

中國科學教科書

初中物理學

下 冊

楊孝述

胡剛復

胡慤風

合 編

中國科學圖書儀器公司

印 行

中國科學教科書

初中物理學

下冊

楊孝述 胡剛復 胡慤風

合編

中國科學圖書儀器公司

印 行

中國科學教科書

初中物理學

下冊

版權所有 翻印必究

中華民國三十八年三月初版

編輯者 楊孝述 胡剛復 胡愨風

發行人 楊 孝

發行所 中國科學圖書儀器社  
印刷所 上海(18)中正中路537

分發行所 中國科學圖書儀器社  
南京 廣州 重慶 北平 漢口

# 目 次

<b>第十三章 振動與聲波</b> . . . . .	<b>145</b>
133. 物體振動成聲 134. 空氣是傳聲的介質 135. 聲在液體或固體中的傳遞 136. 聲的速度 137. 聲波 138. 水波 139. 聲波與水波的比較 140. 樂音與噪聲	
<b>第十四章 樂音的要素</b> . . . . .	<b>153</b>
141. 音調 142. 音強 143. 音品 144. 共振板	
<b>第十五章 基音與諧音</b> . . . . .	<b>157</b>
145. 強迫振動與共振 146. 共振器 147. 基音與其諧音 148. 絃的振動定律 149. 基音與其諧音可同時產生 150. 音品的解釋	
<b>第十六章 音樂與樂器</b> . . . . .	<b>164</b>
151. 拍音 152. 諧和與不諧和 153. 音階 154. 弦樂器 155. 管樂器 156. 聲帶 157. 留聲機	
<b>第十七章 光與光源</b> . . . . .	<b>173</b>
158. 發光體 159. 光的直行 160. 影 161. 晝夜的長短 162. 光的速度 163. 照度 164. 本生光度計	
<b>第十八章 光的反射</b> . . . . .	<b>182</b>
165. 光的反射 166. 漫射 167. 平面鏡內的像 168. 用作圖法求平面鏡內的物像 169. 球面鏡 170. 球面鏡的焦點與焦距 171. 球面鏡的成像的試驗 172. 用作圖法求球面鏡所成的像	
<b>第十九章 光的折射</b> . . . . .	<b>191</b>
173. 水的折光現象 174. 全反射 175. 自然界的折射現象 176. 透鏡 177. 透鏡的成像試驗 178. 作圖求像法	
<b>第二十章 光學儀器</b> . . . . .	<b>201</b>
179. 照相機 180. 幻燈 181. 眼的構造 182. 近視與遠視 183. 物體的皮相大小 184. 明視距離 185. 放大鏡 186. 顯微鏡	

187. 天文望遠鏡	188. 雙筒望遠鏡	
<b>第二十一章 光與色</b>		<b>212</b>
189. 日光的色散	190. 虹	191. 物體之色
192. 複色	193. 互補色	194. 顏料之色
<b>第二十二章 磁</b>		<b>217</b>
195. 磁石與磁鐵	196. 磁極	197. 磁極的相引與相斥
198. 磁的感應現象	199. 磁場圖	200. 磁的分子說
201. 地磁		
<b>第二十三章 靜電</b>		<b>222</b>
202. 摩擦起電	203. 正電與負電	204. 驗電器
205. 導電體與絕緣體	206. 感應起電	207. 電是什麼
208. 起電盤		
<b>第二十四章 電流</b>		<b>231</b>
209. 簡單電池	210. 電池的正極與負極	211. 電路
212. 溼電池與乾電池		
<b>第二十五章 電流的化學效應</b>		<b>231</b>
213. 電解	214. 電離	215. 電鍍
216. 電流與電量的單位	217. 蓄電池	
<b>第二十六章 歐姆定律</b>		<b>241</b>
218. 電壓與水壓	219. 電阻與摩擦力	220. 歐姆定律
<b>第二十七章 電流的熱效應</b>		<b>243</b>
221. 電流的熱效應	222. 電燈及手電筒	223. 電燈的裝法
224. 觸電的危險	225. 電路中所生的熱	226. 電路過熱時的危險
227. 保險絲		
<b>第二十八章 電流的磁效應</b>		<b>253</b>
228. 電流的磁效應	229. 螺管線圈的磁效應	230. 電磁鐵的用途
<b>第二十九章 感應電流</b>		<b>257</b>
231. 應電流	232. 感應線圈	233. 電話
<b>第三十章 電機</b>		<b>263</b>
234. 電話導線割截磁力線	235. 交流發電機	236. 直流發電機
237. 電動機的原理	238. 電扇及電車	

## 第十三章

# 振動與聲波

133. 物體振動成聲。用胡弓擦琴絃，絃能發聲，其外觀較平時變寬闊，這是絃在那裏振動的徵象。以指觸之，其振動立即停止，聲亦隨之消失。用錘叩鐘，其聲鐺鐺，用手中所握的鉛筆去觸鐘緣，發見鐘身在那裏振動。把受擊後的音叉，移近耳側，聽得叉聲，觸在唇上覺到振動。因而可知聲的成因，是由於物體的振動。下面的試驗，是用來證明物體振動成聲的。

把擊後的音叉觸於水面上，可見水花飛濺。用懸於線上的玻璃珠觸在發聲的音叉上，可見玻璃珠猛烈的擺動。

聞聲探源，必會發見某物在那裏振動。例如落體擊着桌面，叫笛受吹，琴絃受擦，都能發聲，均因物體的振動而起。

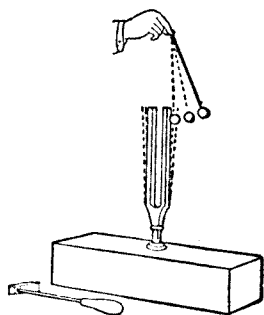


圖 125. 物體振動成聲。

134. 空氣是傳聲的介質。密室裏的琴音，很難使室外的聽者滿意欣賞；倘使把窗打開，樂音就嘹亮傳出。閉窗的作用，不過使室內外的空氣不易流通。可見聲的傳遞，與空氣有密切

關係。

照圖 126 的裝置，把電鈴掛在玻璃罩內，罩則放在抽氣機的盤上。先使鈴聲大鳴，隨即把罩內空氣逐漸抽去，便聽得鈴聲逐漸降低。倘使把罩內空氣排去將盡，鈴聲就差不多聽不到了。若把空氣或別種氣體重新放入罩中，就會再聽到響亮的鈴聲。

由此實驗可知：聲是不能在真空中傳遞的。換句話說，聲的傳遞必賴物質為媒介，空氣是傳聲的最普

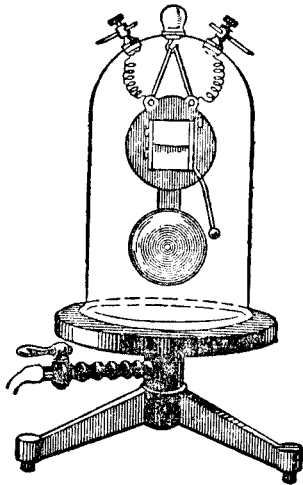


圖 126. 空氣是傳聲的介質。  
通的介質 (medium)。

**135. 聲在液體或固體中的傳遞。** 聲在液體中較在空氣中格外容易傳遞。例如耳沒入水中，可以清晰地聽得別人把兩塊石頭，在水中碰擊的聲音。用耳觸在鋼軌上，可以聽到遠處的機車行聲。

把音叉的柄插入木塞的孔中，使叉振動，其聲甚弱。若取盛有水的杯子一隻，放在長方的空木箱上，再取正在發弱聲的音叉，使叉柄上的

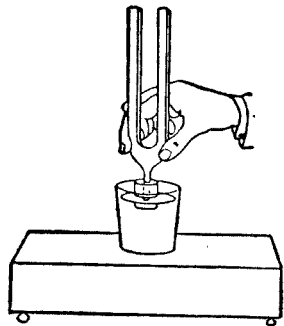


圖 127. 聲能在液體中傳遞。

木塞觸於杯中的水面，立刻可以聽到響亮的叉聲，好像從那空木箱上發出一樣。這顯示音叉的振動，由木塞傳與水，由水傳與箱，末後傳入空氣中。

把木條的一端觸在門上，他端觸在振動的音叉的柄上，便聽到叉聲好像是從門上發出的。這證明音叉的振動，賴木條傳到門上去了。

由上述種種試驗；可知氣體，液體，固體，都會傳遞聲音。

現在又要回說到密室內的琴聲，並非絕對不能傳到室外。因為琴絃的振動，得賴空氣傳給窗戶及牆壁。窗戶等被激而起振動，這振動再由室外的空氣傳入人耳。

**136. 聲的速度。** 音樂會裏的聽衆，覺得聲音從樂器發出，傳入人耳，好像無須什麼時間。但是有時會堂過大，便有回聲(echo)聽到，這是傳聲亦須時間的證據。因為樂聲直接傳來的，需時較短；樂聲遇着牆，經反射後再傳入人耳的，需時較長。倘使會堂不大，聲源離反射面甚近，則直接由聲源傳來的音與經過反射而傳來的音，人耳的先後相差無幾，聽覺不能辨別其先後，只覺其分外響亮。若是會堂過大，直接音與反射音的入耳先後，相隔較久，我們便能辨其先後，覺到回聲了。

電閃之後，常聞雷響；遠處火車鳴笛時，先見噴氣，後聞笛聲。這類事實，都可證明聲在空氣中傳遞，亦有相當的速率，同時亦可了解聲速比了光速慢得多。據實測的結果，知道聲在尋常空氣中進行時，設溫度為 $0^{\circ}\text{C}$ ，則聲速為331〔米/秒〕，溫度每增



高  $1^{\circ}\text{C}$ , 聲速便增加  $0.6$  [米/秒]。聲在水中的傳播速率, 比在空氣中大  $4.5$  倍; 在鋼中傳播的速率, 比在空氣中大  $15$  倍。

### 習 題 四 十

(假定光的的速度非常大, 在普通行程所須的時間, 可以忽視。)

1. 試解釋爆竹燃放時何以能發大聲。
2. 看見汽笛噴氣後, 隔  $2.6$  [秒] 方始聽到笛聲。試求笛離聽者的距離。

(空氣的溫度是  $0^{\circ}\text{C}$ .)  $2.6 \times 331$

3. 倘使空氣的溫度是  $15^{\circ}\text{C}$ , 試求上題中汽笛離開聽者的距離。
4. 夏天某日的氣溫是  $30^{\circ}\text{C}$ 。先見天空有雷閃, 隔  $2$  [秒] 後, 始聞雷響。試求放雷處離開聲者的距離。  
 $2.6 \times 331 + 0.6 \times 15$
5. 兩聲相隔的時間在  $1/10$  [秒] 以下者, 人耳不能分辨其先後。若對高牆叫喚, 欲聽得回聲, 則此牆至少離人幾 [米]?
6. 從井口放落一石, 石遇水面後隔  $2$  [秒] 鐘始聞石擊水聲。試求井中的水面低於井口幾 [米]?
7. 諸般樂器, 同時並奏, 遠處的聽者毫不感到不和諧的情形。試用此事實來證明各種聲音在空氣中傳播的速率是相等的。

**137. 聲波。** 聲起源於物體的振動。氣體、液體、固體的傳聲作用, 不過是把這種振動傳播開來。例如遠處放礮, 空氣能把這猛烈的振動傳到我們的窗戶或牆壁上, 使窗上的玻璃受激而起振動。有時振動過強, 玻璃會被激碎。

空氣雖能把物體的振動傳播, 但空氣的本身, 並不跟着流動。那種情形, 好比圖 126 中所示,  $A$  球去碰擊  $B$  球時, 把碰撞的

‘能’順序傳與他球，祇使最末一個 *K* 球跳起，而 *B*, *C*, *D*, 等球的位置並不移動。

音叉振動而發聲時(圖 129), 又由 *A* 動到 *C*, 便使又右鄰接的空氣中的質點, 向右移動, 壓擠而成

密部(condensation). 此密部因壓力的增加, 又壓迫其外方的空氣, 結果空氣的稠密狀態, 漸次向右傳遞. 不久又由 *C* 回到 *A*, 又右鄰接的空氣中的質點, 必向左移動, 疏散而成疏部(rarefaction), 這疏部亦緊隨於前面的密部之後, 向右傳遞. 於是音叉不息的左右振動時, 其近旁的空氣內便形成一種疏密相間的波動而向四方傳遞, 好比許多疏密相間的球形波紋, 均以振源為球心而向外傳播, 這稱做聲波(sound wave). 這亦好比一塊石子落在靜水面上, 激起一圈圈的水波的情形.

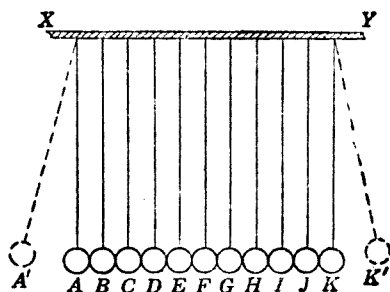


圖 128. 顯示空氣質點的傳遞作用。



圖 129. 一個完全聲波由疏部與密部合成。圖中顯示各部質點的動向。

**138. 水波。** 聲波是看不見的, 水波卻看得見。我們明白了水波的情形, 就不難推想聲波的性質。



圖 130. 聲波.

石塊落在靜水面上,那裏的水的質點受壓而向旁擠,結果就形成了圓形的脊紋,向四周擴成大圓而傳播。接踵而起的有第二個圓形脊紋,第三個,第四個,……圓形脊紋,依次緊隨其後傳播着;結果得到一組同心圓形的脊紋。它們都從同一個中心出發,向四周播送。

若水面上有一片樹葉,那末,水波興起的時候,但見樹葉上下盪動,並不隨



圖 131. 水波的波長.

水波遠行。從這一點,就可看到水面起波動時,水的質點祇是依一定的振動中心而起上下的盪動,並不隨水波而前進。凡質點的振動方向與波的進行方向互相垂直者,這種波動稱為橫波 (transversal wave)。圖 131 中,波的最高點  $b, f, j$  等稱為波峯 (crest); 最低點如  $d, h$  等稱為波谷 (trough), 相鄰的兩波峰間的距離如  $bf$ , 或相鄰的兩個對應點間的距離, 如  $dh$ , 或  $ae$ , 或  $cg$ , 或  $mn$  等, 稱為波長 (wave length)。由波峰到水平面的垂距, 稱為振幅 (amplitude)。

在水波興起時,設每〔秒〕內經過某定點的波數為  $n$ , 波長為  $l$ , 則水波的速度  $V$  是

$$V = ln.$$

每〔秒〕鐘的振動數，在物理學上稱做頻率(frequency)。

139. 聲波與水波的比較。聲波是起因於物體的來復振動，那時物體近旁的空氣質點跟隨而起來復的振動，並把振動按次傳給鄰近的空氣質點。這好比圖 129 所示，A 球的振動，可賴 B, C, D 等球按次遞給 K 球一般。所以聲波傳播時，疏密各層中的質點，祇在其平均的位置左右盪動，並不隨了聲波前進。傳遞聲波的，不是空氣質點的本身，祇是波動的疏密狀態，那與音叉或振動體接觸的空氣質點，並未傳入人耳，至於使耳中鼓膜振動的，仍是原來鄰接鼓膜的空氣質點。聲波在液體，固體中傳播情形，也是如此。又聲波傳遞時，質點的振動方向，與波的進行方向是相同的。這樣的波動，稱做縱波(longitudinal wave)。聲波是縱波，水波卻是橫波。

在聲波中的密部(圖 130)，可以認為與水波中的波峰相當，聲波中的疏部，則與水波中的波谷相當。疏密兩部之間，有一定的距離，便是聲波的波長。在聲波傳遞時，質點從平均位置所盪過的最大距離，便是聲波的振幅。設每〔秒〕內經過某定點的聲波數是  $n$  (即頻率為  $n$ )，波長是  $l$ ，聲的速度是  $V$ ，則其關係與水波的一樣，仍是：

$$V = ln.$$

140. 樂音與噪聲。琴絃振動時，其近旁的空氣連續生成

密部與疏部，成了疏密相間的聲波，向四周傳遞，進入人耳才引起聽覺。琴絃的振動很有規律，所生的聲波當然也很有規律，聽到其聲音也就覺得悅耳。但像棒擊桌面，或重物墜地，桌子，地板等所起的這類振動，絕無規律，所生的聲波也絕無規律。那時聽到的聲音，就覺得噪雜。

凡悅耳的聲音，稱為樂音 (musical tone)；不悅耳的聲音，稱為噪聲 (noise)。

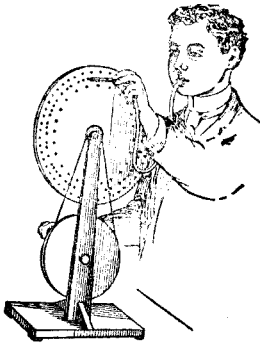


圖 132.

測 音 盤。

圓盤一枚，上有小孔數列。靠外緣的第一列小孔，其排列的間隔相等。第二列的小孔，其排列間隔不等。將圓盤裝在迴轉機上，使它急速迴轉。用口徑極小的管子，吹氣於在第一列孔上，使空氣生成有規律的脈狀振動，使得悅耳的樂音。若吹氣於第二列孔上，便生成不悅耳的噪聲。

於是可知：物體作有規律的振動時生樂音，作無規律的振動時，生噪聲。

### 習 題 四 十 一

1. 指出聲波與水波的相似處，以及根本不同之點。
2. 琴絃在  $0^{\circ}\text{C}$  時，每〔秒〕的振動數為 264。試求其聲波的長度。
3.  $10^{\circ}\text{C}$  時，琴絃振動時所生的波長是 60〔厘米〕，求絃的振動頻率。
4. 設一個完全音波， $0^{\circ}\text{C}$  時經過某定點需時 0.6025〔秒〕，試求其波長。
5. 絃的振動頻率是 1024〔次/秒〕，所生的波長是 32〔厘米〕，試求音速為若干〔米/分〕。

## 第十四章

### 樂音的要素

**141. 音調.** 將上節所說的圓盤急速迴轉，用細管吹氣於第一列孔上，就能生成樂音。若圓盤的迴轉速度愈增大，所生的音亦愈尖銳，迴轉速度降低，所發的音便覺粗鈍。盤的迴轉速度增大時，每〔秒〕鐘吹氣的脈動數增多，刺激聽覺的脈動數亦增加，結果便聽得高的音調。由此可知：音調(pitch)的高低，由物體振動的頻率的大小而定。頻率大者生高音調(high pitch)，小者生低音調(low pitch)。

物體在振動時其頻率過小或過大者，所生的音調必過低或過高。人類的聽覺，每不能覺察這類過低或過高的音。聽覺能感到的最低音調，其頻率是 16〔次/秒〕左右，最高音調，其頻率自 20,000〔次/秒〕到 40,000〔次/秒〕。人的年齡增高，感覺高音調的本領必減弱，故老年人多形聾聵。

**142. 音強.** 物體振動時所生的聲波向外方播送，所以在振動體的四周都能聽得聲音。這種狀況，可由圖 130 來想見。

用手指輕撥琴絃，發音微弱，重撥琴絃，音便響亮。所以琴絃振動愈強，即其振幅愈大，發音便愈強。無論重撥，輕撥，琴絃振

動的頻率並不改變，它的音調並不改變；但是絃的振幅愈大，聲波傳播時空氣質點被激而起振動的振幅亦愈大，傳入耳中時耳膜所受的刺激自然愈強，我們便覺聲音響大了。所以聲音的強度，即音強(intensity)或響度(loudness)，與振動體的振幅的大小有關。振幅大則音強，振幅小則音弱。

耳中所感覺的響度，又與至聲源的距離有關係。離聲源愈遠，每一聲波所及到的面積愈大，被激而起振動的質點數愈多，而每一質點所分受到的“振動能”愈小，耳膜所受到的刺激自然愈弱，因此覺得聲音也愈弱。例如離音源 10〔米〕處比較 20〔米〕處所聽到的強度，要大四倍；比較 30〔米〕處要大九倍。這是因為半徑為 10〔米〕的甲球面，對半徑為 20〔米〕的乙球面，其面積之比為 1:4。甲、乙球面上質點數目之比，亦為 1:4。但是甲、乙球面上每次所受到的振動能，都是物體振動一次時所給的能，其量相等。那末甲、乙球面上各質點所分受到的‘能’之比為 4:1 了。即在甲處的音強，4 倍於乙處者。所以音的強度，與離開聲源的距離之平方成反比。

人向圓筒發言，可把聲波集中在一個方向上傳播，不再散布到四方，那時物體振動之能，亦不至於散布到廣大面積去，因而聲音沿了一個方向，可以傳到遠處，音強不很減弱。通常用的傳話筒(speaking tube)，就根據這個原理而製成。

人在高山頂上對話，覺得聲音的強度比較平地處要弱些，因為高處的空氣稀薄，傳聲艱難。所以聲音的強度與傳聲介質的密度有關，密度小者，傳聲比較艱難，音強必減弱。

**143. 音品.** 胡琴與洞簫所發的音,其音調與音強可調節到完全相同,但聽者仍能辨別這是琴聲,那是簫聲。這種的不同點,稱為其**音品**(quality)不同。(解釋見第 150 節。)

音調,音強,音品,稱做**樂音**的三要素。

**144. 共振板.** 音叉振動時發聲極弱,除非把音叉移近耳側,往往聽聞不清,這是因為叉的面積甚小,激動的空氣量甚少,“能”的傳入空氣中者亦少。倘若把叉柄觸於桌面,則音叉振動時,室內的人均聞其聲。這是因為音叉的振動傳至桌面,桌面亦起同樣的振動。桌面甚廣,振動時,可以激動多量的空氣,使它振動,“能”的傳入空氣中者自多,所以聲音增強了。

胡琴的振動,必用竹馬使它先傳到蛇皮膜上,發聲才會響亮。其他的絃樂器上,也都裝有薄膜或薄板,絃振動時,這類薄膜或薄板受迫而起振動,把“能”傳遞給鄰近的空氣,則聲音便格外響亮。此類薄膜或薄板,稱做**共振板**(sounding board)。

## 習 題 四 十 二

1. 樂音的要素有幾,其名稱為何?
2. 音調與波長有何關係? 音強與波長有何關係?
3. 用槌叩鐘後,聽得鐘聲的強度漸漸降弱,何故?
4. 甲放一槍,使乙,丙二人都聽到。若乙距甲 500 (米),丙距甲 1000 (米)。試求乙丙二人所聽得槍聲的響度比。
5. 試比較砲聲,槍聲的不同之點。



6. 試比較男女聲音的不同點。
7. 試舉出具有共扼板的樂器四種。

## 第十五章

### 基音與諧音

145. 强迫振動與共振。上節說過：音叉的柄觸於桌面，使叉振動而桌面受激，“能”就靠了桌面傳遞給空氣，使叉聲格外響亮。引起這種振動，可不問桌面自身的性質以及音叉的頻率如何，這樣的振動稱做强迫振動(forced vibration)。

反之，聲波或其他輕微的脈搏振動遇着物體，若那物體的自然振動頻率與這外來的脈動的頻率適相符合時，那物體的振動就會特殊的強烈起來。這樣的振動，稱做共振 (sympathetic vibration, 或 resonance)。

取頻率相等的音叉兩支，同放在桌上，相距1〔米〕許。用軟質的槌來猛擊一叉，使它發生強烈振動隨後用手握之，使它振動停止，就可以聽得另一支音叉，已在那裏振動發聲。倘便在一隻叉上黏些輕微物質，使其頻率減低，此時兩支音叉的頻率不再相等，用槌擊其一，使它發聲，隨即使它停止振動，那時另一支音叉不再起共振作用而無聲了。

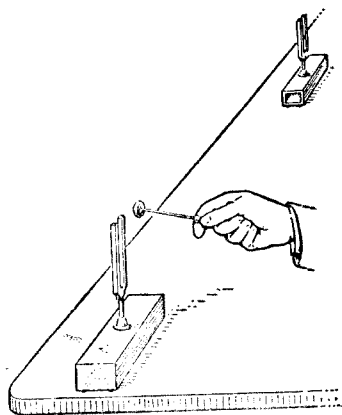
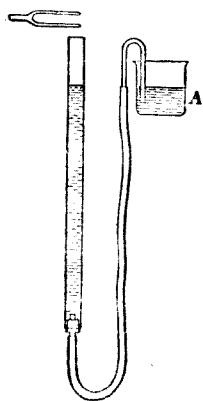


圖 137. 共振。

由是可知，二音叉的頻率相等者，擊其一，他一叉就會受激而

起共振。若二音叉的頻率稍異，共振便不可能。其理由實在不難探求。因為音叉自身振動時所發的力量本已很弱，在距離稍遠處所感受到它的力量更微，假使另一靜止的音叉不是振動頻率與前一音叉相同，便不能順勢按時地連續接受到它的推動，因而不能使它共起振動作用。所以音叉間自然頻率稍有不符者，就不能發生共振。

146. 共振器。取已知頻率的音叉鳴於筒口(圖 134)，再上下



A 杯的位置，以變更筒中水面的高低。那末水面由筒口緩緩下降到某定點時，就聽得叉的鳴音忽然增強，而起共振作用。

另取頻率不同的音叉，如法試之，就可發見音叉頻率大者(聲波短者)，能起共振作用時的水面高；頻率小者(聲波長者)，能起共振作用時的水面低。這就表明聲的波長愈長，共振時的空氣柱亦愈長。

設已知音叉的頻率是  $n$ ，用此頻率  $n$  去除聲速  $V$ ，即可求得波長  $l$ ，即

$$l = \frac{V}{n},$$

再觀察實驗的結果，就會發見能生成共振作用時的空氣柱之最短長度，為波長的四分之一。這是因為叉由  $a$  下擊(圖 135)，叉下的空氣形成密部而下降，遇着水面經反射後再折回到筒口

圖 134. 顯示共振作用。

時，又剛由  $b$  上擊。則由叉上擊的作用，與反射回來的聲波同時都使筒口的空氣質點，發生上向移動，所以質點的振幅增大，音的強度亦因而增大。又由  $a$  到  $b$  所需的時間，為聲在空氣中進行半個波長的時間。在這時間內，聲波所經的路程是空氣柱長度的兩倍。所以共振時的空氣柱長度是聲波波長的  $\frac{1}{4}$ 。

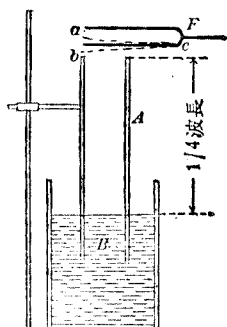


圖135. 共振時的空氣柱最短長度為波長的  $\frac{1}{4}$ 。

空氣柱的長度若增至聲波波長的  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{5}{4}$ ,  $\frac{7}{4}$ , …… 倍等，亦可得到共振的效應。這是因為又由  $a$  下擊時所生的密部經反射回到筒口時，音叉剛好是第二次，第三次，或第四次由  $b$  上擊的緣故。

### 習 題 四 十 三

1. 試用打鞦韆的方法來說明共振。
2. 以耳接近罐口，聽得營營之聲，何故？
3. 室溫  $0^{\circ}\text{C}$  時，以頻率為 256 [次/秒] 之音叉鳴於有底之筒口而能共振，試求這筒的可能長度？再求共振時這筒最短的長度。
4. 用圖 135 的裝置，在  $0^{\circ}\text{C}$  時測得某音叉放在筒口而共振，最短的空氣柱長為 31.37 [厘米]。試求此音叉的頻率。
5. 共振及強迫振動有何分別？

147. 基音與其諧音。 用手指彈撥琴絃的中部，便見那絃

作整個的振動，其外形如圖 136 所示，其音輕清而柔和。這是此絃所能發出的最低音調，稱做**基音** (fundamental tone)。如以一指按住琴絃的中部，再在指與絃端間的中點彈撥，那末所生

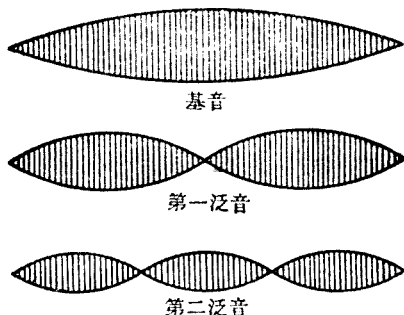


圖 136. 絃振動的基音與其泛音。

之音高於基音，若測其頻率，則知適好 2 倍於基音的頻率。所以稱做基音的**第一泛音** (first overtone)，或稱**二倍諧音** (second harmonic)。如以指按住琴絃的  $\frac{1}{3}$  處，而在指與絃端間的中點上彈撥，使全絃的  $\frac{1}{3}$  部分起振動，則所生的音更高，測得其頻率適為基音頻率之三倍，這稱做基音的**第二泛音** (second overtone) 或**三倍諧音** (third harmonic)。

由此推知：一根絃作整個振動者，產生基音；分二個等段振動者，產生第一泛音或二倍諧音；分三個等段振動者，產生第二泛音或三倍諧音；餘可類推。各種諧音的與基音的頻率之比為 2, 3, 4, 等。

**148. 絃的振動定律。** 琴絃的基音的音調，全靠絃的粗細，

長短，以及所受張力而定。絃愈粗而長者，在振動時的頻率愈小；所受張力愈大者，頻率愈高。由實驗可知：絃的基音的頻率與絃長成反比；與張力的平方根成正比；與單位長度的質量的平方根成反比。用胡琴奏樂時，以指按絃，改變其長度，就可改變音調。用卷絃線的軸改變絃的張力時，亦可改變音調的高低。

149. 基音與其諧音可同時產生。以指彈撥琴絃的中部，可產生柔和的基音。若以紙條或羽毛輕觸於那條絃的中部，音即消失。

今以指彈撥絃上離一端  $1/4$  絃長處，則見絃的振動狀況如圖 137 所示，所發的音，不及從前的那樣柔和。若輕觸這條振絃的



圖 137. 基音與其諧音同時產生。

中部，一部分的音隨而消失，剩留下來的是二倍諧音。因為用手指撥絃的中部，所發生的只有基音，所以輕觸中部，基音消失，聲音全無。彈撥離端  $1/4$  的絃長處，所發的音，便是由基音與二倍諧音合組而成，若觸絃的中部，基音雖即消失，而其二倍諧音仍舊剩留。同理，彈撥離弦端  $1/6$  的絃長處，再輕觸離絃端  $1/3$  的絃長處，則剩留的音定是三倍諧音。

由此可知，任意彈撥琴絃時所發的音，是一種複雜的音，並不

單純。這種複雜的音常由基音與若干種諧音合組而成。

**150. 音品的解釋。** 同是一根琴絃，撥其中部與撥其他部分所發的音，其音調與強度可以完全相同；但留心細聽，前者柔和，後者宏亮，顯然仍有不同之處，這一點特稱為音品的不同。從上節所得的結果推考起來，可知音品的不同，是由於不同的諧音混和在基音之中而起。

胡琴絃發的音，其音調與音強儘管調節到與簫或笛等所發的音完全相同，而聽者仍能一聽便知為琴聲，為簫聲，或為笛聲；因為音調與音強相同時，祇是各樂器所發的基音相同，至於混和在各基音中的諧音的種類及其顯著的程度卻絕不相同，於是其音品大異，我們得據以辨出發音樂器的種類。換句話說，音品是靠撥和在基音中的諧音種類及其顯著的程度而定。 諧音的數目少而弱者，其音柔和；數目多而強者，其音宏亮。

赫爾姆霍斯氏 (Helmholtz) 曾造一套共振器，每一器對於某種波長的音能夠發生特殊的共振作用。某種樂音奏發時，赫氏



圖 138.

赫氏共振器。

可用他的共振器，來檢出這音中的基音為何，並檢知混雜其中的諧音有那幾種，而且決定各種成分音的強度如何。然後在若干組音叉中，選出某某幾隻音叉，它們的頻率各各相當於所檢出的許多成分音，再使諸音叉同

時以應有的強度並奏，就可以摹仿原來的聲音。

## 習 題 四 十 四

1. 音品的不同,其原因何在?
2. 使一琴絃改變其音調的方法有幾種?
3. 某絃的基音的頻率為  $400$  [次/秒],今將絃的長度與張力同時加倍,試求其基音的頻率。
4. 某音的基音的頻率為  $512$  [次/秒], 試求混雜在內的二倍諧音與三倍諧音的頻率。
5. 赫氏用他的共振器證明了些什麼?
6. 用胡弓擦於琴絃離一端  $1/7$  的絃長處,比較擦在中部時所發的音宏亮,何故?



## 第十六章

### 音樂與樂器

**151. 拍音。** 二聲波相遇後，合併的聲音有時會得加強，有時反而減弱，這現象稱做聲的干涉(interference)。

取相同頻率的二個音叉，使它同時振動發聲，那末合成的聲音常平和而圓潤。今於一音叉的叉端上黏些輕質物體，使其頻率稍減，然後再使這不同頻率的二音叉同時發聲，結果所得的聲音，非但不平和圓潤，而且時高時低，好比脈搏狀態。這脈搏似的音，稱做拍音(beat tone)。

**拍音的解釋。** 拍音起因於二聲波相遇後所生的干涉作用。二聲波相遇怎樣能增強，請看圖 139。圖中曲線 A 代表一種聲波，曲線 B 代表另一種聲波。設 A 與 B 的頻率相等，在它們遇合時，若 A 波的密部適好與 B 波的密部相遇，A 波的疏部與 B 波的疏部相遇，那末合成的波的疏密部分的振幅都各各增大

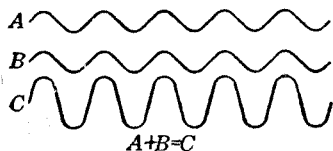


圖 139. A 波與 B 波的頻率相等，但振幅不一定要相等。若其密部與密部相遇，疏部與疏部相遇，則聲音增強如 C 波所示。

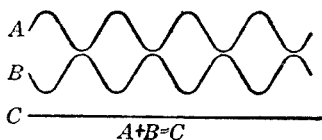


圖 140. A 波與 B 波的頻率與振幅都相等，但 A 的密部與 B 的疏部相遇而 A 的疏部與 B 的密部相遇，則相抵消而聲絕滅。若 A 波與 B 波的振幅不等，結果怎樣？

如曲線  $C$ ，因而音強亦見增加。

若聲波  $A$  與  $B$  的頻率與振幅都相等(圖 140)，在遇合時  $A$  的密部適與  $B$  的疏部相遇， $A$  的疏部與  $B$  的密部相遇，結果疏密部便互相抵消，波即消失，如曲線  $C$  所示，聲亦絕滅。

若  $A$  波與  $B$  波的頻率不等(圖 141)， $A$  波的某部與  $B$  波相遇而加強(如圖中之  $R$ )，另有某部與  $B$  波相抵消(如圖中之  $I$ )。如  $A$  的頻率為 256 [次/秒]， $B$  的頻率為每 255 [次/秒]，則每 [秒] 內，聲音要起伏 1 次，故稱每 [秒] 內的拍數為 1；設  $A$  與  $B$  的頻率相差 2 次，則每 [秒] 內聲音就起伏 2 次，即每 [秒] 的拍數為 2。所以：

二聲相遇時，其結果聲音的拍頻(即每[秒]的拍數)等於二音的振動頻率之差。

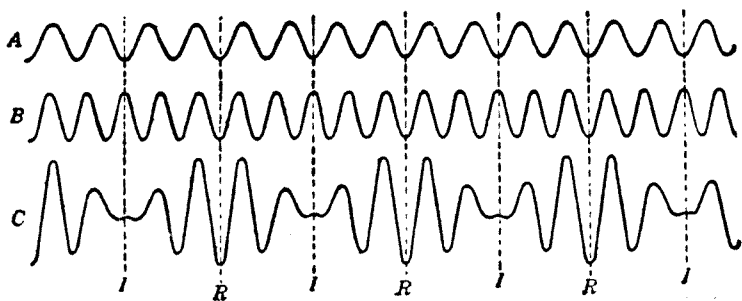


圖 141. 拍音的來由， $R$  為加強， $I$  為抵消。

[注意上圖在二  $R$  部之內， $A$  有 4 次振動， $B$  有 5 次振動，並有 1 次拍音， $A$ ， $B$ ，二波之振動次數上也有 1 次相差。]

152. 諧和與不諧和。二音遇合後，其結果很悅耳者，曰諧和 (consonance)；不悅耳者，曰不諧和 (dissonance)。二音相

遇,除非它們的頻率相等,否則必生拍音。其拍頻在5〔次/秒〕以下者,尚非絕端的不悅人耳。不過拍頻增加,悅耳的程度銳減,不諧和的情況格外顯著。拍頻增至30〔次/秒〕左右,不諧和的程度最大。但是拍頻增到70〔次/秒〕左右,諧和的情況反而又重新產生。

有時二種樂音的基音是諧和的,但與混雜其中的泛音卻不相諧和,這兩種樂音亦就變為不諧和。例如C音的頻率為256〔次/秒〕,B音的頻率為480〔次/秒〕。二音遇合後的拍頻為224〔次/秒〕,本來可以諧和的,但是C音的第一泛音與B音之頻率差為 $512 - 480 = 32$ 〔次/秒〕,是絕對不諧和的,結果C音與B音合奏也變為不諧和了。

153. 音階(musical scale)。在金屬圓片近邊緣處,有等間距的小孔四列,其分布情況如圖143所示。各列上的孔數依

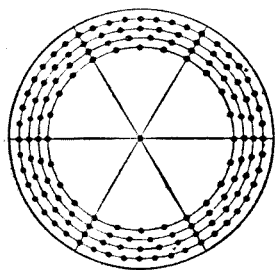


圖142. 可以產生 do, mi, sol, do' 四音的圓片。

次為24, 30, 36, 與48;孔的直徑約為0.5〔毫米〕。將片置於迴轉機上搖轉,用小口徑的玻璃管依次吹氣於各列小孔上,便發出 do, mi, sol, do' 的樂音。如片的迴轉速度增大,各列所生的音調都增高,但是它們的次序仍是 do, mi, sol, do', 因為它們的頻率之比,仍為24 : 30 :

36 : 48(即4 : 5 : 6 : 8)。二音頻率之比,稱做音程(interval)。

例如 mi 音至 do 音之音程為  $\frac{5}{4}$ , sol 音至 do 音之音程為  $\frac{6}{4} = \frac{3}{2}$ 。

如用兩支吹氣管，一支對準 24 小孔的列上，一支對準 48 小孔的列上，則 do, do' 二音同時並奏，諧和異常。其頻率之比為 1 : 2, 我們稱 do' 音較 do 音高一個八音度(octave)。如使 do, sol 二音並奏，或 sol, do' 二音並奏，亦極諧和，考其頻率之比，在 do, sol 為 2 : 3, 在 sol, do' 為 3 : 4。從經驗告訴我們，do, mi 二音並奏，亦尚諧和，其頻率之比為 4 : 5。從這些事實，明示：諸音諧和的條件，其頻率之比須很簡單。

do, mi, sol 三音的頻率之比是 4 : 5 : 6, 如把這三音同時並奏，所得的音調，異乎尋常的悅耳。這就是音樂上所稱的長三和音(major chord)。普通所用的長音階(major diatonic scale)是由三組長三和音所組成，茲列表如下，第一組長三和音以 I 示之，第二，第三組分別以 II 與 III 示之。

符號	C	D	E	F	G	A	B	C'	D'
音名	do	re	mi	fa	sol	la	si	do'	re'
至do的音程	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2	$\frac{9}{4}$
	I		I		I				
					II		II		II
				III		III		III	

風琴或鋼琴上的鍵盤排列如圖 143 所示，圖中的白鍵代表一個八音度，黑鍵代表其左右二白鍵間的半音，賴此可以組成別種的音階。

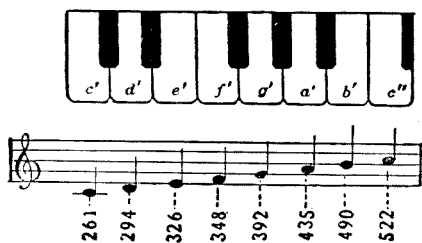


圖 11. 風琴或鋼琴的鍵盤。

C 音的頻率，本可隨意擇定，作為全音階的出發點，其餘諸音，可按照應有的音程推算之。音樂家所謂‘標準 A 音’的頻率為每 435 [次/秒]

則 C 音為  $435 \times \frac{2}{3} = 290$  [次/秒] (圖 143)。在物理實驗室中，則採用 256 [次/秒] 為 C 音叉的頻率，以便於計算。

### 習題四十五

1. 按物理實驗室的標準，C 音叉的頻率為 256 [次/秒]，試推算其全音階中的諸音的頻率。
2. 設 C 音的頻率為 300 [次/秒]，試求 F 音與 A 音的頻率。
3. B 音與 C' 音為何極不諧和。
4. 二音相諧和的要件是什麼？
5. 某音叉的頻率為 512 [次/秒]，試求較此高一個八音度的音叉的頻率。試求較此低一個八音度的音叉的頻率。
6. 二音相遇，怎樣可以加強，怎樣可以減弱？
7. 甲乙二絃發音時，每 [秒] 的拍數為 5，如甲絃的頻率為 256 [次/秒]，把乙絃稍加卷緊，則拍數反減，求乙絃的原頻率。
8. 二音相遇所生的拍頻為 4 [次/秒]，如一音的頻率為 296 [次/秒]，試求他一音的可能頻率。
9. 音叉發音的時候，把它置於身旁而迴轉時，就覺所發的聲音時強時弱，這是什麼緣故？

**154. 絃樂器。** 利用絃的振動來奏樂的器具，曰**絃樂器**，如胡琴，琵琶，月琴等。胡琴有內外二絃，內絃粗，外絃細。用弓擦絃，絃即振動發音。以指按絃上下，可以節制絃的振動部分的長度，就可以改變音調。在空絃時（手指未按），內絃發 do 音，外絃發 sol 音。用手如圖 144 按於絃上，就能得一個八音度。

月琴上共有四絃，分成內外二部，內絃有兩根，外絃亦有兩根。兩根內絃的長短粗細與張力均同，故發音亦同，用指彈撥，發生同頻率的雙音，外絃亦然。彈撥空絃時，內絃發 do 音，外絃發 sol 音。以指按絃可節制振動部分的長度，因而發生各種頻率不同的樂音。

三絃的絃凡三根，琵琶的絃凡四根，均用指甲撥之成音，用指按絃上下以改變音調。

凡是絃樂器，絃的振動，均賴竹馬等傳至共振板，激動多量的空氣，故“能”的傳入空氣較易，音的強度也就賴以增大。欲使絃撥動時發生宏亮的樂音，必彈撥於其近端的部分，使基音外尚有各種泛音混和其中。

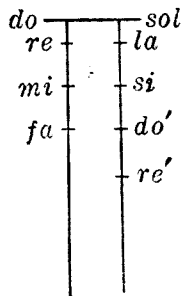


圖 144.

胡琴按法之一種。

**155. 管樂器。** 使音又在閉管的口上振動時，倘使管長適為音的波長之  $1/4$ ，就能發生共振作用。如果採用的管子，它的兩端都是開口的，要能發生共振作用，管子的最小長度必為波長

的  $1/2$ 。

今使空氣依斜向吹在管口上，使其受摩擦而引起振動。利用這種振動來替代音叉的振動，把管子當做共振器，那末所能發生的最低基音，以閉管而論，其波長必為管長的四倍；以開管而論，其波長必為管長的二倍。

簫與笛是常見的管樂器，管中空氣柱的振動，由於吹者口唇所激動，更有加用笛膜者。管壁有一列小孔，用手指按着啓閉，藉以調節管長。管長既可改變，所發的音調自然亦可改變。

軍號的發音，是靠吹奏者的嘴唇在那裏振動。因為管長一定，奏出來的都是基音的泛音。

**156. 聲帶。** 鑼，鼓，與鐘的發音，由於薄板的振動，電話聽筒與留聲機唱頭內的發音，由於薄膜的振動。人們的言語唱歌，則由於聲帶(vocal chords)的振動。聲帶是二條薄膜，分列於喉管的兩旁。若聲帶上的肌肉緊張，則振動頻率增高，發音尖銳；鬆弛，則振動頻率減小，發音低鈍。口腔與鼻腔，是天然的共振器。改變口腔的形狀，可以改變泛音的數目及顯著的程度。所以學習唱歌，實在是訓練善用聲帶與口腔的天然共振器的本領。

**157. 留聲機。** 人向張緊的薄膜發聲，薄膜受聲波的激盪，會向前後振動。這種振動，可利用銳針傳至迴轉的蠟質圓板上，在板上刻成深淺不等的紋路。若是把這張記載聲波的蠟

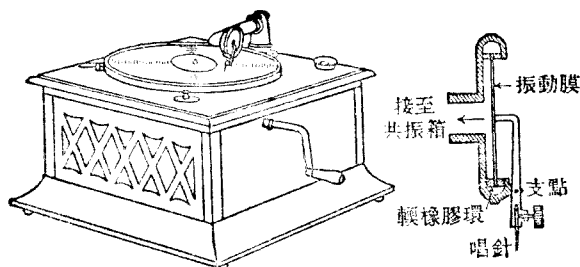


圖 145. 留聲機。

板，用電鑄法製成紋路凹凸與蠟板相反的銅板，再用此銅板壓在溫軟的硬橡膠板上，印出紋路來，其凹凸與原來蠟板上的紋路完全相同。橡膠板冷卻後即行硬化，成為留聲機唱片。把機頭上的唱針尖，放於唱片的紋路上，那末唱片迴轉時，針尖循着紋路前進，隨起振動。此振動傳到雲母膜上，膜起振動，因而激起聲波。這時的聲波，與原來聲波絕對相似，於是耳中便聽得原來的聲音。再藉共振箱等的幫助，可把聲音的響度增強。

### 習 題 四 十 六

1. 以弓擦在琴絃的中部與近端處，所生的音有什麼區別？
2. 一竹管，長 1 [米]，其兩端均是開口，吹氣於其一端的口上，所發的最低音之波長是幾 [米]？若用物閉其一端而吹之，所發的最低音之波長是幾 [米]？
3. 簫與笛有什麼不同？
4. 用簫或笛奏樂，冬夏兩季所發之音有什麼不同？
5. 使留聲機唱片的迴轉速度增大或減小，則所發的音有何不同？



## 第十三章至第十六章復習題

1. 音的響度由何而定？
2. 火車的汽笛在列車漸近時比漸遠時有較高的音調，何故？
3. 風琴上某一樂音發生時，有時會使一塊窗玻璃振動，何故？
4. 鋼比空氣重數千倍，爲什麼空氣波能使音叉發生振動？
5. 爲什麼絃樂器發生悅耳之音？
6. 試說明(a)圓鋸鋸木(b)車胎爆裂，(c)弓擦琴絃發生聲波的情形。
7. 遠處的爆炸有時會使窗玻璃激碎，何故？
8. 給你一支槍，一只停錶，一支溫度計，你怎樣利用它們來測量一個湖的闊度？如何計算？
9. 試舉一例，說明聲速比光速小。
10. 試舉幾個傳聲的例，其介質不是空氣。
11. 一個波動傳播的速度是不是與波中質點的速度相同？
12. 一根琴絃振動頻率是 435 [次/秒]，在空氣溫度爲  $15^{\circ}\text{C}$  時，發出的波長如何？
13. 奏下列樂器如何從低音變到高音：(a)胡琴，(b)笛，(c)喇叭？
14. 拍音是如何產生的？
15. 留聲機唱片轉動加快時，其音調增高。彈琵琶加快時，音調是否亦增高？

## 第十七章

# 光 與 光 源

**158. 發光體。** 點着的蠟燭，燒紅的木炭，通電的電燈，均能發光，稱做發光體(luminous body)。太陽是常明不熄的燈，照耀得大地光明。地上各物，如粉牆，白紙，鏡子，鑽石等，受着日光的照耀，看來好像亦能發光；可是日落之後，大地昏黑，各物便不爲人目所能見。凡物體自己不能發光，必賴日光，燈光照射其上，纔能給我們看見的，祇可稱做被照體(illuminated body)，不能稱做發光體。

月球本身不能發光，須有日光投射其上，才給我們看到。因爲月與地球的相互位置時時變動，月球被人們看到的光亮部分，亦逐日改變；新月如眉，盈月如盆。

**159. 光的直行。** 在房屋的窗戶上遮以黑幕，使室內黑暗，在南窗上開一小孔，令日光由此小孔射入室中。假使室內有微塵，便可看見日光經過處是一條光亮的直線\*。日光射在地板上就得到一個圓形的日像。從這個試驗，可以直接看見光依直線的路徑進行。

一盞燈可以照耀得滿室光明。人在任何位置，只須目與燭火

---

\*假使室內毫無塵埃，光的進行路徑不易看見，可燒化一張廢紙助之。

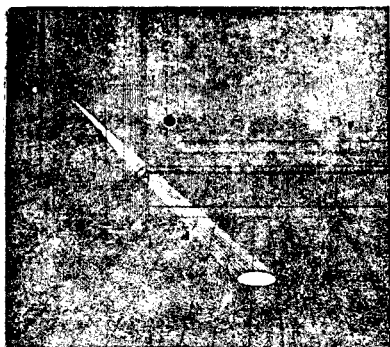


圖 146.

光的直行。

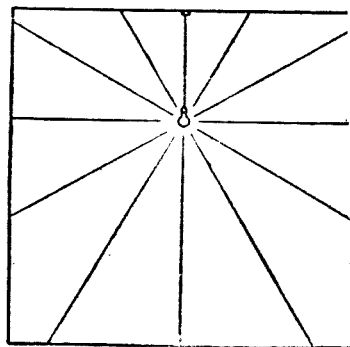


圖 147.

燈光向四面八方散射，依直線進行。

間無物阻隔，都有光線射入目中。所以燈光是向任何方向依直線散射的(圖 147)。太陽的發光亦然。如此，地球繞日而迴轉，地球面上向太陽的一側，受日光照耀時是白晝，他側受不到日光，便是黑夜。

**160. 影。** 把物體放在光線進行的路上，必能阻止光線的前進，物後就生黑暗部分，即影(Shadow)。人立於日光或燈光下所生的影，不僅指地上的人影而言，凡是你的身體後面不受光之處，都

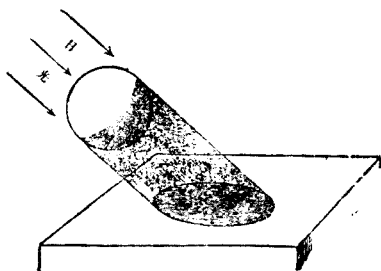


圖 148. 一球置於日光中，一半受光，一半不受光。凡球後光線所不能達到的地方，是影。

屬於影的部分。

地球受日光照耀所成的影，伸展到數萬〔里〕以外(圖 149)

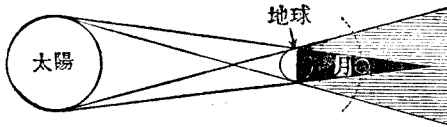


圖 149. 月球行進地球的影子中，造成月蝕。

同理，月球向日的一側是光亮的，背日的一側是黑暗的，其影，亦伸展於空間中。月球行入地球的影內，其上便受不着日光的照射，因而月球隱沒，成爲月蝕(lunar eclipse)。地球行到月球的影內，其向日面的某一地區，亦不能受到日光，因而那裏的人祇看到晦暗的太陽，這便是日蝕(solar eclipse)。

燭光照在白紙上，一物放在紙與燭的中間，紙上就生黑影。倘使物離紙面甚近，紙上的物影呈均勻的黑暗，物離紙面漸遠，則見影的中部黑暗，向外逐漸淡薄，這種現象的產生，亦由於光

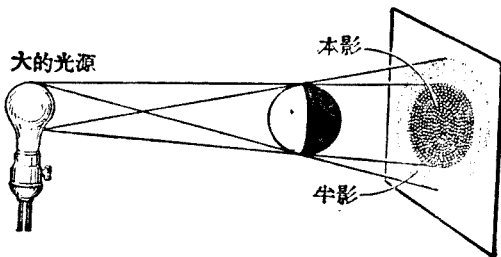


圖 150. 本影與半影。

的直行而來。如圖 150, 影的中部, 光線絕對不能射到, 稱為**本影**(umbra), 本影的周圍, 可有一部分燭光射到, 黑暗程度比較淡薄, 稱做**半影**(penumbra)。

161. 晝夜的長短。 夏日高懸天空, 冬日似離地較近。 你若留心觀察中午時的竿影或塔影, 日高則影短, 日低則影長, 若知道物影的長度, 就可以推算太陽的高度。 這個方法, 早被古時的天文家所採用。

中午的塔影, 為何冬日長而夏日短? 這因為地球繞日公轉, 對於太陽的相互位置, 四季不同。 地球還有自轉作用, 生成晝夜的變化, 其自轉之軸, 並不垂直於公轉的軌道面(圖 153)。 夏季, 太陽光直射於地球的北半球上, 北半球的大部分被有日光,

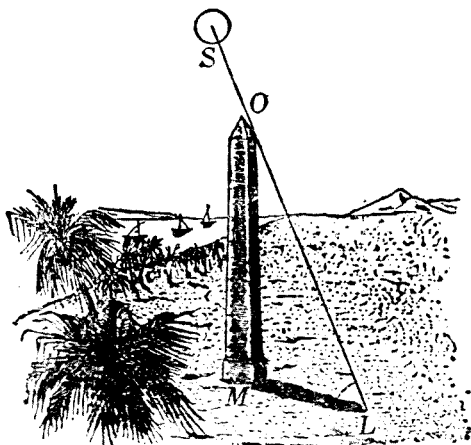


圖 151. 日高則影短。

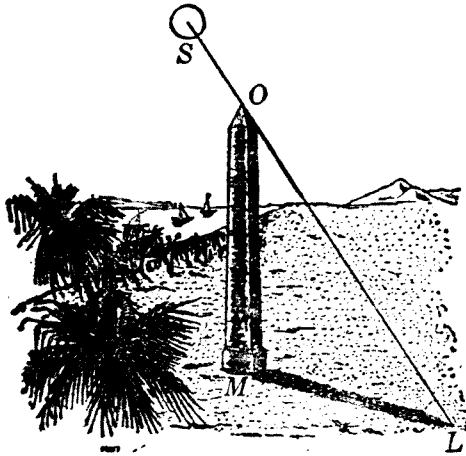


圖 152. 日低則影長。

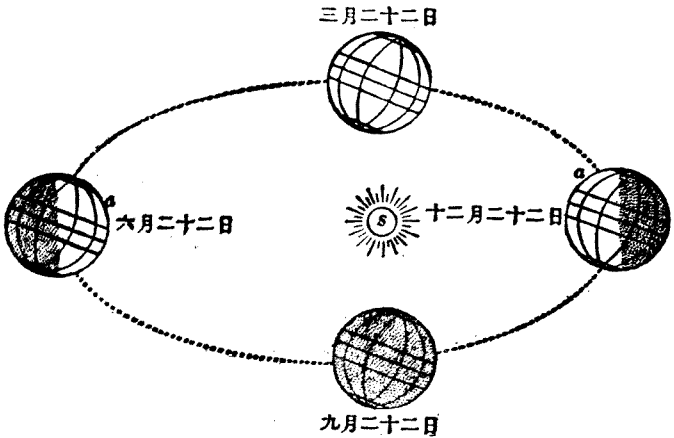


圖 153. 四季中的晝夜長短的不同。

故夏日高懸，晝長夜短。冬季，太陽光斜射於地球的北半球上，北半球的大部分是在暗黑中，故冬日較低，晝短夜長。

**162. 光的速度。** 光在空氣或真空中的進行速度極大，每〔秒〕約為 300,000〔仟米〕，相當於每〔秒〕內繞行地球七匝半。但光在其他各種透光體中進行時，因物質的種類不同，故速度亦異。其在在透光體中的速度較在空氣中者為小。由實驗測知，光在水中進行的速度，約為在空氣中進行者之  $\frac{3}{4}$ 。在普通玻璃中進行的速度，約為在空氣中進行者之  $\frac{2}{3}$ 。

### 習 題 四 十 七

1. 爲什麼地球上各地不能同時看見日蝕？
2. 爲何夏日高懸，晝長夜短，冬日較低，晝短夜長？
3. 說明日蝕與月蝕的理由。
3. 發光體與被照體，有什麼分別？試各舉三種實例。
5. 設月球的直徑爲 3200〔仟米〕，日球的直徑爲 1,400,000〔仟米〕，月離日 150,000,000〔仟米〕，試求月亮的全影的長度。
6. 太陽的光，傳到地球，需時 8〔分〕18〔秒〕，求日球與地球間的距離。
7. 天狼星是極明亮的星，離地球約爲 40,000,000,000,000〔仟米〕。設那星忽然消滅，地球上的人們須隔了多少時日，方能覺察？

**163. 照度。** 設  $A, B, C$  三點至燭火的距離之比爲 1:2:3。在  $A$  點放 1〔厘米〕見方的硬紙片，使燭光正射於其上，則在  $B$

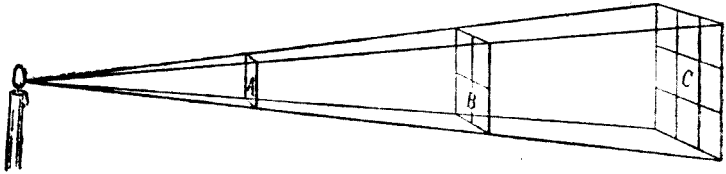


圖 154. 反平方定律的證明。

處得一影，其面積適為 2 [厘米] 見方，即 4 [平方厘米]；在 C 處得一影，其面積為 3 [厘米] 見方，即 9 [平方厘米]。倘使 A 處 1 [平方厘米] 上的光線，不被遮斷，到了 B 處就要分布在 4 [平方厘米] 的面積上；到了 C 處，就要分布在 9 [平方厘米] 的面積上。換言之，A, B, C 三處所受到的光的總量是相等的，但其分布的面積之比為 1 : 4 : 9。故 B 處每 [平方厘米] 上照到的光量，必為 A 處的  $1/4$ ，C 處每 [平方厘米] 上照到的光量，必為 A 處的  $1/9$ 。

所以，光線正射於物面，此面上的照度 (intensity of illumination) 與物面至光源的距離的平方成反比。

光源所發的光的強度，稱做**光度** (luminous intensity)。光度的單位是**燭光** (candle power)，原來是以標準蠟燭所發的光為根據的<sup>(1)</sup>。現在實驗室中，多採用標準的電燈，其光度的 [燭光] 數已經與標準燭光比較測定。家庭所用的 40 [瓦特] 的電燈泡的光度，約為 30 [燭光]。

距離 1 [燭光] 的光源為 1 [米] 處的面，受其正射的光所生

[註](1) 英國所採用的標準燭光，為鯨油燭每 (小時) 燃去 7.776 [克] 所發之光度。所謂國際燭光 (international candle)，是以戊烷 (pentane) 燈所發光的光度之  $1/10$  為標準。



的照度，稱做 1〔燭米〕(candle meter)。100〔燭光〕的電燈光，正射於離燈 1〔米〕的面上所生的照度，是 100〔燭米〕，正射於離燈 2〔米〕的面上所生的照度為 25〔燭米〕。據此可以推知離燈 5〔米〕處的面上之照度為 4〔燭米〕，離燈 10〔米〕處之照度為 1〔燭米〕。即：

$$\text{照度, [燭米]} = \frac{\text{光度, [燭光]}}{\text{距離}^2, [\text{米}^2]}.$$

164. 本生光度計。白紙上滴一油斑，滴處成為半透明。持紙近窗，觀察紙的向窗面，則油斑較其周圍晦暗，觀察紙的背窗面，則油斑較其周圍光亮。從這事實，就可以明白在一紙的兩面上的照度不等時，若觀察其較亮面，則油斑呈晦暗；若觀察其較暗面，則油斑呈光亮。若紙的兩面的照度相等，則無論從那一面去觀察油斑，其光亮程度相同。本生氏利用這原理，造成一種儀器，用以比較兩種光源的光度，稱做 本生光度計 (Bunsen's photometer)，如圖 155 所示。

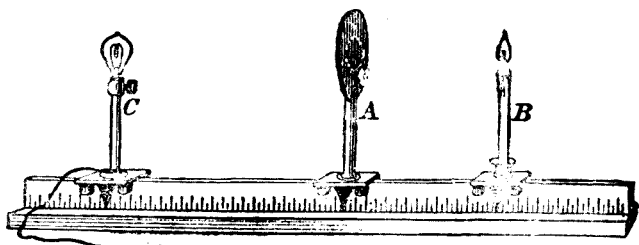


圖 155. 本生光度計。

在米尺的'A處裝一有油斑的白紙屏，B處為已知〔燭光〕數值的標準光源，C處為受試驗的燈。將'A左右移動，到了適當的位置時，從紙片的任何一面去觀察油斑，均呈同一光亮程度，此時紙的左面受到C光的照度，便與紙的右面受到B光的照度相等。量度距離AC與AB，則據：

$$\begin{aligned} A \text{ 上任一面的照度, [燭米]} &= \frac{\text{標進光源 } B \text{ 的光度, [燭光]}}{\overline{AB}^2, [\text{米}^2]} \\ &= \frac{\text{燈光 } C \text{ 的光度, [燭光]}}{\overline{AC}^2, [\text{米}^2]} \end{aligned}$$

可求得燈光C的光度的〔燭光〕數。

### 習 題 四 十 八

1. 桌面離50〔燭光〕的電燈2〔米〕時，其照度最適合讀書寫字。今若改用25〔燭光〕的燈，試求燈離桌面的距離應為若干〔米〕？
2. 戲臺上的照度應有30〔燭米〕。今於距離小型戲臺5〔米〕處裝一燈，求此燈的強度應為幾〔燭光〕？
3. 一盞40〔燭光〕的電燈，離幕120〔厘米〕。今用100〔燭光〕的電燈代替此燈，使幕上所生的照度如舊，試計算燈與幕間的距離。
4. 試述本生光度計的構造原理。

## 第十八章

# 光的反射

**165. 光的反射.** 利用平面鏡,將一道日光投射入暗室。移動室外平面鏡的位置,務使光線投射於室內另一平面鏡上。

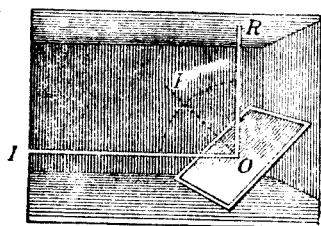


圖 156. 光的反射。

射入的光線,經反射後,投射於天花板上。在光線遇鏡面的一點上,依面的垂直線豎立一線  $OP$ , 將  $\angle IOR$  分成  $\angle IOP$  及  $\angle ROP$ .  $IO$  稱做入射線 (incident ray),  $RO$  稱做反射線 (reflected ray),  $OP$  稱做法線 (normal), 這三條線是在同一平面內的。  $\angle IOP$  稱做入射角 (angle of incidence),  $\angle ROP$  稱做反射角 (angle of reflection). 這兩角是相等的。

光的反射定律 (laws of reflection) 是:

1. 入射線與反射線在法線的兩側,且與法線在同一平面內。
2. 入射角與反射角相等。

**166. 漫射.** 依據反射定律,單向的平行光線射於平面鏡上,經反射後仍得平行光線。人目所見者仍是原來的光線,不過方向改變罷了。所以出現於目中者,是光線,並非是鏡面。

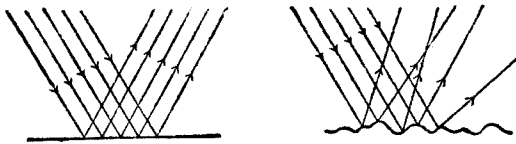


圖 157. 單向反射(左)及漫射(右).

若平行光線射於不平的面上，經反射後便成爲散漫而不平行的光線，這稱做漫射(diffuse reflection)。這時的物體就成了被照體，光線好像從其面上的各點散射出來，所以現出物形。至於黑色物體，只能吸收光線，而不能反射光線，其形狀全靠背景的襯托而現出。

167. 平面鏡內的像。設有一光點  $A$  放在平面鏡  $MM'$  之前。由  $A$  點發射的光線  $AB$  與  $AB'$  被平面鏡反射後，依  $BD$  與  $B'D'$  方向射入人目，使覺得光點  $A$  如在  $A'$  處。換言之，此等反射光線  $BD$  與  $B'D'$ ，宛如從其延線的交點  $A'$  發射而來，故稱  $A'$  點是  $A$  點的像(image)。但光線並非實際到達  $A'$  點的，所以稱爲虛像(virtual image)。

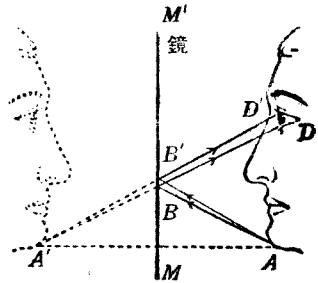


圖 158. 平面鏡內的像。

依據反射定律，可知圖中  $AB$  與  $BD$ ，對於法線作相等的傾斜，即  $\angle ABM = \angle DBM' = \angle MBA'$ ，故  $\angle ABB' = \angle A'BB'$ 。同理， $\angle AB'B = \angle A'B'B$ 。而  $\triangle ABB'$  與  $\triangle A'B'B$  有公底

$BB'$ 。所以  $\triangle ABB' \cong \triangle A'BB'$ 。此兩三角形的對應部分必相等，即  $AB$  必等於  $A'B$ 。

用直線聯結  $A$  與  $A'$ 。在  $\triangle ABM$  與  $\triangle A'BM$  中， $AB = A'B$ ， $MB$  為公邊， $\angle ABM = \angle A'BM$ ，故  $\triangle ABM \cong \triangle A'BM$ 。是以  $AM = A'M$ ，且  $\angle BMA = \angle BMA' =$  直角，故  $AMA'$  必與鏡面正交，亦即光點  $A$  與其像  $A'$  關於鏡面為對稱。

由是可知：光點放在平面鏡的前面，有虛像成於鏡後，物與像關於鏡面為對稱，即離鏡面的距離相等，而其聯線必與鏡面正交。

168. 用作圖法求平面鏡內的物像。設有物體  $AB$  放在平面鏡  $mm$  的前面，可根據上述原理，來求得  $A$  點與  $B$  點的像的位置。

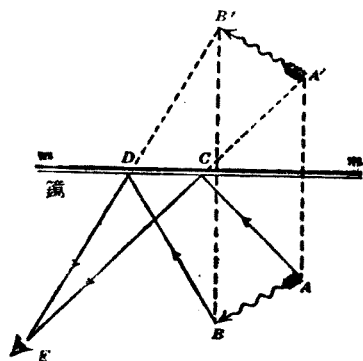


圖 159. 用作圖法求像的位置。

其法從  $A$  點與  $B$  點各至鏡面引垂線，將此二垂線各向鏡後延長而至  $A'$  與  $B'$  點，使各延線的長度，各與自  $A$  及  $B$  點離鏡的距離相等。這  $A'$  與  $B'$  點便是  $A$  與  $B$  點的像。至於  $AB$  的全像，便是  $A'$  點與  $B'$  點的聯線。人目放在  $E$  處，則  $A$  與  $B$  點所射出的光線，經鏡面的反射而入人目，宛然是從  $A'$  與  $B'$  點發出的。所見的像與物的大小相等 離鏡面的距離亦相等。

## 習題四十九

1. 太陽光線雖未直接射入室中，然室內亦會光亮，何故？
2. 設入射光線與平面鏡間的夾角為 25 度，試求入射光線與反射光線間的夾角。
3. 有微風時，人立河畔，望見對岸水中的物像，每呈撓曲不正的形狀，何故？
4. 鏡前的物體，以 150 [厘米/秒] 的速度，離鏡後退，求像與物分離的速度。
5. 絕對透明的東西，是容易覺察的麼？  
單向反射的平面，是容易覺察的麼？
6. 比較白布與平面鏡上的反射光線，那一種物體容易覺察？
7. 在直立的玻璃片的右側，離片 15 [厘米] 處，放一水瓶(圖 160)。在片的左側放一點着的燭火。人在其旁望見燭火的像，適在瓶水之中點着，試求燭的位置。

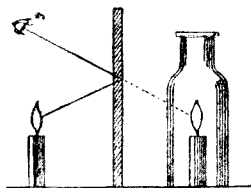


圖 160.

**169. 球面鏡。** 把球面的一部分作為反射面者，稱為球面鏡(spherical mirror)。以球的表面為反射面者，稱為凸鏡(convex mirror)。以球的裏面為反射面者，稱為凹鏡(concave mirror)。聯結球心  $C$  與鏡面中點  $M$  所得的直線  $MC$ ，稱做球面鏡的主軸

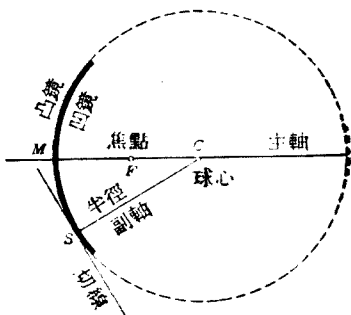


圖 161. 球面鏡及其主軸。

(principal axis). 聯結球心  $C$  與鏡面上任意點  $S$  所得之直線  $CS$ , 稱做副軸 (secondary axis). 球心  $C$  又稱做球面鏡的曲率中心 (center of curvature),  $CM$  的長度稱做曲率半徑 (radius of curvature).

**170. 球面鏡的焦點與焦距.** 取曲率半徑約為 10 [厘米] 的凹鏡, 正對日光. 用狹窄的白紙條在主軸上移動時, 就可以找到極光亮的一點, 這點稱為主焦點 (principal focus), 並測得其位置距球心 5 [厘米], 即適在球心  $C$  與鏡面中點  $M$  的半路處.

平行光線 (日光) 依主軸的方向投射於凹鏡上, 經反射後能會聚而穿過一點, 這點稱做凹鏡的主焦點. 主焦點至鏡面的距離  $FM$ , 稱做焦距 (focal length), 其值必等於曲率半徑的一半.

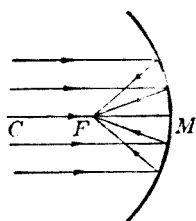


圖 162. 凹鏡有實焦點.

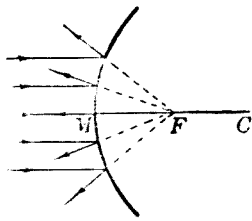


圖 163. 凸鏡有虛焦點.

再取曲率半徑為 10 [厘米] 的凸鏡, 正對日光, 用狹窄的白紙條在主軸上移動, 絕對找不到一個光亮點. 但是用目觀察, 可見鏡面的後方有一個光亮點, 許多反射光線宛如從這點發出, 這稱為凸鏡的虛焦點 (virtual focus), 其位置亦在球心  $C$  至鏡面

中點  $M$  的半路處。

**171. 球面鏡的成像的試驗。** 在暗室內置燭火於凹鏡前，用紙片直立於主軸上而前後移動，至片上得到清楚的燭像為止。

(1) 若燭離鏡面的距離大於曲率半徑  $R$  ( $R$  等於焦距  $f$  的二倍)，則在鏡前生成倒立的實像。像較原物為小，離鏡的距離大於焦距  $f$  而小於曲率半徑  $R$ 。

(2) 若燭離鏡面的距離等於  $R$ ，則在燭火處得一倒立的實像，像與原物的大小相等；

(3) 若燭離鏡面的距離小於  $R$  而大於  $f$ ，則在鏡前生成倒立的實像。像較原物為大，離鏡的距離大於  $R$ ；

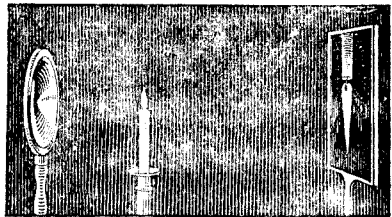


圖 164. 球面鏡的成像試驗。

(4) 若燭離鏡面的距離等於  $f$ ，則不能成像；

(5) 若燭離鏡面的距離小於  $f$ ，則在鏡內看到正立的虛像，像較原物為大；

(6) 若用凸鏡來替代凹鏡，則不問燭火放在鏡前的何處，祇能看見鏡內有正立的虛像，像較原物為小。

(7) 再用尺量出物與像的大小，以及物與像離鏡面的距離，可知，

$$\frac{\text{物之大小}}{\text{像之大小}} = \frac{\text{物離鏡面之距離}}{\text{像離鏡面之距離}}$$



172. 用作圖法求球面鏡所成的像。物體放在球面鏡前，由A點引二道光線，一道光線與主軸平行，經反射後必通過焦點F；一道光線通過球心C，經反射後必由原路折回。這二道反射光線，若能相交於鏡前的A'點(圖165)，則A'為A之實像。若這二道反射光線不能相交於鏡前的一點(圖166)，但將其向鏡後延長，則延線可以交於A'點，此A'點便是A的虛像。物體放在凸鏡之前，祇可生成較小的直立虛像，其作圖法如圖167所示。

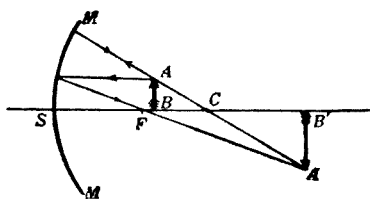


圖 165. 凸鏡所生的實像。

一點(圖166)，但將其向鏡後延長，則延線可以交於A'點，此A'點便是A的虛像。物體放在凸鏡之前，祇可生成較小的直立虛像，其作圖法如圖167所示。

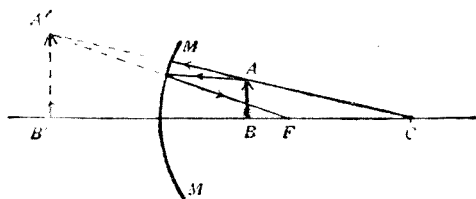


圖 166. 凹鏡所生的虛像。

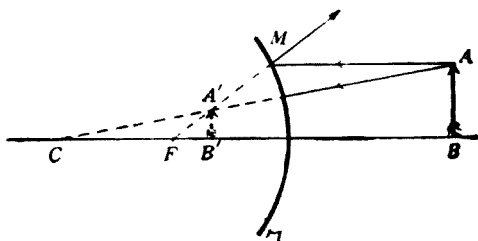


圖 167. 凸鏡所生的虛像。

## 習 題 五 十

1. 球面鏡的主軸，副軸，焦點，焦距，實像，虛像的界數如何？
2. 一物置於凹鏡前 24 [厘米]處，設鏡的焦距為 10 [厘米]，試述像的性質，大小，及位置。
3. 用精密的作圖法，來求上題中所生的像的大小及位置。
4. 用作圖法證明：(1)物置於凹鏡的焦點與鏡面之間，祇能於鏡後得正立的虛像，且像恆較實物為大，(2)物置於焦點與曲率中心之間，能於曲率中心之外方，生成倒立實像，且像較實物為大，(3)物置於曲率中心之外，能於曲率中心與焦點之間，生成倒立實像，像較實物為小。
5. 凹鏡的焦距為 20 [厘米]，今欲使物置鏡前時所得的實像，其長度僅為實物的一半，試求此物應放在何處？
6. 設將一物置於球面鏡前，在鏡內看到較原物為小的虛像。問球面鏡是凹鏡還是凸鏡？設此球面鏡的曲率半徑是 10 [厘米]，物在鏡前 20 [厘米]之處，試用精密作圖法求出像的大小及位置。

## 第十七章及第十八章復習題

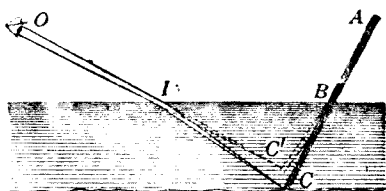
1. 什麼叫做發光體？我們為什麼能夠看見物體？
2. l [燭光] 與 l [燭米] 有什麼區別？
3. 從最近的一顆恆星發出的光需行 4.3 [年] 才到達地球。這顆星離我們多遠？
4. 閱讀印在光亮的紙上的圖書覺得困難，何故？
5. 你怎樣放置二個平面鏡，使你看到你自己的背影？
6. 在平面鏡中看見一隻時鐘指在八點二十四分，實在所指的是什麼時刻？請你試一試再回答：

7. 一個人立在平面鏡前，在鏡中看見他的全身像，這鏡的最短尺寸是多少？試作圖以證明之。
8. 從淨水中看到樹木等物像是倒立的，試作圖說明其倒立之故。
9. 二條走廊相交於直角。如何設置平面鏡於走廊中，使立在一廊遠端的人能夠看見立在他一廊遠端的另一人？
10. 用何種鏡才會把燭燄或電燈的像映射於牆壁上，(a)平面鏡，(b)凸鏡，(c)凹鏡？
11. 會把顏面放大的修面用鏡是何種鏡？
12. 試將本書第 171 節(1)至(5)條所述，各用作圖法來證明。

## 第十九章

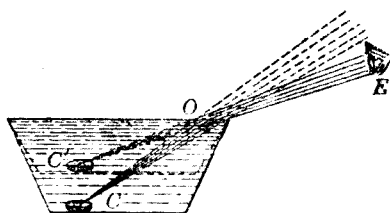
# 光的折射

173. 水的折光現象。 一隻竹筷斜插水中，在水面處現出曲折的形狀，水中一段的筷，似乎向上曲折。盆中放一銅幣  $C$ ，人目後退到  $E$  處，視線為盆邊所阻，適好看不見銅幣，注水入杯中，便可看到銅幣，似乎上浮到  $C'$  處。



(a) 竿呈曲折狀。

以上所舉的現象，都證實物體射來的光線，由水走入空氣，它的路徑不再是一條直線。所以“光的直行”一句話，祇在均態的介質中是準確的。若光線由一種介質走入他種介質內，必在界面處起**折射**(refraction)現象。



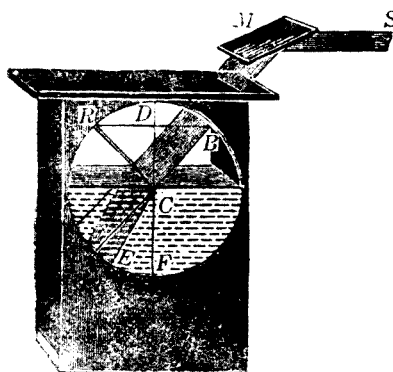
(b) 水杯中銅元，似乎浮起。

圖168. 水的折光現象。

**實驗** 一隻長方箱子，前面鑲嵌圓形玻璃， $C$  為其圓心。箱中盛水，使水平面適至  $C$  為止(水中加幾滴牛乳)。利用平面鏡  $M$ ，把太陽光線反射入箱內，由  $C$  點透入水中，則見光線在水中所行的路徑，不與  $BC$  在一

電錶上，而折回  $CB$  進行。

倘使入射角  $BCD$  增大，折射角  $ECF$  亦隨而增大，但是用尺



來量  $BD$  與  $EF$  的長度(它們都垂直於  $CF$ )，則其長度之比  $\overline{BD}:\overline{EF}$  是一個定值。此比值稱做水的折射率 (refractive index)。

這長方箱的左下部，有一條透光的線縫，可利用平面鏡使光線向上斜射入縫中。若光在水中的路徑為  $EC$ ，

則透入空氣中的路徑為  $CB$ ，而  $BD$  與  $EF$  之比，仍不改變。

由此可知：光線由空氣射入水中，或由光學的疏介質射入密介質中，則光線偏向界面的法線而曲折；若光線由水射入空氣，或由密介質射入疏介質，則光線遠離界面的法線而曲折；(1) 折射率有一定的值，與入射角的大小無關；(2) 入射線，折射線在法線的兩側，並與法線在同一平面內。

#### 尋常物質的折射率

水	1.33	冕牌玻璃	1.53
酒精	1.36	燧石玻璃	1.67
松節油	1.47	金剛石	2.47

174. 全反射。光線從密介質行入疏介質，例如光由水射入空氣中時，必遠離界面的法線而曲折(如圖 170 中的  $aOa'$ 、

$bOb'$  等)。光線由水行入空氣，其入射角增大，則折射角亦隨而增大。入射角增到某定角度，折射光線恰好與水面平行(如  $cOc'$ )，此時的入射角  $cON$  稱做臨界角 (critical angle)。入射角若大於臨界角，則折射角必大於  $90^\circ$ ，折射光線必不能透出水面，光線既

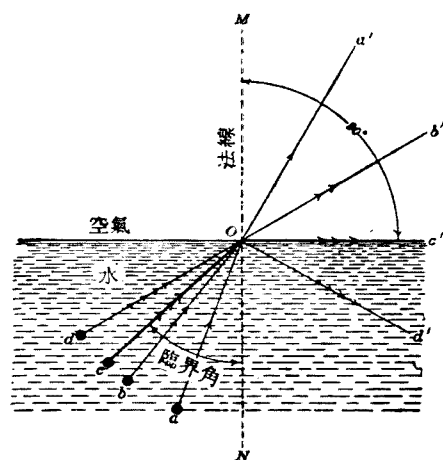


圖 170. 從水中發射的光線，以不同的方向射到水與空氣的交界面時的情況。

不能透出水面，就被水面反射，仍復射入水中(如  $dOd'$ )。在這種情況之下，祇有反射而無透射的作用，特稱為全反射 (total reflection)。

### 175. 自然界的折射現象。

地球的大氣上疏下密，太陽光線依着斜向，從疏介質進入密介質中，就起了如圖 171 所示的進行路徑。日球的位置原在  $S$  者，由

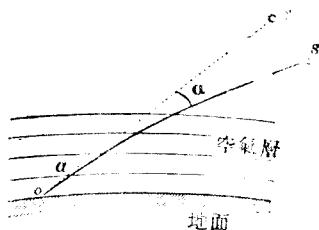


圖 171. 大氣中的折射現象。

人目看來，反在  $S'$ ，較準確的位置為高。太陽還未透出地平線時，光線已射到地上，使日出的時候較早，同理，日沒的時候必較遲。因此白晝的時間較太陽在地平線上的時間，可增長 7〔分〕多鐘。

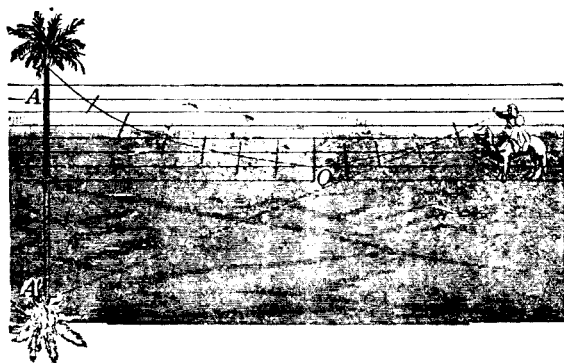


圖 172. 蜃樓的成因。

白晝在沙漠地方，接近地面的空氣受熱膨脹，結果大氣上密下疏，樹木等向下發射的光線經全反射作用（如圖 1 2 所示的路徑），折入人目，其結果每見倒立的樹像，這就是蜃樓的成因。

### 習 題 五 十 一

1. 漁人用叉來刺擊河中的游魚時，若瞄準在所見的魚身上，每每不易擊中，何故？應當怎樣瞄準，方始容易中的？
2. 光由水進入冕牌玻璃中，應遠離界面的法線曲折呢，還是偏向界面的法線曲折？
3. 設水的折射率為 1.33，用精密的作圖法，求出光從水中射入空氣時的臨界角。

4. 怎樣可以發生全反射的現象?
5. 蜃樓是怎樣發生的?
6. 晚上有風的時候,每見天上的星體在那裏動搖,何故?
7. 水中魚類所見的落日方向是怎樣的?
8. 水中魚類所看見的天空是一個圓錐的底面,此圓錐的頂角適為臨界角的兩倍,試據圖 173 說明之。

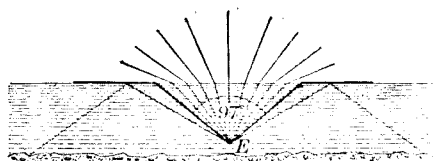


圖 173.

**176. 透鏡。** 玻璃片的兩面或一面磨成球面者,稱做透鏡 (lens)。聯結球心  $C_1$  與  $C_2$  而得的直線,稱做透鏡的主軸。

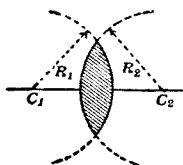


圖 174.  
會聚透鏡(凸透鏡)。

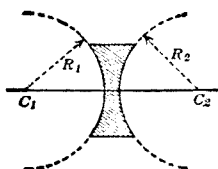


圖 175.  
發散透鏡(凹透鏡)。

透鏡有二種：(1)中厚而緣薄者稱做會聚透鏡 (convergent lens), 或稱凸透鏡 (convex lens)。 (2)中薄而緣厚者,稱做發散透鏡 (divergent lens); 或稱凹透鏡 (concave lens)。

來自太陽的平行光線,依主軸的方向投入會聚透鏡,即見光線能在鏡後會聚於一點;把紙條置於此點上,能被灼焦,因而稱此



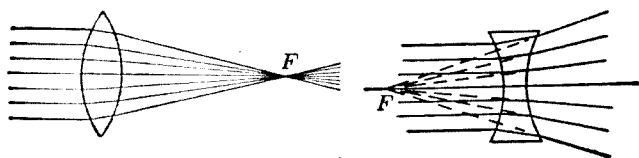


圖 176. 透鏡的焦點及焦距。

點為焦點(圖 176 左)。由焦點至透鏡中點的距離,稱為**焦距**。

來自太陽的平行光線,依主軸的方向射過發散透鏡時,並不能看到光線會聚於鏡後的一點,而光線成發散的情形。但是隔了鏡看,好比光線係由鏡前的一點發出的,那點稱做發散透鏡的**虛焦點**(圖 176 右)。

**177. 透鏡的成像試驗。**使日光依主軸方向穿過會聚透鏡,用紙條在他一側尋得焦點;用尺量焦點至透鏡中點的距離,便得焦距  $f$ 。

在暗室內,置燭火於透鏡的一側,用白紙片直立於他側的主軸上,而前後移動,到片上得一明顯的燭像為止。

(1) 若燭至透鏡之距離等於  $2f$ , 則紙片上得一倒立的燭像,其大小與燭相等,離開透鏡的距離亦是  $2f$ , 如圖 177(A)。

(2) 若燭至透鏡之距離大於  $2f$ ; 則在紙片上得一倒像,其形狀較燭為小,離開透鏡的距離小於  $2f$ , 而大於  $f$ , 如圖 177(B)。

(3) 若燭至透鏡之距離小於  $2f$ , 而大於  $f$ , 則紙片上得一倒立的像,其形較燭為大,離開透鏡的距離大於  $2f$ , 如圖 177(C);

(4) 若燭置於焦點上,則無像可成;

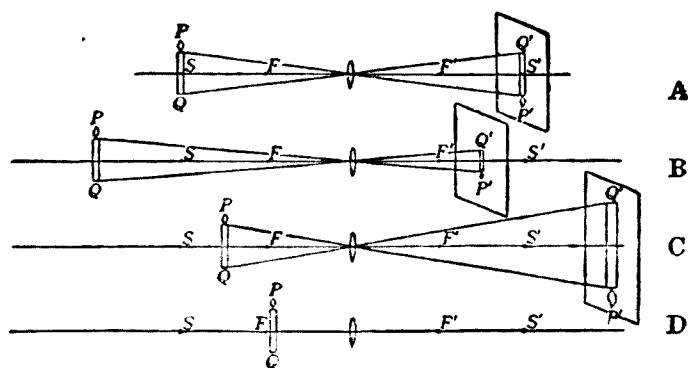


圖 177. 透鏡的成像試驗。

(5) 若燭至透鏡之距離小於 $f$ ，則紙片雖前後移動，終不能得到燭像，如圖 177(D)。可是用目從紙片的一側去望透鏡內，可在透鏡放燭的一側看見正立的燭像，比較原物為大。因為此像可望而不能實得，特稱**虛像** (virtual image)，於是前幾次所得之像，都是**實像** (real image)。

(6) 若用發散透鏡來替代會聚透鏡，則不問燭放置何處，都不能得到實像。若用目觀望透鏡之內，可見一正立的虛像，此像必較原物為小。所以用發散透鏡，祇能得到正立的虛像。

178. 作圖求像法。凡通過透鏡中點  $O$  的光線，其方向不改變，點  $O$  稱做光心 (optical center)。凡與主軸平行的光線，若為會聚透鏡，則通過透鏡後必穿過焦點  $F'$ ，若為發散透鏡，則其反向延長線必穿過虛焦點  $F'$ 。如會聚透鏡的焦距為已知，一

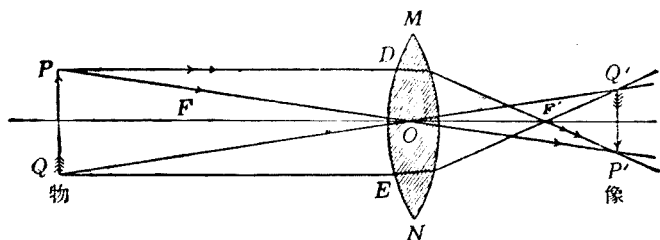


圖 178. 用作圖法來求像的位置及大小。

物置於透鏡之一側，可由物體的  $P$  點引二光線，其一與主軸平行，穿過透鏡必受折射，改道而過焦點  $F'$ ，如圖 178 中的  $DF'P'$ ；另一通過透鏡的中點  $O$  後，其方向則不變，如  $POP'$ 。  $POP'$  與  $DF'P'$  交於點  $P'$ ，即成  $P$  點之像；同理， $Q'$  為  $Q$  之像。此像確由物體射來的光線所會聚而成，所以是實像。

據圖 178，可知  $\triangle POQ \sim \triangle P'OQ'$ ，

$$\therefore \frac{PQ}{P'Q'} = \frac{PO}{P'O}$$

即：
$$\frac{\text{物長}}{\text{像長}} = \frac{\text{物離透鏡之距離}}{\text{像離透鏡之距離}}$$

若物置於  $F$  與  $O$  之間，由  $P$  點引二線，一為通過光心之直線

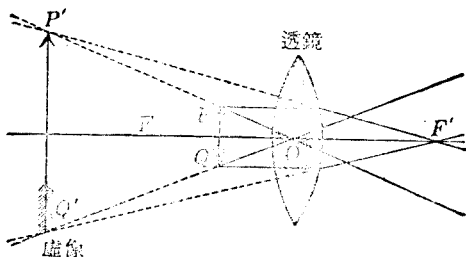


圖 179. 用作圖法求得虛像。

$PO$ ，一為平行於主軸而透過透鏡，並折射而過焦點  $F'$  之線。所作之二線雖不相交於鏡前，但其在相反方向的延長線仍能相交於  $P'$ ，而成  $P$  點的虛像  $P'$  (圖 179)。同理得  $Q$  的虛像是  $Q'$ 。所以會聚透鏡生成的虛像，正立而較原物為大。

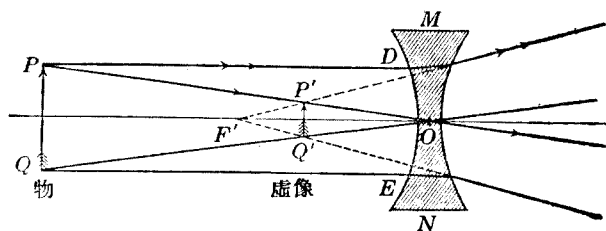


圖 180. 發散透鏡，祇能生成正立的虛像。(注意焦點  $F'$  的位置。)

發散透鏡的成像，亦可用作圖法來求得(圖 180)，並且可知發散透鏡祇能生成正立而較原物小的虛像。

## 習題五十二

1. 試將會聚透鏡與凹鏡的成像作用，加以比較。
2. 試將發散透鏡與凸鏡的成像作用，加以比較。
3. 用何法可以求得透鏡的焦距？
4. 利用會聚透鏡使成虛像，則實物應放在何處？使成較大或較小的實像，則實物應放在何處？
5. 物離透鏡 50 [厘米] 時所成的像較實物大二倍，試求像離透鏡若干 [厘米]？
6. 用發散透鏡，可得實像嗎？
7. 會聚透鏡的焦距為 25 [厘米]，實物置於透鏡的一側，與鏡相距 40

[厘米],用作圖法(取適當比例尺)作出物像,並用尺量其大小與位置。

8. 上題中,實物置於焦點上,則成像於何處? 實物置於離透鏡 20 [厘米]處,試用作圖法求物像的性質,大小,與位置。

9. 發散透鏡的焦距為 30 [厘米],物置於透鏡前 40 [厘米]處,試用作圖法求物像的大小與位置。

## 第二十章

# 光 學 儀 器

**179. 照相機。** 照相機(camera)是一隻暗匣,前面開一小孔,孔上裝一會聚透鏡,用光開關(shutter)來啓閉光入透鏡的路徑。匣後裝有毛玻璃片。在光開關開啓時,遠物射來的光線經過透鏡而成像於毛玻璃片上。若用具有感光作用的照相乾片,來代毛玻璃片,則乾片上的銀鹽因各部受光的強弱不同,所起化學變化的程度亦不同。至於乾片

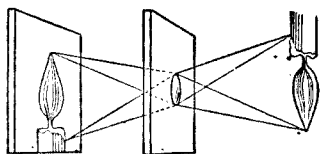


圖 181. 照相機原理。

露光的久暫,可用光開關來節制,其時間可由  $\frac{1}{10^0}$  [秒] 到數 [分] 不等,全視所攝物體的照度及乾片的敏感度而定。把感光後的乾片浸入顯像液內,受光部分現出黑色的銀質。因為感光的程度不同,黑色的深淺自異,現於片上的物像亦呈深淺色澤。再把此片浸入定像液中,將未受感光作用的銀鹽溶去,則可保持物像永不改變。這時片上的明暗情形,適與原物者相反,因而稱做底片(negative)。將底片覆於塗有銀鹽的照相紙上,露於強光下,再把這感光的紙片,經顯像,定像等手續,便得明暗情形與原物相同的照相(photograph)。

透鏡的前面,裝有光 闌(diaphragm),用以節制光線射入徑

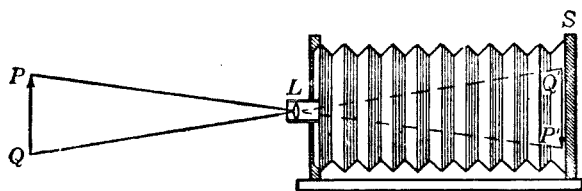


圖 182. 照相機。

路的闊窄。光線入路窄的，像界必清楚，但照度必弱，所以乾片的露光時間宜加長。實物離開透鏡的距離既定，則像離透鏡的距離亦有定值。所以普通照相機的暗匣的壁(圖 182)，都用軟質的黑布做成，並可摺疊，以便調節透鏡至乾片間的距離，務使投於乾片上的物像，得達最清楚的程度。

**180. 幻燈。** 構成照相機及幻燈(projection lantern)的主要部分，都是由一組透鏡所組成的會聚透鏡。不過在照相機中的，物離透鏡甚遠，生成小而倒立的實像於乾片上；在幻燈中的，則物離透鏡甚近，僅稍大於焦距，生成大而倒立的實像於很遠的白幕上。

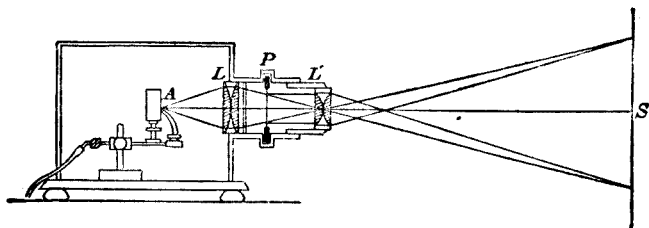


圖 183. 幻燈。

圖中  $P$  為透明的幻燈片，用強光  $A$  照之，片上的畫映成放大

的像於  $S$  幕上。物與像的大小之比，等於  $P$  至  $L'$  的距離與  $S$  至  $L'$  的距離之比。

**181. 眼的構造。** 人的眼球好比是小型的照相機，前有透鏡般的睛珠 (crystalline lens)；後有密布視神經的網膜 (retina)，以代敏感的乾片。

眼球的靈巧，遠勝精美的照相機。網膜是一張永遠可用的‘乾片’，在剎那間可以完成顯像作用，其效應藉視神經傳達到腦中的神經中樞，引起視覺，使我們看到物體的存在。

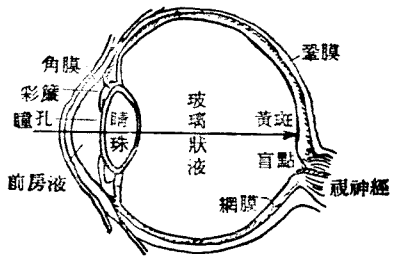


圖 184. 眼的構造。

眼的構造如圖 184 所示，其外有角質的透明薄膜，稱做角膜 (cornea)。角膜後有水狀液，稱做前房液 (aqueous humor)，又有彩簾 (iris)，相當於照相機中的光闌，用以節制瞳孔 (pupil) 的大小。再後有睛珠。睛珠之後又有液體，稱做玻璃狀液 (vitreous humor)。最後有密布視神經末梢的網膜。

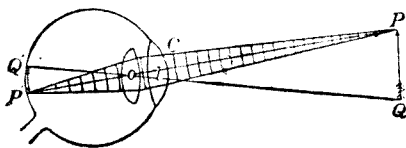


圖 185. 實物成倒像於網膜上。

實物  $PQ$  的光線射入眼中時，生成倒像  $P'Q'$  於網膜上。根據透鏡成像的原理，知物離透鏡遠者，像離透鏡較近；物離透鏡



近者，則像離透鏡較遠。在眼的構造看來，睛珠與網膜間的距離是一定的，要使遠近的物體都能成像於網膜上，那末睛珠的焦距要會得改變才行。在睛珠的四周，有着毛狀肌(ciliary muscles)，毛狀肌會隨意伸縮，使睛珠兩面的彎度略有改變。眼視近物，睛珠的焦距必須改短，此時毛狀肌緊張，以使睛珠的中部增厚。眼視遠物，則毛狀肌鬆弛，使睛珠的中部減薄而焦距放長。調節睛珠，使遠物近物都得生成明晰的像於網膜上的作用，稱做眼的調節(accommodation)。

### 習 題 五 十 三

1. 在陰天攝取行動物體的像，則照相機的光闌宜大不宜小，何故？
2. 眼的瞳孔在暗室中則放大，在日光下則縮小，何故？
3. 初入暗室，伸手不見五指，隔數分鐘後，則室中各物就能約略識別，何故？
4. 一人身高 160 [厘米]，欲攝取長 16 [厘米]的全身像，此人立在照相前 4 [米]處。試求透鏡(俗稱鏡頭)離乾片間的距離為幾[厘米]。
5. 用 16 [燭光]的燈來曝印相片時，若燈離片為 60 [厘米]，則露光時間為 15 [秒]。今用 32 [燭光]的燈放在離相片 100 [厘米]處，試求曬像的適當露光時間。

**182. 近視與遠視。** 正常的眼，能使遠物所射來的平行光線會聚於網膜上，這種眼稱做正視眼。若自遠物射來的光線僅能會聚於網膜的前面，這種眼的焦距太短，祇能觀察近物，故稱近視眼。若自遠物射來的光線，只能會聚於網膜的後面，這種

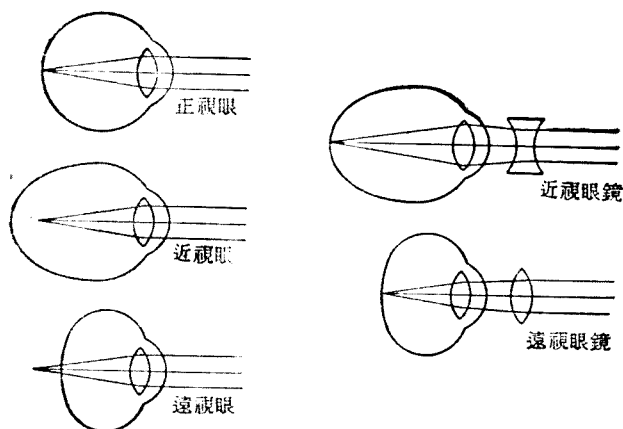


圖 186. 近視眼與遠視眼

眼球的焦距太長，不能觀察近物，故稱遠視眼。

近視眼的焦距太短，其會聚力太強，要用發散透鏡放在眼球的前面來補救。所以近視眼鏡是用發散透鏡製成的。遠視眼的焦距太長，其會聚力太弱，要用會聚透鏡放在眼球的前面來補救。所以遠視眼鏡是用會聚透鏡製成的。

眼的調節本領，隨了年齡而衰退。老年人的眼，其毛狀肌使睛珠的焦距縮短的機能特見衰退，因而對於近物射來的光線，每會聚於網膜之後，無力調節。所以宜用會聚透鏡放在眼球的前面來補救，老花眼鏡與遠視眼鏡相同，亦是凸透鏡。

183. 物體的皮相大小。物體的皮相大小，全靠網膜上的像的大小來決定，換句話說，隨視角(visual angle)  $pCq$  的大小而定。同一物體，離眼愈近，視角愈大。一物放在眼前 10 [米]

與1〔米〕處視之，兩次所得的視角之比為1:10，即兩次的成像，後者必大於前者十倍。但是由日常的經驗，早已預知常見物體

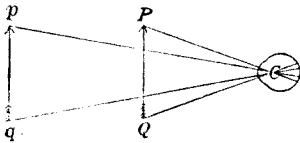


圖 187. 視角。

的實在大小，因而我們心理上對於物體大小的判別，絕不隨其遠近而異。心理作用有時實不可靠，例如看到剛出地平線的日與月，覺得比

了高懸於天空時大，那是因為接近地平線時，可與已知大小的物體相比而顯得較大，在高懸天空時則否。

我們知道太陽與月球，實際大小相差很遠。但是月球離地球近，太陽離地球遠，二者對地球所張的視角適好相同，都是32〔分〕，所以看起來，日月是差不多大小。

**184. 明視距離。** 物離眼愈近者，網膜上所得的像必愈大，因而察見時，覺得特別的明晰。但是離眼太近了，睛珠彎曲特甚，不免感到疲勞；又，眼的調節作用也有限度，太近的物體看來反而模糊。通常物體離眼25〔厘米〕時，看來最覺清楚，而不感疲勞，因為在這情況下，能由睛珠生成最清楚與最大的像於網膜上。所以25〔厘米〕稱做是眼的**明視距離**(distance of distinct vision)。

**185. 放大鏡。** 我們要把小的物體看得清楚，一定要把它放近眼睛，以使視角增大，而在網膜上生成較大的像。但是放

得太近了，超過眼的調節作用的限度，在網膜上生成的像反而模糊。那時，必須借助於放大鏡 (magnifying glass) 來觀察。放大鏡是一個會聚透鏡，焦距約有 1 至數〔厘米〕。應用時，放大鏡置在眼前很近，準備觀察的東西  $PQ$  置於透鏡  $C$  與

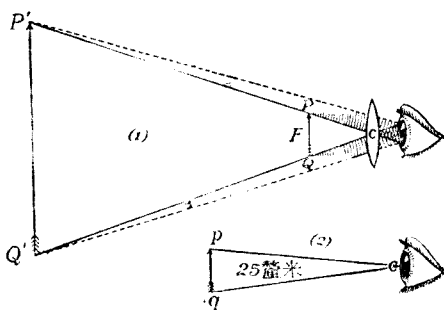


圖 188. 放大鏡。

其焦點  $F$  之間(圖 188)，於是從此鏡中便可看到直立而放大的虛像  $P'Q'$ 〔參閱 § 177 之(5)〕，由我們觀看明白。

眼的明視距離是 25〔厘米〕。若虛像  $P'Q'$  生於距眼為明視距離處，最是明晰。那時的視角是  $P'OQ'$ ，如果沒有放大鏡，物須置於離眼 25〔厘米〕處，那時的視角是  $poq$ 〔圖 188(2)〕。這兩個視角  $P'OQ'$  與  $poq$  之比，稱做放大鏡的**放大率**(magnifying power)。在圖 188(1)中，像  $P'Q'$  與物  $PQ$  的大小之比，便是放大率。根據相似三角形的性質，像  $P'Q'$  與物  $PQ$  大小之比，等於像  $P'Q'$  與物  $PQ$  至放大鏡光心的距離之比。但放大鏡與眼很接近，物  $PQ$  與放大鏡的焦點很接近，因而物  $PQ$  與眼的距離約等於焦距  $f$ ，又像  $P'Q'$  至眼的距離約等於明視距離  $D$ ，所以放大率  $M$  約等於：

$$M = \frac{P'Q}{PQ} = \frac{D}{f} = \frac{\text{明視距離}}{\text{焦距}}$$

據上式，可知放大鏡的焦距愈短，放大率愈大。

186. 顯微鏡。普通的放大鏡的放大率祇有一，二十倍，用了顯微鏡(microscope)，可以把微細物體的像放大到數百倍至一，二千倍。在管的兩端各裝一焦距極短的會聚透鏡。要觀察的物 $AB$ 放在透鏡 $L$ 之下(圖189)，與其光心的距離較其焦距

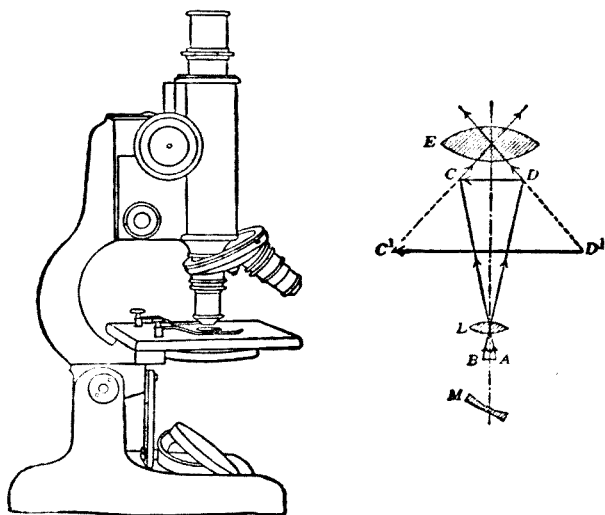


圖 189. 顯微鏡。

稍“大”，於是生成倒而放大的實像於 $CD$ 。這 $CD$ 又適在另一透鏡 $E$ 的焦點的附近，而至 $E$ 的光心的距離略“小”於其焦距，因而用目觀之，可見更形放大的虛像 $C'D'$ 。與物體相接近的透鏡 $L$ ，稱做物鏡(objective)；與人目相接近的透鏡 $E$ ，稱做目鏡(eyepiece)。

187. 天文望遠鏡。天文望遠鏡(astronomical telescope)亦是用兩片會聚透鏡分裝在筒的兩端而製成。但物鏡的焦距甚長，目鏡的焦距則甚短。

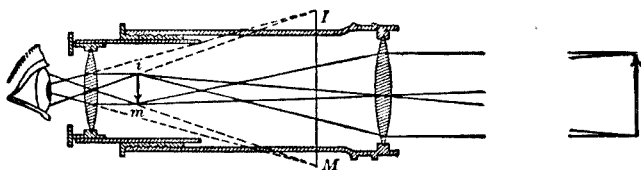


圖 190. 天文望遠鏡。

遠物射來的光線是幾近平行的，經過物鏡  $O$ ，成倒立的實像  $im$  於其主焦點處。這實像正好又生於目鏡的焦點附近而稍內，於是再行放大成爲虛像  $IM$ ，所以目所窺見者爲倒立的物像。因而此鏡不適用於窺探地面上的遠物，只適用於觀察天象。

188. 雙筒望遠鏡。雙筒望遠鏡(binoculars)是在望遠鏡的目鏡與物鏡之間，裝入二個全反射稜鏡的。鏡筒不長，極便攜帶；所窺得的是正立的像，與原物相同，又因可用二目同時觀察，易得立體感覺，所以最適於地面事物的觀察。此鏡的構造如圖 191 所示。由物鏡射入的光線，先經過一塊全反射稜鏡  $AB$ ，折射後使像的位置上下倒轉，但左右的位置不易；再經過第二塊全反射稜鏡  $CD$  時，再把像的左右位置倒置以生正像，與實物無異。因爲光線要經過這樣的重複反射，所以鏡筒可以縮短。

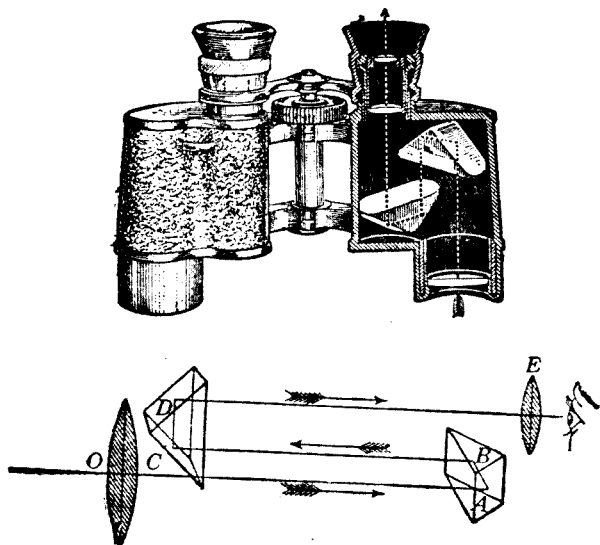


圖 191. 雙筒望遠鏡。

## 習 題 五 十 四

1. 近視眼與遠視眼的病源何在？怎樣補救？
2. 一本書，尺寸是  $25 \times 15$  [厘米]，離目  $25$  [厘米]，一幅圖，尺寸是  $50 \times 30$  [厘米]，離目  $1$  [米]。比較它們在網膜上生成的二像，孰大孰小？人的意念中是否以網膜上的像的大小來辨別物體的大小？
3. 網膜上的物像，是正立抑倒立？在人的意念中，是否以網膜上的像的正立或倒立來辨別物體的正立或倒立？
4. 要放大鏡的放大率很大，其焦距應長或應短？
5. 設放大鏡的焦距是  $5$  [厘米]，求其放大率。
6. 從天文望遠鏡為何所窺見的是物體的倒立虛像？試據此說明它何

以不適用於普通觀望用途。

7. 雙筒望遠鏡的優點何在、

### 第十九章及第二十章復習題

1. 用透鏡在日光中作點火鏡。近鏡的何處為最熱？

2. 用會聚透鏡生成一個遠距離物體的實像，這實像離主焦點是否亦很遠？

3. 一個人用望遠鏡看近處之物，他需把鏡筒拉長呢還是縮短？

4. 一支玻璃製的溫度計中的液體柱看來比實在的闊些，何故？

5. 在碟子中放一個銀幣。你離開碟子至恰好看不到碟底上的銀幣為止。請另一人緩緩注水於碟中，不擾動銀幣。現在你可看見銀幣了。試作圖說明其理。

6. 你的眼睛剛看清楚離開 100 [米]的一輛汽車。那汽車漸漸走近時，眼睛做些什麼調節工作？

7. 凸透鏡在何時生成實像？何時生成虛像？何時生成放大像？何時生成縮小像？何時生成正立像？何時生成倒立像？

8. 一道光射進一塊板玻璃，入射角為  $63^\circ$ ，折射角為  $36^\circ$ 。試用作圖法求出玻璃的折射率。



## 第二十一章

# 光 與 色

189. 日光的色散。令日光穿過線隙而射入暗室。在光的路徑上放一塊玻璃三稜鏡，這道狹窄的白光，必受折射作用而分散成紅，橙，黃，綠，藍，靛，紫諸色，並且按次排列而成光譜 (spectrum)。這種現象稱做色散 (dispersion)，如圖 192 所示。

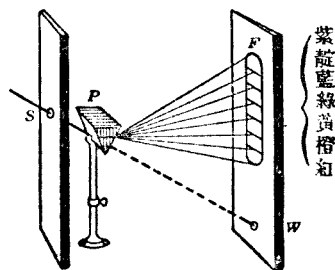


圖 192. 日光被稜鏡所分散。

由試驗而知白色的太陽光，是由各色的光所組成。因為

各色的光經過稜鏡時受到的折射程度各不相同，紅光最小，橙

光稍大，紫光最大，所以三

稜鏡能把白光分散成光

譜。如用會聚透鏡把這

光譜中的各色光，重行會

聚於一點，便重復混合而成白色的光(圖 193)。

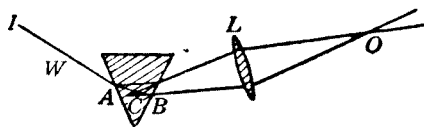


圖 193. 各色的光混合成白光。

190. 虹。虹是自然界中的美麗光譜，它的成因，可從下文的試驗來求知。

取球形玻璃瓶，直徑約 3 [厘米]，滿盛以水。令日光由圓形小孔  $O$  射入暗室(圖 194)。這瓶放在光線的路徑上時，在小孔的周圍發現虹般的圈，

內紫外紅。光線由  $O$  射入瓶中，受折射後，各色光線因而分散，達到  $D$ ，起全反射作用；到  $E$ ，重入空氣中。在兩次折射過程中，紫光的折射較紅光為大，故投於

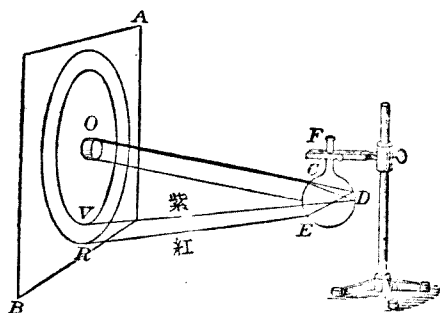


圖 194. 人造虹。

幕上時，紫光離開入射線較紅光為近。紫色光線  $VD$  與  $OC$  的夾角為  $40^\circ$ ，紅色光線  $RE$  與  $OC$  的夾角為  $42^\circ$ 。

天空中的虹，由於太陽光線投入空中的水滴，經折射及反射後射入人目而成，與上述試驗的情形相同。人背日而立，由水滴射來的光線，與直接而來的日光，其間夾成  $42^\circ$  的角者現紅色，夾成  $40^\circ$  角者現紫色。這時光譜之色是內紫而外紅，稱做虹。(primary rainbow)(圖 195)。有時在虹的上方，發現光譜的

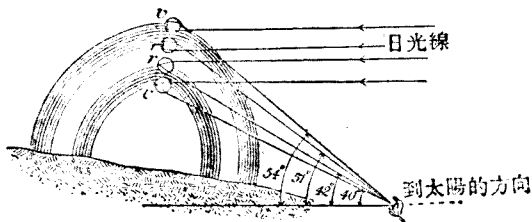


圖 195. 虹與霓。

顏色內紅外紫的一圈，這由於日光在雨滴中經過二次的全反射所生成，稱做霓(secondary rainbow)。

**191. 物體之色。** 用紅色布條放在光譜的紅色部分，則現紅色，放在藍色部分則現黑色。同理，用藍色布條放在光譜中的藍色部分則呈藍色，放在紅色部分則呈黑色。

如以鈉光(黃色)照耀在雜色的花紙上，黃色紙條仍現黃色，其他則呈黑色，因為黃色紙條能反射黃色光線，其他各色的紙條不能反射而祇能吸收黃色光線的緣故。

白色紙張，放在日光中呈白色者，因為它能反射各色光線的緣故。紅色紙條放在日光中，祇能反射紅色光線，而吸收其餘諸色的光線，所以呈紅色。據此理由，可以推知物體置於日光中呈黃色，綠色，或紫色者，因為這種物體能反射黃光，綠光，或紫光，而吸收其餘諸色光的緣故。白紙能把各色的光反射，藍紙祇能把藍光反射，所以紅色光線投於白色紙上，紙呈紅色，投於藍色紙上，紙呈黑色。凡是不透明的物體之色，完全要看那物所能反射的光色來決定。

日光投於紅色玻璃或紅色墨水上，祇有紅色光線能透過這種玻璃及這種墨水，其他各色的光都被吸收。如把透過的光線用稜鏡來分析，則光譜中祇有紅色的部分存在。日光中的綠色光線，極易透過綠色玻璃，這時紅色黃色等光都被吸收。如把紅色玻璃及綠色玻璃重疊在一起，則日光完全不能透過。

由試驗可知：透明物體之色，要看那物體能為何種色光透過

來決定。例如紅色玻璃，允許紅光透過，把其餘諸色的光吸收。

192. 複色。在圓片的扇形面積上(圖 196)，塗以太陽光譜中的七色，將圓片裝在迴轉機上迅速轉動，便見七色的光混合成白色。如果減少扇形的數目與變更其色，那末旋轉時會呈現別色。例如，取半片紅，半片綠的圓片，裝在機上急速迴轉時，則片呈黃色，看來與光譜中的黃色光一樣。再取半片紫半片綠的圓片裝上而急速迴轉，則呈藍色，看來與光譜中的藍色部分一樣。

由紅光與綠光混合而得的黃色光，若使透過稜鏡，則仍色散成紅綠二色。這種混合紅綠二色而得的黃色，稱為複色 (compound colors)，光譜中的純粹黃色，稱為純色。

利用混合法，可以造成許多的複色，往往是光譜中所看不到的。例如紅與藍合成紫紅；黑與紅，或橙，或黃，相合，呈現各種棕色；三分白，一分藍，合成灰藍色，十五分白，四分紅，一分藍合成淡紫色；二分綠，一分黑，一分紅合成橄欖色。

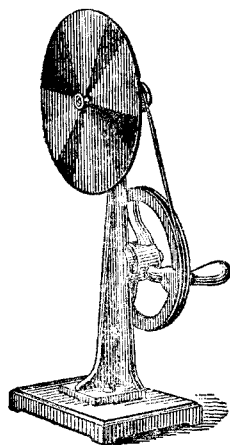


圖 196. 牛頓色板。

193. 互補色。把白色光中的紅色光提去，而使其餘諸色的光相混合時，則呈青綠色。反之，紅色光線與青綠色光線混

合，則得白色光。凡二種顏色不同的光線，相混而呈白色光者，此二色稱做互補色(complementary colors)。所以紅色是青綠色的補色，青綠色便是紅色的補色。

下列各色爲互補色：

紅與青綠    橙與綠藍    黃與藍    紫與綠黃    綠與紫紅

194. 顏料之色。黃色光與藍色光混合，則呈白光。但黃色顏料與藍色顏料混合，卻呈綠色。這是因爲黃色顏料能反射黃綠二光，吸收其餘各色光；藍色顏料能反射藍綠二光，吸收其餘各色光。二種顏料相混，祇能公同反射綠色光，其餘諸色光盡被吸收，所以呈綠色。顏料混合後所呈之色，是各成分顏料所不能吸收的光色。

## 習 題 五 十 五

1. 我們爲什麼相信白光是各種光混合而成的？
2. 日將沒時，虹現在天空的何方？在中午時，爲何決無虹發現？
3. 綠色衣服，在火油燈光之下視之，呈現黑色，何故？
4. 有時從一塊冰的裂隙中看見美麗的色彩，何故？
5. 人立汽油燈光之下，他的面色每呈淡白，而不現紅潤，何故？
6. 透明體與不透明體的色澤，如何決定？
7. 戴黃色眼鏡視白紙，紙呈什麼色彩？
8. 中國的國旗在紅光下來看，應呈何色？在青光下來看，應呈何色？
9. 圖 196 所示的牛頓色板上，如用紅，綠，紫三色分塗其扇形面積，則旋轉時亦呈白色。何故？

## 第二十二章

### 磁

**195. 磁石與磁鐵。** 有一種氧化鐵礦( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )能夠吸引鐵屑，稱做磁石(loadstone, 俗稱吸鐵石)。把磁石沒入銅屑，鐵屑，鉛屑，煤屑，砂子等的混合物中，祇有鐵屑能吸附在磁石上，其他各種粉屑都不吸附。用這種方法，很容易把混合物中的鐵屑檢出。

用磁石去摩擦一根鋼線，這根鋼線就會磁化，亦現吸鐵的性質，這就變成了磁鐵(magnet)。由電流的作用亦可使鋼鐵磁化，以後還要講到。

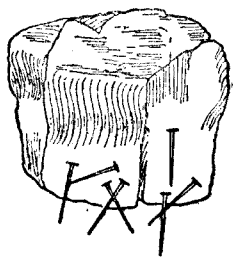


圖 197. 天然磁石。

**196. 磁極。** 取一根條形磁鐵沒入鐵屑中，見有鐵屑附於其兩端；可知磁性是密集於磁鐵的兩端的。磁性集中的場所，稱做磁極(magnetic pole)。把一根條形磁鐵用線懸起，使它能在水平面內迴轉，到了靜止時，它的一端指北，另一端指南。指南的一端上的磁極，稱做指南極，或簡稱南極，另一端的磁極，稱做指北極，或簡稱北極。普通的羅盤(俗稱指南針)，便是利用懸掛着或支立着而能在水平面內迴轉的磁鐵所製成(圖 199)。

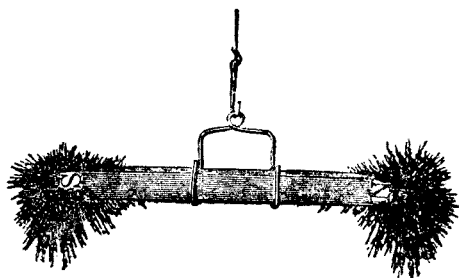


圖 198. 磁鐵的磁極。

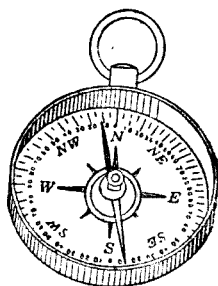
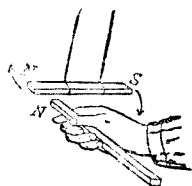


圖 199. 羅盤(指南針)。

我國歷史上載有“黃帝與蚩尤戰於涿鹿之野，蚩尤作大霧，將士皆迷四方，黃帝於是作指南車以示方向”的傳說。這種指南車大約也是利用磁鐵所製成，所以羅盤在我國早已發明，其方法由阿拉伯人而傳入歐洲。

**197. 磁極的相引與相斥。** 設有條形磁鐵兩根，用線吊懸其一(圖 200)；手執另一根而使兩磁鐵的北極(N)相接近，就顯出推斥作用。使這磁鐵的北極，與那磁鐵的南極(S)相接近，就顯出吸引作用。



由試驗可知：磁鐵的同名之極相斥，異名之極相引。

圖 200. 同名之極相斥，異名之極相引。

**198. 磁的感應現象。** 一隻鐵釘被吸在磁鐵的一極上時，第二隻鐵釘就可被第一隻鐵釘所吸引；第三隻鐵釘就可被第二隻鐵釘所吸引(圖 201)。若將第一隻鐵釘與磁極遠離，那第二隻，第三隻鐵釘就立即落下。

由此試驗可知，第一隻鐵釘因有磁極存於其旁，暫時亦顯磁性，這個現象叫做磁的感應 (magnetic induction)。

這時鐵釘受感應而成爲暫時磁鐵，所以能吸引第二鐵釘。

把“感”磁鐵移去，第一隻鐵釘的“應”磁也隨了消失，結果第二隻鐵釘不再受吸引而立即落下。

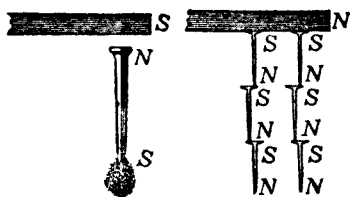


圖 201.

鐵釘受感應作用變爲暫時磁鐵。

199. 磁場圖。把一根條形磁鐵放在玻璃片下，片上勻布鐵屑。用手指輕擊玻璃片，則見鐵屑分布成圖 202 中的圖形，稱

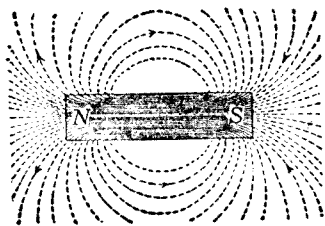
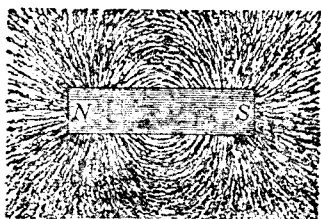


圖 202. 磁場及磁力線。

做磁場圖。細察磁場圖中的鐵屑，排列成許多曲線，稱做磁力線 (magnetic lines of force)。物理學上假定磁力線自北極發出，南極進入的。

200. 磁的分子說。取一根磁化的鋼線，使它分割成兩段，各段都變成了獨立的磁鐵。在斷處的磁極，如圖 203 所示。



把磁化的鋼線，照上法一分為二，二分為四地連續分割下去，最後所得到的仍是許多獨立的磁鐵。到了最後地步，那不能再

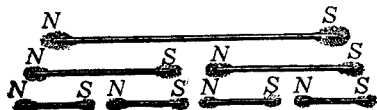


圖 213. 磁鐵分割成許多獨立的磁鐵。

行分割的磁鐵，便是組成物質的分子。因此可以推想到：鋼鐵的分子，原為獨立的磁鐵。

玻璃試管中滿盛鐵屑，將管底觸於磁鐵的北極上，用鉛筆輕擊試管，然後將磁鐵移去，則見滿貯鐵屑的試管也能吸引鐵屑，且管底成南極。若稍加振動，則吸鐵的性質立即消失。

把已經磁化的縫針，用火熱之，或用錘擊之，磁性很容易失掉。

從這類的事實，我們再可以設想鐵的分子本有磁性。因為當初的排列雜亂無章，所以磁性不顯，如圖 204 所示。若用磁極去擦鐵線，則鐵的分子受磁場的影響，排列成整齊的狀態，於是磁性顯露，如圖 205 所示。已磁化的鋼針，用火熱之，用錘擊之，分子受震動而排列重復紛亂，故磁性又消失。

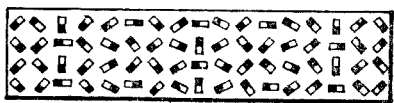


圖 204. 在未磁化前的鋼鐵分子分布狀況。

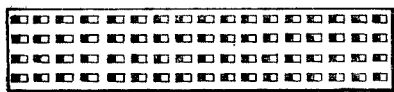


圖 205. 受磁化後的鋼鐵分子分布狀況。

**201. 地磁。** 將磁鐵條用線吊懸，使它能在水平面內迴轉，在靜止時，它的一端必指南，他端必指北。從這樣的事實，可以推想到地球本為一大磁石，其北極必有指南性的磁極，故與磁

鐵的指北極相引；其南極必有指北性的磁極，故與磁鐵的指南極相引。結果能使吊懸的磁鐵停留在南北的方向上。但地磁的兩極，並非與地球的兩極恰好重合，所以磁針所指的南北方向，與當地的子午線的方向（即地理的南北方向）每有偏異，並且那個偏度是各地不同的。

### 習題五十五

1. 近鋼橋或鐵路軌道之處，為什麼羅盤針不能指正確的方向？
2. 用磁鐵去試驗一隻縫針上有無磁性，必須得到相斥作用，方可證明針上有磁性的存在，何故？
3. 怎樣可以驗明磁鐵條的何極指南，何極指北？
4. 磁鐵會吸引銀幣，鎳幣，銅幣，香煙鐵罐嗎？
5. 一塊軟鐵，接近磁鐵的指北極，此軟鐵受感應而變為暫時磁鐵。其接近磁鐵之端，應為指北極，抑為指南極？試說明其所以然。
6. 一根鋼線，依東西方向平置於桌面，用磁鐵的指南極，順自西而東的方向擦之，問線的何端生指南極？
7. 要使磁鐵的磁性不易消失，應當怎樣留意？
8. 一根長的軟鐵棒直立於北半球內。為什麼它的下端與羅盤針的北極相斥？
9. 倘使你有一只小試管，盛鐵屑半滿，(a)你怎樣能使其磁化，並使管的閉端為北極？(b)你怎樣用一隻羅盤針來證明已被磁化？(c)怎樣使它退去磁性？(d)怎樣來證明磁性已退去？
10. 為什麼一條磁鐵被熱到高溫時，會失去其磁性？

## 第二十三章

### 靜電

**202. 摩擦起電。** 要知道電是甚麼，祇須做下列的幾個實驗。

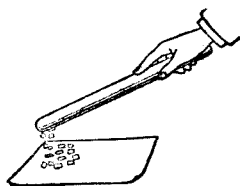


圖 206.  
帶電的棒能吸引紙屑。

在桌上散布紙屑，用一根玻璃棒觸之，並無任何現象發生。用一根火漆棒觸之亦然。

用一塊貓皮力擦火漆棒，把受擦的火漆棒去接近紙屑，便見紙屑向棒飛附。

用一塊絲綢力擦玻璃棒，把受擦的玻璃棒去接近紙屑，亦見紙屑向棒飛附。

從這試驗，可知玻璃棒用絲綢摩擦，或火漆棒用貓皮摩擦後，都得到一種吸引紙屑的新能力。產生這種新能力的現象，稱做**摩擦起電**，那時棒上帶有**電荷**(electric charge)。

**203. 正電與負電。** 火漆棒經貓皮的摩擦而起的電，與玻璃棒經絲綢的摩擦而起的電，性質是否相同？從下列的幾個試驗，就可知道是不同的，並且可知電有正負兩種。

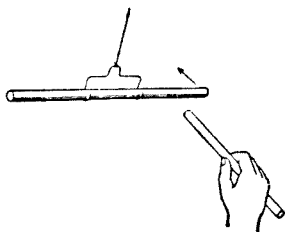


圖 207.  
同種的電相斥，異種的電相引。

用絲線吊懸鐵鈎，其上擱放一根受過絲綢摩擦的玻璃棒。如另用一根受過絲綢摩擦的玻璃棒去接近它，便見二棒相互推斥；如用一根受過貓皮摩擦過的火漆棒去接近懸着的玻璃棒，便見二棒互相吸引。同樣方法，使兩根受過貓皮摩擦的火漆棒互相接近，亦起推斥作用。如用一根受絲綢擦過的玻璃棒去接近一根受貓皮擦過的火漆棒，二棒必互相吸引。

由試驗可知，玻璃棒受絲綢摩擦而起的電與火漆棒受貓皮摩擦而起的電，性質絕異。 這玻璃棒上的電，特稱為正電或陽電 (positive electricity)，火漆棒上的電稱為陰電或負電 (negative electricity)。凡物體上所帶的電，若與玻璃受絲綢擦過而起的電性質相同者，都稱做正電；若與火漆受貓皮擦過而起的電性質相同者，都稱為負電。一切的電，非正即負，非負即正，我們從來沒有發見過第三種的電。正電與正電相接近，或負電與負電相接近時，能相推斥；正電與負電相接近時，能相吸引。所以：

同種的電相斥，異種的電相引。

**204. 驗電器。** 驗電器是一種試驗物體上所帶電荷性質的儀器，其製法如下：

取一根銅梗，使梗頂穿過一個橡膠質的瓶塞，在梗底懸二片金箔，安放在玻璃瓶中，就製成金箔驗電器 (gold leaf electroscope) (圖 208)。

如用帶電的火漆棒去接近(不必相觸)這驗電器的銅梗頂(圖 208)，便見

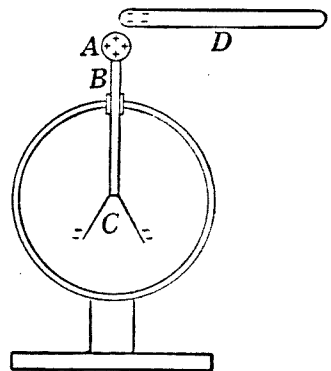


圖 208. 金箔驗電器。

金箔展開成  $\wedge$  形；將棒移開，箔即閉合。

若令帶負電的火漆棒與驗電器的梗頂相接觸，則棒上的負電由銅梗而傳到金箔上，箔立即展開。以後棒雖移開，已留在箔上的負電仍互相排斥，所以金箔仍能保持展開。此時稱做這驗電器是帶負電的狀態。

電器豫先帶有負電時，用帶有正電的玻璃棒去接近（未相觸）此器，便見金箔開展的程度減少；用帶有負電的火漆棒去接近此器，則見金箔的開展程度增大。在這兩種情形下，若把帶電棒移開，則金箔仍能回復原來的展開程度。所以利用驗電器，可以驗得某物體上所帶的是正電，抑是負電。

**205. 導電體與絕緣體。** 選取銅，鐵，鋅，鋁等金屬棒以及火漆棒，玻璃棒，橡膠棒等各一根。按次手執火漆，玻璃，橡膠等棒，分別去觸着帶電的驗電器的梗頂，可見金箔的展開程度減弱有限。這顯示箔上的電不容易由這些棒傳至他處逃逸（試驗時最好將各棒預先烘乾）。若手執任何一種金屬棒去觸着驗電器的梗頂，立見金箔閉合。這顯示金箔上的電，易由金屬棒傳至他處。

電很難由火漆，玻璃，橡膠等物質傳導至他處，但是很容易由金屬物質傳到別處去。凡鹽類，酸類，鹼類的溶液以及金屬等都有這種導電性，所以稱做**導電體** (conductor)。如火漆，玻璃，橡膠，瓷器，雲母，絲綢等無導電性的物體，稱做**非導電體** (nonconductor)，亦稱**絕緣體** (insulator)。

導電體與非導電體，並無絕對的界限。非導電體並非絕對不能導電，不過是比較的難於導電。至於各種導電體的導電性的強弱，亦是不等的。

## 習題五十六

1. 用銅棒與絲綢摩擦，棒上毫不起電。如在棒端裝一橡膠柄，手執此柄而後使銅棒與絲綢摩擦，棒上就能起電。何故？
2. 怎樣可以證明玻璃棒(與絲綢摩擦)上的電與火漆棒(與貓皮摩擦)上的電，性質不同。
3. 各種摩擦起電試驗，在乾燥的冬天做起來，現象格外顯著。何故？
4. 用硬橡膠製的自來水筆桿與毛織物摩擦後，用何法可以驗得(a)桿上已帶電？(b)電為正，抑為負？
5. 用何種方法，可以證明人體是能導電的？
6. 在冬天的太陽光下，用手去撫摩貓體，則貓體上能帶電。此法若在夏時室內行之則無效，試言其故。

## 206. 感應起電。取兩個蛋殼，上糊錫紙，用絲線吊懸(如圖 210)。

使兩蛋殼相觸，用帶有正電的玻璃棒放在近旁  $C$  處，乘棒未移開前，先將二蛋殼分開，然後再移開帶電的棒。於是以驗電器驗之，則見  $A$  上發生了正電， $B$  上發生了負電。若用帶有負電的火漆棒放在  $C$  處，如上法試之，即發見  $A$  上

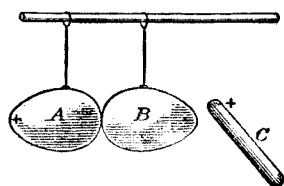


圖 209. 感應起電。

帶負電， $B$  上帶正電。倘使在  $A$  與  $B$  未分開之前，先把帶電棒移開，則見  $A$  與  $B$  上均不帶電。

把一個帶電體放在導電體的近旁，先把導電體分割為二部，然後移開帶電體時，則導電體的兩部上各帶着電，這稱做感應起電。 $C$  棒上的電稱為感電(inducing charge)，蛋殼上受感而

起的電稱為應電(induced charge)。

把導電體放在帶電體的近旁時，便生感應起電作用。導電體接近的部分所得的應電與感電的性質相異，遠離部分上所得的應電與感電的性質相同。

如圖 208 所示，以帶有負電的火漆棒，接近金箔驗電器而不與其接觸時，即由感應起電作用，使 A 處荷正電，C 處荷負電。在箔上的負電荷互相推斥，便使金箔開展。火漆棒若取去，A, C 仍舊不荷電，箔即閉合。

**207. 電是什麼。** 讀者要了解摩擦起電，感應起電，以及導電體與非導電體之所以不同，應先知道電是甚麼？

許多物理學家與化學家證明了組成各種物質的原子雖異，組成各種原子的基本成分卻均相同。例如水的分子是由氫與氧的原子所組成，食鹽的分子是由鈉與氯的原子所組成，但氫，氧，鈉，氯等各種原子都是由正電荷的質點與負電荷的質點所組成的。荷負電的微小質點稱做電子 (electron)，荷正電的微小質點稱做質子 (proton)。每種原子由若干質子與等數的電子所組成。所有質子與一部分的電子集成原子的核 (nucleus)。因為核內的荷正電的質子數，多於電子數，所以核帶正電。其餘的一部分電子繞行於核外。原子在正常狀態時，整個原子中的正電之量與負電之量相等，毫不顯出帶電的性質。在特種狀況下，物體的原子獲得一個或幾個本身以外的電子時，物體便呈帶負電的狀態，若原子失去一個或幾個電子，便呈帶正電的狀態。

凡是導電體，其原子外層的電子，很容易由這個原子進入他個

原子。這種移動的電子，稱做自由電子。在非導電體內，則自由電子的數量既少，且亦不易自由行動。至於荷正電的質子，其質量比了荷負電的電子大約一千八百倍，所以質子雖在良好的導電體中，亦不能自由行動。

令導電體與帶有正電的物體相接觸，因為帶正電的物體，含有比正常時較少的電子，於是有電子從導電體流到帶電體上，而使帶電體的正電量減少（所謂正電與負電的中和作用），同時，導電體本身則因失去一些電子，亦帶着正電。若令導電體與帶有負電的物體相接觸，則因帶負電的物體，含有比正常時較多的電子，於是有一部分的電子從帶電體流到導電體去，結果帶電體的負電量得以減少，而導電體則因得到一些電子，亦帶着負電。

絲綢與玻璃摩擦，為何玻璃上能起正電，同時還可以證明絲綢上起了負電呢？這因為絲綢與玻璃相摩擦時，玻璃就失去了若干電子而帶正電；那些電子是由絲綢得到的，因而絲綢帶負電，並且二者之電量相等。絲綢，玻璃都是非導電體，由摩擦而得的電量，不易傳至他處而消失，所以摩擦後會呈帶電的現象。若用兩個不絕緣的導電體相互摩擦，往往亦可使一個失些電子（帶正電），一個得些電子（帶負電），但因導電體中電子容易自由行動，由摩擦所得的電量不易保留，立即就會消失，所以摩擦起電的方法，不適用於導電體。

設有絕緣的導電體放在帶正電的物體近旁，則導體中的自由電子被吸引而集於近端，帶正電的原子則剩留在遠端。所以在導電體的近端上的應電與感電的性質相異，遠端上的應電與感



電的性質相同。

**208. 起電盤。** 起電盤(electrophorus)是一種最簡單的感應起電機，由一塊硬橡膠板與一塊具有絕緣柄的圓銅片組成。用貓皮摩擦硬橡膠板，板上就起了負電。將銅片放在板上，用手指觸銅片，先移去手指，次提起銅片。用驗電器檢查，則見銅片上帶有極強的正電。若天氣乾燥，用手指去接近此提起的銅片時，你的身體必微受震動，是為電震。這是由於片上的電流過身體而逃逸到別處去的緣故。假使這個試驗在暗室中舉行，還可以發見手指與銅片間，有火花發生，其長度可達5〔毫米〕左右；同時還可以聽見微弱的聲音。這種火花是與天空的電閃相同；微弱的聲音，是與雷聲相同；手指的微受震動，是與電擊相同；所異者，其程度非常微弱而已。

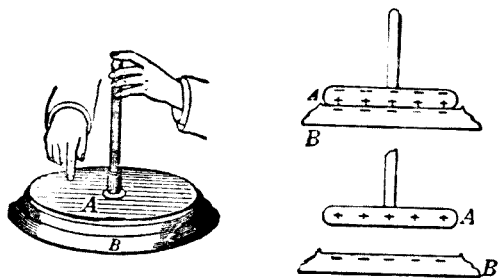


圖 210. 起電盤。

硬橡膠板經過一度摩擦後，按照上法可使銅片一次二次以至多次起電。每次所生的電花，並不減短其長度，所以橡膠板上的電量並不因銅片屢次起電而減少。又銅片所起的電是與板

上的電相異，可知銅片上的電由感應作用而得，並非從銅板上傳來。

銅片放在帶電的橡膠板上時，除數點外，實未嘗接觸。因片與板間有絕緣性的薄層空氣，橡膠板又為非導體，所帶的電決不能從這幾個接觸點跑到銅片上去。銅片放在橡膠板上受感應後，下面起正電，上面起負電。手指觸之，此負電因與橡膠板上的負電相斥，使由手指傳遞他處；銅片上的正電受到橡膠板上的負電相引，而被束縛，仍留於銅片上。到了片與板分離之後，片上束縛的正電恢復其自由狀態。以手指接近此片，片上的自由電，每能超過空氣，由人體逃入地中（實際是人體上帶負電的電子越過空氣傳到銅片上）。電越過空氣時，會生強熱而發光，空氣受熱而膨脹時會發生聲音。實驗室中所用的靜電起電機（static electric machine）實是一個連續發電的起電盤，其發電亦是由於感應作用，不是由於摩擦作用。

### 習 題 五 十 七

1. 以帶有負電的火漆棒去接近帶有正電的驗電器時，則金箔張開程度減少。若過分接近（並非相觸），金箔先閉合而復張開，這是什麼緣故？若棒與驗電器相接觸，則先見金箔閉合，重復張開，何故？

2. 以帶有負電的火漆棒去接近帶有負電的驗電器時

（並非接觸），金箔的張開程度，是增加抑減少？何故？棒若與驗電器接

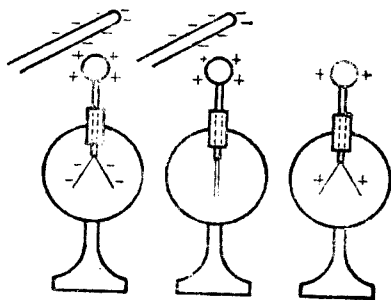


圖 211.

觸，則金箔的開合情形怎樣？

3. 有了驗電器，玻璃棒 絲綢，你就可試驗他種物體所帶的電爲正抑爲負。試說明之。

4. 帶負電的火漆棒，放在絕緣的金屬球旁，試作圖以示金屬球上的電怎樣分布。

5. 試用電子說來解釋導電體與絕緣體。
6. 試用電子說來解釋感應起電現象。
7. 試用電子說來解釋摩擦起電現象。

## 第二十三章 復習題

1. 用二物體的摩擦起電法，能否單獨使一物體帶電？
2. 試將一個磁極的行徑與一個帶電體的行徑加以比較，
3. 試述一個不帶電物體的電的情況。
4. 什麼是帶正電的物體？帶負電的物體？（用電子說來解釋。）
5. 能否用摩擦起電法使一個導電體帶電？何故？
6. 在冷而乾燥的冬天，用硬橡膠梳子梳頭時，會使頭髮豎起，何故？
7. 爲什麼一隻金箔驗電器帶電時，二片金箔會張開？
8. 用金箔驗電器，你怎樣能知道一個物體所帶的電是何種電？
9. 爲什麼一個不帶電的輕物體會給一個帶電的物體所吸引？
10. 一撮紙屑會飛附到帶電的玻璃棒上，但一會兒便跳開，試言其故。

## 第二十四章

## 電 流

**209. 簡單電池。** 取鋅片一枚，浸入稀硫酸中，即見片上有多量的氣泡發生。倘使在鋅片上薄塗一層水銀，然後浸入酸中，則發生氣泡的現象大減。

另取銅片一枚，浸入稀硫酸中，銅片上並無發生氣泡的現象。倘使把鋅片銅片同時插入酸中（圖 212），再用銅線把露在液外的片端聯結起來，此時便見銅片上有許多的氣泡（氫氣）發生，鋅片上則否。不久還可以覺察銅線的溫度會得增高，鋅片正在逐漸的消蝕。若銅線是依南北方向直張，

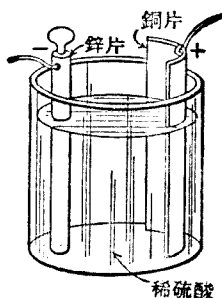


圖 212. 簡單電池。

用磁針一隻放在銅線的下面（圖 213），便見磁針起偏轉。這些

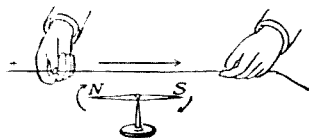


圖 213. 電流有磁效應。

都是有電流 (electric current) 流過銅線的現象。這種產生電流的裝置，稱做電池 (electric cell)。

鋅片與銅片稱做電池的極。故：

電流通過導線時，能生熱效應，磁效應，與化學效應（鋅的消蝕）。

**210. 電池的正極與負極。** 驗電器的梗端上裝一銅片  $B$ ，把另一銅片  $A$  疊放在  $B$  片上(圖 214)。

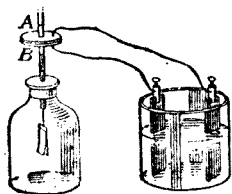


圖 214.

電池的極片上帶有電。這就可以證明金箔上先帶有負電，此負電量乃從電池的鋅片上得來。若以電池的的銅片聯至  $B$ ，鋅片聯至  $A$ ，試之，就可以證明銅片上帶正電。

銅片與鋅片插入稀硫酸中，銅片上帶正電，所以銅片稱為正電極(陽極)，鋅片上帶負電，所以稱為負電極(陰極)。用線聯結之，銅片上的正電由導線流至鋅片。這正電所流動的方向，即普通所說的電流方向。

在此種電池中，鋅片受到化學作用，而銅片不起變化。鋅原子逐漸溶化於酸中，變成鋅離子( $Zn^{++}$ )，那時便有電子留在鋅片上，使鋅片帶負電。鋅離子帶有正電，使排斥稀硫酸中荷正電的氫離子( $H^+$ )，使它到銅片上去，因而銅片帶正電。若用導線聯結銅片鋅片，則鋅片上的電子便會流向銅片去，銅片上的電子會使氫離子的電荷中和，使氫離子變成氫氣。祇要導線聯着，鋅片所受的化學作用就不停止，鋅離子繼續形成，並且不絕地有電子從鋅片經過導線流至銅片去，使那裏的氫離子變成氫氣發出。那時導線中經過的“電子流”便是電流。所要注意的，我們普通所

\*線(wire)指金屬之線，以別於路線，曲線等之線。

說的電流方向，恰好與實際的電子流的方向相反

**211. 電路。** 用一根玻璃管，連通二杯。杯中盛稀硫酸，把鋅片與銅片分別插入二杯中，用銀把露在酸外的片端聯結起來(圖 215)。由上節

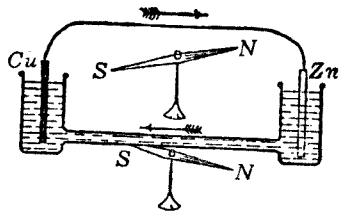


圖 215. 電路。

可知銀中的電流自銅片(Cu)流至鋅片(Zn)。若銀與管的方向是南北的，把磁針放在銀下，見磁針的N極有定向的偏轉。若移磁針至管下，可見磁針亦起偏轉，但其偏向與在銀下時相反。這就證明了此時酸液中亦有電流通過，其方向與銀中的電流相反，即是由鋅片流至銅片的。把聯銀割斷，即見銀中的電流消失，同時管中的電流亦斷。

由此試驗，可知電的流動，必取迴轉的通路，路斷則電流亦中斷。圖 216 中的電路(electric circuit)可分兩部，在銀中有電自A片經電鈴而流至B片，是為電路的外路，在電池中有電自B片流至A片，是為電路的內路。

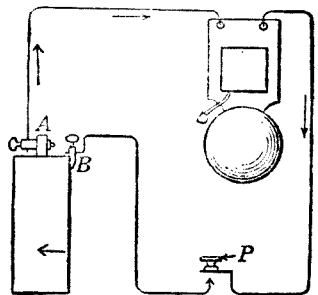


圖 216. 內路及外路合成通路。

合內路與外路而成通路。通路切斷，電就無法迴流了。如圖 216, P 為電鍵(key), 接在通路中, 用以接通或切斷電路。

212. 溼電池與乾電池。 如 209 節所述，用鋅片與銅片插入稀硫酸而構成的電池，裝置雖很簡單，但有兩個缺點：(1) 在不斷地供給電流時，電流的強度要逐漸減弱。(2) 在不令供給電流時，鋅片在酸內仍要逐漸的消蝕。 因此，這種簡單電池不切實用。

勒克蘭社電池 (Leclanche cell, 圖 217) 是最切實用的溼電池。 那是將炭棒一根，插在無釉瓷筒中。 棒的四周實以二氧化

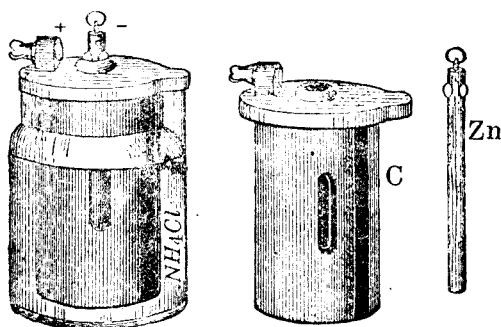


圖 217. 勒克蘭社電池。

錳與炭粉的混合物。 把這瓷筒浸入氯化銨 ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) 的濃溶液中。 另有鋅棒一根，插入此氯化銨液內。 這電池以炭棒為正極，鋅棒為負極。 在使用時，電流的強度不易減弱；不用時鋅在氯化銨溶液內亦無消蝕作用。 故多採用於電鈴等的設置中。

通用的乾電池 (圖 218)，是由勒克蘭社電池改造而成。 用一鋅製之罐，其中插一條炭棒。 罐的內面襯有吸水紙數層以資保護。 炭棒的四周實以二氧化錳與炭粉的混合物，此種混合物用

氯化銨的水溶液調成糊狀。罐口用瀝青封好。氯化銨的水溶液是組成乾電池的最重要物質。二氧化錳與炭粉可使電池功效的愈佳。把一只用舊的乾電池剖開，就可看見鋅罐已消蝕不少，炭棒則毫無變異，糊狀物已經乾燥。鋅質的消蝕是由於化學作用，那時所生的化學能變為電能，以驅使電子流動於銅線或小電燈的絲中，這好像煤燃燒時供給熱能，驅使唧筒以抽水，水則流動於管中一般。

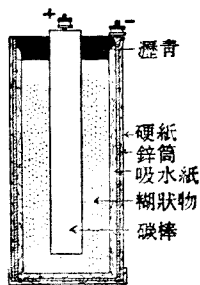


圖 21. 乾電池。

鋅值非賤，用鋅的化學能變得的電能價值亦昂貴。因此乾電池僅用來供給弱小電流與臨時或間斷使用的電流，如電鈴，電話，無線電話，及手電筒等所用者。

## 習 題 五 十 八

1. 簡單電池為何不切實用？
2. 用怎樣方法可以驗得乾電池以炭為正極，鋅為負極？
3. 電流通過導線時，有那幾種效應發生？
4. 勒克蘭社電池與乾電池有無不同點？
5. 勒克蘭社電池的優點何在？
6. 電池供給電流的‘能’從何而來？
7. 乾電池果真是乾的嗎？
8. ‘電流方向’與‘電子流方向’有何不同？



## 第二十五章

### 電流的化學效應

**213. 電解。** 把二塊鉑製電極浸入稀硫酸溶液中，分別用錄聯至電池組的正極與負極上，即有電流通過，兩片上均發生

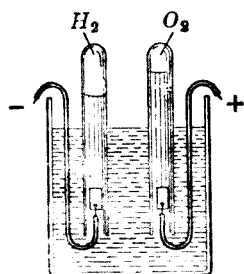
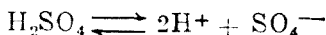


圖 213. 水受電解作用。

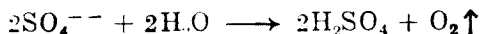
氣泡；可用試管收集之。引入電流的鉑片為正極片，輸出電流的鉑片為負極片。正極片上所生的氣體是氧氣，負極片上所生者是氫氣。電流通過溶液，能把溶液中的水分解為其成分——氫及氧。用電流去分解化合物的方法，稱做電解(electrolysis)。

**214. 電離。** 要使水受電解而分成氫氧二元素，則必需滴加少量硫酸於水中。硫酸( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )的分子在水中能離解成三個帶電的質點，各稱做離子(ion)。二個是氫離子，各帶一正電荷；一個是硫酸根離子，帶有二負電荷。



這現象稱做電離(ionization)。通電時，荷正電的氫離子( $\text{H}^+$ )向着負極移動，與負極接觸時即失去其正電而變為氫氣。硫酸根離子( $\text{SO}_4^{--}$ )向着正極片移動，與正極接觸時失去負電，成為

硫酸根。硫酸根立即與水作用，變為硫酸，並使水中的氧放出。



所以電流通過硫酸的水溶液時，受分解的是水。

**215. 電鍍。** 用銅片與炭片各一，插入硫酸銅的水溶液中，使電流由銅片引入溶液，並由炭片導出。若電流通過的時候稍久，則見炭片上薄鍍一層銅質。電流愈強，通過的時候愈久，則炭片上鍍得的銅量愈大，同時見到銅片消蝕愈多。炭片上鍍着的銅量與銅片上消蝕的銅量恆相等。這樣的操作，稱做電鍍(electroplating)。所以鍍銅時，以待鍍的物件為負極，純銅片為正極，鍍金，鍍銀，鍍鎳等，也都以待鍍的器皿為負極，純金，純銀，純鎳等片為正極。茲將普通所用的電解液的配合量分列如下：

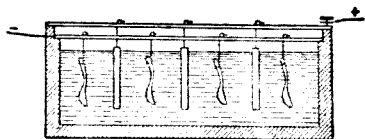


圖 220.

電鍍，待鍍的器皿懸在作負極的銅梗上。

鍍金	氯化金	5.50 [克]	} (正極用純金片 負極用待鍍品)
	氰化鉀	50.0 [克]	
	水	500.00 [克]	
鍍銀	氯化銀	4.40 [克]	} (正極用純銀片 負極用待鍍品)
	氰化鉀	0.50 [克]	
	水	500.00 [克]	
鍍鎳	硫酸鎳銨	65.00 [克]	} (正極用純鎳片 負極用待鍍品)
	水	900.00 [克]	
	硫酸	少許	

**216. 電流及電量的單位。** 1834年，法拉第氏(Faraday)證明：電解時析出的物質，其質量與通過的電流強度成正比，與電流通過的時間成正比；換言之，與電流及時間之積成正比，是為法拉第電解定律。

所謂電流(current)是每〔秒〕流過的電量。電流與時間之積，便是共耗的電量。

現今國際協定的電量單位，稱做庫侖(coulomb)。以1〔庫侖〕的電量通過銀化合物的溶液時，不問其為硝酸銀，氯化銀，或其他銀鹽，必能析出0.001118〔克〕的銀質。倘能析出0.002236〔克〕的銀質，則所耗的電量必為2〔庫侖〕。電流的強度以每〔秒〕流過的電量來計算，凡每〔秒〕流過的電量為1〔庫侖〕者，其電流的強度稱做1〔安培(ampere)〕。所以1〔安培〕的電流，通過銀化合物的溶液時，每〔秒〕必能析出0.001118〔克〕的銀質。若每〔秒〕能析出0.002236〔克〕的銀質，則電流的強度必為2〔安培〕，餘可類推。安培計(ammeter)是量度電流強度的最簡便的儀器。

**217. 蓄電池。** 把兩塊鉛片浸入稀硫酸中，與乾電池聯結如

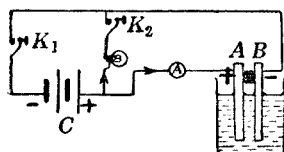


圖 221. 蓄電池的原理。

圖 221. 司路器(switch  $K_1$  閉合時，則電流通過池中，陽極(+)片漸變為褐色。若將  $K_1$  放開而使  $K_2$  閉合，則電鈴  $B$  大鳴，同時陽極片上的褐色漸退。至褐色退完，鈴鳴

亦止。再把  $K_2$  放開， $K_1$  閉合，則電流又通過池中，仍使陽極片變為棧色。再把  $K_1$  放開， $K_2$  閉合，則電鈴復鳴。所以上述的作用，可以循環無窮。

片上所生的棧色物，是二氧化鉛( $PbO_2$ )。電流通過此池，使池的陽極片變為二氧化鉛，陰極片仍為鉛。今若以此不同的二片浸在稀硫酸中，就變成了電池，可以供給電流，所謂放電(discharging)，那時兩種極片上逐漸包被硫酸鉛( $PbSO_4$ )。經過相當時間的放電，可再將電流充入，以使正極片回復為二氧化鉛，負極片回復為鉛，這叫做充電(charging)。於是

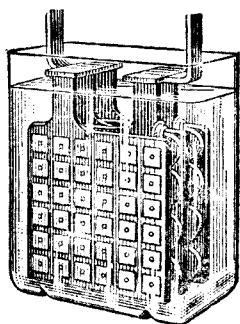


圖 222. 鉛板蓄電池。

復應用以供給電流。因其能充電放電，反復應用，特稱蓄電池(storage battery)，其實所蓄的是化學能。這二氧化鉛片，實相當於乾電池的炭極(+)，鉛片則相當於鋅極(-)。充電時的電流方向，與放電時的相反。所以充電時的電源(電池或直流發電機)的正極，須與蓄電池的正極相聯，負極與負極相聯。

### 習 題 五 十 九

1. 要在某物表面鍍金，或鍍銀，應以這物件作為負極片抑正極片？
2. 要在 1 [小時] 內用電解法析出銀 10 [克]，電流的強度是若干 [安倍]？總共用去的電量是若干 [庫倫]？
3. 用 10 [安倍] 的電流去析出銅 10 [克]，要費多少時間？ (1 [庫倫])

的電能析出銅 0.0003294 [克])。

4. [安倍](電流)與[小時](時間)之積,稱做[安倍·小時](電量)。試求 1 [安倍·小時]等於幾[庫倫], 1 [庫倫]等於幾[安倍·小時]。
5. 試就電能變為化學能,與化學能變為電能的事實,各舉一例。
6. 蓄電池放電時,其內電路中的電流方向是怎樣?
7. 蓄電池充電時,其電路應該怎樣聯接? 其內電路中的電流方向又是怎樣?
8. 要析出 16.1 [克]的銀,須耗電多少[安倍·小時]?

## 第二十六章

### 歐姆定律

**218. 電壓與水壓。** 設有  $A, B$  二器，中盛以水，用  $R$  管聯通之(圖 223)。若二器中的水面  $A$  高於  $B$ ，則  $a$  處的壓力高於  $b$  處，結果管中就發生水流，自  $a$  流至  $b$ 。所以管中水流的流

動，由於兩端水壓的不等，水壓之差愈大，則水流亦愈強。試用銅鋅聯結乾電池的二極，鋅中就有電流從炭極流到鋅極。以水流的事實為譬喻，就可想到銅鋅中有電流的流動，必由於鋅的兩端間電壓的不等。今鋅中的電流方向，由炭極(+ )至鋅極(- )，因而稱此電池的炭極上的電壓高於鋅極。

電池所能供給的總電壓，特稱爲此電池的電動勢 (electromotive force)。

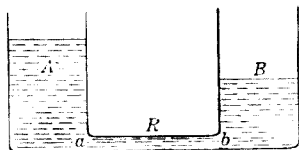


圖 223. 管中水液的流行，由於兩端水壓的不等。

**219. 電阻與摩擦力。** 水流動於管中，必受摩擦力。管愈細而長者，所受的摩擦力必愈大，結果水流愈緩。電流動於導線中，亦受相當的阻礙，是稱電阻 (resistance)。線愈細而長者，電流動於其中，受阻亦愈大，電流的強度必愈形減弱。所以一種導線的電阻，與其長度成正比，與其截面積成反比。

國際協定的標準，以  $0^{\circ}\text{C}$  時的水銀柱，長 105.3 [厘米]，截面 1 [平方毫米] 者，所施於電流的電阻，作為量電阻的單位，稱做歐姆 (ohm)。

設取各種等粗等長的導線相互比較，則電阻各不相同。若以銀的電阻為標準，則得下列的比較。

銀	1.00	軟鐵	6.00	德銀*	11—20
銅	1.11	鎳	9.67	鋼	13.5
鋁	1.87	鉑	7.20	水銀	63.1

**220. 歐姆定律。** 在 1826 年，歐姆氏 (Ohm) 發表其研究所得的結果：各種電池所能發出的電流，其強度常與電路中所存在的電動勢成正比，而與電路的電阻成反比。若某導線的電阻適為 1 [歐姆]，欲令 1 [安培] 的電流通過這線，則導線的兩端間所需的電壓，可取作電壓的單位。這單位的電壓，稱做 [伏特] (volt)。設以  $I$  代表以 [安培] 計的電流強度， $E$  代表以 [伏特] 計的電壓， $R$  代表以 [歐姆] 計的電阻，則歐姆定律可用下式表示：

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

$$E = IR$$

例如用細而長的導線去聯結電池的兩極 (圖 224)，電流在通路中流動時，必須經過外電路  $R$  (導線) 及內電路  $B$  (電池內部)。

\*德銀 (German silver) 的組成是 5 分銅，2 分鎳，2 分銻。

電流在經過此外路及內路時，都要受到若干的阻礙。此周路的電阻，必為外路電阻  $R$  與內路電阻  $B$

之和。據歐姆定律，當有下列的關係：

$$\text{電流} = \frac{\text{電池的電動勢}}{\text{外電阻} + \text{內電阻}}$$

或 
$$I = \frac{E}{R + B}$$

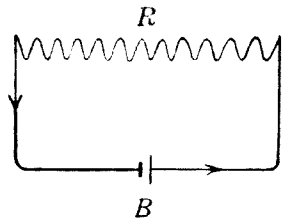


圖 224. 電路。

【例】設電池的電動勢為 3.5 [伏特]，內電阻為 0.5 [歐姆]，外電阻為 1.25 [歐姆]，則

$$\text{電流的強度} = \frac{3.5}{1.25 + 0.5} = 2 \text{ [安培]}.$$

### 習 題 六 十

- 18 號銅線 30 [米]長的電阻是 1 [歐姆]，試求長 260 [米]時的電阻。
- 據上題計算長 33 [米]的 18 號的德銀線的電阻。
- 設 20 號之線，其截面大於 30 號之線者三倍。今有某種 30 號線，計長 1 [米]，電阻為 6 [歐姆]。試求此種物質的 20 號線每 [米]長的電阻及 10 [米]長的電阻。
- 試比較水壓與電壓，水流與電流，摩擦力與電阻的類似點。
- 電量與電流有什麼分別？
- 以 10 [伏特]的電壓，施於導線的兩端間，結果有 5 [安培]的電流通過此線，試求此線的電阻。
- 某電熱器的電阻為 10 [歐姆]，最多得以 12 [安培]之電流安全通



過此器，試求此器能受的安全電壓為若干[伏特]？

8. 某電阻器，以 10 [伏特]的電壓施於其上，則有 4 [安倍]的電流通過這器，若改用 220 [伏特]的電壓，則有多少[安倍]的電流通過？

9. 某乾電池的電動勢為 1.5 [伏特]，若用粗而短的銅線（設其電阻為 0）聯結兩極，能發出 27 [安倍]之電流，試求此電池的內電阻。

10. 某乾電池的電動勢為 1.5 [伏特]，內電阻為 0.5 [歐姆]。若用 25 [歐姆]的線接其兩極，試求線中的電流強度。

## 第二十七章

### 電流的熱效應

221. 電流的熱效應。取乾電池一隻，與 1.5 (伏特) 之電燈泡一隻，用銅線如圖 225 裝置之，則見電燈發光。若細加觀察，見光是從泡中的一根細絲發出，而這根細絲乃是電路的一部。電流通過燈絲時，絲就熱到白熾而發光。

電流通過這樣的周路中，為何只有燈絲部分可以發光？倘再加意觀察，見這燈絲較別部為細，就可推知燈絲的電阻必甚大。所以電流的熱效應，必與電阻有密切的關係。據實測的結果，可知電流通過導線時，每〔秒〕中所生的熱量，與這線的電阻成正比，與電流強度的平方成正比。若電流  $I$  的強度以〔安培〕計，電阻  $R$  的大小以〔歐姆〕計，則導線中每〔秒〕所生的熱量  $H$  以〔卡〕計，為：

$$H = 0.24I^2R$$

再據歐姆定律，設電壓以〔伏特〕計，則  $E = IR$ ，代入上式，可知

$$H = 0.24EI.$$

【例】10〔歐姆〕之電阻線，在 10〔分〕鐘內將 1000〔克〕之水由  $15^\circ\text{C}$

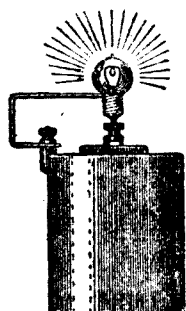


圖 225. 電流通過燈絲時，燈絲熱到白熾而發強光。

熱至  $60^{\circ}\text{C}$ ，試求所用電流之強度及電壓之值。

此電阻線在 10 [分] 內發出的熱量，共計

$$1000 \times (60 - 15) = 45000 \text{ [卡]}$$

10 [分] 是 600 [秒]，故每 [秒] 發出的熱量是

$$45000 \div 600 = 750 \text{ [卡]}。$$

設所用電流強度是  $I$  (安培)，則

$$750 = 0.24 \times 10 \times I^2$$

$$\therefore I = \sqrt{\frac{750}{2.4}} = 17.7 \text{ (安培)}$$

所求電壓為

$$E = IR = 17.7 \times 10 = 177 \text{ (伏特)}$$

**222. 電燈及手電筒。** 通常的電燈都是利用電流通過燈絲，使它發生強熱而至白熾的。其構造為一真空的玻璃泡，內裝鎢絲為燈絲。欲使燈絲發適度的光亮，必須有適當強度的電流通過其中。電流過強，燈絲溫度過高，絲易熔毀。電流過弱，燈絲溫度過低，就不能發出適度的光亮。因為每隻電燈的燈絲有一定的電阻，通過燈絲的電流強度必隨絲的兩端間的電壓而定。欲使電燈發出適度的光亮，則燈絲的兩端所接於電路上的兩點間必須有合乎規定的電壓。

普通手電筒中所用的小電燈泡，祇須 4.5 [伏特] 的電壓，用三隻乾電池串聯，已能使燈絲發適度的光。家庭常用的電燈，有的城市中須 110 [伏特] 的電壓，有的須 220 [伏特] 的電壓，方

能使燈絲發適度的光亮。若以使用於 4.5 [伏特] 電路上的燈泡, 使用於 110 [伏特], 或 220 [伏特] 的電路上, 則燈中的電流過強, 燈絲熔毀。若以應用於 110 [伏特] 或 220 [伏特] 電路的燈泡, 使用於 4.5 [伏特] 電路上, 則電流過弱, 燈絲暗淡無光。

若電燈中流過的電流是  $I$  [安培], 電壓是  $E$  [伏特], 而此電燈所須消耗電能的功率是  $W$  [瓦特], 則

$$W = EI.$$

例如, 能發 40 [燭光] 的電燈泡, 即市上出售的 50 [瓦特] 的燈泡。若將其用於 110 [伏特] 電壓的電路上, 其中流過的電流便是

$$I = \frac{W}{E} = \frac{50}{110} = 0.454 \text{ [安培]}.$$

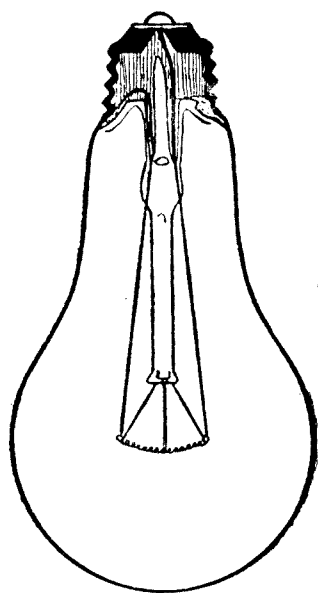


圖 226. 電燈泡。

[瓦特] (watt) 是一種功率的單位,  $1$  [瓦特] =  $1$  [焦耳/秒] (§96), 功率與時間之積, 才表示所消耗的電能之量。用  $1$  [瓦特] 的功率消耗電能的電燈, 點用  $1$  [小時] 所消耗能量, 常取作電能單位, 稱做  $1$  [瓦特·小時],  $1000$  [瓦特·小時] 稱做  $1$  [仟瓦·小時], 便是通常根據了以付電費的用電量的單位, 俗稱

1 [度] (英文中簡稱為 K.W.H.)。

【例】一盞 50 [瓦特] 的燈泡，若每日點用 4 [小時]，則每月共消耗電能：

$$\begin{aligned} 50 \times 4 \times 30 \text{ [瓦特} \cdot \text{小時]} &= \frac{50 \times 4 \times 30}{1000} \text{ [仟瓦} \cdot \text{小時]} \\ &= 6 \text{ [仟瓦} \cdot \text{小時]} \end{aligned}$$

家中裝在電燈線路引進處的電計，即用以量計所用電能的 [仟瓦·小時] 數者，名叫瓦特小時計 (watt-hour meter)。

223. 電燈的裝法。把幾盞電燈一同接入電路中的方法有二種。第一法，使電流先經過第一盞燈，次經過第二盞燈，再經過第三盞燈，經過各燈的電流強度相同，如圖 227，這種裝法稱

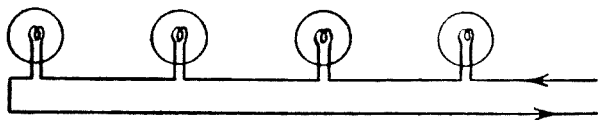


圖 227. 串聯法。

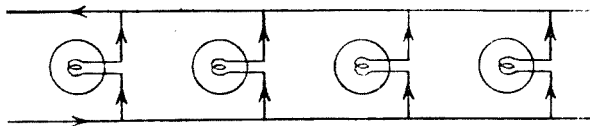


圖 228. 並聯法。

做串聯 (series connection)。第二法，使電流分支經過各燈，如圖 228，流過各燈的電流可以不相同，這樣的裝法，稱做並聯 (parallel connection)。在串聯電路中，一燈熄滅，電路即斷，其餘諸燈亦隨而熄滅。在並聯電路中，每燈的明滅與其餘各燈

不相關，所以家庭中的電燈裝置法都採用並聯法(圖 229)。

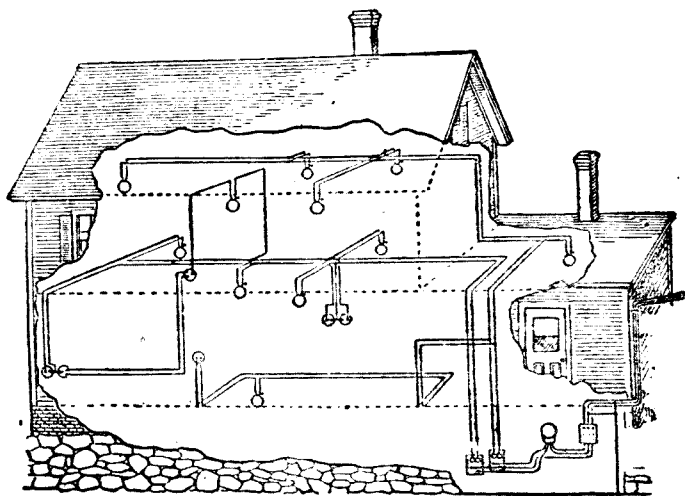


圖 229. 住宅中電燈的裝置法。

### 習題六十一

1. 以 10 [伏特] 的電壓施於鉛線兩端，有 2 [安培] 的電流通過這線。若此線放在 100 [克] 的冷水中，求 1 [分] 鐘後水的溫度增高攝氏幾度。
2. 某電燈接在 110 [伏特] 的線路上，則有 0.5 [安培] 的電流通過燈絲。試求燈絲在熾熱時的電阻，並求每 [秒] 鐘發生的熱量。
3. 如用上題的電燈，接至 220 [伏特] 的線路上，應有何種現象發生？
4. 試舉日用的電熱器一二種。
5. 把你的住宅中所裝置的電燈線路，畫一個簡圖。
6. 50 [瓦特] 的燈泡，裝在 220 [伏特] 的電路上，燈絲中流過的電流是多少 [安培]？燈絲的電阻是多少 [歐姆]？

7. 用於 110 [伏特] 電路上的 50 [瓦特] 的燈泡, 其燈絲的電阻是多少 [歐姆]?

8. 若裝置電燈 8 盞於 220 [伏特] 的電路上, 4 盞燈泡是 25 [瓦特] 的, 4 盞是 50 [瓦特] 的, 平均每日開燈 5 小時, 若不計電能在線路上的損失, 試求每月所消耗的電能量的 [仟瓦·小時] 數。若電費是每 K.W.H. 4 元 2 角, 問每月須付電費多少?

**224. 觸電的危險。** 依據歐姆定律, 可知通過導電體的電流強度與電壓成正比, 與電阻成反比。人體是導電體, 不過電阻甚大, 通常在 1000 至 10,000 [歐姆] 之間, 大約隨皮膚層的燥溼而異。假定人體的電阻為 1500 [歐姆], 利用一隻乾電池的電動勢, 1.5 [伏特], 來驅使電流通過人體, 電流的強度僅  $\frac{1}{1000}$  [安培] (試用歐姆定律計算)。吾人對於這種微弱的電流, 實無任何感覺。倘使身體的觸着處, 其間有一萬 [伏特] 的電壓, 則必有 7 [安培] 左右的電流通過人體, 此時誰都會觸電而死。夏天雷電交作時, 雲層與地面間的電壓之大, 異乎尋常, 人處其間因觸電而致死, 就是這個道理。

其實有  $\frac{1}{10}$  [安培] 的電流通過人體時, 已經足夠發生危險。若自電車路上 (§ 238) 的電線觸電 (電壓 500 [伏特]), 人可立死。家庭所裝置的電燈線上的電壓, 通常為 110 [伏特] 或 220 [伏特], 不慎而施及人體, 常起嚴重的震擊, 甚或喪生。所以普通的電線雖用銅線製成, 外面必包橡膠質及棉紗等絕緣物, 以防觸電及撻路 (§ 226) 等危險。

**225. 電路中所生的熱。** 電流所生的熱效應，既與電流強度的平方成正比，與電路的電阻成正比，因此電流通過時，通路中的各部都能生熱。吾人用電的目的，是要使電燈發光，電熱器發熱。若線路中生多量的熱，則不但消耗電能於無用，並會引起意外的危險。所以電線是都用較粗的銅線或銅纜製成，取其電阻甚小，電流經過時生熱極微，溫度就難得增高了。

**226. 電路過熱時的危險。** 家庭中的電線，應按照一定的規範裝設，合法使用，則危險自少，否則常能引起意外的禍害。例如不慎把電線的包被物擦破，使二根銅線直接相觸(俗稱碰線，術語稱捷路(short circuit)，此時通路的電阻至小，就有極強的電流通過電線，發熱過多，每致引起火災。

**227. 保險絲。** 你的家庭中若裝有電燈，在電計附近便可找得磁匣幾隻，把匣蓋脫下，可見匣內有易熔線(fuse wire，俗稱保險絲)。若此線熔毀，則電路立斷。

保險絲的功用，為防止捷路的危險。此絲係鉛與錫的一種混合物所製成，溫度稍高，即能熔毀，故稱易熔線。若偶然有過強的電流通過這絲，便生足量的熱而使絲熔毀，電的通路因以切斷。所以保險絲在電路中，是一種必要的安全裝置。電料店中出售的保險絲，其粗細不一，並均標明其限制電流的數值為若干(安培)，以便任意選用。



## 習題六十二

1. 住宅中裝的電燈盞數雖不多，但總電線不能過細，太細了有什麼危險？
2. 住宅中裝的電燈盞數雖不多，但保險絲不可太粗，粗了有什麼危險？
3. 可否用普通的銅線來替代保險絲，倘若不可，說明不可的理由。
4. 安裝的電線，若年代過久仍不更換，有無弊病發生，其弊何在？

## 第二十四章至第二十七章復習題

1. 試述一種量電阻的簡單方法。
2. 什麼叫做串聯法？並聯法？
3. 一個導體的電阻依何種條件而定？
4. 手電筒中所用的乾電池與勒克薩社電池有何不同？
5. 一盞用於 110 [伏特] 的電路的電燈，(a) 若接在 220 [伏特] 線路上，(b) 若接在 50 [伏特] 線路上，各會發生何種現象？
6. 同樣粗細的一根銅線與一根鋁線，量得有同樣電阻，問那一根線較長？長幾倍？
7. 一隻乾電池，如果真是乾的話，就沒有用，試說明之。
8. 若外電路的電阻甚小，則用六隻串聯的乾電池來供給的電流不比單用一隻乾電池大些，何故？
9. 有一電燈線路預定載電流 15 [安培]，若在這線路上，裝置能任 30 [安培] 的保險絲，有何危險可發生？
10. 蓄電池所蓄的是什麼？它是否合於能量不減定律？

## 第二十八章

### 電流的磁效應

228. 電流的磁效應。 用一根銅線垂直穿過紙板，線的兩端 聯至電池的兩極。 設有電流自下而上通過銅線時，若在板上勻布鐵屑並輕擊之，則見鐵屑排列成許多同心圓圈。

這顯示：電流通過導線時，在其四周生成磁場，諸磁力線均為同心圓，其圓而且與電流的方向垂直。

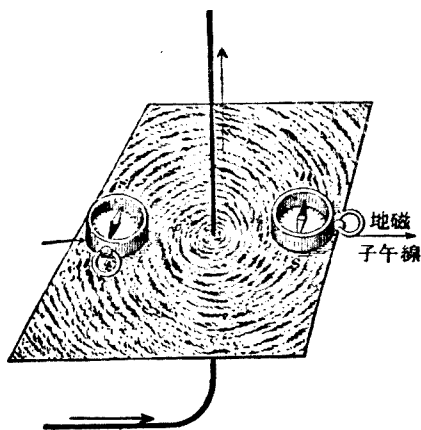


圖 230. 電流四周的磁場。

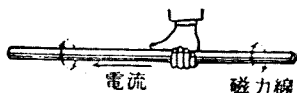


圖 231. 安培法則。

若以小磁針放在紙板上，以求磁力線的方向，就得到如下的安培法則（亦稱右手法則）：右手握着銅線，姆指示電流的方向，則彎曲的各指示磁力線的方向。 磁力線是出自磁針北極，進入磁

針南極的。

**229. 螺管線卷的磁效應。** 取紗包銅線數尺繞於大號鐵釘上，製成一個螺管線卷 (solenoid)，線的兩端聯到電池的兩極。在有電流通過螺管線卷時，這線卷與它的鐵核便變成了一根磁鐵，會有吸引鐵屑等的本領。若電流中斷，磁性就立即消失，被吸的鐵屑立時下落。把鐵釘抽去，單獨留下的螺管線卷，在有電流通過時，亦會發生磁性，但很微弱。

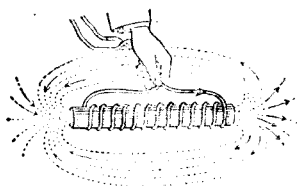


圖 232. 電磁鐵。

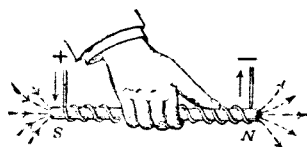


圖 233. 線卷。

有鐵核的螺管線卷，它的功用，與一條磁鐵相同，所以稱做**電磁鐵**(electromagnet)。許多電學上的儀器，如電鈴，電報，電話等，必須利用這種電磁鐵。

螺管線卷的兩端所發生的磁極有一定，一端生北極，他端生南極。以右手握螺管線卷(圖 233)，若彎曲的各指指着螺管線卷內的電流方向，拇指所指的一端，必為電磁鐵的北極。

**230. 電磁鐵的用途。** 通用的電磁鐵是把線卷繞於 U 形的軟鐵核上而製成。電鈴是應用這種小號電磁鐵來造成的日

用器具。將揷鈕下壓時，電鈴與電池等合成環通的路，有電流自 B 流入，經過接觸點 C，再經過電磁鐵的線卷，然後流回電池中。電流通過電磁鐵的線卷時，使它發生磁性，吸引鐵片 A，而使 C 處的接觸點分離。在 C 處的接觸點分離時，電的通路切斷，電流隨而停止，電磁鐵即失其磁性，鐵片 A 藉彈簧 S 而彈回，仍與 C 相接觸。C 處既相觸，電路又接通，上述的作用，又可重復開始。所以在按鈕期間，電路在 C 處可自動不息地斷續，使鈴錘 H 擺動而連續擊鈴。

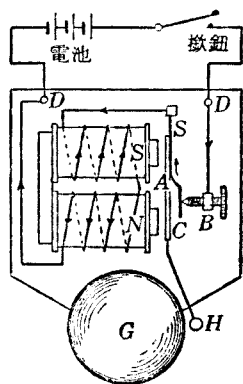


圖 234 電鈴。

電報機 (telegraph) 亦應用電磁鐵而造成，為傳遞消息之利器。最簡單的電報機，由一隻發報鍵 (key) 與一隻發聲器組成。如圖 235 所示的發報鍵 *a*，即普通的電鍵，用以啓閉電路。發聲器 *b* 由一個 U 形電磁鐵與一塊活動的鐵條所組成。將 A 站

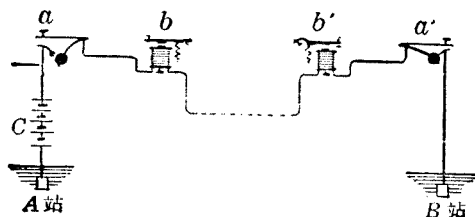


圖 235. 電報。

的發報鍵的桿臂下壓，電路接通，電池 C 送出電流，經過 *a* 鍵的接觸點，電磁鐵 *b*，再經電線而通至 B 站的電磁鐵 *b'*，電鍵 *a'*，

再由地而回到電池  $C$ 。在電流經過時，收報處 ( $B$  站) 的電磁鐵生磁性，將軟鐵條吸下，發出擊聲。 $a$  鍵放鬆，電路斷，電磁鐵上的軟鐵條被彈簧上彈，與磁鐵分離，擊着止針，生第二次聲音。故發報電鍵閉啓一次，受報機的發聲器生兩次響聲。二聲之間隔甚短者代表點，二聲之間隔稍長者代表畫。藉點與畫的各種組合可以傳遞電信號碼。

此外如電動機，發電機等，也都需用強大的電磁鐵。機器的功率愈大，電磁鐵的錄卷的錄愈粗而匝數必愈多，此種錄卷常用粗銅條或銅梗等製成。一隻大號發電機上的錄卷的個數可多至 36 個，每一個錄卷所用銅量可達 200 (磅) 左右。

### 習題六十三

1. 試舉永久磁鐵的用途與電磁鐵的用途各三種。
2. 設電車的觸輪錄是南北方向安置的，以磁針放在錄下，見其北極向東偏動。求錄中的電流方向。
3. 欲知錄中有無電流存在，用何法試之最易，此外尚有別種方法否？
4. 用何法可以驗明電池的何極是正，何極是負？
5. 作圖以示電鈴的裝置法。今用兩隻電鍵裝入電路中，任按其一都能使鈴大鳴。這兩隻電鍵當怎樣裝置？

## 第二十九章

### 感應電流

231. 應電流。試取匝數甚多的線卷與電流計相聯。使線卷急速套在條形磁鐵的  $N$  極上，電流計的指針，便生某向的偏轉；使線卷急速脫出  $N$  極，則指針必生反向的偏轉(圖 236)。由

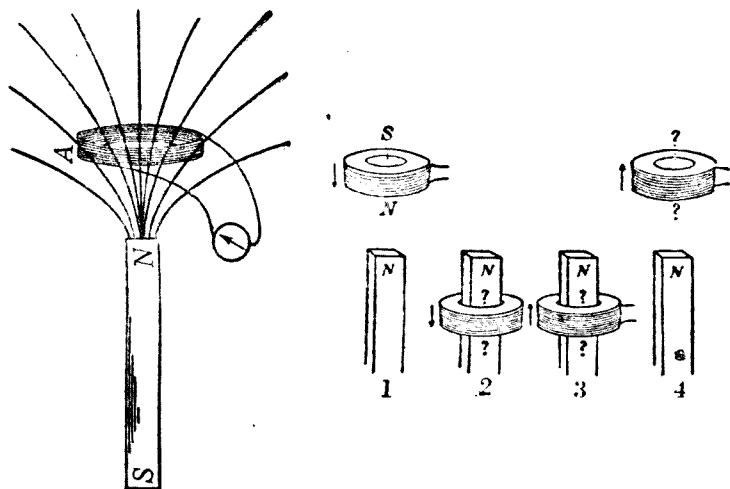


圖 236. 應電流。

這指針的偏轉方向，可以推知線卷套上  $N$  極，能產生一種瞬時的電流，使線卷的下面生  $N$  極，而與磁鐵的  $N$  極相斥，以抗拒這套上的動作；當脫出  $N$  極時，也能生一種瞬時電流，使線卷的下面生  $S$  極，而與磁鐵的  $N$  極相引，以抗拒這脫出的動作。

若用一個通有電流的螺管線卷來替代棒形磁鐵(圖 237),亦可得上述的各種結果。

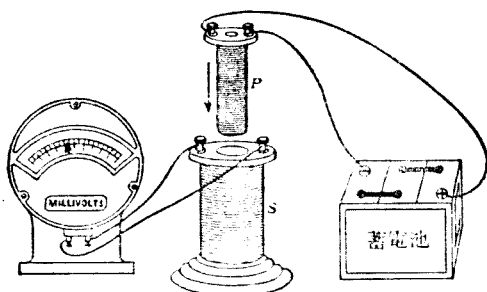


圖 237. 電磁鐵運動時,產生應電流。

細察上述的試驗結果,可知,線卷與磁鐵起相對的運動時,線卷中產生一種瞬時電流,這稱做應電流(induced current)。應電流所產生的磁場,恆有抗拒這種運動的趨勢。是為楞次定律(Lenz's law)。

**232. 感應線卷。** 在一根軟鐵棒上,套有兩個線卷。第一線卷  $p$  與電池的電鍵相串聯;第二線卷  $s$  與電流計相聯。電鍵  $K$  按下時,見電流計的指針生某向的偏轉;電鍵放脫,電流計的指針又起反向的偏轉。

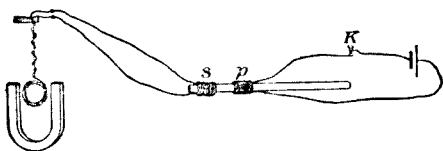


圖 238. 使磁棒磁化及失去磁性,則線卷  $s$  中生應電流。

這是因為電鍵閉合，有電流通過第一錄卷  $p$  時，使鐵棒起了磁化作用。今有第二錄卷  $s$  在此棒上，那就無異將磁棒插入此第二錄卷  $s$  中，所以  $s$  發生應電流。電鍵放脫時，鐵棒的磁性隨而消失，這無異將磁鐵脫出此第二錄卷，故  $s$  中生成反向的應電流。至於第一錄卷  $p$  中通入的電流，則稱做感電流(inducing current)。

感應錄卷是利用上述的感應原理，以產生高電壓的儀器，其構造如圖 239 所示。

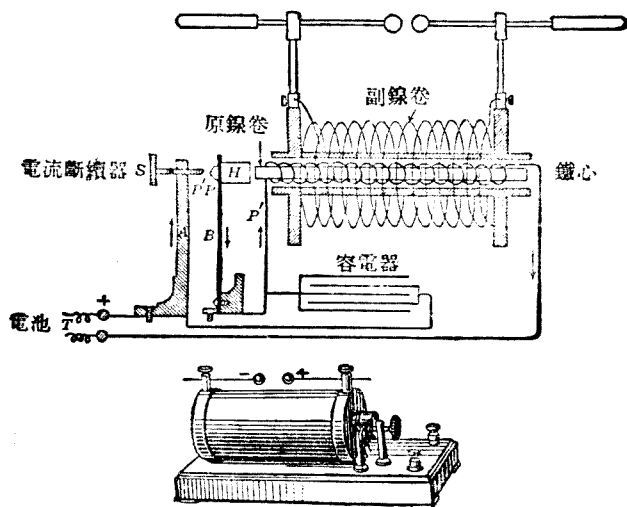


圖 239. 感應錄卷。

圖 239 中表示一束軟鐵錄製成的鐵心上面，繞着較粗的紗包銅錄數百匝，稱為原錄卷(primary coil)。原錄卷上又繞着數萬匝的較細銅錄，稱做副錄卷(secondary coil)。原副兩錄卷



之間，須有良好的絕緣。電池送電流過原錄卷時，鐵心受磁化，鐵塊  $H$  為磁力所吸而右移，與電流斷續器分離，電路因此切斷，結果使鐵心的磁性失去， $H$  仍復向左彈回，使電路接通，於是  $H$  受吸而右移的作用又起。所以原錄卷電路會自動的斷續，使副錄卷的兩端間發生極高的電壓，結果在頂部的二個放電球間，產生火花放電現象。

233. 電話。 最簡單的電話 (telephone) 裝置如圖 240 所示。圖中  $T$  為傳話器 (transmitter)，其詳細構造如圖 241 所

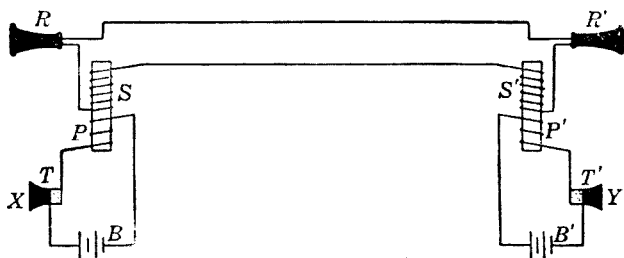


圖 240. 電話的線路。

示。此器為一滿貯炭粒的小盒，兩面為導電的炭板。電池  $B$  中的電流先過此傳話器 (圖 240)，再經原錄卷  $P$  而回到電池。有人對了傳話器前說話時，器中膜片隨聲波而起振動，使盒內的炭粒或鬆弛，或緊壓。粒受壓則電阻減小，鬆弛則電阻增大。於是隨了膜片的振動，使電路的電阻改變，結果，由膜片的振動作用，變為電流強度的變動作用。這種強度變動的電流通過原錄卷  $P$  時，便使副錄卷  $S$  中生成同樣變動的應電流，其變動情形完全與膜片的振動情形相對應。副錄卷所生應電流的電壓

較高，可以傳送遠處，而通到對方的受話器(receiver, 圖 242)  $R'$  中的線卷內，那時將其所生的磁力作用加在馬蹄形的永久磁鐵上，可以改變磁鐵的吸鐵力，使磁極前面的鐵質薄膜  $D$  隨變動的電流而起振動。

薄膜  $D$  的振動情形，適與變動電流相對應，而變動電流又與傳話器  $T$  中的薄膜振動情形相對應，所以受話器中的薄膜

的振動，完全與傳話器中的薄膜振動相似。受話器的薄膜振動所生的聲波，因而與對方發言時所生者亦就完全相似，傳入聽話者耳中，就可以清楚聽到對方所說的話。

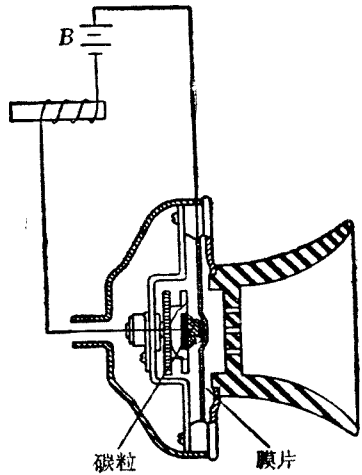


圖 241. 傳話器(話機)的剖視圖。

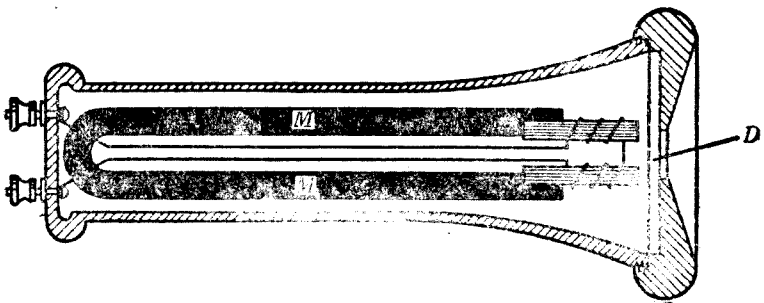


圖 242 受話器。

## 習 題 六 十 四

1. 怎樣可以產生感應電流？
2. 試述楞次定律？
3. 試用線卷套在直立的棒磁鐵的  $S$  極上，你對着此  $S$  極下望時，則線卷中所生的應電流為順時針向，抑逆時針向？
4. 一線卷平放在桌上，今以磁鐵的  $N$  極插入線卷中，能生應電流，拔出時，又能生反向的應電流。問這兩次應電流所生的  $N$  磁極應在線卷的何面？
5. 憑你的記憶，作圖以示感應線卷的構造。
6. 憑你的記憶，作圖以示電話的簡單裝置。
7. 手觸着感應線卷的副線卷的端上，必受強烈的震擊，何故？

## 第三十章

# 電 機

234. 導線割截磁力線。取一根直的導線  $AB$  與電流計相聯，令此線橫向磁場自下向上動，以割截磁力線時，電流計的指針便生偏轉，表示線中有應電流自  $B$  至  $A$ 。若令此導線自上向下去割截磁力線時，電流計的指針便向另一方偏轉，表示那時所生的應電流自  $A$  至  $B$ 。再令導線順着磁場方向左右移動時，這時導線沒有割截磁力線，便不見應電流的產生。

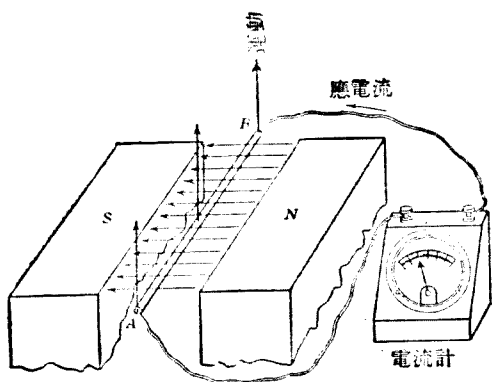


圖 243. 導線割截磁力線。

由是可知：導線割截磁力線時，在其通路中能產生應電流。

細察導線的動向，磁場及應電流的方向，其間有一定不易的關係。倘使伸出你的右手，令姆指，食指，及中指相互垂直而指，

若拇指代表導線的動向，食指代表磁場方向，則中指代表應電流的方向。是為佛來銘法則(Fleming's rule)，亦稱做發電機的右手法則(dynamo rule of right hand)。

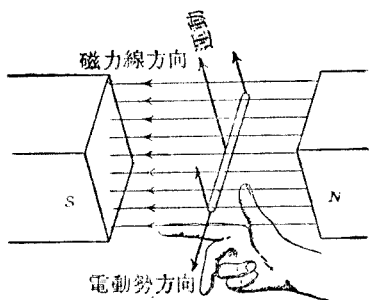


圖 244. 佛來銘右手法則。

**235. 交流發電機。** 把機械的‘能’變為電‘能’的一種裝置，稱做發電機(electrical generator 或 dynamo)。試取長方框

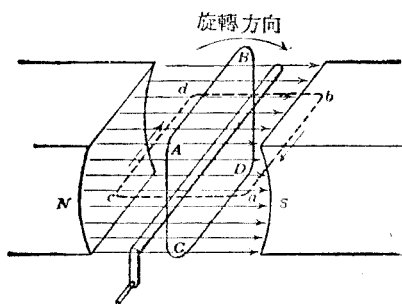


圖 245. 線框在磁場內迴轉。

形的導線，放在兩磁極間，先使框面鉛直，搖動其柄，順時針的轉向而迴轉。在最初的半轉中， $AB$  線向下動而割截磁力線。依佛來銘法則，當有應電流自  $B$  流至  $A$ 。同時  $CD$  線在向上動，其中所生的應電流必自  $C$  流至  $D$ 。那時的電流方向是  $BACD$ 。在下一個半轉中， $AB$  要向上動， $CD$  要向下動，所生的應電流必依  $ABDC$  的方向繞框流動，適與最初的半轉中者相反。

把框割斷(圖 246)，將斷端聯至  $S_1$  與  $S_2$  二滑環上，此二環隨框而迴轉，與固定的電刷  $B'$  與  $B''$  相觸，而兩刷復聯至外電路上。

形的導線，放在兩磁極間，先使框面鉛直，搖動其柄，順時針的轉向而迴轉。在最初的半轉中， $AB$  線向下動而割截磁力線。依佛來銘法則，當有應電流自  $B$  流至  $A$ 。同時  $CD$  線在向上動，其中所生的

線框在磁場中迴轉時，每轉一周，就有變向二次的交流電通過外電路。所以上述的一種裝置，是一座最簡單的交流發電機 (alternating current generator)。

工商業上所用交流發電機，用電磁鐵來替代永久磁鐵，可以產生強大的磁場。用許多線卷同繞在一個鐵心上，就組成了一個發電的中樞，叫做電樞 (armature)。用水車，汽機，或內燃機來拖動發電機，使電樞在磁場中急速旋轉，能產生電壓極高的交流電；並可利用高架的電線，傳遞到遠處。

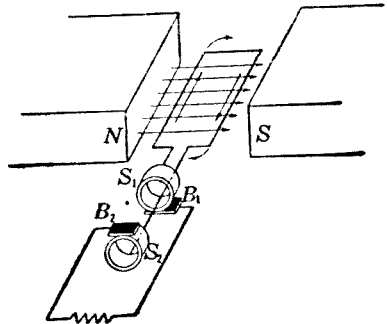


圖 246. 匯電環與電刷相觸。

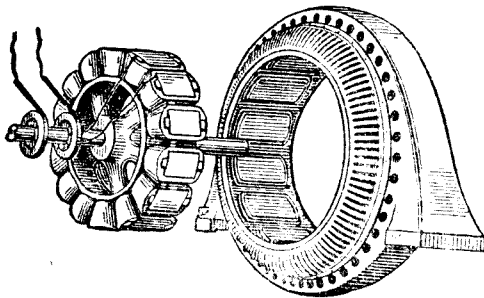


圖 247. 交流發電機的電樞(左)。

**236. 直流發電機。** 迴轉的線框中的交流電，可以利用裂環

換向器(commutator),使電流方向變成單一,再送入外電路中,這就是直流發電機(direct current generator)。

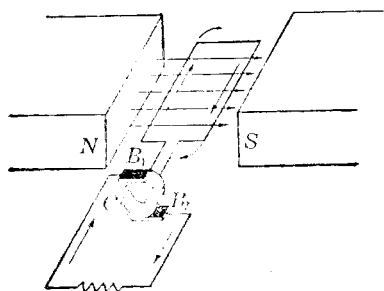


圖 218. 換向器。

中的電流得常在  $B_2$  處引出,在  $B_1$  處引入,所以外電路中的電流恆為單一的方向。當框面鉛直時,炭刷觸在環的分裂處,那是銀框中電流開始換向的位置。

**237. 電動機的原理。** 一根懸直的銅線,上端固着於橫線  $gh$  上,下端浸在水銀槽中。將一塊蹄形磁鐵如圖 249 安放。令電流自上而下通過銅線時,那線能向  $f$  方移動;若令電流自下而上通過銅線,那線的動向適與以前相反。

由此試驗,可知載有電流的導線垂直放入磁場中時能起行動,其動向適與磁場及電流方向相互垂直。

銀框的兩端,聯至分裂的銅環上,使固定的炭刷  $B_2$  (正極)與  $B_1$  (負極)觸在裂環的相對方向上,如圖 248。銀框迴轉時,裂環亦跟着迴轉,每刷先與框的一邊相觸,再與另一邊相觸。因此框

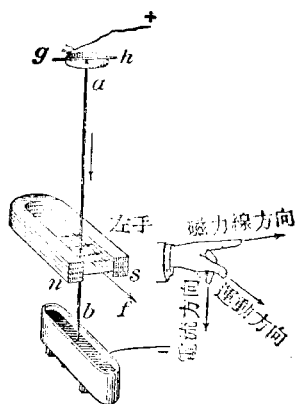


圖 249. 電動機原理。

試伸左手,令拇,指中指,食指伸展,相互垂直。若以食指表示磁場方向,中指表示電流方向,則拇指便表示導線的行動方向。是為電動機的左手法則(motor rule of left hand)。

238. 電扇及電車。 載電流的導線放在磁場中,既能生移動作用,若把電流送入電樞上的線卷中,這電樞就能在磁場內迴轉,結果電‘能’就變為機械的‘能’,可用來做許多有用的工作。 這樣把電能變為機械能的裝置,稱為電動機(electric motor)。須用直流電來驅動者,稱做直流電動機(D. C. motors);須用交流電來驅動者,稱做交流電動機(A.C. motors)。

家庭中所用的電扇,是一種小功率的電動機。 通常在電樞的軸端上裝有四枚扇葉,用電流來開動時,其軸端上的扇葉能使空氣加速流動,以生涼風。

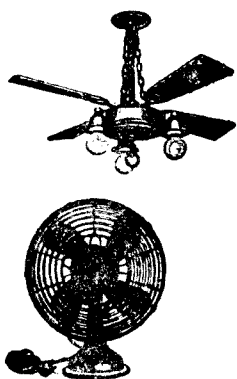


圖 250. 電扇。

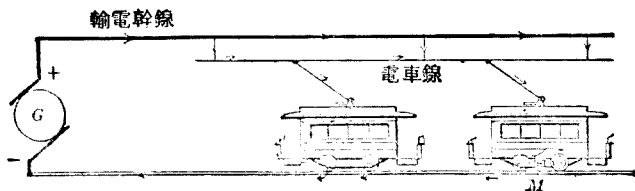


圖 251. 電車。



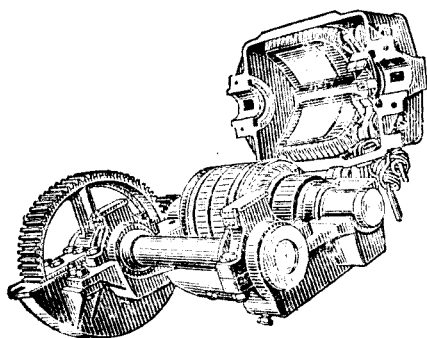


圖 252. 電車上所發的電動機。

都會中的電車，是用大功率的直流電動機來驅動的一種載客車。由電力廠中的發電機  $G$  所供給的電流，由  $+$  端流過架空的銅線，經車頂上的斜桿引入車廂下所裝的電動機  $M$ ，再由車軌回到廠中的發電機的一

端。電流通過電動機時，機中的電樞便起迴轉動作，此動作藉齒輪而使車輪之軸轉動，便可驅車行動。

### 習題六十五

1. 一人面向磁力線的方向而立，兩手中平握銅梗一根。設梗端用細線聯至電流計，而使梗作上下向的急速移動時，試求梗中的應電流的方向。
2. 上題中，若銅梗作前後或左右移動時，有無應電流產生？
3. 電機上為何都採用電磁鐵，不用永久磁鐵？
4. 一根導線，依南北向平放在很強的磁場中。今知磁場方向為自東至西，而線中忽有電流通過時，生向上的跳動作用，求線中的電流方向。
5. 試調查用電力來驅動機械以作工的工廠五所。（說明工作種類，電機種類，及功率大小等。）
6. 用小功率電動機來驅動的機械，除電車外，再舉二例。

# 索引

## 二 畫

- 力 3,26,64
  - (分解) 64
  - (合成) 65
  - (圖示) 64
  - (單位) 95
  - (量法) 64
- 力矩 8
- 力點 3
- 力圖 66
- 力之平行四邊形定律 65
- 入射角 182
- 入射線 182
- 人造虹 213
- 八音度 167
- 二力之合力 65

## 三 畫

- [大氣壓] 48
- 大氣的高度 55
- 大氣中的折射現象 193
- 三弦 169
- 三稜鏡 212
- 干涉(聲波) 164
- 上擊水車 41,42
- 下擊水車 41,42

## 四 畫

- 水 42
- 水平 31,32
- 水車 40
- 水承 40
- 水波 149
- 水蒸氣(汽) 131
  - (空氣中的~) 135
- 水輪機 41,42
- 水壓機 25
- 水的浮力 33
- 水的傳力 24
- 水的對流 124
- 水的壓力 29,30
  - (量法) 40
- 水力發動機 40
- 水銀溫度計 114

- 水銀氣壓計 49
- 水銀補償擺 117
- 牛頓 88
- 牛頓色板 215
- 牛頓運動定律 88
  - (第一定律) 88
  - (第二定律) 90
  - (第三定律) 100
- 反射 18 2,193
- 反射角 182
- 反射線 182
- 反射定律 182
- 反作用(力) 101
- 反擊水輪機 102
- 分子 61
- 分力 68
- 分子力 42
- 比熱 128
- 比重 27,29
- 比重計 37
- 比重的測法 36
- 不諧和(聲) 165
- 不平衡力 91
- 不良導體(熱) 123
- 不等臂槓桿 5
- [瓦特] 247
- 瓦特氏 20,139
- [瓦特·小時] 248
- 瓦特·小時計 148
- 天平 4
- 天然磁石 217
- 天文望遠鏡 200
- 內燃機 142
- 內聚力 42
- 內電路 233
- 毛狀肌 204
- 毛細現象 43
- 日蝕 175
- 日光的散色 212
- 巴斯噶原理 25
- 巴斯噶實驗 49
- [升] 2
- 支點 3
- 月蝕 175
- 介質(傳聲) 146

- 幻燈 22
- 切變 76
- 化學能 105
- 手電筒 246
- 火車頭 140

## 五 畫

- 平衡(槓桿) 9
- 平衡力 66
- 平面鏡 183
- 平均速度 79
- 平行四邊形定律(力) 65
- 功 14,20,139
- 功率 20,107,247
- 功與熱 139
- 功的原理 15
- [仟克] 2
- [仟克·米] 14
- [仟瓦小時] 248
- 正電 222
- 正極(電池) 232
- 正視眼 204
- [卡] 128,245
- [卡路里] 128
- 凹鏡 185
- 凹透鏡 195
- 凸鏡 185
- 凸透鏡 195
- 加速度 80,90
- 加速力 91
- 本影 176
- 本生光度計 180
- 主軸 186
- 半影 176
- 四季 177
- 目鏡 208
- 北極 217
- 永動機 110
- 外電路 223
- 互補色 216
- 左手法則 267
- 右手法則 253,264
- 四衝程內燃機 142

## 六 畫

- 光 173

光心 197  
 光度 179  
 光闌 201  
 光譜 212  
 光的折射 191  
 光的反射 182  
 光的直行 173  
 光的速度 178  
 光學儀器 201  
 共振 157  
 共振板 155  
 共振器 158,162  
 [安培] 238  
 安培計 238  
 安培法則 253  
 自來水 39  
 自由落體 85  
 自記氣壓計 50  
 色 214  
 色散 212  
 [米] 2  
 米制 1  
 冰點 112  
 冰箱 127  
 曲率中心 186  
 曲率半徑 186  
 交流發電機 265  
 交流電動機 267  
 [伏特]  
 合力 65  
 帆船 69  
 同聲 147  
 地磁 220  
 充電(蓄電池) 239  
 向心力 89  
 全反射 193  
 托里坭利實驗 47

## 七 畫

[克] 2  
 [克·厘米] 15  
 汽(水蒸氣) 132  
 汽機 139,140  
 折射 191  
 折射率 192  
 吸入衝程 152  
 吸取筒點 57  
 伸張 75  
 扭轉 75  
 作用(力) 101

位能 104  
 角膜 203  
 泛音 160  
 串聯(電池) 248  
 低音調 153  
 伽利略氏 84  
 材料的強弱 75  
 佛來銘法則 264

## 八 畫

空氣 46  
 (重量) 46  
 (壓力) 47  
 (壓縮性) 53  
 (體積與壓力的關係) 54  
 空氣唧筒 55  
 空氣的浮力 56  
 空氣的對流 125  
 空氣中的水分 135  
 波動  
 (聲波) 149  
 (水波) 150  
 (橫波) 150  
 (縱波) 151  
 波谷 150  
 波峯 150  
 波長 150  
 波義耳定律 54  
 放嘴 39  
 放電(蓄電池) 239  
 放大鏡 206  
 放大率 207  
 固體 24  
 固體的膨脹 115  
 固體的傳熱 122  
 固體吸收氣體 62  
 長音階 167  
 長三和音 167  
 弦樂器 169  
 弦的振動定律 160  
 金箔驗電器 223  
 金屬溫度計 117  
 直流發電機 265  
 直流電動機 267  
 法線 182  
 法拉第電解定律 238  
 沸點 113,132  
 沸騰 131  
 阻力 71  
 拍音 164  
 坡度 16

物鏡(顯微鏡) 218  
 底片 201  
 近視眼 704  
 交話器(電話) 261  
 串聯(電池) 248  
 易熔線 251  
 附着力 43  
 定滑輪 12  
 非導體 224  
 明視距離 206  
 夜的長短 176  
 虎克定律 77  
 抽水唧筒 57  
 披薩斜塔 85  
 阿基米得原理 33

## 九 畫

重心 9  
 重度 27  
 重點 3  
 重量 2,95  
 (空氣之~) 46  
 重力加速度 86  
 音品 155,162  
 音調 153  
 音強 153  
 音程 166  
 音階 166  
 指南針 218  
 指南極 217  
 指北極 217  
 飛機 70  
 飛輪 143  
 負電 222  
 負極(電池) 232  
 保險絲 251  
 保溫瓶 129  
 虹 212  
 虹吸管 59  
 [馬力] 20  
 南極 217  
 胡琴 169  
 前房液 203  
 查理定律 119  
 相對溼度 136  
 城市給水 39  
 厘米·克·秒單位 96

## 十 畫

氣體 46  
 氣球 56

氣化熱 132  
 氣壓計 49  
 質體的擴散 61  
 氣體的膨脹 110  
 氣體動力論 61  
 能 104  
 能的轉變 109  
 能的來源 141  
 能量不滅定律 110  
 起電盤 228  
 起錨盤 12  
 起重機 12  
 起重架 67  
 起重螺旋 18  
 速度 79  
 (聲的~) 147  
 (光的~) 178  
 振動 145  
 振幅 150  
 振動定律(弦) 160  
 唧筒  
 (空氣~) 55  
 (抽水~) 57  
 (吸取~) 57  
 (壓迫~) 58  
 浮力 33  
 浮體 34  
 浮沈子 59  
 [海里] 79  
 [庫侖] 238  
 效率(機械) 21  
 純色 215  
 原子核 226  
 留聲機 170  
 降落傘 57  
 高音調 153  
 酒精溫度計 114  
 勒克蘭社電池 234

十一畫

液體 24,46  
 液體壓力計 31  
 液體之比重 38  
 液體比重計 37  
 液體的膨脹 118  
 液體吸收氣體 62  
 動量 93  
 動能 105  
 動滑輪 13  
 動力衝程 142  
 眼 203

眼鏡 205  
 眼的調節 204  
 第一泛音 160  
 第二泛音 160  
 第二倍音 169  
 第三倍音 160  
 密度 27  
 密部(聲波) 149  
 透鏡 195  
 彩簾(眼) 203  
 陰電 223  
 捷路(電) 251  
 基音 160  
 淨力 91  
 副軸 186  
 通風 124  
 斜面 16,72  
 推進器 19,71  
 連通器 31  
 副錄卷 259  
 乾電池 233  
 球面鏡 185  
 被照體 173  
 望遠鏡 209  
 國際燭光 179  
 排氣衝程 143  
 救火水栓 39  
 晝夜的長短 176

十二畫

單位 1  
 (長度) 2  
 (重量) 2  
 (時間) 2  
 (容量) 2  
 (力) 96  
 (能,功) 107  
 (功率) 20,247  
 (熱量) 128  
 (光度) 179  
 (照度) 179  
 (電流) 238  
 (電壓) 242  
 (電阻) 242  
 (電量) 238  
 單擺 86  
 單向反射 183  
 溫度 112  
 溫度計 112  
 (金屬~) 117  
 溫度標 113

(攝氏) 113  
 (華氏) 113  
 發光體 173  
 發電機 264  
 發電機之右手法則 264  
 發散透鏡 195  
 等加速度 81  
 等加速運動 81  
 (公式) 82-83  
 (自由落體) 85  
 [焦耳] 197  
 焦耳氏 139  
 焦點 186,196  
 焦距 186,196  
 絕緣體 224  
 絕對溫度 119  
 虛像 184,188,197  
 虛焦點 186,196  
 華氏溫度標 113  
 華氏溫度計 113  
 雪 138  
 雲 138  
 陽電 223  
 度盤 67  
 琵琶 169  
 視角 205  
 視部(聲波) 149  
 減速度 81  
 測微計 18  
 換向機 266  
 強迫振動 157  
 無液氣壓計 49,51  
 開口水銀壓力計 40

十三畫

電 222  
 電子 226  
 電池 231  
 電荷 222  
 電路 232,233  
 電流 231  
 (單位) 238  
 (化學效應) 236  
 (熱效應) 245  
 (磁效應) 253  
 電車 268  
 電解 236  
 電離 236  
 電扇 267  
 電話 260  
 電鈴 254

十六畫

- 機械 1
- 機車 140
- 機械利益 13
- 諧音 160
- 諧和 165
- [歐姆] 242
- 歐姆定律 242
- 靜電 222
- 靜電起電機 230
- 凝固 130
- 凝固點 130
- 電 214
- 膨脹 115
- 頻率 151
- 噪聲 152
- 輻射(熱) 125
- 導體體 224
- 鋼琴鍵盤 167
- 獨輪小車 5

十七畫

- 壓力 26
- (水) 29
- (空氣) 47
- 壓縮力 75
- 壓縮性(空氣) 53
- 壓氣機 53
- 壓書機 79
- 壓迫唧筒 58
- 壓縮衝程 142
- 螺釘 11
- 螺旋 17
- 螺栓 17
- 螺紋 18
- 螺距 18
- 螺旋槳 19,71
- 螺管線卷 254
- 應力 75
- 應變 75
- 應電 226
- 應電流 258
- [光] 179
- [燭末] 189
- 鎳 137
- 鎳 232
- 舉方 71
- 綉繩(船) 69
- 瞳孔 203
- 縱波 151

- 熔點 129
- 熔解 29
- 熔解熱 121
- [爾格] 107
- 網膜 203
- 對流 124
- 蒸發 133
- 漫射 183
- 管樂器 169
- 蓄電池 238
- 遠視眼 205
- 製冷器 127
- 赫氏共振器 162

十五畫

- 熱量 128
- 熱容量 128
- 熱水瓶 126
- 熱的來源 143
- 熱的傳播 122
- (傳導) 122
- (對流) 124
- (輻射) 125
- 磁 217
- 磁石 217
- 磁極 217
- 磁鐵 217
- 磁力線 219
- 磁場圖 219
- 磁的感應 218
- 磁的分子說 220
- 摩擦 21,72
- 摩擦係數 21,72
- 摩擦生熱 139
- 摩擦起電 222
- 彈性 76
- 彈簧秤 64,77
- 衝力 98
- 衝量 98
- 聲音 152
- 聲音的三要素 155
- 響子 226
- 影 174
- 劈 16
- 慣性 88
- 輪軸 11
- 實像 197
- 複色 215
- 橫波 150
- 視脹係數 116

十四畫

- 電阻 241
- 電燈 246
- (裝法) 248
- 電鍍 237
- 電機 263
- 電樞 265
- 電動機(原理) 266
- 電動勢 241
- 電磁鐵 254
- (用途) 255
- 電報機 255
- 電量單位 238
- 電解定律 238
- 感應(磁) 218
- 感電 226
- 感電流 259
- 感應電流 257
- 感應線卷 258
- 感應起電 225
- 傳導 122
- 傳話筒 154
- 傳話器(電話) 261
- 照相 201
- 照相機 201
- 滑輪 12
- 滑輪組 13
- 照度 179
- [達因] 96
- 勢能 105
- 落體 84
- 錐釘 75
- 蠟樓 194
- 暗珠 203
- 稜鏡 212
- 溼電池 234
- 楞次定律 258
- 會聚透鏡 195
- 鉛板蓄電池 239
- 酒精 3
- (第一類) 4
- (第二類) 6
- (第三類) 7
- (應用) 7
- (原理) 8
- (虛~) 184,188
- 像(平面鏡) 183
- (球面鏡) 187
- (透鏡) 190

簡單機械 1

**十八畫**

聲波 148  
 聲帶 170  
 聲的成因 147  
 聲的傳遞 146  
 聲的速度 147  
 霧 138  
 擺 86  
 擴散 61  
 磁鐵 11  
 顏料之色 216  
 簡單電池 231  
 雙筒望遠鏡 209

**十九畫**

鏡(平面~) 183  
 (球面~) 185  
 (凹~) 185  
 (凸~) 185  
 (凹透~) 195  
 (凸透~) 195  
 (三稜~) 212

離子 236  
 離心力 89  
 離盤 218

**二十畫**

觸電 250

**二十一畫**

露 135  
 露點 137

攝氏溫度計 113  
 攝氏溫度標 113  
 響度 154

**二十二畫**

權度 1  
 變曲 75  
 驗電器 223

**二十三畫**

變速 79  
 顯微鏡 208

**二十六畫**

鐳子 7

( J S )

基價 140