

依照新課程標準編輯

教育部審定

# 初中物理學

胡愨風編

胡岡復校



*Shanghai*  
*China*  
*Shanghai*  
下冊

上海北新書局發行

# 初中物理學

下 冊

編 者 胡 愨 風

校 者 胡 剛 復

上 海

北 新 書 局 發 行

1 9 3 5

# 目 次

第七章	聲音 .....	1
XXIV	聲的成音傳遞及樂音的三要素.....	1
	121. 聲的成因 122. 空氣能傳遞聲音	
	123. 聲音在空氣中傳遞的速度 124.	
	聲音在空氣中傳遞的實在情況 125.	
	聲音的波浪 126. 水波和聲波 127. 回	
	聲 128. 樂音和噪聲 129. 樂音的三要	
	素	
XXV	樂器及音階 .....	16
	130. 共振現象 131. 空氣柱的共振作	
	用 132. 簫和笛 133. 弦的振動 134. 基	
	音和泛音可以同時發生 135. 弦振動	
	定律 136. 弦樂器 137. 膜樂器 138. 音	
	階	

第八章	光的本性 .....	31
XXVI	光和照度 .....	31
	139. 光 140. 光的直行 141. 針孔成象	
	142. 影子 143. 日蝕和月蝕 144. 光的	
	速度 145. 照度 146. 本生光度計	
XXVII	光的反射 .....	40
	147. 光的反射 148. 漫射 149. 平面鏡	
	的成像 150. 用作圖法來求平面鏡內	
	的物像 151. 多次反射	
XXVIII	球面鏡 .....	47
	152. 球面鏡 153. 主焦點的地位 154.	
	凹鏡的成像 155. 用作圖的方法很容	
	易求得像的位置 156. 凸鏡的成像	
XXIX	光的折射 .....	52
	157. 光是以太的波動 158. 光線和波	
	前 159. 水的折射 160. 折射的原因	
	161. 折射率 162. 折射定律 163. 光線	
	經過三稜鏡 164. 全反射 165. 蜃氣	

第九章	光學儀器 .....	63
XXX	透鏡 .....	63
	166. 透鏡 167. 透鏡的焦點 168. 會聚透鏡的成像 169. 發散透鏡的成像	
XXXI	光學儀器 .....	69
	170. 照相機 171. 眼 172. 近視及遠視 173. 視角的大小 174. 明視距離 175. 凸透鏡的擴大倍數 176. 複顯微鏡 177. 天文望遠鏡	
XXXII	顏色 .....	75
	178. 太陽光的分析 179. 虹霓的成因 180. 物體的顏色 181. 互補色 182. 顏料的混合	
第十章	磁 .....	85
XXXIII	磁性 .....	85
	183. 天然磁鐵 184. 人造磁鐵 185. 磁極 186. 指南極及指北極 187. 磁性的引拒定律 188. 磁的本性 189. 磁的分	

	子學說 190. 磁性的保護 191. 磁力線	
	192. 磁場 193. 羅盤 ( 俗稱指南針 )	
	194. 地磁	
第十一章	靜電.....	95
XXXIV	起電作用.....	95
	195. 摩擦起電 196. 電有兩種 197. 正電和負電必同時產生 198. 導電體和絕緣體 199. 電的感應作用 200. 用驗電器試驗電的爲正爲負 201. 使驗電器上感應起電 202. 電子學說	
XXXV	電的分佈.....	103
	203. 電在導體的分佈情形 204. 電與磁的區別 205. 起電盤 206. 天空中的電像 207. 避雷針	
第十二章	電流.....	111
XXXVI	電流.....	111
	208. 電流和水流 209. 簡單電池 210. 電池的三電極上帶有電荷 211. 電池	



	238. 從感電流得到應電流	239. 感電流和應電流的方向關係	240. 感應圈
	241. 變壓器		
XXXXI	電話 .....	149	
	242. 發送器	243. 受話器 (俗稱聽筒)	
	244. 電話的簡單裝置		
XXXXII	無線電 .....	152	
	245. 無線電	246. 電磁波	247. 無線電發報台
	248. 從電磁得到聲波	249. 真空管	250. 調諧作用
XXXXIII	陰極射線和 X 射線 .....	161	
	251. 真空放電現象	252. 陰極射線	
	253. 陰極射線的幾個特性	254. X 射線	
	255. X 射線的照相	256. 螢光鏡	
XXXXIV	放射 .....	167	
	257. 放射	258. 鐳	259. 鐳所發射的三種射線
	260. 鈾的蛻變作用	261. 鐳質發生熱能	
附	測驗題 .....	171	



P. 1 — 120

## 第七章 聲音

XXIV 聲的成因,傳遞,及樂音的三要素。

§ 121. 聲的成因 以槌叩鐘,耳聞鐘聲,假使你用一枝鉛筆去輕觸鐘緣,就可以發見鐘緣在那裏作急速的來去振動。用胡弓去拉琴弦,耳聞琴音,目見弦在那裏作來去的振動,所以弦的外觀就比較平時來得廣闊。

搥擊音叉,使牠振動發聲。然後用一個懸在線上的通草球去觸在叉上,見球能起猛烈的擾動。(如圖 103),這種現象明示音叉在那裏振動。

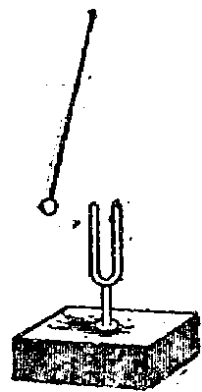


圖 103  
音叉的振動

所以聲的成因是由于物體的振動。

§ 122. 空氣能傳遞聲音 物體的振動

效應,怎樣可以傳入人耳呢? 由下列的一個試驗,可以證明聲的傳遞必賴物體爲介質。(Medium)

取大玻璃瓶一只(容積約6升),瓶口塞一橡皮栓。一支活塞的管子,插入橡皮栓的孔中。瓶內有一鈴,裝在柔軟的柄上(如圖104,柔軟物質不易傳遞振動)。當瓶中滿貯空氣的時候,搖動瓶身,聽得鈴在瓶內振動發聲。把瓶內的空氣抽去一大部分,然後如法搖之,鈴聲要減低了許多。再把瓶內的空氣盡量抽去,使瓶內接近到真空情境,如法搖之,鈴聲便差不多聽不到了。倘使用煤氣等放入真空瓶中,如法搖之,可以重新聽到鈴聲。



圖 104 空氣是傳聲的介質

由上述的試驗證明聲音是決不能在真空中傳遞的,要想傳遞聲音,必須靠藉尋常的物質爲介質。空氣是傳聲最普通的介質。

聲音能夠在液體傳遞,較在空氣中格外容易。例如用耳沒在水中,可以清楚的聽得遠處水中石塊碰擊的聲音。聲音在固體中也能傳遞,較在液體中更容易。例如把耳朵觸在鐵軌上,可以聽得遙遠處車輛行動的聲音。所以氣體、液體及固體,都能傳遞聲音。

### § 123. 聲音在空氣中傳遞的速度

要測量聲音在空氣中的傳遞速度,法在相隔極遠的兩個山頂各置一礮。第一山上先放一礮,在第二山頂上的人,觀察火光和礮聲的相隔時間。因為光速絕大。這相隔時間就可以代表聲音從第一山頂行到第二山頂所須的時間;再由第二山上放一礮,在第一山頂上的人,觀察火光和礮聲相隔的時間。取這兩次實驗所得時間的平均值,就可以避免因風吹所起的差誤。

用這樣的方法來屢次試驗,求得聲音在尋常的空氣中溫度在  $0^{\circ}\text{C}$  時的速度每

秒爲 331 米。至於聲音在水中的速度是每秒 1400 米。在鐵中的速度是每秒 5100 米。

聲音在空氣中的傳遞速度,因溫度改變,也須稍稍變易。空氣的溫度每增  $1^{\circ}\text{C}$ , 速度每秒要增加 60 厘米。

$$\begin{aligned} \text{聲音的速度 (溫度在 } t^{\circ}\text{C,)} \\ = 331 + 0.6 t \text{ 米/秒} \end{aligned}$$

§ 124. 聲音在空氣中傳遞的實在情況  
空氣怎樣把物體的振動效應從此處傳到彼處? 可以做一個實驗來證明。

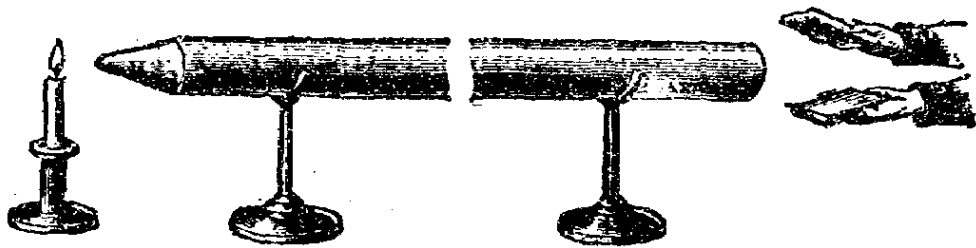


圖 105 燭火的擾動並不是由于空氣的流動

一管長達三米,前端錐形,錐形端前放一支點着的小燭。管的他端上,緊紮薄紙一張。取二木板在薄紙的後面相擊發聲,見他端前的燭火在那裏擾動。



然後把八球一齊懸起，排成一行。把第一球拉到旁側放下，這球的動量能完全傳給第二球，而自己就停下，第二球所得到的動量立即完全傳給第三球，餘可類推，末尾一球受到這種動量之後，就能躍起，所躍的高度和第一球放下時的高度相等。

由上述的試驗，可以顯示空氣質點怎樣能把物體的振動（即聲音）傳遞。在再上一個試驗中薄紙的振動作用，先傳遞與其近旁的空氣質點，再按次向左傳遞而達到錐形筒口，但筒內的空氣無須流動，也是同一的緣故。

### § 125. 聲音的波浪(簡稱聲波 Sound wave)

當物體振動成聲的時候，四週的空氣形成疏密相間的波紋。例如圖 122 中所示，一個音叉由 A 到 C，又

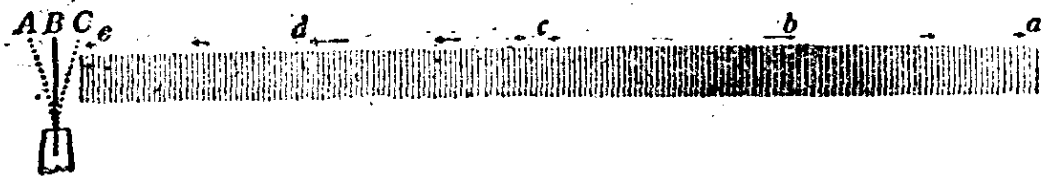


圖 107 物體振動時，其四週空氣形成疏密波

的右旁空氣，必受壓擠，格外濃密，這濃密部分，如圖

107 的  $ca$  部分,以每秒 331 米的速度,向右推移出去。後來又由  $C$  至  $A$ ,又的右旁地位虛空,空氣分外稀薄,這稀薄的部分如圖 107 的  $ec$  部分,也以每秒 331 米的速度向右推移出去。濃密的部分,既發生在前,稀薄的部分,又緊跟着發生在後,大家以同速度前進,稀部當然不能趕及前面的密部,故稀部緊緊地跟隨在密部的後面,一同相將前進。又第二次由  $A$  至  $C$ ,起第二次密部,跟隨于第一次稀部的後面。又第二次由  $C$  至  $A$ ,起第二次稀部,跟隨於第二次密部的後面。

物體不息地在那裏振動,就有稀密相間的波紋向着四周播送,得到如圖 108 中所示稀密的波

動,稱為聲波。

聲波進了人的耳管,其密部把

耳膜內壓,稀薄

部把耳膜外引,耳膜就起了振動。這振動

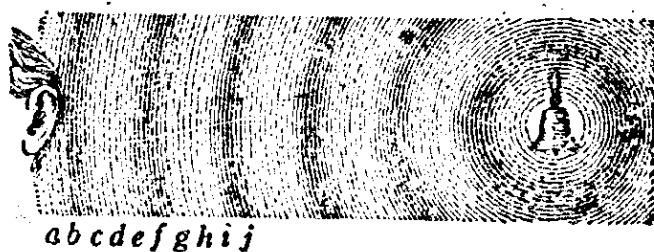
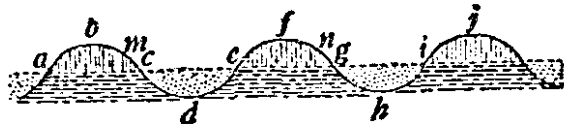


圖 108 聲 波

傳給聽覺神經,腦部就感受到聲音。

§ 126. 水波和聲波 一塊石頭,假使落在平靜的水面上,我們會看見水的波浪,從石塊落下處,向四週播送。波浪離中心愈遠,其高度愈減。倘使水面上,有一張葉子,你可以看見葉子在那裏上下振動而波浪則離開中心向

外播送。圖 109 中 b,  圖 109 水波的波長

f, j 處稱爲波峯(Crest)。d, h 處稱爲波谷(Trough)。相鄰二波上的相似點間的距離,如 ae, bf, cg 等稱爲波長。

水波和聲波,有相互對應的地方。如水波的波峯實相當於聲波的密部,波谷實相當於聲波的稀部。水波的波長用相鄰兩波上的二相似點間的距離計之,聲波的波長,也用相鄰兩波上的二相似點間的距離計之,如圖 109 中的 ae, bf, cg 等。

倘若物體每秒振動 331 次,則能生的 331 次的密部和 331 次的稀部。簡單說,能生 331 個稀密波。第一次所生的密部,到了第一秒鐘末尾,已傳遞到 331



米的遠處，這 331 米的距離內有 331 個密部 331 個稀波。那末相鄰兩密部間的距離（波長）是等於 1 米。所以速度、波長、和每秒鐘內的振動數（頻率）必定有下列的關係：

速度 = 波長 × 振動頻率，

$$v = l \times n$$

例：一隻音叉的振動頻率為每秒 256 次。倘使空氣的溫度在  $0^{\circ}\text{C}$ 。求音叉振動時所生的聲波的波長度。

解：  $v = l \times n$

$$33100 = 256 \times l$$

$$\therefore l = 129.3 \text{ 厘米。}$$

水波和聲波也有絕然不相同的地方。水波的進行方向和質點的振動方向是互為垂直。故稱為橫波。聲波的進行方向和質點的振動方向是相互平行。故稱為縱波。

§ 127. 回聲 水波前進時碰着了河岸，

必起反射作用；聲波前進時碰着了牆壁等阻礙物也能起反射作用。回聲就是聲波反射的結果。空中雷聲隆隆，歷久不息，那是最初的雷響，被雲層屢次反射後所得的結果。

小室中的牆壁，相距極近。倘使室內有物在那裏振動，所發的聲音，似乎較在室外要響亮些。這是因為直接和反射兩聲波相隔的時間極短，幾乎是同時達到耳管，聽覺不能辨其先後，只覺到聲音格外強大。反之，若連續而來的兩聲，相隔的時間在 $\frac{1}{10}$ 秒以上，則人耳已能辨其先後，故生回聲。因為聲音在 $\frac{1}{10}$ 秒中所經的路程計 33.1 米，故對牆壁發言，要自聞回聲，則站立的位置至少要離牆 16.6 米？公共的會堂，牆壁相隔極遠，演講時，常有回聲的擾亂，所以牆壁的上面，必懸軟質的幕類，把撞在壁上的聲波吸收，以免除反射作用。

§128. 樂音和噪聲 硬紙圓片的邊緣處，穿等間距的小圓孔一列，計 48 個。離邊稍遠處，再穿不

等間距的小孔一列48個。當圓片在轉臺上急速迴轉時,用直徑1毫米的管子,吹氣在等間距的一列孔上,能發生悅耳的聲音,稱為樂音(musical sound)。吹在不等間距的一列孔上就發生不悅耳的聲音,稱為噪聲(noise)。

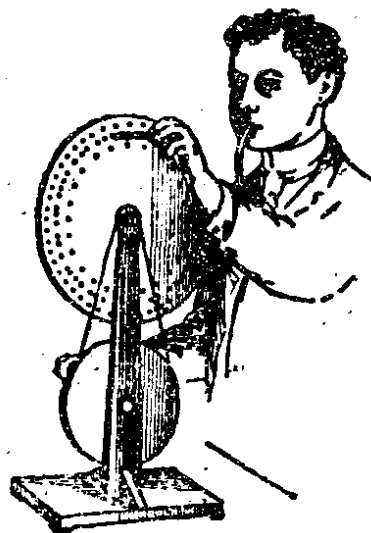


圖 110 有規律的振動生樂音

吹氣在一列等間距的孔上,必生有規律的聲波,在一列不等間距的孔上,必生無規律的聲波。由試驗而知振動的物體,能產生有規律的聲波的,其音必悅耳。

## § 129. 樂音的三要素

### 1. 音調(Pitch)

令上述試驗中的圓片,等速迴轉,首先吹氣在最外一列等間距的孔上,使生樂音。後來忽然把吹氣口移至第三列等間距的孔上,這列的孔數較第一列為少,你就聽得所生的樂音昔時高,今時低。倘使吹氣在某一列的孔上,只把片的迴轉速度改變,則發現

片的轉動愈快,音調愈高。

由試驗而知音調的高低,隨發音體的振動頻率(即每秒的振動次數)而異。

凡物體每秒鐘內的振動數目愈大,耳管所受到的脈動數自然愈多,音調也愈高。

急行的火車,接近我們的時候,汽笛的聲音較高;遠離我們的時候。汽笛的聲音較低。這是因為笛聲的振動頻率雖有定值,但車向人行,耳中每秒內所受到的脈動數目增大,車離人行,耳中每秒內所受到的脈動數較少。

聽覺能覺察到的最低音調每秒有16次的振動,最高的音調每秒有20,000到40,000次的振動。人的年齡增高,聽聞高音的本領必定減低。

## 2. 響度 (Loudness)

耳管離發聲物愈近,所聽得的音愈響。離發聲物5米和10米處所聽得的聲音,前

者要比後者響四倍。所以音的響度和離開發音體的距離之平方成反比例。

耳管離發音體的遠近有定時，音的響度和物體的振幅有關，振幅大的響，小的弱。用槌重擊音叉時，叉的振幅大，發生的音就響，輕擊時，叉的振幅小，發生的音就弱。但叉受重擊或輕擊，其振動頻率不變故音調還是相同。

槌擊音叉，使牠發聲，若音叉的柄握在手中，則聲音極弱。若把牠觸在桌面上則聲音增響。這是因為叉和桌面接觸，叉的振動傳給桌面，桌面亦起同樣的振動這時激動空氣的面積大增。所以音的響度和振動面積的大小有關。樂器上的聲板，就是用來擴大振動面積，可以使樂器所發的音增強。

### 3. 音品 (Quality)

胡琴和簫、笛等樂器所發的聲音，牠們

的音調和響度可以完全相同,但聽的人,很容易辨別這是胡琴的聲音,那是簫或笛的聲音,關於這一點特稱爲聲音的音品的不同。

### 撮 要

聲的成因是由於物體的振動。

聲音的傳遞必賴尋常物質爲介質,空氣是傳遞聲音最普通的介質。

聲音在空氣中傳遞的速度,當  $0^{\circ}\text{C}$  時是每秒 331 米。

速度 = 波長  $\times$  頻率。

聲波是由空氣的疏部和密部相間而成的波浪,其質點的振動方向和波點進行方向相互平行的稱爲縱波。水波是橫波,其質點振動方向和音波進行方向是相互垂直的。

樂音起於物體的有規律振動,其要素有三: (1) 音調和頻率有關, (2) 響度

和振幅有關,和離開聲源的遠近的平方成反比例; (3) 音品。

### 習 題

(1) 以指撥弦,所發的音,極其悅耳。以桿擊窗,所發的聲,極為噪雜,是什麼緣故?

(2) 遠處放礮,窗戶常受振動,是甚麼緣故?

(3) 遠處放礮,先見火光,後聞礮聲,是什麼緣故?倘使火光和礮聲相隔 3 秒鐘,求礮離觀察者的遠度。(空氣的溫度在  $0^{\circ}\text{C}$ )

(4) 見電閃後,隔 5 秒鐘纔聞雷聲。求電閃處的遠度。(空氣的溫度在  $20^{\circ}\text{C}$ )

(5) 軍隊前進時,步伐緊隨鼓聲,但是隊後和隊前的步伐,仍是稍有參差。這是什麼緣故?

(6) 用多種樂器,同時合奏一曲,遠近的聽衆,都覺得曲音和悅。試利用這個事實來證明各種音調以相同的速度在空氣中傳遞。

(7) 試舉水波和聲波的相似點及相異點。

(8) 設 do 音的頻率是每秒 256 次。求  $0^{\circ}\text{C}$  時

的波長。

(9) 設有一音,在 $20^{\circ}\text{C}$ 空氣內的波長是 $\frac{1}{2}$ 米。

求其頻率。

(10) 音調和響度的區別

(11) 石落井中,2秒後始聞石擊水聲。求井中的水面離井口為若干米?

(12) 為什麼大廈之中,每能聽得回聲小室內就聽不到?

(13) 一室空虛時的回聲的現象,比客滿時要顯著些,這是什麼緣故?

## XXV 樂器及音階

### § 130. 共振現象

取振動頻率相同的二音叉,共同放在桌上。擊其一,使發音,隨即用指觸牠,使振動停止,則聽得別隻音叉,已在那裏振動發聲。

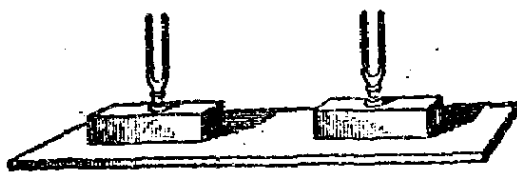


圖 111 共振作用

由試驗而知,聲波進行時,與物相遇,該物必受激而起振動。例如礮聲能激起窗



戶的振動似的。若物體的自然頻率,和所遇着的聲波的頻率相同,那就格外能受激而起振動。這種現象稱為共振。

§ 131. 空氣柱的共振作用 玻璃筒中盛了水,筒底有橡皮管通到 A 杯 (如圖 112)。把杯的位置上下移動,筒中水面也跟着上下。今用音叉一只,鳴於筒口,降下杯的位置,使筒中水面由筒口慢慢下降,到了某點,就聽得叉的鳴聲大增。這現象是因空氣柱與音叉共振而起,若記下這時候的水面位置,再用尺量度筒中的空氣柱的長度,你就可以發見,空氣柱的長度適

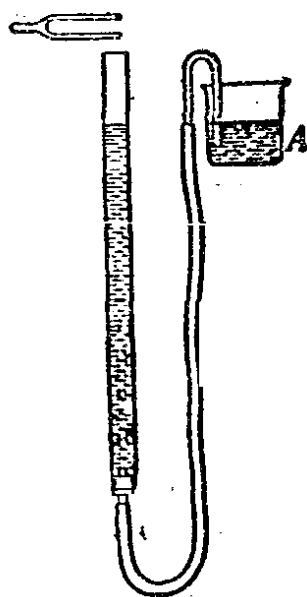


圖 112

空氣柱的共振作用 等於聲波的長度之  $\frac{1}{4}$ 。倘使再把筒水降落到了空氣柱長等於波長  $\frac{3}{4}$ , 又能得第二次的共振。但不及前次的顯著。推而知空氣柱長等於波長的  $\frac{5}{4}$ ,  $\frac{7}{4}$  等都能發生共振。

由試驗而知,一端密閉的筒子,如能和

外來的聲波生共振作用時，筒內的空氣柱長和聲波的長有一定不易的關係。對於外來的聲波，能生優美的共振作用的，這聲的波長，約等於空氣柱長的四倍。

取兩個30厘米長的紙筒，其一恰好能在其他紙筒中伸縮，所以筒內的空氣柱長，可隨意改變。使音叉鳴於筒口，改變筒長，到了一定的長度，則又擊大鳴。量得筒長，適為波長的 $\frac{1}{4}$ 。但是筒的長度恰為波長 $\frac{1}{4}$ 的倍數時，都能生共振作用。（參閱圖113。）

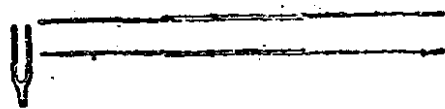
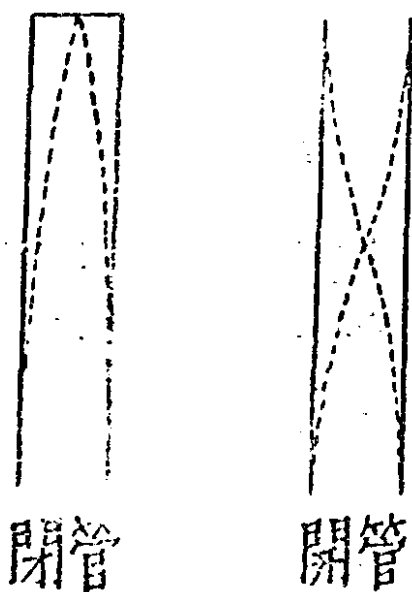


圖 113 開管的共振作用

由試驗而知，兩端開口的筒子，能夠發



能生優美的共振作用時：

閉管的長 =  $\frac{1}{4}$  聲波的長；

開管的長 =  $\frac{1}{2}$  聲波的長。

圖 114

生共振作用時,空氣柱長和聲波的長度有一定不易的關係;對於外來的聲波,能生最優美的共振作用的,這聲波的波長約等於空氣柱長的兩倍。

§132. 簫和笛 簫和笛等實在就是一種共振管。其發聲原理可於下列的試驗顯示牠。

一個玻璃管 a (長約 25 厘米,徑約 1.5 厘米) 中有木塞,能在管中上下移動。用一隻音叉鳴於管口,上下木塞的位置,使生助聲作用。移開音叉,用扁口的 b 管吹氣過管口,則管能發生音叉的音調。(參閱圖 115。)

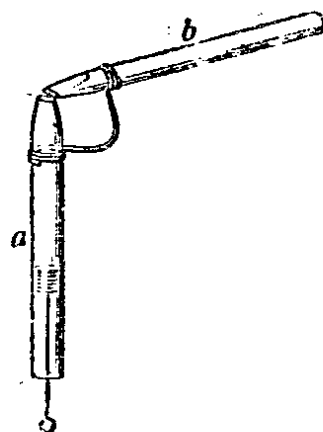


圖 115 簫和笛的發聲

適合的氣流吹過閉管的管口,所能發生的最低音調(即基音),其波長必為管長的四倍。

把 a 管的木塞拔去,用手掌封其下端,吹之成聲。倘使驟然將手掌移去,則 a 管所發的音較初時恰高

一倍,換句話說,開管時所發的音調,其頻率是閉管時的二倍。

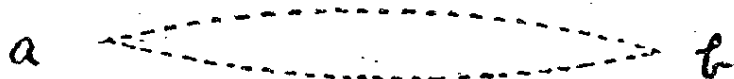
由是可知,以適合的氣流吹過開管的口上,所能發生的最低音調(即基音),其波長是管長的二倍。

簫是兩端開口的共振管。笛是一端開口的共振管,管壁有孔,用指節其啓閉,故能任意改變空氣柱的長度,音調也就跟了改變。

### § 133 弦的振動(基音) a b 是一根緊

張的鋼絲,以指彈撥其中部,弦作圖 116 所示的振動。

這是該弦所能



發生的最低音

圖 116 弦發生基音時的振動

調,稱為基音 (Fundamental tone)。倘使用一根羽毛,

輕觸弦的中部,用弓拉全弦的  $\frac{1}{2}$  處,則弦分兩段振動。

(圖 117),如把羽毛移開,音調仍繼續不變,所生的音調

較基音恰高一倍。設該絃全部振動時的頻率為每

秒 256 次,分二段振動時的頻率為每秒 512 次。倘使

用一根羽毛輕觸在弦長的  $\frac{1}{2}$  處,用弓拉在弦的  $\frac{1}{2}$  處

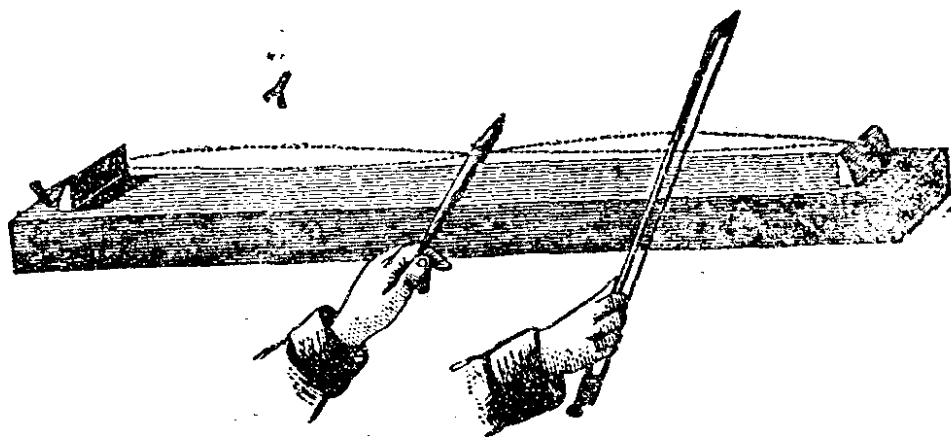


圖 117 弦分二段振動

(如圖 118), 則弦分三段振動所生的音三倍高於基音。設有輕質紙條三枚,分置於全弦的中點  $\frac{1}{2}$  處

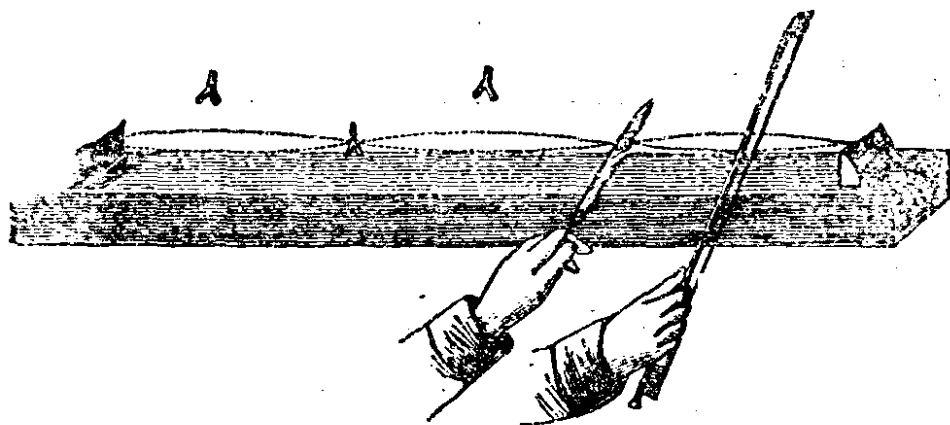


圖 118 弦分三段振動

及  $\frac{2}{3}$  處,當用弓拉在  $\frac{1}{2}$  時處,見弦中點及弦  $\frac{2}{3}$  處的兩枚紙條躍起,弦  $\frac{1}{2}$  處的紙條仍安然不動。當弦起了振動之後,隨即把羽毛移開,見弦分三段振動,弦長的  $\frac{1}{2}$  和  $\frac{2}{3}$  兩點是靜止不動,稱為波節(node),弦長  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{2}{3}$  及

§ 三點振動最甚，稱爲波腹 (Loop)。

凡弦起全部振動時所能發生的最低音調稱爲基音。弦分兩段振動時，所發生的音調倍高於基音，稱爲第一泛音 (Overtone)，或稱二次諧音 (Harmonic)；弦分三段振動時，所發生的音調三倍高於基音，稱爲第二泛音或三次諧音。各種泛音和基音的頻率之比爲 2 3 4 5 6 等。

#### § 134. 基音和泛音可以同時產生

(1) 用弓拉在弦的中部，弦能發生低而清的基音；若用羽毛輕觸在弦的中部，基音立即消失，決無其他餘音存在。

(2) 用弓拉在弦的  $\frac{1}{4}$  處，弦能發生較爲豐富的音，留意地細聽，就覺到這種音是由基音攙和着第一泛音所組成，若用羽毛輕觸在弦的中部，其中的基音消失，第一泛音仍剩留可聞。

(3) 用弓拉在弦的  $\frac{1}{6}$  處，所發的音和第二次又不同，留意細聽，就覺到這種音是由基音攙和着第二

泛音組成的，若用羽毛輕觸在弦的  $\frac{1}{3}$  處，則基音消失，第二泛音還剩留可聞。

照此推來，用弓拉在弦上的任意一點時，所發的音也許是很複雜的，常由基音攙雜着某種泛音而成。同一根弦，因為拉處和拉法的不同，所生的基音可以相同，但攙雜在基音中的泛音的種類和其顯著的程度就大異，其結果便發生了音品的不同。

§ 135. 弦振動定律 一根弦在那裏振動時所發的基本音調，隨弦的長度、張力以及弦的粗細而異。由各物理學家的精密試驗得到下列三條定律：

(1) 弦的振動頻率和弦的長度成反



圖 119 試驗弦振動定律的儀器

比例。 把一根張力有定的弦的長度縮短

一半,頻率就增倍,長度縮到 $\frac{1}{3}$ ,頻率就增加到三倍。通用的胡琴是用手指來節制弦的長短,故音調可任意改變。

(2) 弦的振動頻率和張力的平方根成正比例。所以一根長度有定的弦,只須把張力增大四倍,頻率增倍。張力增9倍,頻率增三倍。把胡琴的弦絞緊,音調就可以增高的理由就在此。

(3) 弦的振動頻率和弦的單位長度內所含質量的平方根成反比例。胡琴有二弦,一粗一細,倘使二者的長度相同,張力也相等,則粗弦所發的音調低,細弦所發的音調高。

§ 136. 弦樂器 (String instrument)——胡琴琵琶等。胡琴有二弦,用弓拉;琵琶有四弦,用指彈。奏樂時用指按弦,以節制其振動部分的長短,因此就可以改變音調的高低,因拉處和拉法或彈處和彈法的不同,可



以發生各種不同的泛音,也就可以發生各種不同的音品。所以一根琴弦因指的按法和弓的拉法不同,不但可以發生種種高低不同的音調,而各音的音品亦可以大不相同。

§ 137. 膜樂器——聲帶(Vocal cord)。銅鼓是一種利用薄膜振動的樂器。各種樂器中最稱奇妙的要算人的聲帶了。聲帶由一對薄膜組成,分列在喉管中的兩旁。唱歌的人,善于利用肌肉來改變聲帶的張力,就可以改變聲調的高低,再利用口腔的形狀的改變,就可以改變其中泛音的種類和其顯著的程度,換句話說,就是可以改變音品。

§ 138. 音階(musical scale) 從前各節所討論的都是關於單獨一樂音的性質。現在要說明數樂音同時合奏,要達到和悅的結果,應當有怎樣的基本關係。

要比較兩個不同的音,第一是比較牠們的音調(即頻率的比較。)凡音的頻率相同的,合奏時必能諧和。倘若二音的頻率之比為1:2,合奏時也十分諧和。例如在風琴和鋼琴上奏出do一音,其振率為每秒256次;較do高一音階的音do',其振率為512;較do低一音階的音do,其振率為128。而do和do'之間還有re,mi,fa,sol,la,si,六個音。你可以找出do—do'是諧和的,do—do也是諧和的。此外如do—sol,do—fa,do—mi等皆諧和,反之,如do—re就不很諧和了。

讀 法	do	re	mi	fa	sol	la	si	do'
符 號	C	D	E	F	G	A	B	C
頻率之比 (以do為標準)	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2
頻 率	256	288	320	$341\frac{1}{3}$	384	$426\frac{2}{3}$	480	512

從上表知其頻率之比在do—do'為1:2; do—sol為2:3; do—fa為3:4; do—mi為4:5。照這樣看來,凡二音頻率之比成爲最簡單的

比例,合奏時必相諧和。

### 撮 要

閉管能生最優美的共振作用時,管長爲波長的 $\frac{1}{4}$ 。

開管能生最優美的共振作用時,管長爲波長的 $\frac{1}{2}$ 。

以氣流適合地吹過閉管的口上所發生的最低音調,其波長四倍於管長。

以適宜的氣流吹過開管的口上,所發生的最低音調其波長爲管長的二倍。

樂器所發生的最低音調,稱爲基音。

泛音和基音的頻率比例爲 $1:2:3:4:\dots$

各種樂器所發生的基音的頻率和響度雖相等,但是攙和基音中的泛音數目和顯著程度各各不同,故音品大異。

弦的振動頻率和 (1)弦長成反比和 (2)張力的平方根成正比和 (3)弦的單位長度所含的質量之平方根成反比。

## 習 題

(1) 某音叉的振動頻率為每秒256次。使鳴於閉管的口上,能得最優美的共振作用。求閉管的長度至少幾厘米。(假定空氣的溫度為 $0^{\circ}\text{C}$ )

(2) 設上題中的空氣溫度為 $20^{\circ}\text{C}$ ,則管長應為幾厘米?

(3) 設用開管來替代閉管,則(3)和(4)題的答案當若何?

(4) 一支開管的長度為100厘米,求牠所能發生的最低音調的頻率。(溫度在 $0^{\circ}\text{C}$ )

(5) 已經知道聲音在氫氣中的速度為空氣中的四倍。一管用氫氣來吹和用空氣來吹時所發的音調應當怎樣的相同?

(6) 兩壁相距1500米。人立兩壁的中間放一鎗,聽到二個回聲,第二回聲和第一回聲相隔3秒。求人離開較近一牆的距離。(設音速為330米/秒。)

(7) 用胡弓拉在絃的七分之一處(離端)較在中部所得的音為佳,這是什麼緣故?

(8) 某樂器的基音之頻率為256,求第一和第二泛音。

(9) 某音叉的振動頻率為512,求其第一高次泛音和第一低次泛音。

(10) 某樂器在 $20^{\circ}\text{C}$ 時,振動而發出2米長的音波,求其振動頻率。

(11) 要使琴弦改變音調,其法有幾?

(12) 某弦長50厘米,能生400次的振動。設絃長縮到10厘米,振動頻率應改變若干?

(13) 某弦當張力4仟克時的振動頻率為256,今把牠的長度減少一半,張力減少到1仟克,求其振率。

(14) 二絃的長短相比為1:2,使發同一高度的音調,則張力的比當若何?



## 第八章 光的本性

### XXVI 光和照度

§ 139. 光 在日光或燈光之下,張目四望,可以看到各種物體羅列在眼前,到了黑夜,伸手尙不能自見五指。所以眼睛能看見東西,除了眼與物外,必有別種東西存在,方纔有效。這種東西稱爲光。高懸的太陽,燒紅的炭梗,點着的蠟燭,都是能夠自己發光的,故稱爲發光體 (Self-luminous body)。光照物于耀面,物面立呈光輝,這類物體可稱爲被照體 (illuminated body)。但是不能稱爲發光體。

§ 140. 光的直行 用黑幕遮蓋窗戶,使室內黑暗。在南窗上面開一小孔,令日光由小孔中射進

暗室,倘室內有微塵,可以清清楚楚看見日光進行的路徑是一條直線。

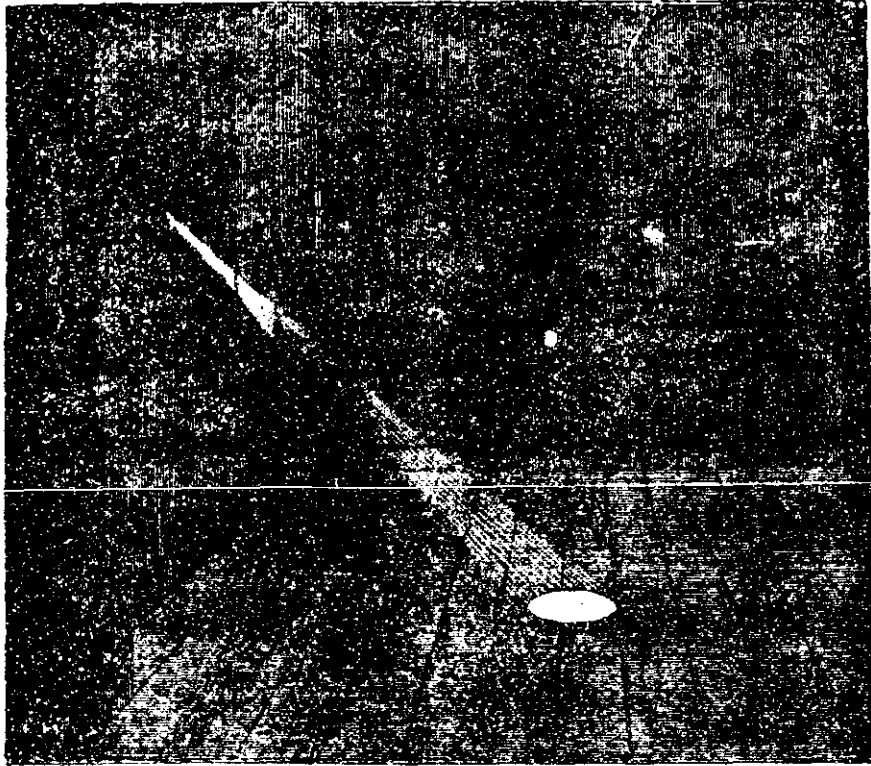


圖 120 光的直行

由試驗而知光是依直線方向進行的,倘在室內置一燭火,可見火光向各方散射,使滿室光亮。用你的手掌放在燭和眼間,那就不能窺見燭火。這個方法,也足以證明光是只能直行,手掌遮在光的進行的路上,光是不能改行曲徑,射入眼中的。

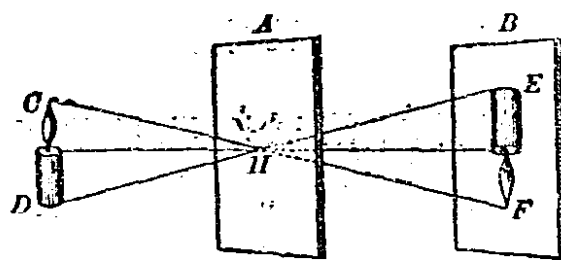
§ 141. 針孔成像 紙板 A 上穿一針孔



置于燭火和 B 幕的中間,可見幕上現一燭像。

針孔成像的原理,實根據于光的直行。火燭的

每一點,能向各方發射光線,依直線方向進行,其穿過針孔的,



投像于幕上。這許

圖 121 針孔像

多發光點,各各投像幕上,就湊合而成燭像。

一隻小木匣,內面塗黑,在匣的前面開一針孔,匣的後面放一毛玻璃片。把匣的小孔,對準樹木,可見毛玻璃片上,現出樹像。

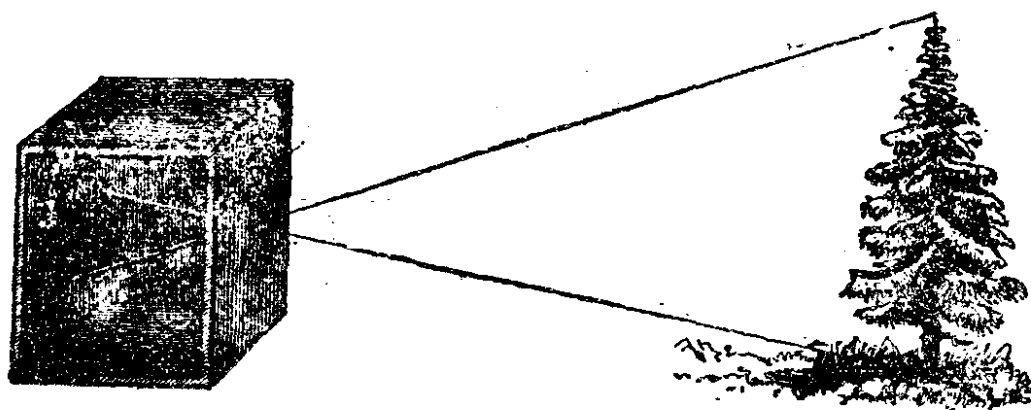


圖 122 針孔照相機

§ 142. 影子 一球置于燭火 L L 和白幕 C D

之間，即見幕上現出一個全黑的圓形，外面還包着半暗的圈子。倘使在幕上的全黑、半暗及光亮的三部分上，各穿一小孔。在幕後分別從這三個小孔去觀察燭火，在第一孔中完全看不見燭火，第二孔見燭火的一部分，在第三小孔，見燭火的全部分。

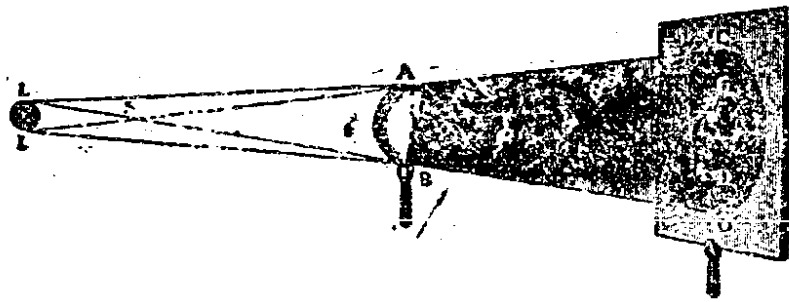


圖 123 影 子

凡在球後為光線所不能達到的空間都稱為影子 (Shadow)，幕上的黑圓乃是影子的截面。影子的全黑部分是光線所絕對不達到的空間，稱為本影 (umbra)；半暗部分，是一部分光線所不能達到的空間，稱為半影 (penumbra)。

§ 143. 日蝕  
和月蝕 地球  
繞太陽而迴轉，

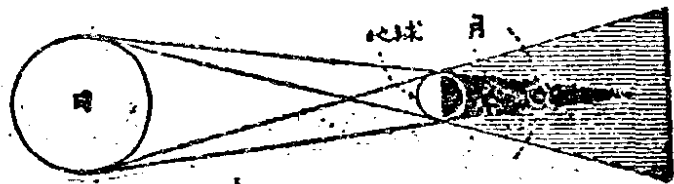


圖 124 月的全蝕

背日的一面無光,其後有一個錐形的影子,倘使月球行進地球的影子中,則月球面上不能受到陽光的照射,就發生月蝕。有時月球在日和地球之間,地球上的某部分;雖然向着太陽,但是太陽的光線恰好被月球遮去,就發生日蝕。

§ 144. **光的速度** 光速奇大,據物理學家和天文學家實測的結果,知道光於每秒鐘內,能行 300,000 仟米。光在每秒鐘能週繞地球  $7\frac{1}{2}$  次。

§ 145. **照度** 物面受光較多就光亮,較少便黝暗。凡物體每單位面積上所受到的光量,稱為照度 (Intensity of illumination)。

今有紙板三片,垂立桌上。A 為 1 厘米方, B 為 2 厘米方, C 為 3 厘米方。各片的中心點,離開桌面的距離都相同。離 C 片 99 厘米處置一燭,燭光垂射于 C 片的面,若用 B 片插入燭和 C 片的中間,前後移動,使 C 片上的光線,恰好被 B 片遮去。再用 A

片插入燭和 B 片的中間,使 B 片上的光線,恰好被 A 片遮去。你就可以發見 A、B 和 C 片離開發光點的距離為 33,66 與 99 厘米,亦即 1:2:3。

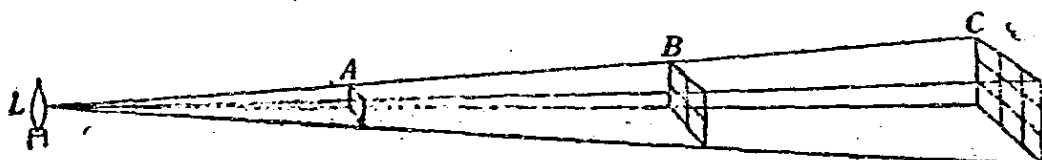


圖 125 照 度

因為前片恰好遮去後片上的光,則 A、B 和 C 片上所受的光量各各相等。但是 A、B 和 C 的面積之比為  $1:2^2:3^2$ 。那末 A、B 和 C 片的每單位面積所受的光量之比為  $\frac{1}{1}:\frac{1}{4}:\frac{1}{9}$ ; 也就是各片亮度的比例為  $\frac{1}{1^2}:\frac{1}{2^2}:\frac{1}{3^2}$ 。

由試驗(可知,物面所受照度和離開發光體的距離之平方成反比例。)

這個定律的得來,是假定發光體為點狀,光線是垂射于物面。倘使光線斜射時,照度要小些。夏時太陽的光線垂射于地面,冬時則斜射,所以夏日炎熱,冬日溫和。

一支標準燭光垂射于距離一米的物

面上時,所受的照度,稱為1米燭光。用100支燭火垂射于距離1米或2米的物面上,所生的亮度,在前者為100米燭光,後者為25米燭光。即

$$\text{照度(米燭光)} = \frac{\text{光源強度(燭光)}}{\text{距離}^2(\text{米})}$$

所謂標準燭光,乃是指鯨油所製的燭,每小時燃去120格林 (grain) 時所發的光。這種標準,雖非完善,但是早被工商界所慣常採用。通常稱十六支燭光的電燈,就是指該燈發出的光強相當于十六支標準燭光的合效。

### §146. 本生光度計 (Bunsen's photometer)

白紙上滴一油滴,張在窗口。人從窗外觀察這油點,則較他部為黝暗;從窗內觀之,則較他部為明亮。這是因為紙的兩面亮度不等的緣故。若是兩面的亮度相等。你從任何方面去觀察這點,同其餘部比較,決無明暗的分別。本生利用這個原理來比較兩種發光體的強度。

圖 126 中的 A 為油點紙片, B 為標準燭, C 為受

測的電燈。A在B和C的中間左右移動,到了某處,油滴兩面的明暗相同,顯示片的左面,因受電燈光而

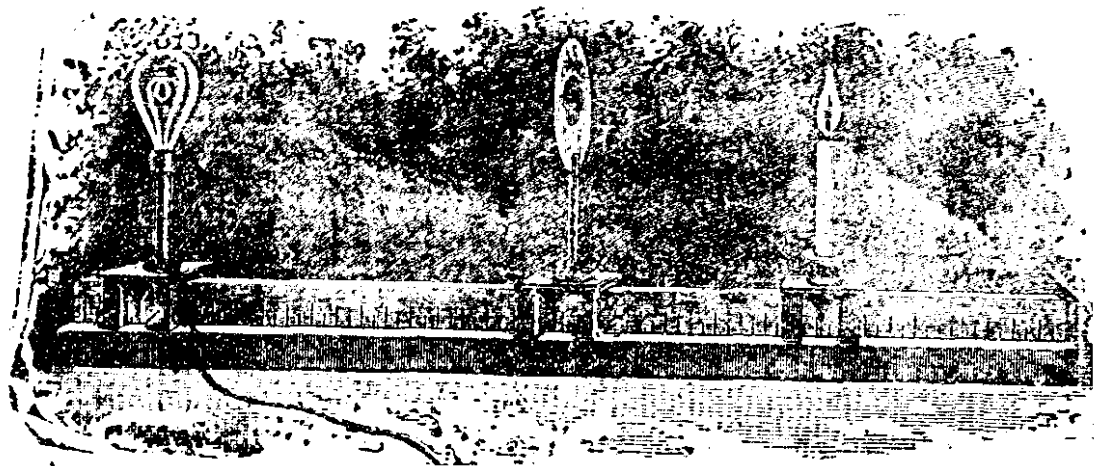


圖 126 本生光度計

生的亮度,和右面受標準燭而生的亮度相等。由上節知

$$\frac{\text{電燈光}}{AC^2} = \frac{\text{標準燭光}}{AB^2}$$

### 撮 要

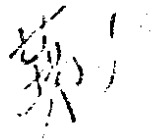
光依直線進行,針孔成像,物後的影子,都是明證。

光速每秒約 300,000 仟米。

照度是物體每單位面上所受到的光量。

照度與離開發光體的距離之平方成反比例。

$$\text{照度(米燭光)} = \frac{\text{光源強度(燭光)}}{\text{距離}^2(\text{米})}$$



習 題

(1) 作圖以示明月蝕時太陽、地球和月亮的相互位置。

(2) 作圖以示明日蝕時太陽、地球和月亮的相互位置。

(3) 爲什麼地球上各處,不能同時看見太陽被月亮所全蝕?

(4) 假定太陽移近地球,使地球離開太陽和牠現在離開月亮的距離相同,那末地球上所受到的日光強度應增幾倍? (地球離開月亮計 240,000 哩,離開太陽計 93,000,000 哩)

(5) 書本離開 20 支燭光的電燈約 1 米時,則閱讀最爲清楚而舒適。今用 60 支燭光的電燈,那麼書的位置,應當離燈幾米。

(6) 讀書時至少要 1 米燭光的亮度,問在一隻十六支光的電燈下讀書,最遠可離燈若干米?

(7) 離燈 4 米時曬印像片,需時 30 秒。現在要使曬印的時間縮短到 15 秒鐘,問像片應離燈若干米?

(8) 一支標準燭火,能使離距 1 米處的幕上所  
受照度,和 10 米遠處的電燈光投射其上所受的照度  
相同。求某電燈是幾支燭光。

## XXVII 光的反射

§ 147. 光的反射 (Reflection of light) 在  
暗室的南窗上,開一小孔,使日光從小孔中射進暗室。  
這道光線若是投在平面的鏡子上,就能被鏡子反射  
到天花板上。如圖 127 所示。入射光線  $IO$  遇

着鏡面的  $O$  點,在這  $O$  點  
上垂豎一尺  $OP$ 。這  $OP$   
和入射光線  $IO$  所夾的  
角  $IOP$  稱爲入射角 (An-  
gle of incidence)。這  $OP$

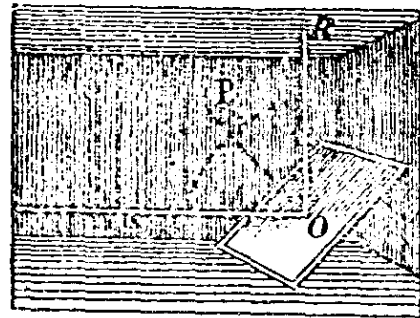


圖 127 光的反射

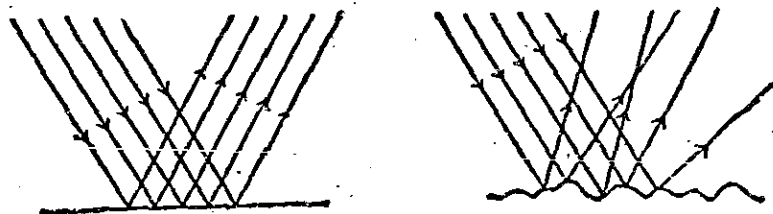
和反射光線  $OR$  所夾的角  $ROP$  稱爲反射角 (Angle  
of reflection)。倘使用法來測度這入射角和反射  
角,就發見  $\angle IOP = \angle ROP$ 。不但如此,你還可發見  
入射線  $IO$ , 反射線  $OR$ , 和正線  $OP$  都在一個平面內。

由試驗而知 光線斜射于光滑和平準



的面上起反射作用。入射角必等于反射角。入射線、反射線和法線都在同一個平面內。

§ 148. 漫射 (Diffusion) 太陽離開地球很遠,所以射到地面上的光線是約略平行的。這種平行光線投在平面鏡上,經反射仍得平行光線如圖 127a 所示。



有規律的反射

漫射

(a)

圖 128

(b)

若是投在不平的面上,反射光線當然絕對不會平行,如圖 128 b 所示,特稱為漫射。普通物面決非絕對平準。光線投其上,必生漫射作用。因為物面的任何部分,能把射來的光線向各方向散亂地反射,用眼觀牠,好像在那裏自行發光似的,故能現出物形。至于光線投在一種絕對平準而光滑的鏡面上,諸反射光線仍保持原來的相互關係,故只見發

光體而不見鏡面。

§ 149. 平面鏡的成像 設有一個點子 A 放在平面鏡 MN 之前，從 A 點所發射出來的光線 AB 和 AC，投在鏡上，按照定律分別依 BD 和 CE 的方向反射入眼中，眼所見的反光線宛然來自 A' 點。

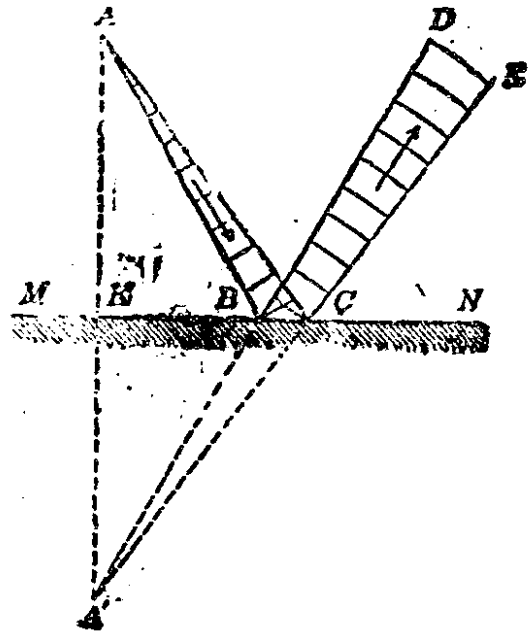


圖 129 平面鏡的成像

這 A' 點稱為 A 點的虛像 (Virtual image)。由圖可以證明：A 和 A' 點相互對稱于鏡面，連結 A 點和 A' 點的直線 AA'，必與鏡面垂直；而  $AK = A'K$

所以一個點子放在平面鏡前，牠的虛像造成在鏡後。物和像的連線必與鏡面垂直，物和像離開鏡面的垂距必相等。

§ 150. 用作圖法來求平面鏡內的物像

求鏡前某點在鏡內所成的像,可從這點引垂線至鏡面而延長之,使線的長度增倍,像的位置就在這線端。

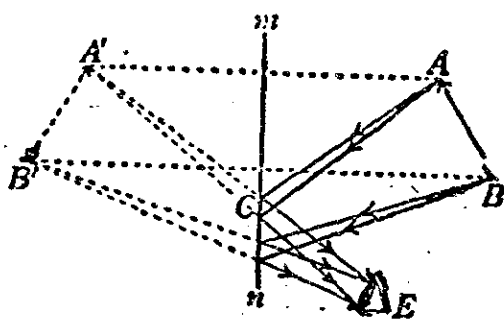


圖 130

物體的像可看作許多點子的像合組而成。每一個點子的像都可以照了上法求得。例如有物體  $AB$ , 放在平面鏡  $mn$  之前。可從  $A$  和  $B$  點分別引垂線至鏡面而延長之, 使線長增倍, 就可以得到  $AB$  的像在  $A'B'$ 。

所以由平面鏡所造成的物像, 位在鏡後, 虛而直立, 其大小和原物相等, 像和物的相應點離開鏡面的距離相等。

取玻璃片豎立桌上, 片前置一燭火, 片後置一水瓶。倘使燭與瓶離玻片的距離相等,

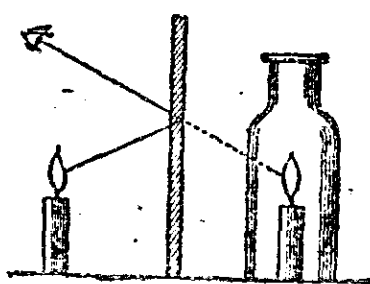


圖 131

燭火的像在水中

二物的連線與玻片正交,用眼在燭火的一旁觀察水缸,見燭火在水中點着。魔術家所演的空中人頭,人面獸身等一類把戲,也是根據着光的反射定律。

§ 151. 多次反射 (multiple reflection) 把兩面鏡子相互垂直,燭火放在中間,可得三個燭像,如圖 132 所示。由圖 133 知  $O'$  是  $O$  在  $AB$  鏡後的像;  $O''$  是  $O'$  在  $AC$  鏡後的

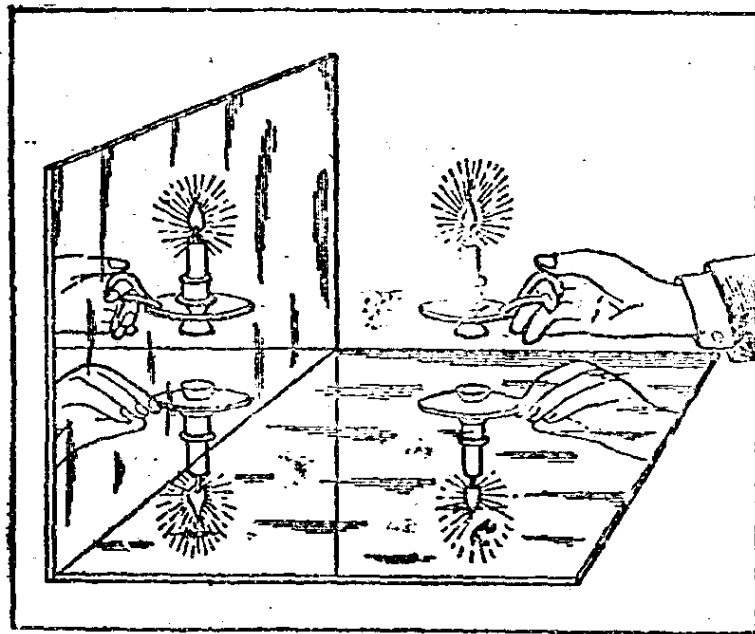


圖 132 多次反射

像;  $O''$  是  $O$  在  $AC$  鏡後的像。因為二鏡相互垂直,則  $O''$  同時又為  $O''$  在  $AB$  鏡後的像了。倘用  $A$  為圓心,  $AO$  為半徑作一圓,則

$O'$   $O''$   $O'''$  均在圓周之上。人目置于  $E$  處，則所見的  $O'$  與  $O''$  乃經一次反射而來， $O'''$  經二次反射而來。

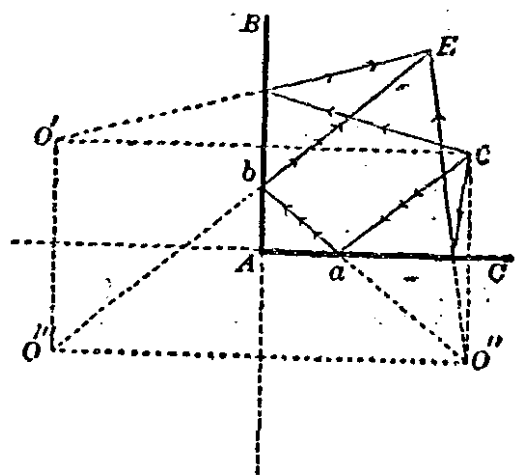


圖 133 多次反射時光線進行的路徑

萬花筒是由三面鏡子圍成，鏡間的夾角為  $60^\circ$ 。把顏色玻璃小塊置於筒的一端，在他端可以看見多次反射而得的像。把筒迴轉，玻璃小塊在三面鏡端移動，像的樣子就跟著改變。（使學生實地觀察後，作圖說明其理）

### 撮 要

反射定律：

- (1) 入射角等于反射角。
- (2) 入射線、反射線及法線都是在一個平面內。

平面鏡的成像：

物置鏡前,像成于鏡後,物與像的連線必與鏡面正交,並且物與像離開鏡面的距離相等。

### 習 題

(1) 利用光線在平面鏡上的反射作用,可使圍牆外面的物體被圍牆裏面的人所看見,試作圖以示明之。

(2) 從遠處觀察一張白紙和一面鏡子,那一件物體容易被人察看? 試言其故。

(3) 把鏡子離開鏡前的物體而移動,見鏡內物像的移動速度為鏡子移動速度的二倍。試言其故。

(4) 倘使鏡子是垂立的,人立在牠的前面,要自窺全像,則此鏡的高度至少為人身高度的半數。

(5) 一面矮小的鏡子架在壁上,人要自窺全像,只須走近鏡前,再把鏡子的上端向前傾側,試作圖以說明其所以然。

(6) 隔河遠望對岸的水中,見岸上的樹木在水中成倒像,這是何故?

## XXVIII 球面鏡

§ 152. 球面鏡 取球面的一部分作為反射面,稱為球面鏡。鏡面外凸的叫作凸鏡 (convex mirror), 內凹的叫作凹鏡 (concave mirror)。球心點  $C$  與球面鏡中點  $A$  的連線  $AB$  稱為鏡的主軸 (Principal axis)。而經過中心點  $C$  的諸線如  $DE, HK$  等稱為副軸 (Secondary axis)。

取凹鏡一,面對日光,使太陽光線依主軸方向,投射于鏡面上。用狹窄的紙條在主軸上前後移

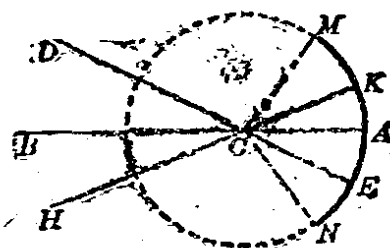


圖 134 球面鏡

動,你可以尋得極光亮的一點  $F$ 。這紙條若停留在這點上,能被焦灼。這  $F$  點稱為主焦點 (principal focus)。

由上試驗知平行光線依主軸的方向,投射于凹鏡面上,經反射而確實焦集于一點。這點稱為實的主焦點。(如圖 135

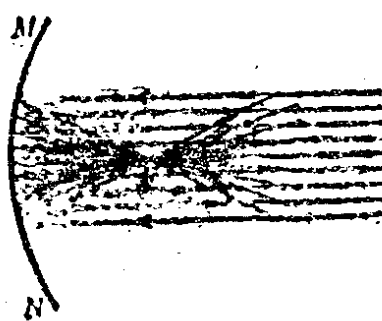


圖 135 凹鏡的主焦點

的  $F$ ) 從主焦點  $F$  到鏡面中點的距離稱爲焦距 (Focal length)。設有點狀的發光體放在焦點上, 則光線經反射而成平行, 可以照得很遠。火車或汽車頭上所裝的燈, 必位在一凹面鏡的焦點上, 可以使前面的道路上照耀得十分光亮。

再取凸鏡一, 面對日光, 使太陽的光線也依着主軸的方向投射在鏡面上, 你可以看見反射的光線, 宛然來自鏡後的  $F$  點 (圖 139), 但是不能用紙條來尋其踪跡。這  $F$  點稱爲虛的主焦點。

§ 153. 主焦點的地位 圖 136 中的  $MN$  爲凹鏡, 牠的中心在  $C$ , 主軸爲  $AB$ 。和主軸平行的光線  $ED$ , 投射在鏡面上。依據反射定律, 入射角  $EDC$  必和反射角  $CDF$  相等。沿着主軸的光線  $BA$ , 和鏡面既垂直, 經反射仍沿着  $AB$ 。反射光線

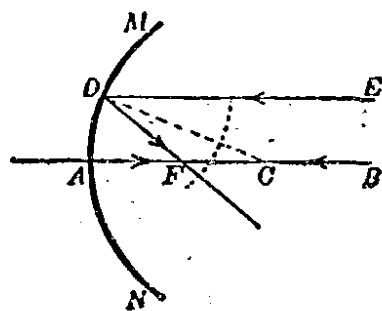


圖 136

主焦點的地位

$DF$  和  $AB$ , 焦集在  $F$  點上, 這  $F$  點就是主焦點。由





$\angle ABC = \angle CBF$   
 $\angle BCF = \angle CBF$   
 $\therefore \angle BCF = \angle CBF$   
 $\therefore FB = FC$   
 $FO = FC$   
 $FO = \frac{1}{2} CO$

第八章 光的本性

圖知二等邊三角形的  $CF$  邊和  $FD$  邊相等。若  $D$  和  $A$  相接很近,  $FD$  就等于  $FA$ ; 所以  $F$  在  $CA$  的中點上。

由是而知焦距等于鏡面的曲率半徑的半數。

§ 154. **凹鏡的成像** 在暗室中, 放一盞燭火在凹鏡前, 若燭在主焦點與曲率中心之間。則見曲率中心之外有倒置的燭像掛在空間。這像是由于燭上各點所發的光線投于鏡面, 經反射後確實聚集在此處而成。若用白紙一條, 置于成像處, 像能投于紙上。

把燭火從遠的地方緩緩地移近鏡面。像必慢慢地增大, 同時漸漸地由焦點  $F$  移近曲率中心  $C$ 。當燭火移到  $C$ , 像也移到  $C$ , 與原物疊合。



圖 137

把燭火由  $C$  移近  $F$ ,

凹鏡的成像試驗

見像的形狀增大這時像離鏡面較物離鏡面為遠。燭火放在  $F$ , 像乃移到無窮遠處而消滅。燭火由  $F$  移近鏡面, 見鏡後有正立而較物為大的像。但是不能用紙條尋其踪跡。這像並非由光線確實聚集此處而成, 但反射光線宛然從這裏射來, 故只能用目觀望, 不能投像于紙上, 這種像是虛像。凡是由凹鏡所得的虛像必正立, 且較原物為大。

§ 155. 用作圖的方法很容易求得像的位置 由  $A$  點引一光線, 經過球心  $C$ , 這光線必依原路反射回來, 故  $A$  點的像必在  $A a$  線上。

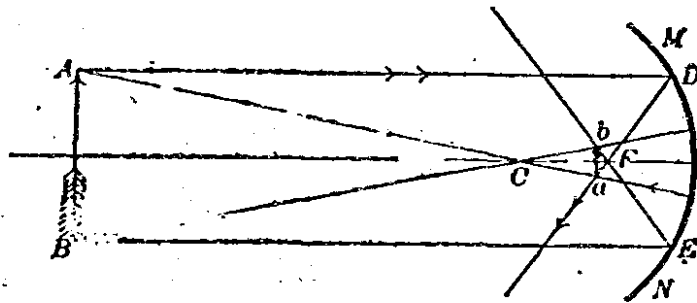


圖 138 作圖法

再由  $A$  點引一光線使與主軸平行, 這光線經反射必過焦點  $F$ , 而  $A$  點的像必在這  $D a$  線上。今  $A a$  和  $D a$  相交于  $a$ , 則  $a$  必為  $A$  的像之所在點。同理可以求得  $B$  的像在  $b$ 。而

$a$   $b$  即為  $A$   $B$  的像了。

§ 156. **凸鏡的成像** 置燭火于凸面鏡前的任何遠近處,見鏡內有正立而較物為小的虛像。

由  $A$  點引一光線和鏡面垂直 (即過球心),則仍依原路反射回來,如

圖的  $A a$ ,虛像必位在這線上。

由  $P$  點引一

光線和主軸平行,經反

射,必發散如圖之  $D a$ ,

虛像必位在這線上。

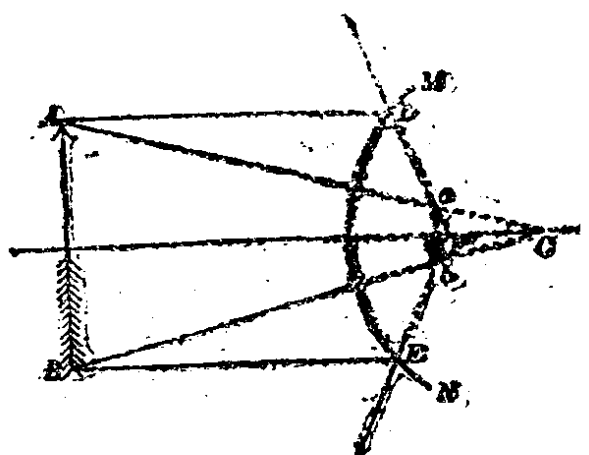


圖 139 凸鏡內的虛像

這二反射光線宛然從  $a$  點射來,故  $a$  為  $A$  的虛像。

同理  $b$  為  $B$  的虛像。

### 撮 要

平行光線依主軸方向投射于凹鏡上,則反射而聚于一點,這點稱為實焦點。(在凸鏡只有虛焦點。) 焦點至鏡面中點的距離稱為焦距,其值等于球面的曲率半徑的半數。

物體置于凹鏡前,若物離鏡面大于焦距,則生倒立的實像;小于焦距,生正立的虛像。

物體置于凸鏡前,只能生正立的虛像。

### 習 題

(1) 一凹鏡的曲率半徑為20厘米,設有物放在鏡前30厘米處,試作圖以求物像的位置和性質。

(2) 設第一題中的物體離開鏡15厘米,試作圖以求物像的位置和性質。

(3) 設第一題中的物體離開鏡面計5厘米,求物像的位置和性質。

(4) 爲甚麼物置凸鏡前只能得正立的虛像,試作圖以證明之。

(5) 一凸鏡的曲率半徑為20厘米,物置鏡前5米處,用作圖法求物像的位置。

(6) 設平面鏡凸鏡及凹鏡的外觀極難分別,用什麼方法辨別他們?

## XXIX 光的折射

§ 157. 光是以太的波動 光在真空中傳佈,其速度爲每秒300,000仟米,與輻射熱的本性相同。光是甚麼? 一般學者都深信光是以太中的波動。其詳細理由非本書範圍所及,姑從略。

§ 158. 光線和波前 點狀光源所發生的光波 (light wave) 向各方以等速傳遞,其波前 (wave front) 必成球面形,波的進行方向和波前相垂直。你若留心觀察水波的進行,就可以直接看到波的進行方向是和波前垂直的。圖 140 a 表示 O 點所發生的光波按次向外傳遞,曲線示波前,矢形示光的進行方向。

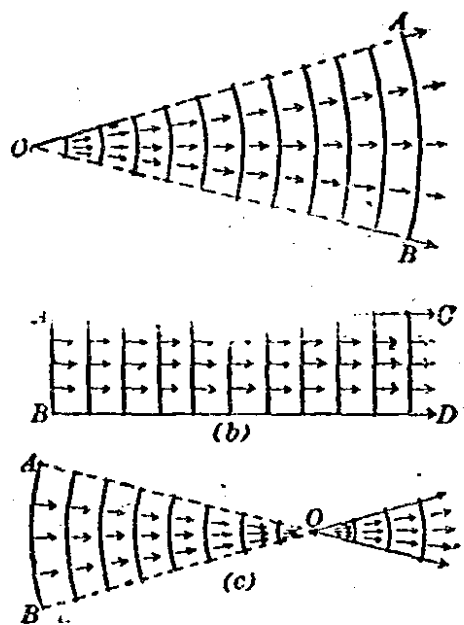


圖 140  
光線和波前相互垂直

表示光的進行方向的線稱爲光線。集一簇光線則成一柱光 (Beam of light), 而

光線必和波前垂直。所以平行光線的波前必為平面（圖 b）。諸光線發散而不能會集的，其波前為凸面狀；能斂集在一點的，其波前為凹狀（圖 c）。

§ 159. 水的折射 一根竿子斜插入水中，竿在水面處現出斷折的狀態。用眼睛注視水中的桿端，現出上浮的情境。

在空瓷杯中放一銅元 (C)，人離杯後退，到杯中銅元恰好被杯沿遮去，眼不能見為至。然後注水入杯中，銅元便立即現出，人離池塘愈遠，見池底浮起池水愈淺者，也是這個原因。

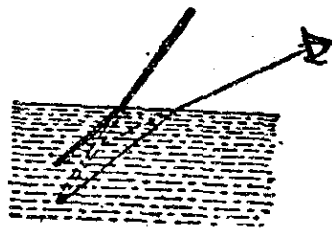


圖 141 一棒呈斷折狀

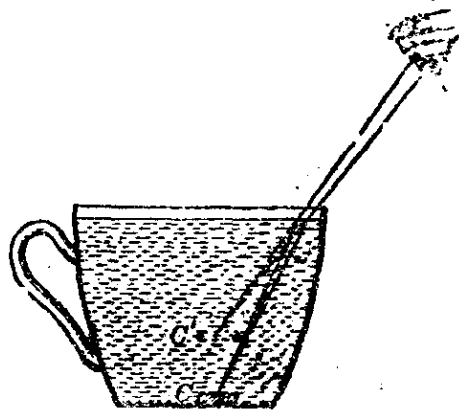


圖 142 杯水和銅元

在方玻璃缸的面上黏一紙質的分角規。缸中

盛水,水的平面適平分此分角規。缸面蓋一硬紙片,片上有一狹縫。用平面鏡反射光線入狹縫中,使射入光線恰在分角規的中心處進入水中。你就可以看見,這一柱帶狀的光線,在水面處改變方向而入水中。

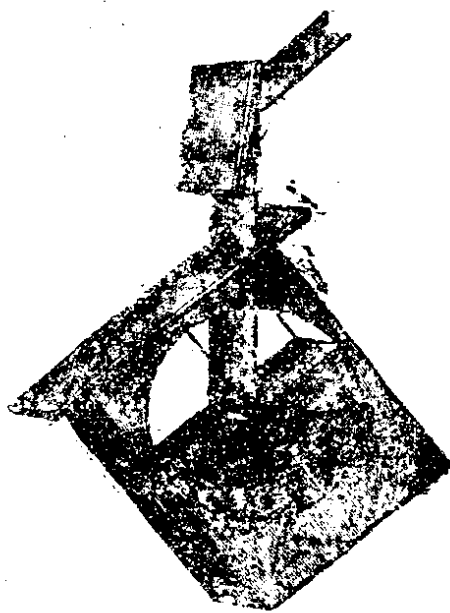


圖 143 光的折射

光線由一種透光的介質行進第二種透光的介質,其進行的路徑必改變,這現象稱為光的折射 (refraction of light)。

§ 160. 折射的原因 光在各種透光的介質中進行時速度各不相同。透光的速度大的稱為光疏介質 (optically thinner medium), 小的稱為光密介質 (optically denser medium)。例如光在空氣中較在水中時的速度為大。故稱水為光密介質,空氣為光疏介質。

平行光線的波前既為平面狀,當光線由空氣中斜射入水中,平面的波前決不會同時行進水中。例如波前  $AB$ ,  $A$  點到水面,  $B$  點尚在水外,霎時後,  $B$  點行到  $C$ ,  $A$  點在水中前進的範圍不出乎虛

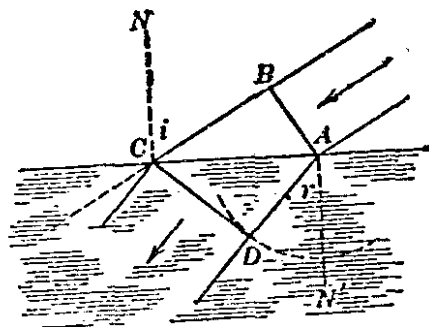


圖 144 光的折射理由

線的弧。今從  $C$  點引一切線到這弧上,再連結  $A$  點和切點  $D$ ,這  $CD$  就是代表新的波前。若以  $BC$  代表光在空氣中的速度,則  $AD$  代表光在水中的速度。現在波前的方向,既由  $AB$  而改為  $DC$ ,光線的方向,必由  $AA'$  而改成  $AD$ 。其結果則光線由空氣中斜射入水中時,其方向必向法線  $AN'$  而屈折。約言之,光線由光疏介質中行進光密介質中,必向交界面的垂線屈折。圖中  $i$  角稱為入射角,  $r$  角稱為折射角。

§ 161. 折射率(Index of refraction) 光線



在某一介質中進行速度必有定值。由圖 143 而知  $BC/AD$  乃是等于  $\frac{\text{光在空氣中的速度}}{\text{光在水中的速度}} = \frac{V}{V'}$ 。這個比值稱爲水的絕對折射率,或簡稱水的折射率。

某種透光物折射率 =  $\frac{\text{光在空氣中的速度}}{\text{光在某物中的速度}}$ 。

下列一表乃常見的透光物質的折射率:

水	1.33	冕牌玻璃	1.51
酒精	1.36	火石玻璃	1.54—1.71
二硫化炭	1.64	金鋼石	2.47

例 設光在空氣中的速度爲 300,000 千米/秒,求光在水中的速度。

$$\text{解 } 1.33 = \frac{300,000}{X}$$

$$\therefore X = 225,567 \text{ 千米/秒}$$

§ 162. 折射定律 西曆 1621 年荷蘭的物理學家斯涅爾 (snell) 發見了下列的折射定律:

(1) 光線從疏的介質斜行入密的介

質中,必向着法線而屈折;反之,光由密的介質斜行入疏的介質中,必離開垂線而屈折,

(2) 在一定的兩種介質,那就不問入射角的大小怎樣,其相對折射率自有定值,

(3) 入射線、折射線和法線必在同一平面內。

### § 163. 光線經過三稜鏡 利用平面鏡

把極強的陽光反射到桌子上。在光線的進程中插入一片綠色玻璃,使這柱綠色光的一小部分透過稜鏡。若室內有微塵,

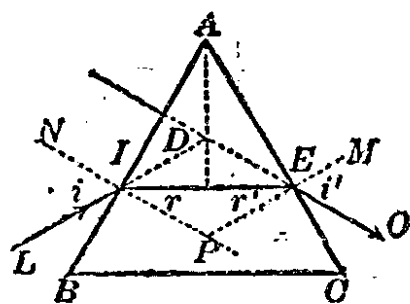


圖 145

光線經過三稜鏡

你就可以發見兩柱不同向的光線。一柱是穿過稜鏡,受過屈折而來,如圖中的 EO;另一柱是沒有透過稜鏡,所以沒有受到曲折,其方向仍同 LI。試把稜鏡旋轉,看見這兩柱光線間的夾角在那裏改變。圖中的 D 角叫做偏向角 (angle of deviation)。當

入射角  $i$  和出射角  $i'$  相等時，偏向角是最小。

§ 164. **全反射** 在 § 159 所用的玻璃缸的側面上，黏一黑紙，紙的下部，開一橫縫，利用平面鏡將極強的光線反射入縫中（如圖 146），使這柱帶狀光線由下部向上斜射入水中，遇水面于分角規的中點。假使帶狀光線和液面法線間的夾角大于  $50^\circ$ ，則水面能把這光線

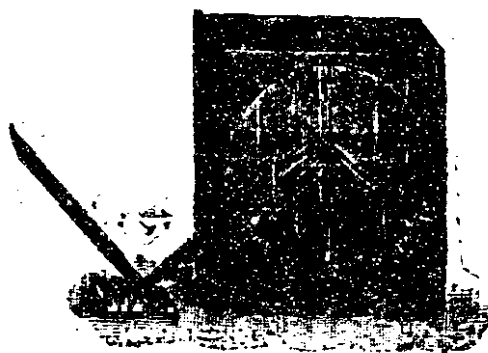


圖 146 全反射

仍行反射入水中，絲毫不許牠透出水面。在這種情境之下，水面宛如平鏡，只有反射而無折射作用，故稱爲全反射 (Total reflection)。全反射作用實起于光線由密介質行入疏間質中時的入射角過大，使折射角大于  $90^\circ$  的緣故。

§ 165. **蜃景** 在沙漠地方，旅行的人，常常會

看見遠處有倒生的樹木,這叫做蜃景。蜃氣的成因實由于空氣的全反射作用。日光照在沙地上,接近

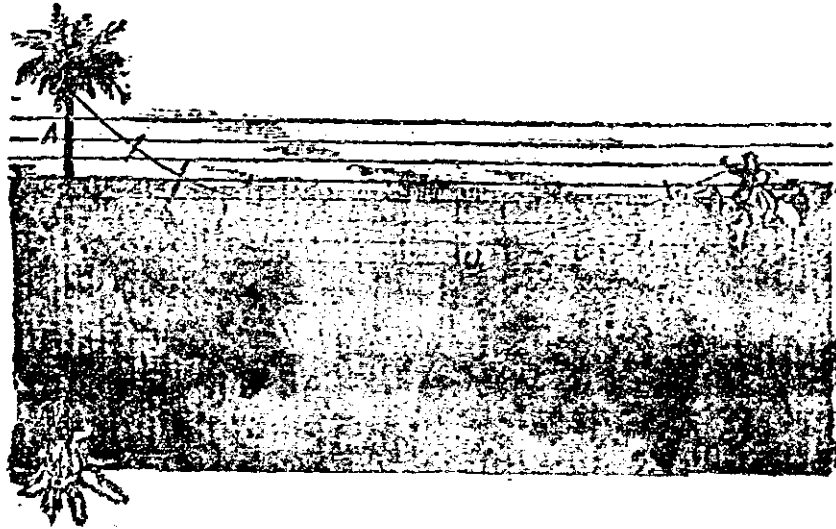


圖 147 蜃 景

地面的空氣溫度大增,密度銳減,上層的冷空氣的密度自然較大。樹頂向下發射的光線,由空氣的密處射入稀處,(好像光由水射入空氣中一樣)因而起全反射的作用,向上彎曲,投入人目。在人目看來,這樹頂的光線宛如從地平線下而來。在圖中,可以看見樹頂發射的光線,從路徑 A 入人眼中,而眼所見的,彷彿從 A'路而來。

### 撮 要

波前和光的進行方向相互垂直。平

行光線的波前爲平面,發散光線的波前爲凸面,會聚光線的波前爲凹面。

折射定律:

(1) 光線從疏介質斜行入密介質中,必向着法線而屈折;若反道而行,則離開垂線而屈折。

(2) 在一定的兩種介質,那就不問入射角的大小怎樣,相對折射率自有定值。

(3) 入射線、折射線和法線必在同一平面內。

$$\text{甲乙二介質的相對折射率} = \frac{\text{光在甲中的速度}}{\text{光在乙中的速度}}$$

光線由速度較小的介質行進速度較大的介質時,若入射角過大,則折射角必大於  $90^\circ$ ,因而在交界面仍行反射入原來的介質中。這現象叫做全反射。

### 習題

(1) 玻璃筒中,盛滿了水,眼在水面上直視筒底,見底似乎昇高些,這是什麼緣故?

(2) 光在空氣中的速度為300,000仟米/秒。求光在酒精中,冕牌玻璃中,以及金剛石中的速度。

(3) 光由空氣行進玻璃中,由玻璃行進水中,由水行進酒精中,應怎樣屈折?

(4) 要怎樣才可以產生全反射作用?

(5) 晚上有風吹動時,見天上的星球,在那裏動搖,是什麼緣故?

(6) 你要刺中河內的魚類,必須瞄準在魚身的下面,這是什麼緣故?

(7) 用目垂視池底,見水深約5米。實在的水深是幾米?

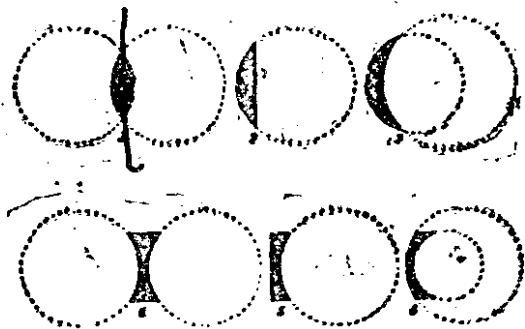
(8) 解釋蜃景的成因。

## 第九章 光學儀器

## XXX 透鏡

§ 166. 透鏡(lens) 透鏡由兩個面所形成的一種透明體,兩面中至少有一個是球面。

透鏡的種類雖多,可類別為二。其一中部較邊緣為厚,叫做會聚透鏡(Converging



lenses); 其一中部較邊緣為薄,叫做發散透鏡 (Diverging lenses)。

雙凸透鏡是一種最普通的會聚透鏡。雙凹透鏡是一種最普通的發散透鏡。

§ 167. 透鏡的焦點 雙凸透鏡由兩個一部分的球面所形成,連結兩球心的直線,

圖 148 各種透鏡

1-3為會聚透鏡 4-6為發散透鏡

叫做透鏡的主軸 (Principal axis); 透鏡的中點  $O$  稱為光心。光線經過光心, 彷彿經過一塊厚的玻璃, 故方向仍和原來的平行。

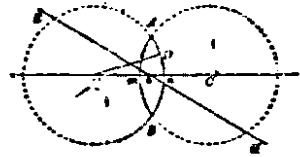


圖 149  
透鏡的主軸

設太陽光線依主軸的方向投射在雙凸透鏡的面上, 光線經過後能會聚在一點, 用紙條放在這點上, 就得到一個極其光亮的點, 不久紙條能被焦灼。

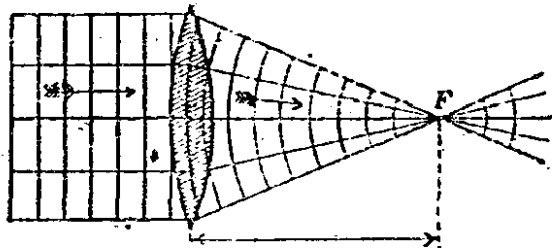


圖 150 實焦點



虛焦點

因為透鏡的中部較厚, 邊部較薄, 故平行光線依主軸的方向, 透過雙凸透鏡時, 中部所受到的延遲情形較大, 平行光線的平面波前就變成了凹面波前, 故光線會焦集在  $F$  點。這點叫做實焦點。由焦點到透鏡面的垂距叫做焦距。若平行光線依主軸方向經過凹透鏡, 平面波前反成凸面波



前;這種凸面波前好像由  $F$  點出發,稱  $F$  為虛焦點。

§ 168. 會聚透鏡的成像 在暗室中,置一燈于雙凸透鏡的左側,令燈離透鏡的距離大于二倍焦距。用一張白紙,

在透鏡右側的主軸上前後移動。

你就可以尋得在某處,有燈像現于

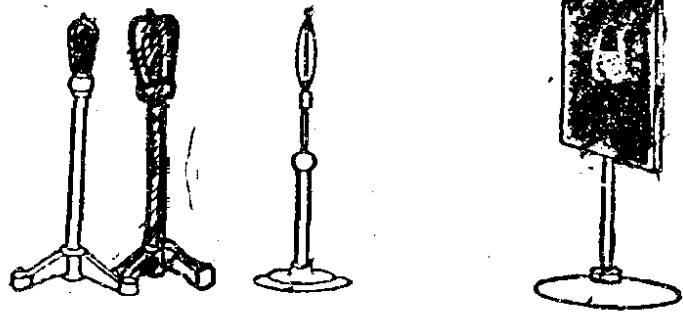


圖 151 透鏡的成像

其上。這像倒立,較原物為小,但是確由光線焦集而成,故能投在紙上,叫做實像。

再把燭火移近透鏡,見像離透鏡而後退,其形增大。到了燭火在焦點之上,像就後退到無窮遠處而消滅。把燭火再向透鏡移近,眼在透鏡他側,忽然見燭和像同在一側,這像正立較原物為大,但不能投射於紙上。



由試驗而知,物放在凸透鏡前,若物距透鏡較焦距為遠,則在透鏡的他側能得倒立

的實像。若物距透鏡較焦距為近,只能在物的同側得正立的虛像,且必較原物為大。  
其成像性質與凹鏡相類似。

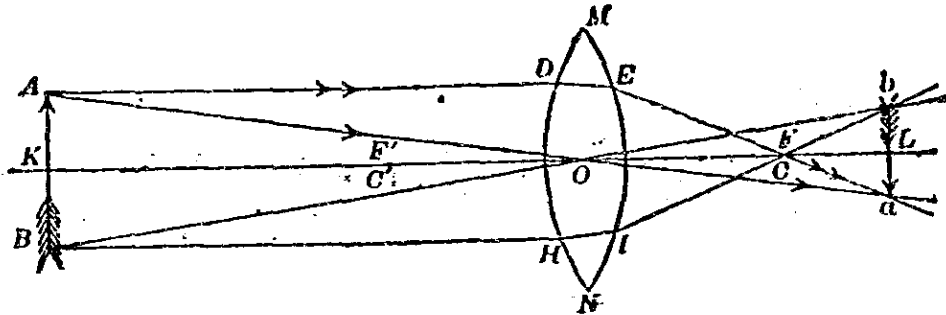


圖 152 會聚透鏡的成像

若已知透鏡的焦距及物離透鏡的遠近,則像的位置,大小和虛實,都能用作圖法求之。法由物體的 A 點引一光線 A a 經過 O 點,因 O 為光心,故光線必不改其方向;再由 A 點引一光線與主軸平行,穿過透鏡後,必經焦點 F。這 B a 和 A a 二線交于 a, a 即為 A 像所在點。同理 B 像在 b。

A B 的像在 a b。由圖並知

$$\frac{AB}{ab} = \frac{KO}{LO} \cdot \frac{\text{物的高度}}{\text{像的高度}} = \frac{\text{物離透鏡的距離}}{\text{像離透鏡的距離}}$$

§169. 發散透鏡的成像 在暗室中,置燭

火于雙凹透鏡的一側,用眼從他側看牠,見有正立的燭像,其形較實物爲小,其位置在物和透鏡的中間。但不能用紙條來尋其踪跡,故爲虛像。

這是因爲燭火所發生的凸面狀光波,經過透鏡時,外部延遲情形較內部爲大,凸面的波前經過其間之後,凸狀格外顯著。

光線不能會聚而起發散作用。如圖 153 所示。

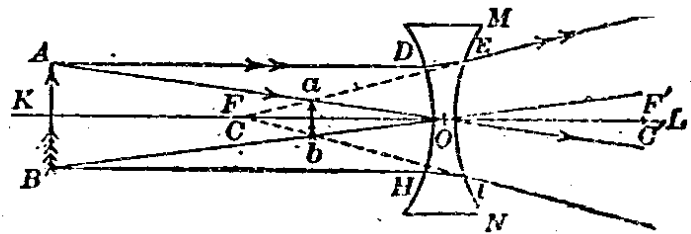


圖 153 發散透鏡的虛像

故發散透鏡只

能成正立的虛像,較原物爲小。其成像性質和凸鏡實相類似。

### 撮 要

平行光線經過透鏡而會集在一點,這點叫做焦點,焦點到透鏡的垂距叫做焦距。

物離會聚透鏡的距離較焦距爲遠的,能在他側成倒立的實像,像的性質和凹鏡的像相類似。

$$\frac{\text{物的大小}}{\text{像的大小}} = \frac{\text{物離透鏡的距離}}{\text{像離透鏡的距離}}$$

物置于發散透鏡的前面,只能在其同側生正立的虛像,較原物為小,其成像性質和凸鏡上相類似。

### 習 題

- (1) 怎樣可以測得透鏡的焦距?
- (2) 實焦點與虛焦點有什麼分別?
- (3) 怎樣可以從許多透鏡中檢出會聚靈視?
- (4) 用作圖法證明物置于發散透鏡的前面,只能得直立的虛像。
- (5) 用作圖法求證明物置于會聚透鏡的前面,若物離透鏡的距離小于焦距,只能得正立的虛像。必大于焦距方能得倒立的實像。
- (6) 由上題再行證明物離透鏡的距離大于焦距而小于兩倍焦距時所得的實像較原物為大;像離透鏡必較兩倍焦距為大。
- (7) 試比較會聚透鏡和凹鏡的成像原理。

(8) 試比較發散透鏡和凸鏡的成像原理。

### XXXI 光學儀器

§ 170. 照相機 在一隻小形暗室的前面開一小孔,孔上裝一會聚透鏡。把物體放在透鏡的前面,像就造成在透鏡後方的感光片上。透鏡上裝有快門,用以節制光線透進暗匣的時間。室的側壁用軟質的黑布製成,使透鏡和其感光片間的距離得隨意改變而使物像恰好投在感光片上。感光片上塗有銀質的化合物,像投其上,因其各部分的光強不等,化合物所起化學

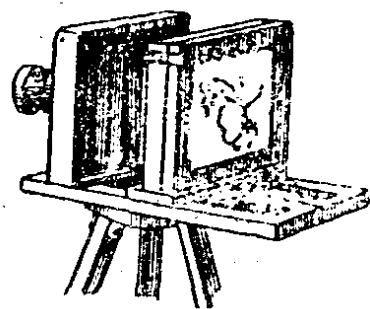


圖 154 照相機

作用也異。把感光後的片浸入顯像液中,受光化作用的銀質化合物被還原為黑色的銀質沉澱,留在片上,未受光的銀化合物不變。再入定像液中,未受光的銀化合物熔在液中,片上祇留黑色的銀質,像形就此

固定了。這種片子就是像的底片。把底片覆在塗有銀質化合物的紙上,暴露光中,再把這感光的紙片經顯像及定像的手續,乃得普通的照片。

§ 171. 眼 眼的構造實在就是一隻小型照相器。

備有小形暗室透鏡和感光片等。圖 155 乃眼球的垂直剖面。球外包一層

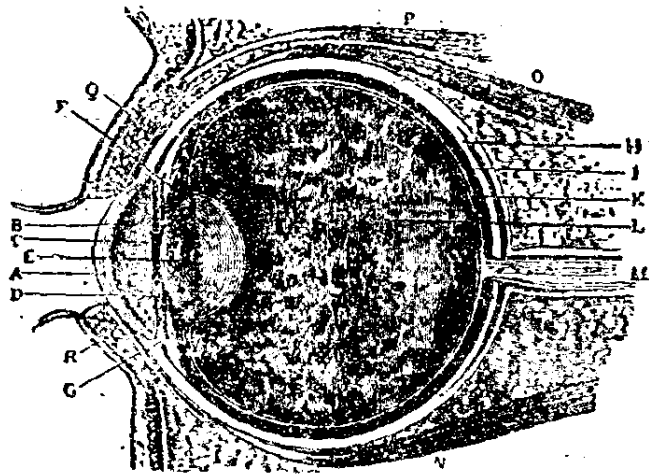


圖 155 眼的構造

不透明的鞏膜。但是眼球前面 A 處的膜質是透明的,叫做角膜。角膜後有顏色彩簾 D,用以節制瞳孔的大小,彩簾之後為透明質的晶體 E。這晶體把眼球隔分成前後二房,前房中的液體叫做前房水。後房中的液體叫做玻璃狀液。後房的內壁上

滿佈視覺神經 M, 叫做網膜。

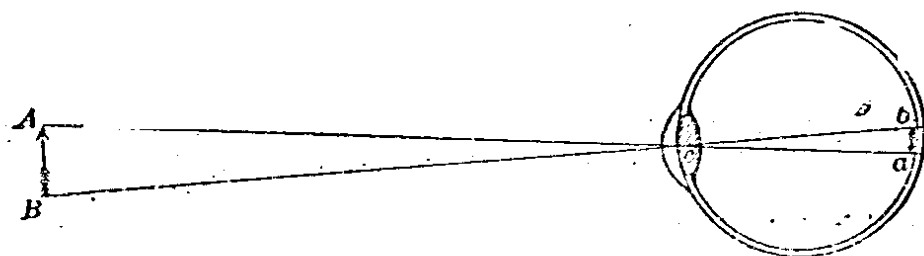


圖 156 物體投倒像在網膜上

物體所發的光線,由瞳孔入眼球,成倒立的實像于網膜上。晶體到網膜的距離有定值,要使遠物或近物發射的光線都能夠投像在網膜之上,則須利用 F, G 處的肌內緊張力,以改變晶體前面的曲率,藉以改變透鏡的焦距。這種作用叫做眼的調節 (Accommodation)。

§ 172. 近視及遠視 常人的眼睛,當隨意觀望的時候,平行光線入瞳孔後必能焦集在網膜上,如眼球過凸前

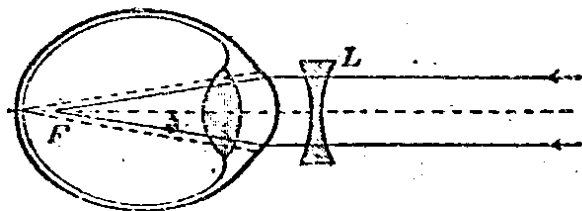


圖 157 近視很宜戴離散透鏡

後相距過遠,平行光線只能焦集在網膜的

前面,這種眼球,適于視察近物,故稱近視眼,要補救此弊,須在眼前置一發散透鏡,使眼球的會聚功效稍減,焦距增長,則遠物射來的光線方能成像在網膜的上面。

如眼球前後相距過近。當隨意觀望的時候,平行光線入瞳孔而焦集在網膜的後面。若物體離目愈近,則成像的地位格外在網膜的後面了,所以這

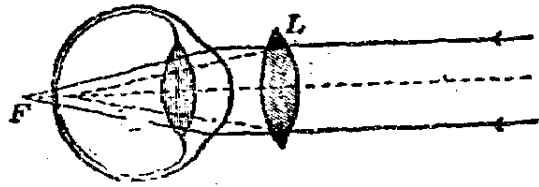


圖 158 遠視眼宜戴斂聚透鏡

種眼睛,不適于觀察近物,叫做遠視眼。倘使在眼球前面放一凸透鏡,使眼球會聚的功效增大,焦距縮短,則近物射來的光線彷彿從遠處來的,看物就能明瞭。

§ 173. 視角的大小 物體投像于網膜上,其外觀的大小,全靠像的大小而定。換句話說,全靠視角 (Visual angle)  $p e q$  的大小而定。同一物體,離眼 10 米較 100 米的像



要大十倍。所以用眼判別物體的大小,首先要知道該物的遠近纔可靠。月球遠小於日球,然肉眼看來,其大小是約略相等的。陸

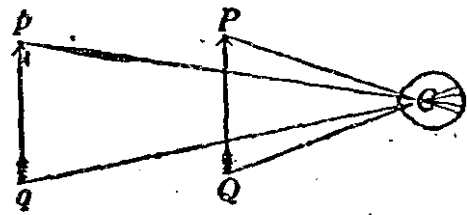


圖 159 視角

地的居民憑藉平日的經驗,很能判斷地上各物的遠近,但是決沒有本領來判別海洋面上的遠近。

§ 174. 明視距離 物體離眼較近,網膜上的物像較大,所以能明察無遺。但是物體離眼過近,雖有眼的調節作用,也難使物像投於網膜之上,便極難明察。通常稱眼的明視距離為25厘米者,乃物體離眼25厘米看來最為清楚的意義。

§ 175. 凸透鏡的  
擴大倍數 由前節  
而知用肉眼觀察25  
厘米遠處的物體最

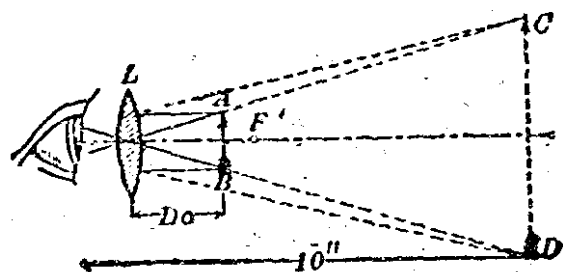


圖 160 放大率

爲清楚。若把物體置於凸透鏡之下，而物離透鏡雖小於焦距，用眼接近透鏡的他側來觀察，就能清清楚楚看見物體的虛像彷彿在明視距離25厘米處。這時候像與物的大小比例約等於 $25/D_0$ 。 $D_0$ 爲物離透鏡的距離，約等於焦距。

例 用凸透鏡來觀察小蟲，蟲離透鏡1厘米處，最爲清楚，求透鏡的放大率。

$$\text{解 放大率} = \frac{\text{像的大小}}{\text{物的大小}} = \frac{\text{像的距離}}{\text{物的距離}} = \frac{25}{1} = 25\text{倍。}$$

§ 176. 複顯微鏡 極微細的物體，用顯

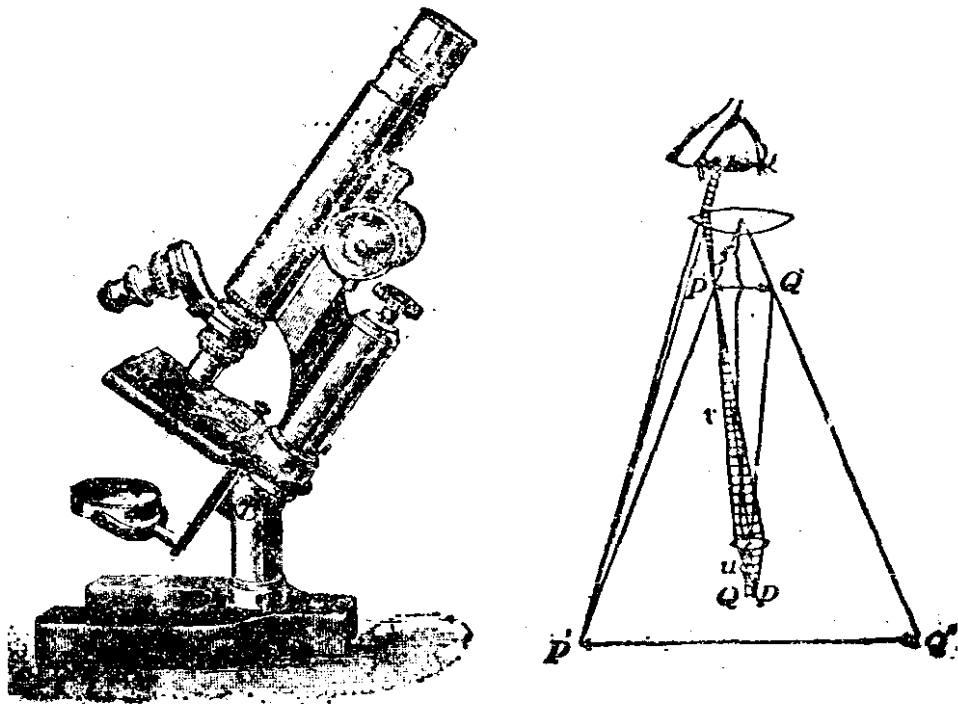


圖 161 複顯微鏡

微鏡去看,可擴大到數百倍,或數千倍。顯微鏡有一筒,其下端裝一焦距極短的凸透鏡,叫做物鏡,物放在這透鏡的下面,能成實像于筒的上端。再用一凸透鏡(叫目鏡)觀察這實像,使牠格外放大。顯微鏡放大率是等于物鏡和目鏡放大率的乘積。

§ 177. 天文望遠鏡 天文望遠鏡也由

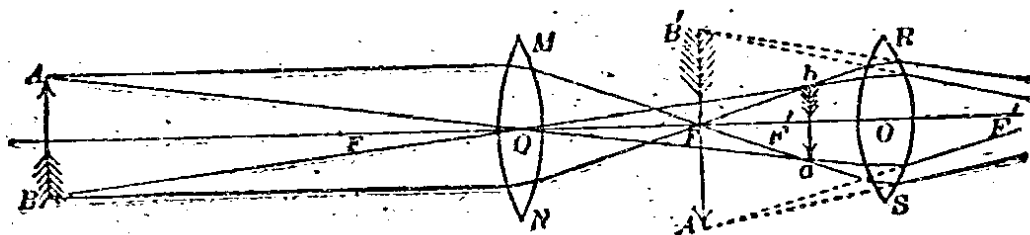


圖 162 望遠鏡

二片凸透鏡裝于筒的兩端製成的;與複顯微鏡相類似。不過望遠鏡的物鏡,其面甚大,焦距較長,收聚光線較多,使遠物成清楚的實像在焦平面上,再用目鏡來放大這實像。望遠鏡的放大率約略等于物鏡焦距和目鏡焦距的比。

撮 要

眼的明視距離為25厘米。

凸透鏡的放大率 =  $\frac{25 \text{ 厘米}}{D_o \text{ 厘米}}$  (  $D_o$  為物  
離透鏡的距離約等于透鏡焦距 )

### 習 題

- (1) 為甚麼近視眼須戴發散透鏡,遠視眼須戴會聚透鏡。
- (2) 試將眼與照相機相互比較。
- (3) 貓的瞳孔,晝小而晚大,這是甚麼緣故?
- (4) 網膜上的像,應當是倒立的,還是正立的?
- (5) 凸透鏡的焦距為2厘米,求最大的放大率。
- (6) 複顯微鏡和望遠鏡的組成有甚麼不同?

## XXXII 顏色

§ 178. 太陽光的  
分析 利用平面鏡  
的反射作用使室外  
的日光由線隙導入  
暗室中。這柱帶狀  
的光線,經過玻璃三

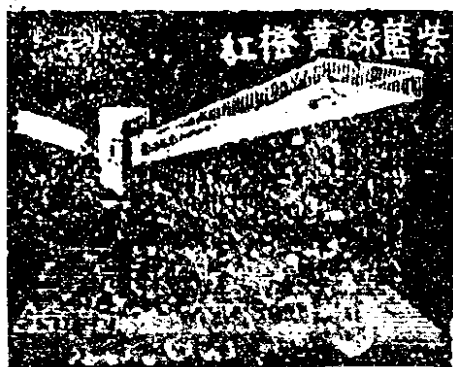


圖 163 太陽由紅橙黃綠藍紫諸色合成

稜鏡,受折射作用,分散成紅、橙、黃、綠、藍、紫諸色而投于幕上(如圖163)。

如在三稜鏡和幕間放一凸透鏡(如圖164),使分散的光線經過透鏡,集成一點而投于幕上,就可以重新得到白色的光。

由實驗而知,白色的日光,可分散成紅、橙、黃、綠、青、藍、紫諸色的光。這七色的光可混合成白光。因為紅色光線經過稜鏡所起的折射最小,紫色最大。故太陽光的白光經過稜鏡,就分散成光譜。

一般學者考得光色的不同是由于波長的不等,紅色的光波最長,橙、黃諸色次之,紫色的光波最短。太陽所發生的以太波動,不僅限于人眼所見的紅、橙、黃、

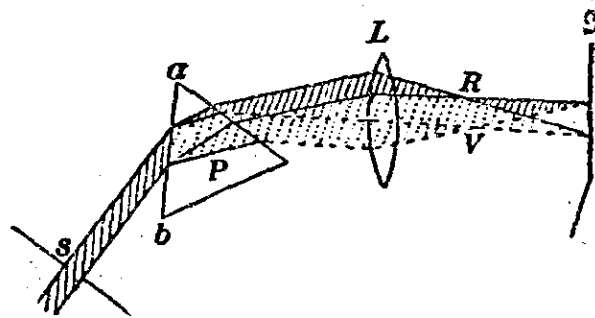


圖 164 諸色的光線併合成白色的光

綠、青、藍、紫諸色的光波,此外還有較紫色的

波長更短的以太波動,稱為紫外線(Ultraviolet ray)。照于照相片上的銀質化合物,能起化學效應。太陽還能發生一種以太波動,其波長較紅色光波更長,叫做紅外線(Infra red ray)。雖難被人的眼睛看見,但是能生熱效。人的眼睛所能見的以太波動,必具三種本性:(1)激動視覺而生色。(2)對於照相片生化學效應。(3)能生熱效。

一般學者又考得無線電波也是以太波動的一種,牠的波長可達數米或數十數百數千米等。

#### 人的眼睛所能見的以太波長

色	波長(厘米)
紅	•000071
橙	•000062
黃	•000057
綠	•000052
藍	•000047
紫	•000041

§ 179. 虹霓的成因 虹和霓是自然界中太陽光所分散成的光譜(spectrum)。其成因可于下列的試驗明之。 AB 是一張白紙板,中開一小孔。太陽光線由小孔射入暗室中。取直徑約 4 厘米的圓玻璃球,內盛清水。球置于光線進行的路上,見白板上現出圓形的色系,內紫外紅,宛如天空中所見的虹。

當天空中有雨點的時候,太陽光線  $S''$  射入雨點 r 的上部,遇着雨點的他側,便起全反射作用,再由雨點的下部射出,把白色光線,分散成光譜。假定取同一雨點,當人背日而立,

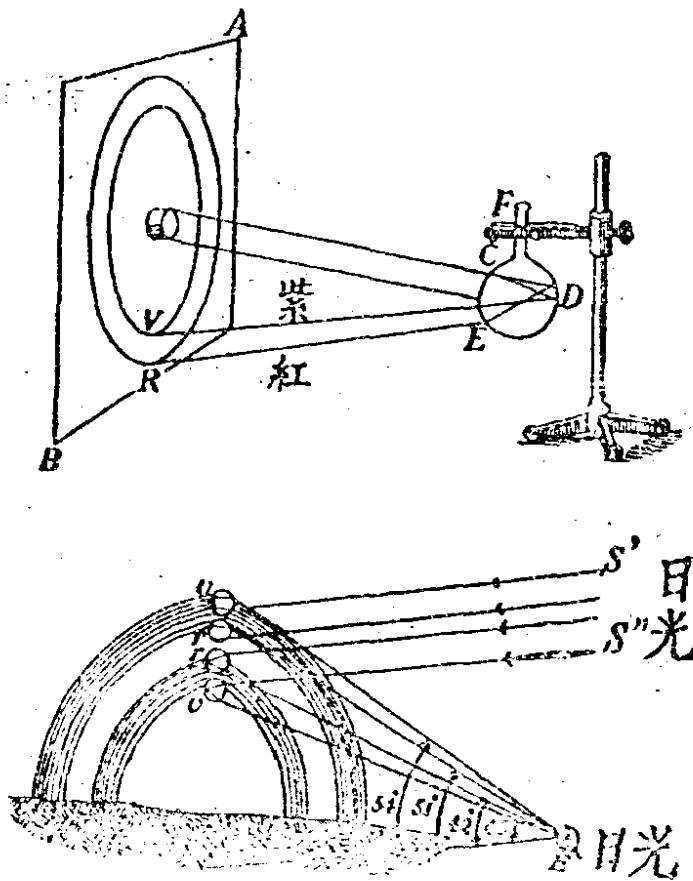


圖 165 虹霓的成因

位置適當時,恰好能看見這光譜中的紅色光線,則決不能同時看見這光譜中的其他各色光線,因為紅色光線向上屈折最小,故其餘諸色必在頭頂上經過。假使雨點的位置在  $v$ , 較下于  $r$ , 則紫色光線也能折射而入人眼。  $R$  和  $V$  中間的雨點能分別把色譜中的別部光線射入人眼,因而形成內紫外紅的虹。

光線  $S'$  射入雨點  $V$  的下部,進了雨點,經過兩次全反射作用,再由水滴的上部透入空氣中,紫色光線向下屈折最大,紅色最小,故紫色光線自  $v$  射入人眼,紅色光線自  $r$  射入人眼,這時所成的是內紅外紫,叫做霓。

§ 180. 物體的顏色 用紅色紗布,放在太陽光譜的紅色部分,則現紅色,放在藍色部分,則現黑色。同理,一塊藍色紗布,放在光譜的藍色部分,仍現藍色,放在紅色部分,則現黑色。白色的紗布,放在光譜的



紅色部分則呈紅,藍色部分則呈藍色。

由上試驗,知紅色物體,放在日光中,只能反射紅色的光線而吸收其他各色的光線,故呈紅色。藍色物體,能反射藍色光線而吸收其他各色的光線,故呈藍色。白紙放在日光中,能反射各色光線,併合而生白色。故物體的顏色,是靠牠能反射何種光線而定。

在 § 178 試驗中,用紅色玻璃放在光線所經過的路上,則光譜中祇有紅色部存在,其餘各色光線都被吸收。用綠色玻璃試之,則光譜中只有綠色部分十分顯明,其餘各色光線都被吸收。

由試驗而知,透明物體的顏色全靠能夠透過的光線來決定牠。紅色玻璃允許紅色光線透過,把其餘各色光線吸收,故呈紅色。

§ 181. **互補色** 白色光可用稜鏡分析成紅、橙、黃、綠、青、藍、紫

諸色併合而成。在 § 178 的試驗中,把光譜的紅色部分遮去,將剩留下來的諸色

混合起來,則得藍色的光。把紫色的部分遮去,將剩留下來的諸色混合,則得黃綠色的光。所以白色光中,除去紅色,則成藍色。除去紫色,則成黃綠色。

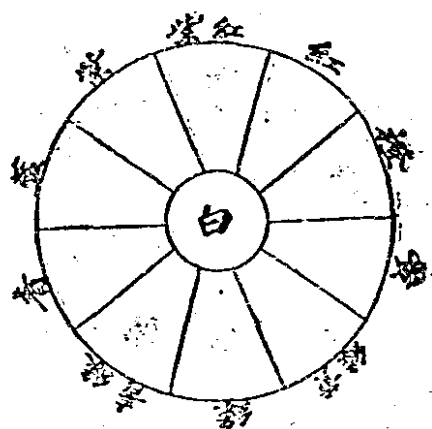


圖 166 互補色

凡二色混合成白色的,這二色當為互補色 (Complementary color)。圖 166 中相對向的二色混合則得白色。

§ 182. 顏料的混合 先用黃色粉筆在黑板畫一帶狀條紋;再用藍色粉筆塗罩其上,則見帶現綠色。

黃色粉筆能反射黃綠二色,而吸收其餘諸色的光線。藍色粉筆能反射藍綠二色,而吸收其餘諸色的光線,這二種顏料混合在一起,能共同反射綠色而吸收其餘諸色的光線,故現出綠色。幾種顏料混合後

所得顏色,乃是顏料共同所不能吸收的光色。但是藍光與黃光相混合,則成白光。所以各色的光相混合,和各色的顏料相混合時所得的結果絕然不同。

### 撮 要

光色的不同,是由于波長的不等,紅色光波最長,紫色最短。

白光由紅、橙、黃、綠、青、紫諸色合成。

不透明物體的顏色,是靠他能反射何種光波而定。

透明物體的顏色,是靠他能透過何種光波而定。

凡兩種不同色的光線混合而得白色光的,這二色光線爲互補色。

顏料混合後所得的顏色,乃是各顏料共同所不能吸收的光色。

### 習 題

- (1) 光色的不同,起于何種物理性的差異?

(2) 各種光線經過稜鏡所起的折射程度不同，試說明紅色光較紫色光在玻璃中的進行速度，誰大誰小？

(3) 虹和霓在外觀及成因上各有甚麼區別？

(4) “白”與“黑”的意義是什麼？為什麼白紙色白，炭條色黑？

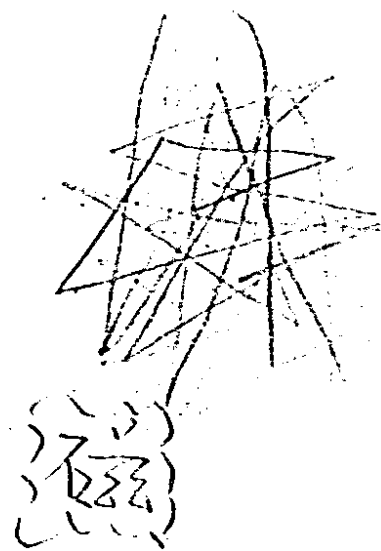
(5) 白紙在紅光下視之應為何色？

(6) 紫紙在紅光下視之應為何色？

(7) 紅色物體在紅光下或青色下視之應得何色？

29

## 第十章 磁



### XXXIII 磁性

§ 183. **天然磁鐵** 有一種氧化鐵，具吸鐵的性質。這種吸鐵性質叫做磁性，這種礦石叫做天然磁鐵。取天然磁鐵一塊沒入鐵屑內，會看見鐵屑黏附其上。



圖 167 天然磁鐵

凡磁鐵的兩端和銳角處黏集的鐵屑最多而成簇形，如圖 167 所示。

§ 184. **人造磁鐵** 用天然磁鐵的一端去摩擦大號的縫針。摩擦的方向由針眼到針尖。縫針受擦之後，沒入鐵屑中，則見針的兩端有鐵屑黏附其上而成簇形。這種縫針已受磁化而現出吸引鐵屑的本領，

稱爲人造磁鐵。

通用的人造磁鐵乃是磁化的鋼條,其形有條狀及蹄狀兩種,如圖(168)所示。

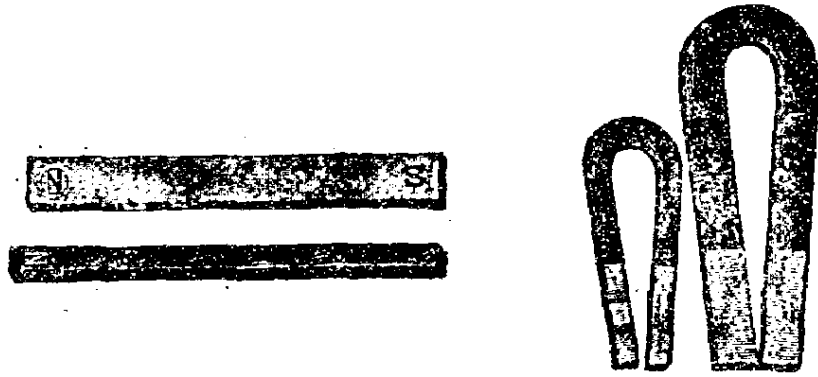


圖 168 條形磁鐵

蹄形磁鐵

§185. 磁極 把條形磁鐵沒入鐵屑後,取出來看,見鐵屑大都只能黏附在條的兩端。如圖169所示。

由試驗而知,條形磁鐵的吸鐵性集中在兩端。磁性集中的場所,叫做磁極 (Magnetic pole)。條



圖 169 磁 極

形磁鐵有兩極連結,這兩極的直線爲磁軸線 (Magnetic axis)。

§ 186. **指南極及指北極** 把一隻磁化縫針或網絲攔置在浮于水面的軟木塞上,見針停留時一端指南,他端指北。加以擾動,然後再令停下,見針的指南一端仍指南,指北一端仍指北。

磁鐵的指南的一端,稱爲指南極(簡稱S極)。

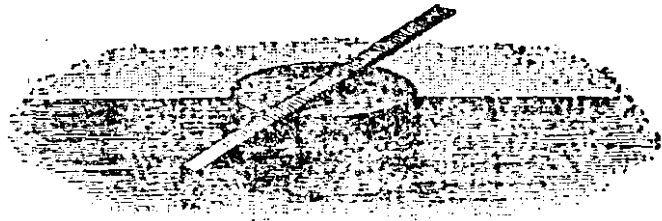


圖 170 指南極和指北極

的一端,稱爲指北極(簡稱N極)。

§ 187. **磁性的引拒定律** 用條形磁鐵的N極去摩擦縫針者凡數次。擦的方向,每次均由針眼至針尖。把這隻磁化的針放在浮于水面的軟木塞上,則見針眼指北,針尖指南。這明示針眼上有N極,針尖上有S極,用條形磁鐵的N極去接近縫針的指北極則相互推;用條形磁鐵的N極去接近磁針的指南極則互相吸引。

由試驗而知磁極相似的相拒,相異的相引。

§ 188. 磁的本性 把一隻磁化的縫針燒到紅熱,就可以完全失去牠的吸鐵的磁性。

把一隻磁化的縫針在桌上猛擲數下,則磁性大減。

磁化的鋼絲,其吸鐵性集于兩端,中部絕少。把鋼絲的中部割斷,則斷處也有吸鐵性。再行切斷,斷處仍顯磁極。

倘使先用磁針試得鋼絲的右端是 N 極,左端是 S 極。割斷之後,右部的斷處生 S 極,左部的斷處生 N 極。簡單地說,割斷後的每一部分變成了獨立的磁鐵。把磁化的鋼絲無窮分割,則每一小部分都是一個獨立的磁鐵。

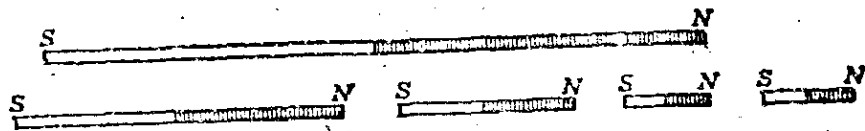
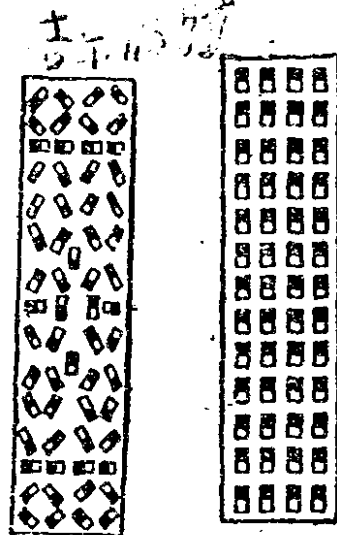


圖 171 磁化的鋼絲分割成許多獨立磁鐵

§ 189. 磁的分子學說 磁化的鋼絲無窮分割,最後所得的,乃組成物質的分子。



照上節所得的事實推之，這分子也必為一獨立的磁鐵。鋼鐵在未受磁化以前為什麼不顯磁性？一般學者都認為鋼鐵在未受磁化以前，磁性的分子，錯亂無序，如圖 172 所示。倘使用磁鐵的某極去擦鋼鐵，把這許多分子般的磁鐵，排成整齊的行列，磁性方能顯出，因而一端生指北極，他端生指南極，如圖 172 所示。



未受磁化 已經磁化  
圖 172

§ 190. 磁性的保護 注意下列的幾條規則，可以保持磁鐵的磁性，不致消失。



銜 鐵

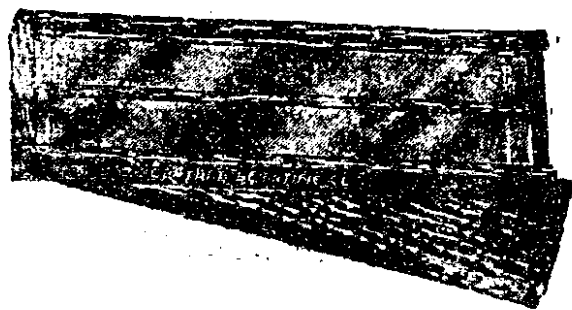
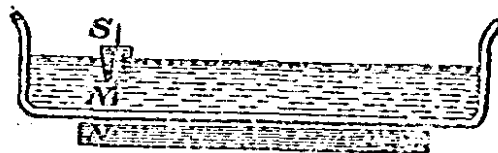


圖 173 磁鐵的安放法

- (1) 蹄形磁鐵上必加銜鐵(圖 173)
- (2) 條形磁鐵必須成對安放將異極並置,上加銜鐵。(圖 173)
- (3) 單根條形磁鐵安放時,切勿將 N 極向南。
- (4) 切勿將磁鐵亂擲。
- (5) 切勿令磁鐵受着高溫。

§ 191. 磁力線 把一只磁化的長鋼針插入木塞中,使 N 極向下, S 極向上而浮于水中。缸底的下面放一條形磁鐵,見針與木塞依曲綫路徑由磁鐵的 N 極行至 S 極,如圖



(174) 所示。這是因為針的 N 極離磁鐵極近, S

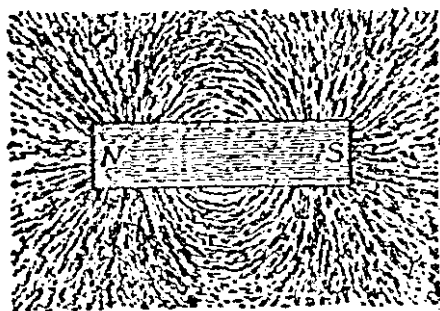
圖 174 磁力線

極離磁鐵較遠,故針在水中的移動作用,可說完全是由于針的 N 極和磁鐵的兩極的相拒相引作用而產生。也可以看作獨立的 N 極和磁鐵的兩極所生的相拒相引作用。

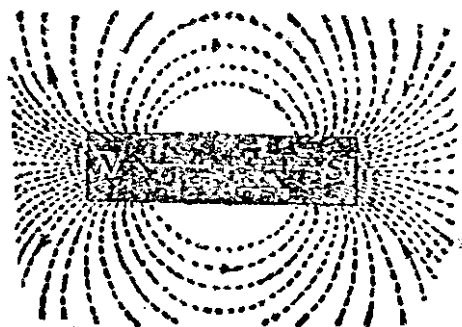
一個獨立的 N 極,放在磁鐵的近旁時

所行的路徑，稱爲磁力線。

§ 192. 磁場 條形磁鐵的上面覆一玻璃片，(30 × 30 厘米) 片上勻篩鐵屑。用指輕擊玻璃，見鐵屑分佈成下列的圖。



磁石附近之鐵屑排列狀況



棒磁石之磁場理想圖

圖 175 磁 場

由圖而知鐵屑排列成曲線，這類曲線即表示上節所述的磁力線，其方向由 N 端出發，至 S 端沒入。凡磁力線所及的場所，稱爲磁場。

§ 193. 羅盤 (俗稱指南針) 把一隻磁針支立于一尖針上，使在水平面內迴轉，當停下來的時候，針的一端必定指南，他端指北。故利用磁針可以辨別方向。昔黃

帝征伐蚩尤,作指南針,乃是世界上利用磁針來辨別方向的第一人。

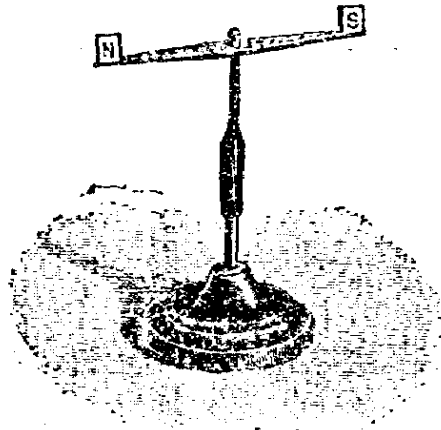


圖 176 磁 針

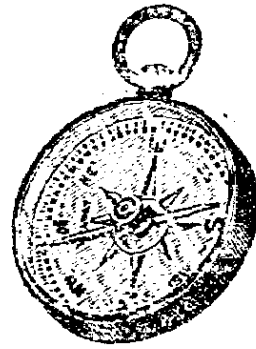


圖 177 羅 盤

§ 194. 地磁 支立的磁針,爲什麼一端指南他端指北呢? 這是因爲地球是一大磁石。地球的北極處具有磁的指南極,所以和針的指北極相引,指南極相拒;

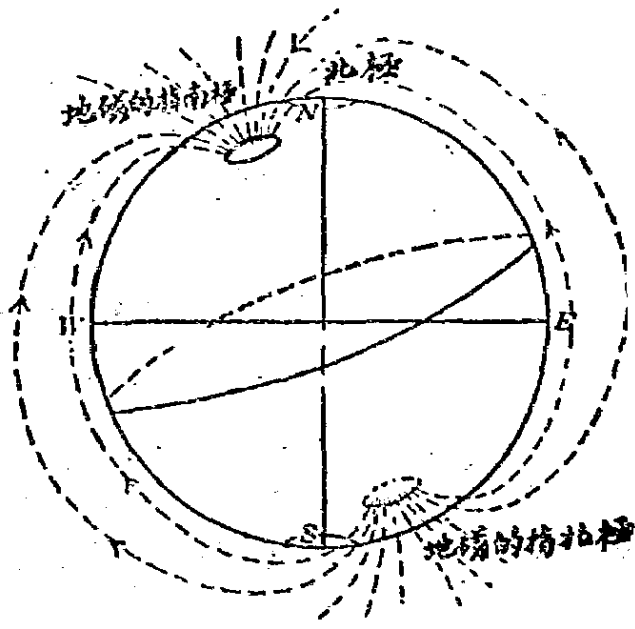


圖 178 地 磁

地球的南極處具有磁的指北極,所以和針

的指北極相拒,指南極相引。結果磁針停留的方向約略和子午綫相平行。因為地磁的兩極並非恰在地球的兩極地方,所以磁針所指的南北方向並非和地球的子午綫絕對的平行。

### 撮 要

磁性集中的場所稱為磁極。磁鐵有兩極,一有指南性,一有指北性。

磁的似極相拒,異極相引。

鋼鐵的分子原為獨立的小磁鐵。在未受磁化之前,分子的排列錯亂,故磁性不顯。受過磁化之後,分子的行列整齊,磁性便現于兩端。

獨立的 N 極在磁鐵的近旁時所行動的路徑稱為磁力線。磁力線所及的場所稱為磁場。

地球是一大磁石,牠的北極具有磁的指南極,南極具有磁的指北極。

## 習 題

- (1) 天然磁鐵和人造磁鐵有什麼分別?
- (2) 何謂磁極,怎樣試驗磁極的存在?
- (3) 磁針爲何一端指南,他端指北?
- (4) 何謂磁力綫、磁場。用什麼方法來顯示?
- (5) 保護磁鐵時應注意的幾點是什麼?
- (6) 用怎樣的方法可以知道鋼絲是否磁化?
- (7) 怎樣可以試出磁鐵的N極和S極。
- (8) 有兩根條形磁鐵尙未注明何極指南,何極指北。用怎樣的方法可以檢出磁鐵的N極。怎樣可以試出這兩根磁鐵誰強誰弱。
- (9) (a) 某物能和磁針相吸引,可以證明某物有磁性麼?  
(b) 某物能和磁針相推拒,可以證明某物有磁性麼?

## 第十一章 靜電

### XXXIV 起電作用

§ 195. 摩擦起電 取一根乾燥的玻璃棒和  
一塊乾燥的絲布摩擦,把這根棒去接近紙屑,見紙屑  
初被吸着,後被推拒。

另取一根橡膠棒和貓皮摩擦,這根棒也能吸引  
紙屑。

由試驗而知玻璃棒受絲布的摩擦,和  
硬橡膠棒受貓皮  
的摩擦,就產生了一種吸引紙屑的  
新本領,稱這類  
棒上帶有電荷。  
這種使棒上帶電

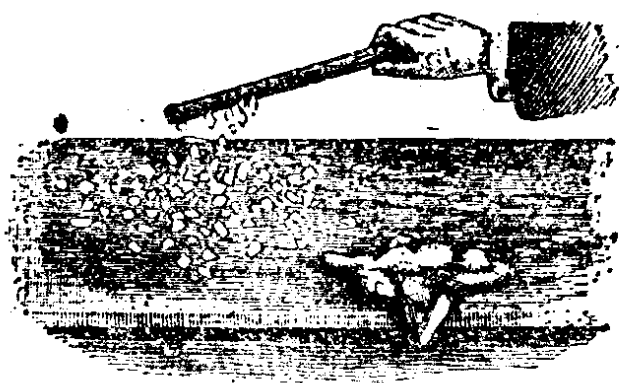


圖 179 摩擦起電

的方法稱爲摩擦起電 (Electrification by friction)

§ 196. 電有二種 用絲布擦玻璃棒,使帶電。然後如圖(180)懸起。把另一根玻璃棒,與絲布摩擦後去接近這根懸起的玻璃棒,結果則互相推拒。把一根硬橡膠棒與貓皮摩擦後去接近這根懸起的玻璃棒,結果則相互吸引。

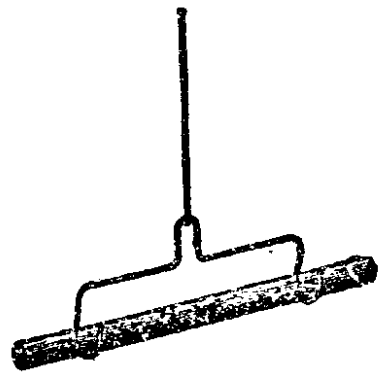


圖180. 似電相拒  
異電相引

再把一根帶電的硬橡膠棒懸起。用第二根帶電的橡膠棒接近牠,則相拒。用一根帶電的玻璃棒接近牠,則相引。

由試驗而知玻璃棒受絲布的摩擦,其所帶的電與橡膠棒受貓皮摩擦後所帶的顯然不同。玻璃棒上所帶的電叫做正電。 橡膠棒上所帶的電叫做負電。 凡似電相拒;異電相引。

§ 197. 正電和負電必同時產生 帶正電



的玻璃棒和懸在絲線上的木髓球相觸，則棒和球相拒。這是證明棒上的正電，有部分因接觸而傳給木髓球。把剛纜和玻璃棒摩擦後的絲布去接近，能和這帶有正電的木髓球相引。

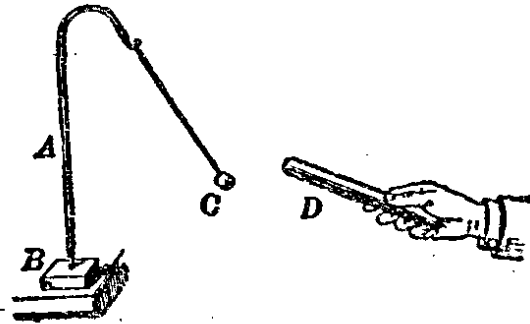


圖 181 正電和負電必同時產生

用同樣方法使木髓球觸帶電的橡膠棒，則相拒。再取剛纜用過的貓皮去接近這球，則相引。

由試驗而知，玻璃棒與絲布摩擦，棒上起正電，布上起負電。橡膠棒和貓皮摩擦，棒上起負電，皮上起正電。故摩擦起電時，正負二電必同時產生。

§ 198. 導電體

和絕緣體圖 182 的左部是一只驗電器，器有金屬桿  $r$  插入橡膠塞子或火漆塞

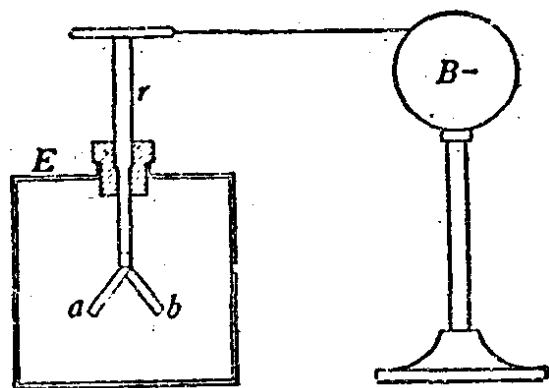


圖 182 良導體和絕緣體

子中,桿的下端有二金葉 a b。倘使器的 r 桿和帶電體相觸,電就傳到二金葉上。二葉上既有相似的電荷,故相拒而展開。二葉的展開程度,可以表示葉上電量的多寡。

金屬球 B,裝在玻璃柱上。球與驗電器的金屬桿用銅絲來連結。用帶有負電的橡膠棒和 B 球相接摩,則棒上的負電傳給 B,見驗電器的金葉展開。

用絲線來替代銅絲,如法試之,見金葉並不展開。

由試驗而知, B 上的電,賴銅絲而傳至金葉,但不能賴絲線由 B 傳到 a b。故稱銅絲爲導體 Conductor,絲線爲非導體(Non conductor)或絕緣體。具有導電性的物體,不僅是銅質,其他金屬以及鹽液、酸液等都能導電。具有絕緣性的,不僅是絲質,他如玻璃、乾木、瓷質、橡膠、火漆、硫磺等都是的。

§ 199. 電的感應作用 帶有負電的橡膠棒接近驗電器。棒和器並未相觸,但見器的金葉展開;將棒撤去,金葉仍下合。

由試驗而知，帶電體置于導電體的近旁，能使導體受其影響而帶電，稱為感應起電 (Electrification by induction)。把帶電體撤去，導體上的電也就消失。故這種起

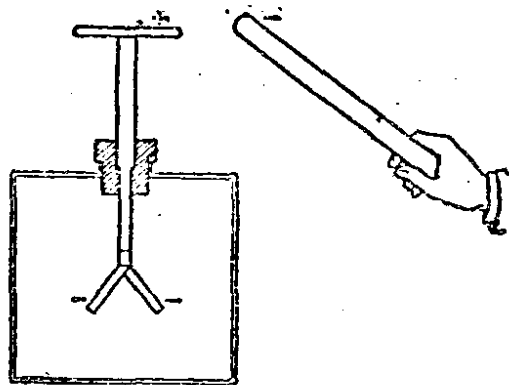


圖 183 電的感應作用

電法只限于帶電體的存在時纔有，帶電體的電稱為感電 (inducing charge)。導體受感而起的電稱為應電 (Induced charge)

### § 200. 用驗電器試驗電的為正為負

先使驗電器帶有正電，則金葉展開。如用帶有正電的玻璃棒去接近這器的金屬桿，便見金葉展開的程度增大。如用帶有負電的橡膠棒去接近牠，便見金葉展開的程度減小。

§ 201. 使驗電器上感應起電 要使驗電器上受感而起負電，法將帶有正電的玻璃

玻璃棒接近這器的金屬桿，則桿端起負電，葉上起正電，就見金葉展開。在棒未撤去之前，用手指去觸器的金屬桿，則葉上的正電，被棒上的正電推拒由人體他逸，故見金葉下合；但桿端的負電和棒上的正電相吸引，則受束縛，並不他逸。再撤去手指，見金葉仍下合。末了撤去帶電桿，這束縛的負電驟然解放而分佈在金葉上，立見金葉重行展開，故此時葉上帶有負號電荷。

如用帶有負電的橡膠棒來替代玻璃棒，能使金葉受感而起正電。

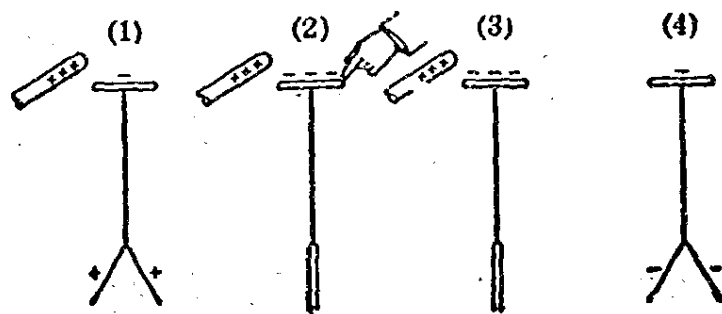


圖 184 使驗電器上感應起電

§ 202. 電子學說 各種物質的原子 (Atoms) 都由正負兩種電所組成。帶有負

電的質點極其微細,叫做電子,其質量等于氫原子質量的 $\frac{1}{1845}$ 。原子以帶有正電的質點爲核,許多電子圍集在牠的周圍。這許多電子所帶的負電總量適等于核中質點的陽電總量。所以普通的原子,毫不顯出帶電現象。導體中每有許多自由電子,可從這個原子跑進那個原子。原子失去了幾個電子就帶有正電。原子得到了幾個電子就帶有負電。當導體放在帶有負電體的近旁,導體中的自由電子被推拒到最遠端爲止,故遠端起負電,近端起正電。設感電爲正,則與導體中的自由電子相吸引,使牠們密集于近端,故近端起負電,遠端起正電。把帶電體撤去,導體又恢復其中和的正常狀態。

### 撮 要

似電相拒,異電相引。

二物相摩擦,一起正電則他起負電。

導體能感應起電,近感電的一端所起的應電與感電相異,並受束縛。遠端所起的應電與感電相似而自由。

物體在正常狀態時,所含的正電量和負電量相等。物體失去應有的電子,就帶正電。得到過量的電子,就帶負電。

### 習 題

(1) 用金屬棒和絲摩擦後試之,見棒上並不帶電。如裝一絕緣柄,手執此柄,將棒和絲摩擦後試之則見棒上也帶電,這是甚麼緣故?

(2) 爲何摩擦起電現象,在冬日乾燥時試之則格外明顯。

(3) 怎樣可以證明電有兩種。

(4) 使驗電器感應起電時,必先移開手指,末後移去帶電體。爲何?

(5) 使驗電器感應起電時,應電與感電是相似的還是相異的?

(6) 感應起電後感電的量是否減少?

(7) 用帶電的橡膠棒去接近懸起的木髓球。

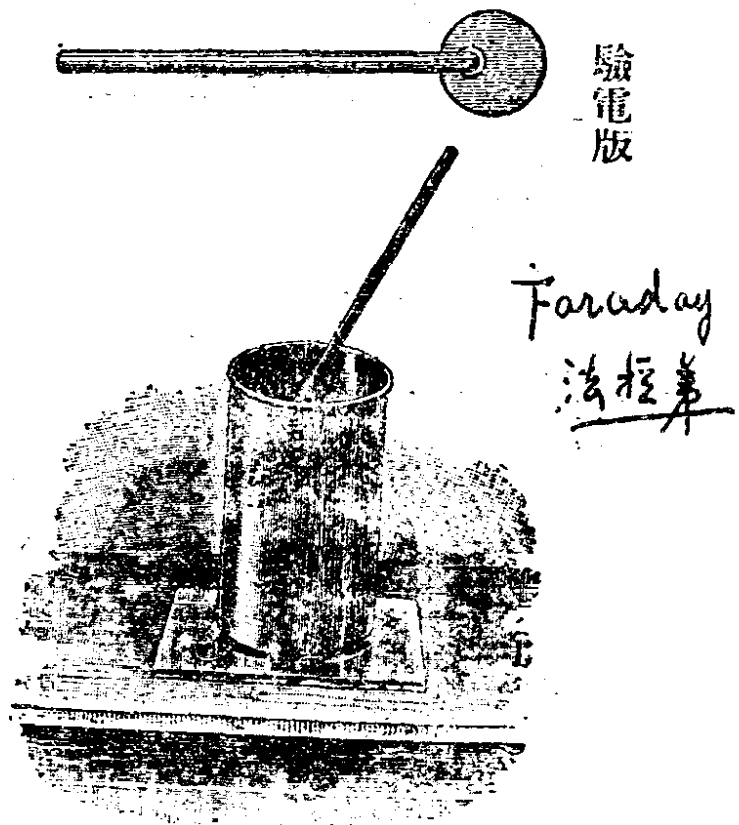
爲何初時相吸,吸着後相拒?

(8) 利用電子學說來說明感應作用。

### XXXV 電的分佈

#### § 203. 電在導體的分佈情形

把一枚銅元黏着在玻璃棒的一端,這就成了驗電片。手執玻璃棒,使銅元和帶電體相觸,就有少量電荷可傳給銅元。再將這帶電的銅元和驗電器的金屬桿相觸,就有電荷由銅元傳到金葉,葉就分開。金葉展開的程度,每和電荷的多寡成比例。



設有一銅杯,安放在橡膠板上。使杯和帶負電的橡膠

圖185 電荷只能分佈在外面

棒相接摩,杯上就帶有負電。今用驗電版觸在杯內,

而後與驗電器的金屬桿相觸，見金葉並不展開。故杯內絕不帶電。觸於杯外驗之，知杯外帶有負電。

由試驗而知，電荷只能分佈在導體的表面。

設有帶電的導體，其形如圖(186)所示。用驗電版觸在導體的曲率較小的一端後，和驗電器相觸，則金葉展開極少。若觸在曲率較大的一端後試之，則金葉展開極大。

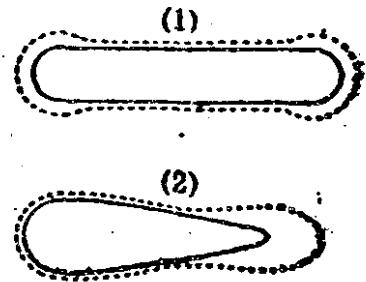


圖186 曲率愈大  
電愈密集

由試驗而知，電荷分佈在導體面上的密度，和體形有關。體面的曲率大的密度大；小的密度小。銳針的尖端的曲率絕大，電的密集程度必過強，結果電極容易散失到空中去，這叫做尖端放電現象。

§ 204. 電與磁的區別 磁的發生僅限於鐵、鈷、鎳等數種物質，而電則在任何物體上都能產生，在非金屬類尤為顯著。磁性



必集中在相異的兩極上,一極和羅針的指北極相引的,他極必相拒;雖用銅片去隔離他,這相引或相斥的作用還是存在。電荷分佈在導體的表面上,並不集中在一個定點,其帶電體的任何部分都能與羅針的指北極相引,也能與羅針的指南極相引。如有銅片隔離其間,這種相引作用,就會消失,電可賴銅絲等來傳遞,磁則不能。

§ 205. 起電盤 (Electrophorus) 起電盤是由一塊橡膠板 A 和一個具有絕緣柄的圓銅片 C 所組成。

用貓皮摩擦橡膠板,

使板上起負電。將銅片

C 放在 B 板上,用手指觸

片,先斥去手指,次提起銅

片。用驗電器來檢 C 片,

知片上帶有正電。倘使

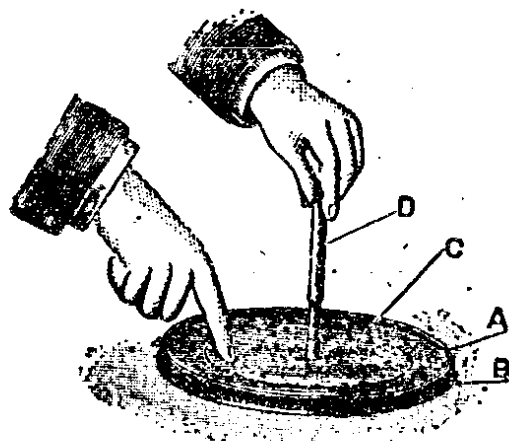


圖 187 起電盤

天氣乾燥,並在暗室內舉行這種試驗。當手指接近這帶電的銅片,指和片間有火花發生,同時發生微音,

這叫做火花放電現象。這時候身體必微受震動,稱爲電震。這火花是和天空中的電閃相同;這微聲和雷鳴相同;這震動和電擊相同。

橡膠板受貓皮摩擦之後,按照上法,可使銅片一次、二次以至無窮次的起電。每次所生的電量並不減弱。

由上試驗,知銅片上所起的電和橡膠板上所帶有的相異。故片上的電是受感應作用而產生的。銅片放在橡膠板上,除少數點外,實未嘗接觸。片和板間有極薄的空氣層存在。橡膠板和空氣都是絕緣體,所以板上的負電決不會從幾個極微的接觸點逃逸,更不能透過空氣層傳到銅片。銅片放在板上受感之後,片的下面生束縛性的正電,片的上面有自由性的負電。以手觸片,負電逃去,只剩留着束縛性的正電。先去手指,後提銅片。片既和板分離,片上束縛性的正電恢復自由,所以片帶正電。

再用手去接近這帶電的銅片,片上正電越過空氣,由人體逃逸入地中。當電荷越過空氣時生強熱而發光,空氣受熱而膨脹生聲音。實驗室中所用的靜電起電機(Static Electric Machine)乃是一隻連續起電的起電盤,牠的起電原理是由于感應作用,不是由于摩擦作用。

§ 206. 天空中的電象 富蘭克林(Franklin)曾在閃電時放一隻絲質的紙鳶,高入天空。鳶線的下端繫在銅圈上,圈再繫在一條絲帶上。他立在避雨的場所,一手執着絲帶,他手執着鑰匙去接近這銅圈,得到強大的火花。這是證明雲層上有電荷,賴潮溼的鳶線引導到銅圈上,越過銅和鑰匙中間的空氣層而由人體傳入地中。這種試驗異常危險。後來 Petrograd 地方有一人作同樣的試驗,觸電而喪其生命。

§ 207. 避雷針 (Lightning rod) 金屬球 E

和銅片C,分別用銅絲連到靜電起電機的兩球上,並使E球恰在C片的下面。

當起電機發電時,

見C和E間生火花放

電現象。現在把E球

和銳針P相連,再使起

電機發電而試之,則C和E間絕無火花放電作用。

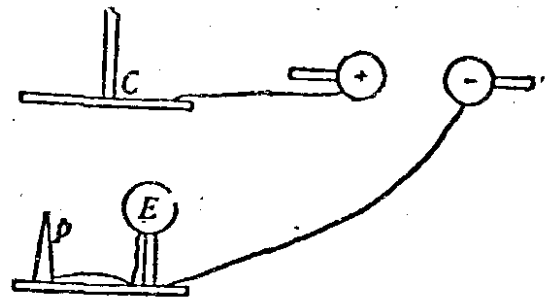


圖 188 避雷針的原理

因為E球和P針連結成一導體。電荷密集在銳針P上,當E球上所帶的電荷量還不足火華放電程度,而P上的電荷已密集過多,逃逸入空中,逕去和C上的異電相中和。雖C和P的距離大於CE,免避C和E間的火華放電的功效還能存在。

避雷針就是根據這原理製成的。針的下端深埋地中。當帶電的雲層接近地面時,地面受感而起相異的應電,密集在矗立地面的塔頂或樹頂上。若是感電和應電的量是奇大,就能突破空氣層而生火花放電現象,叫做電閃。空氣受熱而膨脹,生

極大的聲音,叫做雷鳴。建築物上裝了避雷針,地上電荷賴針的尖端放電,平安的與空中電荷中和,就可以免避雲和建築物間的火花放電的危險。

### 撮 要

電荷只能分佈在導體的表面。體面的曲率愈大,電荷的密集程度也愈大。

### 習 題

(1) 把驗電器罩在細密的銅絲網所製成的籠中,則雖有帶電物接近這器,金葉決不展開。試言其故。

(2) 一定量的電分佈在實心的銅球上或空心的銅球,若二球的直徑相同,則電的分佈情形是否相同。

(3) 若雲層中帶有強烈的正電,作圖示明一塔將受雷擊時的電荷分佈情形。



## 第十二章 電流

### XXXVI 電流

§ 208. 電流和水流 A B 二器內盛以水。二器的下部用管連通。若 A 器中的水面高于 B 器中的,則 a 處的壓力大于 b 處,水從 a 流到 b,直到二器中的水面等高爲止。同理 A B 二球各帶電荷,用線連結牠,倘有正電從 A 流到 B,則稱 A 球上的電壓高于 B,故有電流從 A 到 B,直到二球上的電壓相等爲止。

電勢

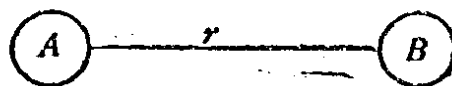
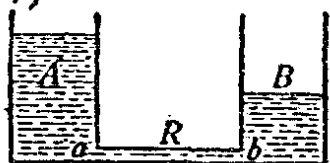


圖 189

§ 209. 簡單電池 把鋅片和銅片同時浸在  
 弗特 (volte) 裏

稀硫酸中,見鋅在酸中受浸蝕而生氣泡,銅片則否。再把鋅片取出,上塗水銀一薄層後,重新插入酸中,侵蝕作用很可以減少。用銅絲連這銅片和鋅片,見銅片上有氣泡發生,鋅片上則否。將錄除去,銅片上產生氣泡的作用也跟着停止。當銅絲連結二片時,在錄下放一隻磁針,針與絲相互平行,則磁針生偏向;歷時稍久,見鋅片消蝕,而銅片則否;同時錄的溫度也必增高。

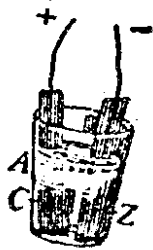


圖 190 簡單電池

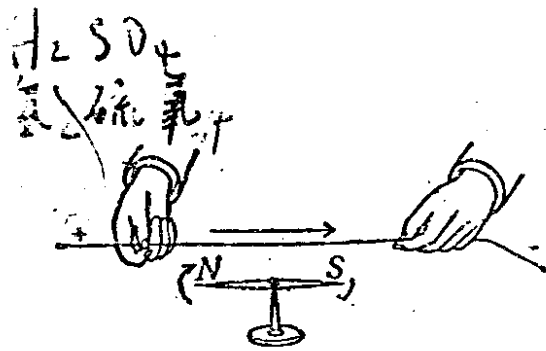


圖 191 錄中有電流通過

這種產生電流的裝置叫做電池。銅片和鋅片稱做電池的電極。硫酸稱做電解質。任何兩種導體,浸入溶液中,只要有一種能被溶液侵蝕的,用錄連結此二導體,就有電流通過錄中,結果生熱效,磁針放在錄旁,生偏動。



§ 210 電池的二電極上帶有電荷 用  
 線連結電池的二極,則線內就有電流通過。  
 由此推知,在未用線連結之前,這二極片上  
 必有電荷存在。現在再用下列的試驗來  
 證明。

A B 二銅片間夾一層薄質絕緣物。B片裝于  
 驗電器的銅梗上;A片裝有絕緣柄。把電池的銅片  
 連到B,鋅片連到A,(如圖 192 所  
 示)。然後將連線除去,次將A片提  
 開,見金葉立即分開,用帶有負電  
 的橡膠棒去接這驗電器,見金葉展  
 開的程度減低。這是證明B葉上  
 帶有正電。這種正電必來自電池  
 的銅片。倘使把電池的鋅片連到  
 B,銅片連至A,如法試之,可驗得電

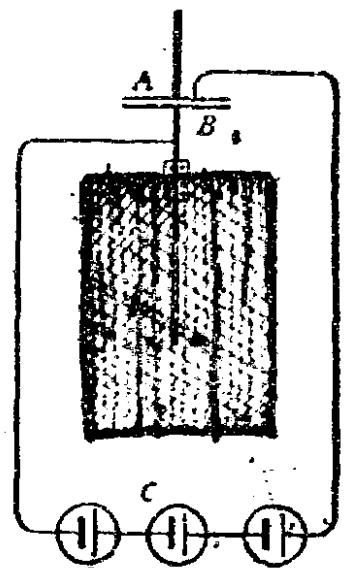


圖 192 電池的兩  
 極片上帶有電荷

池的鋅片上帶有負電。當A片與B片只隔一層極  
 薄的絕緣物時,為何金葉不能展開? 這是因為A片  
 和B片上的電荷相異,故相互吸引而受束縛。把A

片提開，B 上的束縛電方始恢復自由而分佈到金葉上去，金葉方始展開。

由試驗而知電池的二極片上一帶正電，一帶負電。正電必在銅片上，負電在鋅片上。用錄連結這二極片，則正電由銅片流到鋅片，所以錄中的電流方向由銅片到鋅片，也就是銅片上的電壓高于鋅片上的。

§ 211. 電池中的化學變化 硫酸的分子( $H_2SO_4$ )在水中能游離成二部分( $2H^+$  游子及  $SO_4^{--}$  游子。) 前者帶正電，後者帶負電。這帶電的部分稱為游子。鋅片能稍溶于水，鋅的原子脫離鋅片而變為鋅的游子( $Zn^{++}$ )，必須帶有正電，其結果鋅片帶有負電。鋅的游子( $Zn^{++}$ )和硫酸根的游子( $SO_4^{--}$ )結合而成中和的分子( $ZnSO_4$ )。氫的游子( $2H^+$ )被鋅的游子推拒到銅片，把正電給與銅片，自己就變成了自由的氫氣。當鋅銅二片用錄連結時，

則銅片上的正電流到鋅片去,相互中和。  
 (或稱電子在銅線內由鋅片流到銅片。)  
 電池的化學作用不息進行,則銅片上永遠是帶正電,鋅片上永遠帶負電,連線中永遠有電流由銅片流到鋅片。稱消蝕的鋅片為電池的負極;不易消蝕的銅片為正極。

由圖(193)知正電所流行的方向,在線內由銅片到鋅片,在酸液中由鋅片到銅片。正電所行的周路稱為電路(Electric Circuit)。連線

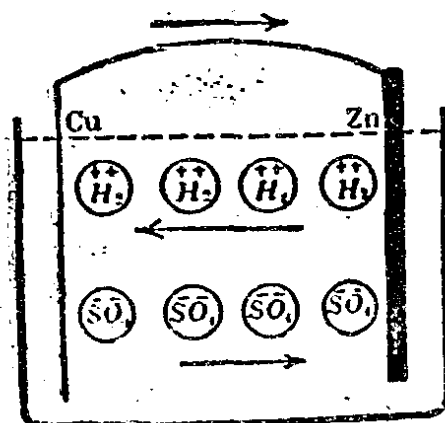


圖 193 電 ...

是牠的外路,酸液是牠的內路。電流在外路中由銅片到鋅片,在內路中由鋅片到銅片。

§ 212. 乾電池 乾電池(dry cell)攜帶便利,故採用極廣,如電鈴、電話、無線電等多用牠。乾電池的製法,是在鋅筒 Z 中放一碳

棒C;筒的內D面,襯一層吸水紙E;棒的四週圍繞以二氧化錳和碳粉的混合物;筒中裝盛糊狀的氯化氨水溶液;上面放些砂粒J,用瀝青H封口。這種氯化氨溶液,乃是構成電池的重要原料;二氧化錳的存在能使應用時的功效增大。其全部組成如圖

(194)所示。倘使把一隻用舊的乾電池切開,見鋅筒消蝕將盡。當鋅質起化學作用時,所生的‘能’用來驅駛電流,這好比燃煤時供熱能使唧筒驅駛水流。鋅片消蝕故為電池的負極,碳為電池的正極。用線連結正負二極,則線中有電流自碳極到鋅片。

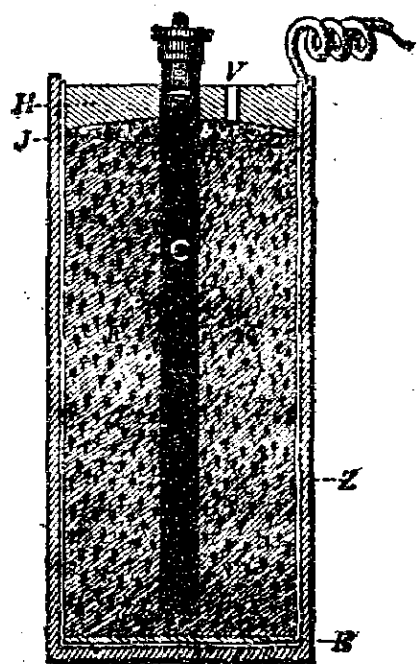


圖 194 乾電池

§ 213. 電動勢 (Electromotive Force) 水管的兩端因壓力不等,水由高壓處流到低

壓處,同理用線連結電池的兩極,因兩極上的電壓不等,電在線內由高壓處流到低壓處。水壓用每平方厘米上受幾克的力來計算,電壓用伏特 Volt 來計算。這種驅電流行的壓力,稱為電動勢。乾電池的電動勢大都約為 1.5 伏特 (1.5 Volt)。

§ 214 電流的單位 (安倍 Ampere) 水量的多寡用升 (1000 立方厘米) 來計算。電量的多寡,用庫侖 (Coulomb) 來計算。(參閱 § 219) 水流的強度,用每秒鐘內流過幾升的水量來計算。電流的強度,用每秒鐘流過幾庫侖的電量來計算。每一秒鐘內流過一庫倫的電量的電流強度,稱為一安倍。

§ 215. 電阻 水流行于管中必受摩擦。管愈小而長的,受到的摩擦必愈大,其結果則水流愈緩。電行于線中也是這樣,線愈細而長的,受阻也愈大,電流的強度必減弱。

故錄的電阻 (Resistance) 和錄長成正比例, 和線的斷面積成反比例。

取30號銅線7米把牠的兩端連到乾電池的二極上,就有電流通過錄中,在錄下放一羅針,針起偏動。

用30號的鐵線來替代銅線,如法試驗,見羅針的偏向度數較小,這是顯明電流較弱。銅線和鐵線的長短和粗細都相同,兩端所受的電動也相等,但銅線中的電流強,鐵線中的電流弱,這是顯明錄的電阻因錄的種類不同而異。

因爲銀的電阻最小,所以選作標準而來和任何等粗等長的導錄的電阻相比,就得下例的各值。

銀	1.00	軟鐵	6.00	白銅(德國假銀)	18.1
銅	1.11	白金	7.20	水銀	63.1
鋁	1.87	銅絲	1.35	鎳鉻(Nichrome)	666。

§ 216. 歐姆定律 管中水流的強度和兩端上的壓力差成正比,和摩擦成反比。  
錄中電流的強度和兩端上的電壓差成正

比,和電阻成反比。歐姆 (Ohm) 氏曾將電勢電流和電阻的關係列成一算式

$$\text{電流} = \frac{\text{電勢}}{\text{電阻}} \text{ 或簡寫成 } C = \frac{E}{R}。$$

用電單位表之

$$\text{安倍} = \frac{\text{伏特}}{\text{歐姆}}。$$

例 一隻電爐用在 115—V. 的電路中, 有 10 安倍的電流通過其中, 求這電爐的電阻。

$$\text{解 } C = \frac{E}{R} \text{ 即 } R = \frac{E}{C} = \frac{115}{10} = 11.5$$

歐姆。

§ 217. 觸電 人體雖為導電體, 但電阻甚大, 每在一千至一萬歐姆之間, 這是要看皮膚的燥溼情境而定。今假定人體的電阻為 3,000 歐姆, 用你的兩手分別觸在乾電池的兩極上, 因為電池的電勢僅 1.5 V, 只有 1/2000 安倍的電流通過人體, 所以覺不到有何種不好感的現象發生, 倘若不幸而觸着普通電燈鎊的銅絲部分, 設鎊上的電壓

爲220V,則通過身體的電流爲  $11/150$  安倍必大受震擊,甚或可以喪其生。所以普通的電線的外表,

必包被着棉紗

及橡膠等絕緣

圖 195 絕緣電線

體,如此則不但可免觸電的危險,同時可免避電線的相觸而起漏電作用。

### 撮 要

二種導體插入溶液之後,只要有一種被溶液侵蝕較易的導體,都可組成電池。易被侵蝕的導體爲負極,他爲正極。用線連結這二極,線內有電流從正極流到負極。

導線的電阻和物質的種類有關。導線的電阻和線的長度成正比,和斷面積成反比。

$$\text{歐姆定律} \quad \text{電流} = \frac{\text{電勢}}{\text{電阻}} \quad C = \frac{E}{R}$$

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

### 習 題

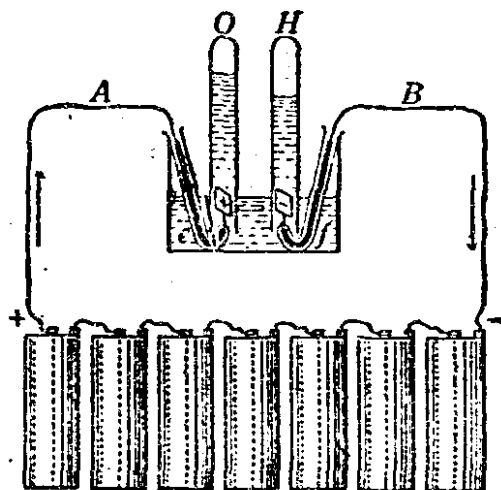


- (1) 導線中有電流通過時,能發生何種徵象?<sup>熱</sup>
- (2) 用導線連結電池的銅鋅二片時,為什麼銅片上有氣泡發生?
- (3) 怎樣可以證明簡單電池的鋅片上帶負電,銅片上帶正電。
- (4) 設某銅絲的長度增倍,截面積也增倍時,其電阻改變若干?<sup>1/4</sup>
- (5) 設有甲乙兩片浸入丁液中,只見甲片能被丁液侵蝕,用線連結這二片,當生甚麼結果?
- (6) 某線在一分鐘內有 3600 庫倫的電流通過,求線中電流強度?
- (7) 一隻電燈的電阻為 15 歐姆,接在 75 伏特的電路中,求經過燈絲的電流。
- (8) 一根導線的電阻是 25 歐姆,線的兩端上的電壓差為 10 伏特,求線中電流的強度。
- (9) 一隻電爐的電阻是 30 歐姆,安全電流的強度是 4 安倍,這種電爐應接入何種伏特差的電路?

## XXXVII 電解和電鍍

§ 218. 電解的現象 水中加硫酸數滴,白金片二浸入這種極稀淡的酸液中,若把電池的兩端分別用線連到二片上,就有電流通過酸液,見二白金片上都生氣泡。如用兩個

試驗管分別收集片上所生的氣體,取而驗之,你就發見引導電流通進酸中的片上所發生的氣泡是氧,他片上所生的是氫,氫



的體積比氧的加倍。

圖 196 水受電解析出氫和氧

電流通過酸性的水液,把水分解成氫氧二氣。這種現象稱為電解 (Electrolysis), 被分解的液體,稱為電解質 (Electrolyte)。引入電流的片子稱為正極,導出電流的片子稱為負極。

物理學家和化學家都相信硫酸在水中,其分子( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )必分成三個游子,兩個游子各帶一個正電( $2\text{H}^+$ ),一個游子帶有二

個負電( $\text{SO}_4^{--}$ )。因為二個氫游子上的正電總量是和一個酸根游子上所帶的負電量相等,所以溶液仍在中和而不顯帶電的狀態。插入酸液中的二枚白金片分別連到電池的正負二

端,其結果氫游子向負極移行,遇片後失其電荷,變為氫。酸根游子向正極移行,

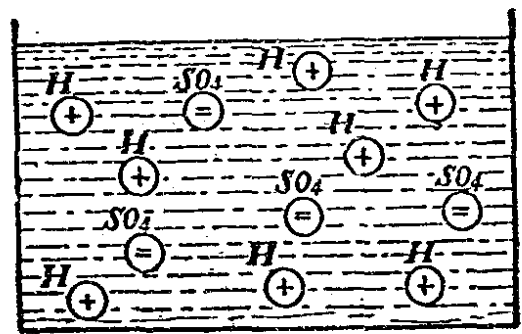


圖 197 硫酸的游離情形

遇片後失其電荷,與水起作用而成 $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,把水中的氧成分析出。所以電流通過酸液時,被分解的,乃是水的分子。

§ 219. 電鍍 用硫酸銅的溶液為電解質,純銅片為正極,鐵質匙為負極,使電流通過這電解液,不久見鐵質的匙上鍍有一層銅質,

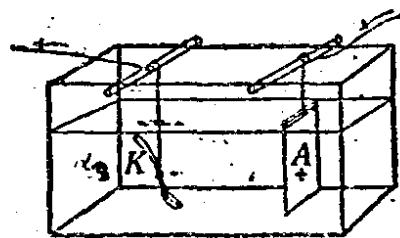
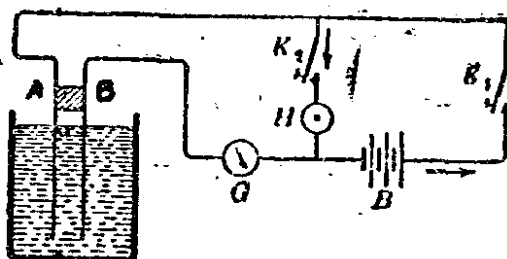


圖 198 電 鍍

純銅片便消失了少許。你若精確的試驗,

還可以測得鐵器上所鍍的銅量和銅片所消蝕的相等。上述的試驗乃是普通的電鍍法 (Electroplating)。利用這種方法,可以在任何金屬面上鍍金鍍銀鍍鎳等。例如鍍銀時用氰化銀(Ag CN)250克氰化鉀500克同溶在10升的水中,作為電解質,再以被鍍物為負極,純銀為正極,使電流通電解質就有銀質鍍在物面上,負極面上所積得的銀質,和正極上所消蝕的量相等。

§ 220. 蓄電池 取鉛片二如圖(199)浸入稀硫酸中。電池B的兩端用電鑰K,連到二鉛片。把電鑰 $K_1$ 閉下,電流由A片入,B片出,不久見A片變成棕色。把電鑰 $K_1$ 打開電池,供給的電流中斷。若用電鑰 $K_2$ 和電鈴H如圖



199 連結到二鉛片上,當 圖 199 蓄電池的原理

$K_2$ 下閉,電鈴則鳴,見A片上的棕色漸退,鈴鳴也不久中止。重把 $K_2$ 打開, $K_1$ 閉下,則A片的棕色又漸漸現

出。

上述的試驗,乃是普通鉛板蓄電池 (storage battery) 的原理。當硫酸溶液受電解作用時, A 片上生氧, B 片上生氫。這 A 片上的初生氧和鉛質起氧化作用, 產生棕色的二氧化鉛 ( $\text{PbO}_2$ )。A 片變成二氧化鉛, 但 B 片還是鉛片。這兩種不同的片子浸在硫酸液中, 發生電壓差, 那就宛如一種普通的電池了。二氧化鉛為電池的正極, 鉛片為負極, 在這樣程序中, 把原來的電能變為化學的能而儲蓄起來。故蓄電池所蓄的實在是化學的能, 決非電能。當電鈴連到這蓄電池的二極片上, 化學能再變為電能, 送電流過電鈴。這不同性質的二極片, 就大家變成了硫酸鉛, 結果則二片的性質相同, 絕無電壓差存留其間, 電流就停止流行。再用電流通過這池, 重起電解, 使 A 片受氧化作用而變成二氧化鉛, B 片受氫

的還原作用變成鉛質。這時電能又變成化學的能而儲蓄其間。

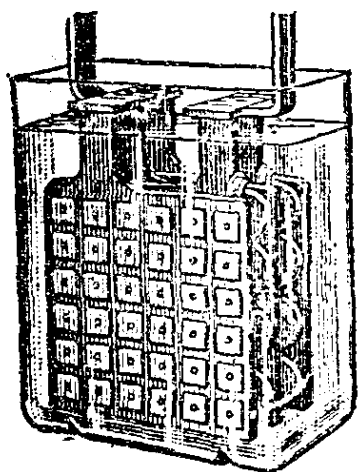


圖 200 鉛板蓄電池正極用二  
氧化鉛製成，負極用  
海棉狀的鉛質製成。

§ 221. 電流的法定單位 法拉第 (Faraday) 曾求得一定強度的電流，在一定的時間內能把溶液中的一定量的原質析出。例如一安倍的電流在每一小時，能在氯化銀的溶液中或氰化銀的溶液中以及其他銀化合物的溶液中析出4.025克的銀質。

安倍是電流的單位，一安倍的電流在一秒鐘內，能析出.001118克的銀質。

庫侖是電量的單位，一庫侖的電量，能析出.001118克的銀質。故電流強度與時

間的乘積乃是電量。

### 撮 要

電鍍的時候陰極上所鍍積的物質與陽極上所消蝕的質量相等。

蓄電池能把電能變為化學的能而儲蓄起來。

一安培的電流,在一秒鐘內,能析出.001118克的銀質。

### 習 題

(1) 要試驗電池或發電機的何端為正,何端為負,法將二銅線分別連到二端上,再把二線的他端浸入水中,水中加幾滴硫酸,不久發見一線的端上呈黑色。這表示這線是連到正端上的。試言其故?

(2) 鍍銀時,用 5 安培的電流一小時,問物面上鍍銀幾克?

(3) 電鍍時被鍍物必連到負極,是什麼緣故?

(4) 3 安培的電流使用一小時,所耗的電量是若干庫侖?

(5) 用電流通過蓄電池時,所儲的是什麼?

### XXXVIII 電燈和電報

#### § 222. 電流的熱效應(Heating effect)

使電流通過細鐵絲,不久鐵絲的溫度增高,倘電流甚強,鐵絲可紅熾而熔化。

由試驗而知電能可變為熱能。焦耳曾作各種試驗,知電流通過導線時所生熱量與(a)導線的電阻,(b)電流強度的平方,(c)通電的時間都成正比例。倘使所生的熱量H,用卡來計算,電流C為安倍,電阻R為歐姆,時間t為秒,則

$$H = 0.24 C^2 R t$$

例 以3安倍的電流通過3歐姆的電阻線,求每小時所生的熱量。

$$H = 0.24 C^2 R t = 0.24 \times 3^2 \times 3 \times 3600 = 23328 \text{ 卡}$$

§ 223. 電燈 電燈是由真空玻璃泡中裝了鎢絲製成的。電流通過這種鎢絲,能生強熱而發白熾的光。白熾的鎢絲,在空氣



中必定燒毀，在真空中能逐漸蒸發。你看久用的電燈泡，常呈黝暗的顏色，這是因為鎢質蒸發後沉積在燈泡的內面的緣故。

最新式的燈泡，其中的鎢絲繞成螺管形狀，可以緊湊在一處，藉以減低輻射散熱程度。泡內盛少量的氬氣，這時燈絲

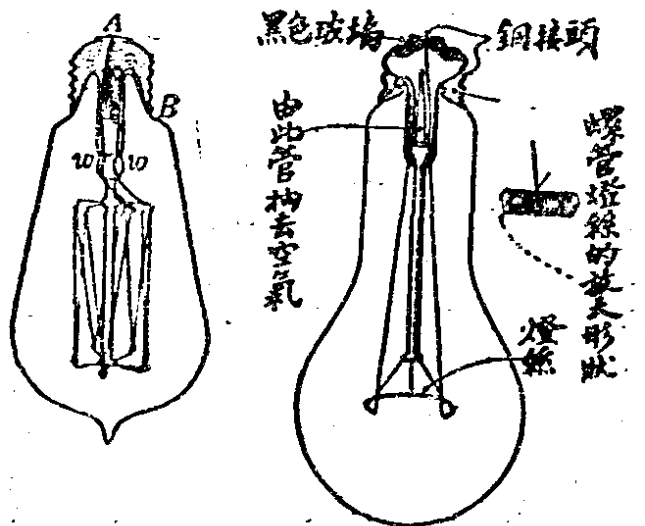


圖 201 (左)…絲燈泡(右)新式燈泡

的溫度可以高到  $2400^{\circ}\text{C}$ ，而不易蒸發，結果可使電能變為光能的功效增高。

§ 224 手電燈 試取手電燈的燈泡由普通的電燈泡相互比較，見普通燈泡中的鎢絲甚長，手電燈泡中的鎢絲甚短。絲的長短是和電阻成正比例的，所以普通電燈的電阻大，手電燈的電阻小。普通的電燈需110或220伏特的電壓方能有夠量的電

流通過這高阻的燈絲,使發白熾的光;手電燈只須4.5伏特的電壓(用三隻乾電池串聯起來)就能送足量的電流通過此低阻的燈絲,使發白熾的光。施於燈絲兩端上的電壓差過大,則電流過強,絲必熔毀,電壓差過小,則無足量的電流通過燈絲,僅能使燈絲紅熱,甚或毫不放光。

§ 225. 保險絲 倘住宅中裝設電燈,每在電表的附近裝有保險絲盒兩隻,把盒蓋揭開,見每一盒內有軟質的保險絲一根,用來接通電路。



圖 202 保險絲盒

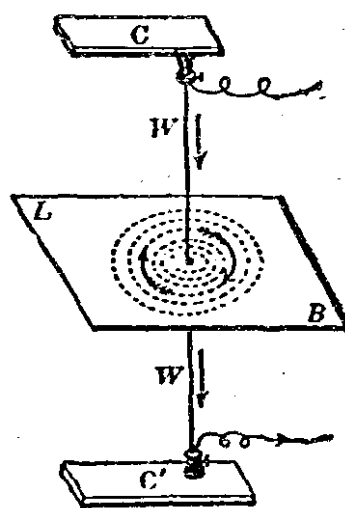
這絲是鉛和錫等的合金,其熔點極低,若電路中發生漏電之弊,致有過強的電流通過電錶,足以引起意外的災害時,這過強的電流亦必通過保險絲,生熱效而熔毀,則電路隨而切斷,電錶中的電流也跟着停止流行。所以保險絲在電路中,可

以看作安全的活門。

§ 226. 導線周圍的磁場

使導線垂直穿過水平位置的紙板,當電流自上而下,通過導線時,在紙板上勻篩鐵屑,板身微受振動,則鐵屑分佈在許多同心圓上。

使導線垂直穿



用一隻小羅針放在板上。當羅針靠近導線時針的停留位置必和圓周相切。電流自上而

圖 203 導線四周的磁場

下,則磁針的 N 極所示的方向和鐘錶指針所行的方向相同。

由試驗而知,電流通過導線時,其四周的磁力線乃是許多同心圓。磁力線



圖 204 右手定則

和電流的方向關係,可用下列方法得之。

用右手握導線,獨伸大姆指,使姆指指示  
線中電流的方向,則手指示磁力線的方向,

這方法特稱為右手定則。

§ 227. 螺線管 用紗包銅絲，繞于鉛筆桿上，成螺旋狀的線圈，電流通過時，用磁針的N極去接近牠的兩端，一則相拒，他則相引。這帶電流的線管，宛如一根條形磁鐵。

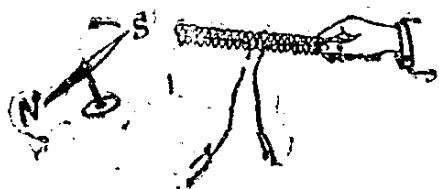


圖 205 螺管狀的導線帶有電流時相當于條形磁鐵

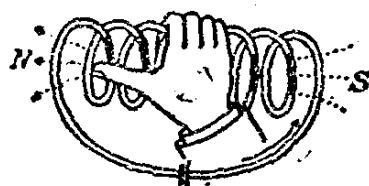


圖 206 右手定則

將右手握螺管，獨伸姆指，令手指示電流的方向，則姆指必向着N極所在的一端。

§ 228. 電磁鐵 用軟鐵絲插入通電的

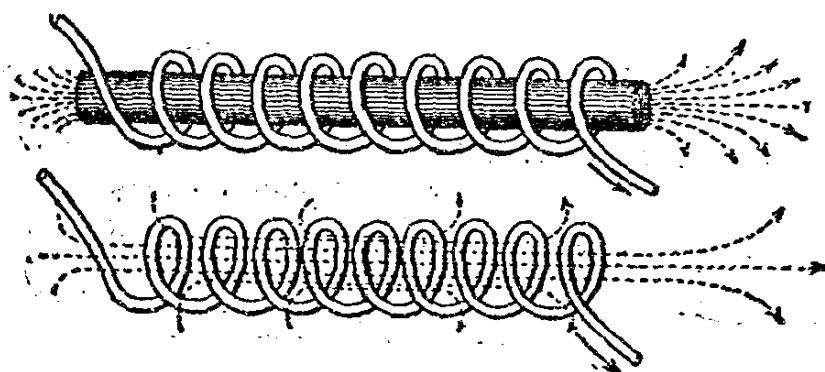


圖 207 電 磁 鐵

螺線管中，則見磁性較前增強許多倍數。

這軟鐵受磁化而成磁鐵，稱為電磁鐵。若線管中的電流中斷，則軟鐵的磁性差不多完全消失。

§ 229. 電鈴 電鈴是電磁鐵的最簡單的應用。當電鈕下壓時，電池送電流由 A 點入，經電磁鐵 E 的線圈，過接觸點 C，再由 B 點引出。當電流通過線圈時，電磁鐵把鐵片 a 吸引，使 C 處的接觸分離，電路斷，電流停，磁鐵 E 的磁性消失，這鐵片 a 受彈簧 S 的作用，仍舊使 C 處接觸，這時電道通，磁鐵 E 吸引鐵片 a 的作用又起，從前的動作程序又復開始。如是電道可自動的在 C 處忽斷忽續，鈴錘 H 因而生振動作用來敲鈴。

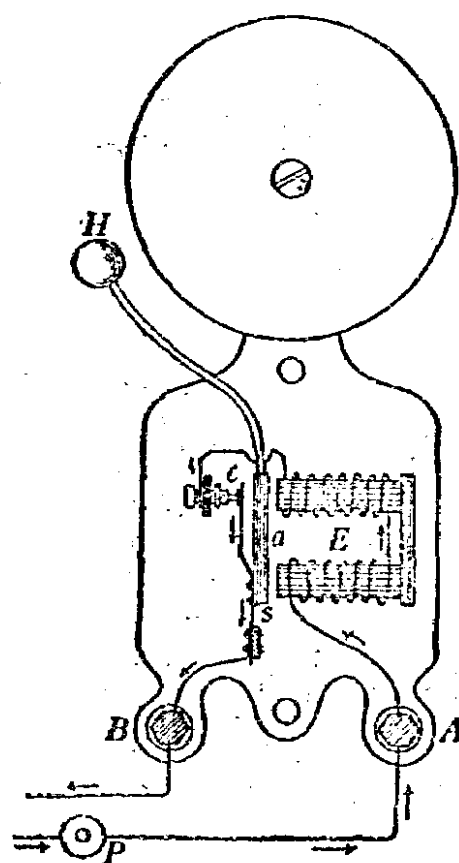


圖 208 電 鈴

§ 230 電報 電報也是利用電磁鐵來製成的利器,其原理可從圖 205 得之。假定圖的左部爲上海電報局的發報機,右部爲南京的收報機。當上海電報局的電鑰 K 閉下時,電池送電流過電報線,經南京電報局的電磁鐵 m,然後由地中還到上海,這時南京電報局的軟鐵 b 被磁鐵吸引而下壓。當上海電報局的電鑰放鬆時,電道斷,

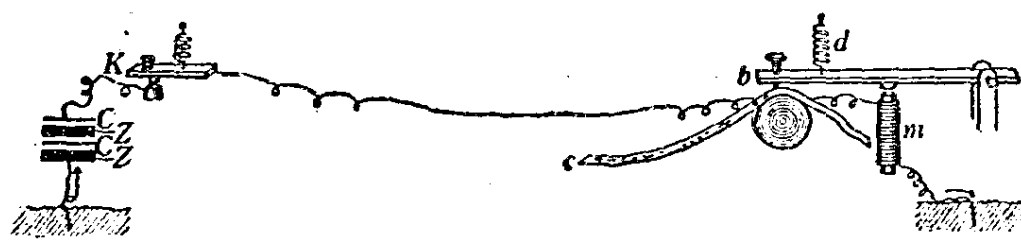


圖 209 電 報

m 的磁性消失, b 棒受彈簧 d 的作用而上提。所以 K 鑰下壓, b 棒也跟着牠下壓, K 放鬆, b 棒上躍。棒端的下面,放一張漸漸移動的紙條。K 鑰閉下的時間極短,紙條上就留一點狀痕跡。閉下的時間稍長,紙條上就留一短劃的痕跡。藉點或劃的記

號以傳遞號碼。把文字編定了號碼,那就任何書信都可以由上海傳遞到南京了。

### 撮 要

電流通過導線能生熱效,其所產熱量  $H$ ,和電流  $C$ ,電阻  $R$ ,時間  $t$  的關係是

$$H = .24 C^2 R t$$

右手定則:(1)用右手握導線,獨伸大姆指,使姆指示線中電流的方向,則手指示磁力線的方向。(2)用右手握螺線管,獨伸大姆指,手指示電流的方向,則姆指示  $N$  極所在的方向。

### 習 題

- (1) 假定電線中的電流是從南到北,羅盤針放在線下,問針的指北極應向何方偏動?
- (2) 一根垂直的電線,線中的電流是自上而下,在線的北方放一羅盤針,問針的指北極應向何方偏動?
- (3) 一個金屬環平放在桌面上,環中的電流順

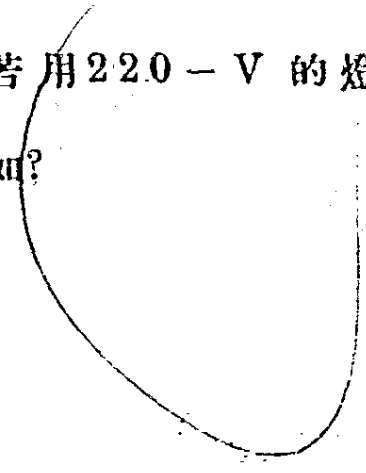
着時鐘指針的方向流動,若用一指北的磁極放在環心上,問磁極應向上移動呢還是向下移動?

(4) 設燈絲的電阻是200歐姆,有.5安倍的電流通過,求每小時能發生幾卡的熱?

(5) 設燈絲的電阻是100歐姆,接入200伏特電壓差的電路中,每小時發生幾卡的熱?

(6) 若用手電燈泡接入22V的電路中,則有無弊病?

(7) 若用220-V的燈泡,接入110-V的電路中,則何如?





## 第十三章 電磁的感應

### XXXIX 發電機和電動機

§ 231. 電磁的感應 (Electromagnetic Induction) 把線圈 (約一百匝) 的兩端接到電流

計上。用條形磁鐵的 N 極迅速插入圈中,見電流計的指針生偏動。

表示圈中有電流通過。若磁鐵不

動時,就沒有電流發生。

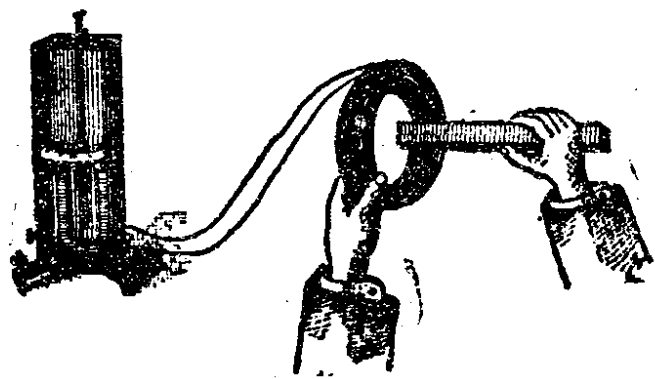


圖 210 電磁的感應

再把磁鐵的 N 極抽出圈外,見電流計的指針也能偏動。但方向和第一次所得的相反,表示圈內有反方向的電流發生。

由試驗而知,磁極在錄圈中或進或出的移動時,錄圈中的磁力線數目必有改變,這時閉路錄圈內能發生應電流 (Induced current)。當 N 極插入圈中,則圈內的磁力線數增多,斥回時就減少,每次都能生應電流,但是方向相反。當磁極停在圈中,圈中的磁力線的數目不變,就沒有應電流發生。

§ 232. 應電流的方向 假定觀察者的視線和 N 極所發出的磁力線方向相同,以 N 極插入圈中,圈內的應電流方向 (由電流計指針的偏向得來) 必和鐘表指針所走的方向相反,

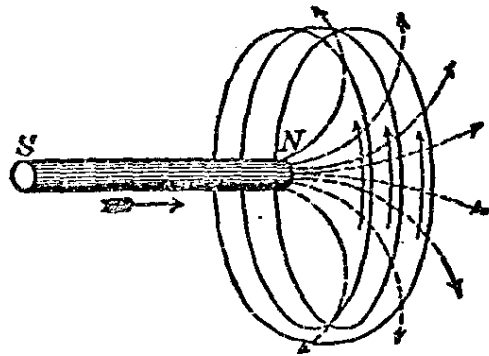


圖 211 應電流的方向

依據右手定則,推知錄圈的近端生 N 極,和磁鐵的 N 極相拒,以反抗磁棒的行動;當磁鐵的 N 極由圈中斥回時,圈內的電流方向同上述的相反,故圈的近端生 S 極,和磁鐵

的 N 極相引,以反抗磁棒的行動。

若用磁鐵的 S 極插入圈中,則圈中必生電流,能使圈的近端生 S 極,與磁鐵的 S 極相拒;撤回時,圈中相反向電流,能使圈的近端生 N 極,與磁鐵的 S 極相引。

### § 233. 楞次定律

由試驗而知,線圈中所生的應電流,其方向必能使圈內生一磁場,以反抗這磁鐵的行動。

由(227)節知帶有電流的線圈相當于一根磁鐵,以帶有電流的線圈來替代上述試驗中的磁鐵也得同樣的結果。

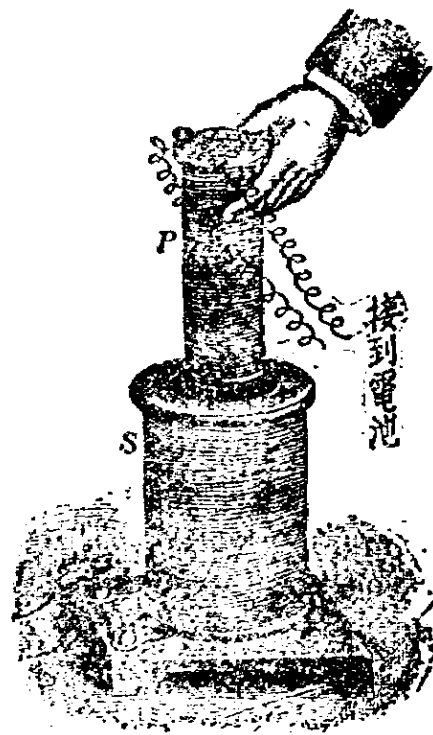


圖 212

§ 234. 發電機 用 28 號的絲包銅線,繞成 500 匝的線圈,放在 U 形磁鐵的兩極間而迴轉之。當線

圈的兩端聯到電流計上,圈的位置如圖(213)之(2)

所示,依着鐘的指針方向(目

向下視)驟然轉過 $180^\circ$ 見電

流計指針的偏向極大,表示圈

中有電流產生。使圈繼續迴

轉 $180^\circ$ 而回到原位,見電流計

的指針生反向的偏動。把圈在磁場中不息迴轉,則

電路中有交變向的電流產生。

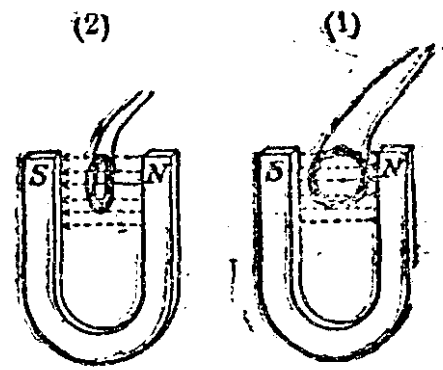


圖 213 發電機的原理

上述的試驗乃是一種小型的交流發電機的原理。凡是把機械能變為電能的裝置稱為發電機。發電機的主要原理,是利用線圈在電磁鐵的磁場中迴轉時,圈中的磁力線數有改變,則線圈受感而生應電勢。把線圈的兩端聯到外路,這閉形的電路中就有電流通過。

工商業上所用的發電機,其主要部分有三:1 場磁鐵 (Field magnet), 乃是用電磁鐵來產生極強的磁場; 2 電樞, (Anmature), 由絕

緣導線繞在鐵核上所組成能在磁場中迴轉；3 集流環 (Collecting ring 或換向器) 和 電刷，用來引電流入外路中。圖 214 所示，乃一最簡單的交流發電機。N 和 S 為場磁鐵，C 為電樞；R 和 R' 為集流環，分別和發電子的線端相連；b 和 b' 為電刷，固着在一定的地位和環輕輕的接觸。

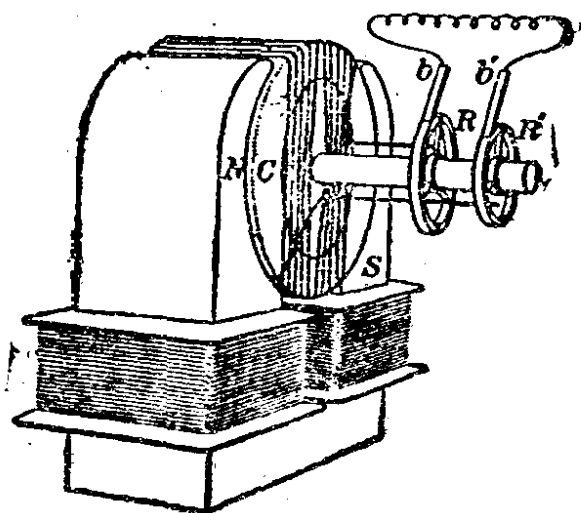


圖 214 交流發電機

用蒸汽機來驅動電樞，使在磁場中迴轉，所生的應電流，由電刷引入外路中，這種交流電的情況像圖 215 中的曲線所示。

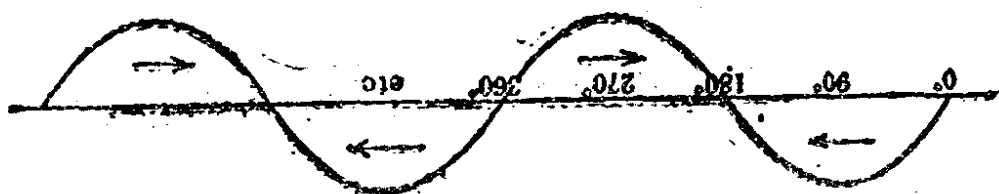


圖 215 交流電的曲線

§ 235. 換向的原理 要把交變方向的電流使依照着一定不易的方向引入外路,就成爲單向的脈動電流,其情況如圖 216

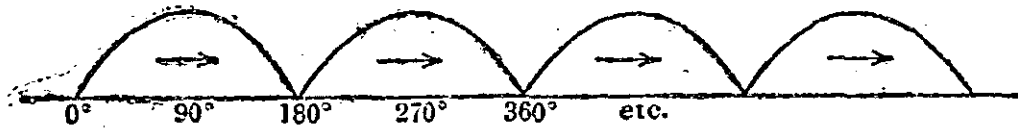


圖 216 變向後的電流

的曲線所示。要達到這目的,那就要利用換向器。把圖 214 中的兩個集流環脫去,用二枚半圓狀的銅環來替代牠們,這發電機就改裝成圖 217 所示的形狀,電樞的兩線端分別鉗在二半環上,二電刷  $b$  和  $b'$  固着在一定的地位;二半環  $a$  和  $c$  固着在電樞的軸上,所以能跟着電樞迴

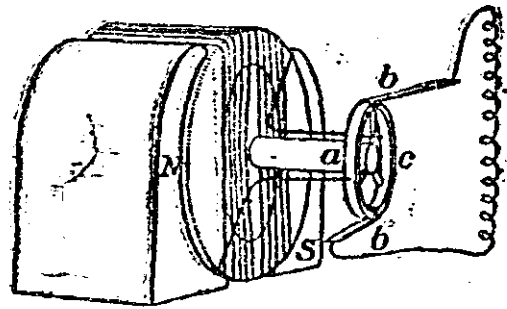


圖 217 直流發電機

轉。二電刷分別輕觸在二半環上。當電樞中的電流改向時,觸在半環  $a$  的電刷就移觸到半環  $c$  上,觸在半環  $c$  上的電刷就

移觸到半環 a 上,結果外路中的電流方向是不變其情況,如圖 216 中的曲線所示。

這種發電機叫做直流發電機。

### § 236. 電動機的原理

將導線 a b 垂直懸起,下端浸入水銀缸中。有電流自上而下通過導線,並將導線如圖 (218) 放在磁場中,則能照矢示  $f$  的方向移動。若將電流的方向改變,則導線移動的方向也改變。

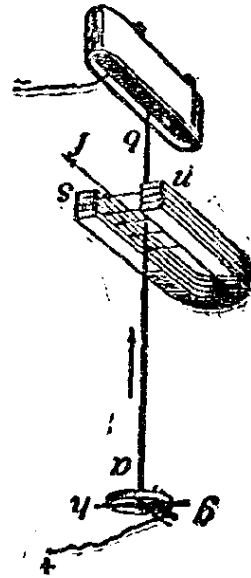


圖 218 電動機的原理

由試驗而知帶有電流的導線,垂立于磁場中,這導線所起的行動,每與磁場的方向及電流的方向相互垂直。這種將電能變為機械能的裝置,稱為電動機。上述的試驗可以顯示電動機的基本原理。

倘使把直流電送入直流發電機的電動子中,電樞就產生磁性和場磁相推引,依着一定的方向而迴轉。利用電樞的轉動

作用來驅動電車或電扇或各種的機械。所以把普通的直流發電機反過來使用就變成了直流電動機。

§ 237. 電扇及電車 電扇是一種小功率的電動機,在電樞的軸端上裝有四張翼子。利用電流使電樞急速迴轉時,軸上的翼子能激動空氣,生出習習的涼風。

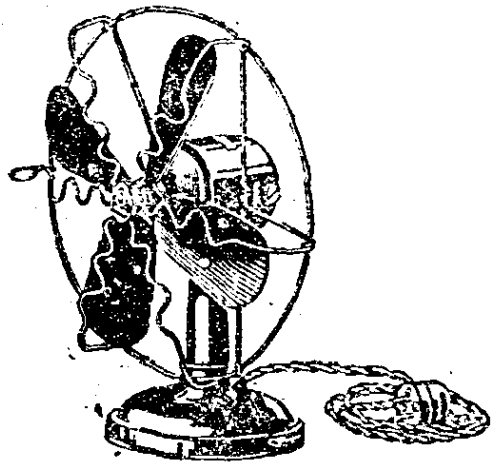


圖 219 電 扇

利用大功率的電動機來驅動的車子叫做電車。電力廠中的發電機 A 所輸出的電流由 + 端沿着懸架在空間的電線,經過觸在線上的小輪 W,再沿着車上的斜桿

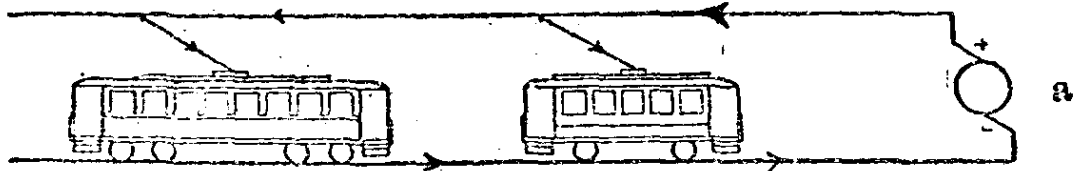


圖 220 電 車

而導入車中所裝的電動機,然後由車軌而



迴至發電機的一端,當電流通過電動機時,電樞起迴轉作用,這動作藉齒輪而傳遞至車輪的軸上來驅動車子。

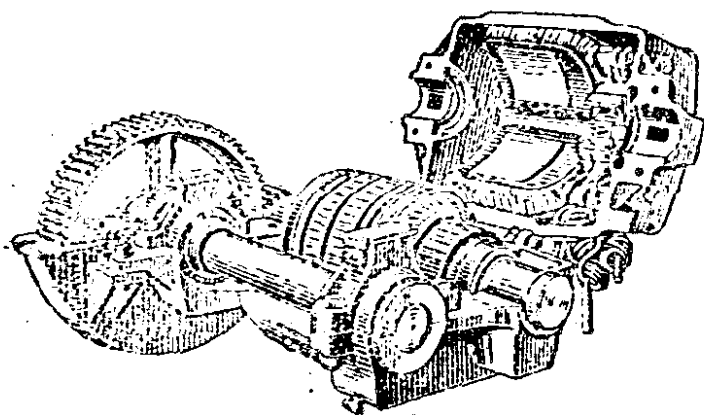


圖 221 電車上的電動機。圖中把上部的磁場揭開,見有四個磁極,電樞的

迴轉作用,賴齒輪來傳遞與輪軸。

### XXX 感應圈和變壓器

§ 238. 從感電流得到應電流 取 28 號絕緣銅線繞於軟鐵棒上約計 500 匝 (如圖 222 所示

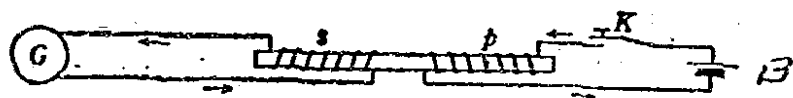


圖 222 從感電流得到應電流

(S)。線的兩端連結至電流計 G。另在棒的他端上繞絕緣銅線 500 匝 (如圖中的 P)。把線圈 P, 電鑰 K 和電池 B 串聯成電路。當 K 鑰下閉, 電路通, 則 P 中有電流通過, 見電流計的指針生某向的偏動, 足見 S

中也有電流通過。再把電鑰 K 放開,見電流計的指針又生偏動,其方向和前次相反,足見 S 中又有電流通過,其方向和昔相反。

上述的試驗,那是感應圈(Induction coil)和變壓器(Transformer)的構造原理。P 圈是連結到電流的來源處,叫做原線圈 (Primary coil)。當原線圈中的電流強度或方向改變時,鐵棒中的磁力線數目也跟着改變。S 圈放在改變的磁場中,因而產生應電流。(參閱 § 233)。這 S 圈叫做副線圈 (Secondary coil)。

### § 239. 感電流和應電流的方向關係

依據楞次定律 (§ 233) 當 K 鑰下閉,電流通 P 圈使鐵棒磁化,而 S 圈中必產生應電流來阻止這磁化作用。故應流電的方向要能使鐵棒中產生一磁場,其方向和原來的相反以相抵消。因這 K 鑰下閉時應電流和感電流的方向必相反。

把 K 鑰放開,鐵棒中的磁性跟着消失;這時 S 圈中又必須產生應電流來阻止磁性的消失,故應電流的方向要能使鐵棒中產生一磁場,和原來的磁場相同,來維持牠。因此 K 鑰放開時,應電流的方向和感電流相同。

§ 240. 感應圈 感應圈的鐵核是用一束的鐵絲組成。(圖 223 C) 原線圈用粗的絕緣銅絲繞成,其匝數極少(設為 200 匝);副線圈用極細的絕緣銅

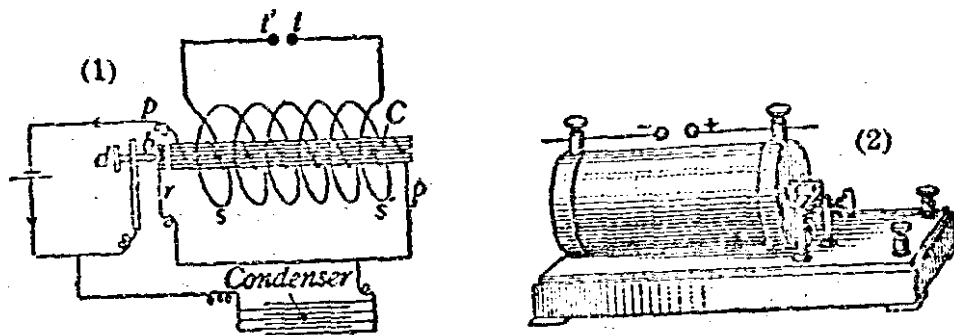


圖 223 感 應 圈

線繞成,其匝數從 30,000 到 1,000,000。t 與 t' 是副線圈的線端。倘原線圈內的電流斷續不息的通過,則副線圈的線端間生極高的電壓差,因而發生火花放電現象。

原線圈的電路怎樣能自動的斷續不息呢？這是靠彈簧 r 上端鐵錘在那裏振動所致，和電鈴上的鈴錘振動相彷彿。當 b 錘和 d 端相觸時，電流通過原線圈，鐵核必磁化，把錘右吸，使 b 錘和 d 端相離，電流中斷，鐵核失去磁性。b 錘賴彈簧而左移，仍和 d 端相觸，電流又通。這樣一來，b 錘能往復振動，原線圈中的電流可自動的繼續了。

§ 241. **變壓器** 如圖 224 在環狀鐵核上繞以原線圈和副線圈。使交變向的電流通過原線圈 A，則鐵核內的磁力線方向，必跟着交變，副線圈放在這交變向的磁場

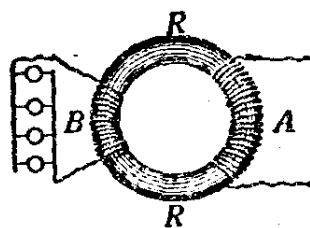


圖 224 變壓器

中，線端間也跟着生交變向的電壓差。這就是普通變壓器的構造原理。

變壓器的最大用處，是用來改變交流電的電壓。例如普通交流發電機所生的電勢通常為 1100 或 2200 伏特，這種過高的電壓，非普通用戶所需用，所以必先把電壓

變低到110或220伏特。

要把高電壓變成低電壓，則變壓器的首流圈的匝數較副線圈為多，線則較細，至於匝數和電壓的關係可用下式表之

$$\frac{\text{原線圈的匝數}}{\text{副線圈的匝數}} = \frac{\text{原線的電壓}}{\text{副線的電壓}}。$$

所以要把低電壓的交流電，變為高電壓，只要首流圈的匝數較次流圈為少，線則較粗。

### XXXXI 電話

§ 242. 發送器 倘使能夠把人們說話時的聲波先變成兩相對應的交流電，這交流電通過一種聽筒（詳下節）可以變成原來的聲音。

聲的成因是由於物體的振動，我們可以利用這振動作用來改變電流的強度，茲舉一實驗例來證明。

一隻乾電池，一隻安倍計和兩根碳棒如圖 225 聯結之。用手指輕壓碳棒，見

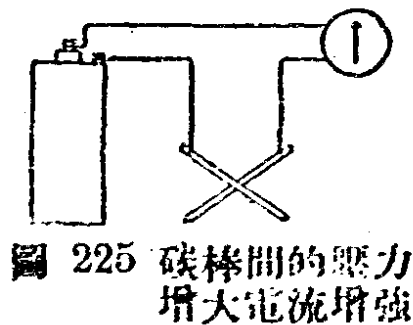


圖 225 碳棒間的壓力增大電流增強

安培計中微有電流通過,重壓之,則電流的強度增大,在這種電路中,電流的強度,跟碳棒間的壓力而改變,壓力大,電流強,壓力小,電流弱。

根據了上列試驗的結果,就不難使薄膜的振動作用,變為電流的強度改變作用,電話的發送器(Transmitter)就是利用這原理來製成。器中有一小匣,匣中滿貯炭粉。匣的前面及後面均用碳片製成。這兩塊碳片用絕緣銅線引到器外。後面的碳片固持于器壁上,前面的碳片用柱連結至振動膜上。假定有電流由前

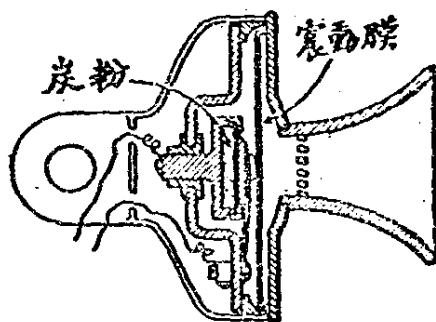


圖 226 發送器

面導入,經過炭粉,再由後面導出。當膜向內移,炭粉受壓,電路中的電阻減小,電流增強,膜向外移,炭粉鬆弛,電阻增大,電流減弱。人若對薄膜發言,膜跟音波而起振動,電流

的強度跟着改變,其改變情形,當然和音波兩相對應。

### § 243. 收話器 (俗稱聽筒) 利用電流

強度的改變或方向的改變而成聲音的儀器,叫做收話器,俗語叫做聽筒。其構造如圖227所示。在橡

膠匣子中裝一支

U形磁鐵;磁鐵的

兩極上各具錄圈,

圈的匝數極多,錄

極細。一張薄鐵

片,固持在磁極的

前面;鐵片與磁極相距甚近,但未接觸。

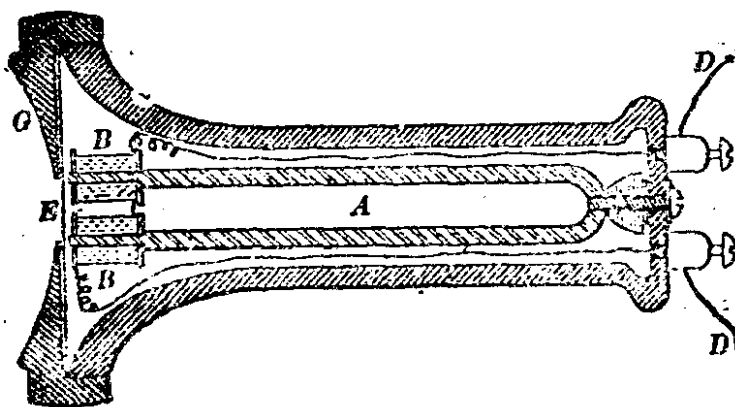


圖 227 收 話 器

把這種聽筒串聯入電路中,就有電流通過錄圈,設電流的強度是改變的,或者是交流電,那末錄圈所生的磁場,自然也跟了改變,磁鐵吸引鐵片的能力也跟了改變,其結果薄膜起了振動。薄膜的振動性質當然和電流改變的性質兩相對應。

§ 244. 電話的簡單裝置 圖228中E爲發送器,R爲收話器,p與s爲變壓器的

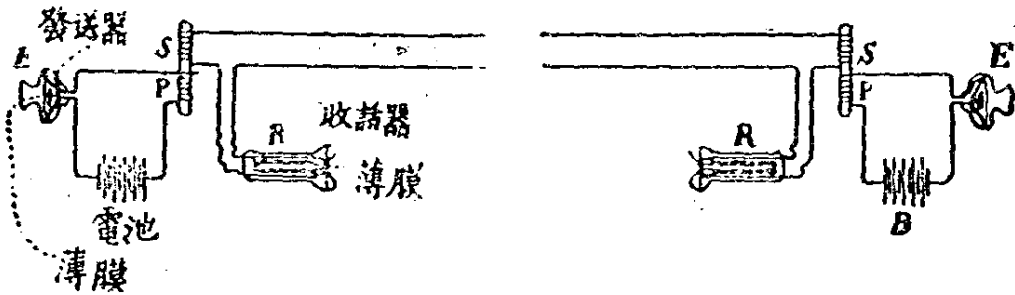


圖 228 電話的簡單裝置

原線圈和副線圈。人對發話器發言,薄膜起振動,由電池送過P圈的電流,其強度必跟着改變,則S圈中生交變向的應電流。

這種交流電通過對方的聽筒,使膜起振動而發聲。膜振動既與交流電相對應,而交流電又與p中的電流改變情形相對應,即與發送器中的膜振動相對應,故受話器的膜振動時,能再生原來的聲音。

## XXXXII 無線電

§ 245. 無線電 傳遞消息的最奇妙方法,要算無線電了。這種方法中的最惹人注意之點,就是



兩對方間,毋須電線聯結。

電的效應怎樣可以在虛無的空間中,從這裏傳遞到那裏,這並非是一樁驚奇的事實,在電學中可以尋出許多例子來說明他。例如電流通過導線,能使線旁的磁針生偏向;電流通過感應圈或變壓器的首流圈,則不相關連的副線圈中生出應電流。無線電是能够把電的效應傳遞到較遠的場所,但是原理與所舉的例子都是相同的。

### § 246. 電磁波 (Electromagnetic wave)

無線電的聽衆,常常聽到廣播電台的報告說“本台的波長是若干公尺”。這“波”字就是指電磁波而言。

要明瞭電磁波是什麼,只要回想到感應圈的作用。當電流通過感應圈的首流圈,四周必生磁場,圈中電流有變易時,磁場就生擾動,副線圈放在這攪動的磁場中,能生應電流。電流的磁效不只是電流通過線圈時候有,就是通過一根直長的導線,線的四周也能產生磁場。電流有變易,磁場生擾動,其效應雖在遠處,也能用法來檢得。

當電在錄中開始流動時,就有磁場自錄向各方傳播。設有交流電通過錄中,則每一個交變,必產一次的磁場擾動,電流連續的交變,就產生了連續的磁場擾動,都從擾動中心向各方播送出去,就組成了電磁波。這好比石落靜平的水面上,就有水波從擾動中心向各方播送相似。電磁波的傳播速度和光速相同,每秒計 300,000,000 米。廣播電台上所採用的交流電,其交變頻率極大,自每秒 550,000 次起至每秒 1,350,000 次。波長是這一波到次一波間的距離,也就是第二波剛從擾動中心發射時,第一波已進行的路程計算。用交變頻率去除速度,可得波長,故每秒有 600,000 次的交變,則

$$\text{波長} = \frac{\text{速 度}}{\text{交變頻率}} = \frac{300,000,000}{600,000} = 500 \text{米。}$$

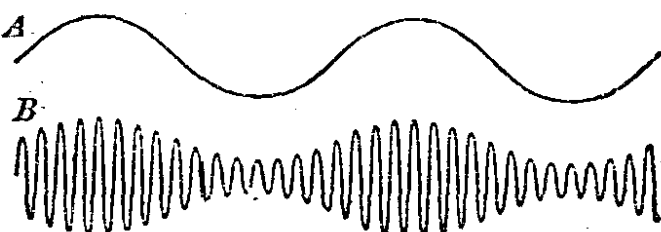
§ 247. **無線電發報台** 發報台上裝有高頻率的交流發電機,藉此產生一定波長的電磁波。利用電鍵,使交流電時斷時續,則產生的電磁波也時斷時續,用牠的斷續的久暫來代表點或劃的記號。

至于無錄電話,則用普通的收話器(圖 227)來

替代電鎗。人對器發話，則交流電的強度跟音波而改變，電磁波的振幅也跟着改變。這樣，音波可賴電磁而傳遞到遠處。

圖 229 A 示音波，

圖 229 B 示音波



重疊在電磁波上。 圖 229 音波重疊在電磁波上

的情況。

### § 248. 從電磁波得到聲波

由前節而知一根導線放在擾動的磁場中，必受感而生應電流。電磁波經過的場所，必有磁場的擾動，必能使適當的導線受感而生交變性的應電流，其交變的實際情況，必和電磁波兩相對應，而電磁波的頻率和振幅，又和發報台上的交流電兩相對應，推而知檢波時所得到的交流電，實和發報台上的交流電完全相像，但強度必大減。

要檢收電磁波，必將導線依水平向高架於天空中，稱為天線。天線的一端另用一線引入地中，如有電磁波經過，則導線受感而生應電流，其交變頻率和

振幅,完全和發報台上的交流電相像,只是強度大減而已。

要把這電磁波變成聲波,只要將普通的聽筒串聯入天線電路中即得;但實際上沒有這樣的簡單,其絕大的困難點是在應電流的交變頻率太大(例如每秒600,000次),就算聽筒中的薄膜,可以跟隨了而起振動,人的聽覺還決不能覺察這樣的高頻率音調。

礦石檢波器,乃是把高頻率的交流電,變成低頻率而可聽聞的最簡單儀器。如圖230所示,乃一塊礦石插入電路中而與聽筒串聯。利用鬚狀鎳與礦石輕觸以合成這電路。經過聽筒的交流電便必須經過礦石。這種礦石對於交變向



圖 230

的電流有一種特異性質,牠只許某方向的電通過,故相反向的電流,絕難通過。當天線的電路中有高頻率的交流電 $C$ , (與發報台的交流電完全相像) 則通

過這礦石的,只有半個交變,那就變成了單向的直流電了,(如圖 D 所示)這許多小小的脈動狀電流,其方向都相同,經過聽筒的線圈,能使薄膜激起振動(如圖 E 所示)這種振動與發報台上的發

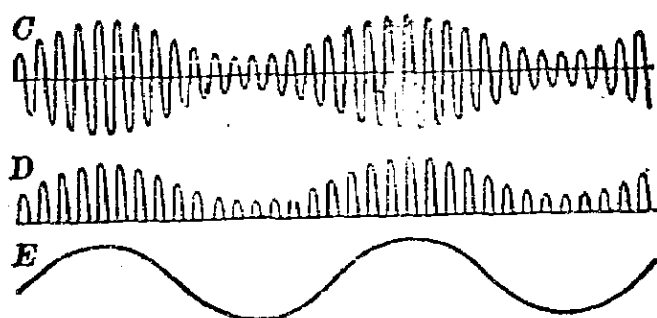


圖 231

話器的膜振動完全相像,所以能夠聽到原來的聲音。

§ 249 真空管 礦石收音機的構造固然極其簡單,但是不能滿意地檢收遠程電磁波。這時只有利用構造較為複雜的真空管收音機,纔能奏效。要明瞭真空管的檢波原理,對於電的本性,就不得不再加以說明。在第 202 節中曾說過各種物質的組成,都是用帶有正電的質子為核,帶有負電的電子繞核而迴轉。如把金屬鎳放在真空管中,使受強熱(例如電燈發光時的燈絲),則鎳中電子能發射到空間去,那時鎳的四周就充滿了電子。如另用一塊金屬版放在真空管中,使該版和電池的正極相連,紅熱的

燈絲和電池的負極相連,則版上必帶有正電。這時絲的四周的電子,被版吸引,由燈絲流到版上,則真空管中,就有電流通過,並且在電路中環行。

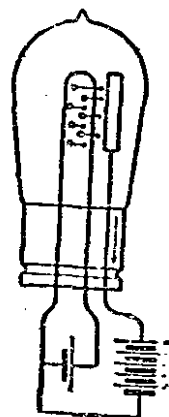


圖 232  
二極真空管

因為只有高熱的燈絲可以發射電子,電子流行的方向,必從燈絲到版上,故其方向有定。假定有交流電源串聯在板與燈絲之間,只有使板上帶有正電時的半個交變是可以使電子自絲流到板上,換句話說,只有半個交變的電流可以通過。照這樣說來,真空管的性質和礦石相同,都能使交流電,變成單向的脈動直流電。若用真空管來替代礦石,當然也能使高週率的交流電變成單向的直流,這電流通過聽筒。

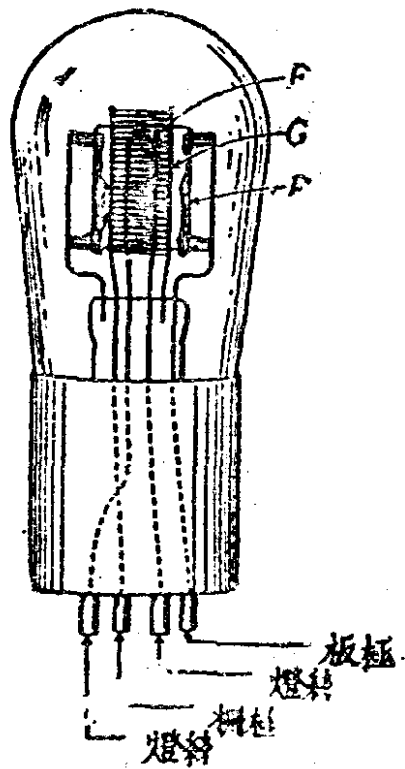


圖 233 三極真空管

使膜振動成聲。這種一絲一版的真空管稱為兩極真空管,因其效率不大,近已廢棄不用,另用一種三極真空管來替代了。

當三極真空管用在檢波電路中時,其作用最易明瞭。圖 234 乃是一種可能的檢波裝置,茲為簡單起見,把電路中的調諧部分省去。電池 A 供給電流使燈絲紅熱。電池 B 使版極上常帶正電,故有電流自板極到燈絲,再過聽筒 a 而回到版極。因為這是一種方向有定強度不變的電流,雖然經過聽筒,絲毫不能使薄膜起振動。

今在絲和版間,另外插入一極,其狀如柵,乃由細鎳織成,故稱柵極(Grid)。這柵極常聯到天線,

當天線受感而生應交流電時,那末柵極上就交變地帶正電和負電。柵極上帶有正電時,能夠幫助版極去吸引電子,其結果則版極電流中的電流增強;柵極上帶有負電時,能夠阻止電子由絲流向版極,其結果

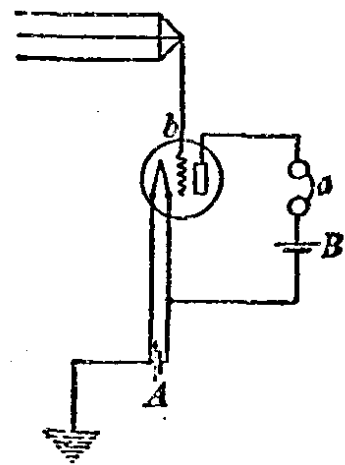


圖 234 三極真空管的檢波作用

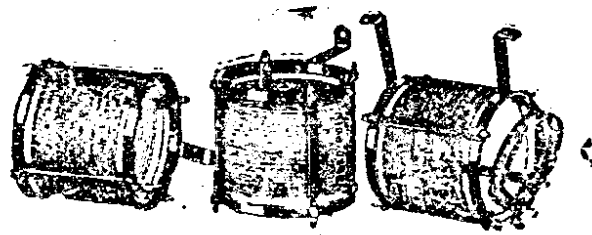
則版極電路中的電流減弱。這版極電流的強度隨天線中的高頻率交流電而改變,也就是隨了電磁波而改變,但方向有定。這樣說來,通過聽筒的電流,那是一種單向的脈狀電流,故能使薄膜振動成聲。

這種單向的脈狀電流,絕類天線中的交流電經過鑛石而得者,但是也有不同之處。在真空管收音機中,其電流之通過聽筒的線圈者,因有B電池組的幫助,所以特別增強,並且可以將幾個真空管聯合起來以求更強的擴大。結果則發音特別宏亮。所以用真空管來替代鑛石,可以檢收遠程的播送。

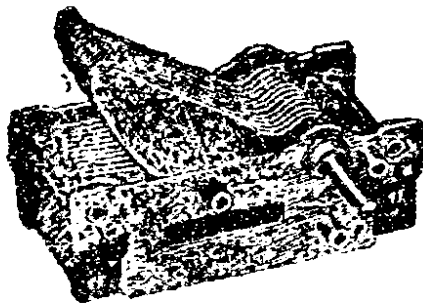
§ 250. 調諧作用 在聲學中(§ 130)曾講過一隻音叉在那裏振動時,很容易激起同頻率的音叉使生振動。在無線電中也有這種同樣的現象發生。天線和收音機串聯成電路時,每每對於某種波長的電磁波,極易受感而生交流電,他種則否。要使一隻收音機能檢收任何波長的電磁波,必預添加一種調諧裝置。線圈和容電器是調波裝置中的必須儀器。至於調波的詳細裝置和原理,非本書範圍所及,姑從



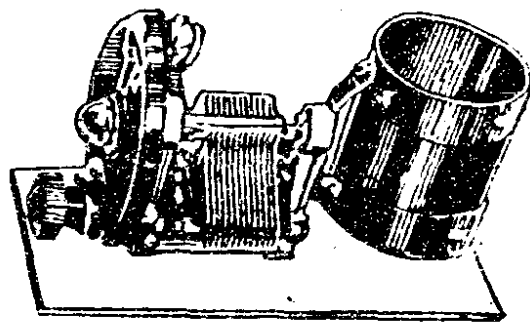
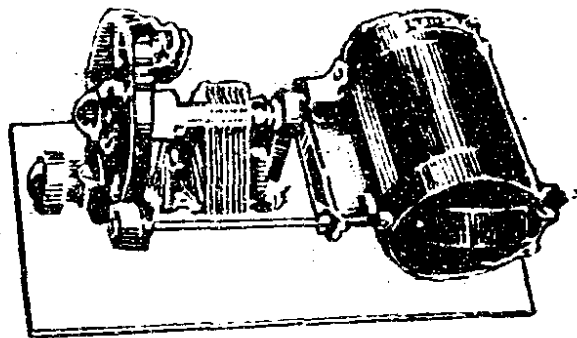
略。



a. 線圈



b. 容電器



c. 調諧裝置

圖 235 調諧裝置

### XXXIII 陰極射線和 X 射線

§ 251. 真空放電現象 把感應圈的副線

圈的兩端(圖236的a與b)用銀聯到玻璃管的兩極

e與f上。這管的長約60餘厘米,其兩極,用白金絲封入管端而成。

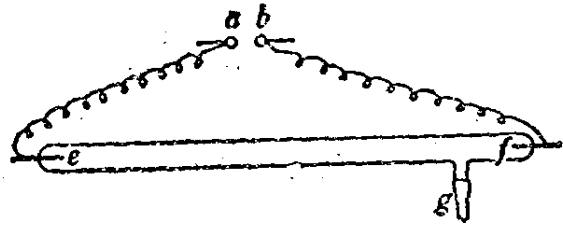


圖 236

管側有小口,用橡皮管

通到抽氣唧筒上。當管內空氣尚未抽出時,使感應圈開始工作,見a與b間有電花躍過,而e與f間,因距離過遠,故無火花放電現象。於是把管中空氣逐漸抽出,到了管中氣壓降到幾厘米時,見火花放電現象,不起於a與b之短距間,反起於e與f之間。由試驗而知,火花放電,易起於低氣壓的空氣中(亦稱未盡真空)。

當火花放電現象,初起於e與f之間,狀如波紋的帶,其色殷紅。管中氣壓繼續減低,這殷紅之帶,可展滿全管。普通所稱的蓋斯勒管(Geissler tube)就是指此而言,所異者,光管的形狀,每屈曲成奇特之狀,如下圖所示。

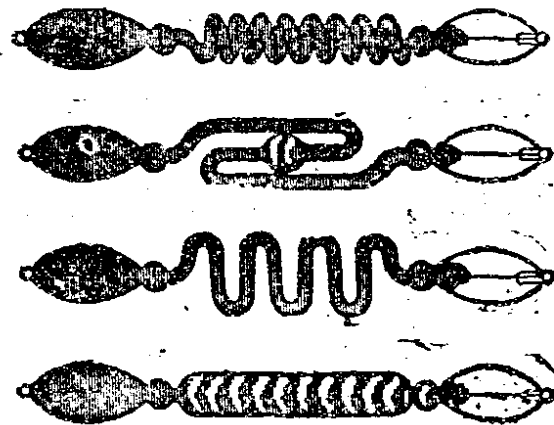


圖 237 蓋斯勒管

§ 252. 陰極射線 把上節所述的試驗,使管中氣壓繼續降低到,00 幾耗,放電的狀況,就大大的改變。管中輝狀的帶,差不多要完全消失。這時候管的陰極上,發射出一種人目所不能見的射線,名為陰極射線 (Cathode ray)。這種人目所不能見的陰極射線投在玻璃上,使管壁起色彩,叫做螢光。螢光的色彩隨玻璃而異,英製玻璃呈藍色,德製玻璃呈綠玉色。

### § 253. 陰極射線的幾個特性:

(1) 投于物質上生螢光 (Fluorescence) 陰極射線投於玻璃、紅寶玉、金剛石以及各種硫化物上都能發生光輝,其色澤跟物質的種類不同而異。

(2) 有機械的功效 (Mechanical effect). 陰極射線投射於輕質的輪葉上,則輪能轉動,由其轉動作用

和轉動方向,可以推得陰極射線是由於一羣的高速度陰性質點組成,自陰極上射出。



圖 238 機械的功効

(3) 直線進行 在陰極線的進行路徑上置一

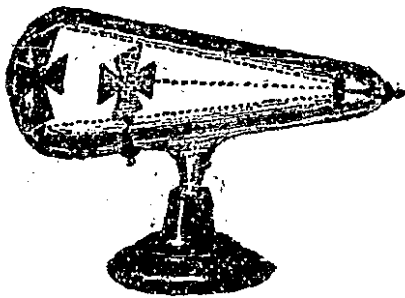


圖 239 直線進行

十字架,見管壁上有十字架的暗影。由是而知陰極線離開陰極後依直線向前進行。

(4) 熱效應 若陰極的形狀如凹杯,極上射出的質點能焦集於一點,此焦集點就在極的曲率中心上。倘在這曲率中心上放一白金片,片生紅熱。

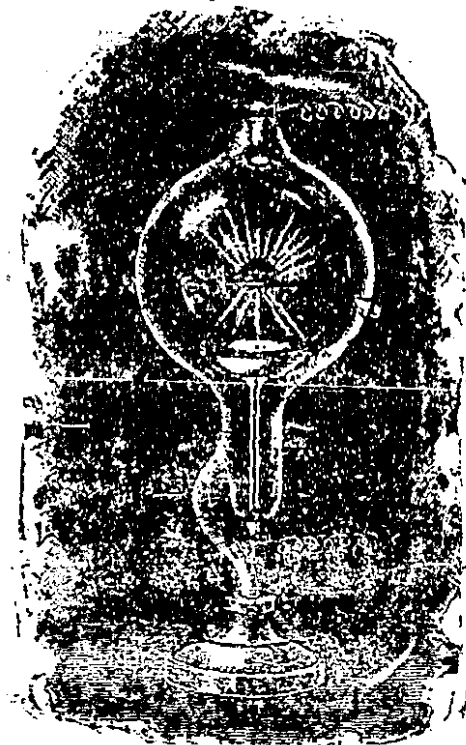


圖 240 熱效應

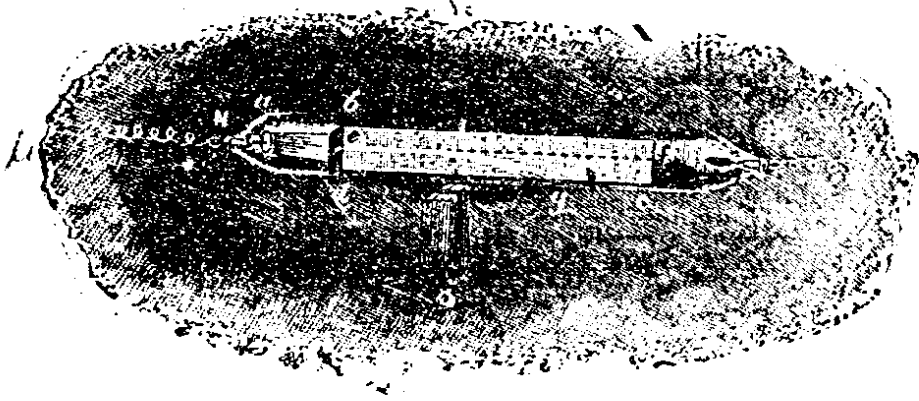


圖 241 偏轉

(5) 受磁力而生偏轉 用磁極去接近陰極射線，則此線必改其直行而成曲線進行。

由種種試驗，知陰極射線是一羣帶有負電的質點所組成，依垂線向離開陰極，取直線向進行。湯姆孫 (J.J.Thomson) 曾證明這種帶有負電的質點，就是電子，其質量為氫原子的  $\frac{1}{1845}$ 。

§ 254. X射線 在西曆1895年倫琴(Röntgen) 發現陰極射線遇阻時 (如投射在玻璃管壁上，或別種金屬物上) 另外激發一

種看不見的射線，稱為X射線。圖242為一支X射管。C為凹狀對陰極，自C上

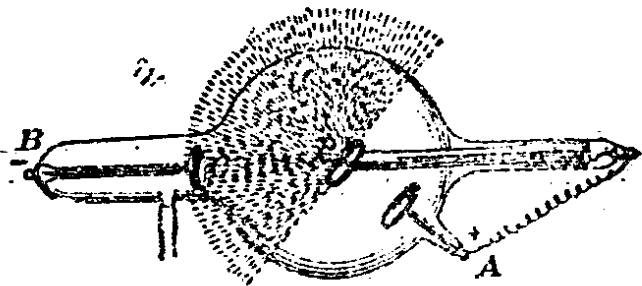


圖 242 X射線管

射出的陰極射線焦集於P上,故遇阻而產生X射線。

X射線爲人目所不能見,但投於玻璃上能生螢光。

X射線能夠穿透木質紙張肌肉,以及其他不透明的物質,對於骨頭及金屬質等,則穿透較難。

§ 255. X射線的照相 X射線的貫穿本領 (Penetrating power)隨管中氣壓的高低而異,管中氣壓愈低,所生的X光線的穿透力愈大,特稱之曰硬性X射線,能穿透過數厘米厚的木質或數毫米厚的鉛質。

X射線極易穿透過肌肉,但不易穿透過骨質。今以手覆於照相的乾片上,X射線則投射於手掌上,其結果X射線能透過手掌而達乾片,使片感光,可得圖243所示的照片。

§ 256. 螢光鏡 X射線投于鉑鋇的氰化物 (Platino-barium-cyanide)能生螢光。在不透明的板上塗了這種化合物,就組成了螢光板。以手置于X射線管和螢光板間,則自板後,可以看見圖243的像。



圖 343 照片

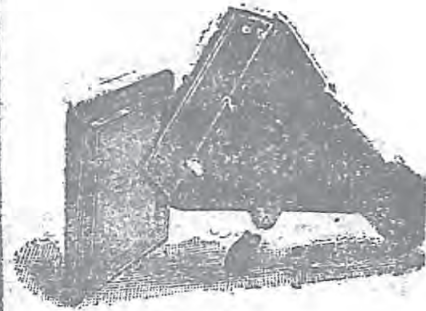


圖 244 螢光鏡

## XXXIV 放射

§ 257. **放射** 用黑紙密包照相乾片,包上置一銅元,將這包放在暗室中。取鈾礦少許(即瀝青礦苗)用線掛在銅元之上。隔了數天之後,把乾片顯像,見片上有銅元的影像(Shadow picture)。

這種瀝青礦苗中含有鈾質(uranium)能放射一種類似X光線的射線,這射線能穿透黑紙,使乾片感光。凡這類具有放射性的物質如鈾,釷,釷,鐳等,都叫

做放射物 (Radioactive Substances)。

§ 258. 鐳 (Radium) 居利夫人自瀝青礦苗中 (是一種不純粹的氧化鈾) 得到一種成分,其放射的本領比鈾更大,叫做鐳。

鐳的放射本領百萬倍於鈾,其分佈雖廣,但數量極微。在15噸的瀝青礦苗中,只可提取1英兩的鐳質。鐳色白如銀,性不穩定通常所得者,都是鐳的氯化物,或溴化物。其射線對於硫酸鋅金剛石、紅寶玉等均能激起螢光。

§ 259. 鐳所發射的三種射線 鐳所發射的射線,在強烈的磁場中,能分析成三類。法將鐳質放在鉛塊的小孔中 (圖245)。這時射線只能向上發放。假定有一磁場,其磁力線和射線與方向相互垂直 (圖中由頁前穿至頁後) 能將這射線分析成三羣,叫做  $\alpha$  射線  $\beta$  射線和  $\gamma$  射線

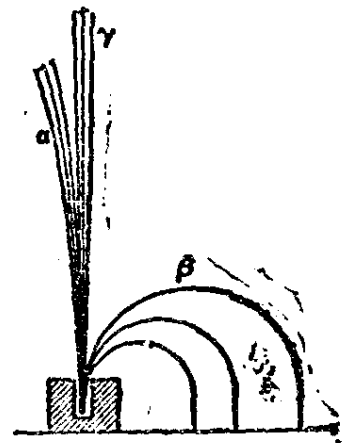


圖 245 三種射線

如圖 245 所示。 $\alpha$  射線偏至左, $\beta$  射線偏至右, $\gamma$  射線



不生偏動。

組成 $\alpha$ 射線的質點帶有正電,其速度約為光速的 $\frac{1}{15}$ ,僅能穿透普通的紙張

組成 $\beta$ 射線的質點帶有負電,其速度約為光速的 $\frac{1}{10}$ 到 $\frac{1}{20}$ 。貫穿本領極大。

$\gamma$ 射線並非由質點組成,性似X射線,具有絕大的貫穿本領,其速度和光速相等。

§ 260. 鈾的蛻變作用 各種原質中,要算鈾的原子量最大,其存留的場所,必有別種放射物存在。鈾質必和別種放射物同時存在一事,使人不得不設想別種放射物,或許從鈾質蛻變而來。蓋鈾質因失去了質子,其原子量跟着減小。由實驗而知鐳(radium)產自鏷(ionuim),鏷則產自鈾。

鐳質還可以繼續蛻變,牠所放射的 $\alpha$ 質點若失去了所帶的正電,就變成了氦的原子。鐳的蛻變,能夠產生氦,其他放射的能發放 $\alpha$ 射線的,都有同樣的氦質產生。

從鈾的礦苗中,必有鉛質存在,由此推知鈾的最

後產生物,是普通的鉛質。

§ 261. 鐳質發生熱能 鐳質的溫度,必定較四周的溫度為高。由是而知鐳質可產熱,換句話說,必能放射“能”。一克的鐳於每小時中能發放100到130卡的熱。倘使一克的鐳,把牠所含的能盡量放出,則在1000年以內,每小時中,都能使一克的冰熔成同溫的水。

蛻變及射能當然是一個原子變化的現象用任何普通試驗方法,不能改變牠的性質。但是最近也有用極大電壓所發出的高速度質點或高頻率的 $\gamma$ 射線來分裂原子核,使他人工的改變性質,所以人工蛻變,將來或有可能的一日。那時人們若能利用原子中所儲的‘能’,當然造福于人類不淺。

## 測 驗 題

下列各題,都列有幾個解答,把不對的劃去。

- (1) 密度,質量和體積的關係是(密度=體積/質量)、  
(密度=質量/體積)、(密度=體積×質量)。
- (2) 水的密度是(等于1)、(大于1)、(等于1克/立方厘米)。
- (3) 把棉紗球擠小,結果則牠的(密度增大)、(比重  
減小)、(質量減少)。
- (4) 在米制中,一物體的密度和比重見(同值異義)、  
(同值同義)、(異值異義)。
- (5) 在十足的赤金中攪了銅質,則(比重增大)、(比重  
減小)、(密度不變)。
- (6) 設水銀的密度是13.6克/立方厘米,把一立方厘  
米的水銀和13.6立方厘米的水相比較,牠們的  
(體積相等)、(質量相等)、(比重相等)。

- (7) 酒精中攪雜了水質則(比重增大)、(密度減小)、  
(比重減小)。
- (8) 在液內的某定點處(上壓力大于下壓力)、(側  
壓力小于下壓力)、(上、下、側三種壓力相等)。
- (9) 盛水器的底上所受到的壓力,和(器的形式有  
關)、(水的深度成正比)、(水的密度有關)。
- (10) 魚類藏身在岸穴中,牠們的體面所受到的壓力  
較出穴橫游時所受的為(大)、(小)、(等)。
- (11) 能浮在水面的物體,牠的密度較水為(大)、(小)、  
(等)。
- (12) 在水中能不浮不沉的物體,牠的比重是(大于1)  
(小于1)、(等于1)。
- (13) 物體沒入水中所失去的重,和(物體的密度有  
關)、(物體的體積有關)、(物體的形狀有關)。
- (14) 某正方木塊的比重為0.7. 浮在水面時,牠的沒  
水部分適為全部分的  $(\frac{7}{10})$ ,  $(\frac{3}{10})$ ,  $(\frac{3}{7})$ 。
- (15) 船在海水較在河水中時的吃水為(深)、(淺)、  
(等)。

- (16) 鋼製爲艦,能浮于水,這是因爲艦身的重較被擠開的水重爲(大)、(小)、(等)。
- (17) 同是一個立方厘米的石塊或鐵塊,沒入水中時所失的重是(相等)、(鐵多石少)、(石多鐵少)。
- (18) 等重的赤金和夾金,懸在水中稱之(牠們的重還是相等)、(赤金較重)、(夾金較重)。
- (19) 阿基米得原理的最大用途是用來測定不規則形物體的(重量)、(體積)、(密度)。
- (20) 把冰塊放入火油中,能夠(沉下)、(浮起)、(不浮不沉)。
- (21) 在廣口瓶的口上張一橡膠薄膜,把這瓶沒入水中則(膜向內凹)、(膜向外凸)、(膜仍平張)。
- (22) 高山上的大氣壓力較海面上的爲(小)、(大)、(等)。
- (23) 水銀氣壓計的真空部中有了些空氣存在,該計所示的氣壓較實際的氣壓爲(大)、(小)、(等)。
- (24) 倘使水銀氣壓計的管子過粗,測得的氣壓必定

(格外準確)、(稍低)、(稍高)。

- (25) 一空氣泡從河底昇到水面時,牠的體積要 (增大)、(減小)、(不變)
- (26) 氣候有劇變時,氣壓計的水銀柱 (驟降)、(驟昇)  
(不變)。
- (27) 在恆溫下的氣體,牠的密度和壓力 (成正比)、  
(成反比)、(無關)。
- (28) 虹吸在真空中時,其效用 (稍失)、(減小)、(增大)。
- (29) 用吸取唧筒來吸取井水,井水上昇的高度 (可以無限)、(不得過十米)、(不得過76厘米)。
- (30) 利用完善的抽氣機,可使瓶中的空氣 (完全排除)、(不能完全排除)、(排除將盡)。
- (31) 機械的好處是 (便于作功)、(效率加倍)、(得功較大)。
- (32) 在最最完善的機械 (輸入的功可小于輸出的功)、(輸入的功和輸出的功仍相等)、(輸入的功必小于輸出的功)。

- (33) 機械的利益 (= 抗力/施力)、(= 施力/抗力)、(= 施力 × 抗力)。
- (34) 持帚掃地時的機械利益 ( 大于1 )、( 小于1 ) ( 等于1 )。
- (35) 滑車是 ( 斜 )、( 槓桿 )、( 輪軸 ) 的變形。
- (36) 用錘運煤時,其 ( 支點 )、( 重點 )、( 力點 ) 在中央部。
- (37) 劈是 ( 斜面 )、( 槓桿 ) 的變形,牠的機械利益是 ( 大 )、( 小 )、( 等 ) 于1。
- (38) 機械的效率等于  $(\frac{\text{輸出功}}{\text{輸入功}})$ 、 $(\frac{\text{輸出功}}{\text{輸入功}})$ 、( 給出功 × 加入功 )。
- (39) 螺旋是 ( 斜面 )、( 槓桿 )、( 滑車 ) 的變形;牠的機械利益常 ( 大 )、( 小 )、( 等 ), 于一。
- (40) 在普通的機械,輸入的功常 ( 大 )、( 小 )、( 等 ) 于輸出的功。
- (41) 滾動摩擦常較滑動摩擦為 ( 大 )、( 小 )、( 等 )。
- (42) 一物在他物的面上滑動時,所受到的摩擦力和接觸面間的壓力 ( 無關 )、( 成正比 )、( 成反比 )。

- (43) 人負重物時,體必前傾,可使重心適在立足點的  
(前)、(後)、(上)。
- (44) 用很大的力去推堅牆,牆是不稍移動,但體力已  
告疲乏,這時候所做的功必(很多)、(很少)、(等  
于零)。
- (45) 功作(=力 $\times$ 物重)、(=力 $\times$ 距離)、(=力/距離)。
- (46) 一物體在赤道處較兩極處為(重)、(輕)、(等)。
- (47) 二力同時作用於一點時,要牠的合效最大,則須  
(平行而同向)、(平行而反向)、(互成直角)。
- (48) 相互垂直的二力,若大小不等,共同作用於某定  
點時,其合力必(偏向大力)、(偏向小力)、(在二力  
的夾角的平分線上)。
- (49) 力為(有向量)、(無向量);密度為(有向量)、(無向  
量)。
- (50) 鳥的飛翔是靠(體重較同體積的空氣為輕)、(振  
翼時的體力)、(振翼時所受到的大氣的抗力)。
- (51) 火車以高速度逆風前進時,煙突中噴出來的煙  
灰必(向後吹)、(向前吹)、(向旁吹)。



- (52) 設風從正南方吹來,一人乘腳踏車向西行他覺得風是從(正南)、(正東)、(西南)向吹來。
- (53) 無風時,人在火車中觀望窗外的雨點是(向後)、(向前)、(向側)落下。
- (54) 輪船向前駛行時,一物從桅端落下,牠下落時必(沿着桅牆)、(在桅前)、(在桅後)。
- (55) 二船初本靜止,人從甲船跳到乙船上去,則(二船仍靜止)、(二船起相互分離行動)、(甲靜乙動)、(乙靜甲動)
- (56) 手提一物自樓跳下,則覺得手中的物重(減輕)、(增加)、(稍失)。
- (57) 火車忽停時,乘客必(後仰)、(前傾)、(不動)。
- (58) 用手掌來接受急速拋來的球,要使手掌少受些痛苦,則接受時手宜(前迎)、(順勢後退)、(不動)。
- (59) 人負重急行時,忽然要想轉變方向,那是覺得(很難)、(很易)、(無所難易)。
- (60) 二人的體力不等,同立于絕對光滑的冰面上相互擊撲時,則勝負(必屬於大力者)、(屬於小力)

者)、(難分)。

(61) 動量是等于  $(ma)$ 、 $(mv)$ 、 $(\frac{1}{2}mv^2)$ 。

(62) 力的絕對單位是(爾格)、(達因)、(瓦特)。

(63) 功的絕對單位是(爾格)、(達因)、(克厘米)、(仟克米)。

(64) 動能是等于  $(mgh)$ 、 $(mv)$ 、 $(\frac{1}{2}mv^2)$

(65) 在光滑的路上舉步時(極難)、(極易)、(無所謂難易)。

(66) 一力永遠施于物體上時,若該物不再受其他的外力,則物體必以(等速)、(等加速)、(不等速)度前進。

(67) 倘使地球的質量減小到現在的一半,則物體下落時的加速度必為  $(980\text{厘米/秒}^2)$ 、 $(\frac{1}{2}980\text{厘米/秒}^2)$ 、 $(2 \times 980\text{厘米/秒}^2)$ 。

(68) 物體行動時,牠所行的路程和時間的平方成正比例者必為(等速動)、(等加速動)、(等減速動)。

(69) 鐘擺的長度增四倍,則週期(也增四倍)、(增倍)(不變)。

(70) 馬力  $(=550\text{呎磅/秒})$ 、 $(=550\text{仟克米/秒})$ 、 $(=76.05$

仟克米/秒)。

(71) 馬力是(力)、(功)、(功率)。

(72) 功率是等于 $(Ft)$ 、 $(Fs)$ 、 $(\frac{Fs}{t})$ 。

(73) 瓦特是等于 $(\frac{\text{焦耳}}{\text{秒}})$ 、 $(\frac{\text{爾格}}{\text{秒}})$ 、 $(\frac{\text{達因}}{\text{秒}})$ 。

(74) 一匹馬力等 $(\frac{3}{4}$ 仟瓦)、 $(\frac{3}{4}$ 焦耳)、 $(\frac{3}{4}$ 爾格)。

(75) 地球上一切‘能’的根本的來源是(煤)、(木材)、  
(日光)。

把正確的答案填入下列問題的空白處

(76) 華氏溫度計的沸點為……度,冰點為……度,沸點  
和冰點間等分成……度。

(77) 攝氏溫度計的沸點為……度,冰點為……度,沸點  
和冰點間等分成……度。

(78) 攝氏一度相等于華氏的……度,華氏一度相等于攝氏……度。

(79) 健康人的體溫為華氏……度,攝氏……度。

(80) 固體物質的溫度增高時,牠們的密度必……。

(81) 水在攝氏……度時的密度為最大。

(82) 把溫度計插入熱水中,牠的水銀線初必……,繼

乃……。

- (83) 有擺的時鐘在夏時較冬時要走……些。
- (84) 河底的水牠的最低溫度為攝氏……度。
- (85) 攝氏零度等于絕對溫度……度。
- (86) 在定壓力下的氣體,牠的溫度增高攝氏一度,體積的增大值恰為 $0^{\circ}\text{C}$ 時體積的……。
- (87) 查理定律是  $\frac{V_1}{V} = \frac{\dots}{\dots}$ 。
- (88) 波義耳定律是  $\frac{V_1}{V} = \frac{\dots}{\dots}$ 。
- (89) 水的融解熱是……;水的汽化熱是……。
- (90) 比熱最大的物質是……。
- (91) 融雪時較落雪時為冷,這是因為……。
- (92) 高山煮物難熟,因為高山上的氣壓較平地為……,所以水的沸點……。
- (93) 促進蒸發作用的條件是……。
- (94) 最普通的冷劑是用……組成的。
- (95) 相對濕度 =  $\frac{\dots}{\dots}$ 。
- (96) 熱水瓶的雙層壁間是真空,可以防止熱的……作用。

- (97) 熱水瓶的內壁上塗有銀質,是防止熱的……作用。
- (98) 夏衣宜白色,冬衣宜黑色,因為白布……,黑布……。
- (99) 固體物質,以……屬為良導體,……屬為不良導體。
- (100) 在夏天最困悶的日子,大氣的相對濕度必……。
- (101) 聲音是由于物體的……而成。
- (102) 空氣傳聲的速度和空氣的……和……有關。
- (103) 聲波是……波;水波是……波。
- (104) 波長,速度和頻率的關係是: 波長 = ……。
- (105) 物體的……振動生樂音,……振動生噪聲。
- (106) 音調的高低和……有關;聲音的響度和……有關。
- (107) 樂音的三要素是(1)……、(2)……、(3)……。
- (108) 開管之有助聲作用時,其管長至少是波長的…。
- (109) 用耳貼在巨口瓶的瓶口上,常常聽到嗡嗡的聲音,這是由于瓶的……作用。
- (110) 絃的振動頻率和(1) 弦長成……比(2) 弦的張力……比。

下列各題,都有幾個解答,把不對的劃去。

(111)聲音能夠在(真空中)、(氣體中)、(液體中)、(固體中)遞播。

(112)火車駛近車站時,牠的汽笛聲應較停駛時的是(高)、(低)、(等)。

(113)把大鼓的聲和鈴聲相比,則鼓聲(高而弱)、(高而響)、(低而弱)、(低而響)。

(114)弦樂器上的弦愈細則(音愈高)、(音愈低)、(音愈強)。

(115)彈撥弦的中部或弦的近端處,所生的音不會相同的,其不同點是在(音調)、(響度)、(音品)。

(116)二音同奏,十分諧和的,其音程必(簡單)、(繁複)、(不定)。

(117)簫壁的孔是用來改變(音調)、(音響)、(音品)的。

(118)口腔和鼻腔是天然的(發音器)、(助聲器)、(增音板)。

(119)(do-re-mi)、(do-mi-sol)、(so-fa-la)、(so-si-re)、(fa-la-do)是和諧的。

(120)欲使琴音豐富,則胡弓拉弦處當在(弦的中部)。

- (弦的近端處)。
- (121)光的速度是一切速度中的(最大的)、(較大的)、  
(較小的)。
- (122)日蝕時(日在地球和月球之間)、(月在日球和地球之間)、(地球在日球和月球之間)。
- (123)油質滴在窗紙上,人在室內觀察該紙見油點較他部爲(明)、(暗)。
- (124)日光射進絕無微塵的室中,光的進行路徑(可以被人明顯地看見)、(看不見的)、(也許看得見)。
- (125)平面鏡內的像是(虛而倒立)、(實而正立)、(實而倒立)、(虛而正立)。
- (126)在兩面垂立而平行的平面鏡間,放一物體,則鏡內的像數爲(無窮)、(有限)、(不定)。
- (127)球面鏡的焦距和曲率半徑的比,爲(1:1)、(1:2)、(2:1)。
- (128)凹鏡的焦點爲(虛)、(實);凸鏡的焦點爲(虛)、(實)。
- (129)以竿斜插入水中,在水中的部分看來必向(上)。

(下),屈折。

(130)斜視河底時,若眼的位置愈低,則河的深度看來要(減小)、(增大)、(不變)。

(131)紅字寫在白紙了,戴不紅玻璃的眼鏡來讀這字時,則字跡(模糊)、(分外明顯)、(明顯程度未變)。

(132)用藍色布條放在紅光中,則呈(藍色)、(綠色)、(黑色)、(紅色)。

(133)若燈光中缺少了紅色光線,人立燈光之下,則面色必呈(灰白)、(紅潤)、(黝暗)。

(134)不透明物體的顏色,全靠(被吸收)、(被反射)、(吸收和反射)的光色來決定。

(135)透明物體的顏色,全靠(透過)、(反射)、(吸收)的光色來決定。

把正確的答案填入下列各題的空白處:

(136)光的反射定律是(1).....(2).....。

(137)日光並沒有射進室中,但室內仍能光亮者這是靠了光的.....作用。

(138)影是由于光的.....性所成。



(139) 平行光線,依着主軸的方向投在凹鏡上,其反射光線必……………。

(140) 平行光線,依着主軸的方向投在雙凸透鏡上,其透過的光線必……………。

(141) 凹鏡的成像作用和……透鏡相類似。

(142) 只能成虛像的是……鏡和……透鏡。

(143) 人用凹鏡自窺直立的像,像形較自身為……。

(144) 初入暗室,張目不能看見一物,這是因為眼的瞳孔……………。

(145) 朝晨的虹,必出現在天空的……方;將晚的虹,必出現在天空的……方。

(146) 會集透鏡的放大作用愈大,牠的焦距必……………。

(147) 草上的露珠,映在日光中,則明亮異常,這是由于光在水滴中的……作用。

(148) 互為補色的光,合併後呈……色。

(149) 日光的色譜,……色恰居中。

(150) 白紙放在紅光中呈紅色,黃光中呈黃色,綠光中呈綠色,這是因為白紙能……………。

把正確的答案填入題中的空白處;把不對的解答劃去:

(151)能被磁鐵所吸引的物質是(鐵)、(鋼)、(銅)、(鎳)、  
(錫)。

(152)天然磁鐵是一種(純粹鐵質)、(氧化鐵)、(氧化銅)、  
(氯化鐵)。

(153)磁性是似極相……、異極相……。

(154)地球的北極有……磁性,南極有……磁性。

(155)一隻磁化的鋼針,浮在水面上而停止時,必在……  
……向。

(156)發明指南針的是(哥倫布)、(富蘭克林)、(黃帝)。

(157)用磁鐵去接近鐵質時(磁能吸鐵)、(鐵亦吸磁)、  
(鐵不吸磁)。

(158)普通磁棒的磁性集中在棒的……。

(159)磁鐵受了……等作用,則磁性極易消去。

(160)把磁針切斷,則每段(變成了獨立的磁針)、(的磁性消失)、(只有一個磁極)。

(161)電(只有一種)、(有正負二種)、(有陰陽、正、負四種)。

(162)以絲布擦玻璃棒,棒上起……電,布下起……電。

(163)用嘩嘩布擦自來水筆桿,則桿上起……電,布上起……電。

(164)摩擦起電時,正負兩種電(必同時產生)、(不能同時產生)、(可設法使牠們同時產生)。

(165)摩擦起電時,所用的儀器宜(乾燥)、(潮濕)、(不乾不濕)。

(166)用帶有負電的火漆棒去接近驗電器的金屬桿,見金葉展開,這時葉上必帶(正)、(負)電。

(167)避雷針是(華盛頓)、(富蘭克林)、(牛頓)所發明的。

(168)避雷針的能避電擊,是根據于……原理。

(169)電可以存留在金屬器的(表面)、(內面)、(內部)。

(170)起電盤的能夠連續起電是由于(傳導)、(摩擦)、(感應)作用。

(171)各種不同物質的原子都是由……和……所組成。

(172)最簡單的濕電池由……片和……片浸入……的溶液所組成。

(173)組成乾電池的主要原料是……。

- (174)電流的單位爲……、電壓的單位爲……。
- (175)歐姆定律是:……………。
- (176)電鍍時,應將欲鍍之物接於……極。
- (177)用銅絲連結乾電池的兩極,則絲內的電流方向  
由(碳棒至鋅片)、(由鋅片至碳棒)。
- (178)設電流自南至北,磁針放在電線下面,則針的指  
北極偏于(東)、(西)、(南)、(北)。
- (179)利用電磁鐵來製成的儀器,其中最普通的如…  
……………等。
- (180)電燈是(富蘭克林)、(愛迪生)、(法拉第)發明的。
- (181)最優良的電燈,其泡內是(真空)、(稍留空氣)、(稍  
實氬氣)。
- (182)發電機所產生的電勢是由於(感應作用)、(摩擦  
作用)、(導線割過磁力線)。
- (183)發電機是把……能變爲……能的裝置;電動機是  
把……能變爲……能的裝置。
- (184)發生電流的機器俗語叫做(馬達)、(代那摩)、(引  
擎)。

(185)感應圈的原線圈較副線圈(線粗而匝數多)、(線粗而匝數少)、(線細而匝數多)。

(186)變壓器(只適用於交流電)、(只適用於直流電)  
(既適用於交流電,也適用於直流電)。

(187)變高變壓器的原線圈的匝數較副線圈的為  
(多)、(少)、(等)。

(188)變壓器的電壓和線圈的匝數的關係為:

$$\frac{\text{原線圈的電壓}}{\text{副線圈的電壓}} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots}$$

(189)(電燈)、(電話)、(無線電機)、(電鍍)、(蓄電池的過電)必須用直流電。

(190)(電燈)、(電話)、(無線電機)、(電鍍)、(變壓器)必須用交流電。

# 初中物理學

版權所有 翻印必究

編輯者 胡 愨 風  
校閱者 胡 剛 復  
發行人 李 志 雲  
發行者 北新書局

下 冊 實售四角半

民國二十五年七月三版

出版者 青光書局

發行所 上海 四馬路中市  
電報 掛號一一六三  
分售處 北成廣開南重慶武昆貴  
平都州封京慶門漢明陽

北 新 書 局

75  
—  
15

