷，這就成爲太陽的**全蝕**；如果在半影的範圍內，就成爲太陽的**偏蝕**。

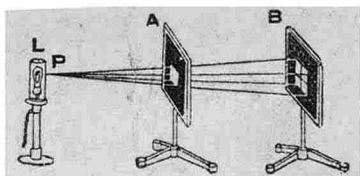
月球是不發光體，我們平常所見的月光，是太陽的光線照到月球上，再由月球反射過來的光。所以當地球走到太陽和月球的中間，如果月球在地球所成的本影範圍內，月球完全得不到太陽的光就完全黑暗，成爲月的**全蝕**。如果一部分在半影的範圍內，就成爲月的**偏蝕**。

習題 4 在日光底下，你能看見電線和電桿的影子嗎，爲什麼？

(5) **照度** 日常在燈光底下看書

時，書本離燈光愈近看得愈清楚，愈遠愈模糊。這就是說書本在燈光附近時，所得的光亮較多，愈遠就愈少（通常在單位時間內單位面積上所受的光量，叫做照度）。

〔實驗〕 取洋鐵圓筒一個，旁鑽一小孔，罩於一電燈上，使燈光穿過時，如從一點發出，作為光源，離小孔一尺遠處，置一厚紙板  $A$ ， $A$  上鑿有一每邊長一厘米的正方孔。在兩尺遠處置一紙板  $B$ ，則在  $B$  上有一正方形的光亮部



第一四九圖

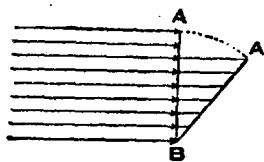
照度和距離的平方成反比

分，每邊長二厘米，即由板  $A$  上一平方厘米的孔內所透過的光線已分佈於板  $B$  上四平方厘米的範圍內，如將  $B$  移於距小孔三尺遠處，即見由小孔  $A$  透過的光分佈於一每邊三厘米的正方形面積內。

由上面的實驗可以知道板  $B$  上受光的面積，恰好和距離的平方成正比。但每次全面積上所受到的光量完全相同，故單位面積上所受的光量，隨距離的平

方而漸減。即照度和距離的平方成反比。

在同一物體上被照面和光線垂直時，照度最大，傾斜愈大，則照度愈小。由第150圖上很可以看得出照度減小的原因，因為被照面傾斜時，有一部分光線，不能照在上面。



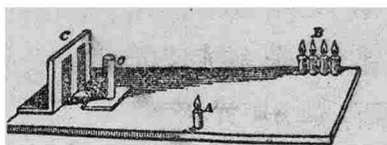
第一五〇圖  
照度和被照面傾斜角的關係

(6) 光度和光度計 一物體的被照面上所受光量的多少除和發光體的距離的平方成反比外，和發光體的本身也有很大的關係，所以距離雖同，但菜油燈不若石油燈亮，石油燈不若電燈亮，因為要表明這兩種關係，所以在物理學上，稱離發光體單位距離的被照面上的照度，為光度。光度的單位叫做燭光，即一標準燭\*所放出的光量。

\*英國的標準燭，係由鯨油所製成直徑 2.5 厘米，每小時燃點 7.78 克的蠟燭。

比較光度大小的裝置叫做光度計。光度計的種類很多，通常所用的簡單裝置有兩種：

(一) 比影光度計 這種光度計係由所生影的明暗，來計算光源強度的比例，如第 151 圖所示  $C$  為一屏， $O$  為一障礙物，若在  $A$  處置一標準燭，則



第一五一圖 比影光度計

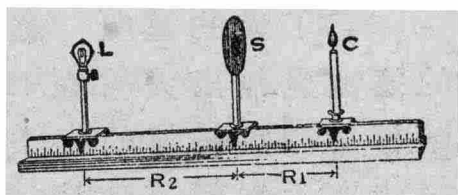
在屏  $C$  上必生一陰影，再於  $B$  處置一欲比較光度的光源，則屏  $C$  上又可得一陰影。如果兩陰影的明暗程度相等時，即屏  $C$  上所受  $A$  和  $B$  的光量的強度相等。設  $I_1$  和  $I_2$  代表光源  $A$  和  $B$  的光度， $R_1$  和  $R_2$  代表  $AC$  和  $BC$  間的距離，則可由下面的公式計算  $B$  的光度。

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_1^2}{R_2^2} ; \quad I_2 = I_1 \times \frac{R_2^2}{R_1^2} \text{ (燭光)}$$

(二) 本生光度計 在不發光亮的

紙上滴一油點，拿近窗口，對窗外望時，油點較周圍明亮；對裏面望時，油點反較黑暗，可以知道由光亮較大一面看光亮較小一面時油點較暗，由光亮較小一面看光亮較大一面時油點較明。本生氏利用這種原理，製成一種光度計，叫做本生光度計。

如第 152 圖所示， $S$  為一油點屏， $C$  為一標準燭， $L$  為一



第一五二圖 本生光度計

所欲測定的光源，安置於一刻有距離數值的架上。移動  $S$ ，至油點和其周圍紙面同樣明亮，此時屏的兩面所受照度相等。設  $C$  和  $L$  的光度為  $I_1$  與  $I_2$ ， $C$  和  $L$  與油點屏的距離為  $R_1$  與  $R_2$ ，則可代入上式，算出  $L$  的光度。

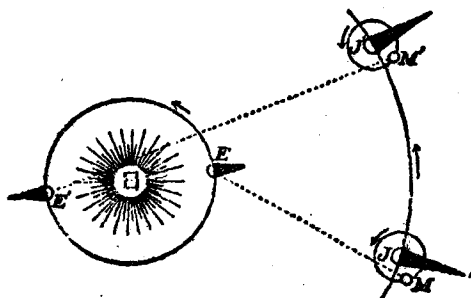
〔實驗〕 用一已知燭光的燈泡（或假定一洋燭為標準燭），在暗室內用上述方法，測定另一燈泡或石油燈的燭光數。



習題 5 在 32 支燭光的電燈下看書時，最合眼睛的適當照度約在距燈 85 厘米處，如為 50 支燭光，須距多遠？

習題 6 有一 4 燭光的電燈，距油點紙屏 120 厘米，如在對邊 40 厘米處置一燈，可使油點與周圍的明暗程度相等，求這燈的燭光數。

(7) 光的速度 從前的人以為光的速度是無限大的，在 1600 年左右，伽利略曾用測定聲速的方法實驗過，因為光的速度太大，沒有成功，直到 1675 年，丹麥的天文學家拉麥作了下面的觀察，方纔得到結果，拉氏當地球在  $E$  時，曾精密的觀測木星的一個衛星  $M$  開始走入木星影內的時刻（如第 153 圖），由各次發生被蝕現象間



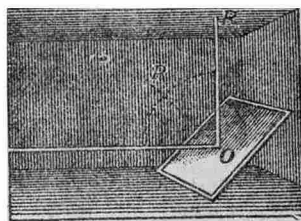
第一五三圖 拉麥氏測定光速的方法

的平均時間，預言六個月後當地球在  $E'$  時， $M$  可再走入木星陰影內，觀察結果，竟遲 996 秒，因斷定這就是光線經過地球的軌道半徑 289,620,000 仟米距離所費的時間。現在由實驗室內很精密的方法測定光的速度，為每秒 299,860 仟米。即以光的速度一秒鐘內可繞地球走 7 個半圈子。光由月球到地面約需時一秒，由太陽到地面約需時 8 分 18 秒，由北極星到地面約需時 44 年。光在一年內所經過的距離叫做光年，天文學上常用光年的數目，來表示天體的距離，最遠的星球有相隔幾萬光年的，可見宇宙的廣大了。

## 第十四章 光的反射

### (1) 光的反射

〔實驗〕 讓日光由窗隙射入暗室內的一面鏡子上,那末光線進行的方向立即改變,如第 154 圖,設鏡面與光線垂直時,則光線仍循原路射回,如鏡面轉動 45 度,則反射光線即轉動 90 度。



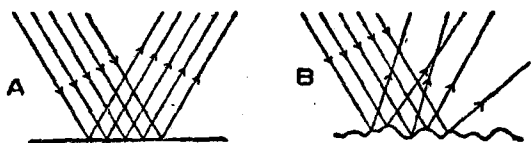
第一五四圖 光的反射

上圖內光線由  $IO$  射於鏡面  $O$  點上,復沿  $OR$  反射而出,所以  $IO$  稱爲入射線,  $OR$  稱爲反射線,  $O$  爲入射點. 經入射點垂直於鏡面的線  $OP$  稱爲法線,入射線和法線所成的角  $IOP$ ,叫做入射角. 反射線和法線所成的角  $POR$ ,叫做反射角. 由實驗的結果,我們可以知道入射線、法線和反射線必同在一平面內,而且入射角必等於反射角,這就叫做光的

## 反射定律。

上面的實驗內，如果用一種很粗糙的平面如紙片等，代替鏡子的位置，我們看不出反射的光線，但暗室內，比光線射在鏡面上時要光亮些，先前看不見的東西，現在能很清晰的看見。

這是因為鏡面很平滑，光線平行的射入後，復平行的射出，如第 155 圖 A，別



第一五五圖 A.單向反射 B.漫射

的地方得不到光線，所以還是很暗，這種反射叫做單向反射。若紙面很粗糙，平行的光線射在上面，被各質點向四處反射，如第 155 圖 B，所以全屋子都可以得到若干光線的照射，這種反射叫做漫射，房內開了窗子，就可以四處明亮，就是因為漫射的緣故。漫射最多時，房間內也最明

亮。普通白色物體較黑色物體善於反射，故房間內粉白色牆壁，用白色器具時，可以更顯得光亮些。

前面已經說過，要有光線的刺激時，我們的眼睛才能發生視覺，但地面的東西多是不發光體，我們爲什麼又可以看見呢？這因爲別的光源內所發的光，射到這些物體上，可以發生反射。光由物體上反射過來，就彷彿和物體自身發出來的一樣。這種反射的光線射進我們的眼就可以發生一種視覺。

習題 1 遍地有積雪時的晚上，爲什麼顯得格外明亮？

習題 2 太陽未出前和已沒後，爲什麼大地上還有光輝？

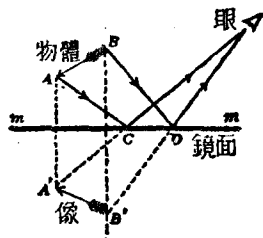
習題 3 由鏡內窺看別人時，可避免被別人看見嗎？

習題 4 水面靜止時，可照出清晰的人影，經風擾動後，爲什麼即閃爍不定？

習題 5 在鏡面上用白粉塗一‘白’字，讓光線射入鏡面後再反射至一白粉牆上，還能看出字跡嗎？如果有字跡，該是什麼顏色呢？試說明理由。

(2) 平面鏡所成的像 表面平滑能反射光線的鏡子，就叫做平面鏡。當我們站在一個平面鏡的前面時，我們可以看見我們自己的像，同時也看見附近的物體都彷彿在鏡子後面一般。這是因為平面鏡能反射光線的緣故，所以能在鏡內發生一種和實物形

狀相同的像，如第 156 圖所示，任何一物體上  $A$  點的光線被鏡面反射於眼內，彷彿係由另一點  $A'$  上發出；同樣由



第一五六圖 平面鏡所成的像

物體  $AB$  上各點所發出的光線，彷彿是由物像  $A'B'$  上各點從鏡後發出一樣。彷彿能發生光線的各點就是物體的像。圖上  $AA'$  垂直於鏡面  $mm$ ，且為  $mm$  所平分。所以

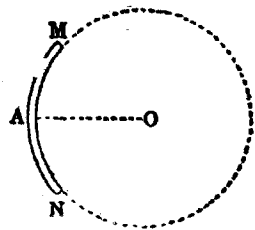
平面鏡所成的像常和物體對稱，這就是說像的大小形狀完全和原來的物體一樣，不過左右恰好相反。

習題 6 試說明成像的原理。

習題 7 能照見全身的平面鏡至少須多高？試繪圖證明之。

(3) **實像和虛像** 前面講光線的直進時，一物體所發的光經過針孔後，也能造成和實物一樣的像，那種像是實際光線集合在那點所成，所以叫做**實像**，實像常是倒的；平面鏡所成的像，是光線反射後所見的現象，並非光線真正集合於鏡背後的一點而成，所以叫做**虛像**，這種虛像常和原物體成對稱形。

(4) **球面鏡** 反射面若為球面的一部分的鏡子，就叫做**球面鏡**。反射面在球面的內部的，叫做



第一五七圖  
球面鏡是球面的一部分

凹鏡，反射面在球面的外部的，就叫做**凸鏡**，球面的球心，叫做**曲率中心**，由曲率中心至球面的距離，稱為**曲率半徑**，由曲率中心至球面上任一點的直線叫做**軸線**，通過鏡面中心的軸線，叫做**主軸**。

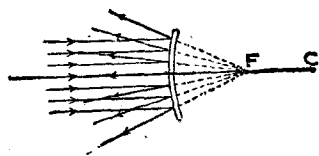
光線以和主軸平行的方向射於凹鏡上時，因為反射的結果，均通過主軸上的一點，如第 158



第一五八圖 凹鏡的焦點

圖。太陽光從極遠

的地方射來，我們可以認為是平行的，如果所用的平行光線是太陽光時，將物體放在這點上，可以焦枯，所以叫做**焦點**。若將光源放在凹鏡的焦點上，反射後的光線就成平行，可以射得很遠，探照燈，和汽車前面所用的燈都是利用這種原理的裝置。



第一五九圖 凸鏡的虛焦點

如為凸鏡時，光線經反射的結果，成一種擴散的現象，但



是如果我們將反射的光線向反對方向延長時，也可以通過一點，如第 159 圖上的 F，就是凸鏡的焦點。但實際上光線並不由這點經過，所以叫做**虛焦點**。

焦點和鏡面的距離，叫做**焦距**，焦距的長度等於曲率半徑的一半。

(5) **球面鏡所成的像** 球面鏡因鏡的種類和物體位置的不同，所成的像有大小，倒正，前後，虛實的差異。

〔實驗〕 在暗室內，於凹鏡或凸鏡和紙屏的中間置一燃着的蠟燭，細察三物體相互間的距離變更時，紙屏上或鏡後所成的像的情形。

由實驗時精密的觀察，可以得出下面的結果：

(A) 物體在凹鏡的曲率中心外，在鏡前生倒立的實像，比實物小。

(B) 物體在凹鏡的曲率中心和焦點的中間，在鏡前生倒立的實像，比實物大。

(C) 物體在凹鏡的曲率中心上時,即在該處生倒立的實像,和實物大小相等。

(D) 物體在凹鏡的焦點上時,沒有像。

(E) 物體在凹鏡的焦點內時,在鏡後生正立的虛像,比實物大。

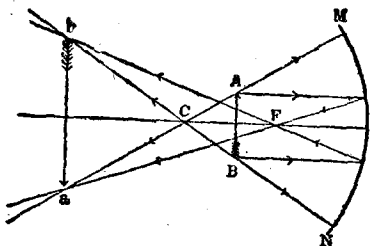
(F) 物體在凸鏡的前面,常在鏡後生正立的虛像,比實物小。

習題 8 將下表抄下,並一一填明之。

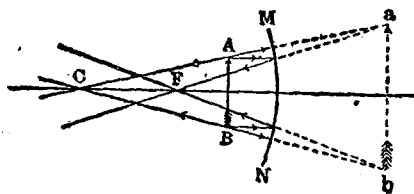
物的位置		像的性質			
		像的位置	像的倒正	像的虛實	像的大小
凹 鏡	曲率中心外				
	曲率中心上				
	曲率中心和 焦點間				
	焦 點 上				
	焦 點 內				
凸 鏡					

(6) 求像法 由物體  $AB$  上的  $A$  點作一線和主軸平行, 反射後必經過焦點  $F$ , 另由  $A$  點作一線通過曲率中心  $C$ , 則兩線或其延長線能相交於一點  $a$ . 同樣可得一點  $b$ ,  $ab$  即物體  $AB$  所成的像, 如下面兩圖所示.

由求像法可知物體  $AB$  與像  $ab$  的位置可以互換, 這種物體與像可以互換的兩點, 叫做共軛點.



第一六〇圖 物體在凹鏡焦點和曲率中心間所生的像



第一六一圖 物體在凹鏡焦點內所生的像

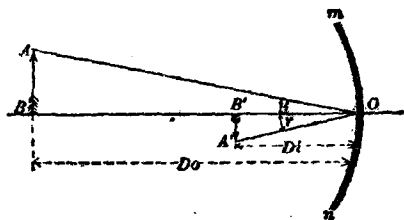
習題 9 一物體由凹鏡主軸上的極遠處, 漸漸移近鏡面, 所成的像有何變動?

(7) 像的大小 像既有兩種, 那末現在討論像的大小時, 爲方便起見, 也可以分別

來討論。

(一) 實像的大小 設  $AB$  為凹鏡  $mn$  外的一物體,  $B$  在凹鏡的主軸上, 由  $A$  點作一入射線  $AO$  到鏡

的中點  $O$ , 再由  $O$  作一反射線  $OA'$  則  $A'B'$  代表物體  $AB$  的

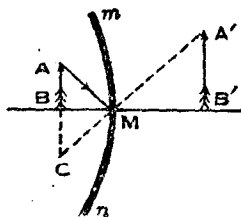


像, 如第 162 圖。 第一六二圖 實像和物體大小的關係

由反射定律知入射角  $i$  等於反射角  $r$ , 故兩直角三角形  $AOB$  與  $A'OB'$  相似, 而其對應邊互成比例, 即像與物體的大小與像和物體對鏡的距離成正比例。

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{B'O}{BO} = \frac{D_i}{D_o}$$

(二) 虛像的大小 因由  $A$  點發出之任何光線經反射後均彷彿由  $A'$  點發出由  $A$  至凹鏡中點  $M$  的光線必由  $A'MC$  的方向反射, 如第



第一六三圖 虛像和物體大小的關係

163圖,因反射角等於入射角,故

$$\angle AMB = \angle BMC$$

但  $A'MB'$  角與  $BMC$  角爲對頂角而相等,故

$$\angle AMB = \angle A'MB'$$

所以  $AMB$  與  $A'MB'$  兩直角三角形相似,故

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{B'M}{BM}$$

因此知虛像的大小與距離的關係和實像相同,即像和物體的大小與像和物體對鏡面的距離成正比例,可用一普遍的公式表明之;即:

$$\frac{\text{像的大小}}{\text{物的大小}} = \frac{\text{像對鏡的距離}}{\text{物對鏡的距離}}$$

(8) 鏡的公式 由實驗可以證明那物體和像對鏡面的距離與焦距有下面的關係:

$$\frac{1}{\text{物體對鏡的距離}} + \frac{1}{\text{像對鏡的距離}} = \frac{1}{\text{焦距}}$$

或 
$$\frac{1}{D_o} + \frac{1}{D_i} = \frac{1}{f}$$

上式內  $D_o$  與  $D_i$  表物體與像對鏡的距離,  $f$  表焦距。

上面這個公式無論凹鏡或凸鏡都可適用。在計算時，物距  $D_o$  常取正值，像距  $D_i$  在實像時為正，在虛像時為負，焦距的正負則隨鏡的性質而定，凹鏡取正值，凸鏡取負值。

習題 10 凹鏡的曲率半徑為 30 厘米，在鏡前 25 厘米處放一長 5 厘米的物體，試求像的位置和大小。

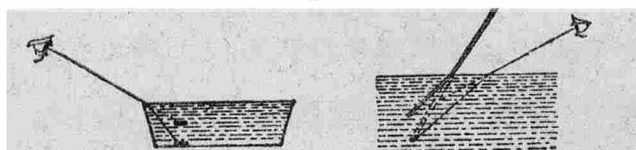
習題 11 上題如為凸鏡時，其像的位置和大小如何？

習題 12 試以求像法復證以上兩題所算出的結果。

## 第十五章 光的折射

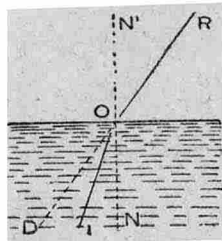
### (1) 光的折射

〔實驗〕 (a)在水內斜插筆桿一支,筆桿像由水面折斷。(b)在盆底放銅元一枚,由盆外望銅元至剛被盆邊遮斷為止。若加水盆內,則銅元復可看見,彷彿已被水浮起,如第164圖。



第一六四圖 光由水內進入空間時的折射現象

由上面的實驗可以知道光線由水內進入空氣時,常發生一種折射現象。如第165圖,設光線 $IO$ 由水內進至水面 $O$ 點時,改由 $OR$ 方向射出, $NN'$ 為在 $O$ 點垂直於水面的法線,則 $IO$ 為入射線, $OR$ 為折射線,



第一六五圖 光的折射

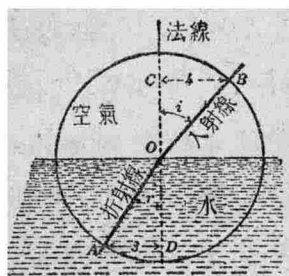
$ION$ 為入射角, $RON'$ 為折射角。如光線係

由空氣內進入水中，則進行的路線恰相反。由實驗的結果，光線由密介質進入疎介質時常離法線折射，由疎介質進入密介質時，則向法線折射。

丹麥物理學家斯涅爾氏由實驗測得下面的結果：

(A) 入射線，折射線和法線同在一平面內，且各在法線的一邊。

(B) 以入射點  $O$  為圓心，任意作一圓，交入射線與折射線於  $A, B$  兩點，由  $A$  與  $B$  作  $AD$  與  $BC$  兩線垂直於法線。無論入射角的大小如何，



第一六六圖 折射定律

$AD$  與  $BC$  的比值恆為一定，這個比值就叫做光的折射率。

上面這種關係，就叫做光的折射定律。如光係由水內進入空氣，而  $AD$  等於 3 厘米時，則  $BC$  必等於 4 厘米，所以  $\frac{AD}{BC} = \frac{3}{4}$

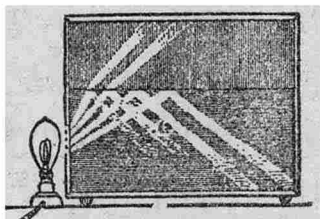


$= 0.75$ , 就是說光由水內進入空氣時的折射率為  $0.75$ . 如果光由空氣進入水內, 則折射率等於  $\frac{BC}{AD} = \frac{4}{3} = 1.33$ . 通常各介質的折射率, 都以空氣為標準, 各常見物質的折射率略如下表:

水	1.33	冰	1.31
酒精	1.36	玻璃	1.5—1.7
松節油	1.47	金剛石	2.47

## (2) 全反射

〔實驗〕 在黑紙上穿小孔數個貼於一矩形玻璃水槽的側面, 槽內儲水半滿, 於小孔的旁邊放電燈一盞, 如第 167 圖所示, 一部分光線由水內進入空氣時發生折射現象, 另一部分由水面反射, 仍然進入水內.

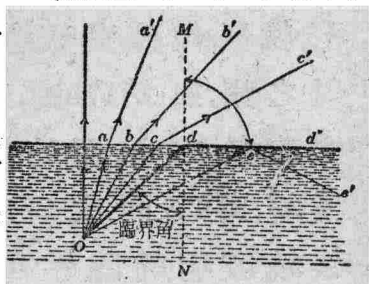


由實驗知光線由

第一六七圖 全反射的實驗

密介質進入疏介質時, 常發生一種離法線而折射的現象, 入射角愈大, 偏折愈甚, 入射角達某一限度, 致折射線剛好與水

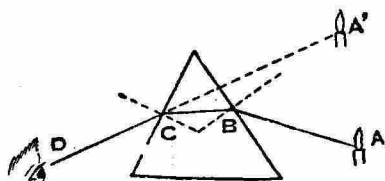
面平行時，如第168圖  $dd'$  線，這時的入射角  $odN$  叫做臨界角。水對空氣的臨界角約等於 49 度，如入射角大於臨界角時，則光線全部反射入於水內，如  $ee'$  線，這種現象就



第一六八圖 全反射

叫做全反射。由金剛石到空氣的臨界角為 24.5 度，所以金剛石最易生全反射的現象，顯出燦爛的光輝。

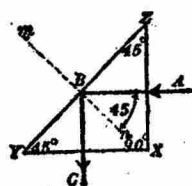
(3) 稜鏡 通常的稜鏡就是一種透明的三角柱體，兩面相交所成的角，就叫做稜鏡角。如第 169 圖的三角形代表一稜鏡的截面，物體 A 所發的光



第一六九圖 稜鏡的折射

線  $AB$ ，進入稜鏡後向法線折射而為  $BC$ ， $BC$  走出稜鏡後復離法線折射而為  $CD$ ，故由  $D$  處觀看，見  $A$  彷彿是在  $A'$  的位置。

稜鏡的正截面若為等腰直角三角形，就叫做**直角稜鏡**。直角稜鏡可供全反射之用，如第170圖，光線 $AB$ 以垂直於 $XZ$ 平面的方向射入稜鏡，與 $YZ$ 面成 $45^\circ$ 的角，但稜鏡玻璃的臨界角小於 $45^\circ$ ，故由 $YZ$ 面上，發生全反射現象，好像 $YZ$ 是一個平面鏡一般。潛水艇上所用的潛望鏡，就是利用這個原理。

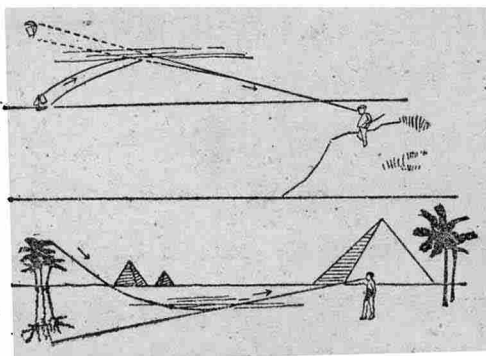


第一七〇圖  
直角稜鏡的全反射

(4) 海市蜃樓 光在疎密不同的空氣

內進行時，也能發生折射現象。乾燥的晴天，

沙漠地  
帶有時  
看見美  
麗的湖  
水，海  
上的天  
空有時  
能



第一七一圖 海市蜃樓

發現離奇的倒影，這種幻景，平常叫做海市

蜃樓,他們的成因,就是由於光線的折射.

習題 1 在池旁看見池底甚淺,下水後發現池水甚深,是什麼緣故?

習題 2 晚上看天上的星,有時閃爍不定,是什麼緣故?

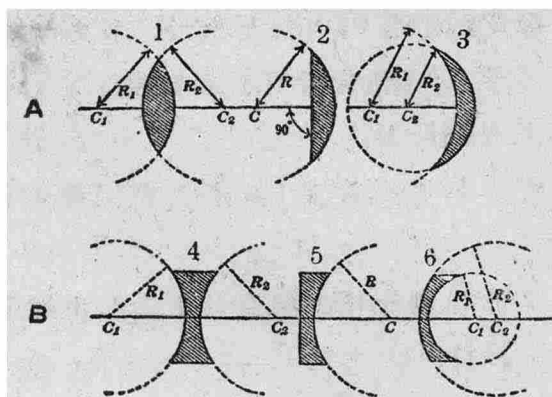
習題 3 刻花的玻璃器具上,常顯出燦爛的光輝,是什麼緣故?

習題 4 試作一圖表明光線經過透明的玻璃片時的折射情形.

習題 5 冕牌玻璃的折射率為 1.5, 試作一圖以求其臨界角.

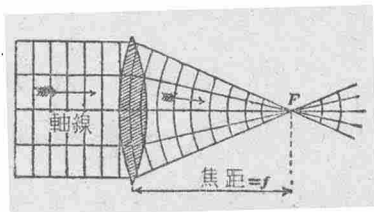
習題 6 如光線由直角稜鏡的直角對面射入時,將由何方射出?

(5) 透鏡 凡透明體的兩側面如為兩球面,或一球面與一平面時,叫做透鏡.通常透鏡可以分為六種,如第 172 圖 (1)雙凸透鏡(2)平凸透鏡(3)凹凸透鏡(4)雙凹透鏡 (5) 平凹透鏡 (6) 凸凹透鏡.前面三種的中間較周圍厚,通稱為凸透鏡,



第一七二圖 凸透鏡(A)和凹透鏡(B)

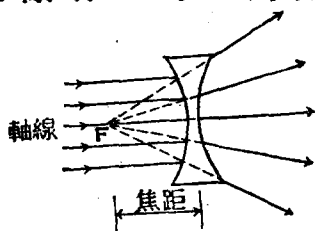
後面三種的中間較周圍薄，通稱為凹透鏡。聯結兩面中心的線叫做透鏡軸線。光線沿軸線進行時，通過透鏡後仍保持原線方向，其餘和軸線平行的光線，經過凸透鏡後能會聚於一點  $F$ ，如第 173 圖，這一點  $F$  就叫做透鏡的焦點。因為凸透鏡能使光線會聚，所以叫做會聚透鏡。如為凹透鏡，則平行光線經過後，能向外折射，如將各



第一七三圖

平行光線通過凸透鏡後的情形

折射線引長時，可於光線射入的一面會聚於一點  $F$ ，如第 174 圖。彷彿光線是由這一點發出一般，但實際上光線並沒有聚會在這一點，所以叫做凹透鏡的虛焦點。因為凹透鏡能使光線發散，所以又叫做發散透鏡。透鏡中心和焦點間的距離，叫做焦距。



第一七四圖  
平行光線通過凹透鏡後的情形

### (6) 透鏡所成的像

〔實驗〕在暗室內，於紙屏與燭火的中間置一透鏡，細察三者相互間的距離改變時所成的像的情形。

由實驗可以得出下面的結果：

(A) 如物體在凸透鏡主軸的二倍焦距以外，則在他方的二倍焦距內，成倒立的實像，比物體小。

(B) 如物體在凸透鏡主軸的二倍焦距上，則在他方的二倍焦距上成倒立

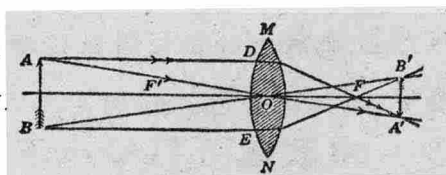
的實像,和物體的大小相等。

(C) 如物體在凸透鏡主軸的二倍焦距與主焦點的中間,則在他方的二倍焦距外成倒立的實像,比實物大。

(D) 如物體在凸透鏡的焦點以內,則在物體的同一方面生正立的虛像,比實物大。

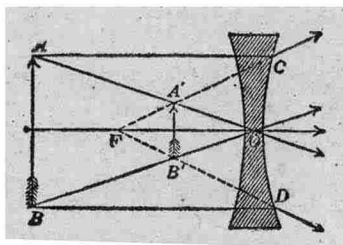
(E) 如爲凹透鏡時,則常在物體的同一方面生正立的虛像,比實物小。

透鏡所成的像也可用作圖法求出,即由物體  $AB$  上的  $A$  點作一線與軸線平行,經折射後,則折射線或其延長線必通過焦點,另由  $A$  作一線通過透鏡中心,則兩線必能相交於一點  $A'$ ; 同樣可得出一點  $B'$ ,  $A'B'$  即爲物體  $AB$  所成的像。



第一七五圖 凸透鏡所成的像

透鏡所成像的大小與距離的關係,和



第一七六圖 凹透鏡所成的像

球面鏡一樣，即像和物體的大小與像和物體對透鏡的距離成正比例。

像和物體對

透鏡的距離與焦距的關係，也和球面鏡的

情形相同，即

$$\frac{1}{\text{物體對透鏡的距離}} + \frac{1}{\text{像對透鏡的距離}} = \frac{1}{f}$$

$$\text{或 } \frac{1}{D_o} + \frac{1}{D_i} = \frac{1}{f}$$

應用這個公式時，如為凸透鏡則  $f$  取正值，如為凹透鏡則  $f$  取負值。如算出結果， $D_i$  之值為負數時，則所成的像為正立的虛像。

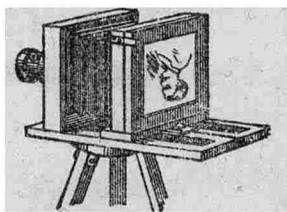
習題 7 由球形玻璃缸的外面，望着裏面的金魚，為什麼時大時小的變幻着？

習題 8 一凸透鏡的焦距為 12 厘米，設離透鏡 15 厘米處置一高 5 厘米的物體，試求所成的像的性質，大小，及其與透鏡的距離，並用作圖法證明之。



## 第十六章 光學器械

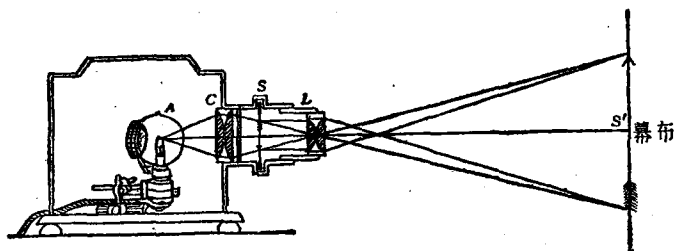
(1) 照相機 以前講光的直進時，曾經講過利用光線經過針孔所成的實像，可以做成一種照相機，叫做針孔照相機。如果用凸透鏡代替針孔，則通過的光線較多，露光的時間可以減少，普通照相機就是利用這種原理。機的主要部分為一可以伸縮自如的暗箱，前面裝一凸透鏡，後面裝一毛玻璃，透鏡後還裝有光闌，其開孔的大小，可任意調節。將暗箱前後伸縮，使遠處物體所發光線經過透鏡後能在毛玻璃上成一明晰的實像，如第177圖，再將一能感光的軟片或玻璃片置於毛玻璃處，露光後，如浸入顯像液內，則受光較多處，顏色即較黑，再以定



第一七七圖 照相機

像液洗之，即成與實物明暗相反的底片，將感光紙貼於底片下，露光後，加以同樣處理，即可得與實物明暗相同的照片，又叫做正片。

(2) 幻燈 幻燈的構造如第178圖，



第一七八圖 幻 燈

$L$  爲凸透鏡， $S$  爲一透明的照片，略在  $L$  的焦點外， $S'$  爲一幕布；爲使光線增強起見，常在電燈或弧光燈的後面，裝一凹鏡以反射光線，並使光線通過凸透鏡  $C$  後，均聚射於照片  $S$  上，則幕  $S'$  上可顯一清晰放大的實像。故幻燈和照相機很相似，所不同者，即物體與像的位置互易而已。

(3) 活動電影 我們在黑暗中看

一根燃着的香,只見一點星星小火,但如果將香急劇揮動,則見火光成一線,可見我們的眼所發生的視覺,在極短的時間內,仍能保持,這種現象叫做**視覺暫留**,**活動電影**就是利用這種原理。

普通係用一特種照相機,在一狹長的軟片上,每隔 $\frac{1}{15}$ 秒,拍照一張,將所拍照片連續印在同一軟片上,再將此軟片裝於電影機內,每隔 $\frac{1}{15}$ 秒放映一張,因我們的眼睛有視覺暫留的作用,看見照片裏的人物,就彷彿像動的一般。

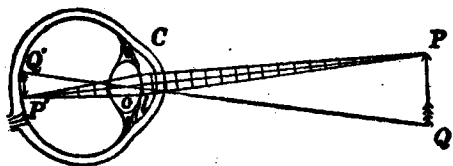
習題 1 如照相機後面的毛玻璃已得清晰的像後,再將物體由遠移近,應將暗箱為何拉動方能使毛玻璃上再得清晰的像?

習題 2 幻燈內照片的位置如何須略放在凸透鏡 $L$ 的焦點外?

習題 3 映放電影時,如放的像過大而幕布過小,應如何補救?

(4) 眼和眼鏡 眼的構造很像一

個照相機，眼球前面的睛珠，相當於照相機前面的凸透鏡，眼球後面的網膜，相當於底片，睛珠前面的彩簾，相當於光闌。



第一七九圖 眼所成的實像

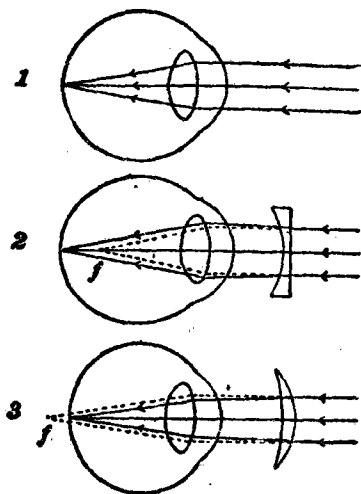
遠處物體上

所發光線，經過睛珠後，即在網膜上成一實像，如第179圖，使視神經發生一種視覺。不過照相機的底片須隨時更換，眼睛內一個網膜可以映出無數的物像；照相機的暗箱可以任意伸縮，而睛珠和網膜的距離則一定不變，故物體的距離不同時，須利用肌肉的伸縮以改變睛珠的曲度，使能在網膜上發生清晰的物像。這種作用，叫做眼的調節。

通常的人對遠處的物體大都可以看見，近的物體在15厘米左右也能看見，不過很覺吃力，最清楚且最不吃力的距離，為25厘米，這個距離，叫做明視距離。

如睛珠過凸時，則遠處物體所成的像常在網膜的前面，以致看不清楚，有這種缺點的眼睛，叫做近視。故近視眼應用凹透鏡作為眼鏡，使光線先經過一次發散後再進入睛珠，俾所成的像能達到網膜上。

如睛珠過平時，則普通距離內物體所成的像常在網膜後面，致看不清楚，有這種缺點的眼睛，叫做遠視。故遠視眼應用凸透鏡作為眼鏡，使光線經過一次會聚後再進入睛珠，俾所成的像也剛好在網膜上。



第一八C圖 近視和遠視的補救

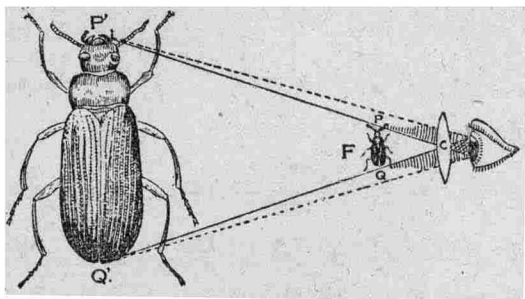
1正視 2近視 3遠視

普通眼鏡的度數，係採用以米為單位時焦距的倒數，例如透鏡的焦距為0.5

米時爲2度,0.01米時爲100度。

(5) **放大鏡** 隔一凸透鏡觀察物體時,如將物體放於凸透鏡的焦距以內,

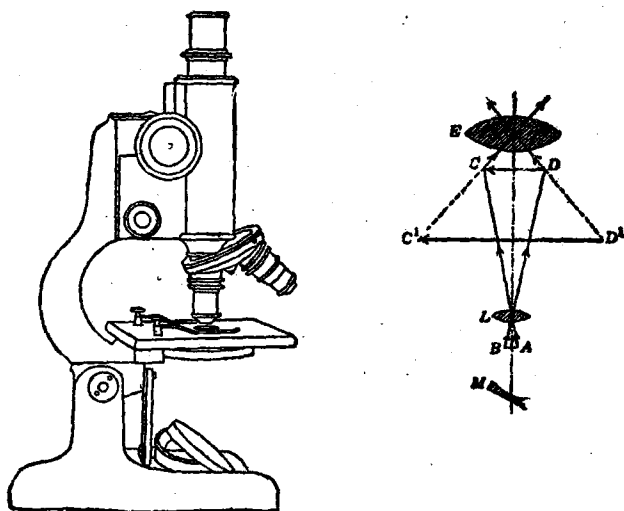
則可於25厘米處得一放大的虛像,可用以觀察微細的物體,



第一八一圖 放大鏡

如第181圖,所以叫做**放大鏡**.所成的像和實物大小之比,叫做**放大鏡的放大率**.

(6) **顯微鏡** 在圓筒的兩端,各裝一個或一組透鏡,即可以觀察極微細的東西,所以叫做**顯微鏡**,如第182圖.對物體的透鏡叫做**物鏡**,對眼睛的透鏡叫做**目鏡**.欲觀察的物體 $AB$ ,常放於物鏡 $L$ 焦點外少許,則可於目鏡焦點內成一放大的實像 $CD$ ,再由目鏡加以放大,則可於25厘米處得一更大的虛像 $C'B'$

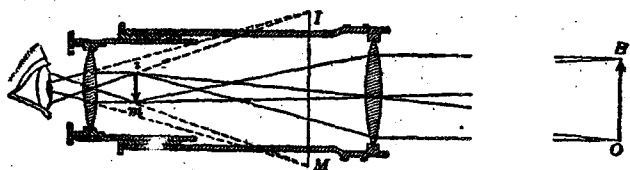


第一八二圖 顯 微 鏡

$CD$  至物鏡  $L$  的距離與  $L$  的焦距之比即為  $CD$  放大的倍數，設  $CD$  至  $L$  的距離為 160 毫米，而  $L$  之焦距為 4 毫米時，則實像  $CD$  較物體  $AB$  大 40 倍，如目鏡再放大 10 倍，則總共的放大率為  $40 \times 10 = 400$  倍。

(7) 望遠鏡 望遠鏡的構造和顯微鏡略同，但因物體甚遠，故物鏡須較大，方能聚集較多的光線，如第 183 圖，設  $BO$  為遠處的物體，則光線經過物鏡後，可在目

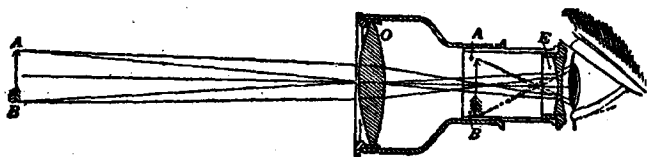
鏡的焦距內成一較實物爲小的實像  $im$ ,



第一八三圖 天文望遠鏡的截面圖

再由目鏡放大後,在 25 厘米處,得一較大的虛像  $IM$ ,惟  $IM$  爲  $BO$  的一倒像,故只能用於天體的觀察,叫做天文望遠鏡。

觀劇鏡是一種日常用的望遠鏡,其構造略如第 184 圖,其物鏡爲一凸透鏡,目



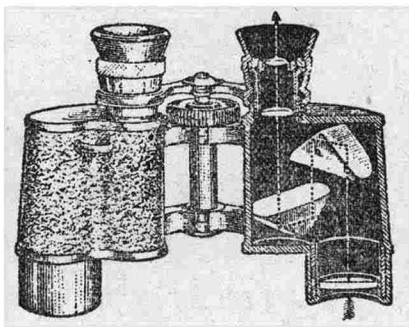
第一八四圖 觀劇鏡的截面圖

鏡爲一凹透鏡。目鏡的焦距和眼的睛珠的焦距略等,可以抵消睛珠的作用,故物鏡所成的像,可視爲直接成於網膜之上。這種望遠鏡的好處,在於所成的像和實物同樣正立,而兩透鏡間的距離不大,易



於攜帶。

普通所用的望遠鏡是一種稜鏡雙筒望遠鏡，它的構造略如第 185 圖。即在兩透鏡的中間插入兩直角稜鏡，使物像經過四次全反射後，即與實物同樣正立，並可使物鏡焦距增大三倍，故可得較大的放大率。



第一八五圖 稜鏡雙筒望遠鏡

習題 4 由太陽照射的地方走入室內時，為什麼起初看不見東西？

習題 5 網膜上所成的像，是倒像還是正像？

習題 6 凸透鏡的焦距為 2 厘米，求放大率。

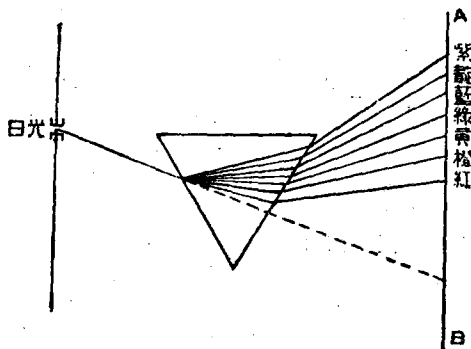
習題 7 將望遠鏡倒看時，所見的物體為什麼很小？

習題 8 顯微鏡和望遠鏡的構造很相似，為什麼不能將顯微鏡作望遠鏡用？

## 第十七章 光的色散

### (1) 光的色散

〔實驗1〕 太陽光由細隙內進入暗室後，如使光線由稜鏡通過則顯出紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫等美麗顏色。如第186圖。設使各種顏色光線再通過一稜鏡，則又會聚成一白色光點。



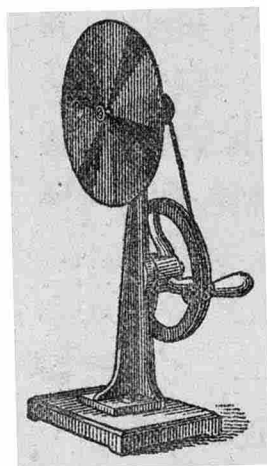
第一八六圖 光的色散

### 〔實驗2〕

取圓板一塊，上貼前面所述各種顏色，即做成一牛頓色板，如第187圖。若使其迅速轉動，則彷彿是一塊白色的圓板一般，分不出別種顏色。

由上面的實驗，知道白色的太陽光可以分成紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫等七種色

光,這種現象,叫做光的色散,所分成的色光系,叫做光譜;上面七種色光通稱為太陽光譜.



第一八七圖 牛頓色板

太陽光經過稜鏡後能色散的原因,是因為各種色光的波長不同,在稜鏡內的折射率遂有差異的緣故.七色光中紫光的折射率最大,紅光最小,其他各色光的折射率介於二者之間.凡通過稜鏡後能色散的光,叫做複色

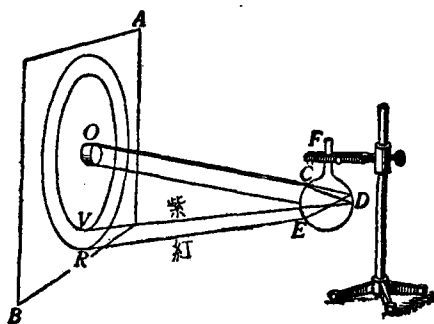
光,不能色散的光,叫做單色光.

紫色以外的光線,叫做紫外線,因為光波太短,我們不能感覺,但富於化學作用,所以又叫做化學線;紅色以外的光線,叫做紅外線,因為光波太長,我們也不易感覺,但富於熱作用,所以又叫做熱線.

(2) 虹的成因 虹是太陽光被空中微細的雨滴反射和折射後所成的太

陽光譜.

〔實驗1〕 太陽光由厚紙板的圓孔  $O$  內射入一直徑約5厘米,內面滿盛清水的圓底燒瓶上,如位置適當,則在紙板的周圍可現出各色的圓圈,紅色在外,紫色在內,就同天上的虹一般.



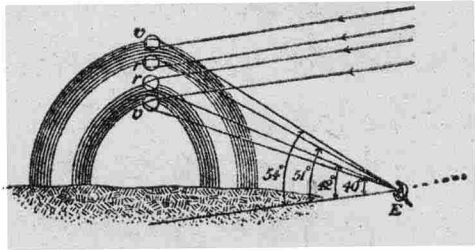
〔實驗2〕

第一八八圖 人造虹

口中含水一口,背太陽光所射入的方向而立,向光線內噴水在極短的時間內,也可以看見一條美麗的虹.

由上面的實驗,可以證明平時在天空所見的虹,也就是太陽光被空中的雨點反射和折射而成,所以早上所見的虹在西方,晚上所見的虹在東方.若觀察者於  $E$  處背太陽而立時,如視線和太陽光成42度的角,則見紅光,40度時,則見紫光,

其他各種色光介於這兩種角度之間，如第189圖。因視線與太陽光線成同一角度時所見的雨滴都分佈在一圓圈上，



第一八九圖 虹和霓

所以日常所見的虹都成弧形，紅色在外，紫色在內。

有時在虹的外面，更有一種紫色在外紅色在內的各色圓弧叫做霓。霓是因為光線在水滴內經過兩次反射和兩次折射而成，如第189圖。

習題 1 虹為什麼不常見？正午時能看見虹嗎？

### (3) 物體的顏色

〔實驗 1〕 使光線通過稜鏡色散而成光譜後，再使通過紅色的玻璃，則所照到的白幕上僅現紅色，如為綠玻璃，則僅呈綠色，如同時穿過兩種玻璃則幾全部黑暗，均不可見。

〔實驗 2〕 在太陽光譜內放紅紙一張，則僅在紅色光線內，紅色最顯，在其他各色光線內簡直看不出是紅色。內用綠色紙片，則僅在綠色光線內可以看出。

由上面的實驗，我們可以知道太陽內的各色光線投射在物體上，有時被物體吸收，有時可以通過，有時被反射，我們眼睛內所生色的感覺，完全由物體射入眼簾的光的性質而定。太陽光經過紅色玻璃，別的顏色均被吸收，只有紅色可以通過，我們看去就呈紅色。綠色玻璃只有綠光能通過，如果兩種玻璃重合，則各種色光均被吸收，遂呈暗色。透明無色的玻璃可讓全部光線通過，故看不出顏色。

紅色的不透明物體除紅色光可反射外，其他的色光均被吸收，所以成紅色。換句話說，凡僅反射紅色光的，就呈紅色，僅反射綠色光的，就呈綠色，所有的光都能反射的，就呈白色，所有的光都能吸收

的就呈黑色。

(4) 顏料的色 通常作畫時,將黃色顏料和藍色顏料混合,就可得出綠色,這因為黃色顏料能吸收藍、靛、紫色光,藍色顏料能吸收紅、橙、黃色光的緣故,所以黃色和藍色混合後,就只呈兩者都不能吸收的綠色可以反射,故呈綠色。

紅的顏料能吸收黃、綠、藍等色光,將紅、黃、藍三種顏料,適當的配合,就可以作出各種的顏色,叫做顏料的三原色。三色版的印刷術就是利用這種原理。

習題 2 不透明的紙片上,滴油一滴就可以透明,是什麼緣故?

習題 3 有色的衣服沾水後,顏色更深,是什麼緣故?

習題 4 在紅色的燈光下看白紙上的紅字,能看得清楚嗎?

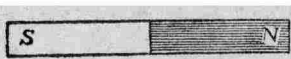
## 第十八章 磁鐵

(1) 磁鐵 普通的磁鐵礦( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )有一種吸引鋼和鐵的碎片的能力,叫做天然磁鐵;將鋼鐵條以同一方向在天然磁鐵上磨擦後,也能吸引鐵片,叫做人造磁鐵.普通的人造磁



第一九一圖 天然磁鐵

鐵依形式上的差異,分爲兩類,狹長的磁條,叫做條形磁鐵,彎曲如馬蹄形的,叫做蹄形磁鐵.



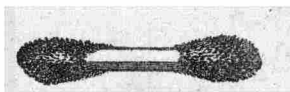
第一九二圖 條形磁鐵



第一九三圖 蹄形磁鐵

### (2) 磁鐵的性質

[實驗1] 將條形磁鐵埋於鐵屑內,取出時(如第194圖所示),兩端附鐵屑甚多,中間簡直沒有.



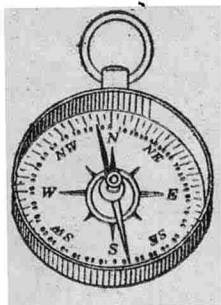
第一九四圖

條形磁鐵的兩端能吸引鐵屑

由上面的實驗,我們知道條形磁鐵兩端的磁力最強,中間

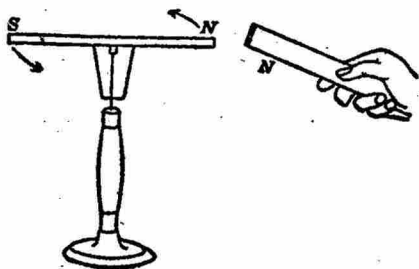


很弱；這種磁力集中的所在，叫做**磁極**，如果條形磁鐵可以自由轉動時，一定靜止在南北的方向，我們叫指南方的一端，做**指南極**，或簡稱**南極**（ $S$ ）；指北方的一端，叫做**指北極**，或簡稱**北極**（ $N$ ）。羅盤有時又叫**指南針**，就是利用磁鐵的這種性質，以指示方向，在航海和旅行上的用途很大。



第一九五圖 常用小羅盤

〔實驗 2〕 將條形磁鐵的  $N$  極接近一磁針的  $N$  極時，則互相排斥，接近  $S$  極時，則互相吸引；如以  $S$  極試之，則與磁針的  $N$  極互相吸引而與  $S$  極互相排斥。



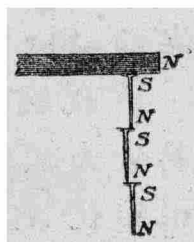
第一九六圖 磁性實驗

由上面的實驗我們可以得到一個結論，就是磁鐵的異極相引，同極相斥。

精密實驗的結果，發現這種互相斥引的力量與兩磁極強度的相乘積成正比，與距離的平方成反比。

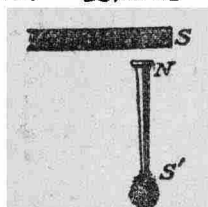
### (3) 磁感應

〔實驗 1〕 將沒有磁化的鐵釘一隻，接近一條形磁鐵的北極，則鐵釘被吸附於磁鐵上，並且這鐵釘的尖端更可吸引其他的鐵釘，如同自身是磁鐵一般。(第 197 圖)



第一九七圖  
磁感應現象(一)

〔實驗 2〕 將沒有磁化的鐵釘一隻，接近一磁極，但不使接觸，則鐵釘的尖端也能吸引許多鐵屑，如第 198 圖，設將上面的磁鐵移去則鐵屑紛紛落下。



第一九八圖  
磁感現象(二)

由上面的實驗，可以知道軟鐵接近一磁鐵時，可以被感應而成一暫時的磁鐵，這種作用，叫做磁感應。由實驗可以知道，鐵釘在磁極相近的一端，是相異的磁極，遠的一端，是相同的磁極。

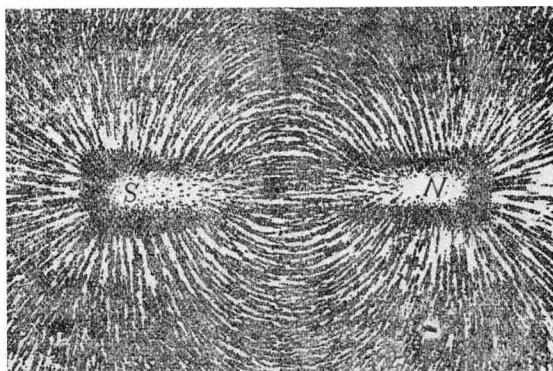
根據磁感應的理論，還可以解釋鋼鐵爲什麼可以被磁鐵吸引，因爲當鋼鐵接近磁鐵時，鋼鐵先被感應而成一磁鐵，因爲這所成的磁鐵的相近的一端，是相異的磁極的緣故，所以能互相吸引。

軟鐵極容易受磁的感應，但也極容易失去磁性；鋼鐵雖比較不易磁化，但一經磁化後，即不容易失去，所以普通的人造磁鐵都是用鋼鐵做成的。

#### (4) 磁力線

〔實驗〕 在條形磁鐵上放玻璃一塊，玻璃上

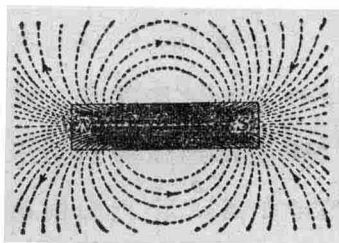
散布鐵屑一薄層，將玻璃輕輕敲動，則鐵屑在玻璃上變成第



第一九九圖 鐵屑在磁場內的排列情形

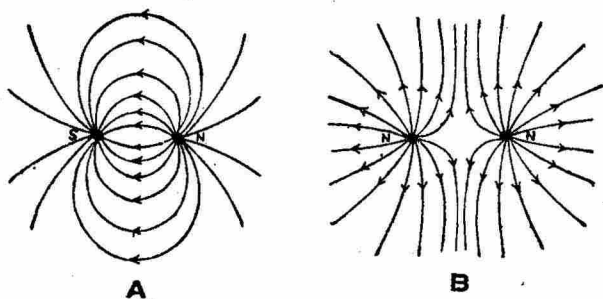
199圖的形狀。

由上面的實驗，可以看到一定是有一種什麼力量，由磁鐵的本身發出，可以影響周圍的鐵屑。爲要說明這種現象起見，我們可以設想有一種力線，由磁鐵的北極發出，復歸於南極，如第200圖，這種理想中的力線，叫做**磁力線**。磁力線所達的範圍，叫做**磁場**。



第二〇〇圖 理想中的磁力線

我們理想中的**磁力線**是一種具有



第二〇一圖 異極相引(A)同極相斥(B)的原因

彈性的東西，有沿長度方向縮短的趨勢，

所以兩個相異的磁極，能互相吸引，如第 201 圖 A. 並且相鄰的磁力線間有一種互相排斥的力量，所以相同的磁極能互相排斥，如第 201 圖 B.

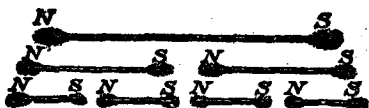
### (5) 磁性的分子說

〔實驗〕 將鐵粉裝於試管內，用一條形磁鐵以一定方向在試管上磨之，則試管底部即能吸引鐵屑（如第 202 圖所示），如同磁鐵一般，若將試管振動，磁性立即消失。如將一條形磁鐵折為兩段，則可變為兩個單獨的磁鐵，分為四段時，可變成四個磁鐵，如



第二〇二圖 鐵粉的磁化

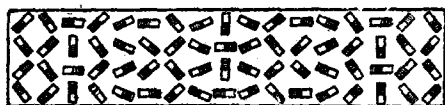
第 203 圖。如此繼續分割，可分成無數的小磁鐵。



第二〇三圖 磁鐵分割後的情形

由上面的實驗，我們很可以想像，鋼鐵的分子原來就都帶有磁性，不過因為排列紊亂，南極與北極已互相抵消，故不顯磁性，如第

204圖.設以一  
條形磁鐵在  
上面擦過,則



第二〇四圖 鐵棒未磁化時分子排列情形

鋼鐵分子即改以同一方向排列於內,如



第二〇五圖 鐵棒已磁化時分子排列的情形

第205圖所示,  
所以兩端能  
顯出磁性,而

中部則否,鋼鐵的磁性,既由內部分子的  
排列情形而定,故如內部的分子均已排  
成一直線時



第二〇六圖 飽和狀態時分子排列情形

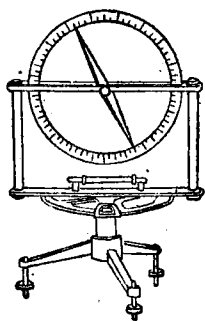
(圖 206), 無  
論如何,不能  
使所具的磁性再行增強,這時的狀態,叫  
做飽和狀態.

普通的磁鐵經過燒灼或錘擊後,就  
要失去磁性,就是因為燒灼和錘擊時,內  
部分子的排列極容易改變的緣故.

(6) 磁偏角和磁傾角 普通磁針所  
指的方向是地磁的南北極,並非真正的

南北方向，通過地磁南北極的鉛直平面叫做磁子午面，通過地球南北極的鉛直平面，叫做地理子午面，這兩個平面所夾的角，叫做磁偏角，磁偏角的大小，與地理上的位置有關。

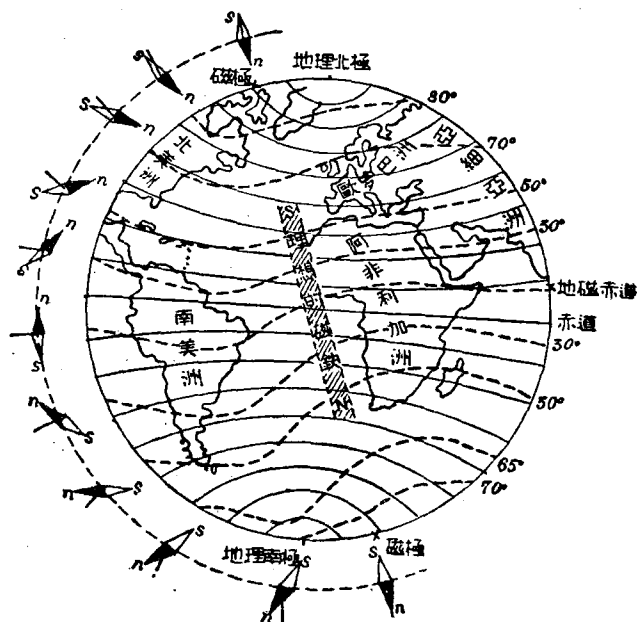
如將一在水平軸上可以自由轉動的磁針（圖 207），放於磁子午面內，則磁針靜止時，並不常在水平面內，磁針和水平面所成的角，叫做磁傾角，磁傾角在地磁兩極時，等於 90 度，在赤道附近時，約等於零，凡磁傾角等於零的地帶，叫做地磁赤道。



第二〇七圖 磁傾儀

(7) 地磁 十六世紀時，英國物理學家吉柏氏曾經把磁鐵礦削成一球形，用小磁針在上面實驗，所得結果，完全和在地球上一樣，因此推想地球就是一個大磁鐵。

根據磁性斥引定律,可以知道地磁的南極必在地理的北極附近,地磁的北極必在地理的南極附近.如第 208 圖.不



第二〇八圖 地球像一個大磁鐵

過偏角或傾角相等的地方並不在一圓圈上,可見地磁的分佈並不均勻,至於地球爲什麼會帶磁性,現在還不很明瞭.

習題 1 要知道一塊鐵已否磁化,應用什麼方



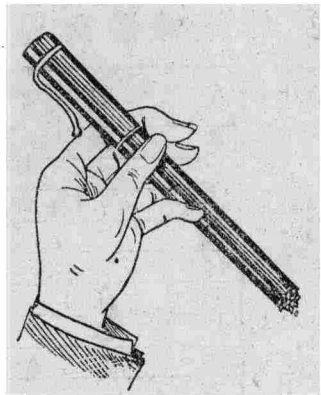
法確定?

習題 2 要知道一條形磁鐵的那一端是  $N$  極或  $S$  極,應用什麼方法才能決定?

習題 3 兩條形磁鐵同放在一盒內時,應如何安放?

## 第十九章 雷電

(1) 摩擦起電 將自來水筆桿,在紙上摩擦後,就可以吸引紙屑等輕微的物體(圖209);將紙片烘熱後覆於玻璃上,以手指甲擦之,也有同樣的效果.這種現象是因電而生,所以上面這種方法叫做摩擦起電.由精密實驗的結果,知道任何兩種不同物體,互相摩擦或密切接觸後,都能起電,不過多少不同而已.



第二〇九圖 摩擦起電

(2) 導體和絕緣體 物體導電的程度相差甚大,如以乾絲線繫一金屬球,使球與一帶電體接觸後,即能吸引輕微的物體,表示球已帶電.但如用一金屬線

代替絲線時，則金屬球不能發生帶電現象。這就是因為電不能在乾燥的絲線上通過，而極易在金屬線上逃去的緣故。如金屬等容易導電的物體，叫做導體，如絲線等不導電的物體，叫做絕緣體。幾種常見的絕緣體與導體，可列表如下：

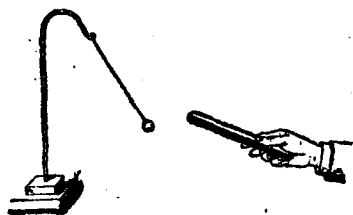
絕	緣	體	導	電	體
硬	橡	皮	金		屬
乾	空	氣			
石		蠟	人		體
硫		香			
松		黃		碳	
乾	木	材			
	紙				
酒		精	石		墨
石		油			
純		水	酸、鹼、鹽		的水液溶

由上面這表內，我們可以看出兩種事實：凡易於摩擦起電的物體都是絕緣體；凡會導熱的也會導電。

### (3) 電的性質

〔實驗〕取乾絲線一根，一端繫通草球一個，他端懸於一絕緣體上，做成一驗電器。將玻璃棒與絲

帕摩擦後，如拿近通草球時，則可將球吸引，但一與球接觸，即反被排斥。若改用貓皮擦過的火漆棒試之，則又可被火漆棒吸引。



第二一〇圖 通草球驗電器

### 由實驗的結

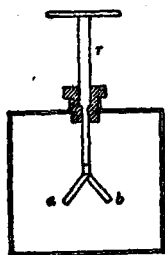
果知道電有兩種，兩種電間，具有同性相斥，異性相引的力量，爲方便起見，凡電的性質與玻璃棒被絲帕摩擦後所起的電的性質相似時，叫做陽電，有時亦稱正電；凡電的性質與火漆棒用貓皮摩擦後所起的電的性質相似時，叫做陰電，有時亦稱負電。由精密測定的結果，知道兩帶電體間，互相斥引的力量，和兩帶電體上所帶電量的相乘積成正比，和距離的平方成反比。

習題 1 試比較帶電體和磁鐵的性質。

習題 2 導體經摩擦後爲什麼不易起電？

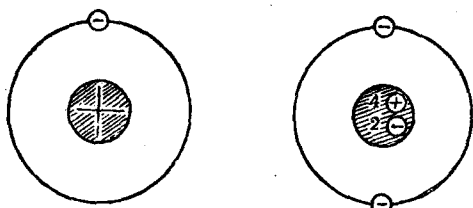
(4) 金箔驗電器 在廣口玻璃瓶

上，裝絕緣體所做的瓶塞一個，塞內裝一金屬桿，上端爲一金屬球或金屬圓盤，下端貼金箔兩片，如第 211 圖，叫做**金箔驗電器**。設以帶陽電的物體觸球時，電即由桿上傳至金箔，因同性相斥的緣故，箔遂張開。驗電器已帶陽電後，如再以另一帶電體觸之，若金箔仍張開甚大，則知所帶的電也係陽電，如金箔立即合併，則知所帶的電爲陰電。



第二一圖  
金箔驗電器

(5) **電子說** 在學化學時已經講到，一切物質的分子是由九十二種不同的原子所構成，各種不同的原子係由**電子和質子**



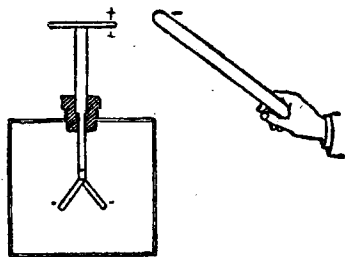
第二一二圖 氫和氮的原子構造圖

所構成。比如氫是由一個質子和一個電子所構成，氮是由四個質子和四個電子

所構成。因為質子上的正電荷和電子上的負電荷相等的緣故，所以尋常的物質常呈中性。

如一物體上的電子較常態時增多，即帶負電，較少時，即帶正電。故當兩物體摩擦後，一部分電子由甲物體移至乙物體，則甲帶正電而乙帶負電，但兩者所帶的電量相等。在導體內，電子可由一原子進入另一原子，致使電荷移動，這種能自由移動的電子，叫做自由電子。自由電子愈多，導體的導電能力愈大。

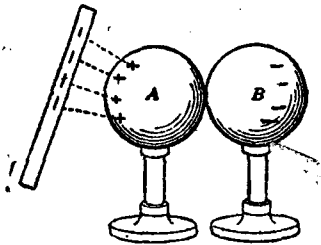
(6) 靜電感應 將帶電體移近金箔驗電器上的金屬球時，雖不與球相接觸，金箔亦可漸漸張開，如將帶電體移開，金箔仍可合併。這種因一帶電體的存在，可使另一物體暫時起電



第二一三圖 靜電感應

的現象，叫做靜電感應。

〔實驗〕將兩絕緣導體，\*併置一處，使能互相接觸，再將一貓皮擦過的火漆棒拿近球A，如第214圖，當火漆棒仍在A的附近時，即將A、B兩球分開，則可用驗電器測出A帶陽電，B帶陰電。設使已經帶電的A、B兩球互相接觸，或先移去火漆棒，再將兩球分開，則兩球均不帶電。



第二一四圖

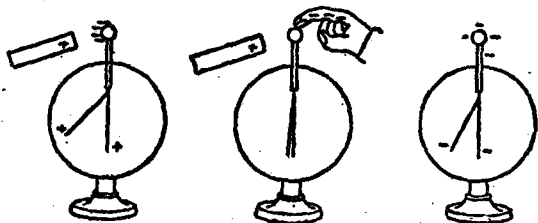
由感應而得正負兩種電量

由上面的實驗，可知絕緣導體與一帶電體接近時，相近的一端感應生異性電，遠端生同性電，且兩種電的電量，剛好相等。

這種感應起電的現象，還可另用一種方法來表明。如第215圖，先將一帶陽電的物體拿近金箔驗電器的金屬球，因內部電子被吸引於球上，致使金箔帶陽電，故張開甚大（圖A）。如以手指觸球，則

\*即用絕緣體支持的導體。

地上電子由手指進入驗電器內，將箔上陽電中和，故金箔合併（圖B）。這時將手指與火漆棒依次移去，則電子即分佈於驗電器內，故金箔復張（圖C）。



第二一五圖 使驗電器感應帶電的步驟

習題 3 使一帶電體與金箔驗電器接近或接觸，金箔均能張開，其作用是否相同？

習題 4 給你一帶陰電的物體，如何方能使另一導體帶陽電？

習題 5 使驗電器感應起電時，爲什麼須先移去手指，再將帶電體移去？

## (7) 容電器

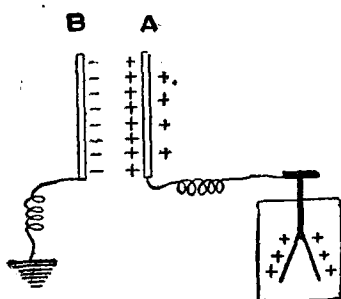
[實驗] 將絕緣金屬板A連於一驗電器上，使帶陽電，則金箔張開甚大，如以一與地相連的板B，漸次移近板A，金箔的張度漸次減小。在兩板間插入一玻璃片則減小更甚，如將板B移去，則金箔能仍舊張開，設不移去板B，欲使金箔恢復原來的張度，必再



灌電於板 A 上方可。

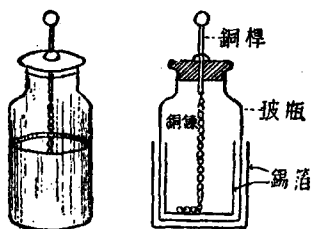
由上面的實驗，知道絕緣導體附近，如有一與地相連的導體存在時，可以使絕緣導體的電容（即

一導體上蓄電的容量）增加不少，利用這種原理的裝置，叫做容電器。要增加容電器的電容，須使兩金屬板的面積加大，距離減小，並且要選擇相當的介質。



第二一六圖 容電器原理

最普通的容電器就是來頓瓶，即在一

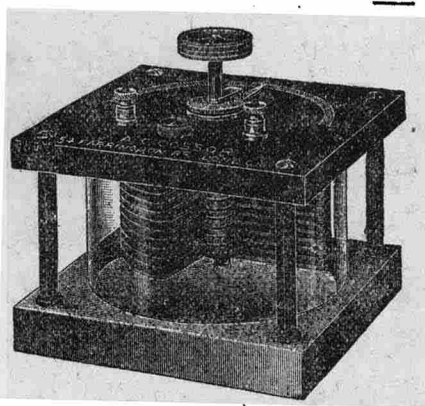


第二一七圖 來頓瓶

玻璃瓶的內外兩面，都塗上一層錫箔，內層的錫箔由金屬鍊連於瓶塞的金屬球上，如第 217 圖。

無線電方面所常用的容電器的電容量，可以任意變動，叫做可變容電器，其構造略如第 218 圖，即用兩付互相隔離

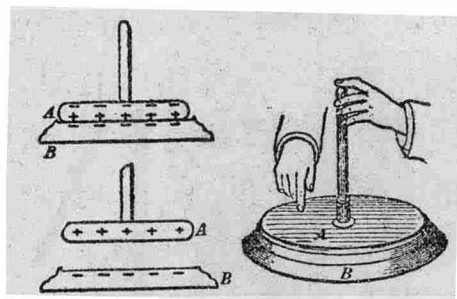
的半圓形金屬片，一付固定，另一付則可自由旋轉，當兩付同在一邊時，互相對峙，面積最大，故電容亦最大；



第二一八圖 可變容電器

若一付漸次轉動，則電容亦逐漸減小，至各在一邊時，即已達最小限度。

(8) 起電盤和起電機 起電盤是一種最簡單的感應起電機。如第 219 圖，

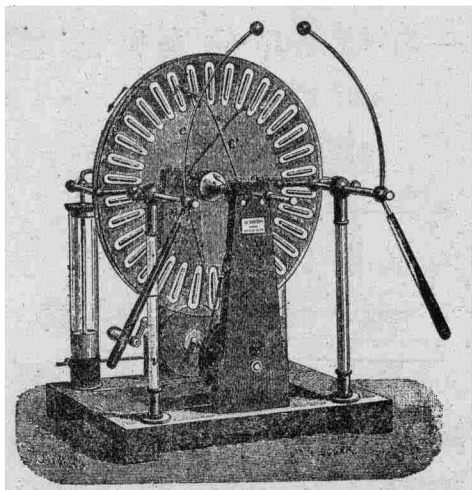


第二一九圖 起電盤

$B$  是一個火漆或硬橡皮所做的盤， $A$  是一個裝有絕緣柄的金屬圓板。先用貓皮在盤上摩擦，使帶陰電，再將板  $A$  放在盤上，則因感應的緣故，板的上部帶陰電，下部帶陽電；

如以手指先觸板  $A$  一次，則板  $A$  上的電子由手上逃去，再將板提起時，板上即帶有陽電，如以手指拿近圓板，則指尖可生一火花，並有輕微的爆炸聲。且板  $B$  經一次摩擦後，即可使板  $A$  起電無數次，可見板  $B$  上的電量，並不因板  $A$  上起電而遭受損失。

利用感應起電的原理，又可以製出一種比較複雜的起電機，供普通實驗室內起電之用，其構造略如第 220 圖。將起電機轉動時，兩銅球上可以積很多的電，如距離不大，在兩球間能發生火花，並且有爆炸的聲音，這種現象，就叫做



第二二〇圖 起電機

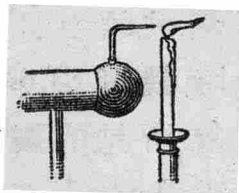
## 放電.

習題 6 以導線使來頓瓶的任何一層和地面相通,所蓄的電能否由導線逃至地面?

習題 7 起電盤的火漆盤上的電,爲什麼不會消失?

(9) 尖端放電 據實驗的結果,知道電常分佈在導體的表面,並且曲度越大的地方所聚集的電越密。

[實驗] 將一向水平方向彎曲的縫衣針,裝於一起電機的銅球上,將起電機搖動後,以一燭火拿近針端則火焰向一旁偏側,如第 221 圖。



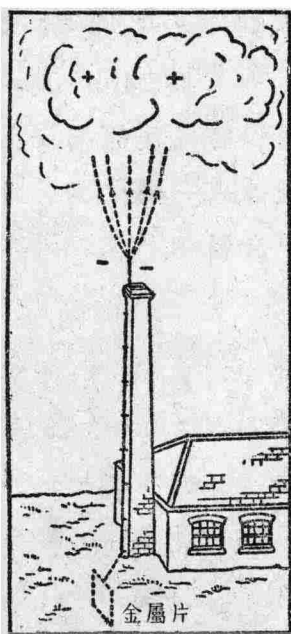
第二二一圖 電風

上面的實驗內,因爲銅球上的電都聚在針的尖端上,遂使周圍空氣感應而起游離作用,帶同性電荷的空氣分子,被排斥遠離而生風,將火焰吹動,這樣所成的風,叫做電風,帶異性電荷的空氣分子,被吸引至針尖,和針尖上的電荷中和,使針尖上電量逐漸消失,這種

現象就叫做**尖端放電**。

(10) **雷電** 自從 1752 年美國電學家佛蘭克林在大雷雨時,做了那有名的風箏實驗以後,大家才知道空中的雷電,就是一種放電現象。有時係兩種帶異性電的雲所發生,有時係帶電的雲走近地面,致使地面因感應而發生一種性質相反的電,這種因感應而生的電,就稱為**應電**,如帶電的雲距地面極近時,就可以發生放電現象。所見的閃光,就是放電時的火花,有時長達幾仟米,所聽得的雷聲,就是空氣突然受熱膨脹時,所發的聲音。

因為這種猛烈放電的緣故,常在放電的地方發生災害,佛蘭克

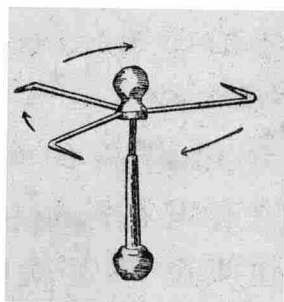


第二二二 避雷針

林爲要使建築物避免這種災害起見,利用尖端放電的原理,做成了一種避雷的裝置,叫做避雷針.即在最易受害的烟囱和屋頂等處,裝一金屬針,用銅線連於一深埋在潮溼泥土內的金屬板上.當帶電的雲移近針尖時,針尖上即發生一種應電,因尖端放電的緣故,雲中的電可以緩緩中和,故不致發生強烈的放電現象.

習題 8 將第 223 圖所示的電輪與感應起電機上的銅球相連時,電輪爲什麼能依箭頭所指的方向轉動?

習題 9 大雷雨時爲什麼烟囱,塔頂、大樹最易遭電擊?

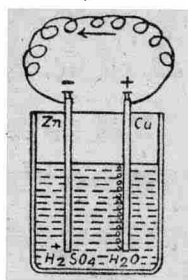


第二二三圖 電輪

## 第二十章 電流與電池

### (1) 電池

〔實驗〕 取銅片和鋅片各一塊，上端各接銅絲一根，放於稀硫酸溶液內，則鋅片附近有不斷的氣泡發生，若將銅線兩端連接於一靈敏的電鈴上，則電鈴可發生響聲，溶液內的氣泡也改由銅片附近走出，如第 224 圖。

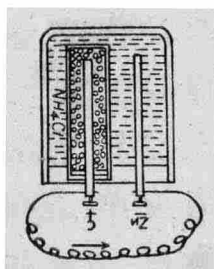


第二二四圖 伏打電池

由上面的實驗，可以知道有電在那銅線內流過，這種流動的電就叫做電流，凡藉化學作用以發生電流的裝置，就叫做電池。上面這種電池，叫做伏打電池，習慣上假定電流在導線上的方向，是由銅片流向鋅片，所以我們叫銅片做正極，叫鋅片做負極。

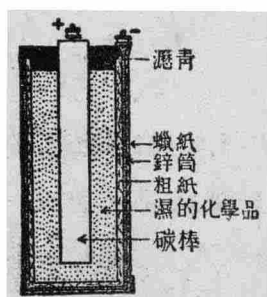
(2) 電池的種類 電池的種類很多，除上面所述的伏打電池外，還有一種

常用的電池，叫**勒克蘭社電池**。如第 225 圖所示，在玻璃杯內裝氯化銨的溶液，內插一鋅棒和一素燒圓筒，圓筒內插一碳棒，碳棒周圍有二氧化錳和碳屑包着。碳棒就是陽極，鋅棒就是陰極，這種電池很經久耐用所以用途頗大。



第二二五圖  
勒克蘭社電池

普通所用的乾電池就是由勒克蘭社電池改進而成，如第 226 圖在鋅製的圓筒內，正中放一個碳極，碳極的周圍，裝二氧化錳和碳屑，再裹上一層粗紙，另加氯化銨的溶液少許，使裏面的物質全部潮潤，上面用瀝青封固，防止蒸發，

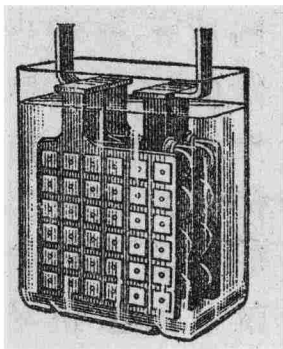


第二二六圖 乾電池

鋅筒外面再包上一層蠟紙，就造成一常用的乾電池，因為裏面沒有流動的液體，便於攜帶，所以用途更大。



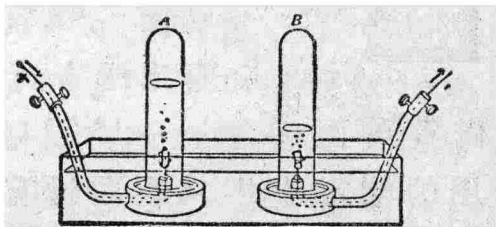
還有一種電池，叫蓄電池，即在硫酸溶液內，置鉛板兩塊，通電時陽極鉛板的表面氧化成二氧化鉛，陰極方面有氫放出，這種作用叫做灌電。灌電後如以導線將兩板連接，即可供給電流，和電池一樣，這種作用叫做放電。放電時陽極的二氧化鉛，又變成原來的鉛，再行灌電又可使用，故蓄電池如使用得法，可永遠使用。



第二二七圖 蓄電池

### (3) 電解

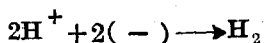
〔實驗〕 玻璃水槽內裝水半滿，加硫酸數滴，將兩白金或石墨電極插入水槽內，另用試管兩個以水裝滿後，倒覆於兩電極的上面，再將兩電極接於電池上，則兩電極上均有氣泡發生，陰



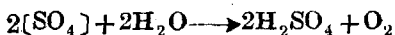
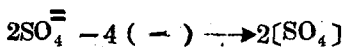
第二二八圖 水的電解

極所生氣體的體積恰為陽極所生氣體的兩倍，由試驗可以證明陰極所放的是氫，陽極所放的是氧。

上面的實驗內因為純水不能傳電，所以要加幾滴硫酸，硫酸在水內即游離成帶陽電的氫游子，和帶陰電的硫酸根游子，因為異性相引的緣故，通電後，氫游子向陰極移動，在陰極上得一電子，即可變為氫：



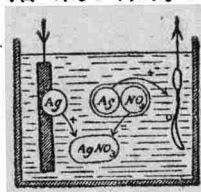
硫酸根的游子向陽極移動，在陽極失去兩電子後即變為硫酸根 $[\text{SO}_4]$ ，但 $[\text{SO}_4]$ 不能單獨存在，馬上就與水化合，變為硫酸和氧：



上面這種因通電後發生分解的現象叫做電解。

(4) 電鍍 如用硫酸銅的溶液代替硫酸，再改用銅片做陽極，則銅片漸漸

消失,而陰極上面就有銅漸漸澱積出來,利用這種原理,就可以得到各種的電鍍方法.如第229圖,在硝酸銀的溶液內,將銀片做陽極,所要鍍銀的器具做陰極,則硝酸銀游離後,帶陽電的銀游子即向陰極移動,在陰極失去電荷後,即澱積於陰極所懸的物體上;硝酸根游子移至陽極,失去電荷後,即與銀片化合而成硝酸銀,故作用可繼續進行至銀片耗盡為止.但用硝酸銀溶液時,所澱積的銀極不牢固,故普通多用等量的氰化銀和氰化鉀的溶液做電鍍液.



第二二九圖 電鍍

(5) 電流和電量的單位 在1834年英國大物理學家法拉第發現以同樣的電流,在同一的時間內,使同一物質在不同的溶液內,澱積出來的重量完全相等.就是說由溶液內澱積出來的金屬的重量,和所通過的電量成正比.利用這種

關係，可以將電流和電量的單位規定如下：

澱積 0.001118 克銀所需的電量，作為電量的單位，叫做一庫侖。

在一秒鐘內能澱積 0.001118 克銀的電流，作為電流的單位，叫做一安培。

習題 1 伏打電池有什麼缺點？

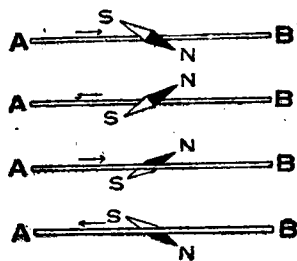
習題 2 用兩銅板做電極放於硫酸銅的溶液內，當通電時有什麼現象發生？

習題 3 在銅杯上鍍銀花有何方法？

習題 4 欲用 2 安培的電流在硝酸銀的溶液內澱積 1 克銀，需時若干？

## (6) 磁效應

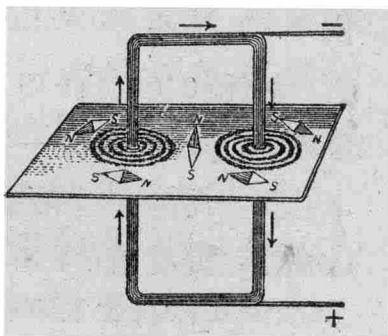
[實驗 1] 將有電流通過的導線放於一磁針上，則磁針必發生偏轉如第 230 圖；若改放於磁針下，則磁針偏轉的方向恰好相反。



[實驗 2] 在厚紙

第二三〇圖 電流的磁效應(一)

板上穿小孔兩個，將導線由孔內穿過數次作成一線圈(圖231)，紙板上散鐵粉少許，若導線內有電流通過，則鐵粉以導線為中心，成若干同心圓形。設箭頭係表示電流的方向時，如以小磁針試之，則磁針的方向必如圖所示。



第二三一圖 電流的磁效應(二)

由上面的實驗，可以知道當電流在導線內通過時，導線的周圍能生一磁場。



第二三二圖 安培定則

安培氏由實驗的結果得一定則，叫做安培定則，即以右手握導線，如以大拇指表電流方向時，則其餘各指即代表所生磁力線的方向，如第232圖。

〔實驗〕 將導線繞於一鉛筆桿，通電後拿近磁針時，好像磁鐵一般能與磁

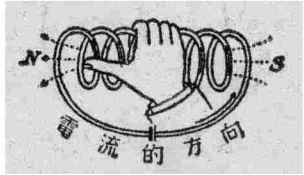


第二三三圖

電流通過螺旋線所起的磁效應

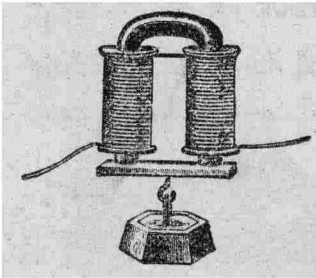
針發生斥引作用。

由上面的實驗，可以知道當線圈通電以後，就像一條形磁鐵。若以右手握線圈，如各手指係表明電流的方向時，則大拇指所指的方向即線圈的  $N$  極。



第二三四圖  
定螺旋線磁極的定則

在線圈的中央插軟鐵一根，則當電流通過時，鐵即被感應而成一磁鐵，磁性極強；電流中斷時，電性復失。這樣的磁鐵就叫做電磁鐵。電磁鐵的用途很大，平常多造成馬蹄形。



第二三五圖 蹄形電磁鐵

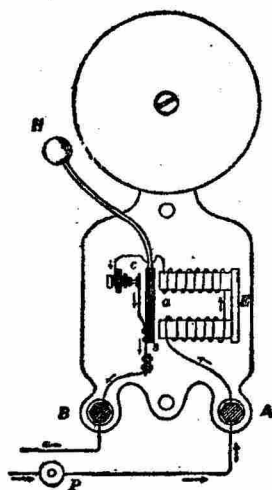
習題 5 平常用的電磁

鐵爲什麼多造成馬蹄形？

習題 6 在一南北向的導線下，如磁針的  $N$  極向西偏傾時，試求電流的方向。

(7) 電鈴 電鈴即電磁鐵的一種

應用,如將按鈕  $P$  (圖 236) 按下時,電即

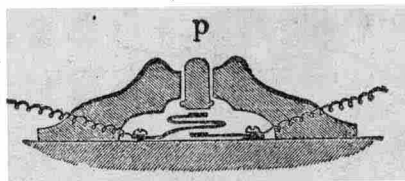


第二三六圖 電鈴

由  $A$  流入,依箭頭所示的方向,經接觸點  $C$  後,由  $B$  處流出.當電流通過時, $E$  即變為磁鐵,將銜鐵  $a$  吸至右方,使錘  $H$  與鈴相擊,電流遂斷, $E$  即失去磁性,因彈簧  $S$  的作用,將  $a$  復彈向左方,電流復通.一通一斷,鈴遂能連續發聲.

### (8) 電報

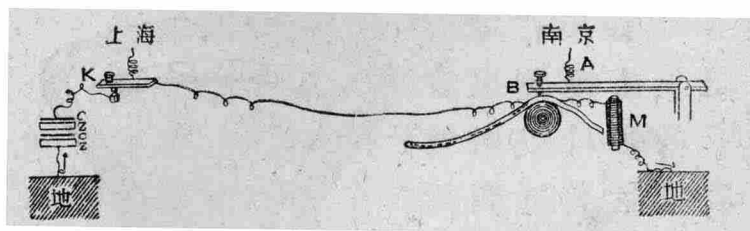
電報也是電磁鐵的一種應用,如第 238 圖所示,設發



第二三七圖 按鈕

報機在上海,收報機在南京,當上海發報員將按鈕  $K$  按下時,電池內的電流即以箭頭所示的方向,由電池的正極經架空線至南京,繞電磁鐵  $M$  後,復由地下流至

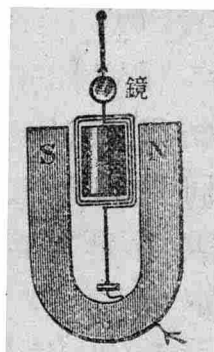
電池的負極。M 遂變成一磁鐵，將鐵片吸



第二三八圖 電報

下，使 B 的尖端在滑動的紙條上印一痕跡，按鈕按下的時間短就成一點，時間較長就成一線，不按時電流即斷，藉彈簧 A 的作用可將 B 提起。用點和線適當配合，就可代表各種數字，以傳遞消息。

(9) 電流計 利用電流的磁效應以測定電流的器具，叫做電流計。現在最常用的電流計，係以極細的絕緣導線，繞成一線圈，放在一固定磁鐵的兩極的中間，如第239圖，通電後，能發生偏轉，由線圈偏轉的情形，就能決定電流的大



第二三九圖 電流計

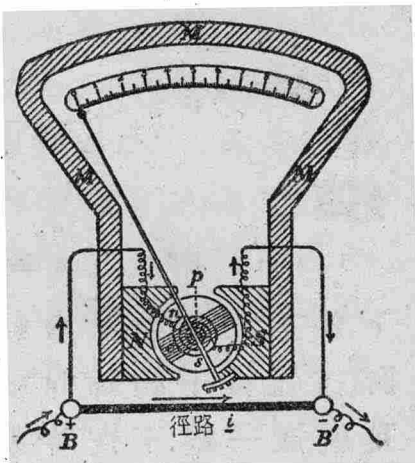


小.這種電流計叫做達松發爾電流計.

如果在電流計上直接刻出安培的數目,就叫做安培計.普通商用安培計的構造,略如第240圖.

### (10) 電阻

我們知道粗糙而且細長的導管,對



第二四〇圖 安培計

於水的流動,常能發生一種阻力,電在導線內流動也有同樣的情形,任何導體的電阻與長度成正比,與截面積成反比,至各種導體的電阻亦各不相同,據實驗的結果,銀的電阻最小,各種導線的電阻與同樣粗細銀絲電阻的比值,叫做電阻係數.最常見的幾種物質的電阻係數,約如下表:

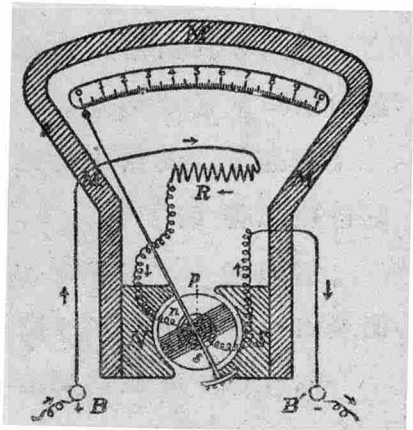
銀 1.00	軟鐵 6.00	德銀 18.1
--------	---------	---------

銅 1.11	白金 7.20	汞 63.1
鋁 1.87	硬鋼 13.5	鎳鉻 66.6

電阻的法定單位，叫做歐姆，即在攝氏零度時，106.3厘米長截面積為1平方毫米的水銀柱所呈的電阻。

(11) 電動勢 要使水在導管中流動，水面一定要有高低的差異，或者另裝一抽水機；同樣，電在導線內流動，也一定要由電池或發電機供給一種電動勢（有時又稱電壓或勢差）。電動勢的單位，叫做伏特。即使一安培電流在一歐姆電阻內通過時所需的電壓。

電動勢的度量，也是利用電流的磁效應，普通商用的伏特計也和安培計差不多，即在電流計內加一



第二四一圖 伏特計

個很大的電阻，僅讓極少量的電流通過，使不致影響電壓，如第 241 圖。

在 1827 年時，大物理學家歐姆氏發現電流和電壓與電阻間有下面的關係，即電流與電壓成正比而與電阻成反比。這種關係，就叫做歐姆定律，可以公式表之如下：

$$\text{電流}(I) = \frac{\text{電壓}(E)}{\text{電阻}(R)}$$

或

$$\text{安培} = \frac{\text{伏特}}{\text{歐姆}}$$

習題 7 將一根導線截為三等分後，再將三段合在一起，接於電路上，問這時的電阻有何改變？

習題 8 如用 15 歐姆的導線接於電池，測出導線兩端間的電壓為 3 伏特，問有多少電流通過？

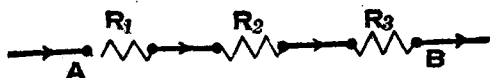
習題 9 馬路上的電燈幹線為什麼較房間內電燈線粗得多？

習題 10 設給你電池，安培計，伏特計各一個，你能量出一個電阻有多少歐姆嗎？

(12) 電阻的組合 將幾個電阻聯合

使用時，有兩種組合的方法。

(a) 串聯 將幾個電阻依次聯接,如第 242 圖,叫做串聯;串聯時,電流須依次經

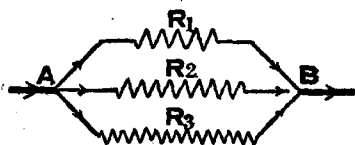


第二四二圖 電阻的串聯

過所有的電阻,所以  $A, B$  兩點間的總電阻即等於各分電阻的總和。設  $R$  代表總電阻,  $R_1, R_2, R_3$ , 代表各分電阻,則:

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

(b) 並聯 將各分電阻的兩端同接於  $A, B$  兩點上,如第 243 圖,叫做並聯。並聯時,  $A, B$  兩點間所經過的電流,等於各分電阻上所經過電流



第二四三圖 電阻的並聯

的總和。設  $E$  等於  $A, B$  兩點間的電壓,則:

$$\frac{E}{R} = \frac{E}{R_1} + \frac{E}{R_2} + \frac{E}{R_3}$$

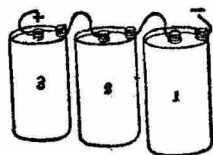
所以 
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

即 總電阻的倒數等於各分電阻倒數的和。

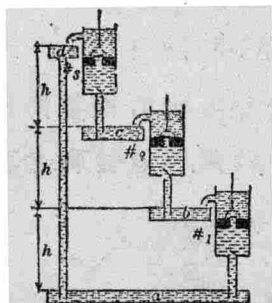
(13) 電池的組合 電池組合的方法

也有兩種,可以用抽水機組合的情形,來分別表明。

(a) 串聯 如第 244 圖所示,將電池(1)的陽極聯於電池(2)的陰極,電池(2)的陽極,聯於電池(3)的陰極,這樣的



聯法,就叫做串聯。看了第 第二四四圖 電池的串聯

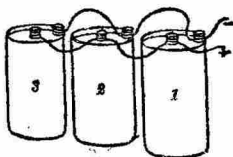


第二四五圖 抽水機的串聯

245 圖,三個抽水機串聯時,所收的效果,我們可以想到多數電池串聯時的電動勢等於各電池電動勢的和;而所經過的電阻,亦等於各

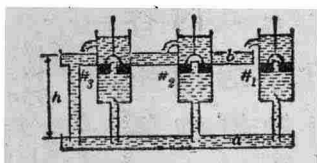
電池線路上的外電阻與其內部的內電阻的總和。

(b) 並聯 如第 246 圖所示,將各電池的陽極同聯於一處,所有的陰極另聯於一處,就叫並聯,由第 247



圖三個抽水機並聯的 第二四六圖 電池的並聯

情形,也可以想到電池並聯時的電動勢和單獨的電池相等,但如用  $n$  個相同的電池



時所經過的電阻,比單獨電池的內電阻要小  $n$  倍。

第二四七圖 抽水機的並聯

因此如果我們需要較高的電動勢,而且電池的內電阻不大時,就可以採用串聯法,如果電池的內電阻很大,就可採用並聯法。

習題 11 四個相同的電阻串聯時比並聯時大幾倍?

習題 12 手電筒內的乾電池是怎樣組合的?

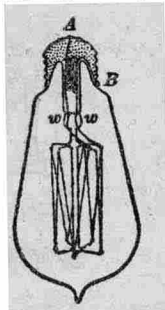
### (14) 熱效應

〔實驗〕 將細鐵絲與細銅絲各一根串聯於電池的兩極,至銅絲已微熱時,鐵絲的溫度已可以灼手。

由上面的實驗,可以知道當電流遇着阻力時常能發生一種熱量。據精密實驗的結果,所發生的熱量常與電阻、時間、

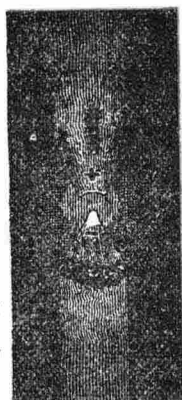
### 和電流的平方成正比。

普通的電燈又稱白熾燈，就是這種效應的應用。因為在空氣內容易氧化，所以普通的燈泡內多已將空氣抽去。以前的燈泡係用碳做燈絲，耗電過多，現在多已改用鎢絲。鎢絲燈的溫度高，光亮也較大，且所耗的電功率卻比碳絲燈少，如果燈泡內裝有氮或氬時，光亮更大，耗電更少，並且還比較耐用。



第二四八圖  
鎢絲燈泡

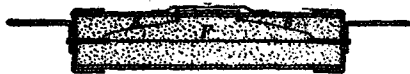
弧光也是熱效應的一種應用，即將兩碳條互相接觸，通電後即發光熱，將兩棒略移開數毫米時，發光更大，溫度能達 $3500^{\circ}\text{C}$ 左右。探海燈和電影機內多用這種方法發光，所需的電勢約50伏特。



第二四九圖  
弧光

保險絲也是熱效應的一

種應用，平常爲防止意外起見，常在電鑰附近裝熔點很低的合金線一段，如果電



第二五〇圖 保險絲

流通過太多，保險絲的溫度隨即昇達熔點，電

流遂斷。

其他如電熨斗和電爐等都是熱效應的應用。

電既然是一種能，電和能當然有相當的關係，如果能的單位用焦耳，電壓的單位用伏特，電流的單位用安培，時間的單位用秒，可得出下面的關係：

$$\text{焦耳} = \text{伏特} \times \text{安培} \times \text{秒}$$

或

$$W = IET = I^2RT$$

因爲每秒作一焦耳的功就叫做一瓦特，所以

$$\text{瓦特} = \text{伏特} \times \text{安培}$$

通常量電能時，用仟瓦小時做單位，仟瓦小時就是平常算電費時所叫的電



度。

1 電度 = 1000 瓦特  $\times$  3600 秒 = 3,600,000 焦耳,

習題 13 將普通的電燈泡摔到地上時,爲什麼發強大的聲音?

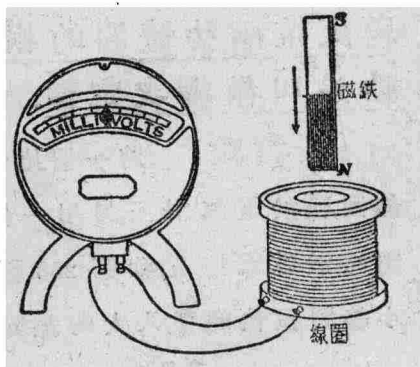
習題 14 電燈的電線都是並聯的,試舉出不能串聯的理由。

習題 15 設每用電一度,須付電費 2 角 1 分,有 100 瓦特的燈泡 5 個,用 4 小時後,須付電費若干?

## 第二十一章 應電流

### (1) 應電流

〔實驗〕 將線圈的兩端接於一電流計上,很快的用一條形磁鐵插入圈內,則電流計上的指針能發生偏轉,如磁鐵停止不動,則指針隨即恢復原來的位置;如很快的又把磁鐵提出,也能使電流計的指針發生偏轉,但偏轉的方向與原來相反。

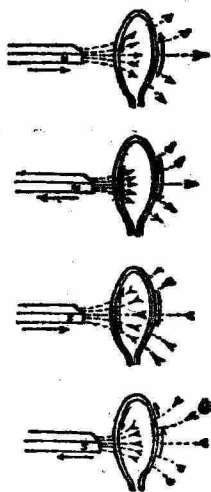


第二五一圖

磁鐵插入線圈內能發生應電流

由上面這個實驗,我們可以知道當磁鐵與線圈發生相對運動時,線圈內可以發生一種應電流.由電流計偏轉的方向,可以知道當磁鐵的  $N$  極向線圈運動時,線圈內的應電流亦發生一磁場,這磁場的  $N$  極與磁鐵

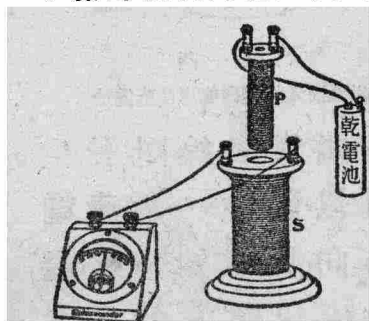
的  $N$  極相對 (圖252). 倘若磁鐵的  $N$  極背  
 線圈運動時, 則應電流所生  
 磁場的  $S$  極與磁鐵的  $N$  極相  
 對. 即當導體與磁場發生相  
 對運動時, 導體內所生應電  
 流的方向, 在另產生一磁場  
 以反抗兩物體間的相對運  
 動. 這叫做楞次定律.



第二五二圖  
 應電流的方向

〔實驗〕 將一個比較大的  
 線圈, 聯於電流計上, 另用一個小線  
 圈接於乾電池上, 如第 253 圖, 如將

小線圈很快的插入大的線圈內, 或由大的線圈內提



第二五三圖 電磁鐵P運動  
 時, 能使線圈S發生應電流

出, 都能使電流計的指針發  
 生偏轉, 但偏轉的方向, 彼此  
 相反. 如將小線圈放在大線  
 圈內, 雖沒有相對運動, 只要  
 將小線圈上的電路時開時  
 閉, 電流計上的指針也能發  
 生偏轉, 電路突開或突閉時,

指針偏轉的方向也恰好相反。

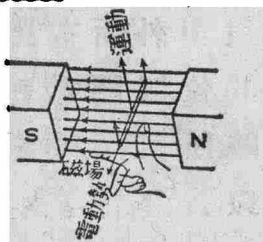
實驗內由電池供給電流的小線圈叫做原線圈，發生應電流的線圈叫做副線圈。由上面的實驗，我們可以知道產生應電流的方法共有三種：

- (一) 導體與磁鐵發生相對運動，
- (二) 導體與另一通有電流的電路發生相對運動，
- (三) 變更導體附近另一電路中的電流。

應電流產生的方法雖然可分為三種，但可歸納出一通則，即通過導線圈的磁力線數如有變更或導線割切磁力線時，均能使導線內發生應電流。

## (2) 發電機原理

如第 254 圖，使一導線在磁場內向上運動，則可使導線兩端發生一應電動勢，若將導線兩端聯接，即



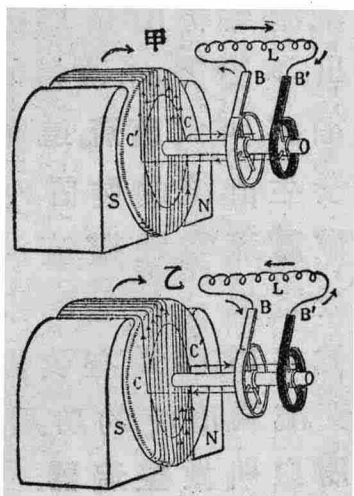
第二五四圖 左手定則

可發生應電流，故應電流的方向和應電動勢相同。由實驗的結果，可以知道應電動勢的方向，和磁場與運動的方向有關。

即將右手的拇指、食指、中指張開，使互相垂直，若以拇指代表運動的方向，食指代表磁場的方向，則中指所指的方向，即所生應電動勢的方向。這種關係叫做佛來銘的右手定則，又稱發電機定則。

(3) 發電機 利用應電流的原理，使機械能變為電能的裝置，叫做發電機。發電機的主要部分，為發生磁場的磁鐵，叫做場磁鐵，和在磁場內轉動的線圈，叫做電樞，電樞的兩端聯接在兩個金屬的圓環上，每個圓環與一個金屬刷子接觸，以與外面電路相通。當電樞由第255圖甲的位置開始轉動時，電流漸生，轉過90度時所割斷的磁力線最多，電流最大，90度以後，電流漸減，至乙圖的位置時，電流等於零。這半週內所生的電流，均由B刷流

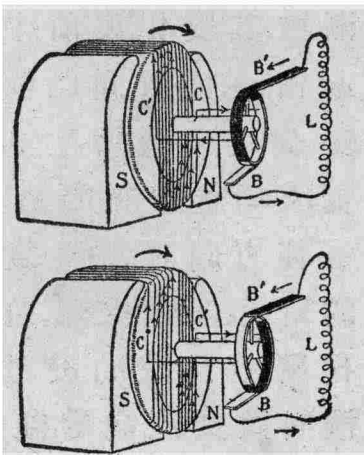
出；由乙圖的位置再開始轉動時，電流又漸增，其變化與前半週相同，惟方向已改變，故後半週所生的電流均從  $B'$  刷流出。這種方向時常改變的電流，叫做交流，這種發生交流的發電機叫做交流發電機。普通的電燈廠內所用的都是這種，每秒鐘內約變更方向 100 次，但構造上比較複雜些。



第二五五圖 交流發電機

若將交流發電機電樞軸上的兩個金屬圓環取去，改裝由兩半環所合成，中間隔有絕緣體的圓環一個，電樞上導線的兩端分別接於兩半環上，金屬刷  $B, B'$  即在相對的方向各與一半環相觸。當電樞的導線內電流改變方向時， $B, B'$  兩金

屬刷亦同時交換所觸的半環一次,所以電流始終由  $B$  刷流出,不變方向,這樣的電流,叫做**直流**,這種發生直流的裝置,叫做**直流發電機**,直流發電機上所裝的兩個半環,因為有改變交流為直流的功用,所以叫做**整流器**。



第二五六圖 直流發電機

**習題 1** 變更導體附近另一電路上的電流,為什麼能使導體上發生應電流?

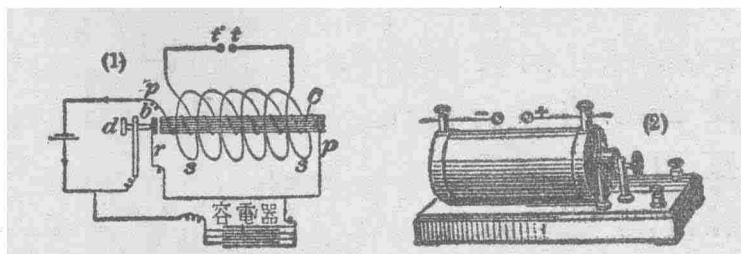
**習題 2** 有一兵艦向西行駛,其鐵艦上因地磁場的影響所生應電流的方向如何?

**習題 3** 交流電可以供電鍍用嗎?

**習題 4** 影響發電機電動勢的條件有幾種?

(4) **感應圈** 感應圈是利用電磁感應原理,發生高壓電的裝置.其構造略如第 257 圖,即在互相絕緣的軟鐵絲束上,

繞粗銅絲約一二百轉，作為原線圈，原線圈上加絕緣物質一層，絕緣物質上繞絕



第二五七圖 感應圈

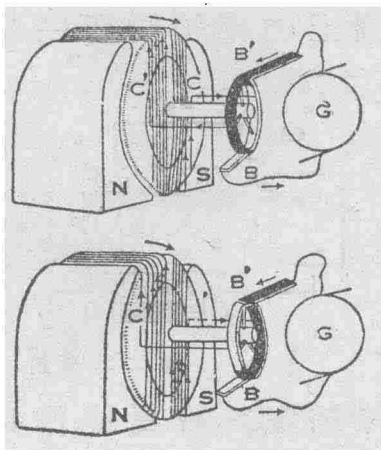
緣細銅絲數萬轉，作為副線圈。當原線圈上通電時，中間的軟鐵束即被磁化，將斷續器  $r$  吸住，原線圈上的電流，隨即中斷。如此一斷一續，周圍的磁力線亦時生時滅，故能使副線圈  $S$  上發生極高的應電動勢，能於  $t, t$  間發生火花。

習題 5 感應圈上原線圈和副線圈上所用的銅線，為何粗細不同？

(5) 電動機 利用電磁感應的原理，將電能變為機械能的裝置叫做電動機。電動機就是發電機的反用，所以他的



構造和發電機相同。第 258 圖，為一直流電動機，當電流通入電樞時，所發生磁場的方向與固定磁場的方向相反，因互相排斥的緣故，遂發生轉動；剛轉過半週後，電流又改由另一半環進入電樞，電樞



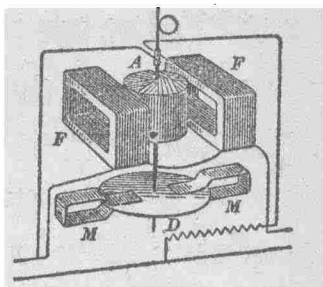
第二五八圖 電動機

所生的磁場，隨即改換方向，又與固定磁場的方向相反，故能繼續轉動。

電動機的用途很廣，如普通的電扇、電車和電力抽機等，都是電動機的應用。

(6) 瓦時計 瓦時計俗稱電表，是一種紀錄電能消費量的機械，也是應用電動機原理的一種裝置，其構造略如下圖。因為由電樞  $A$  經過的電流和電動勢成正比，而由場磁鐵  $F$  繞過的電流和所

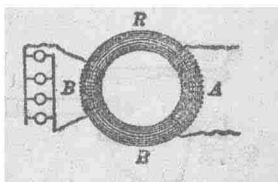
用的電流成正比，故使電樞轉動的力量與所具的安培數和伏特數的相乘積成正比，這就是說與所消耗的瓦特數成正比。故利用這種裝置，可以直接讀出所消耗的仟瓦小時



第二五九圖 瓦時計

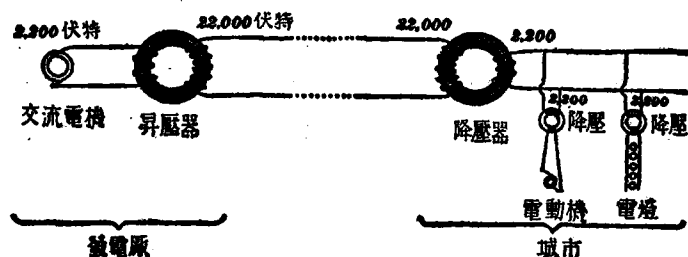
數。爲防止電流中斷後，電樞因慣性作用仍繼續轉動計，在電樞下另附一鋁盤，使在強磁鐵間轉動，因電磁感應，能使電樞停止。

(7) 變壓器 將交流電由低壓變成高壓，或由高壓變成低壓時的裝置，叫做變壓器，如第 260 圖，即將發電機線路內的絕緣導線，繞於一軟鐵圈上，作爲原線圈，副線圈的電路即與各用戶相通。至原線圈與副線圈上電壓的大小則與線圈的捲數成正比。



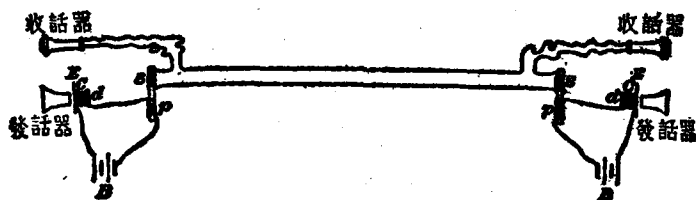
第二六〇圖 變壓器

因爲電壓高時，電流即變小，爲免除導線上由電能變爲熱能的消耗起見，通常由發電廠導出的電，常使其電壓變高，將通入用戶住宅時，爲防止危險計，再將其電壓降低。凡使電壓變高的裝置，叫做昇壓器，凡使電壓變低的裝置，叫做降壓器。將電流送於遠處的裝置，約如第261圖。



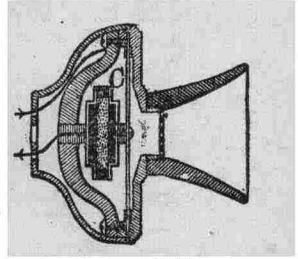
第二六一圖 長距離的高壓電路

### (8) 電話 電話也是電磁感應的

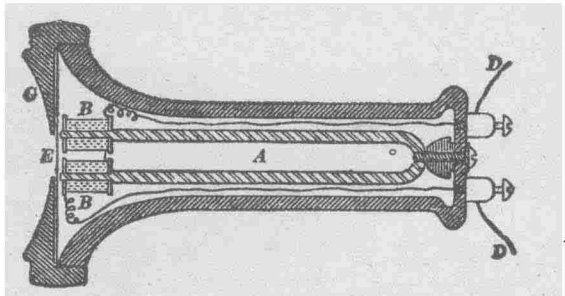


第二六二圖 電話

一種應用，其裝置略如第 262 圖。蓄電池  $B$ ，發話器  $E$  和感應圈上的原線圈，同聯於一電路上，發話器的薄膜後有一盒  $C$ ，內裝石墨粉。如向發話器的喇叭發聲時，薄膜前後振動，石墨粉時鬆時緊，致其電阻隨時變更，電流就時強時弱，因此副線圈內的應電流亦同時改變，傳至收話器內致收話器的電磁也時強時弱，使薄膜  $E$  發生與發話器薄膜相同的振動，所以能聽出對方所說的聲音。



第二六三圖  
發話器的截面圖



第二六四圖 收話器的截面圖

習題 7 發電機和電動機有什麼區別？

習題 8 電車所用電的電動勢比平常電燈所

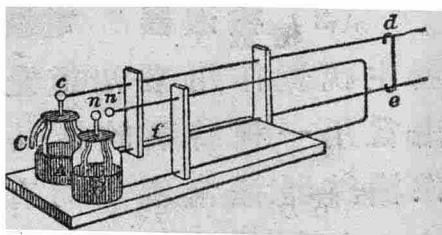
用的約大一倍,但我們觸了電車的軌道並不會受傷,是什麼緣故?

習題 9 試列舉電阻的用處與害處各兩種.

## 第二十二章 電波和真空放電

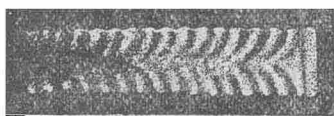
### (1) 電波

〔實驗〕 將兩個同樣的來頓瓶聯於兩個平行的電路，加高電壓於來頓瓶  $B$  使第一電路的空隙  $nn'$  處發生火花放電，如將  $de$  前後滑動至相當地點時，第二電路的空隙處  $C$  也能發生火花。設在轉動



第二六五圖 電共振

很快的鏡內觀看時，火花的形狀約如第 266 圖。



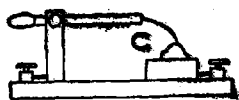
第二六六圖 照片中電花閃灼的狀態

由上面實驗內火花的閃爍，我們可以知道放電時，係由一方流至他方後，復由他方流至此方的，這種往返流動的現象，叫做電振動。兩導體間發生電振動時，周圍的以太，也時緊時弛，漸次向遠方傳

播成一種波動的狀態，這種以太波叫做電波。電波的性質和光波略同，但不能引起視覺作用。當電波傳到一自然週期相同的導體時，就能發生一種共振現象，這種共振叫做電共振。

(2) 檢波器 電波既不能使我們發生視覺作用，要知道是否有電波存在，應當用一種特製的器具，這種器具就叫做檢波器。通常所用的有以下兩種：

(一) 晶體檢波器 方鉛礦和紅鋅礦等有一種特殊的單向導電性質，即電流向一方流過時，阻力較小，改由反對方向流過時，阻力極大，利用這種性質，可將交流改成直流，接於電流計或電話的聽筒上，就可以檢出。

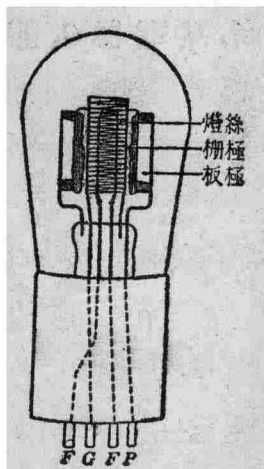


第二六七圖 晶體檢波器

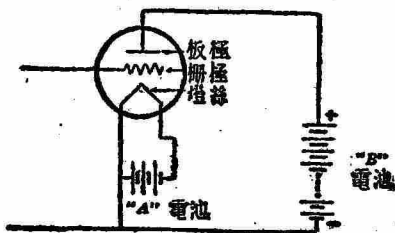
(二) 真空管檢波器 通常所用的是一種三極管，形狀很和電燈泡相似，除熾熱的燈絲外還有一個圓形的金屬板，

叫做板極，燈絲和板極的中間有一金屬的線網，叫做柵極。

將燈絲聯於電池上使發生光熱，板極接於高壓電的正極上，則柵極為正時，板極與燈絲間可有電流通過，如為負時，則不能，故當柵極與振動電路



第二六八圖 三極管



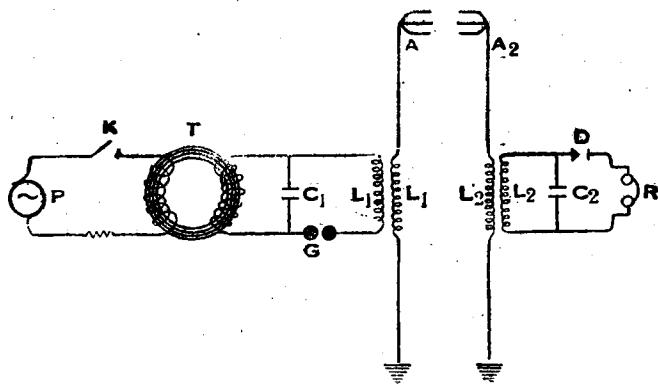
第二六九圖 真空管和“A”“B”兩種電池的聯接法

相聯時，板極和燈絲間的電流祇能向一方流通，具有整流機能，可代替晶體作檢波之用，且極靈敏。

(3) 無線電報 無線電報是利用電波在空中傳播，以通消息的裝置，如第270圖，設發報處將按鈕  $K$  按下，則發報處的交流電路接通，經昇壓器  $T$  將電壓昇



高,容電器  $C_1$  即能隨時灌電,又隨時放電,

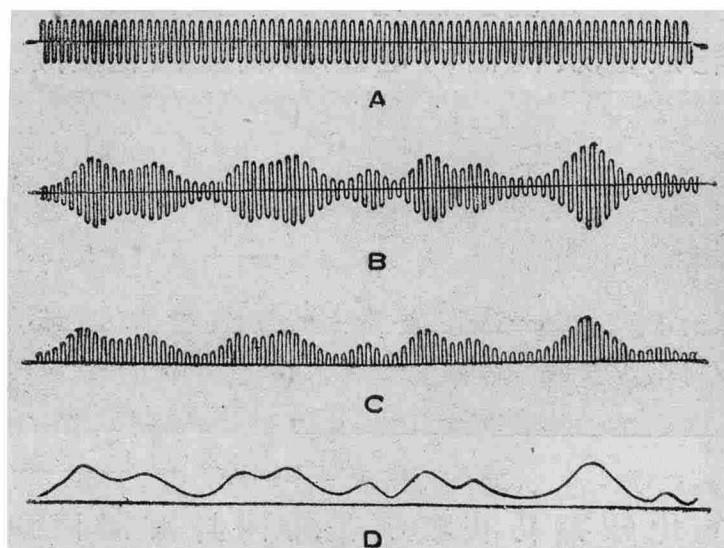


第二七〇圖 無線電報裝置略圖

使間隙  $G$  處發生火花放電,於  $C_1GL_1$  電路內發生電振動,再經變壓器將電壓升高後,由天線  $A_1$  使空中發生電波,向各處傳播.

空中電波傳至收報處的天線  $A_2$  上時,能激動天線發生電振動,經過變壓器  $L_2, L_1$  將電壓變低後,  $C_2DR$  電路內亦能發生電振動.發報處每將  $K$  按下一次,收報處的聽筒內即能聽出一次響聲,用長短聲音互相配合,即可以代表數目或字母,傳遞消息.

(4) 無線電話 無線電話的原理和無線電報相同,即用電波在空中的傳播,可與遠地直接通話.其裝置也分兩部,送話處利用三極管發送頻率很大的等幅波,如第271圖A,但因頻率過大,遠地不



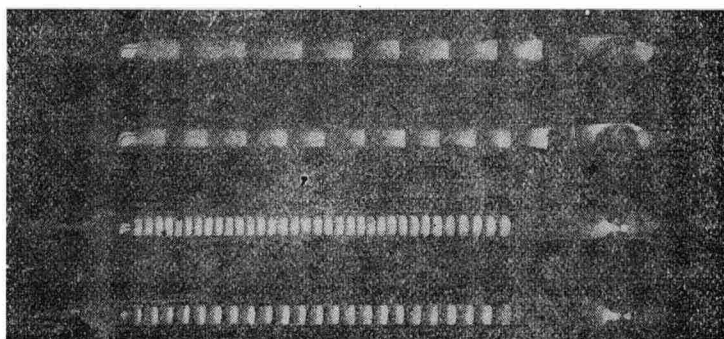
第二七一圖 無線電話的波形

能聽出聲音.設在發話處的天線電路中,插入一發話器,則等幅波因受聲波所生的影響,變成圖B的形狀,再經收話處的

檢波作用後，變成直流。這時的波形(圖C)已與發話處的聲波(圖D)相似，所以在聽筒內能聽到遠處說話的聲音。

習題 1 爲什麼一定要一特種晶體或三極管與聽筒串聯，方能檢出空中有無電波？

(5) **真空放電** 在空氣內發生火花放電，須極高的電壓，如氣壓減低，則放

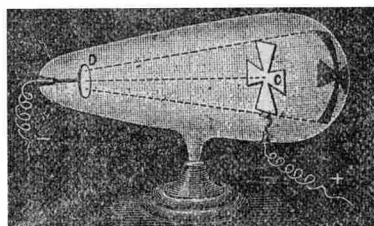


第二七二圖 真空放電的情形

電比較容易，在玻璃長管內封入兩個電極，將大部分的空氣抽去，並將電極與感應圈的兩端連結，在不同的氣壓下，管內放電時發光的情形，有各種的變異。如氣壓爲數毫米時叫做蓋斯勒管。若氣壓降

至  $\frac{1}{1000}$  毫米以下，就叫做克魯克斯氏管，在

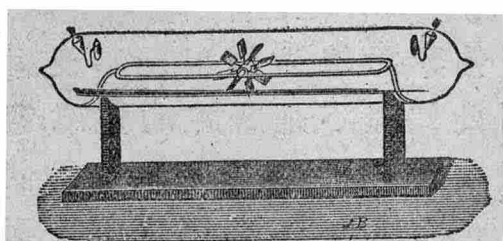
克魯克斯氏管的陰極能發生一種看不到的射線，使對面管壁上顯現淡黃



第二七三圖 陰極射線的直進

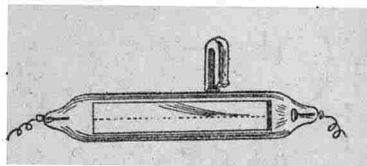
色的螢光。據實驗的結果，知道這種射線，

係依直線進行，如被障礙物遮斷，可在後面現一陰影（圖 273）。且



第二七四圖 陰極射線的機械作用

具有機械能力，可推動別的物品。物體被射線繼續衝擊後，則溫度升高。若以磁鐵放在射線的側面，可發生彎曲作用，由彎曲的方向可以確定這種射線



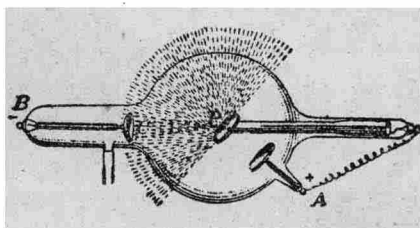
第二七五圖

陰極射線在磁場內彎曲的情形

係一羣電子的流動，所以叫做陰極射線。

(6) X射線 克魯克斯氏管內的陰極射線如與對面的鉑板發生衝擊，能放出另一種射線，如第 276 圖，

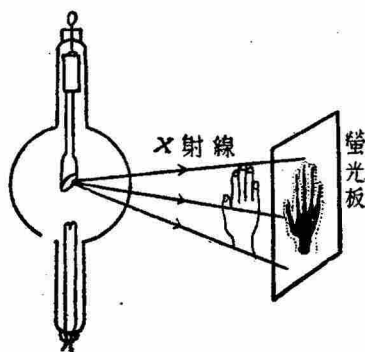
叫做 X 射線。因為這種現象係倫琴氏所發現，



第二七六圖 X射線管

所以又叫做倫琴射線。這種射線不受磁鐵的影響，因此知道不是帶電的質點，穿透物質的能力很強，人類的身體除骨骼

外均能透過，所以能照出體內的情形，若隔一鉑氰化銀的薄板，可以看出手內的骨骼如第 277 圖，並且具有殺菌的能力，在醫學上應用很廣。



第二七七圖

X射線在鉑氰化銀薄板上所投的影