



中 華 文 庫

初 中 第 一 集

物 理 學 初 步

徐 天 游 編

中 華 書 局 印 行



物理學初步目次

第一章	物理學是什麼	1
第一節	現象	1
第二節	物理學的分類	1
第三節	固體液體和氣體	2
第四節	物體是什麼構成的	3
第五節	計算的單位	3
第六節	質量和重量相同嗎	6
第七節	密度和比重	7
第二章	液體	9
第一節	液體能壓縮嗎	9
第二節	液體內部的壓力	9
第三節	自來水	11
第四節	水壓機是怎樣的	13
第五節	物體在水中要失去重量	15
第六節	怎樣測定比重	17
第七節	分子	19
第八節	吹肥皂泡	21
第九節	吸水紙為什麼會吸墨水	22
第三章	氣體	23

第一節	氣體能壓縮嗎	24
第二節	大氣的壓力	24
第三節	大氣壓力怎樣測定的	25
第四節	氣壓計是怎樣的	27
第五節	氣體的體積和壓力有關係嗎	28
第六節	氣球爲什麼會上升呢	29
第七節	虹吸管	30
第八節	唧筒	31
第九節	皮球爲什麼會跳躍	34
第四章	運動和力	36
第一節	物體的運動和靜止	36
第二節	速度和加速度	37
第三節	力	40
第四節	合力和分力	42
第五節	力矩和力偶	44
第六節	飛機何以能在空中飛行呢	45
第七節	萬有引力和重力	48
第八節	重心和穩度	50
第九節	擺和離心力	52
第十節	功和能	54
第十一節	三種槓桿	56
第十二節	摩擦	58

第十三節	滑輪和輪軸	61
第十四節	斜面 and 螺旋	63
第五章	熱	65
第一節	熱的來源	65
第二節	怎樣傳遞的	65
第三節	溫度和溫度計	69
第四節	膨脹	71
第五節	熱的計算	74
第六節	物態的變化	75
第七節	大氣中的水汽	77
第八節	利用熱的機器	79
第六章	聲	83
第一節	聲是怎樣發生的	83
第二節	聲波的反射和折射	85
第三節	樂音	87
第四節	發聲體和共振	88
第七章	光	93
第一節	光波是怎樣發生的	93
第二節	日蝕和月蝕	94
第三節	照度和光度	96
第四節	光的反射	98
第五節	光的折射	104

第六節	眼的補助	111
第七節	照相機和影片	113
第八節	顯微鏡和望遠鏡	115
第九節	虹霓和物體的顯色	118
第八章	磁	122
第一節	磁體的性質	122
第二節	地磁和羅盤	124
第九章	電	127
第一節	紙屑的跳舞	127
第二節	電的傳導	129
第三節	電的感應	129
第四節	空中的雷電	133
第五節	電和流體一樣是會流動的	134
第六節	電容和來頓瓶	135
第七節	電池	137
第八節	電阻	139
第九節	電流的化學效應	142
第十節	電流的磁效應	145
第十一節	電流的熱效應	149
第十二節	電磁感應	151
第十三節	發電機、電動機和變壓器	154
第十四節	電扇、電車和電表	157

第十五節	電話	159
第十章	無線電和射線	160
第一節	電磁波和電共振	160
第二節	檢波器	161
第三節	無線電報和電話	163
第四節	放電	166
第五節	霓虹燈	166
第六節	X射線	168
第七節	放射性	169
問題		171

物理學初步

第一章 物理學是什麼

第一節 現象

我們生存在這自然界中，常可以見到許多的自然變化。例如：天熱了，就會發生風；天冷了，水就會結冰；木柴放在火中，就會燃燒；時間由晝而夜，由夜而晝，循環不已；夏季的夜間，天空閃爍的星；雨後天空的虹霓等等，都是自然界中的現象。這種現象，有關於物質變化的，如木柴燃燒後成炭，炭的形態、性質，和木柴完全不同，這叫做**化學變化**(Chemical change)，也就是化學現象。有關於物態變化的，如水凝成冰，冰和水的形態雖然不同，但它們的物質並沒有改變，這叫做**物理變化**(Physical change)，也就是物理現象。

第二節 物理學的分類

自然界的現象，雖然千變萬化，但都有一定的規律，研究這種現象的科學，叫做**自然科學**(Natural science)，自然科學有**物理學**(Physics)、**天文學**(Astronomy)、**化學**(Chemistry)、**植物學**(Botany)、**動物學**(Zoology)、**礦物學**(Mineralogy)等等，物理學是專門研究物質的性質、物態和能量變化的科學，

可分為下列的六門：

- 一、力學(Mechanics)；
- 二、熱學(Heat)；
- 三、聲學(Sound 或 Acoustics)；
- 四、光學(Light 或 Optics)；
- 五、磁學(Magnetism)；
- 六、電學(Electricity)。

第三節 固體液體和氣體

我們睜開眼睛，就看見有很多的東西在我們的周圍，直立的山石，流動的河水，浮游的雲霧，拂面的微風，和一切的事物，有的靜，有的動，種種不同。但是綜合起來說，這一切的事物態(State of matter)，不過祇有固體(Solid)、液體(Liquid)和氣體(Gas)的三種分別。例如石是固體，水是液體，空氣是氣體。

所以我們可以知道固體的形狀是一定的，它的體積也是一定的，譬如一塊石頭，既不容易改變它的形狀，也不容易改變它的體積。而液體的形狀却會隨了容器改變，茶杯中的水，傾在方盒子中，它的形狀就完全不同，但是它的體積並沒有增減。至於氣體的形狀和體積，都不一定，可以隨着容器的形狀、大小而改變。

在上面所說的固體、液體、氣體三種之外，還有像牛皮

糖、蜂蜜等一類的東西，在短時間內雖亦具有一定的形狀，好像固體，但經過相當時間後就漸漸變成液體，這種介乎固體、液體中間的東西，我們叫它為黏體(Viscous body)。

第四節 物體是什麼構成的

山石、河水、雲霧、空氣等等的東西，我們有的可以用眼看見它，有的可用手摸到它，有的也可以用我們的感覺辨別它，知道它的存在，知道它的種類。而且它們在空間也佔有一定的位置，這些東西，我們就叫它為物體(Body)。

物體是什麼構成的呢？我們知道：一把小刀，是由鐵做成的；一個墨水瓶，是由玻璃做成的。這做成小刀的鐵，和做成墨水瓶的玻璃，我們就叫它為物質(Matter)。因此我們可以知道一切物體都是由物質構成的。

第五節 計算的單位

物理學既是研究物理現象——物質的性，物態和能量變化——的一種科學，那末必定先要知道怎樣測度它的大小多寡，用一種精確的數值來表示它。這種可以測度的量，叫做物理量(Physical quantity)，例如人體的長短，水流的快慢等等。要想測定這種數量，必定先在同類量中，規定一個標準，叫做單位(Unit)，例如買布三尺，這個尺就是布長的單位。

在物理學上，有很多種的量，如果要一一都定一個單位

出來，勢必非常的繁複，為便利研究起見，通常僅制定**長度** (Length)、**質量** (Mass) 和**時間** (Time) 三種單位，叫做**基本單位** (Fundamental unit)。其他的各種單位，都可由此推出來，叫做**導出單位** (Derived unit)。

(1)**長度的單位** 物理學上公認的長度單位為**米** (Meter)，又叫做公尺，適等於我國市尺的三尺。米尺的標準器如圖 1，是一個鉑銻合金棒，它的斷口成 X 形，溝底靠近兩端，刻有兩條平行橫線，在這二線間的長，就是一米。更用十進的倍數和約數，以得其他高低各級的單位，叫做**十進制** (Metric system) 列表如下：

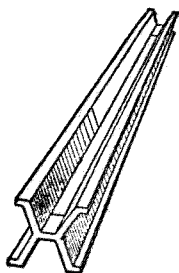


圖 1 標準米尺

仟米 (Kilometer) 或公里 = 1000 米；

佰米 (Hectometer) 或公引 = 100 米；

什米 (Dekameter) 或公丈 = 10 米；

分米 (Decimeter) 或公寸 = 0.1 米；

釐米 (Centimeter) 或公分 = 0.01 米；

毫米 (Millimeter) 或公釐 = 0.001 米。

面積和體積的單位，都是長度的導出單位。例如**平方厘米** (Square centimeter) 就是每邊長 1 厘米的正方形；**立方厘米** (Cubic centimeter) 就是每邊長 1 厘米的立方體；1000 立方厘米的容積，叫做 1 **公升** (Liter)，一公升就是我國市制的一市

升。

(2)質量的單位 質量就是表示物質的多寡的量，物理學上公認的質量單位為**千克**(Kilogram)或公斤，適等於我國的二市斤，千克的標準器是一個鉑銻合金的圓柱，如圖 2，也依十進法分為高低幾級，列表如下：

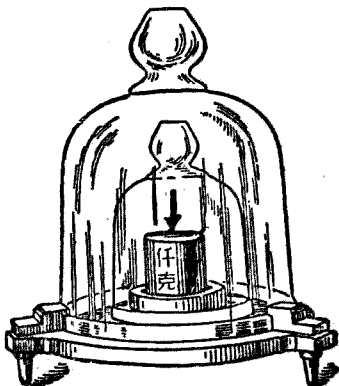


圖2 標準千克

千克(Kilogram)或公斤=1000克

佰克(Hectogram)或公兩=100克

什克(Dekagram)或公錢=10克

克(Gram)或公分=0.001千克

分克(Decigram)或公厘=0.1克

厘克(Centigram)或公毫=0.01克

毫克(Milligram)或公絲=0.001克

因為水在攝氏 4° 時，1 公升的質量，差不多等於1 千克，所以水的質量和體積有簡單的關係，就是質量的克數和體積的立方厘米數，兩個數目相同，兩個量中，知道一個，就可以知道另一個了。

(3)時間的單位 物理學上公認的時間單位為**平均太陽日**(Mean solar day)自今日的午刻，到明日的午刻，所歷的時間，叫做1 太陽日。因為地球在橢圓形的軌道上繞日而轉的

所以每一自轉，太陽日的長短就不相等，於是取一年中的平均數，定為一日 (day)，就是平均太陽日。1 日分為 24 小時 (Hour)，1 時分為 60 分 (Minute)，1 分又分為 60 秒 (Second)。我們日常所用的時間，就是平均太陽時 (Mean solar time)。

上面所說的長度、質量、時間三種基本單位的厘米、克、秒，簡稱為 C. G. S. 制 (Centimeter-Gram-Second system) 單位。

第六節 質量和重量相同嗎？

你假使把手臂伸平了，在手上拿一個小紙團，你就感到它有重量 (Weight)，不多的時間，你就會覺着手臂疲乏，把手放開，小紙團馬上就向地面落下，這是什麼道理呢？這因為地球有一種吸引物體的力 (Force)，這力叫做重力 (Gravity)。物體的所以有重量，就是因為物體受了地球的重力牽引的緣故。地球是橢圓的，所以重力各處不同。於是物體的重量，也就隨了地位而改變。例如在地面上一斤重的物體，拿到高山頂上去，就要較輕一些。但是物體的重量雖然較輕，而物體的質量並不曾減少。這是因為物體並不因地位不同，而改變它所含物質的量。所以我們可以把質量和重量的區別分述如下：

質量是物體所含物質多寡的量，不因地位而改變；

重量是物體所受地球重力大小的量，因地位而不同。

在同一地點，兩個質量相等的物體，所受的重力也必相

等，就是重量相等。質量越大，重量也越大。所以比較兩物體的重量，就可以知道它們的質量。平常測定質量的器具，是用一個**天平** (Balance) 如圖 3，用已知質量的**砝碼** (Weights) 做標準；因砝碼的質量，無論在何處並不會改變，所以用天平所測定的，是質量。

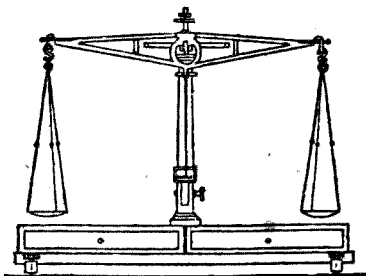


圖3 天平

因重力各地略有不同，同一物體，在重力大處重量大，在重力小處重量小。**彈簧秤** (Spring balance) 如圖 4，它的指針移動的距離，和所加的力成正比，因此把物體懸在彈簧秤上，它指針移動的距離在各地不同，所以用彈簧秤測定的是重量，而不是質量。



圖4 彈簧秤

第七節 密度和比重

我們已經知道質量這個名詞，是指物體中所含物質多寡的量。世界上各種物體，所含物質的量，是不相同的，我們如把單位體積的物體，所含物質的量的大小，來作一個測定，就叫做**密度** (Density)。在 C. G. S. 制中，密度的單位，是克/立方厘米，例如 1 立方厘米的水，它的質量是 1 克，就是水的密度是 1 克/立方厘米。常用物質的密度列表如下：

固 體 (克/立方厘米)					
鋁	2.58	鉛	11.36	鑄鐵	7.4
黃銅	8.5	鎳	8.9	鎢	19.6
銅	8.92	鉑	21.4	銀	10.5
鋅	7.1	金	19.36	錫	7.3
玻璃	2.6	冰	0.917	硬木	0.7—1.1
軟木	0.4—0.7	栓木	0.25	花崗石	2.5—3
液 體 (克/立方厘米)					
水(4°C)	1.00	硫酸	1.8	水銀	13.6
酒精	0.79	二硫化碳	12.9	甘油	1.26
鹽酸	1.29	海水	1.026	汽油	0.75
氣 體 (克/立方厘米)					
空氣(0°C, 76厘米水銀柱高)		0.001293	氫		0.00008988
煤氣		0.00075	氧		0.001429

如果我們已知道某一物體的質量是多少，祇要求出它的體積是有多個單位體積，就可以求得它的密度。例如已知鉛的體積是 200 立方厘米，質量是 2272 克，那麼它的密度就等於 2272 克 ÷ 200 立方厘米 = 11.36 克/立方厘米。現在我們用 D 代密度， M 代質量， V 代體積，就可以得一個算式如下：

$$D = \frac{M}{V}$$

把某一物體的質量和它同體積的水 (4°C) 的質量的比，叫做比重 (Specific gravity)。比重是一個比數，是純粹的數字 (不名數)，所以不像密度一樣有單位。不過因為水的密度在攝氏 4° 時是 1，因此比重的數值在 C. G. S. 制常和密度一樣。

第二章 液體

第一節 液體能壓縮嗎？

我們在前面已講過，液體形狀可以改變，而牠的體積並不增減，我們如把水或任何液體，放滿在玻璃瓶中，上加木栓，用力壓下，木栓並不會向下。如用力過大，瓶就會破裂。因此可知液體的體積是一定，雖受到大的壓力，也不能使它壓縮。

第二節 液體內部的壓力

在桶中放水，桶底就因水的重量，而受到一種力，這叫做**總壓力** (Total pressure)。總壓力的大小，等於桶中水的總重量。就是：

$$\text{總壓力} = \text{底面積} \times \text{深度} \times \text{密度}；$$

若是把桶底分成多少個單位面積，那末每一單位面積上所受到的壓力，叫做**壓力強度** (Intensity of pressure)，或簡稱做**壓力** (Pressure)。就是：

$$\begin{aligned} \text{壓力強度} &= \text{單位面積} \times \text{深度} \times \text{密度}。 \\ &= \text{深度} \times \text{密度}。 \end{aligned}$$

液體的壓力，既是由重量而發生，所以它不僅是對於容器的底面有**下壓力** (Downward pressure)，即它的內部也有壓力，我們可以在下面的實驗中證明它：

實驗 1. 如圖 5 將銅片按住無底玻璃圓筒的下端，將筒

壓入水內，銅片和筒口並不脫離，這可證明水有一種向上的壓力，支持銅片。此時如注水入筒，直到筒內外的水面相齊時，銅片就沉下。可知這時水中向上的壓力，適等於筒內水柱的重量，銅片因自身的重量而沉下。

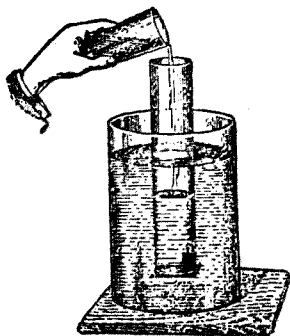


圖5 液體內部的壓力

實驗 2. 取一圓鐵筒，在筒旁鑽有直行的上下數孔，滿盛以水，如圖 6，這時水就從小孔中射出，並且小孔愈下，射出的水愈急愈遠。可知水對於筒的側壁也有一種壓力，叫做旁壓力，這旁壓力的大小，也和水的深度成爲正比。

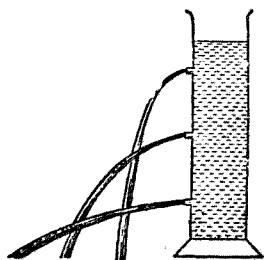


圖6 液體的旁壓力

實驗 3. 取一端封閉的玻璃管一段，管中放入紅色或藍色墨水一滴。橫置在米尺一旁，管的開端聯以橡皮管，橡皮管的他端裝一小口漏斗，漏斗口上緊縛一橡皮薄膜，如圖 7，如用手指壓橡皮

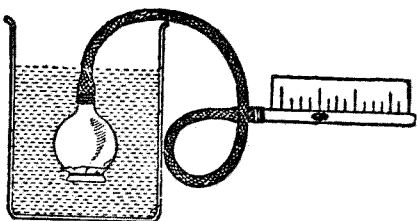


圖7 液體內各方向壓力均相同

膜，玻璃管內墨水滴就向閉端移動。去指，墨水滴就回原來的地位，若壓力增大，墨水滴移動的距離也就增加。所以視墨水滴移動的遠近，就可知橡皮膜上壓力的大小。現在把橡皮膜向下，將漏斗壓入水中，記出墨水滴移動的地位，再把漏斗翻轉，使橡皮膜向上，或側轉漏斗，使橡皮膜向任何方向，而令膜面在水中的深度相同，就可見墨水滴移動的地位並沒有變更。

由上面的實驗，可知液體的內部有**上壓力**(Upward pressure)、**下壓力**和**旁壓力**(Lateral pressure)，而且在同一深度內，各種壓力的強度是相等的。

第三節 自來水

水平面(Level surface)這三個字，我們有時常會見到。那末水面——液體的表面，何以會平呢？是否平呢？我們在前面已講過，物體因受了地球的重力作用。常垂直地面向下落，液體當然不能例外，也是依了重力的方向，垂直向下。但是液體能自由滑動的，當它各部分都受到重力的作用時，若是表面傾斜不平，容器內液面下的深度，就不等，容器內的液體，就發生壓力的相差。於是高的地方的液體，必向低處流動，到深度相同，壓力相等後，方會靜止。這時的液面就成了水平，而且和地球的重力成爲垂直。因液體的表面常保持水平，所以叫做液體的**自由面**(Free surface)。

普通檢驗平面，是否水平，常用一種器具，叫做**水準器** (Level)，如圖 8，管中封入酒精，或醚，或其他極易流動的液體，留一小氣泡，裝在一平板上，用時將此器放在平面上，如氣泡恰在正中，那末這平面就是水平面；否則氣泡必偏於平面高的部分。



圖8 水準器

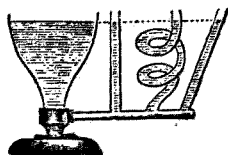


圖9 連通器

連通器 (Communicating vessels) 如圖 9，就是應用液體的表面常保持水平的原理，所裝置成的一種器具。將水注入一個容器中，水必流入其他的幾個容器，至各容器的液面到同一水平面後，方始靜止。

自來水 (Water supply) 的裝置，和連通器的原理相同。先用唧筒 (Pump) 把水壓上貯水塔，使塔中的水平面高出地面，再用鉛管從塔底通至各處，如圖 10，這時水在各處因為要保持同一的水平面，所以雖在高樓上，亦可得水。

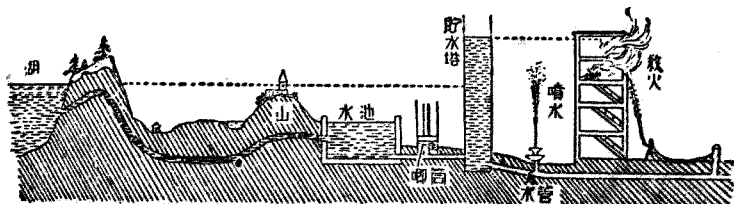


圖10 自來水

第四節 水壓機是怎樣的

液體既是沒有壓縮性的物質，那末把力加在封閉器中的液體上，這力馬上就由液體向容器各方傳遞，大小不變，而且方向都是和器壁垂直，如下面的實驗：

實驗4. 如右圖，玻璃管中置一活塞管，下裝一橡皮球，用針在球上鑽數小孔，球中充滿液體，推活塞向下，球中液體就從各孔中依球面的垂直方向射出，而且射出的強度相等。

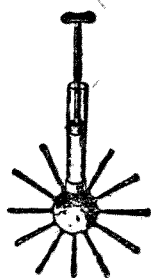


圖11 液體的壓力

上面這個關係叫做巴斯噶原理 (Pascal's principle)。利用巴斯噶原理，可用較小的力，以生較大的力，如圖12， A 及 B 為大小二圓筒，底部通連，內盛液體，液面上各浮一活塞，活塞的大小和筒的大小適合。設 A 筒活塞的面積是6平方厘米， B 筒活塞的面積是2平方厘米，這時如在 B 活塞上加20克的力，那 B 筒液面每一平方厘米所受的力是 $\frac{20}{2} = 10$ 克/平方厘米，這力傳

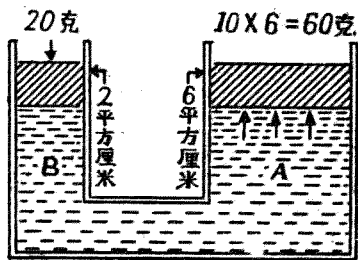


圖12 壓力的傳遞

到 A 活塞的每一平方厘米面積上，也是10克/平方厘米。於是 A 活塞的全面積上，就受到 $10 \times 6 = 60$ 克的力。若是 A 活塞更

大時，受到的力也就更大。如以 A 代大活塞面積， B 代小活塞， F_1 代大活塞上所受的力， F_2 代小活塞上所加的力，就可得一普遍的算式如下：

$$F_1 = \frac{F_2}{B} \times A;$$

或

$$\frac{A}{B} = \frac{F_1}{F_2}$$

水壓機(Hydraulic press)就是利用巴斯噶原理所製成。它的構造如圖 13。當右方的小活塞上升時， C 內的液體，就推開活門 V 而上升，當小活塞下降時，活門 V 被壓緊閉，活門 V' 就被推開，於是小活塞下增加的壓力即向左方大筒內的液體傳遞，大活塞 P 底面受了這向上的壓力，就向上移動，以擠壓放在活塞上的物體。普通如釘書作的壓平書籍，棉花、紗布等物的打包，金屬板上打孔，由植物種子內榨油，以及試驗材料的強度，和各種工作需要極大壓力時，都是應用這種水壓機。

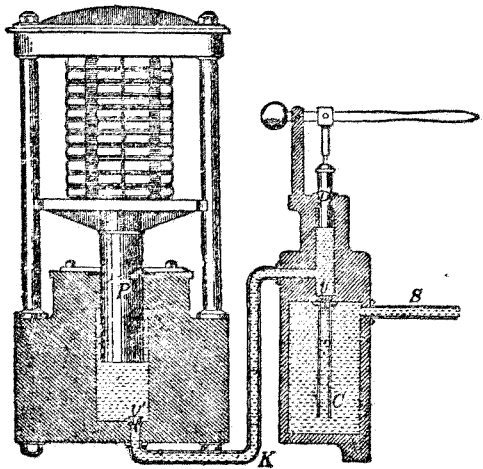


圖 13 水壓機

籍，棉花、紗布等物的打包，金屬板上打孔，由植物種子內榨油，以及試驗材料的強度，和各種工作需要極大壓力時，都是應用這種水壓機。

第五節 物體在水中要失去重量

人在水中游泳，身體就會浮起，用手在水中舉起重物，比在空氣中輕，這是什麼原因呢？我們已經知道液體的內部是有壓力的。當一物體在液體中時，這液體同時受到兩種力：一種是重力，一種是周圍液體的壓力。這時物體所受的旁壓力，因深度相同，壓力相等而抵消；而所受的下壓力，就因為在固體上面的液體深度，較在固體下面的液體深度不同，比上壓力小，於是物體所受的重力就要減輕一部分。這減輕物體重量的力，叫做浮力(Buoyancy)。

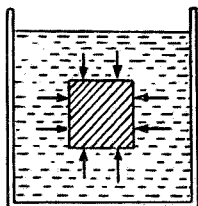


圖14 液體的浮力

實驗 5. 如圖15，在天平的左方懸一金屬圓柱 B ，和恰

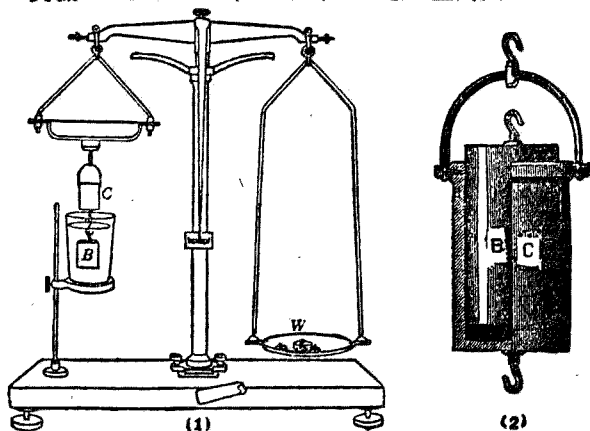


圖15 阿基米得原理的證明

能容這圓柱的圓筒 C ，在右盤配置砝碼 W ，使成平衡。然後將圓柱放入水中，天平的左端就向上傾斜。若在圓筒中注水，天平的傾斜漸小。到筒內的水已充滿，天平就恢復原來的平衡狀態。

由上面這個實驗，更可知物體在液體中所受的浮力，等於它同體積的液體的重量。這個關係，叫做阿基米得原理 (Archimedes' principle)。

由阿基米得原理便可推知物體在液體中的浮沉和它重量的關係：即是物體的重量倘比它排開同體積的液體重量大，這物體就下沉。若是物體的重量比牠排開同體積的液體重量輕，那末浮力大於重力，這物體就上浮，至物體的重量適和浮力相等為止，若是物體的重量適和它排開同體積的液體重量相等，那末浮力等於重力，物體在液體中的任何部分都可靜止。這種能浮於液體中的物體，我們叫它做浮體 (Floating body) 根據上面所說的關係，和阿基米得原理，就可得一浮體定律 (Law of floating body)，即浮體沒入部分所排開的液體的重量，適等於該浮體的重量。我們試再由下面的實驗來證明：

實驗 6. 取一溢水桶放在台秤 (物理天平) 的盤上，如圖 16，加水於桶中，使水面和出水孔相平，然後加砝碼於另一盤，使台秤平衡，再取一浮體緩緩置於水中，這時水就由出水口流出，用盃將流出的水盛受，等水流停止，台秤仍是平衡，再測浮體的重量和流出的水之重量，就可知流出的水

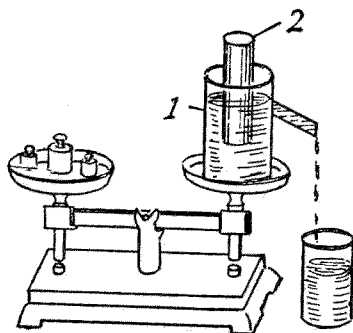


圖16 浮體實驗 1. 溢水桶 2. 浮體

適等於浮體的重量。

第六節 怎樣測定比重？

比重的意義，我們在前面已講過是一物體的質量和它同體積的水的質量在 4°C 時的比數。那末怎樣去測定它呢？普通用下面的幾種方法：

(1) 固體的比重較水大時，可先在空氣中測得它的重量，設為 W_1 ，再把它放在水中，測得它的重量為 W_2 ，由阿基米得原理可知

$W_1 - W_2 =$ 固體在水中失去的重量 = 與固體同體積的水的重量。

所以它的比重可由下式求出：

$$\text{比重} = \frac{W_1}{W_1 - W_2} = \frac{\text{固體的重量}}{\text{固體在水中失去的重量}} = \frac{\text{固體的重量}}{\text{同體積的水的重量}}$$

(2)固體的比重較水小時，可先測得它在空氣中的重量，設為 W ，再把它的面懸一重錘，沈錘於水中，而使它仍在水外，測得它的重量為 W_1 再把它和錘都放在水中，測得它的重量為 W_2 ，因為

$$W_1 = \text{固體在空氣中的重量} + \text{錘在水中的重量}$$

$$W_2 = \text{固體在水中的重量} + \text{錘在水中的重量}$$

所以 $W_1 - W_2 = \text{固體在水中失去的重量}$
 $= \text{與固體同體積的水的重量。}$

由下式可求出：

$$\text{比重} = \frac{W}{W_1 - W_2}$$

(3)求液體的比重時，可先取一固體，在空氣中測定它的重量為 W ，再把這固體放在水中，測得它的重量為 W_1 ，再放這固體於擬測的液體中，測得它的重量為 W_2 。因為

$$W - W_1 = \text{固體在水中失去的重量}$$

$$= \text{與固體同體積的水的重量；}$$

$$W - W_2 = \text{固體在液體中失去的重量}$$

$$= \text{與固體同體積的液體的重量。}$$

所以由下式可求出：

$$\text{比重} = \frac{W - W_2}{W - W_1}$$

(4)用**比重瓶**(Specific bottle)求液體的比重。如圖17，先測此瓶的重量為 W ，然後把擬測的液體充滿瓶內，測得總重量

爲 W_1 ，再將瓶內液體傾出，以水盛滿，測得總重量爲 W_2 ，因爲 $W_1 - W$ 和 $W_2 - W$ 是同體積的液體和水的重量，所以

$$\text{比重} = \frac{W_1 - W}{W_2 - W}$$

(5) 工業上測液體的比重，普通用比重計 (Hydrometer)，如圖 18，是一個中空的玻璃管。下端裝有水銀或鉛粒，以便比重計能在液體中垂直浮立，管中封入一紙條，上刻比重的度數。測時把比重計放入液體中，依浮體的定律，比重計所排除的液體的重量，等於比重計的重量，所以液體愈重，比重計愈浮得高，液體愈輕，比重計愈沉得下，觀察玻璃管中紙條的刻度，就可以知道液體的比重。



圖17 比重瓶

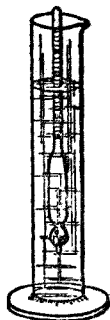


圖18 比重計

第七節 分子

物體是物質構成的，我們在前面已講過，那末物質又是怎樣組成的呢？你試把一枝粉筆分折，就可以分成兩段，再分就可以分成四段，如是繼續着分下去，一定可以把它分成無數的細小粒子，以至分到不能再分，比粉末還小，人目所不能見的極小微粒，這些微粒的性質和原來粉筆的性質一樣。這種不能再分的微粒，就是組成粉筆的分子 (Molecule)。其他一切的物

質，都是這樣，由無數的分子所組成。

如用化學的方法，把分子再分，就可得到比分子還小，而性質和分子不同的微粒，叫做**原子** (Atom)。原子的構造，是由**原子核** (Nucleus) 和數目不同的**電子** (Electron) 所組成的。

分子是極小的微粒，我們雖用很精細的顯微鏡，也不能看見。它們中間有着相當大小的空隙，而且每一分子都在不規則的運動着。我們可以在下面的實驗中證明：

實驗 7. 把錘擊木塊，就見被擊處凹下。可見分子受錘的壓力，把它們中間的空隙縮小。

實驗 8. 在玻璃杯中注水，滴入紅墨水數滴，就見兩種液體，因分子的運動，漸漸混合。

分子中間的空隙，固體、液體、氣體大小各不相同，比較的，氣體最大，液體較小，固體最小，而且分子的運動，也是氣體的迅速自由，液體的較慢，固體的更慢。

分子和分子，在短距離間，有一種互相吸引的力，叫做**分子力** (Molecular force)，物體所以能保持它們的狀態，就是因為有分子力的緣故，凡同類分子間的吸引力，叫做**內聚力** (Cohesion)；異類分子的吸引力，叫做**附着力** (Adhesion)。銅、鐵、石塊等固體，不易敲碎，桌上的水銀小粒自成球形，都是因為內聚力；漿糊能粘貼紙片，粉筆可以在黑板上寫字。都是附着力。

第八節 吹肥皂泡

實驗9. 用一玻璃管，甲端蘸少許肥皂液，乙端用口吹氣，就成一球形的肥皂泡。

口一離開，肥皂就縮小。如在乙端近旁，放一燭焰，則肥皂泡縮小時，可壓出泡中空氣，使燭焰偏斜，如圖19。

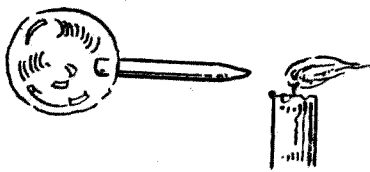


圖19 肥皂泡縮小

實驗10. 用銅絲曲成一環，環上繫一細線結成的圈，全體浸入肥皂液中，取出時環上蒙液膜一層，如圖20的(1)，用燒熱的鐵針刺破細線圈中的膜面，則線圈外的液膜

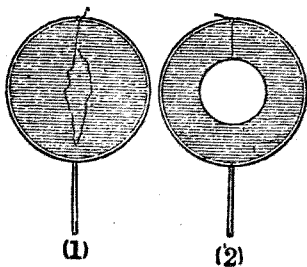


圖20 液膜的表面張力

收縮，將細線圈曳開，成一圓形，如圖20的(2)。

由上面的實驗可知液體的表面，和緊張的橡皮膜一樣。有收縮至最小面積的力。這叫做**表面張力**(Surface tension)。

實驗9的肥皂泡因液面收縮，可將空氣壓出；實驗10因細線圈外液面要縮小，所以把圈內的面積擴至最大的圓形。——因由幾何學原理，凡周圍一定時，圓面積為最大。——又如池塘的水面，常見

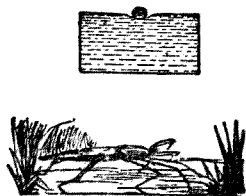


圖21 表面張力

有小蟲能自由行走，如圖 21；鐵針雖比水重，但留心放在水面，亦能浮而不沉，都是表面張力的作用。

液體爲什麼有表面張力呢？我們試作一個比喻：譬如有十多個人，立在兩棵樹的中間，各人二手伸張，和相鄰的二人相攙，兩端的人，則一手攙樹，然後各人臂中用力。這就和液體的表面張力相仿。所以液體的表面張力，是因液體表面各分子，由內聚力的關係，受前後左右各分子的吸引力而發生的。

表面張力，因液體種類的不同，各有強弱。水銀的表面張力最大，水較小，石油、酒精等更小。

第九節 吸水紙爲什麼會吸墨水

連通器內的液面，平常都是在同一的水平面上，我們已是知道了，但有時却會例外。試看下面的實驗：

實驗 11. 用一管粗一管細底部通連的 *U* 形玻璃管兩個，如圖 22，一個注入有顏色的水。一個注入水銀，這時可見注水的 *U* 形管中，細管的液面，較粗管的液面高；而注水銀的 *U* 形管中，細管的液面，較粗管的液面低。

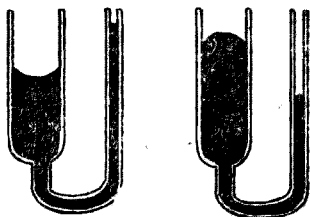


圖 22 U 形管中的液面

上面這個實驗所發現液面在細管中升高或降低的現象，叫做毛細現象 (Capillarity)。是因爲水的附着力大於內聚力，水

和玻璃管壁相附着，水面成凹面，同時表面張力縮小液面，由凹面成平面，於是附着力立刻又使液面變成凹面，再由表面張力縮小為平面，液面逐漸上昇，至張力和高出的液柱重量相等時，方行停止上昇。而水銀的內聚力大於附着力，水銀不和玻璃管壁相附着，水銀表面成凸面，由表面張力作用壓水銀的凸面向下使成平面，內聚力又使液面成凸面，再由表面張力壓下為平面，液面逐漸下降，至張力和下降之液柱重量相等時，方行停止下降。

管中液體的昇降，在同一液體，和管的粗細成反比例，管愈細，昇降的差度愈大，如圖23。

毛細現象，不限定在管中發生，即在不成管狀的物體，也可發生。我們在日常生活中，常可遇到。如燈芯的吸油，毛筆可以含墨水，吸水紙的吸墨水等等都是。

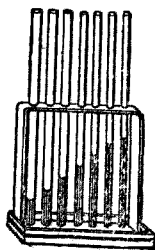


圖23 毛細現象

第三章 氣體

第一節 氣體能壓縮嗎？

液體不能壓縮，在前面已講過，而氣體則不然，有顯著的壓縮性 (Compressibility) 和膨脹性 (Expansibility)。試取一個一端封閉的銅管和一與管徑適合的鐵棒；管中充以空氣或任何氣體，插棒入管，即可不費力地將棒壓入，去力，鐵棒即又彈出。可見氣體具有壓縮性和膨脹性。我們日常所見的橡皮輪胎、氣墊、足球中的氣囊等，都是這種現象。

第二節 大氣的壓力

地面上的空氣範圍極廣，所以常稱做大氣 (Atmosphere)，大氣因受了地球的吸引力，所以緊圍地球，而不飛散，但是氣體有壓縮性，因此近地球的空氣受上層空氣重量的下壓，密度要較上層為大，漸高就漸稀少。大約在 200 公里以上的高處，還有稀薄的空氣存在着。

地面上的大氣，既有這樣的高度，所以它的密度雖小，而它對於地面上的壓力仍是很大。這種壓力，叫做大氣壓 (Atmospheric pressure) 可用下面的實驗來證明它。

實驗12. 取一口邊極平的玻璃盃或茶杯用水裝滿，上面覆一厚紙，緊貼杯口，把手壓住然後將杯倒轉，使杯口向

下，離開手，就見紙片能緊托杯中的水，使不下墜，如圖24。

實驗13. 取一頂有圓孔的玻璃鐘，用橡皮膜緊紮孔口，放在抽氣機的盤上，緩緩抽去鐘內的空氣，就見因鐘內空氣漸稀，壓力漸減，鐘外的大氣壓力將橡皮膜壓入孔內，以至破裂。如圖25。

從前德國馬德堡(Magdeburg)市長葛利克(Otto von Guericke)曾製直徑22吋的金屬半球二個，如圖26，叫做馬德堡半球(Magdeburg hemispheres)，在德皇前驗實大氣的壓力。將兩個半球接合，抽去球內的空氣。因球被大氣壓緊，用了十六匹馬，方才把兩個半球分開。

照上面所說，大氣壓力既是如此的強大，那末我們生活在大氣內，何以並不感覺受到大氣的壓迫？這是因為人體的內外同時受到氣壓的作用，各方壓力平衡的緣故。

第三節 大氣壓力怎樣測定的

空氣有重量嗎？空氣有壓力嗎？從前的人並沒有知道；所



圖24 氣壓的作用

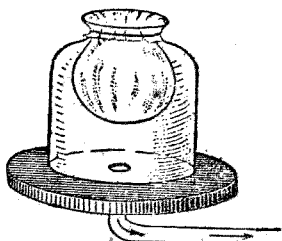


圖25 氣壓裂膜

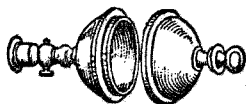


圖26 馬德堡半球

以在古代的羅馬人和希臘人，看見將一長管的下部插入水中，自上部抽去空氣，水即上昇的現象，以為是『自然忌真空』(Nature abhors vacuum)，並無其他的解釋，後來意國的學者伽利略 (Galileo)，於1632年，才由實驗證明空氣有重量，並且各種氣體都有重量。至1640年，他又發見由唧筒吸水的高度，不能超過33英尺。於是他又開始研究這個問題，並授意他的學生托里拆利 (Torricelli) 繼續研究，直至1643年托里拆利才用水銀柱代替水柱測定大氣的壓力。

托里拆利的實驗，是用一根長約一米的玻璃管，一端封閉，滿盛水銀，以指緊閉其口，倒置在水銀杯中，如圖27，去指後，管中的水銀柱下降少許，管頂留有真空一段。管內水銀面離杯中水銀面的高度，約為76厘米，這是因為管中水銀柱上既是真空，所以沒有壓力作用，而管外杯中的水銀面，則受到大氣的壓力，這壓力傳至管口，壓力的大小，適和管內76厘米高的水銀柱重量相等，才能支持，所以大氣的壓力，可由水銀柱算出，因單位體積水銀重量是13.6克，故在杯中的水銀，每單位面積上就有

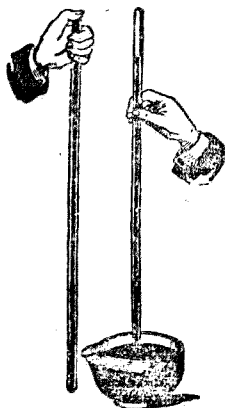


圖27 托里拆利實驗

$$76 \times 13.6 = 1033.6 \text{ 克/平方厘米}$$

的大氣壓力，用這個數目定為氣壓的單位，就稱為氣壓(Atmosphere)。

氣壓隨時隨地有變化，在高於地面的地方，氣壓常較地面上的低，據托氏的實驗，每升高 1000 米時，管中的水銀柱就要降低 8 厘米。通常以水銀柱 76 厘米的高度，為標準氣壓(Standard atmospheric pressure)。

第四節 氣壓計是怎樣的

上面所講的托里拆利的實驗，管中的水銀面，因大氣壓力而定，所以大氣壓力倘有變化，那末管中的水銀面，也就有昇降，於是利用這種關係，裝置成的器械，就可以由水銀的昇降，測定大氣壓的變化。這叫做氣壓計(Barometer)，又因大氣壓力的變化，和天氣的晴陰有關，大概天晴氣壓就高，天陰氣壓就低，由氣壓可以預測天氣的晴陰，所以氣壓計通常又叫做晴雨計。

氣壓計有兩種：一是水銀氣壓計(Mercury barometer)，就是依托里拆利實驗的原理製成，如圖 28。主要部分為一水銀槽，和一倒立槽內充滿水銀的玻璃管，管的上端配有刻度尺一支，尺的起點在水銀槽中的象牙針尖上。測氣壓時，先轉動杯底的螺旋，使水銀面升高，和象牙針尖接觸，就可由尺上讀出管中水銀柱的高度。還有一種是無液氣壓計(Aneroid barometer)，如圖 29，主要部分是一薄金屬板製的圓盒 C，盒內為

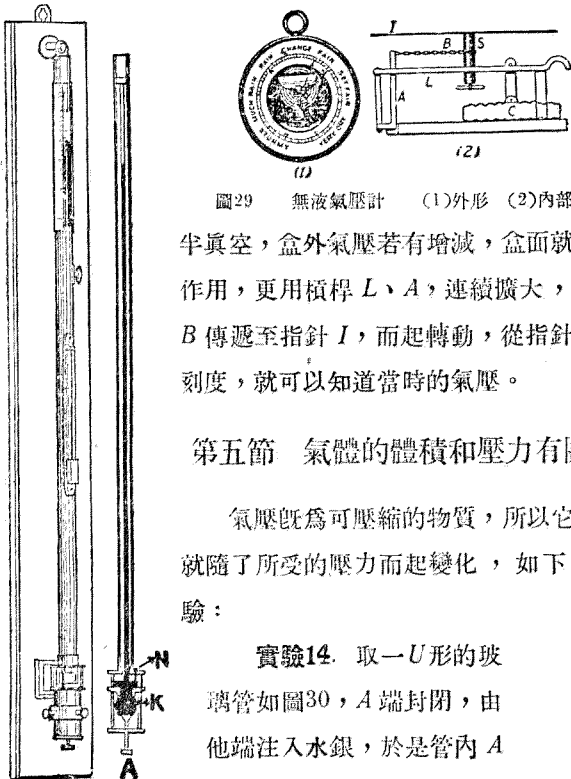


圖29 無液氣壓計 (1)外形 (2)內部構造

半真空，盒外氣壓若有增減，盒面就起凸凹作用，更用槓桿 L 、 A ，連續擴大，由鍊條 B 傳遞至指針 I ，而起轉動，從指針所指的刻度，就可以知道當時的氣壓。

第五節 氣體的體積和壓力有關係嗎

氣壓既為可壓縮的物質，所以它的體積就隨了所受的壓力而起變化，如下面的實驗：

實驗14. 取一 U 形的玻璃管如圖30， A 端封閉，由他端注入水銀，於是管內 A B 的一段，容有密閉的空氣。

圖28 水銀氣壓計

這時測定 AB 的長度，再從管口注入水銀若干，就見閉端的空氣體積縮小，水銀面升至 B' 處，開端的水銀面升至 D' 處，再測定 $A'B'$ 的長度。

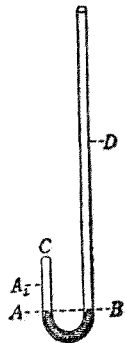


圖30 波義耳定律

由上面的實驗，可知在一定溫度時，一定質量的氣體，它的體積和所受的壓力成反比。這個關係，叫做波義耳定律 (Boyle's law)。設以 V_1 為一定質量的氣體在壓力 P_1 時的體積， V_2 為壓力由 P_1 變為 P_2 時的體積，這波義耳定律，就可用下式表示：

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{P_2}{P_1}$$

或 $P_1 V_1 = P_2 V_2 = \text{常數}$

即 **壓力 × 體積 = 常數。**

又氣體的體積改變時，密度也隨了改變，氣體的體積受壓縮小，密度增大，壓力的大小和密度成正比。設以 d_1 為 p_1 時的密度， d_2 為 p_2 時密度，可得式如下：

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{d_1}{d_2}$$

第六節 氣球為什麼會上昇呢？

氣體分子間的距離，因為較大，所以氣體的分子運動很自由。常常想膨脹它的體積。因此在密閉容器內的氣體，不拘容器的大小，都呈擴散的狀況，無數分子，和器壁連續碰撞，發生一種壓力。這個壓力不管器壁的形狀如何總是和器壁垂直，和液體一樣。所以氣體也可以依從巴斯噶原理，和阿基米得原理。

地面上的物體，既在大氣裏面受到下壓力，那末由阿基米得原理，也應受到大氣的浮力，和在液體中一樣。所以物體在

空氣裏面的重量，應比在真空裏面的重量為輕。所減輕的重量，等於它所排開同體積空氣的重量。物體的體積越大，排開的空氣越多，它所受的浮力也越大。故大體積的物體，重量要比小體積的物體多減輕些。若物體本身的重量，比它所排開同體積空氣的重量為小，那就可以在空氣中浮起。氣球(Balloon)的原理，就是利用空氣的浮力。用輕於空氣的氣體，如氫、氦或煤氣等，充滿在絲織或塗膠的棉織物所製成的大氣囊中，如圖31，球下懸籃一個，人坐籃中，隨氣球上昇。等昇至高空中空氣密度較小的地方，空氣的浮力適和它本身的重力相等時，方始停止。如欲下降，可放去囊中一部分氣體，使浮力和體積減小，就緩緩下降。

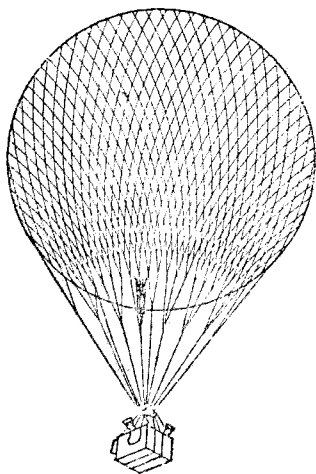


圖31 氣球

第七節 虹吸管

你如果要把在位置較高的容器中的液體，移入位置較低的容器中，你不必傾側容器，你祇要用一條橡皮管或一有長短兩臂的彎曲管，管中充滿液體，一端(短臂)插入位置高的容器液體中，一端向着低容器，這時高容器中的液體，就會不絕地

向低容器流入，如圖32。這樣的裝置，叫做虹吸管(Siphon)，又稱為吸龍。

虹吸管也是利用大氣的壓力。如上圖短管 a 處的上壓力，等於大氣壓力減去液柱 ad 的下壓力，長管 b 處的上壓力，等於大氣壓力減去液柱 be 的下壓力， be 液柱既然比 ad 為長，所以 a 處的上壓力比 b 處的上壓力為大，液體就從短管向長管流動。

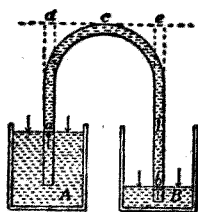


圖32 虹吸管

因為大氣的壓力是 1033.6 克，也就是可以支持單位面積上 1033.6 厘米高的水重，所以虹吸管短管的長度，不能超過 1033.6 厘米，否則不能發生虹吸作用。又如兩容器的液面高度相等，則虹吸作用亦要停止。

虹吸管除上圖的裝置外，還有一種叫做斷續虹吸(Intermittent siphon)，如圖33。係一容器內放一彎管而成。水面未達管頂時，水即停在器內，若高出頂面，則管即發生虹吸作用，使水流出。

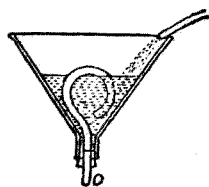


圖33 斷續虹吸

第八節 唧筒

唧筒(Pump)的種類極多，如我們日常所見的打水機、打氣筒、水龍等等都是。現在分述於下：

(一)吸取唧筒(Suction pump)是抽水唧筒(Water pump)

的一種，是利用大氣壓力將低處的水送至高處的器械。通常汲取井水的打水機，就是這一種。它的構造如圖34，爲一圓筒 C ，和一活塞 P ，筒底有進水管 B ，通至井內，管接筒處有一活門 s ，活塞上亦有活門 t ，都是向上開放。當活塞上提時，筒內空氣稀薄，井內的水，因大氣壓力，被壓入進水管，衝開活門 s 昇入筒內。活塞下降 s 被水壓閉，筒內的水就衝開活塞上活門 t ，流入活塞上面。活塞再提上，活塞上面的水就由筒旁的出水管流出。

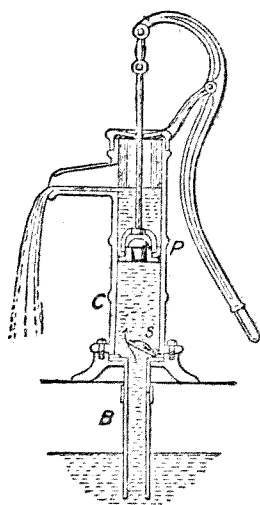


圖34 吸取唧筒

(二)壓力唧筒 (Force pump)也是抽水唧筒的一種。它的構造和吸取唧筒類似。不過活塞上沒有活門，而把出水管移至筒底，如圖35，管內裝一活門 t ，亦祇能向上開放，活門上和出水管 E 間裝一密閉空氣室 D 。當活塞上提時，水從進水管衝入筒內，下降時，

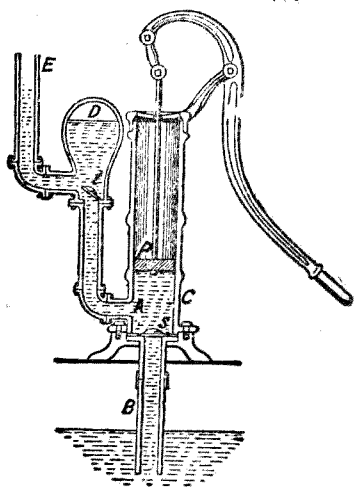


圖35 壓力唧筒

筒內的水壓入水管，衝開活門 t ，一部分由出水管口射出，一部分壓入空氣室內，將空氣壓縮，當活塞再上提時，水雖不壓入水管，但同時壓縮的空氣膨脹，亦能將室內的水壓出管口。所以不論活塞上下，水能連續壓出，不致間斷。

抽水唧筒的圓筒，如距所吸取的水面過高，因大氣壓力的限度，水就不會昇入管中而失去抽水的效用。

(三)消防唧筒

(Fire pump) 俗名水龍。是連於同一槓桿上的兩個壓力唧筒合組而成，如圖36，水從兩方的圓筒交互壓入空氣室內，將水繼續由 G 口噴出效用更大。

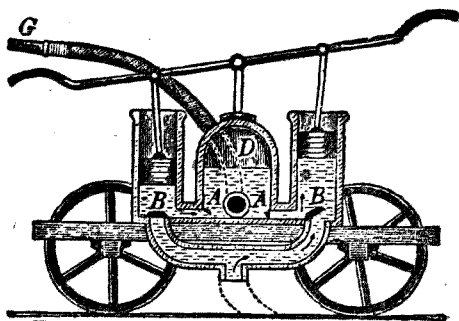


圖36 消防唧筒

(四)空氣唧筒 (Air pump) 又名抽氣機，式樣甚多，如圖37所示，是最簡單的一種裝置。 C 為一圓筒，內裝一密接的活塞 P ，及活門 s 、 t ，由 T 管和要抽去空氣的鐘瓶 R 相

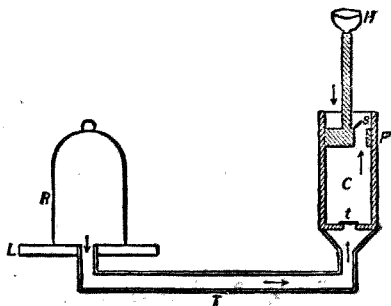


圖37 空氣唧筒

聯接，當活塞提上時， C 筒內氣壓驟降，瓶內空氣就由活門 t 衝出，活門 s 則為筒外空氣衝閉。當活塞下降時，筒內空氣受壓，衝開活門 s 逸出，活門 t 則為筒內空氣壓閉。如是將活塞往復抽壓，瓶內空氣就逐漸稀薄，和真空相近。

(五)壓縮唧筒 (Compression pump) 俗名打氣筒，構造和空氣唧筒相似，惟活門 s 及 t 的開閉方向，適和空氣唧筒相反，所以它的作用亦相反，能使空氣壓入 R 瓶內。腳踏車、汽車的膠皮輪胎，以及足球膽內的充氣，都用這種唧筒，如圖38。

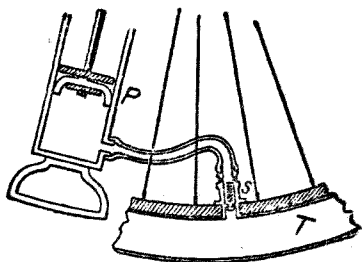


圖38 壓縮唧筒

第九節 皮球爲什麼會跳躍？

當你用力把皮球向地面拍下時，皮球因受了你所加的力和地球的重力，就向着地面碰撞，把皮球着地的一部分球面和球中的空氣壓迫，改變了它原來的形狀。但這時球着地面，所加的力已除去，由於力的反作用 (Reaction) 和球面及球中空氣要恢復原狀，就返躍向上，這種物質因受外力而發生形狀的變化的現象，叫做應變 (Strain)，外力除去所呈恢復原狀的現象，叫做彈力 (Elastic force)，具有彈力的性質，叫做彈性 (Elasticity)，富有彈性的物體叫做彈性體 (Elastic body)。皮

球的會跳躍，就是因它具有彈性的緣故。

世界上一切的物體，差不多都有彈性；不過由於物質的不同，彈性也有大小，一般的，液體彈性最小，氣體彈性最大。

彈性體因受外力所生的應變，如外力不大，外力除去後，就完全恢復原狀，若外力太大，那末外力雖然除去，它還不能完全恢復原狀，留有一部分的應變，這叫做永久應變 (Permanent set) 凡物體所能恢復的最大應變，叫做彈性限度 (Elastic limit)。各種物體的彈性限度，大小不同。如橡皮的彈性限度極大，玻璃、象牙等極小。英人虎克 (Hooke) 研究得到一個結論。說『在彈性限度以內，物質形狀或體積的變化，和它所受的力成正比例。』這叫做虎克定律 (Hooke's law)。

彈簧秤 (Spring balance) 就是應用虎克定律的原理所製成，用以計量力或測重量的器械，它的外形如圖39，用鋼絲捲成螺線的彈簧，裝置在一適當的圓筒內，先用己的力，引長彈簧，在筒外依彈簧所附的指針的指示處，刻劃度數。用時就可由指針移動後靜止時所示的數值，讀出所欲測的力，或重量。



圖39 彈簧秤

第四章 運動和力

第一節 物體的運動和靜止

物體的位置繼續變易的現象，叫做**運動** (Motion)，否則叫做**靜止** (Rest)。例如進行中的火車是運動，而桌上的墨水瓶是靜止。但是運動和靜止是相對的，如進行的火車中的乘客，對於地面雖說是在運動，而對於火車却仍是靜止；桌上的墨水瓶對於地球雖說是靜止而對於某一天體說，又是隨了地球而運動。所以運動和靜止，須依據一標準體而確定，通常地面上一切物體的運動或靜止，都以地球為標準體。

運動有**移動** (Translation) 和**轉動** (Rotation) 的分別。凡一物體中各點均作同樣的運動的叫移動，如火車在軌道上的運動。若物體內各點均繞同一軸線而旋轉的，叫做轉動，如磨石的繞軸運動。

物體移動時所經的路徑，如是直線的，叫做**直線運動** (Rectilinear motion)，如是曲線的，叫做**曲線運動** (Curvilinear motion)

靜止的物體，不加外力，不會自己運動，運動的物體不加外力，亦不會自己靜止，例如人立在靜止的電車中，電車突然而動，人的足部當時雖隨電車而動，而身體仍在靜止的狀態中，所以必向後傾側。又如電車突然停止，人的足部當時雖隨電車而停止，而身體仍在運動的狀態中，所以必向前傾側。例

如下面的實驗：

實驗15. 取一火柴盒豎立書本上，將書本急推，盒即向後倒下，如圖40上方所示。若將書本慢推使火柴盒與書本同起運動，然後將書本驟然停止，盒即向前倒下，如圖40下方所示。它的理由，和上面所說電車中的人相同。

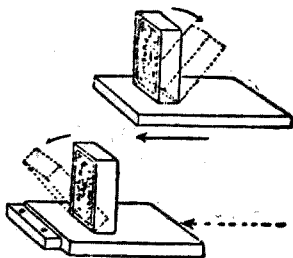


圖40 慣性的表示

由上面所說的關係，可知物體常有保持它靜止或運動的性質，這叫做慣性 (Inertia)。從前大物理學家牛頓 (Newton) 曾確定這慣性和力的關係，說：一切物體，若不受外力的作用，靜止的永遠靜止，運動的永遠向一直線的方向運動，這稱為慣性

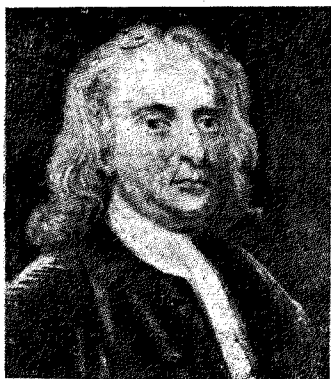


圖41 牛頓

定律 (Law of inertia)，亦叫做第一運動定律 (First law of motion)。

第二節 速度和加速度

物體因運動而變更它的位置，若不論它所費時間的長短，祇問它移動距離的大小和方向的，這就叫做位移 (Displace-

ment), 例如某人向東行五里, 五里就是位移的距離大小, 向東就是方向。可用直線 AB 表示, 如圖42, AB 的長短即表



圖42 位移

位移的大小, B 端箭頭即表位移的方向。

物體在單位時間內所生的位移, 叫做**速度**(Velocity), 所以速度包含時間、距離和方向三種關係。若僅說在單位時間移動的大小, 而不論它的方向, 這叫做快慢或**速率**(Speed)。例如說某人每小時行五里, 係指速率, 若說某人每小時向東行五里, 這就是指速度了。試看下面的表, 就可知位移、速度、速率的區別:

位移——距離, 方向。

速度——時間, 距離, 方向。

速率——時間, 距離。

不論時間長短, 在相等時間內所生的位移, 若都相等的, 叫做**等速度**(Constant velocity), 物體的等速度運動, 叫做**等速運動**(Uniform motion)。所以等速運動的物體, 它運動的方向, 必循直線進行, 在每單位時間內所經的距離亦必相等。若以 s 表距離, t 表時間, V 表速度, 可得等速運動的公式如下:

$$S = Vt \quad \text{距 離} = \text{等速度} \times \text{時間}$$

$$\text{或} \quad V = \frac{S}{t} \quad \text{等速度} = \frac{\text{距離}}{\text{時間}}$$

相反的, 在相等時間內所生的位移, 若不相等的, 叫做**變速**

度 (Variable velocity)，物體的變速度運動，叫做**變速運動** (Variable motion)。變速運動的速度，雖常有變更，但在一定時間必經過一定的距離，若用等速運動的公式來計算，所得的速度，叫做該時間的**平均速度** (Average velocity)。

若距離的單位用厘米，時間的單位用秒，那末速度的單位就應當把距離和時間的單位一併記出，寫做厘米/秒，稱為**每秒厘米** (Centimeters per second)。其他如**每分呎** (Feet per minute)等都可以表示速度的單位。

當火車自車站開行，在靜止時的速度，固然為零，但出動後，每秒間的速度就逐漸增加；到火車將停時，速度又逐漸減小，終變為零。這種變速運動的物體，在單位時間內所生的正或負(增或減)的速度的變化，叫做**加速度** (Acceleration)。若這變速運動的物體，在每單位時間內所生的速度的變化，都是相同，這叫做**等加速度** (Uniform acceleration)。物體的等加速度運動，叫做**等加速運動** (Uniformly accelerated motion)。設 V 為 t 秒末的速度， a 為加速度，可得公式如下：

$$a = \frac{V}{t} \quad \text{加速度} = \frac{\text{終速度}}{\text{時間}}$$

或 $V = at$(1)

若把上式的速度單位用厘米/秒，時間的單位用秒，那末加速度的單位，就應當把速度和時間的單位，一併記出，寫做厘米/秒²，就是表示每秒速度的變化，是每秒厘米，稱做**每秒每秒厘米** (Centimeters per second per second)，其他如**每分**

每分呎 (Feet per minute per minute) 等都可以表示加速度的單位。

要求等加速度運動所經過的距離，可先求 t 秒內的平均速度，若初秒度為 0， t 秒末的終速度為 V ，那末平均速度就等於 $\frac{V+0}{2}$ ，設 S 為距離，可得公式如下：

$$S = \left(\frac{V+0}{2} \right) t$$

把公式(1)代入，得：

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

若將(1)、(2)兩式合併，就得：

$$V^2 = 2 aS \dots\dots\dots(3)$$

以上三個式子，是由伽利略所推出，是等加速度運動的三個重要公式。

第三節 力

力 (Force) 我們在孩童的時候已有相當的經驗。用手拿玩具需要力；用繩牽引東西需要力；由孩童而青年而老年，可以說無時無地不需要力。那末力究竟是什麼呢？我們可以說：力是改變物體動靜狀態的一種作用。例如手車停在地面上，本是靜止的，你如要叫它向前運動，你就不能不用力去推挽它。又如我們在前面所講過的地心吸引力，也是力的一種。

力由大小、方向和着力點而定，叫做力的三要素。從着

力點起，依力的方向劃一直線，叫做作用線 (Line of action)。在作用線上，自着力點起，循力的方向取一線段的長度和力的大小成正比例，線上加一箭頭，表示力的方向。這樣以一段直線表示力的要素叫做力的圖示。如圖 43， O 為着力點， OA 表示力的方向， OA 直線的長度表示力的大小。

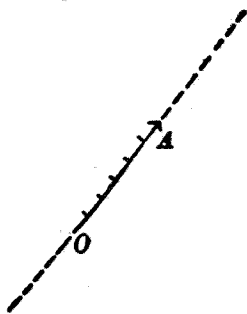


圖 43 力的圖示

力既是改變物體動靜狀態的一種作用，那末我們若是用一定的力，連續加於一物體上，則不論物體的原來狀態是靜止或運動，必在力的方向得到一定的加速度而進行。從前牛頓曾根據他實驗所得說：物體的加速度和質量的乘積必和所加之力成正比例，這稱為**運動定律** (Law of motion) 亦叫做**第二運動定律** (Second law of motion)。

設作用於質量 1 克的物體，使它得到每秒每秒厘米的加速度的力，這就是力的單位，叫做**達因** (Dyne)。因它不受重力的影響，故稱為**力的絕對單位** (Absolute unit of force) 它的大小約和重量 1 毫克相當。若有 F 達因的力，作用於質量 m 克的物體，使它得每秒每秒厘米的加速度為 a ，可得式如下：

$$F = ma \quad \text{力(達因)} = \text{質量(克)} \times \text{加速度(厘米/秒}^2\text{)}$$

$$\text{因} \quad a = \frac{V}{t}$$

代入上式得 $F = \frac{mV}{t}$ 或 $Ft = mV$

上式中 Ft 叫做衝量 (Impulse)， mV 叫做動量 (Momentum)，所以運動定律，又可說為物體的動量的改變，和作用的衝量相等，物體的動量改變率愈大，作用的力也愈大，打擊和衝突，都是在極短的時間內使速度發生很大的改變，所以作用力也很大。

第四節 合力和分力

兩個或兩個以上的力，同時施於同一物體上而且着力點相同，這幾個力叫做會聚力 (Concurrent forces)。若用一單位的力來代表這幾個會聚力的作用的，叫做合力 (Resultant of forces)。若二力在一直線上，方向相同，則合力等於二力的和，若二力在一直線上，方向相反，則合力等於二力的差，以大的方向為方向。例如船在順流中前進的速度，就是船在靜水中速度和水流速度的和的合力。又如船在逆流中前進的速度，就是船在靜水中速度和水流速度的差的合力。

若兩個成角度的會聚力作用於同一物體時，這物體就斜向運動，例如船橫過河流，由此岸至彼岸，船雖欲橫渡，但因水流的關係，就不得不向下流。這就是因船受了兩個成角度的力，所生成的合力作用。

實驗16. 取二彈簧秤 A 、 B ，懸於黑板二釘上，如圖44，以一線連接秤的二鉤，於其近中點處懸已知重量 W ，則支持

重量 W 的力，非 A 、 B 兩秤所表的力，而是兩力的合力。試依三線的位置，在黑板上畫三直線，而取 OX 、 OY 、和 OW 三線段，令其所含單位線段數，等於 A 、 B 所表的張力和 W 的重量，再以 OX 、 OY 為兩邊作成一個平行四邊形，則對角 OR 恰和 OW 的長相等，而方向相反。

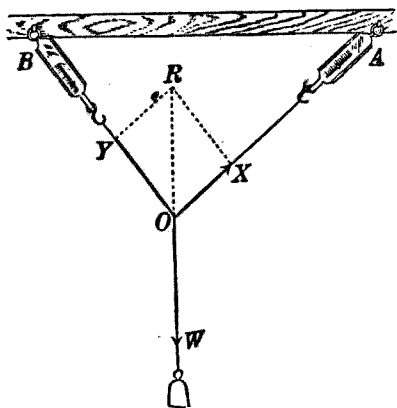


圖44 成角度的兩力的合力

由上面的實驗，可知用圖示求成角度兩力的合力的方法。即將二力的代表線為二邊，補成一平行四邊形，然後由着力點引對角線，這對角線就可表示合力的着力點、大小和方向，如求三力的合力，可先求出二力的合力，再繼續求此合力和第三力的合力。

二力既可合成爲一力，反之一力也就可以分成爲二力，這稱爲分力 (Component of force)。普通一力作用於物體，而和物體下面的平面傾斜時，就依此平面分爲平行和垂直方向的二分力叫做平行分力和垂直分力。例如以力 F 依圖

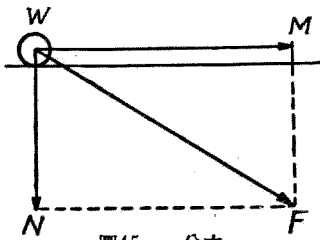


圖45 分力

45 所示的方向作用於在水平軌道上的車 W ，則使車前進的力即為 WM 的平行分力，另一部分，則為垂直壓於車軌的力，即為 WN 的垂直分力。由圖可知 WM 和 WN 都較 WF 為小。又如置物體 W 於傾斜的板上，如圖 46，重力 G 本要吸引 W 向地面垂直下落，但因有板的抵抗，於是重力 G 就被分為二，一部分使 W 在板面向下滑動，就是平行分力 WM ，一部分使 W 垂直壓於板面，就是垂直分力 WN 。

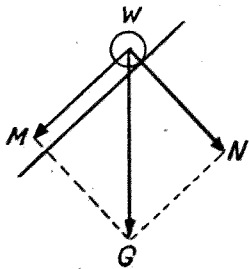


圖46 斜面上的分力

第五節 力矩和力偶

在一直線上的二力的合力，我們在前面已講過。那末不在一直線上的二力，而作用線平行的**平行力** (Parallel forces)，它的合力怎樣呢？請看下面的實驗：

實驗17. 用線懸米尺的中點 F ，繫於彈簧秤下，在左端距 F 40 厘米處 A ，懸一 100 克砝碼 W_1 ，在右端距 F 20 厘米處 B 懸一 200 克砝碼 W_2 ，則見米尺平衡，不

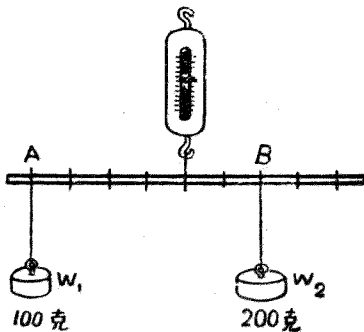


圖47 平行力的合力

生轉動，而彈簧秤所表示的重量適為 300 克，如圖 47。

由上面的實驗可知不在一直線上方向相同的二平行力，他的合力等於二力的和，方向與二力相同。而合力的着力點與二力作用點的距離，因 $AF \times W_1 = BF \times W_2$ ，即 $AF : BF = W_2 : W_1$ ，所以和二力的大小成反比例，且在二力作用點 A, B 的聯線上。

若把上面的實驗 F 處改用一物支持，這時米尺必為水平。由 A 到 F 和由 B 到 F 的垂直距離叫做**力臂** (Arm of force)，力臂和力的乘積 $AF \times W_1$ ， $BF \times W_2$ 叫做**力矩** (Moment of force)。所以在米尺成水平時，二力距必相等。否則必發生**轉動** (Rotation)。

不在一直線上，方向相反的二平行力如相等時，則二力距所生的作用，使物體向同一方向轉動。這樣的二平行力，叫做**力偶** (Couple)。因他的合力為零，所以不能使物體轉動，僅能使物體轉動，平常施轉螺旋釘或用鑰匙開發條等，須用兩指挾住柄的兩面，用力旋轉，如圖 48，就是利用力偶的作用。

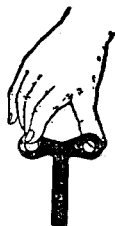


圖 48 力偶

第六節 飛機何以能在空中飛行呢？

你用手緊壓桌面，同時你就會覺到手也受到桌面向上的托力，又如人在船中，用竹篙撐河岸，船就受了河岸的推力，向

相反的方向而去，可見甲物體加力於乙物體，同時甲物體也就受到這乙物體反方向還加的力，這甲物體所加的力，叫做**作用**(Action)，乙物體還加的力，叫做**反作用**(Reaction)。從前牛頓曾由種種實驗，確定一個**反作用定律**(Law of reaction)，說：凡有一作用，必有一大小相等，方向相反的反作用。這定律亦叫做**第三運動定律**(Third law of motion)。

反作用的現象，對於日常事物中應用很多，例如步行的人，以足向後用力，得地面反作用的分力而前進；坐着的人，以足抵地，以手捺桌面，得地和桌的反作用而起立；鳥的兩翼向下鼓動，得空氣的反作用而上飛，等等都是。如圖49所示。

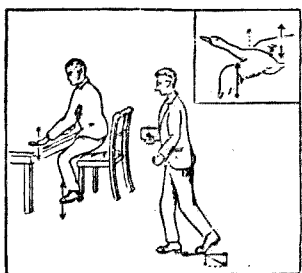


圖49 反作用的利用

輪船在水中的航行，飛機在空中的飛行，也都是利用反作用的原理。現在分述於下：

(一)輪船在水中的航行，主要是由於**推進器**(Propeller)和**舵**(Rudder)。推進器與運動玩具所用的竹蜻蜓相類似，是用兩片或三片的金屬板裝

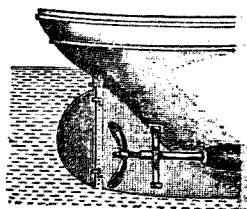
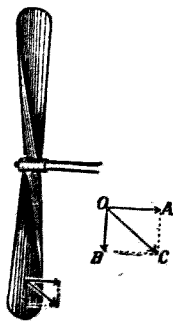


圖50 推進器

在轉動軸上用發動機使它轉動，因板面傾斜，故轉動時將水推向後方，由水的反作用的分力，使船前進。如圖50，水對於推進器生的反作用為 OC ，它與軸平行的分力為 OA ，若 OA 大於船在水中的重量，船就向前

進行。舵亦是利用反作用的原理，以變更船行的方向，如圖51，船以 F 力前進， IO 為舵，水流的反作用 F' 對

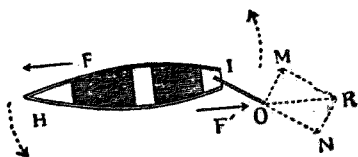


圖51 舵的使用

舵面生垂直分力 OM ，和平行分力 ON ， OM 力作用於舵，使船頭 H 依虛線轉動。

(二)飛機在空中的飛行，亦是利用推進器推動後方空氣，由空氣的反作用的分力，使機體前進。它所用的舵，則有兩種：一是和機體垂直，司機體的迴轉，叫做方向舵；一是和機體平行，司機體的昇降，叫做昇降舵。

飛機除上述的推進器和舵之外，還有一種使機體浮於空中的重要裝置，就是機翼。翼面下凹上凸，當推進器轉動時，機體前進，翼面下的空氣受壓，起反作用，這反作用亦有一分力垂直向上，若這分力大於機體的重量，機體就離地上昇，而浮於空中。所以當飛機在上昇之前，必須先在地面上滑走若干路程，使推進器轉動加速，令機體前進的速度增加，則作用於翼面下空氣的壓力亦增加，於是可得到超過機體重量的反作用分力，而令飛機上昇了。

第七節 萬有引力和重力

從前英國的大數理學家牛頓在園中看見蘋果向地面落下，於是他就懷疑地想：蘋果離開枝頭後，何以要向地面落下？為什麼不向空中飛去？他經過了很久的時間，並根據天文學家觀察宇宙內星體的運動的結果，遂確定物體有相互的引力作用，而創立萬有引力定律 (Law of universal gravitation)，說：『宇宙間任何兩物體，在其連接直線上，互相生引力作用，其大小則和兩者的質量的乘積爲正比，而和其距離的平方爲反比。』宇宙間一切的物體，大如日月地球，小如砂礫塵埃，都有彼此互相吸引的力。如兩物質質量各爲 1 克，相距 1 厘米時，其間作用的萬有引力約等於 $\frac{1}{15,000,000,000}$ 克。

地球面上一切的物體，都在發生着互相吸引的作用，同時也與地球發生着互相吸引的作用，但是任何物體的質量，和地球的質量比較，簡直渺小到不可名言，因此各物體間的互相吸引作用，不能覺察，好像祇有地球有引力，而物體也祇有向地球中心墜落的傾向一樣。所以蘋果雖有吸引地球的力，地球並不會被蘋果所吸動，而蘋果則被地球吸向地面了。

地球對於地面上一切物體的引力，通常叫做重力 (Gravity)，物體的重量，就是由重力所發生。按照萬有引力定律，物體距離地面愈遠，所受的重力愈小，即重量也愈輕，物體距離地面愈近，所受的重力亦愈大，即重量亦愈大。所以由高處

落下的物體，因漸近地面，所受的重力漸大，故必生一加速度，這稱為**重力加速度** (Acceleration of gravity)。它的數值略為980 每秒每秒厘米，通常用 g 表示它。

古時的人以為物體由高處落下，質量大的速度也大，質量小的速度也小，後來伽利略以為這種學說並不正確，他於1590年在義大利批薩 (Pisa) 斜塔上作一公開的試驗，使物質及大小不同的球，同時落下，它們到達地面的時刻幾相同，即輕如紙片平時飄揚難下的，一經搓成小團後，着地時刻也和他物一樣，於是他證明物體無論輕重，落下的速度相同。至於平時物體在空氣中落下時所以有快慢的原因，則因物體的表面大小不一，所受空氣的阻力 (Resistance) 不同的緣故，若設法免除空氣的阻力，那末各物體下落的快慢(即所得的重力加速度)都是相同。例如將雞毛及

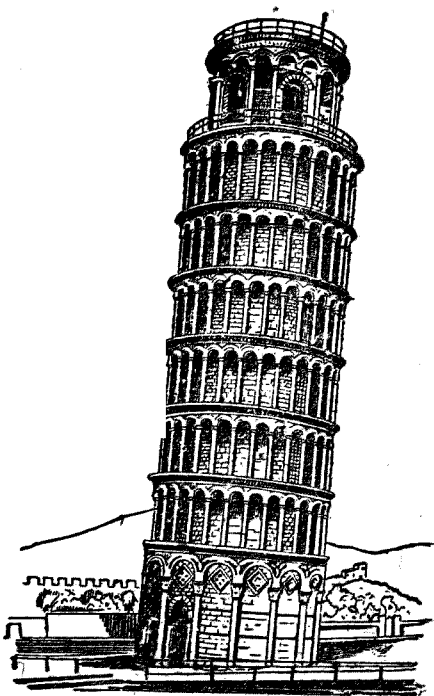


圖52 批薩斜塔

銅片同置一長玻璃管中，抽去管中空氣，急速倒置玻璃管，如圖53，可見二物並肩落下，毫無快慢。

第八節 重心和穩度

從前我們已講過，物體是由物質所構成的，這物質若設想它是含有無數個小質點，則每一個小質點，必都受着重力而垂直向著地面，就成爲無數的平行力，匯集這無數平行力的合力的着力點，即是**重心** (Center of gravity)。這合力的大小等於各平行力的和，也就是等於物體的全重量。無論物體的位置怎樣，因各平行力的方向都是相同，所以它們的合力的着力點也一定不易，也就是物體的重心一定，若用他物體在這物體的重心處支持起來，則這物體的各部保持平衡而不傾側。若支持在重心之外，那末這重心因重力關係，就生迴轉運動，到重心在支點的下方然後平衡。

一般有規則形狀的物體，如直棒的重心，在棒的中央；三角板的重心是三條中線的交點；正方形的重心，是對角線的交點；立方體及球的重心，在中心。至於不規則形狀物體，可用實驗方法求得，舉例如下：

實驗18. 將物體的一點A，用線吊起，等它靜止後，在

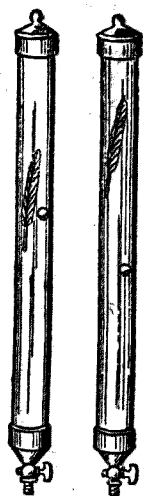


圖53 雞毛與銅片在真空中同時落下

這物體上，作這線的延長線，再換一點 D ，用線吊起，在這物體上作這線的延長線；這兩延長線交於一點，就是所求的重心。如圖54。

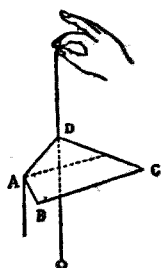


圖54 重心的求法

由上面所述的重心觀念，就可以推知物體的穩度(Stability)，物體的穩度由於重心的位置和底面積的大小而定，可分下列的三種：

(一)物體重心的位置低，底面積大，如圖55(a)，用手稍推，使它傾側，重心較前升高，因底面積大，自重心至地面的垂直線，仍在底面內，由重力 W 的作用，引重心向下，故放手

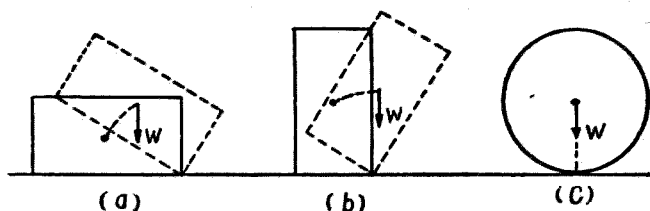


圖55 三種平衡

後，物體立即恢復原狀。這種稱為穩定平衡(Stable equilibrium)。

(二)物體重心的位置高，底面積小如圖55(b)，用手稍推，重心較前下降，自重心至地面的垂直線，超出底面積之外，由重力 W 的作用，仍使重心下降，所以這物體就傾倒不能恢復原

狀，這種叫做**不穩平衡**(Unstable equilibrium)。

(三)若是一個靜止的物體一動之後，重心既不升高，又不下降，且由重心至地面的垂直線，通過着地之點，於是這物體隨便在什麼位置都能安定，如圖 55(c)，這種叫做**隨遇平衡**(Neutral equilibrium)

穩度對於日常事物上應用很多，例如荷物的人，必須將重心配好，以免傾跌；人上山時，身體必須向前俯，下山時，身體必向後仰；老人因駝背而持拐杖，以及玩具中的不倒翁等等都是。

第九節 擺和離心力

用一條很細的線，上端固定，下端懸一小球或其他小的重物，這裝置叫做**單擺**(Simple pendulum)，如圖 56。細線的長叫做**擺長**(Length of pendulum)，小球或小重物叫做**擺錘**(Pendulum bob)。設靜止時擺錘的位置為 A ，把它移動到 B ，放手後，因擺錘受重力的作用，有回至原位置的傾向。等到擺錘由 B 回至 A 後，因為得了相當速度，由慣性作用，不能靜止，仍繼續進行。但此時重力的作用又妨礙它的進行，於是速度漸減，等到了和 B 同高的 C 的位置後，方始靜

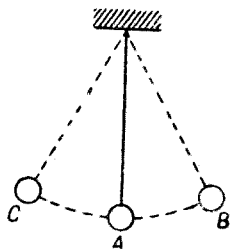


圖56 單擺

止，再依反對方向進行。如是繼續不斷的在圓弧 CAB 上來來

往往，若是在這地方，沒有一些摩擦，空氣也沒有阻力，那末這往復運動，永不會靜止。但實際上因為摩擦和空氣的阻力關係，到後來終於靜止。

擺的運動，是一種同一式樣沿一定的路徑的往復運動，叫做**振動**(Oscillation)。擺錘一往返的時間，叫做**週期**(Period)， AB 弧或 AC 弧的長叫做**振幅**(Amplitude)。

從前伽利略在批薩教堂中，看到掛燈的擺動，經種種的實驗，得一個結論，說：『在振幅不十分大時，振動週期和振幅的大小、物質的種類、物質的多少，毫無關係；而和擺長的平方根成正比。即擺長愈大週期愈大，擺長愈短週期愈小。』這叫做**擺的定律**(Law of pendulum)。

在慣性定律上說：一切物體若不受外力的作用，靜止的永遠靜止，運動的永遠向一直線的方向運動，那末物體運動時，如不照一直線進行，則必有旁的力在作用着，使它離開這直線，如取一石子斜向拋出，它的運動就受到兩種力的作用，即(一)拋出時所加的力，使牠向拋出的方向作等速直線運動；(二)重力作用，牽它垂直向下，而成**拋體運動**(Projectile motion)，如圖 57， O

B 表石子拋出的方向及初速度， BC 為水平分速度， BD 為垂直分速度，如空氣阻力不計，

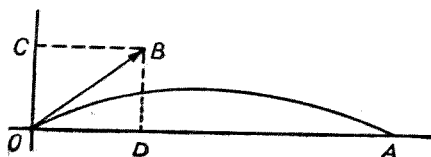


圖 57 拋體運動

則水平分速度的大小不變，故在水平方向，物體將作等速運動前進；而垂直分速度，則因受重力加速度影響，使石子不斷向下墜落。又如以繩繫石子，執其一端，旋轉運動，則此石亦受到兩種力的作用，即(一)爲慣性作用，使石子直線進行；(二)爲繩的拉力，於是此石子即迴轉而成圓運動(Circular motion)。此時如將繩剪斷，拉力消失，石子必沿圓周的切線方向作等速直線飛去。當執繩旋轉時執繩的手，同時感到石子有向外的拉力，這叫做離心力(Centrifugal force)，繩的拉力叫做向心力(Centripetal force)。我們日常生活中，因向心力及慣性作用而生的現象甚多，如在溼地上轉動的車輪，常見泥水沿輪周切線飛射，這就是因爲泥水附着於輪上之力，不及所需的向心力，於是由慣性作用，泥水即沿切線飛散。又如地球繞日旋轉，月繞地球旋轉，都是離心力和向心力的現象。

第十節 功和能

人搬物，牛馬拉車，我們就說人和牛馬在作功(Work)，但是人搬物而物沒有動，牛馬拉車而車沒有動的時候，這就沒有作功。所以功的意義是要作用於某物之力，能勝過這物體的抵抗力，而使物體依所作用的力的方向運動。如物體不動，則雖用任何大力，甚至用力疲勞，皆不得謂之功。功的大小，以物體沿着力的作用方向、經過的距離和作用力的乘積表之，與時間的長短無關。設以 F 表力的仟克數， S 表距離的米數，那末

功的單位就爲仟克米，以 W 表之，可得式如下：

$$W = F \times S$$

功的單位種類甚多，常以所作用的力和物體移動的單位而定。如作用的力爲1磅，物體的移動距離爲1呎，它的單位就是呎磅；若以1達因的力作用於物體，使它移動1厘米的距離，它的單位就是達因厘米或叫做爾格(Erg)。因爾格太小，所以通常拿爾格的一千萬倍(10^7)作爲一個新單位，叫做1焦耳(Joule)。

功的大小與時間的長短無關，在上面已說過。例如一人數日做完的功，若利用機械，僅須數小時即完，那末這人所作的功和機械所作的功相等。但是所作的功雖等，而作功的快慢則顯有不同。這作功的快慢或在單位時間內所作的功，叫做**功率**(Power)。功率的單位，首由英人瓦特(Watt)所定，以爲一匹馬每分鐘可作33,000呎磅之功，或每秒鐘可作550呎磅的功，遂定這個數量爲功率的單位，叫做1**馬力**(Horse power)，以H.P.表之，近代機械的功率單位，實用上常用瓦特(Watt)，簡寫爲瓦。1瓦就是1焦耳在每秒的功。1000瓦叫做**仟瓦**(Kilowatt)，簡寫爲KW。

凡能顯示作功的物體，就稱這物體附有**能**(Energy)。物體因運動而生的能，如射出的鎗彈所具有的能，叫做**動能**(Kinetic energy)。物體因位置而發生的能，如瀑布、彈簧所具有的能，叫做**位能**(Potential energy)。位能和動能，總稱爲**機**

械能(Mechanical energy)。

能可由一種形狀變爲他種形狀，如將物體舉高作功，這物體即得有位能，釋手則物體由高處落下時，位能就變爲動能，至地面時，完全爲動能，和地面衝突就又變爲熱能。所以能無論如何變換都不會消滅，亦不會創生，這叫做**能量的不滅定律**(Law of conservation of energy)。

第十一節 三種槓桿

人力有限，光陰迅速。我們如要用有限的力，去運動一笨重的物體，或在短少的時間內去作某工作，就不能不用**機械**(Machine)。機械是傳受功與能的裝置，種類極多，構造也極複雜，但它的主要部分，不外從**槓桿**(Lever)、**滑輪**(Pulley)、**輪軸**(Wheel and axle)、**斜面**(Inclined plane)、**螺旋**(Screw)和**劈**(Wedge)六種簡單機械組織而成。

由上面所說，可知凡利用機械，必能得到它的利益。不過這利益的大小，常因使用的情形和機械的種類而不同。在物理學上，以機械所生的**抵抗力**(Resistance)對於所施的**作用力**(Effort)的比，叫做**機械利益**(Mechanical advantage)，如下式：

$$\text{機械利益} = \frac{\text{抵抗力}}{\text{作用力}}$$

槓桿是上述簡單機械的一種，日常生活中，時能見到。如計量物體輕重的秤，兒童遊戲用的蹺蹺板，以及日用的剪刀、

鉗子等等都是。為一支於一固定點而能自由迴轉的直棒或曲棒。這固定點叫做**支點**(Fulcrum)。如圖58， AB 為槓桿， F 為

支點，以重物 Q 懸於一端 B ，以力作用於他端 A ，則可將 Q 舉起，這 P 就是**作用力或主力**

(Power or Effort)， Q 就是

抵抗力或阻力(Resistance or Weight)。 P 作用於桿的點 A ，

叫做**力點**， Q 作用於桿的點 B ，

叫做**重點**。由力點到支點的垂

直距離 AF 叫做**主力臂**；由重點到支點的垂直距離 BF 叫做**阻力臂**。由力距的原理，可知 $P \cdot AF$ 應與 $Q \cdot BF$ 相等，才能平衡。

即
$$P \cdot AF = Q \cdot BF,$$

或
$$Q : P = AF : BF,$$

換句話說，就是阻力和主力的比，等於阻力臂和主力臂的反比。這叫做**槓桿原理**。

槓桿常依它的支點、力點及重點的相關位置，分為三種，茲分述如下：

(一)**第一種槓桿**，支點在力點和重點之間，如中國秤、天平、剪刀、鉗子等都是。這種槓桿的機械利益，或大於1，或小於1，由主力臂和阻力臂的長度而定。如主力臂大於阻力臂，它的機械利益大於1，如主力臂小於阻力臂，它的機械利

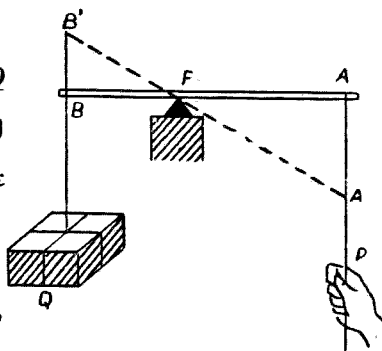


圖58 槓杆

益就小於 1，如圖 59。

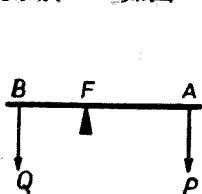


圖 59 第一種槓桿

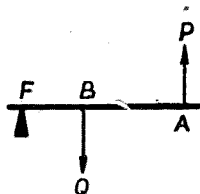


圖 60 第二種槓桿

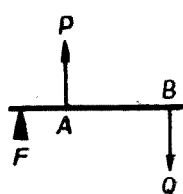


圖 61 第三種槓桿

(二)第二種槓桿，重點在支點和力點之間，如鋤草刀、硬殼果鉗、獨輪車、門、窗等都是。這種槓桿的機械利益，因主力臂常大於阻力臂，所以大於 1，如圖 60。

(三)第三種槓桿，力點在支點和重點之間，如火箸、眉毛鉗等都是。這種槓桿的機械利益，因阻力臂常大於主力臂，所以小於 1，如圖 61。

從上面三種槓桿的機械利益，可以推知：(1) 機械利益為 1，則既未省力，也未省時間，祇得到改變方向的便利；(2) 機械利益大於 1，則省力而費時間；(3) 機械利益小於 1，則費力而省時間。所以機械的應用，不外乎省力或省時間。

第十二節 摩擦

從前有許多的科學家，想根據牛頓的第一運動定律，造一永動機 (Perpetual-motion machine)，但是常因受到一種運動的阻力 (Resistances)，沒有能達到目的。這運動的阻力就是(1) 重力 (Gravity)、(2) 空氣的阻力 (Air resistance)、(3)

摩擦 (Friction)。重力和空氣的阻力，在前面已略為講過，如拋體運動、空氣的反作用等都是。現在把摩擦的成因、類別和它對於機械上的利益，分述於後：

摩擦就是一物體沿着他物體的表面運動時，所受到的一種阻力，它的方向，恰和運動的力的方向相反。可分為**滑動摩擦 (Sliding friction)**，和**滾動摩擦 (Rolling friction)**兩種。

(一)**滑動摩擦** 一物體在他體面上滑動時所生的摩擦力，叫做滑動摩擦。例如在水平面上放一木塊 A ，如圖 62，繫線過滑輪 C ，線的一端懸一托盤 B ，中置砝碼。初時 A 和平面因經摩擦作用，並不移動，待 B 中砝碼漸增至相當的重量，超過 A 和平面的**最大摩擦力 (Maximum frictional force)**，這木塊 A 就開始移動。又如將 A 沿虛線分為二塊重疊起來，則使 A 移動的砝碼的重量，仍是相同。若將 A 上加置重物，則砝碼的重量亦須增加，方能使 A 移動。可知摩擦力的方向和物體運動的力的方向相反；摩擦力的大小，隨作用力的大小而定，和物體的接觸面的大小無關。

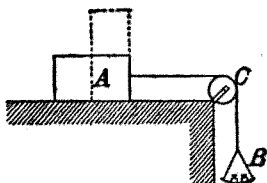


圖 62 最大摩擦力

滑動摩擦的成因，是因為兩個接觸面雖任何平滑，終有些凹凸不平，這些不平的部分，互相錯合，要想拉動它的時候，就有阻力發

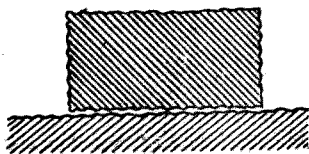


圖 63 滑動摩擦的成因

生，於是就成爲滑動摩擦。所以物體的接觸面愈粗糙，摩擦力就愈大；反之面愈光滑，摩擦力就愈小，在冰上推動石塊較易，在路上推動石塊較難，就是因路面粗糙的緣故。

(二)滾動摩擦 一物體在他物體面上滾動時所生的摩擦力，叫做滾動摩擦。滾動摩擦常較滑動爲小，例如在地面上不能拖動的物體，若放在有輪的底盤中曳之，就

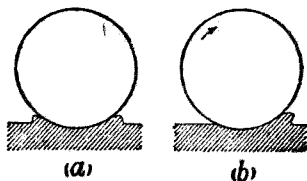
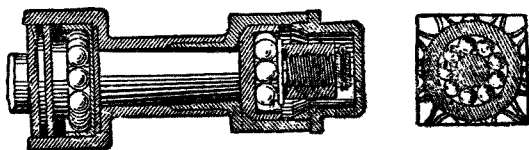


圖64 滾動摩擦的成因

較易滾動，即因滾動摩擦較滑動摩擦小的緣故。滾動摩擦的成因和滑動摩擦完全不同。試以重輪置於橡皮面上，當靜止的時候，可見輪下橡皮面略呈凹陷，而前後則略高，如圖64(a)。當輪向右滾動時，輪前的橡皮面就特別高出，如圖64(b)，阻礙輪的前進。於是就成爲滾動摩擦。

由上所述，可知車輪和接觸面的物質，若皆爲極堅硬而爲剛體(Rigid body)時，這滾動摩擦可至極小。所以機器及自由車的球軸承(Ball bearing)即以小球加入軸與軸承之間，使球隨軸滾動，以減少摩擦力。如圖65所示。



(1)

(2)

圖65 球軸承

摩擦對於我們的人生有極大的影響，就害的一方面說：摩擦可使運動的物體停止，減少我們作功的效率，又可使一切的機械因摩擦而使**機械效率** (Mechanical efficiency) 減低，所以機械常用各種的**滑劑** (Lubricant) 如油脂等以減少摩擦。就利的一方面說：我們如無摩擦，就一切的生活皆不可能，手執筆而筆會滑落；足在地上走，因不能發生反作用而不會前進；汽車、火車的車輪雖在地上疾轉，亦不能行動分寸。所以汽車輪胎上有凸出的花紋，使表面粗糙，賽跑的人跑鞋底上有釘等，都是使摩擦增大的一種作用。

第十三節 滑輪和輪軸

滑輪 (Pulley) 爲周緣鑿有小槽的堅硬圓形小輪，中心貫穿一軸，輪可依軸自由轉動，是一種變形的槓桿，亦有力、重，支三點。有**定滑輪** (Fixed pulley) 和**動滑輪** (Movable pulley) 兩種，此外又有兩種滑輪合組成的**滑輪組** (Block and tackle) 或**複滑輪** (Combination of pulleys)，茲分述於後：

(一)**定滑輪** 定滑輪裝在一定的地方，不能移動，如圖66，普通張帆、升旗等所用的都是。牠和第一種槓桿相似，軸是支點，力點和重點都在輪周上，因輪的半徑相等，

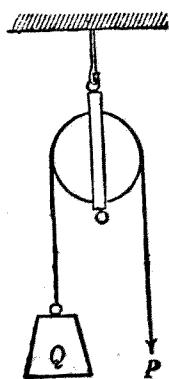


圖66 定滑輪

所以主力臂和阻力臂也相等，而機械利益為 1，即 $P=Q$ ，故利用定滑輪，並不能省力和時間，祇能改變方向。

(二)動滑輪 動滑輪裝在所拉的物上，可隨物體而上下，輪上的繩一端固定在一定地方，如圖 67，重物 Q 懸於輪下面的鉤上，力點和支點分在重點 Q 的兩旁，它和第二種槓桿相似。因重點 Q 在力點和支點的中間，所以它的重量就分配在繩的兩端，於是 $P = \frac{1}{2}Q$ ，即機械利益為 2。故利用動滑輪可省力一半，而方向不變。

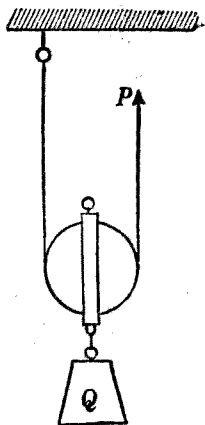


圖 67 動滑輪

(三)滑輪組 單用定滑輪祇變方向而不能省力；單用動滑輪又祇能省力而不變方向，所以在應用時，常把動、定二種

滑輪合併成滑輪組，如圖 68。(1) 為用大小不等的滑輪順裝於一長條上；

(2) 為若干個等大的滑輪同貫於一橫輪上，各成爲兩組，一組固定於上方，一組則依次位置於繩上，繩的一端固定，他端爲施力點 P ，重物 Q 懸於下組的鉤上，隨繩上下。因 Q 的重量完全平均支配在各繩上，而繩的條數恰等於滑輪的個數，故作用力 P 所感的重量，祇等於一繩上

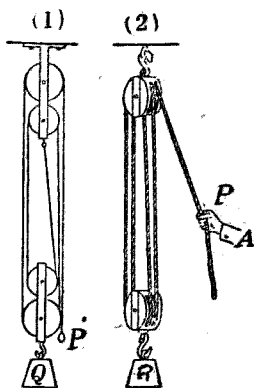


圖 68 滑輪組

數恰等於滑輪的個數，故作用力 P 所感的重量，祇等於一繩上

的重量。設 n 為滑輪組上分支的繩數，則可得式如下：

$$P = \frac{1}{n} Q$$

故滑輪組中的滑輪數愈多，它的機械利益就愈大。

輪軸(Wheel and axle)也和槓桿同理，其構造為一大滑輪連於軸上，如圖69。輪邊和軸各繞以繩，而方向相反。軸上懸重物 Q ，輪上繩施力，就可將重物提起。設輪的半徑 AC 為 R ，軸的半徑 BC 為 r ，則 R 為主力臂， r 為阻力臂。所以

$$P \times R = Q \times r$$

或 機械利益 = $\frac{Q}{P} = \frac{R}{r}$

即軸提上的重量或作用力的比，等於它們半徑的反比。故輪愈大則愈省力。井上的絞盤車(Windlass)即利用此理，而為一種變形的輪軸。

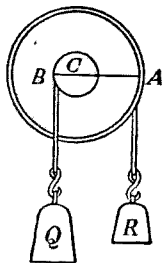


圖69 輪軸

第十四節 斜面和螺旋

凡和水平面成傾斜角度的平面叫做斜面(Inclined plane)。如圖70， l 為斜面的長， h 為斜面的高，用 P 力將 Q 重的物體由 A 曳到 B ，它所做的功為 $P \times l$ ，但同時物體的位置升高 h ，對於重力

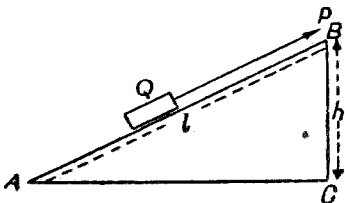


圖70 斜面

所做的功為 $Q \times h$ 。故

$$P \times l = Q \times h$$

或

$$\frac{Q}{P} = \frac{l}{h} = \text{機械利益}$$

所以斜面愈長，所需的力愈省。高大的建築物的樓梯，多為盤旋形，就是要增加斜面的長度，以求省力的緣故。

劈 (Wedge) 為兩個斜面所合成，它的頂角愈小，則機械利益愈大。如斧、刀等都是。其他如針釘等也和劈的作用相似。



圖71 劈

螺旋 (Screw) 係由斜面和槓桿連合而成。如以直三角形的紙繞於鉛筆上，則筆的周圍就成螺紋曲線，如圖72左。若沿這曲線有凸起條紋，就是**陽螺旋 (Male screw)**。如圖72右，又若在圓

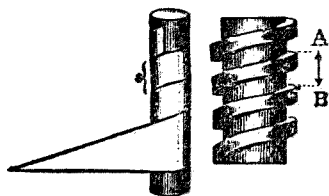


圖72 螺旋

孔中鑿成螺形條紋，恰能嵌合陽螺旋的，叫做**陰螺旋 (Female screw)**。其相鄰兩線的距離如圖72中的 S 或 AB ，叫做螺距 (Pitch)。設主力 P 推行螺旋的臂一轉，則阻力經一螺距 s 。若 l 為臂長，則

$$P \times 2 \pi l = Q \times s$$

或

$$\text{機械利益} = \frac{Q}{P} = \frac{2 \pi l}{s}$$

所以螺旋的機械利益很大。但實際上因摩擦力的關係，常不能得到理論上的數值。

第五章 熱

第一節 熱的來源

世界上一切的生物，都需要熱 (Heat) 來維持他的生命，並且還可以利用熱做多少事情，如烹煮食物、鍛鍊金屬、發動機器等等都是。所以熱是人類文明的本源。那麼熱是什麼呢？這問題恐怕有很多的人，雖能利用熱而仍不能答出吧。

我們已經知道尋常物體的分子，總是不絕的在運動着。若是分子運動劇烈，於是分子的能就增加，也就是熱增加。例如以鐵錘敲釘，碰擊部分的分子運動格外劇烈，就會發熱，或至有火星爆出。又如兩物體相摩擦，摩擦部分的分子運動劇烈，也會發熱。所以熱是分子運動所生的現象，是分子的動能，並不脫離物體而獨立存在，也並不是物質。

熱的來源最主要的是太陽。太陽不斷地把熱輸送到地球上來，不獨一切生物的生命賴它延續，並且許多物體在無形中吸收了太陽的熱，經過若干時間，又可供人們吸取。其次由人工而產生，例如(一)燃燒(Combustion)生熱；(二)摩擦、撞擊(Collision)，或壓縮(Compression)生熱；(三)由電流(Electric current)而生熱。

第二節 熱怎樣傳遞的

手持鐵棒，將棒的一端伸入火爐中，不久就感覺至手持的

一端熾熱不耐。這是因為鐵棒將熱從爐中的一端，漸次移動，傳了過來。熱可由一物體傳至他物體，可由一個地方傳至別一個地方。這叫做熱的傳遞 (Transmission of heat)。傳遞的方法，通常分為傳導 (Conduction)、對流 (Convection) 和輻射 (Radiation) 三種。

(一)傳導 像上面所說的鐵棒傳熱，是熱從高熱地方，經物質各部分逐漸傳至低熱地方，這就是熱的傳導。熱的傳導，各物質常有遲速的不同，也就是有難有易。這種傳導難易的程度，叫做傳導率 (Conductivity)。通常稱傳導率大的物質為導體 (Conductor)，傳導率小的為非導體 (Nonconductor)。設最易傳導的傳導率為1000，則幾種普通物質的傳導率可列表比較於下：

銀	1000	鋅	190	鉛	84	軟木塞	0.7
銅	736	錫	145	玻璃	20	空氣	0.5
金	532	鐵	119	鋇	18	酒精	0.4
鋁	310	鋼	116	水銀	15	氫氣	0.29
黃銅	231	鉛	85	水	11	碳酸氣	0.03

由上表可知金屬的傳導率最大，易於傳熱，尤以銀為最良的導體，液體不易傳導熱，氣體更難，故液體、氣體為非導體，羊毛、棉花等織物，中多空隙，內含空氣，不易傳熱，故可製為衣服，保持人體的熱使勿外散。

實驗17. 如圖73，以銅絲網放在酒精噴燈上，用火柴在

網上燃之，則焰在網上，倘在網下燃之，則焰又在網下。

這是因為銅絲網很容易將焰的熱傳去，使網的一方面的酒精汽體不能達到燃燒的程度，故有此現象。

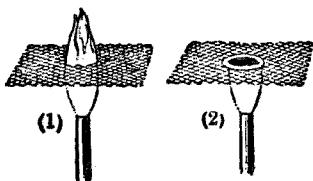


圖73 銅絲網的傳熱

礦中的**安全燈** (Safety lamp)，就是在燈的周圍包以銅絲網，使在遇到可燃氣體時，僅在網內燃燒，而不使網外着火，以免爆發的危險。這是熱的傳導的利用。

(二)**對流** 我們既知水為非導體，然用酒精燈加熱於水的下部，則不久全部皆熱，終至**沸騰** (Ebullition)。

實驗20. 如圖74，以圓底燒瓶，半盛以水，加木屑於水中，在瓶底加熱，可見水中木屑，在近火焰處上昇，而沿瓶側下降，如此循環不已。

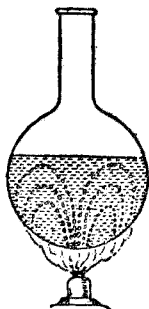


圖74 水的對流

這是因為近火焰的水受熱膨脹，密度減小輕而上浮，上部的較冷的水，密度較大，因而下降。如此循環昇降，終至全部所受的熱相同，而至沸騰。這種由物質本身的循環

而把熱傳到全部的現象，就叫做對流。對流不僅液體，即氣體也有對流的作用。冰箱、房屋的通風口等，都是對流的利用，又如**貿易風** (Trade wind) 也是因地球上赤道地方受太陽的熱較多，故近地面的空氣因熱上昇，溫帶較冷的空氣流來補充，再

受地球自轉的影響而成的。

(三)輻射 我們坐在火爐的前面就能感到火爐的熱，但空氣爲非導體，這熱的傳遞，當然不是由空氣的傳導；而且熱空氣因熱上昇，爐的四周空氣則向爐中流去，所以又不是空氣的對流。又如太陽和地球之間，除地球表面附有空氣外，中間完全是真空，這太陽的熱傳至地球，當然也不是由於傳導或對流。這種熱不依物質爲媒介，而由熱源直射而來的現象，就是輻射。

輻射既不藉物質爲媒介，那末它在空間中傳達時，必非熱能。因爲熱能是分子的劇烈運動，並不能離物質而存在。這種在空間中傳達的能，叫做輻射能 (Radiant energy)。據一般的科學家以爲在空間中有一種毫無重量，富有彈性，瀰漫宇宙的能媒(亦稱以太 Ether)。當高溫度物體(即熱源)的分子劇烈運動時，影響到四周的能媒，使它波動，這波動到達他物體時，促使這物體的分子劇烈運動，再現爲熱。這能媒的波動能，就是輻射能。也就是輻射的成因。

宇宙間一切物體，常不絕發散輻射能，同時也吸收由他物體所發的輻射能。所以放物體在日光中，溫度漸高，離開日光，即又漸冷。據實驗知凡黑色物體深色物體、或粗糙面物體，皆易吸收輻射能，而淺色物體或表面光滑的物體比較難於吸收，尤以白色爲甚。所以冬季衣服宜深，夏季衣服宜淡。

輻射能的性質與光的性質相同，依直線的方向進行。速度

很大，每秒鐘可進行 30 萬千米。並能發生反射，折射等現象（見後第七章第四、五節）。又可透過物體而不被吸收，例如日光經過空氣或玻璃，而空氣、玻璃並不得熱。

我們日常所用的熱水瓶，為避免熱的傳遞的一種製品。係一雙層玻璃瓶，如圖 75，壁間空隙抽成真空，以防空氣的對流作用，空隙的兩面塗成銀光，以除輻射作用。如內盛熱水，則內部的熱不會傳出；若內盛冰塊，則外面的熱亦不易傳入。均可保持原來的溫度至十數小時之久。



圖 75 熱水瓶

第三節 溫度和溫度計

用手觸物，就覺這物有寒暖，這寒暖的程度，叫做溫度 (Temperature)。普通利用我們的感覺，就可以辨別物體的溫度。例如手觸某物，感覺暖時，就說是溫度高，感覺冷時，就說是溫度低。但是這種直覺，有時會發生錯誤。如深井內的水，溫度本同，而我們常感到它是冬季溫暖，夏季寒冷；又如把手先放在熱水中浸過，再放入溫水中，就覺這溫水寒冷，若把手先放在冰水中浸過，再放入同一的溫水中，就又会覺到這溫水熱了。所以要想測知正確的溫度數量，必需利用溫度計 (Thermometer) 方可。

溫度計俗名寒暑表，種類很多。通常所用的是水銀溫度計

(Mercury thermometer) 和酒精溫度計 (Alcohol thermometer)

，以一端有球狀或圓柱狀部分的細玻璃管，上下直線須均一，內盛水銀或着色酒精將下端加熱，使液體膨脹，待空氣逐出後，密封玻璃管口，就成為溫度計。然後如圖76(1)，將玻璃管置於熔解的碎冰中，待管中水銀或酒精下降到一定點處，刻為冰點 (Ice point)，記以0；再如圖76(2)，置於一氣壓的蒸汽中，待管中水銀或酒精上升到一定點處，刻為沸點 (Boiling

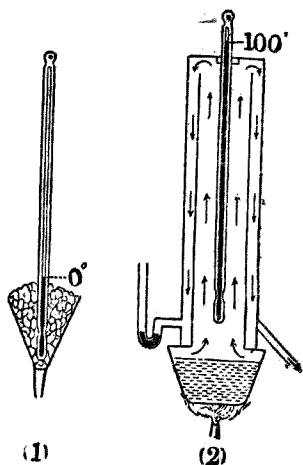


圖76 溫度計定冰點沸點法

point)。在冰點、沸點間，刻100等分，每格稱為一度 (Degree)，記為 1° 。這種的溫度計刻度法，是瑞典人攝氏 (Celsius) 所發明，叫做攝氏溫度計 (Celsius' thermometer)，或百度計 (Centigrade thermometer)，以C表之，為科學上通用的溫度計。

又有德人華氏 (Fahrenheit)，以水的冰點作為32度，沸點作為212度，冰點沸點間刻作180度，這叫做華氏溫度計 (Fahrenheit thermometer)，以F表之，通用於英美諸國。

溫度計的刻度法，除攝氏、華氏外，還有一種列氏 (Réaumur) 法，以水的冰點為0度，沸點為80度，冰點、沸點間刻

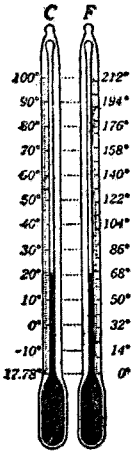


圖77 攝氏溫度計和華氏溫度計的比較

作80度，這叫列氏溫度計(Réaumur thermometer)以 R 表之。

三種溫度計的度數，可以依下列公式換算：

$$C = \frac{5}{9}(F - 32) = \frac{5}{4}R \dots\dots\dots(1)$$

$$F = \frac{9}{5}C + 32 = \frac{9}{4}R + 32 \dots\dots\dots(2)$$

$$R = \frac{4}{5}C = \frac{4}{9}(F - 32) \dots\dots\dots(3)$$

醫生所用的體溫計 (Clinical thermometer)如圖78， A 處管徑特別狹小，且微有彎曲。故水銀昇高後，再遇冷時，水銀柱就在 A 處截斷，昇高的水銀仍留原處不動，如此便可觀察當時的溫度。

第四節 膨脹

實驗21. 如圖79。一銅球在平常溫度時恰能在銅環中穿過，若將銅球加熱，就不能穿過，待其冷後，則又能穿過。

由上實驗，可知固體物質被熱後，它的體積就要膨脹 (Expansion)，遇冷後，它的體積就要收

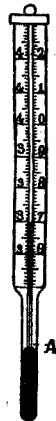


圖78 體溫計

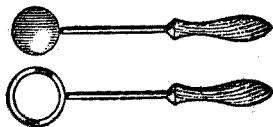


圖79 固體的膨脹

縮，當膨脹時，所生的體積增加，常向各方延長。若這物體是棒等形狀，則它膨脹時所延長的長度極為顯著。當溫度升高 1°C ，每單位長度的固體所增加的長，叫做線脹係數(Coefficient of linear expansion)；又當溫度升高 1°C ，每單位體積的固體所增加的體積，叫做體脹係數(Coefficient of cubical expansion)，體脹係數約為線脹係數的3倍。茲把日常所用的物質的線脹係數列表如下：

鋁	.000026	黃銅	.000019
銀	.000019	鉑	.000009
銅	.000017	玻璃	.000009
金	.000014	水晶	.0000005
鋼	.000011	因鋼	.0000009

日常所見的固體膨脹現象，在在皆有，例如鐵軌聯接處的空隙，冬日大，夏日小。玻璃器具驟然加熱，因各部分冷熱不勻，膨脹不同，即易生裂痕等等都是。

實驗22. 取試管一個，滿盛以液體，如圖80，於管口塞以橡皮塞，塞中通一細玻璃管。置試管於熱水中，則見液體在細玻璃管中上昇。

由上實驗可見液體亦有膨脹。惟因液體無一定的形狀，故沒有線脹係數，祇有高脹係數。例如上節所說的溫度計，中儲液體因熱而昇，因冷而

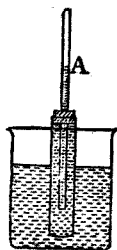


圖80 液體的膨脹

降，就是利用液體膨脹的器械。茲把日常所見的液體的體脹係數列表如下：

酒精	.00104	橄欖油	.00074
醚	.00215	松節油	.00105
水銀	.00018	石油	.00104

液體中水的膨脹，非常奇特。在一大氣壓下，其體積當 4°C 時為最小，溫度由 4°C 升高或降低時，它的體積都要脹大。所以水的密度在 4°C 時為最大，等於 1。當冬季湖中的水，湖面先冷，溫度降低時，密度漸大，沉入湖底，下面溫度較高的水，則上昇至湖面，冷後又沉下，如此交替，至全湖的水均降至 4°C 為止。此後湖面水的溫度如再降低，密度反減小，不再下沉，故湖面先結冰，而湖底的水仍為 4°C ，因此水中生物賴以保全生命。

實驗23. 取玻璃燒瓶一個，加塞，並插入玻璃管一支，管內放入紅墨水一滴如圖81，以手握瓶，即見紅墨水緩緩上昇。

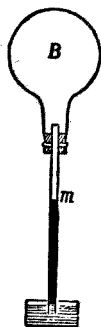


圖81 氣體的膨脹

由上實驗可知氣體因受熱而膨脹，而它的膨脹係數較固體、液體為大。據德人給呂薩克(Gay-Lussac)在 1802 年實驗的結果，確定各種氣體當它的壓力不變時，每溫度升高 1°C ，其體積即增加 0°C 時體積的 $\frac{1}{273}$ 或 0.00366 倍。這叫做給呂薩克定律(Gay Lussac's law)。

第五節 熱的計算

在前面我們已講過熱是一種能，那末它當然也有量。這熱的量，就叫做熱量(Quantity of heat)。即物體所含熱的多寡之量。凡物體所含的熱量增多時，溫度即升高；熱量減少時，溫度即降低。如以冷熱不同的二物體互相接觸，則熱者即以一部分的熱量傳至冷者，使熱者的溫度漸低，冷者的溫度漸高，至二者的溫度相等方止。

物體溫度的高低雖如上述，以所含的熱量多少而定，但他們的意義絕不相同。例如一大杯水和一小杯水的溫度雖同，但所含的熱量並不相等。即小杯所含的熱量少，大杯所含的熱量多。所以溫度是表物體所含熱的強度（即寒熱的程度），而熱量則隨物體的種類和質量而定。

熱量的單位為卡路里(Calorie)，簡寫為卡，即使1克的純水，溫度昇降 1°C 所需要或放出的熱量。例如使100克的水，從溫度 18°C 昇至 40°C ，所需要的熱量為 $100 \times (40 - 18) = 2200$ 卡，又若從 40°C 降至 18°C ，則所放出的熱量亦為2200卡。

使1克的純水溫度升高 1°C 所需的熱量為1卡，但其他各物質則並不相同。凡使一物體增高 1°C 所需的熱量，叫做熱容量(Heat capacity)。物質的熱容量和同質量水的熱容量的比，叫做該物質的比熱(Specific heat)。用式表明如下：

$$\begin{aligned} \text{比熱} &= \frac{\text{物質的熱容量}}{\text{同質量水的熱容量}} \\ &= \frac{\text{單位質量物質的熱容量}}{\text{單位質量水的熱容量}} \\ &= \frac{\text{1克物質升高 } 1^{\circ}\text{C 的熱量所需的卡數}}{\text{1卡}} \end{aligned}$$

∴ 比熱 = 1 克物質升高 1°C 或降低 1°C 所需要或放出熱量的卡數

設 H 為 m 克物質由溫度 t_1 昇至 t_2 所需的熱量，則

$$\text{物質的熱容量} = \frac{H}{t_2 - t_1}$$

$$S = \text{比熱} = \frac{H}{m(t_2 - t_1)}$$

$$\therefore H = mS(t_2 - t_1)$$

式中 mS 即為物質的熱容量，

茲將幾種重要物質的比熱列表於下：

水	1.0000	水銀	0.0332	銅	0.0968
酒精	0.5970	水蒸汽	0.4805	鋁	0.2143
冰	0.5040	空氣	0.2376	鉑	0.0324
鉛	0.0314	金	0.0324	銀	0.0570
鐵	0.1138	玻璃	0.2090	鋅	0.0950
錳	0.1092	鈹	0.0308	錫	0.0555

第六節 物態的變化

冰遇熱而熔爲水，水遇熱而化爲汽，這是我們常見的現象。其他物質因吸收或放散熱而起的**狀態變化** (Change of state)，也所在都是。可類別如下：

(一)固體得熱變爲液體的現象，叫做**熔解**(Fusion or Melting)。固體開始熔解時的溫度，叫做**熔點**(Melting point)。凡 1 克物質在熔點完全熔成同溫度液體所需的熱量，叫做**熔解熱**(Heat of fusion)。

(二)液體失熱變爲固體的現象，叫做**凝固**(Freezing or solidification)，液體開始凝固的溫度，叫做**凝固點**(Solidifying point)。液體凝固時所放出的熱量，和固體熔解時所吸收的熱量相等。

(三)液體得熱變爲氣體的現象，叫做**汽化**(Vaporization)。汽化時液體露在空氣的表面分子，飛散空中，就成爲汽(Vapor)。凡 1 克液體變爲同溫度的汽，所需的熱量，叫做**汽化熱**(Heat of vaporation)。若在平常溫度時，液體表面逐漸汽化的現象，叫做**蒸發**(Evaporation)。

如於瓶中盛液體，瓶口緊塞，則因液體的蒸發，瓶內液面上的空氣，所含的汽分子，可以逐漸增加，而達最高限度，這時液體分子飛散空氣中的數目，和空氣中汽分子回入液體內的數目相等。這時液面上的汽，叫做**飽和汽**(Saturated vapor)。所呈的壓力，叫做**飽和汽壓**(Saturated vapor pressure)。

水的飽和汽壓，在 100°C 時爲 76 厘米水銀柱高，恰和平

常的大氣壓力相等。所以水在平常氣壓之下，到 100°C 時，就蒸發很快，不僅表面，就是內部亦變成氣泡昇至水面而為蒸汽 (Steam)，這種現象，叫做沸騰 (Ebullition)。沸騰時的溫度，叫做沸點 (Boiling point)。所以沸點就是液體的飽和汽壓恰等於液面所受壓力時的溫度。倘液體所受的壓力增大，沸點亦就升高，液面所受的壓力減小，沸點亦就降低。故在山上煮飯，因壓力小、沸點低，常不易煮熟。

(四) 氣體失熱，變為液體的現象，叫做液化 (Liquefaction)。液化時氣體將所得的汽化熱，復行放出。冬季用以取暖的水汀管，就是利用蒸汽液化時所放出的汽化熱。

(五) 固體得熱不經液體而直接變為氣體的現象，叫做昇華 (Sublimation)。如碘、硫黃等，在它面上，也有汽發生。昇華和汽化的情形相同，到一定壓力的時候，即停止昇華作用。

第七節 大氣中的水汽

溼的毛巾，放在空中，不久就會乾燥，地面上有一窪的水，不久也就由深而淺，以至乾涸。這都是因為水受了太陽的熱，蒸發為水汽飛散空中的緣故。地面上如江、湖、河、海等的水，也無一不是在時時蒸發，化為水汽飛散空中。所以大氣中常含有若干量的水汽。大氣能含水汽的最大量，即飽和汽量。這飽和汽量，常依當時的溫度而定。溫度愈高，飽和汽量愈大，溫度降低，飽和汽量也就減小。因此在某溫度時，大氣

中的未飽和水汽，若溫度降低，就可變為飽和狀態，如溫度再降低，就有一部分的水汽，液化而凝成小水滴。這時的溫度，叫做**露點**(Dew point)。

大氣中的水汽，因氣溫降低而凝結，若此時的溫度在冰點以上，即凝為液體而成露、霧、雲、雨；若在冰點以下，即成為固體如霜、雪、雹、霰等。分述如下：

(一)**露** 天氣晴朗的夜間，地面上物體如草木瓦石之類，因輻射散熱，溫度降低，大氣中水汽，遇着此等冷物，若溫度在露點以下，就凝結成**露**(Dew)。

(二)**霜** 秋末春初的夜間，露點若在冰點以下，則水汽直接在物體的表面上凝固成**霜**(Frost)。

(三)**霧** 若空中含有多量的水汽，且和地面接近的空氣，到了露點溫度以下，則接近地面的水汽凝結於飄浮空中的塵埃上，而成水球，散佈空中，便成為**霧**(Fog)。

(四)**雲** 低處或他處的熱空氣，吹入高處冷空氣中，混合後的溫度，達露點以下，則其中的水汽即凝而為**雲**(Cloud)，雲中不一定含有小水球，高層的雲，往往為細冰片所集成。

(五)**雨** 在雲中含有多量的水球時，因受重力的作用，不能再浮游空中，即下降而成**雨**(Rain)。

(六)**霰** 雨滴下降時，如經過冷空氣層，溫度在冰點以下，未達地面已凝固成冰珠，而為**霰**(Sleet)。下雪之前，每多有霰。

(七)雪 若水汽凝結時，溫度在冰點以下，則不成水球，而成極小的固體結晶，就是雪 (Snow)，雪花多為六角形或六邊形，極美觀。

(八)雹 雨雪下降時，如遇強烈的氣流，挾了它昇降，輾轉於冷熱氣層之間，凝固與熔解相互作用，層層重疊，愈結愈大，最後因重下降，就成為雹 (Hail)，雹多降於夏季，因夏季多暴風的緣故。

第八節 利用熱的機器

熱是分子劇烈運動所生的一種能，在前面已經講過。利用這種熱能，使變為機械能以作功的裝置，叫做熱機 (Heat engine)。熱機的種類甚多，如蒸汽機 (Steam engine)、內燃機 (Internal combustion engine) 等都是，分述如下：

(一)蒸汽機 英人瓦特 (James Watt) 看見壺內水沸，蒸汽推蓋逸出，遂悉心研究，利用蒸汽膨脹之力，製成近世通用的往復蒸汽機 (Reciprocating steam engine)。它的構造如下圖， F 為火爐 (Furnace)， B 為汽鍋 (Boiler)， B 中貯水，受 F 的熱，化為蒸汽，由 S 管通入蒸汽房 (Steam chest) V ，再由過道 (Passage) N 進入機筒 (Cylinder) C 的右端，將活塞 (Piston) P 向左推動，牽動連桿 R 和曲柄 (Crank) 隨了向左，使曲柄軸成迴轉運動。附於軸上的偏心輪 (Eccentric wheel) 亦隨了迴轉，將 R' 桿向右推動，活門 V 即隨之向右。待 V 移至右方後，

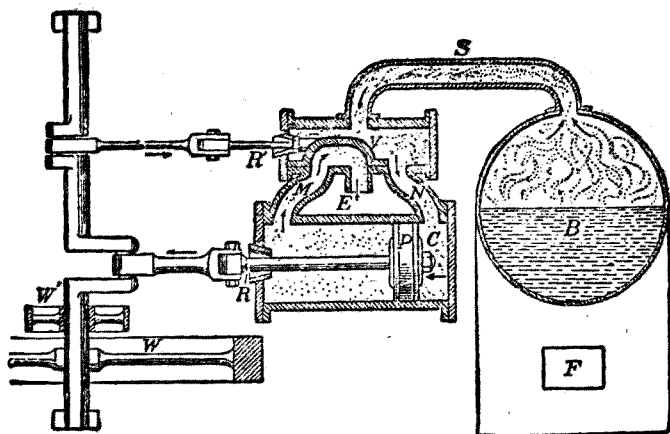


圖82 蒸汽機

遂將 S, N 的通路隔斷，而將 S, M 的通路放開，蒸汽即由 M 進入機筒，而將活塞 P 向右推動，同時 V 則向左移動，原在筒內右方的蒸汽，即經過道 N 及排氣管 (Exhaust) E 排出筒外。待 V 移至機筒左方時，又將 S, N 的通路放開， S, M 隔斷，蒸汽復送 N 進入機筒，將活塞 P 向左推動，筒左蒸汽由 M 及 E 排出。這樣往復不息曲柄軸亦轉動不止。如用皮帶聯接鐵輪 W' ，及其他機械，即可使它繼續作功。

當活塞 P 行至左右兩極端時，往往不能使曲柄轉動，為免除這個困難，在軸上裝一質量極大的飛輪 (Flywheel) W ，因 W 的質量極大，既動之後，由慣性作用，不易停止，遂可使軸繼續轉動，並可使轉動速度不致急速更變，保持均一。故飛輪尚有調節速度的功用。

蒸汽機的用途極廣，火車、輪船以及工廠中的原動力，大都用這種裝置

(二)內燃機 蒸汽機所用的燃料係在機筒以外燃燒，故必須有笨重的鍋爐，頗不便利。內燃機則所用的燃料即在機筒內燃燒，輕便易動。如圖 82， P 為活塞，以金屬桿和飛輪 W 相聯接， S 為進氣活門 (Intake valve)， E 為排氣活門， S 及 E 的開閉均由聯於轉軸上凸輪 (Cam wheel) 撥動。利用汽油、石油或煤氣和空氣混合，吸入機筒，用電花使它燃燒，發生爆炸，以推動活塞。它的動作，可分為吸入、壓縮、爆發、排氣等作用的四步：

1. 吸入作用，由飛輪 W 的轉動，拉活塞 P 向右時，活門 E 關閉，活門 S 開放，混合氣體即從 S 沖入機筒內。

2. 壓縮作用。飛輪繼續迴轉，推活塞 P 向左，同時活門 S 關閉，於是筒內氣體的體積因受 P 的壓力而減小。

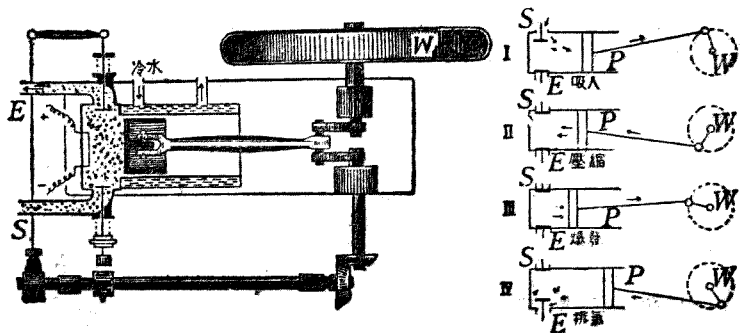


圖 83 內燃機的原理

3. 爆發作用。當活塞 P 向左的一瞬間，電花通過，機筒內混合氣體立即爆炸，壓力驟增，活塞 P 即被推向右。

4. 排氣作用，因飛輪的慣性，活塞 P 又被推向左，活門 E 開放廢氣即由 E 排出筒外。

這四步動作，循環不已，所以可使它繼續轉動。除第 3 的爆發作用，加力於活塞 P 之外，其他三種作用皆賴飛輪的慣性作用。這種機關，因為輕便，故汽車、飛機上都採用它。

第六章 聲

第一節 聲是怎樣發生的

用錘擊鼓，鼓就發聲，這聲是怎樣成功的呢？我們又怎樣感覺到的呢？要知道這種道理，須要研究下面的幾點：

(一)波動 投一小石入靜止的水面，水受擾動，即見水面依石子為中心，滿佈圓輪狀上下振動的水波，向四外傳播，這種現象，叫做**波動**(Wave motion)。當波動時，如於水面置一小木片或樹葉，就見這小木片或樹葉僅隨波作上下的擺動，並不隨波形前進，可見水面的圖形波紋，雖向四外進行，但水的各部並未向外流動，祇在原位置的近傍作上下左右的往復振動罷了！如圖 84 即為水波的形狀；圖 85 為水波的橫剖面，凸

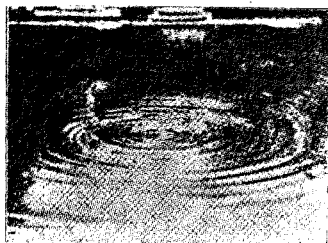


圖84 水波

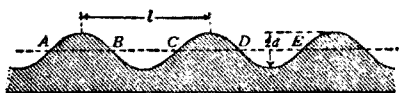


圖85 水波的橫截面

起處為**峯**(Crest)，凹下處為**谷**(Trough)， l 為**波長**(Wave length)，虛線為水平面，峯或谷和水平面的距離 d 叫做**振幅**(Amplitude)。凡能傳播波動的物質，叫做**介質**(Medium)，例如上述的水，就是介質。

波動可分為橫波(Transversal wave)及縱波(Longitudinal wave)二種。例如固定長繩的一端，手執另一端，上下振動，就見繩上起凹凸的波形，向固定的一端進行，這種介質各部分的振動方向，和波動傳播的方向，互相垂



直的波，就是橫波。

圖86 橫波

如圖86。輻射波、光波、電磁波(見後)都是這一種波。又如固定彈簧的一端，如圖87，手執另一端向上驟壓一下，放手後，就見彈簧上線圈的排列，疎密相間，依次傳播。這種介質各部分的振動方向，和波動傳播的方向同，在一直線上的波，就是縱波。聲波就是這種波。



圖87 縱波

(二)聲波 正在發聲的鼓，如用小棒輕觸鼓皮，即見小棒跳動不已，又如用手指撥動緊張的弦線，就見弦線迅速振動，同時可聽到它所發的聲音。可知一切聲音，都是由於發音體的迅速振動而成功。當發音體向一方振動的時候，壓擠近傍的空氣，使它密度增加，等向他方振動的時候，空氣膨脹，密度減小，因此疎密的狀



圖88 電鈴的聲波

態，向外傳播，遂成聲波 (Sound wave)，傳入人耳，使鼓膜發生振動，即生聲音的感覺。

傳聲的介質，最普通的即為空氣，其他氣體及液體固體皆能傳聲，而尤以液體、固體為佳。若無介質，就不能發生波動，即無聲波。試以電鈴置於空氣唧筒的鐘罩內，將空氣逐漸抽去，鈴聲即隨空氣的稀薄，漸漸減低，以至不能聽到，放入空氣，鈴聲復響。如圖89。

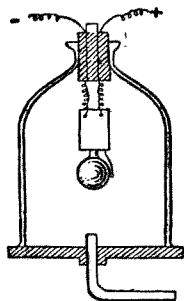


圖89 真空中的鈴

聲波從甲地傳至乙地，必須相當的時間，例如遠處放炮，先見煙火，後聞聲音；又如望遠方人打樁入地，先見槌和樁頂接觸，在相當時間後，才聽到聲音，都可證明。所以欲測知聲波在空氣中傳播的速度可由一人在相隔較遠的甲地放炮，一人在乙地測自見煙火至聞聲相距的時間，以時間數去除距離數，就可求得聲波的速度。但聲波順風較逆風為速，故在測驗時，應由二人互換放炮，以求它的平均速度，方始正確。據精密測定的結果，知聲波在空氣中傳播的速度，隨溫度高低而不同，大概在 0°C 時，每秒約為331.3米，溫度每升高或降低 1°C ，聲速就要增減0.6米。液體的傳聲，速度較大，在水中約為每秒1400米。固體尤大，如在木中平均約為每秒4000米，鋼鐵中約為5100米。

第二節 聲波的反射和折射

我們在山谷或高大房屋的前面，大聲高呼，不久就可再聽到同樣的聲音，這種現象，叫做回聲 (Echo)。回聲的發生，是由於聲波傳至山谷或房屋，遇着阻礙，而生反射 (Reflection) 的緣故。室內講話，反射回聲很快，和原聲相合，故聽不到回聲，僅覺聲音增強，分外清晰；若在大講堂中，回聲射回較遲，和原聲相混，故常聞哄哄混雜的聲音，這叫做交混回響 (Reverberation)。要想免去這種弊病，祇要多開窗戶，使聲波傳出消散，或於四壁懸掛呢絨簾幕，以吸收聲波，即可不起反射。又如雷雨的時候，常聞雷聲隆隆不絕，亦是由雲層間的繼續反射之故。

遠寺鐘聲，我們在順風時較逆風時易於聽到，在夜間較晝間清晰，這是因為聲波的折射 (Refraction of sound) 的關係。折射的發生，是因為風在近地面受有物體的障礙，速度較高處的小，聲波在順風中傳播時，高處進行的速度就較近地面上的大，於是進行的方向就會逐漸向下彎曲，如圖 90(甲)，人立地面，容易聽到，若聲波在逆風中傳播時，高處進行的速度，因阻力大，故較近

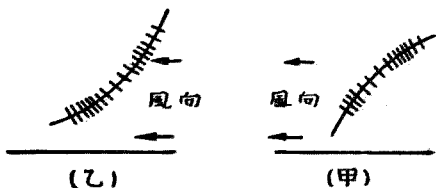


圖90 聲波的折射

地面的小，於是進行的方向就會逐漸向上彎曲，如圖 90(乙)，人立地面較難聽到。又因晝間高空溫度較地面為低，故近地面

處的聲波傳播速度較快，和在逆風中的情形相似；在地面不易聽到，夜間地面輻射散熱，易於冷卻，溫度較高空為低，故聲波向下折射容易聽到。

第三節 樂音

鼓琴奏樂，所發出聲音，令人的聽覺，感到愉快，這是因為發聲體的振動，有整齊的規則，所發聲波的**頻率**(Frequency 即發音體每秒振動的次數)及波長，均有一定，這叫做**樂音**(Musical sound)，若發聲體的振動，雜亂無章，所發聲波的頻



率及波長均無一定，如 **A**  **B**  車聲、雷鳴、槍炮等聲音，令人的聽覺，感到

圖91 音的代表曲線 A: 噪聲; B: 樂音

不愉快，這叫做**噪聲**(Noise)。樂音、噪聲可以圖91的代表曲線表示它。在物理學上所討論的是樂音，對於噪聲，因無一定的規則，所以平常不去研究牠。

樂音有三種要素，就是(一)**響度**(Loudness)、(二)**音調**(Pitch)、(三)**音色**(Quality or timbre)。分述如下：

(一)**響度** 響度就是聲音的強弱。在一定的距離間，響度可由發音體振動時振幅的大小而定。振幅大，所發的聲強；振幅小，所發的聲弱。例如重敲鐘、鼓，則振幅大而發聲響亮；輕敲則振幅小而發聲低弱，就可證明。但發音體若距離過遠時，空氣中所傳的聲波，因擴散的面積很大，故振幅漸小，聽

到的聲音亦就微弱。如聲在管中進行，面積並不增大，響度即不改變，醫生所用的聽診器，就是利用此理製成。

(二)音調 音調就是聲音的高低，由於發音體振動的頻率多寡而定。頻率大，所發的聲高；頻率小，所發的聲低。女子的聲音，因發聲時頻率較男子多，所以音調較男子為高。

人耳能聽到的聲音，它的頻率不能少於 20，亦不能超過 20000。但各人稍有不同，且於年齡亦有關係。普通我們說話時，頻率約在 80 至 1000 之間。

(三)音色 當各種樂器同時奏同樣音調和響度的音時，我們仍能辨別，這就是因為音色各別的緣故。普通樂音，是由幾種最簡單的純音(Pure tone)混合所成的複音(Compound tone)。複音中頻率最小的純音叫做基音(Fundamental tone)，其他頻率較大的，叫做泛音(Overtone)，泛音的頻率如為基音的整倍數的，叫做諧音(Harmonics)。所以兩樂器的基音雖然相同；如所含的泛音不同，則合成的複音亦就不會相同，使我們生不同的感覺了。

第四節 發聲體和共振

樂器的種類雖多，惟發音體不外弦線、氣柱、棒、板及膜等幾種。利用絃線的振動以發聲的樂器，叫做絃樂器(String instrument)，如鋼琴、胡琴、琵琶等都是。利用氣柱的振動以發聲的樂器，叫做吹奏樂器(Wind instrument)，如軍號、

風琴管、笙、簫、笛等都是。利用棒板或膜受打擊後振動以發聲的樂器，叫做**擊奏樂器**(Percussion instrument)，如音叉、鑼、鼓、鐘、鈴等都是。茲將各發音體發聲的情形討論如下：

(一)**絃的振動** 將絃緊張於兩點，在它的中央。用指輕撥，或用弓擦，絃就全部作**基本振動**(Fundamental vibration)，發出基音，如圖 92(A)。

如用指輕按絃的中點，撥動全長四分之一處，絃就分做兩段振動，發出較基音為高的**第一泛音**(First overtone)，如圖 92(B)。

如用指輕按絃長三分之一處，撥動全長六分之一處，絃就分做三段振動，發出較第一泛音稍高的**第二泛音**

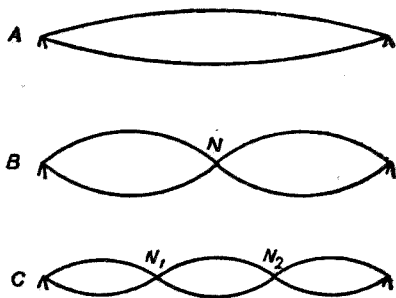


圖92 絃的振動

(Second overtone)，如圖92(C)。

絃的振動是一種橫波。它的各部分常在等長的範圍內作同樣的振動，波形並不前進。這因為波從一端向他端進行，進至某點，復反射而回，進行波和反射波互相干涉而生合成波。這合成波有振動劇烈而恆劇烈振動處，有全不振動而恆靜止處，所以這波就止於一定的範圍內而不前進，這種波叫做**駐波**或**定波**(Stationary wave)。駐波振動最劇烈處，即各段的中央，叫做**腹**(Loop)，全不振動處，即各段的界點，叫做**節**(Node)。

如圖92中之 N 、 N_1 、 N_2 ，節和腹的位置常一定，其距離等於波長的二分之一，相鄰二腹點或二節點間的距離，等於駐波的二分之一波長。

絃的振動頻率，由實驗知和絃的長短、粗細、密度、張力有一定的關係。即(1)和絃的長短成反比例，即絃長的頻率小，絃短的頻率大；(2)和絃的粗細成反比例，即絃粗的頻率小，絃細的頻率大；(3)和物質密度的平方根成反比例，即密度大的頻率小，密度小的頻率大；(4)和張力的平方根成正比例，即張力大的頻率大，張力小的頻率小。例如琵琶上的四條絃，粗細、鬆緊各不相同，所以音調亦就各異。

(二)氣柱的振動 簫笛等的被吹發聲，即由於管中空氣柱(Air column)的振動所致。因吹簫笛時，吹口被吹。而發生複雜的振動，使空氣的疎密傳送入管，由反射的關係，如管長適宜，管內空氣柱的振動，即成駐波而發聲。若管的一端封閉，

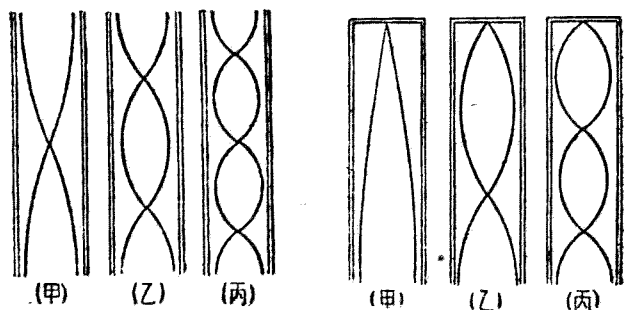


圖93 管的振動 左：開管 右：閉管

則因閉端的空氣，最難振動，所以閉端即成爲節；如管的兩端均開，則開端的空氣振動較易，故成爲腹。凡兩端均開口的管，叫做開管(Open pipe)，如簫、笛等都是；其一端封閉的管，叫做閉管(Closed pipe)，如警笛即是(圖93)。

(三)棒的振動 棒(Rod)的振動有縱橫二種，如夾住金屬棒或玻璃棒的一端，以敷有松香的布或以醚浸溼的布沿棒摩擦，棒即沿了它的長度而生縱振動，發極高的聲，棒的一端既被夾住，即靜止而成節，其他端可自由伸縮振動，故成腹，它的情形，和閉管相同。又如夾住金屬棒的一端，用力側擊它的

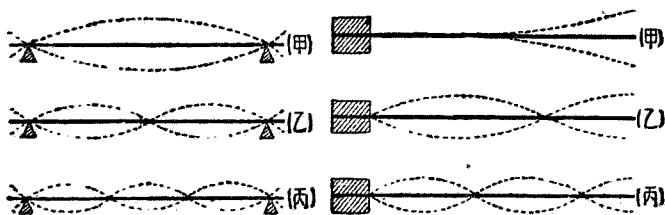


圖94 棒的振動 左：二端自由振動 右：一端自由振動

另一端，或架棒於二支點用力擊它的中心，棒即發生橫振動而發聲，它的情形和絃的振動相同，如圖94。

(四)板和膜的振動 鑼、鼓、鐘、磬等的發聲，都是板(Plate)或膜的振動。以圓形或方形的金屬板或玻璃片，固定它的一點或數點，用弓弦摩擦它的邊緣，板即上下發生非常複雜的振動而發聲。當板振動時，固定點即靜止而成節，振動劇烈部分即成腹。如各靜止點相聯而成曲線，這叫做節線(Nodal

line)。若預先撒佈細砂於板上，則在腹部的砂，因被振都飛躍而集於靜止的節線上，成有趣的圖形，如圖95，這叫做克拉德尼圖形 (Chladni's figure)。如板的形狀不同，或固定點互異，就可得出種種形式的圖樣。

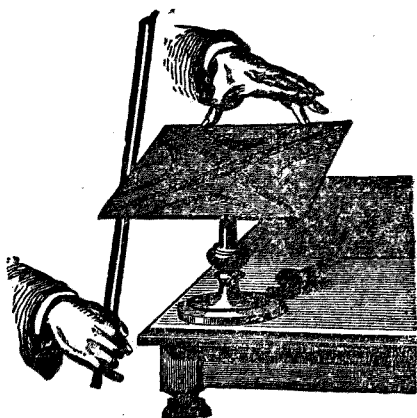


圖95 板的振動

發聲體振動發聲的情形，既如上面所述，若有二個頻率相同的發音體甲、乙，甲體振動發聲，暫時之後，乙體受到甲體振動的刺激，自起振動，振幅漸漸增大，而亦發聲，這現象，叫做共振 (Resonance)。如以頻率相同的二音叉 (Tuning fork) 相離對立，如圖 96，再以木槌猛擊其一，使它發聲，則其他一音叉亦即振動發聲。這就是因第一音叉被擊振動，傳於周圍的空氣，由空氣疎密的波動，刺激同頻率的第二音叉，使它自起振動的緣故。利用共振以增大音響的事實很多，如三絃、琵琶、胡琴、月琴等，都裝在空箱上面，都是利用共振的原理。

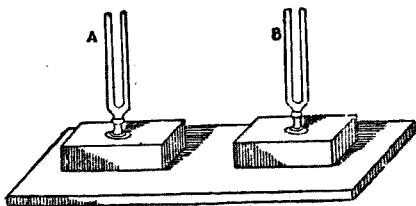


圖96 音叉的共振

第七章 光

第一節 光波是怎樣發生的

一切物體因分子的運動，影響四周的以太，使它波動而成爲輻射，我們在前面已講過。若是這物體的溫度較低，所發出的輻射線，僅是我們人眼所不能見的波長較長的熱線(Heat ray)。如溫度漸漸增高，所發的輻射線，有波長較短的波動，到了適當的溫度，這輻射線就成爲我們人眼可見每秒進行30萬仟米的光(Light)。凡能發光的物體，叫做發光體(Luminous body)或光源(Light source)，如太陽、恆星、電燈、燭火的焰，以及其他燃燒物體等都是。若物體自己不能發光，非藉外來的光，不能爲人眼所見的，叫做不發光體(Non-luminous body)或被照體(Illuminated body)，如地球、月球和行星等都是。

窗上置玻璃，太陽光就可由玻璃透入，若窗上釘以木板，太陽光就被阻而不能通過。這種光可透過的物質，叫做透明體(Transparent body)，光不能透過的物質，叫做不透明體(Opaque body)。介於二者之間，能透過一部分的光，但不能隔了它看見物體的，如毛玻璃、油紙等，叫做半透明體(Translucent body)。

我們常看見太陽光在窗隙中射入，映着空氣中的塵埃或煙霧，成一直線，若用不透明體遮隔，太陽光即不能轉折射來，這種光在密度均勻的均勻介質(Homogeneous medium)中，依

直線進行的現象，叫做**光的直線傳播**(Rectilinear propagation of light)。因此光所通過的路，就叫做**光線**(Light ray)，可用直線來表示它。

實驗24 取一硬紙板，穿一針孔，在暗室中放在燭焰和紙屏的中間，如圖97，則紙屏上現一倒立的燭像。

上面這個實驗，即是由於光的直線傳播所成，因燭焰 AB 間各點所發的光，都依直線通過針孔，所以成

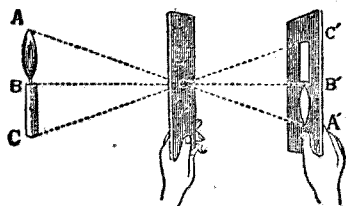


圖97 針孔像

為**倒像**(Inverted image)；又因它為實際光線集合而成，所以又叫做**實像**(Real image)。

如用一面開口的暗箱，閉面穿一針孔，開口的一面裝一毛玻璃或敷以油紙，即成一**針孔照像機** (Pin-hole camera)

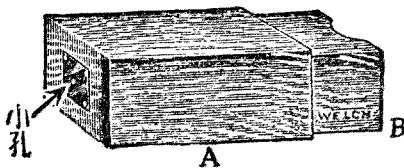


圖98 針孔照像機

將針孔向着屋外，在玻璃或油紙上即可映出屋外景物的**針孔像**(Pin-hole image)，如圖98。

第二節 日蝕和月蝕

置不透明體於發光體的前面，光線被不透明體所遮不能通過，於是在這不透明體的後面，就生出一黑暗部分，叫做**影**

(Shadow)。影的生成，也是由於光的直線傳播。若發光體的面積極小，可視作一點，如

圖99(甲)的 S ，所發出的光線，完全被不透明體 $A_1 A_2$ 所遮隔，所成的影完全黑暗，如 $A_1 A_2 B_2 B_1$ ，輪廓非常顯明，這叫做**本影** (Um-

bra)。如發光體並非一點而有相當的面積，如圖99(乙)的 $S_1 S_2$ ，則中央部分 $A_1 A_2 B_3 B_2$ 成爲黑暗的本影，而

它的周圍部分，可受到發光體所射來的一部分的光，成爲較淡的影，這叫做**半影** (Penumbra)。又如發光體較所遮的不透明體更大，如圖99(丙)的 S ，則所成的本影成一圓錐狀，如 $A_1 A_2 C$ ，若置幕於遮隔物之後，距離較遠如 $B_5 B_6$ ，則幕上僅有半影 $B_5 B_6$ ，而無本影。

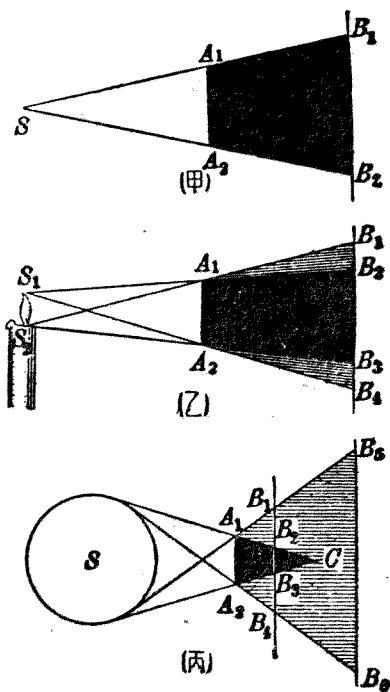


圖99 影

日蝕 (Solar eclipse)、**月蝕** (Lunar eclipse) 就是自然界中影的現象。當月球行至太陽和地球的中間，太陽光不能到達地球就成爲日蝕。當地球行至太陽和月球的中間，太陽光不能到達

月球，月面黑暗，就成爲月蝕。如圖 100，日蝕時地球進入月

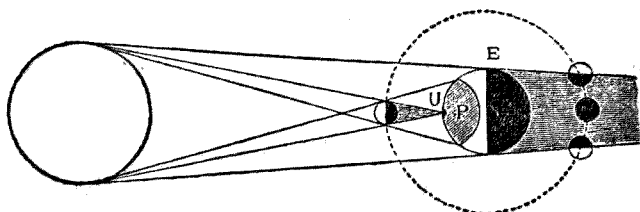


圖100 日蝕和月蝕

球本影內的地點，完全不見太陽，叫做**全蝕** (Total eclipse)，祇進入月球半影的各處，仍可看見一部分的太陽，叫做**偏蝕** (Partial eclipse)，有時月的本影不能到達地面，此時地面上正對本影圓錐頂點的地點，仍可看見太陽的邊緣，叫做**環蝕** (Annular eclipse)。月球距離地球，較地球本影圓錐的長度小，所以月蝕祇有全蝕和偏蝕，沒有環蝕。

第三節 照度和光度

光源的光，以光源爲中心，向各方成球形射出，沿着直線進行，所以距離物體愈遠，所照的物體的面積就愈廣。但光源所發出的光量有一定，射出愈遠，面積愈廣，光量就被分散而減弱。故物體距光源愈遠，所受到光源射來的光量亦愈弱，因而較暗，物體漸近光源，所受的光量漸強，因而較明。凡單位面積在單位時間內所受到的光量，就叫做**照度** (Intensity of illumination)。如圖101，假定離光源單位距離的平面(I)上，所受的照度爲1，則離光源2倍距離處的平面(II)上，面積大

四倍，所以照度應為 $\frac{1}{4}$ ，在3倍距離處的平面(Ⅲ)上，照度應為 $\frac{1}{9}$ 。可知被照體的照度，和光源距離的平方成反比例。

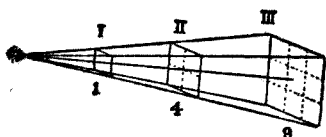


圖101 照度和距離的關係

若從光源射出的光，不成球形四射，而為平行光線，如探照燈所發出的光，因面積並不擴大，所以照度和光源的距離不生關係，但照度和光線的直射斜射關係甚大。即光線直射時照度大，斜射時照度小。地球和太陽的距離，冬季較夏季近，但因冬季日光斜射，地面上所受的光和熱反較夏季少，所以才有寒暑的區別。

我們知道在同一距離中，50支燭光的電燈，較25支燭光的電燈要亮得多，這是因為光源所發出的光量的強弱有不同的緣故。這種光源所發光量的強度，叫做**光度**(Intensity of light)。光度的單位為燭光(Candle power)，是用鯨油所製標準蠟燭所發的光而定。上面所說50支燭光的電燈，就是用這個單位。

比較光度的強弱，普通所用最簡單的儀器，是本生油斑光度計 (Bunsen's grease-spot photometer)。如圖 102，B 及 C 是擬作比較的二光源，A 為紙製的圓形板，中央塗蠟或油，都直立在米尺上面，圓板可往來移動。圓板中央因

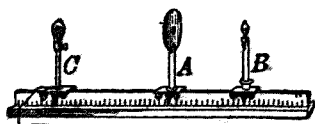


圖102 本生油斑光度計

塗蠟，成半透明體，光線易透過，其他部分光線不能透過。如於 B 側觀 A 時，若 A 距 C 近，則 C 的光透過塗蠟部分而來的較 B 的光透過去的多，於是塗蠟部分覺得明亮。相反的若 A 近 B ，則由 B 觀 A 時，塗蠟部分因 B 的光過去多，而 C 的光過來的少，即成黑暗。但在 C 側觀 A ，塗蠟部分又成明亮。如調節 A 的位置，使從兩側觀 A 塗蠟部分的明亮相等，就是 B 、 C 兩方的照度相等。設令 L 、 E 代表 B 、 C 光源的強度， a 代表 AB 的距離， b 代表 AC 的距離，那末 A 面上兩邊的照度為 $\frac{L}{a^2}$ 和 $\frac{E}{b^2}$ ，所以

$$\frac{L}{a^2} = \frac{E}{b^2} \quad \text{或} \quad \frac{L}{E} = \frac{a^2}{b^2}。$$

於是可知兩光源的光度的比，和圓形板相隔距離的平方成正比。如一光源的光度為已知，即可由其距離測得其他一光源的光度。

第四節 光的反射

太陽光從窗隙中射入時，你如用一面小平面鏡承接它，就見這太陽光變更方向而射回，如圖 103，這個現象，叫做光的反射 (Reflection of light)。又如圖 104，光線和鏡面相遇的一點

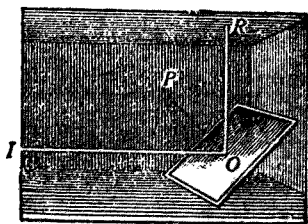


圖103 光的反射

O ，叫做**入射點** (Point of incidence)，從 O 引一直線 OP 垂直鏡面，叫做**法線** (Normal)。入射光線 IO 叫做**入射線** (Incident ray)。 IO 和法線 OP 所成的角 IOP ，叫做**入射角** (Angle of

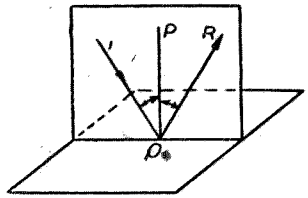


圖104 反射定律

incidence)。含有入射線和法線所成的面，叫做**入射面** (Plane of incidence)。反射光線 OR 叫做**反射線** (Reflected ray)。 OR 和法線 OP 所成的角 POR ，叫做**反射角** (Angle of reflection)。由實驗知光的**反射定律** (Laws of reflection) 為 (1) 反射線、入射線和法線同在一平面內，而入射線和反射線各在法線的兩側；(2) 反射角和入射角相等。

由上所述，可知入射光線若為互相平行的光線，射在極平滑的面上時，它反射的各光線亦必互相平行，如圖105(1)，這

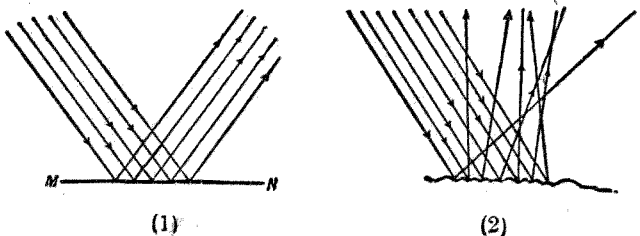
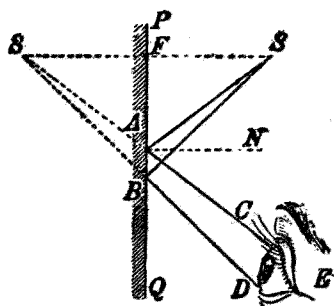


圖105 單向反射和漫射

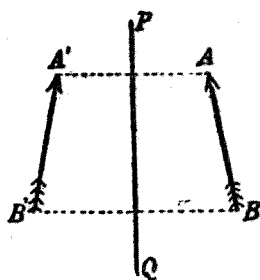
叫做**單向反射** (Regular reflection)。但平行的入射線若遇粗糙的面，因面上凹凸不平，它的反射線就不再平行而向各方亂

射，如圖105(2)，這叫做漫射 (Diffuse reflection)，漫射的光叫做漫射光 (Diffused light)。一切可見的物體，它的平面雖似平滑，但精細的觀察，就可知道微有凹凸不平，所以光線射在上面，就成漫射光。我們可以看見一切物體，就因這漫射光的緣故。

我們日常所用的**平面鏡** (Plane mirror)，就是應用光的反射原理所製成。置物體於平面鏡之前，鏡後就生出和物體同樣的像。如圖106(甲)， S 為 PQ 鏡前一點，任取它所發出的兩光線 SA 、 SB ，射在鏡面，依反射定律，得兩反射線 AC 、 BD



(甲)



(乙)

圖106 平面鏡的像

若將這兩律在反對方向引長，就相交於一點 S' ，而這 S' 點又必在 SK 的延長線上，故在 E 點人目處所見到的光線，似乎均由 S' 點所發出一樣。所以 S' 即為 S 點的像。但這像並非光線實際的集合點，而為反射線向反方向延長的集合點，故叫做**虛像** (Virtual image)。

若光源為一物體 AB ，如圖106(乙)，則物體上各點在鏡後所生的像，聯合起來，就成虛像 $A'B'$ 。凡平面鏡所成的虛像，形狀大小均和原物相同，像與鏡面的距離，和實物與鏡面的距離相等而左右相反。

我們在遊戲場，所見到的一種哈哈鏡，鏡中所現的像，常呈各式奇形怪狀，看了令人發笑，這是因為鏡面不是平面而是曲面的緣故。這曲面鏡的種類極多，普通的是球面鏡(Spherical mirror)。球面鏡的鏡面為球面的一部分，若鏡的反射面向球的中心 C 彎曲的，叫做凹鏡(Concave mirror)。如用球的外面做反射面的，叫做凸鏡(Convex mirror)。球面鏡鏡面上的中心，叫做頂點(Vertex)，如圖107的 O 點。圓球的中心，叫做曲率中心(Center of curvature)，如圖107的 C 。聯接頂點和曲率中心的直線，叫做軸線(Axis)，如圖107的 OC 。

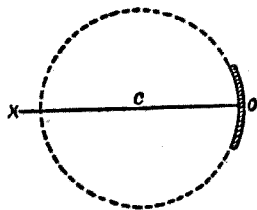


圖107 球面鏡的一部份

如以凹鏡的軸線方向，對着太陽光，因太陽光源離鏡極遠，近似於平行光線，這平行光線射至鏡面，經反射後都會集於軸線上的 F 點，如圖108。若在此點置一紙片，就可見太陽的像。如把易於着火的物質放在此點，就會發生燃

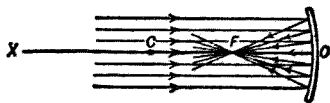


圖108 凹鏡的焦點

燒，所以這 F 點叫做**焦點**(Focus)。由焦點至鏡面的距離叫做**焦距**(Focal length)。焦距恰等於軸線 OC 的一半。如平行光線射至凸鏡的鏡面，則反射光線向四外擴散，但將反射線向鏡後延長，亦可集於一點，如圖 109 的 F ，這點亦

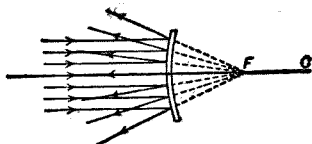


圖 109 凸鏡的焦點

叫做**焦點**。因凹鏡的焦點是由反射光線實際通過，而凸鏡的焦點係由反射線反方向延長後所通過，所以凹鏡的焦點，叫做**實焦點**(Real focus)，凸鏡的焦點叫做**虛焦點**(Virtual focus)。

凹鏡所成的像，因物體的位置不同，而成像有大、小、倒、正、虛、實的差別，分述如下：

(一)**物體在曲率中心外** 則在焦點和曲率中心間生較原物為小的倒立實像。如圖 110(甲)， AB 為一物體，在曲率中心 C 外，由此物體所發的光線經凹鏡鏡面反射後，會集於焦點 F 和曲率中心 C 之間，生像 $A'B'$ ，因 $A'B'$ 是實際由反射光線會集的像，所以是實像。

(二)**物體在曲率中心上** 則仍在原處生與原物同大的倒立實像。

(三)**物體在焦點和曲率中心之間** 則在曲率中心外生較原物為大的倒立實像。如圖 110(乙)，因這像亦為反射光線會集的像，故亦為實像。

(四)**物體在焦點上** 則各反射光線在鏡前無會集點，若反

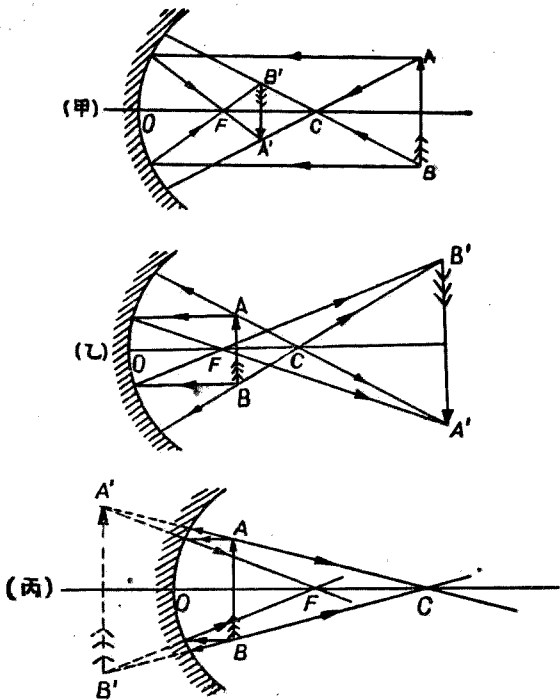


圖110 凹鏡所生的像

方向延長各反射線，則可於鏡後極遠處成一較原物為大的正立虛像。因這像並非實際由反射光線所會集，故為虛像。

(五)物體在焦點和鏡面間 則亦在鏡後成較原物為大的正立虛像，如圖110(丙)。

凸鏡所成的像，因反射光線在鏡前無會集點，必須反方向延長各反射線，方可於鏡後生一較原物為小的正立虛像，如圖

111。

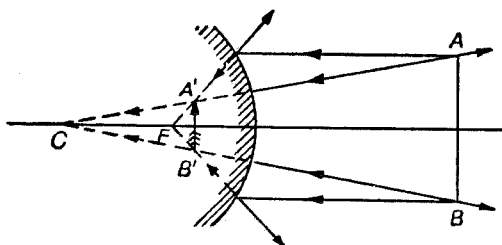


圖111 凸鏡所生的像

第五節 光的折射

實驗25 如圖 112(甲)，在盆底放一銅元或其他不為水所浮起的物體，向後遠立觀望，至適不見此物為止。乃在盆中盛水，則此物似浮起而可看到。又如圖 112(乙)，將筆桿

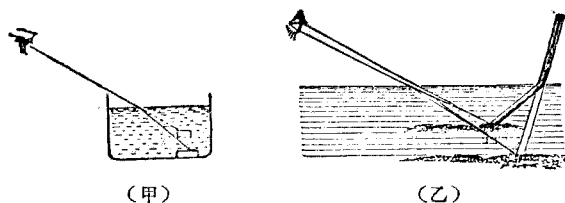


圖112 水中物體的折射現象

斜放入水內，則可看見桿在水中的部分，亦呈浮起的現象。

上面這實驗所生的現象，是因為光線在進行中，若由一介質進入另一介質時，如兩介質的密度不同，光線就在兩介質的界面，起變更方向的緣故。凡光線在疎密不同的介質面上，起

變更進行的方向的現象，叫做**光的折射** (Refraction of light)。

光的折射，是因光在各種密度不同的介質中，進行速度有遲速所生的現象。光在密度大的介質中，進行速度較在密度小的介質中進行速度稍慢，

可用下設譬喻說明之：如圖 113，有學生一隊，五人為一列，以整齊的步伐，在廣場中進行，但在這廣場中，甲方非常平坦，乙方則崎嶇難行，所以這隊伍在甲方進行的速度快些，而一到乙方，各人的速度，都同樣的減小。當 AB 列左端的第一人

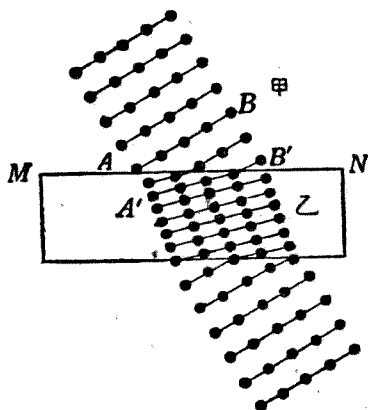


圖113 光的折射說明

踏進乙方時，速度即行減小，但他右鄰的各人，仍以原來的速度進行。這樣每一人進入乙方，速度即行減小，而他的右鄰各人仍保持原來的速度進行，直到 AB 列到達 $A'B'$ 的位置，最右端的一人也踏進乙方，全列進行的速度方始相同。 AB 列如此，其他各列也都如此，結果遂致全隊進行的方向改變。光的進行，也是如此。如圖 114，光線 AB 由空氣內斜向射於水面，因水的密度較空氣為大，所以自入射點 B 起，就向法線 EE' 偏折，而向 BM 的方向進行。若於水底置一平面鏡 M ，使反射光 MC 由水中透入空氣，則自入射點 C 起，就離法線 FF' 偏折，

而向 CD 的方向進行。由此可知光線由密度小的介質透入密度大的介質中時，**折射線**(Refracted ray)如圖 113 中 BM ，常向界面的法線而偏向，**折射角**(Angle of refraction) $E'BM$ 較入射角 ABE 小。若由密度大的介質透入密度小的介質中

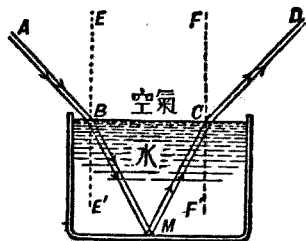


圖 114 光的折射

時，**折射線**如圖 114 中 CD ，常離界面的法線而偏向，**折射角** FCD 較入射角 MCF' 大。從實驗知光的**折射定律** (Laws of refraction) 為(1)入射線、**折射線**和**法線**都在同一平面內，而入射線和**折射線**各在**法線**的兩側；(2)光線在兩介質內速度的比值，常為一定，叫做**折射率** (Index of refraction)。這個定律係由丹麥斯涅爾氏 (Willebrod Snellius) 所確定，故又叫做**斯涅爾定律**(Snell's law)。

各種物質的**折射率**，通常都依空氣為標準。設光在空氣內進行的速度為 V_1 ，在物質內進行的速度為 V_2 ，則這物質的**折射率** N 為

$$N = \frac{V_1}{V_2} \quad \text{即} \quad \text{折射率} = \frac{\text{光在空氣內進行的速度}}{\text{光在物質內進行的速度}}$$

例如光由空氣內透入水中，因光在空氣中的速度和光在水中的速度的比為 $4/3$ ，所以水對於空氣的**折射率**為 1.33。各種重要物質的**折射率**如下表：

水	1.33	酒精	1.36	冰	1.31
玻璃	1.5—1.7	二硫化碳	1.63	金剛石	2.47

若已知某物質的折射率，則由一定的入射角，即可定出它的折射角。由實驗知折射率的數值離 1 愈遠，就是兩介質內速度的相差較大，而光線的偏向越甚。

當光線由密度大的介質，透入密度小的介質，例如由水中透入空氣中時，折射角較入射角為大，在上面已講過。若入射角愈大，則折射角亦愈大。在空氣中的折射線亦愈離法線而偏向。

至入射角達某一角度，折射角適為 90° 時，光線就沿着界面而折射，如圖115中的粗線。此時的入射角，叫做**臨界角**(Critical angle)。

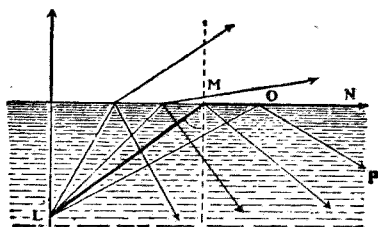


圖115 全反射

若入射角再大於臨界角，如

圖中的 LO 光線，則射至界面時即不再折射至空氣中，而反射至水內，此時的界面恰和平面鏡的作用一樣。這種反射的現象，叫做**全反射**(Total reflection)各種介質的密度不同，所以它們的臨界角的大小亦各不相同。例如由水至空氣的臨界角是 48.5° ，由玻璃至空氣的臨界角是 4.15° ，由金剛石至空氣的臨界角是 24.5° ，所以金剛石的反射現象，最是顯著，面上常見有閃爍的光輝。

玻璃等透明體所製成的三角柱狀的**稜鏡** (Prism)，如圖

116 的(甲)，又(乙)爲橫斷面， A 、 B 、 C 叫做稜鏡角 (Angle

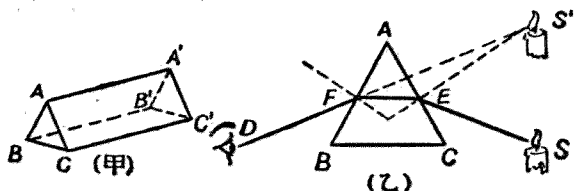


圖116 稜鏡和稜鏡的折射

of prism)。如平置稜鏡，使 A 角在上，光線 SE 由側面 AC 投射入稜鏡，得折射線 EF ，至 F 時出稜鏡入空氣，再起折射而成 FD ，在 D 處見 S 的像在 S' 處，比原地位爲高，由此可知光線經過稜鏡時，起兩次的折射，常離稜鏡角向物質原處而偏向。

如以玻璃等透明體製成兩側面爲球面，或一側面爲平面，一側面爲球面的薄片，叫做透鏡(Lens)。

有中央部分較邊緣厚的，叫做凸透鏡(Convex lens)，可分爲三種，如圖117的

(1)叫做雙凸透鏡(Double convex lens)，

(2)叫做平凸透鏡(Plano-convex lens)，

(3)叫做凸月透鏡(Convex meniscus lens)

或凹凸透鏡(Concavo-convex lens)。有中

中央部分較邊緣爲薄的，叫做凹透鏡(Concave lens)，也可分爲

三種，如圖117的(4)叫做雙凹透鏡(Double concave lens)，(5)

叫做平凹透鏡(Plano-concave lens)，(6)叫做凹月透鏡(Con-

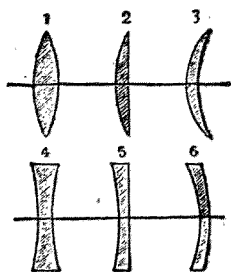


圖117 透鏡

cave meniscus lens) 或**凸凹透鏡** (Convexo-concave lens)。透鏡的中央一點，叫做**中點**，通過中點和鏡面垂直的直線，叫做**透鏡的軸** (Axis of lens)。

凡透鏡上均有一特別的點，通過透鏡的光線如經過此點，它的方向常不變易，和由別部分通過的光線不同，這點叫做**光心** (Optical center)。在雙凸和雙凹透鏡如兩側的曲率相等，透鏡的中點就是光心，在平凸或平凹透鏡，物曲面的中點就是光心。普通常以透鏡的中點為光心。

透鏡因中央和邊緣厚薄不同，所以透鏡可以當作多數三稜鏡所集合而成，如圖 118 (甲) 為凸透鏡和凹透鏡，(乙) 為分作若干部分的截頭稜鏡。所以當光線通過透鏡時，它折射的情形和通過稜鏡的折射相同，即常向物質厚處而偏向。

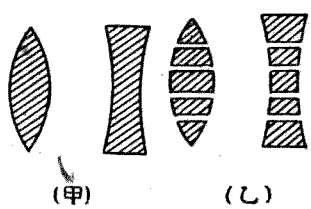


圖 118 透鏡

當平行光線經過凸透鏡時，折射後均會聚於軸上的一點 F ，如圖 119，這點叫做**實焦點** (Real focus)。若將太陽光線，透過透鏡所集的一點 (即 F) 射於紙上，即可起燃燒作用。焦點和透鏡中點的距離，叫做**焦距**。因各種凸透鏡都有聚光線的作用。所以凸透鏡又叫做**會聚透鏡**。

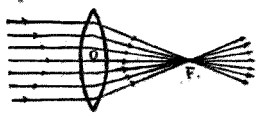


圖 119 凸透鏡的焦點

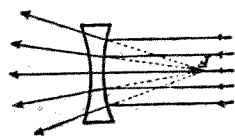
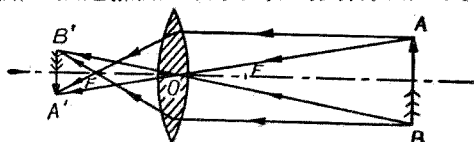


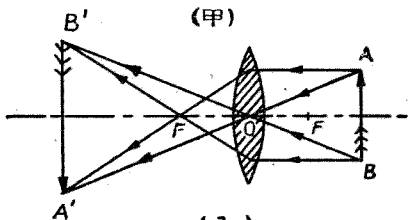
圖 120 凹透鏡的虛焦點

(Convergent lens)。

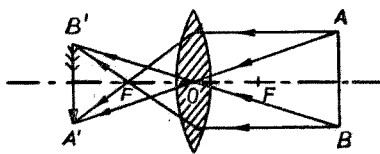
若平行光線經過凹透鏡時，折射光線即向四外發散，如圖 120。這種散光線如反方向延長，亦能會聚於軸上的一點如 F ，所以這點亦叫做焦點，但這焦點並非真的光線會聚點，所以叫做**虛焦點** (Virtual focus)，虛焦點至透鏡中點的距離，亦叫做**焦距**。因各種凹透鏡都有發散光線的作用，所以凹透鏡又叫做**發散透鏡** (Divergent lens)。



(甲)



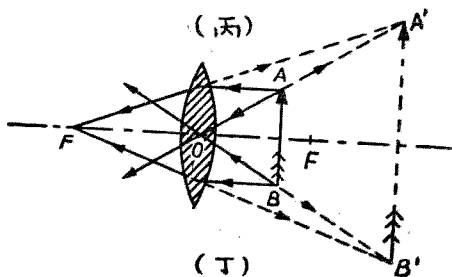
(乙)



(丙)

凸透鏡的成像，亦和凹鏡成像的情形相同，有倒、正、大、小、虛、實的差別，分述如下：

(一)物體在凸透鏡的二倍焦距以外，則在凸透鏡的他側生倒立的實像，比實物為小。如圖 121 (甲)。



(丁)

(二)物體在凸透鏡

圖 121 凸透鏡所生的像

的二倍焦距以內，焦點以外，則在凸透鏡的他側生倒立的實像，較實物為大，如圖121(乙)。

(三)物體在凸透鏡二倍焦距上，則在凸透鏡的他側生與實物同大的倒立實像，如圖121(丙)。

(四)物體在凸透鏡的焦點以內，則在凸透鏡的同側生正立的虛像，較實物為大，如圖121(丁)。

凹透鏡因折射光線向外發散，所以它所生的像常為正立的虛像，和實物在同側，較實物為小，如圖122。

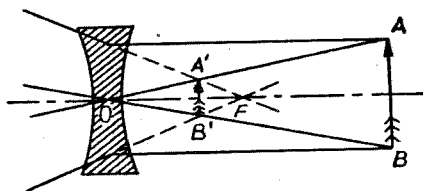


圖122 凹透鏡所生的像

第六節 眼的補助

近視或遠視眼的人，所帶的眼鏡 (Spectacles)，就是應用凹透鏡發散光線和凸透鏡會聚光線的原理所製成。因為人眼的構造，在角膜 (Cornea) 內的睛珠 (Crystalline lens) 類似一面凸透鏡。眼球後壁有網膜 (Retina)，係由視神經 (Optic nerve) 的神經細胞 (Nerve cells) 所組成，適當睛珠的焦點上。當物體發出的光線，經過睛珠，就成像於網膜上，即由視神經發生視

覺。睛珠由肌肉的伸縮，能改變其彎曲度，使它的焦距增減。故物體不論遠近，都可成像於網膜上，這叫做眼的調節(Accommodation of eye)。但睛珠的彎曲度如過大，或眼球特別深些，網膜在睛珠的焦距以外，那末物體 I 發出的光線，經過睛珠後，所成的像，在網膜之前，如圖 123 上的 I' 所以看到的物體就不甚清楚，故不能明察遠物，這叫做近視眼(Short-sighted eye 或 Myopic eye)。故必須用凹透鏡

所製的眼鏡，使光線先經過凹透鏡，使它發散，再入眼中，就可使所成的像落在網膜上，如圖 123 的 I'' ，才能看得清楚。

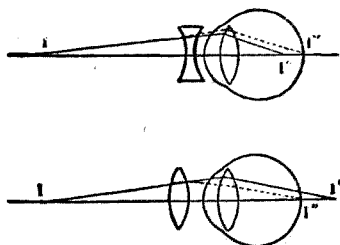


圖 123 眼鏡的調節作用

又若睛珠的彎曲度太小，或眼球特別淺些，網膜在睛珠的焦距以內，那末物體 I 所發出的光線，經過睛珠後，所成的像，在網膜之後，如圖 123 下的 I' ，故不能明察遠物，這叫做遠視眼(Far-sighted eye 或 Hypermetropic eye)。故必須用凸透鏡所製的眼鏡，使光線先經過凸透鏡，使它會聚，再入眼中，就可使所成的像落在網膜上，如圖 123 下的 I'' ，才能看得清楚。

普通眼鏡的度數，向來用透鏡焦距的英寸數來表示，例如焦距 15 英寸的眼鏡，就是 15 度。最近度數的記法，採用焦距米數的倒數，例如焦距 1 米的眼鏡就是 1 度，焦距 $\frac{1}{2}$ 米的，就是 2

普通眼鏡的度數，向來用透鏡焦距的英寸數來表示，例如焦距 15 英寸的眼鏡，就是 15 度。最近度數的記法，採用焦距米數的倒數，例如焦距 1 米的眼鏡就是 1 度，焦距 $\frac{1}{2}$ 米的，就是 2

度，焦距0.1米的，就是10度。所以度數愈大，透鏡的彎曲度亦愈大，折光的本領亦愈強。

第七節 照相機和影片

在本章第一節中我們曾講到過針孔照相機，可以使針孔前的景物在暗箱後面的毛玻璃或油紙上映出。若是把暗箱改成可以摺合伸縮的暗箱 (Camera obscura)，使暗箱的長度可以調準，針孔放大，在針孔上置一凸透鏡 L ，如圖 124，箱後插一

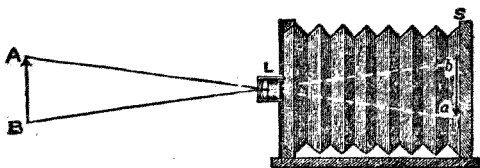


圖124 照相機的原理

毛玻璃板 S ，就成一照相機 (Camera)。物體 AB 所發的光線，經透鏡射入暗箱，至毛玻璃上，將暗箱的長度配合適宜，對光 (Focussing) 正確，板上就現出顯明的倒像 ab 。若用有感光性的乾片 (Dry plate)，代替毛玻璃的位置，像就映在片上。以相當的時間，使片上起化學作用，再先後用顯影 (Developing) 和定影 (Fid-ing) 兩種溶液浸過，在水中沖洗，即得和原物明暗相反



圖125 負片和正片

的負片或底片(Negative plate),如圖 125 左。再用感光紙放在底片後面,在太陽光或強度燈光中,使它露光(Exposing)和顯影、定影等手續,即可得和原物相同的正片(Positive plate),即俗稱的相片,如圖125右。

如將照相機所照的相,印在透明的薄膠片上,就成為畫片,即幻燈片(Lantern slide)。把牠倒插在幻燈(Magic lantern) P 框內,如圖 126,用凸鏡 L 會聚電燈 A 的光,射至畫片上,通過畫片的光,再經凸透鏡 L' 射至白幕 S 上,即得放大的像。

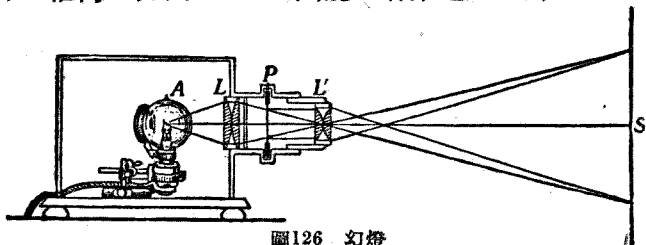


圖126 幻燈

片上,通過畫片的光,再經凸透鏡 L' 射至白幕 S 上,即得放大的像。

因為人眼的視神經,受光刺激後在 $\frac{1}{16}$ 秒時間內,可殘留而不消失,這叫做視覺暫留(Persistence of vision),例如雨滴下落,視為線條;電扇急轉,葉片連續,都是這種緣故。所以利用這個原理,用每秒十餘次的速度,攝成連續活動體的相片,製成一長卷的軟片,裝在特製可以使軟片

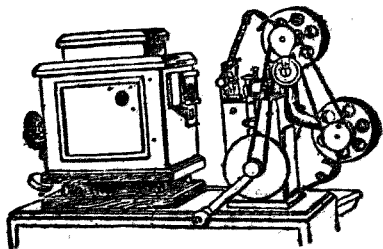


圖127 活動影片機

移動的幻燈上，如圖 127。使軟片連續移動，則幕上所映的像亦連續改變，我們看了，宛如實物的運動，並不覺到間斷，就成爲活動影片(Cinematograph 或 Moving picture)。

第八節 顯微鏡和望遠鏡

在第五節中對於凸透鏡生像的原理，我們已是講過，若物體放在凸透鏡焦點之內，就在物體的同側生較實物爲大的虛像。所以我們常見的一種**放大鏡**(Magnifying glass)一名**單顯微鏡**(Simple microscope)，就是應用此理製成。這種單顯微鏡是一焦距很短的凸透鏡，如圖 128，將微小的物質放在凸透鏡的焦距以內，即成廓大的虛像。這虛像和實物大小的比，叫做**放大率**(Magnification)。

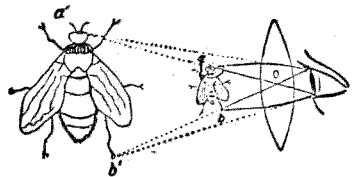


圖128 單顯微鏡

因單顯微鏡的放大率不大，所以對於極微細的物體不能適用，所以要觀察極微細的物體，就必須用**複顯微鏡**(Compound microscope)，如圖 129。用一直立金屬圓筒，上下兩端各裝一個或數個凸透鏡；筒下有一檯夾，夾置要觀察的微小物體；檯下有一凹鏡，可將光線反射到微小物體上，使它光線明朗。圓筒下端的凸透鏡焦距很短，和物體接近，叫做**物鏡**(Objective)；上端凸透鏡的焦距較長，叫做**目鏡**(Eyepiece 或 Ocular)。圓筒可用螺旋使它上下移動，調節光線，使生明晰

的像。

當微小物體 AB 放在物鏡焦點 F 略外時，它的實像 ab 恰在目鏡焦點 f 略內，所以由目鏡望去，得見 $a'b'$ 的放大虛像。 $a'b'$ 和 AB 的比，叫複顯微鏡的放大率。

望遠鏡 (Telescope) 是觀察天體或地上遠處物體的器械，它的構造和顯微鏡類似，如圖 130。係用一組可以自由伸縮的長筒，筒的兩端，亦各裝置一凸透鏡，但物鏡的焦距很長（耶克斯天文台望遠鏡的焦距長 2000 厘米），而目鏡的焦距却很短。

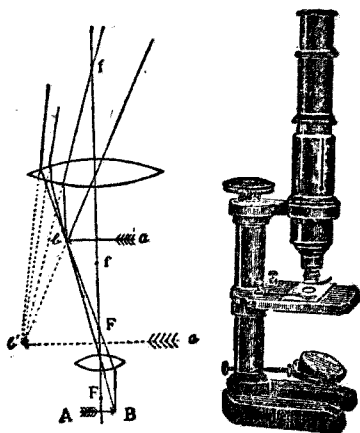


圖129 複顯微鏡

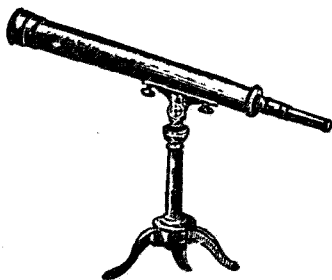


圖130 望遠鏡

當遠處物體 AB 經過物鏡時，所成的實像 ab ，恰在目鏡焦距略內，如圖 131，更由目鏡的廓大，就得虛像 $a'b'$ 。這種望遠鏡叫做天文望遠鏡 (Astronomical telescope)，所見的像是實物的倒像。如在 ab 像的右方插入一凸透鏡，就可得一對於實物正立的像，然後再用目鏡廓大，這種望遠鏡，叫做地上望

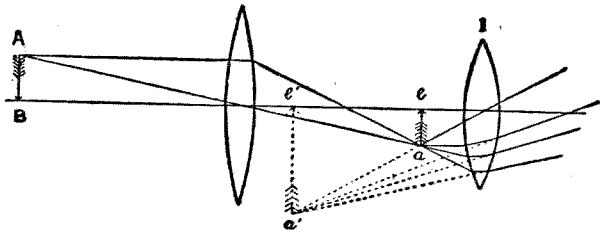


圖131 天文望遠鏡

遠鏡(Terrestrial telescope)。

另有一種望遠鏡，它的物鏡為凸透鏡，而目鏡則為凹透鏡，所成的像和實物同樣的正立，如圖 132，這叫做伽利略望

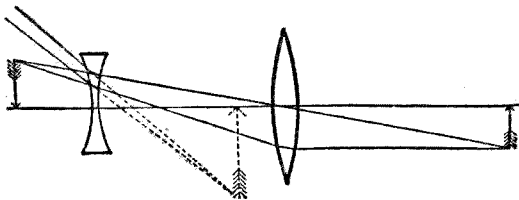


圖132 伽利略望遠鏡

遠鏡 (Galileo telescope)。

再有一種望遠鏡，是用兩個地上望遠鏡所製成，在兩透鏡中間，插入兩個直角稜鏡(Right-angled prism)，如圖 133。由物鏡透入的光線，經稜鏡的四次全反射，亦可將倒像轉正。這種望遠

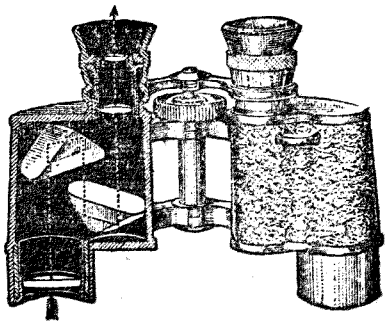


圖133 稜鏡式雙筒望遠鏡

鏡叫做稜鏡式雙筒望遠鏡(Prism binocular)。

第九節 虹霓和物體的顏色

令日光從窗隙中透入，再射至三稜鏡上，就見日光經稜鏡折射後，不再變更方向，而且分散成一美麗的色帶，如圖 134 所示。其中主要的各色，依次為紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫等七色，這種現象，叫做光的色散(Dispersion)。

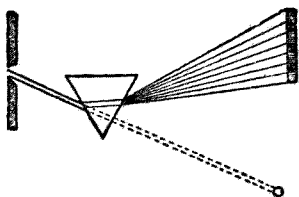


圖134 光的色散

由色散所呈現的彩色光帶，叫做光譜(Spectrum)。日光所成的光譜，叫做太陽光譜(Solar spectrum)。

日光可由稜鏡使它色散為七色既如上面所述，我們若用一塊圓板，依次塗上七色，令它大小比配適宜，如圖135，使圓板迅速迴轉，於是七色混合，看去就成為白色板。由此可知太陽的白光，是由紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫等七色所合成。這個塗七色的圓板，叫做牛頓色板(Newton's disk)。

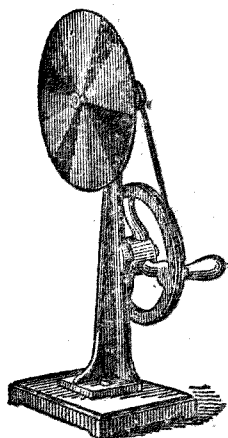


圖135 牛頓色板

稜鏡何以能將白色光線生色散現象？這是因為各色光在玻璃內進行的速度不同，於是稜鏡對於各色光的折射率

亦就互異，故通過稜鏡後所生的偏向亦不同的緣故。紅色光在玻璃中速度最大，折射率最小，所生的偏向亦最小；紫色光在玻璃中速度最小，折射率最大，所生的偏向亦最大；其他各色光的速度介於二者之間，故折射率及偏向亦介於二者之間，於是各色光就色散而成一定的光譜。但日光所含的色光數甚多，故光譜中的色列亦不僅此七色，是以光譜中色與色之間並無顯著的分界，上述的七色，不過是光譜中比較鮮明的色光罷了。

光譜可分為發射光譜 (Emission spectrum) 和吸收光譜 (Absorption Spectrum) 兩種，茲略分述如下：

(一)發射光譜是物質發光時所生，又可分為下列二種：

(甲)連續光譜 (Continuous spectrum) 是由紫至紅各色光連續排列，並不間斷的光譜，如由蠟燭或電燈絲及白熾固體、液體等所發的光生成。但在溫度較低時，則僅有紅色附近的一段光譜可見。

(乙)線光譜 (Line spectrum) 又名明線光譜 (Bright line spectrum)，是由多數明線並列而成，它的背景或完全黑暗，或略呈連續光譜的色彩。係由各原質在氣體狀態時所發的光所生成。

(二)吸收光譜是在連續光譜上有若干暗線或暗帶的光譜，所以又叫做暗線光譜 (Dark line spectrum)。這種光譜的生成，是因由發生連續光譜的光線透過溫度較光源為低的透明氣體、液體或固體，被吸收去一部分，因而發生暗線而生。我們試將

太陽光譜加以精密的檢查，即可見有無數暗線，散在光譜的各部分，各有一定的位置，其中最顯明的有A線、B線、C線、D線、E線、F線等，爲德人夫牢因和斐(Fraunhofer)所定，故統稱做夫牢因和斐譜線(Fraunhofer's line)。

夏日雨後常見天空呈現彩色圓弧，美麗可愛，這叫做虹霓(Rainbow)，虹霓的成因也是由於光線的反射、折射而生、當雨後初晴，空中尚浮有多量的水滴，如圖136的ABVR，太陽光線S射至水滴A點，就折射而入水滴內，因各色光線的折射率不同，於是即起色散，各色光分別投射在V和R，及VR之間。這時若入射角大於臨界角，則折射光線起全反射而達於B，再經折射而入大氣，成爲紅色在外，紫色在內的七色彩弧，就是虹(Primary rainbow)。如太陽光

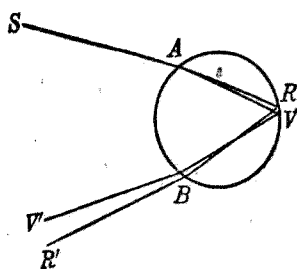


圖136 虹的成因

線在水滴內除普通的折射和反射外，再多經一次全反射，則射出的光線所成的七色彩弧的排列次序和虹相反，紫色在外紅色在內，就是霓(Secondary rainbow)。霓因多經一次全反射，所以覺得較虹暗淡，不易看到。

當稜鏡把太陽光色散時，若用紅色布放在光譜的各部分，則除紅色光外，都稍覺黑暗，若用藍色布，則除藍色外其他各部亦都稍覺黑暗，可知紅布在太陽光中，祇將紅色光反射，其

他各色都被吸收，藍布祇將藍色光反射，其他各色都被吸收。此種由白光中祇反射一種光的現象，叫做選擇反射(Selective reflection)。不透明體因有選擇反射的本領，我們才可以分辨出它們的顏色。

至於隔透明體所能見的顏色，則係由光線透過透明體時，不被吸收的色光所成，例如太陽光經過紅色玻璃，祇有紅色光不被吸收，可以通過，其他各色光都被吸收。所以我們看到是紅，藍色玻璃祇透過藍色，所以我們看到是藍，若用七色的玻璃重疊，各色光全被吸收，於是就成黑色。

第八章 磁

第一節 磁體的性質

在鐵礦中有一種**磁鐵礦**(Magnetite)，它的主要成分是四氧化三鐵(Fe_3O_4)，有一種吸引鐵質的特性，如把它放在鐵屑中間，然後提起，那麼就有許多鐵屑吸着在上面，這叫做**天然磁鐵**(Natural magnet)，若用磁鐵礦和鋼鐵棒相摩擦，這鋼鐵棒也立刻具有吸引鐵質的磁性，這叫做**人造磁鐵**(Artificial magnet)。人造磁鐵有種種形式，如條形磁鐵、蹄形磁鐵、磁針等數種，如圖137、138、139所示。



圖137 條形磁鐵

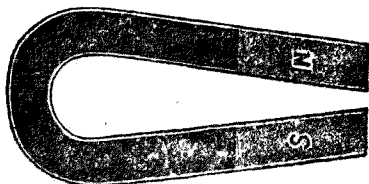


圖138 蹄形磁鐵

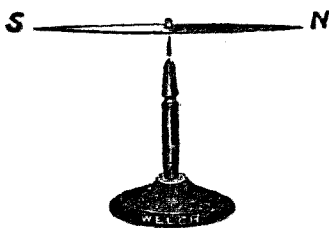


圖139 磁針

磁鐵吸鐵的力，由部位而不同，試把條形磁鐵放入鐵屑中，取出觀察，就見兩端吸鐵屑甚多，中央部分幾無鐵屑被吸。可見在磁鐵的兩端吸引最強，這叫做**磁極**(Magnetic pole)或簡稱**極**(Pole)。每一磁鐵都有兩極，不會單有一極存

在。

用綫束在條形磁鐵的中央，把它懸在空中，等靜止的時候，它的方向必有一定，約略指着南北，雖把它任意撥動，但至靜止時，兩端所指的方向，仍和以前相同。這指北的一端，叫做**北極** (North pole)，用 N 表示它；指南的一端叫做**南極** (South pole)，用 S 表示它。

如圖 140，懸一條形磁鐵於空中，另用一磁鐵北極去接近懸空磁鐵的北極，就見二者互相排斥；若用南極去接近懸空磁鐵的北極，就見二者互相吸引。可知二個磁鐵，同名的極互相排斥，而異名極則互相吸引。這種互相排斥，吸引的力，叫做**磁力** (Magnetic force)。由精確的實驗，知兩極間作用的磁力和兩極的磁性強度成正比，和兩極距離的平方成反比。這叫做**庫倫定律** (Coulomb's law)。

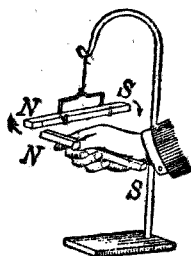


圖 140 磁力

實驗 26 如圖 141，以小鐵釘一只吸着於條形磁鐵的一端，則釘下可連續懸小釘數只而不下墜。若持第一鐵釘，移去磁鐵，則下面所吸着各釘即全數脫落。

由上可知，當鐵釘和磁鐵接觸時，就受了**磁感應** (Magnetic induction) 而**磁化** (Magnetisation)，發生磁性。更可由**磁針** (Magnetic needle)

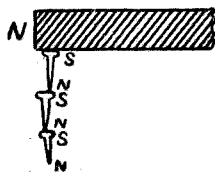


圖 141 磁感應

移近小釘的自由端，驗出和磁鐵接近的一端為異極，自由端則為同極。磁鐵移去，鐵釘上的磁性即消失，所以下面的數只小釘脫落。這種因受磁感應而生磁性，離開磁鐵，即消失磁性的磁體，叫做暫時磁(Temporary magnet)。鋼較鐵難於磁化，但磁化後，磁性就不易消失。人造磁鐵，即由鋼製成，這種磁鐵叫做永久磁(Permanent magnet)。我們試把小刀在磁鐵上摩擦，使它磁感應而磁化，就可變為永久磁，可以吸引小的鐵針，非等磨治、加熱、或用鐵錘打擊，不會失去磁性。

實驗27 如圖142，用長方形玻璃板一塊置於條形磁鐵上，於玻璃板散佈鐵屑，輕擊玻璃板，就見鐵屑分佈如弧形。

由上面的實驗，可知鐵屑因受條形磁鐵的感應各成一小磁鐵，又

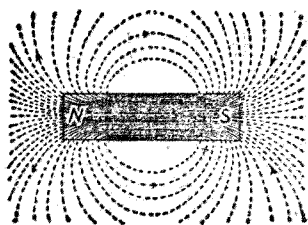


圖142 磁力線

因受條形磁鐵兩極的作用排列成曲線。這曲線叫做磁力線(Magnetic line of force)。通常假定磁力線由磁鐵的北極發出而回入於南極。磁鐵附近有磁力線通過的部分叫做磁場(Magnetic field)。在每一單位面積內通過磁力線的多寡，叫多磁場強度(Magnetic field intensity)。

第二節 地磁和羅盤

我們所在的地球，實在是一個大的磁鐵。在地理上所說的

北極附近，是地磁(Terrestrial magnetism)的南極，在地理上所說的南極附近，是地磁的北極。磁針在靜止時，常指着一定的方向，就是這個緣故。但因為地磁的兩極並非地球的兩極，所以磁針所指的南北，亦並非地理上的南北。磁針在水平面內所指的方向，和地球的子午線所作成的角叫做**磁偏角** (Declination)。

地磁的兩極，磁性較強，所以如用一個小軸支持在磁針的中心，使它可以自由迴轉，則這磁針在靜止時，不成水平，而現傾斜狀態。磁針和水平面因傾斜而成的角，叫做**磁傾角** (Dip 或 Inclination)。磁傾角隨地而異，愈近地磁的兩極，傾斜愈大。由實測得磁針的北極在北半球下傾，在南半球上傾，至磁傾角等於 90° 時，即磁針垂直於地面的地方，就是地磁的極。若磁傾角等於 0° 時，即磁針和地面平行的地方，叫做**地磁赤道** (Magnetic equator)。地磁赤道和地理上所說的赤道並不一致，如圖143所示。

一地方的磁偏角和磁傾角既經測得，那末這地方地磁場的方向即可確定。若再測定這地方磁力的水平分

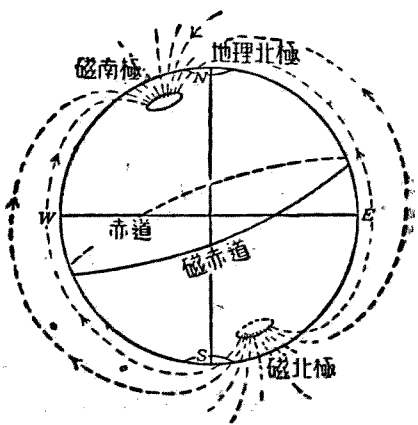


圖143 磁極的位置

力，就可以確定地磁的水平磁力 (Horizontal component of earth field)。綜合磁偏角、磁傾角和水平磁力，叫做地磁的三要素 (Three elements of terrestrial magnetism)，為研究地磁的要素。

羅盤(Compass) 俗名指南針

，本為我國先哲所發明，於十三世紀時始傳入歐洲，為應用磁針以辨別方位的裝置。它的主要部分為一極輕的圓盤，如圖 145，表面劃分32等分，以表示方位。盤內附着有數個磁

針，裝在水平位置。盤的中心，支於一針尖上，盤外有保持水平的裝置，使盤可自由轉動，不受船體搖動的影響。容納圓盤的內箱附有和盤首方向一致的指標，依這個指標所指出圓盤上的方位，即知船進行的方向。

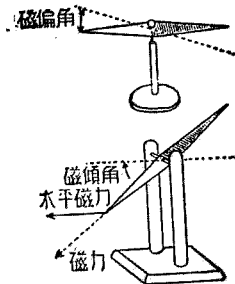


圖144 磁偏角磁傾角和水平磁力

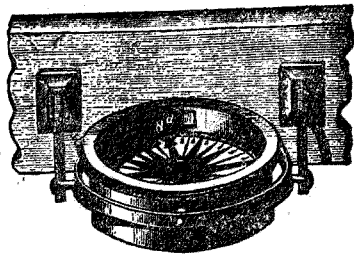


圖145 羅盤

第九章 電

第一節 紙屑的跳舞

實驗28 如圖 146，用貓皮或皮製品把硬橡皮棒或自來水鋼筆桿摩擦數次，或用絹布把玻璃棒摩擦數次，放近剪碎的紙屑上方，就見這紙屑飛着棒上，忽又飛回，飛上飛下，形如跳舞，極為有趣。

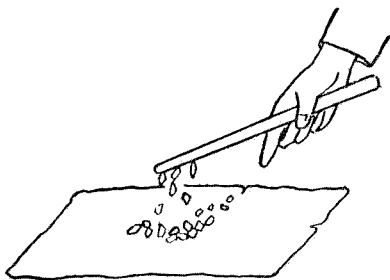


圖146 電的吸引

從上面的實驗可知當硬橡皮棒或玻璃棒在摩擦後，即具有一種吸引和推斥輕物體的性質，這叫做帶電 (Electrification)。帶電的物體叫做帶電體 (Electrified body)，亦叫做這物體帶有電荷 (Electric charge)。

實驗29 如圖 147，用通草球驗電器 (Pith-ball electroscope)，把已經絹布摩擦過的帶電玻璃棒，移近通草小球旁，球即被吸引，球和玻璃棒接觸後，就帶有和棒上同樣的電，故立被推斥分離。這時再將已經

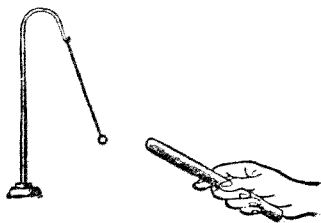


圖147 通草球驗電器

貓皮摩擦過的帶電硬橡皮棒移近這帶電的通草小球，則球又被硬橡皮棒吸引。

由上實驗，可知電有兩種。同種的電，彼此相推斥，異種的電，彼此相吸引。通常以玻璃棒上所帶的電，叫做陽電或正電 (Positive electricity)，用 (+) 號來表示它。硬橡皮棒上所帶的電，叫做陰電或負電 (Negative electricity)，用 (-) 號來表示它。

通常要驗物體是否帶電，最便利的器械，是金箔驗電器 (Gold leaf electroscope)，如圖148。它的構造是一個玻璃瓶，瓶塞的中間插一金屬棒，棒的下端懸有二條金箔或鋁箔，上端有一金屬球或金屬圓板。把帶電體接觸金屬球或金屬圓板時，金箔就立即張開，可以知道物體的帶電；同時並可由金箔張開角度的大小，而知帶電的多少。



圖148 金箔驗電器

上面所講的帶電體互相引斥的力，叫做電力 (Electric force)。在帶電體的周圍，凡其他電荷能受到它的電力的區域，叫做電場 (Electric field)。由實驗知電力和帶電體的電量 (Electric quantity) 成正比，和帶電體間距離的平方成反比，這亦叫做庫侖定律。帶電體所帶的電量，由於和另一帶電體所生的電力而定。兩個電量相等的帶電體，在真空中相距 1 厘米時，互相作用的力，若為 1 達因，則兩帶電體的電量即為 1 單

位，因這單位太小，常用它的 3×10^9 倍為實用單位，叫做庫倫(Coulomb)。

第二節 電的傳導

手執玻璃棒，用絹布摩擦，玻璃棒即成帶電體。若手執金屬棒用絹布摩擦，則金屬棒並無帶電的現象；但若在金屬棒端裝一玻璃柄，手執玻璃柄，再用絹布和金屬棒摩擦，則金屬棒立即帶電。又若手執無柄的金屬棒和已帶電的硬橡皮棒相接近，這硬橡皮棒上所帶的電，亦就失去。可知金屬棒並非不能帶電，實因金屬棒和人體接觸，所生的電，由人體傳入地中罷了。

如上面所說，凡帶電體所帶的電，能由一物質自由移至他物質的現象，這叫做電的傳導(Conduction of electricity)。物質易於傳電的，叫做導體(Conductor)，如金屬、人身、木炭、石墨、酸、鹼及鹽類的水溶液和溼土等都是。物質不易傳電的，叫做非導體(Non-conductor)或絕緣體(Insulator)，如乾燥空氣、琥珀、玻璃、火漆、硬橡皮、硫磺、絹布、毛皮、瓷器等都是。

第三節 電的感應

用附於絕緣架上的導體 B ，如圖 149，移近帶電體 A ，那麼導體 B 就因 A 的電力作用而生電荷，這叫做靜電感應(Elec-

trostatic induction)。試再以通草球驗電器先令與 A 接觸，

使它帶有和 A 同樣的電，然後把它移近 B 的兩端，就見這球在近於 A 的一端被吸引，在他端被推斥。可知導體因感應而生的電荷，在近於帶電體的一端，生異名的電，在遠的一端，則生同名的電。

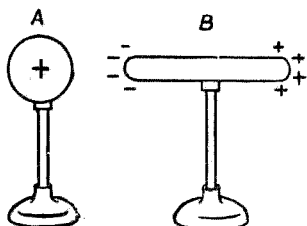
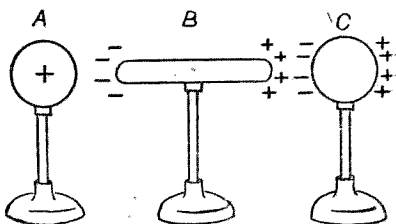


圖149 靜電感應(一)

如再用一個導體 C ，放在 B 的右邊，如圖 150 上，則 C 亦因感應而生電荷，近於 B 的一面生異名的電，遠於 B 的一面生同名的電，和 B 由 A 感應所生電荷的情形相同。



倘使用一條銅絲聯結 B 、 C ，使它們成爲一體，那麼 B 上異名的電就移至 C ， C 上異名的電就移至 B ，如圖 150 下。

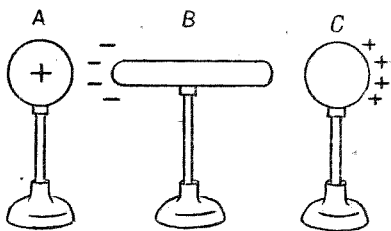


圖150 靜電感應(二)

此時如將銅絲取去， B 、

C 兩導體上所帶的電，就祇各存一種電，即使將帶電體 A 拿開， B 、 C 上所帶的電量亦並不減少。

普通使導體 B 祇帶一種電的方法，可不必用導體 C ，祇用導線和地球相接觸，或用手指接觸 B 的一端亦可。因地球及人體都是導體，所以功用和 C 導體一樣。

起電盤(Electrophorous) 就是利用上面所說的靜電感應生電的裝置。如圖 151， A

為旁有絕緣柄的金屬板， B 為附着於金屬底座的硬橡皮盤。用時先把貓皮摩擦或打擊 B 盤，使它帶有負電，然後把 A 板覆在 B 上，因 B 面並非平滑，故

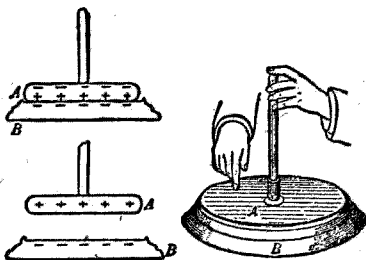


圖151 起電盤

A 和 B 僅有數點接觸，由感應作用， A 的底面生正電， A 的上面生負電。此時如以手指觸 A 上，則 A 上的負電即由人身傳入地球。移開手指，提起 A 板，板上即祇帶有正電，可以取用。 B 上所帶的負電，並不因感應作用而減少。可再依法起電多次，不必再和貓皮摩擦。

起電機(Electric machine) 亦是利用靜電感應生電的原理而製成，最普通的是威姆胡斯脫起電機 (Wimshurst's self influence machine)。它的主要部分，如圖152所示，為等大的兩塊硬橡皮圓板或玻璃板，貫於同一軸上，可作反對方向的轉動，兩板的外面各貼有許多錫箔小條，外面更各附有弓形的金屬棒，棒端裝有金屬刷毛如 A 、 B ，和板面錫箔接觸板的左右

各有一對金屬的橢狀物 M 、 N ，和兩板的錫箔接近，由金屬棒而和兩金屬球（極） P 、 Q 連接。用時將機下搖手轉動，因皮帶的捲法不同，兩塊圓板就在反方向轉動，於是各個錫箔因感應作用，一部分帶正電，一部分帶負電，各由金屬橢傳至金屬球 P 、 Q 上。若 P 、 Q 上

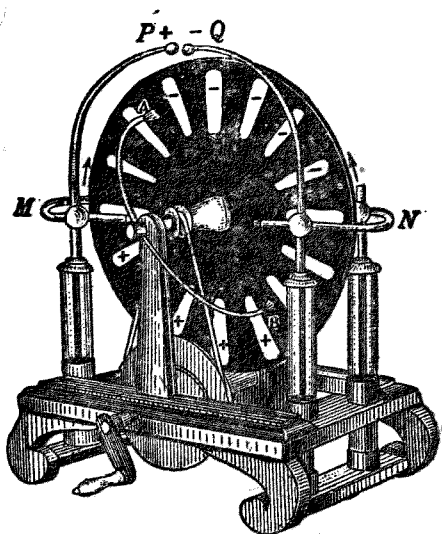


圖152 威姆胡斯脫起電機

面的電聚得很多，而它們的距離適當時，那麼正負兩電就穿破空氣發聲，放火花而**中和**（Neutralization），——就是正電和負電相消。——這個現象叫做**火花放電**（Spark discharge）。

凡帶電的導體，倘有一部份成尖端的突起，那麼這尖端的部份因聚集的電量很大，所以在近傍的微塵，就由感應作用而被導體吸引，待與尖端相接觸，就帶有和導體同樣的電，又被推斥。因為這個原因，所以尖端上的電極易失去。這個作用，叫做**尖端作用**（Action of points）。這時的電隨空氣而流動，叫做**電的對流**（Electric convection）。所以要帶電體保持它所負的電荷，必令成爲圓形，不可成爲尖端，方較妥當。下面幾種

實驗，就是尖端作用的表現，很為有趣：

實驗30 於金屬棒一端的圓球上，附一彎形的尖端，以起電機使它帶電，再拿一燃點的燭火接近尖端，因電的對流關係，可見燭焰即吹傾曲。這叫做電風(Electric wind)。

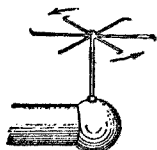


圖153 電輪

實驗31 以金屬棒曲成輪形，尖端均指向一方，如圖 153，支輪於尖端，用起電機使它帶電，因帶同性電荷的空氣或微塵被距遠離，尖端受其反作用影響，即背尖端所指的方向而後退。這叫做電輪(Electric whirl)。

第四節 空中的雷電

大氣中常帶有多量的電，通常在晴天所帶的是正電，雨天所帶的則不一定，有時帶正電有時帶負電。因此雲中亦帶有電，尤其是夏季的雲所帶的電量較大。倘有兩塊雲各帶有多量異名的電，互相接近，那就要衝破中間的空氣而發生火花放電，和起電機所發生的火花放電相類似。所發的聲音，就是雷(Thunder)，所發的火光，就是電閃(Lightning)，如圖 154。因為光的的速度較聲快，所以我們常先見電閃，後聞雷聲。又因為聲波折射的關係，所以雷聲隆隆不絕。

倘帶電的雲和地面很接近，地面就由感應而生異名的電，往往亦衝破中間的空氣而放電，破壞家屋人畜，這叫做雷擊(Lightning stroke)。為避免雷擊起見，常在房屋頂上聳立

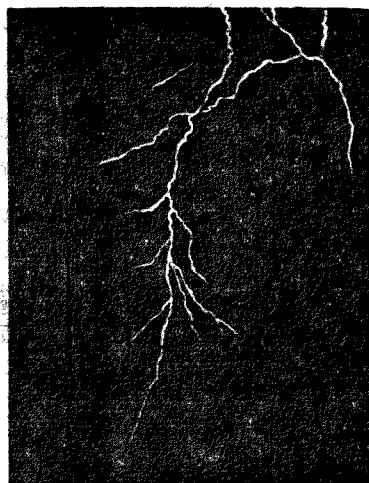


圖154 電閃

一端尖銳的金屬棒，棒的下端以導線聯接於深埋溼土中的金屬板上。雷雨時地面上感應所生的電荷，傳至尖端，由尖端作用，隨時和雲中的電中和，不至引起火花放電。這種

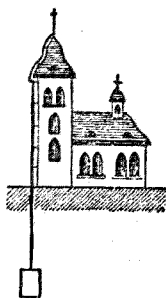


圖155 避雷針

裝置，叫做**避雷針** (Lightning rod)，係由美國科學家佛蘭克林 (Franklin)所發明，如圖 155。

當雲中的電和地面感應所生的電，火花放電時，遇着地上的樹屋人畜，就假道而過。於是樹屋毀壞，人畜死傷，這叫做觸電。所以我們在電雨時不可外出，不可避於高牆大樹之下，不可穿着溼衣，在室內不可靠近烟囪和自來水管等，以免觸電的危險。

第五節 電和流體一樣是會流動的

用連通管盛水，如兩方水面有高低，則水就由高的一方流

向低的一方，至兩方水面高低相等爲止；連接溫度不同的兩物體，使熱可以自由移動，則溫度較高的熱漸次移動到溫度較低的物體上，至兩物體的溫度相等爲止；兩帶電導體互相接觸，或用導線相連，使電可以自由移動，那末電亦從**電位**(Electric potential) 高的一方移到電位低的一方，至兩個導體上的電位相等爲止。這種在導體上繼續流動的電，叫做**電流** (Electric current)。通常以正電流的方向爲電流的方向，所以帶有正電荷的電位高，帶有負電荷的電位低。兩帶電導體間電位的相差，叫做**電壓** (Voltage)。實用上電壓的單位爲**伏特** (Volt)，測電位高低的器械，叫做**伏特計** (Voltmeter)。

如將兩導體各自和起電機的兩極相聯接，兩導體間再以導線相通，使起電機迴轉起電，那麼起電機在迴轉期間兩極所生的電，就集中到兩導體中，經過導線而中和。圓板繼續不斷的迴轉，電流亦就繼續不斷的流動。普通在導體橫截面1秒間有1庫侖的電量流動時的電流強度，叫做**安培** (Ampere)，就是電流的單位。

第六節 電容和來頓瓶

我們在前面已講過，若是把等量的熱加在物質不同，大小各異的物體上，那麼因各物體的熱容量不同，所以它們溫度上昇的狀態也就各各不同。電也是如此，拿同量的電，加到種種不同的導體上，因爲它們形狀、大小不一樣，電位的上昇也就

各異。凡能使導體增加單位電位的電量，叫做這個導體的**電容** (Electric capacity)。設用一庫侖的電量加到一個導體上，電位的升高若是一伏特，這個導體的電容叫做一**法拉** (Farad)。命 Q 表一導體所含的電量， V 表它的電位，那麼它的電容 C 就為

$$C = \frac{Q}{V} \quad \text{或} \quad Q = VC$$

因法拉的單位太大，所以在實用上都用它的百萬分之一，叫做**微法拉** (Micro-farad)。

如圖156，聯接一絕緣金屬片 A 於金箔驗電器，使它帶有負

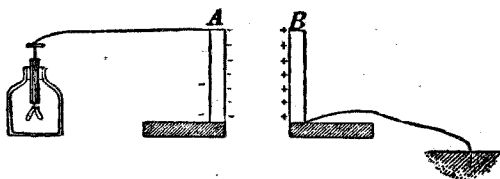


圖156 容電器的作用

電，則驗電器的金箔張開。這時若另將一和地連接的導體 B 取至 A 旁，因 B 導體由感應作用生出正電，而負電則傳入地中。金箔及 A 片上的負電，因受 B 導體上正電的吸引，大部分移至正對 B 導體的一面。於是金箔的張開度減小， A 、 B 相距愈近，金箔的張開度亦愈小，如須恢復金箔張開的原狀，必須加入更多的負電。可知 A 片的電容，因 B 導體的關係而增加。這種以絕緣介質(空氣)分隔二導體，使它的電容增加的裝置，叫做**容電器** (Condenser)。最初的容電器為是在荷蘭來頓地方所首製，故稱來頓瓶 (Leyden jar)，如圖157。瓶的內外面的下部



圖157 來頓瓶

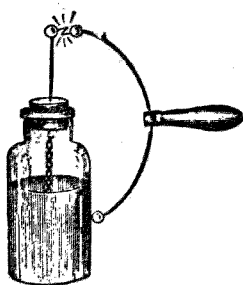


圖158 容電器的放電

各貼錫箔，內層錫箔內金屬鍊通至瓶口外面的小球，外面的錫箔則連於地。如將起電機的一極接於球上，即可蓄積多量的電。這叫做容電器的**灌電** (Charge)。如以**放電叉** (Discharge tongs)的一球和外層錫箔接觸，而將他一球和瓶頂的球相近，於內外層的電就起中和作用而發生火花放電，如圖 158 所示。

第七節 電池

電池 (Cell) 是由化學作用使導線上保持一定電壓，藉以發生電流的一種裝置。從前意大利的科學家伽爾夫尼 (Galvani)，於1786年發見若聯接二種不同金屬，使其兩端與新剖的蛙肉相接觸，蛙肉即發生痙攣狀態，如受雷擊無異。後來意大利的科學家伏打 (Volta) 繼續研究這個現象，遂發明一種**伏打電池** (Voltaic cell)。它的構造如圖 160，係用一塊鋅板和一塊銅板對立在稀硫酸中而成。若用金屬導線將銅板和鋅板聯接成一通路 (Closed circuit)，導線上就有電流通過。銅板上帶正電，叫



圖159 伏打

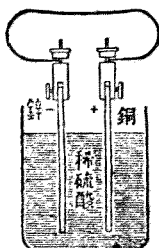


圖160 伏打電池

做**正極板**(Positive plate)，**鋅板**上帶負電，叫做**負極板** (Negative plate)。兩極間的**電位差**(Electric potential difference)約為1伏特。

不僅銅板和鋅板在稀硫酸中可以生出電位差而發生電流，即置任何二種不同的金屬於任何酸性、鹼性或鹽性溶液中，均有同樣的情形發現。所以伏打電池的種類極多，據實驗所得結果，可將多種金屬排列如下：

鋅、鉛、錫、鐵、鈹、銻、銅、銀、金、鉑、碳。

插上列任何二金屬於稀硫酸中，在前者的電位差常較在後者的電位差低。若二金屬相隔愈遠，它們的電位差亦愈大。

除上面所說的伏打電池之外，還有丹聶爾電池 (Daniell cell)和勒克蘭社電池 (Leclanche cell)等，分述如下：

丹聶爾電池的外瓶是一個玻璃或陶器的圓筒，內盛硫酸銅的濃溶液如圖 161，並插一無底圓筒形的銅板；銅板的中央容

有一盛稀硫酸的素燒瓷筒，裏面插一塊塗有水銀的鋅板即成。這個電池的正極是銅板，負極是鋅板，兩極的電位差約為 1.08 伏特。

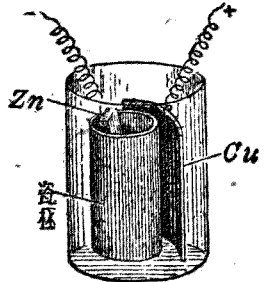


圖161 丹森爾電池

勒克蘭社電池的構造如圖 162，它的外瓶也是一個玻璃或陶器製的瓶，內盛氯化銨的濃溶液。液內插鋅棒一條作負極。正極是一塊碳板插在一素燒瓷筒內。板和筒的中間，填充二氧化錳和碳末的混合物即成。這種電池兩極的電位差約為 1.5 伏特，常用作電鈴等的裝置。

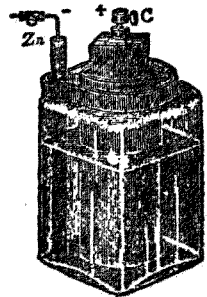


圖162 勒克蘭社電池

我們常見的一種**乾電池** (Dry cell)，就是

勒克蘭社電池的一種變形。係用一個鋅製的圓筒作為負極，中插碳棒，四

周以氯化銨和氯化鋅的溶液，混合二氧化錳、碳粉及木屑而成的糊狀物填充，頂覆以砂，並用瀝青封固，以免蒸發，筒外裹以紙片即成，如圖 163。這種電池便於攜帶，電鈴及手電燈都常應用它。

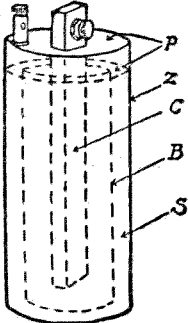


圖163 乾電池

第八節 電阻

用粗細不同長短各異的導綫，分別聯結同一電池的兩極，那麼導綫中所經過的電流強度並不相同。這是因為導綫的形狀大小不同，所以對於電流所生的阻礙也不同。從前德國的科學家歐姆(Ohm)曾由試驗求得：在同一導體中通過的電流，它的強度和兩端的電位差成正比。這叫做歐姆定律 (Ohm's law)。設用 E 表導體兩端的電位差， C 表電流強度，則

$$\frac{E}{C} = R \text{ 或 } CR = E$$

這個 R 為一常數，由導體的質料、大小、形狀及溫度而定，不隨電位差或電流的強弱而變。 R 的大小表示導體阻礙電流通過的性質，叫做電阻(Resistance)。電阻的單位為歐姆(Ohm)，即以單位電壓(伏特)加於導體的兩端，如所生的電流強度為一單位(安培)，那麼導體的電阻就是一歐姆。故由上式可得：

$$\text{電阻(歐姆)} = \frac{\text{電壓(伏特)}}{\text{電流(安培)}}$$

各種物質中，銀的電阻最小，其他銅、鉑等幾種物質的電阻和銀相比的倍數，列表如下：

銀	1.00	鉑	7.20	水銀	63.1
銅	1.11	鋼	13.5	鎳鉻線	73.2

電阻組合的聯接法有二種，一是串聯(Series connection)，二是並聯(Parallel connection)，分述如下：

(一)串聯 如圖 164，以若干電阻綫圈順次聯接，使電流依次通過，這叫做串聯。它的總電

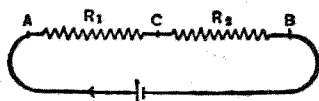


圖164 串聯的電阻

阻等於各部分電阻的總和，設以 R 表總電阻， R_1 及 R_2 表分電阻，則

$$R = R_1 + R_2$$

所以總電阻較各部分的電阻之值為大。

(二)並聯 如圖165，以若干電阻綫圈的一端聯接於一處，其他端聯接於他處，使電流分開由各綫圈通過，這叫做並聯。設以 R 表總電阻， E 為 A 和 B 間的電壓，則總電流 C 必為 E/R ，若以 R_1 及 R_2 表分電阻， C_1 及 C_2 表各綫圈上的分電流，則

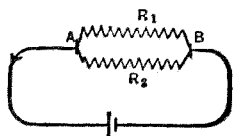


圖165 並聯的電阻

$$C = C_1 + C_2$$

或
$$\frac{E}{R} = \frac{E}{R_1} + \frac{E}{R_2}, \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

即並聯時電阻總值的倒數，等於各個電阻倒數的和，所以較各個電阻之值為小。

在前面我們所講的電池，因為內部的溶液也是導體，所以在電流流動時，也有電阻作用。這個電阻叫做**內電阻** (Internal resistance)。對於內電阻而說，聯結電池兩極的導綫的電阻，叫做**外電阻** (External resistance)。內電阻和液體的種類，金屬板的大小，兩板間的距離有關。若在同一的電池，那麼和兩板浸在液體內面積的大小有關，面積大，電阻小，又距離大，電阻也大。

電池組合的聯接法和電阻的聯接相同，亦有串聯並聯二

種：串聯的法如圖 166，把第一電池的負極和第二電池的正極連結，復將第二電池的負極和第三電池的正極連結，如此串聯若干個電池，那麼最外

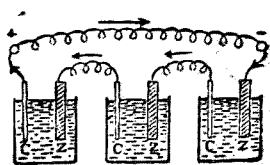


圖166 串聯電池

兩極間的電壓就等於各電池電壓的總和。並聯的方法，是將電池的同極相連接，如圖 167。這樣的連接，兩導綫間的電壓和每個電池的電壓仍相同。通常電池的組合多用串聯法，目的在使阻力很大的導綫，受有較大的電壓，可以得強度較大的電流。

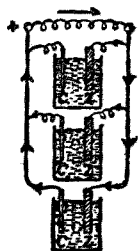


圖167 並聯電池

第九節 電流的化學效應

在前面講過由化學的作用，可以使電池發生電流，但若把電流通過導電的溶液時，亦可以使它發生化學作用而分解，這種現象叫做**電解** (Electrolysis)。例如用鉑板兩插入滴有稀硫酸的水中，作為兩極；電流通入的一極作**陽極** (Anode)，流出的一極作為**陰極** (Cathode)。在每極的上面倒置滿盛水的玻璃管，如圖 168 所示，用導綫將兩極和電池連接，即見陰極和陽極上都有氣泡發生。收集於玻璃管內，且可見陽極管內的氣體體積約為陰極管內的氣體體積之半。取出試驗，可知陽極管

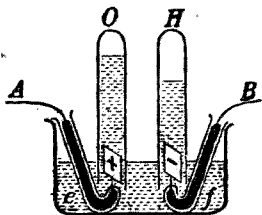


圖168 水的電解

內的氣體爲氧，陰極管內的氣體爲氫。這就是水因電流的通過發生化學作用，電解爲氫氧二元素的結果。這種因電流所生的化學電分作用，叫做電流的**化學效應**(Chemical effect)，可以被解的物質，叫做**電解質**(Electrolyte)，大概一切酸類、鹼類、鹽類的水溶液都是電解質。

從前英國的科學家法拉第(Faraday)由實驗的結果，知道經電解析出的物質，它的質量必和通過的電量成正比，即和電流的強度及時間爲正比。這叫做**法拉第定律**(Faraday's law)。

電解的應用甚廣，如**電鍍**(Electro-plating)、**電鑄**(Electro-typing)、**電刻**(Electro-engraving)、**電冶**(Electro-metallurgy)等都是。茲分述如下：

(一)**電鍍** 將欲鍍的物體作爲陰極，把擬鍍的金屬(鍍金用金板，鍍銀用銀板)，作爲陽極，雙方都浸入電解質的溶液中(鍍金用金的鹽類，鍍銀用銀的鹽類。)，通電流後，物體上即鍍有一層擬鍍的金屬。

(二)**電鑄** 在原型上面先製一個蠟或石膏的模型(凹凸和原型相反)，用石墨塗在模型的表面，使它成爲導體；然後拿這模型聯在電池的陰極，用銅板聯在電池的陽極，浸入硫酸銅的溶液中，通過電流後，模型上即塗有一層銅皮，到適當厚薄取下，就得一銅的模型。

(三)**電刻** 先以油漆等非導體書寫或繪畫於金屬物上，然後聯於電池，浸入電解質的溶液中(溶液的種類由金屬物而定，

如電鍍所說)，通過電流，即得書畫等花紋。如將金屬物作為陰極，則書畫等凹入，如作為陽極則書畫等凸出。市上銀盾等物即由此法刻成。

(四)電冶 從鑛山採掘出來的原鑛要分取它內部所含的金屬，多用電冶術。其法將原鑛的溶液或原鑛加高溫度，熔成液體，通入電流，金屬就附着於陰極而出。近代製造純粹的銅、鋁、鎂等金屬，都用這種方法。

電流的化學效應除上述之外，還有一種將電能變為化學能而儲蓄起來，等需用時再將化學能變為電能的裝置，叫做蓄電池 (Accumulator)。

如圖169，甲為富有格子狀小孔的兩塊鉛板，用硫酸和入一氧化鉛裝入格子中，然後對立在盛有稀硫酸的容器內。把這鉛板兩極通入強電流，這時因硫酸的電解，在陽極的一氧化鉛，氧化成二氧化鉛；在陰極的一氧化鉛還元成鉛的細末。

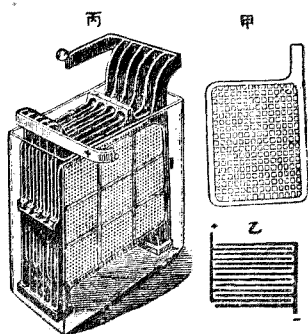


圖169 蓄電池

若電流繼續通過，這兩極上的化學反應就繼續進行，結果這兩個鉛板上發生電位差，它的方向和電流的方向相反。等到兩鉛板受到充分變化之後，停止電流，則兩鉛板上的電位差，可達2伏特以上。附着二氧化鉛的鉛板為正極，其他一鉛板為負極。這叫做灌電 (Charge)。灌電後蓄電池的兩極倘用導綫

聯結，那麼電流就從正極流向負極，在電流通過的時候，因硫酸的電解，兩極漸變為硫酸鉛，電位差即逐漸減小，這叫做放電(Discharge)。

實際上，蓄電池的鉛板不止兩塊，如圖 169 丙，是由數對鉛板交互對列，並聯後使用，可以增加容量，減小電阻。

第十節 電流的磁效應

導線的兩端和電池的兩極聯結之後，如將導線平行放在磁針上面。磁針因受着導線裏面電流的影響，就稍離開它原來的南北方向，如圖 170。倘將導線兩端的兩極互相交換，使導線內的電流改

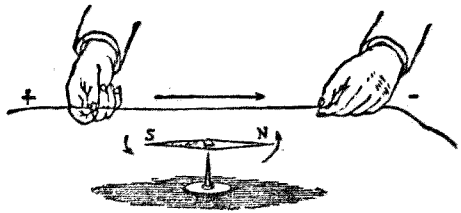


圖 170 電流的磁效應

變方向，則磁針的偏向也就與前相反。由此可知在電流的近傍能發生磁場，這叫做電流的磁效應(Magnetic effect)。

用一導線貫通一厚紙板，紙板上撒布鐵屑，將導線的兩端接至一組的電池，通電後，紙板上的鐵屑由感應作用，各成一小磁鐵，輕擊紙板，鐵屑即以導線為中心而排成多數的同心圓的磁力綫，如圖 171 所示。若置小磁針於紙板上各處，就可測定磁力綫的方向。即電流如由上而下，磁力綫的方向為順時針方向；電流若由下而上，則磁力綫的方向為逆時針方向。從前

法國的科學家安培 (Ampere) 研究的結果，知電流的方向和磁場的方向互成直角。如用右手握導綫，使大拇指指示電流的方向，則其他各指就指示電流所生的磁場的方向。這叫做右手定則 (Right-hand rule) 或 安培氏定則 (Ampere rule)，如圖172所示。

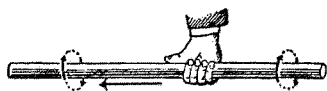


圖172 右手定則

173的狀態。

如以周圍圈有絹綫或棉綫的導綫，捲成圓筒狀的螺旋形，通以電流，由實驗測得螺旋裏面中央部分的磁力綫，差不多和螺旋的軸平行；螺旋外部和兩端的磁力綫，和條形磁鐵一樣，如圖174。這種螺旋狀的絕緣導綫，叫做綫圈 (Coil)。

因為通有電流的綫圈，它的力綫和磁鐵

的力綫和磁鐵

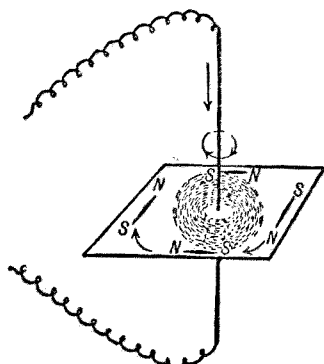


圖171 電流周圍的磁場

把導綫曲為圓形，通以電流，導綫周圍的磁力綫，可用鐵屑和磁針實驗測得，如圖

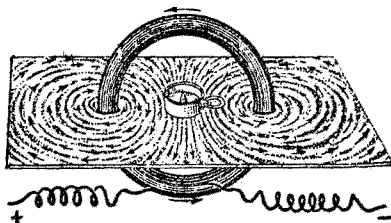


圖173 圓形電流的磁力綫

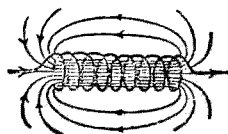


圖174 綫圈的磁力綫

一樣，所以綫圈的作用和磁鐵相等。倘用磁針移近綫圈，可得和條形磁鐵同樣的結果，且可由磁針來決定它的兩極。爲簡便起見，把上面所說的右



圖175 綫圈的右手定則

手定則稍加修正，就可以表明綫圈的磁場方向如下：就是，以右手握綫圈，使食指及中指等指示電流的方向，則拇指指示電流在圈內所生磁場的方向，如圖 175 所示。在綫圈上的電流愈大，它的磁性亦愈強。

在綫圈中插入一軟鐵棒，當綫圈上電流通過時，棒就由感應作用成一磁體；電流停止，棒的磁性即消失；這種裝置，叫做**電磁鐵** (Electromagnet)。電磁鐵的用途極廣，差不多爲各種電機的重要部分，如電鈴、電報、電話、電流計、發電機、電動機等都需用它。

電鈴 (Electric bell) 是應用電磁鐵以發聲的一種簡單裝置，如圖 176，電鈴的**電鑰** (Electric key) 俗呼掀鈕 P 連結。將手指按鑰，電路接通，電流即由箭頭所示的方向，通過電磁鐵 E ，經彈條和螺釘 C 而回電池；這電磁鐵因電流通過，感應

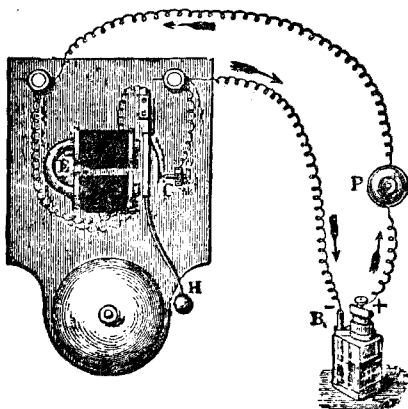


圖176 電鈴

而生磁性，即吸引它前面的軟鐵片，使錘 H 擊鈴作聲；同時彈條因軟鐵片的運動，使它和螺釘的接觸點分離，電流斷去，電磁鐵失去磁性，軟鐵片由彈條的彈力作用恢復原位置，再和螺釘接觸，電流又通，電磁鐵又生磁性，再吸鐵片，錘又擊鈴。如是連續作用，鈴聲即繼續不已。

· **電報** (Telegraph) 也是利用電磁鐵的裝置。主要部分是發報機和收報機，如圖 177。發報機為一特製的電鑰 K ，通報時將電鑰 K 按下，使電池所發的電流，經架空導綫 L 至收報機的電磁鐵 M ，而通入地中，由地而回至發報機的電池。將電鑰 K 放開，電流即中斷，當發報機的一方按下電鑰 K 電流通時，收報機的電磁鐵發生磁性，將前面的鐵片吸下，擊 A 釘而發聲；發報機放開電鑰 K ，電流中斷時，收報機的電磁鐵失去磁性，鐵片即由彈簧 S 以恢復原來的狀態，擊 B 而發聲。由兩聲相隔時間的長短，即可決定通信的點畫記號(時間長為畫，短為點)，而記出文字。這種用聲音以傳達電信的，是近代所用的**發聲器** (Sounder)。若是在發聲器的鐵片上，連有墨水筆，可在移動的紙條上記出點畫的記號的，是從前的**記錄器**(Recorder)。

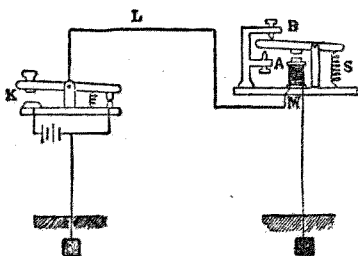


圖 177 電報的原理

電報通信的記號，係由點畫拼合而成，國際間所用係**莫斯**

電碼(Morse code)，列之如下：

a. —	b. —...	c. —. —.	d. —..	e. .
f. .. —.	g. — —.	h.	i. ..	j. — — — —
k. —. —	l. —..	m. — — —	n. —. .	o. — — — —
p. — — —. .	q. — — —. —	r. —. —.	s. ...	t. —
u. .. —	v. ... —	w. — — — —	x. —. . — —	y. —. — — —
z. — — —. .				

我國文字非用字母拼成，故須每一字定一號數，發電時先將文字譯成號數，再將號數按數字拍發；收報局又依數字電碼編成號數，再將號數譯成文字，數字電碼亦用點畫拼合而成，如下：

1. —	2. .. —	3. ... —	4. —	5.
6. —	7. — ...	8. — ..	9. —. .	0. —

電流計 (Galvanometer) 為測定電流強度的裝置。因電流經圈上所生磁場的強度和電流的強度成正比，所以電流計多數利用電流的磁效應而構成。它的主要部分是綫圈和磁鐵，通常可分為磁轉式及圈轉式兩種，此外尚有測強電流所用的**安培計** (Ammeter) 和測導線上兩點間的電位差所用的**伏特計** (Voltmeter) 等。

第十一節 電流的熱效應

電流通過導綫各部時能發生熱的作用，這叫做電流的**熱效**

應 (Heating effect)。據實驗的結果，知道電流通過導綫時，導綫的每部分所發的熱量，和它的電阻成正比，和電流強度的平方成正比，並和電流的時間成正比。這叫做焦耳定律(Joule's law)。

一般的電熱器就是利用電流的熱效應而製成。如家庭中所用的電熨斗，通常係用鎳鉻線條繞於雲母片上而成。如圖 178 所示，其他如電煖爐，煮水器等，都是

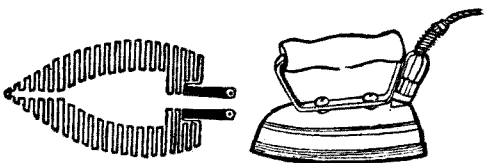


圖178 電熨斗

用電阻及熔點極高的導綫盤旋於器中。電流通過時，導綫即熾熱而發生多量的熱而作種種的功用。此外有一種熔點極低的保險絲(Fuse wire)係由錫和鉛的合金所製成，常插入電路的中途和導綫串聯，當導綫上通過的電流超過一定的強度，熱量太大時，保險絲即熔解而使電流不能流通，以免損壞電器或發生危險。

電燈(Electric light)或稱白熾燈(Incandescent lamp)，亦係利用電流的熱效應以得強光的裝置，係1879年愛迪生(Edison)所發明。它的構造如圖 179，為一真空茄形或球形的玻璃泡，泡內封入電絲而成。電絲的兩端，

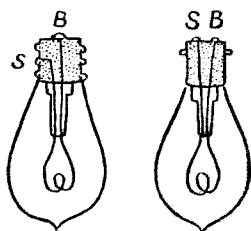


圖179 碳絲燈泡

一接於燈泡的燈座頂端金屬小塊 B ，一接於燈座的圓筒 S ， B 與 S 之間用絕緣物質隔離。如燈座非為螺旋形，則 B 、 S 皆在燈座的頂端，仍用絕緣物質隔開。 B 、 S 為電燈燈絲的兩極，就是電流出入的路徑；通入電流燈絲即熾熱而發光。

電燈中燈絲，從前用碳絲，費電多而效率小。後改用鎢絲，可以達較高的溫度而得更亮的燈光，且所費的電亦比碳絲為省。近來復於燈泡中加入氮或氬等鈍氣(Inert gas)，使鎢絲可達的溫

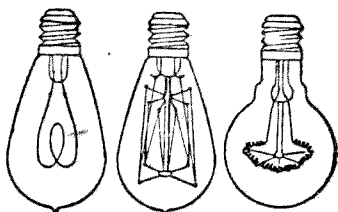


圖180 各式燈泡

度更高，光度更強，而費的電亦愈省。各式的燈泡形式如圖180所示。

第十二節 電磁感應

發生電流的方法，我們在前面已講過用起電機放電，和用電池使化學能轉變為電能的兩種。除此兩種之外，還有由機械能轉變為電能的一法，這種方法係由法拉第於1831年所發見。茲先述他的一種實驗如下：

實驗32 將線圈的兩端和電流計連接，用條形磁鐵的一極，迅速插入圈內，如圖181，電流計的指針立即偏向一

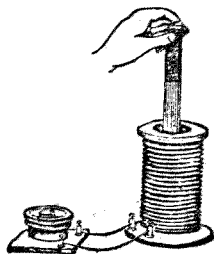


圖181 應電流(1)

方，表示圈內有電流，磁鐵不動時，指針回復原位，表示圈內無電流。再將條形磁鐵迅速提出，指針即偏向另一方，表示圈內又有電流，而和插下時方向相反。

這種用條形磁鐵在綫圈內移動，綫圈內所發生的瞬間電流，叫做**應電流** (Induced current)。磁鐵的移動速度增加，那麼應電流的強度亦增加。能發生應電流的現象，叫做**電磁感應** (Electro-magnetic induction)。

在上面的實驗中如將磁鐵的北極插入綫圈，由電流計的指針偏向，知應電流在圈端所成的磁極，亦為北極，以反抗磁鐵的插入。若將磁鐵提出時，應電流在圈端所成磁極則為南極，以阻止磁鐵的移出。同樣將磁鐵的南極插入綫圈，圈端生南極，以反抗磁鐵的插入，提出磁鐵時圈端生北極以阻止磁鐵的移出。由此可知當導體和磁鐵作相對運動時，導體中所生的應電流的磁極，必有反抗或阻止這種運動的作用，由這作用，即可確定應電

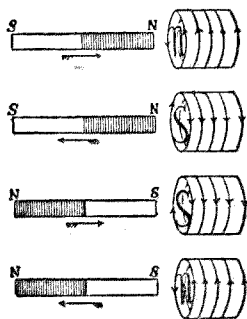


圖182 應電流的方向

流的方向。這個關係叫做**楞次定律** (Lenz's law)，如圖 182。

在前面講過，將綫圈通過電流之後，牠的作用和磁鐵一樣。所以在上面的實驗中，不用條形磁鐵，而用一個通有電流的綫圈來代替，令它在另一個綫圈中移動，結果亦能發生成電流。又

或不必使通電流的綫圈在另一綫圈中移動，而使這通電流綫圈上的電流忽斷忽續。那麼它的效果仍然相同，亦有應電流發生。在電流流通時，相當於磁鐵的插入綫圈，電流切斷時，相當於磁鐵抽出綫圈。這個現象，叫做**互感應**

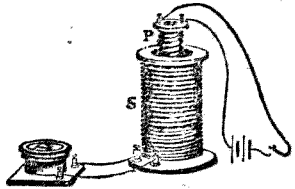


圖183 應電流(2)

(Mutual induction)。互感應時帶有電流的綫圈，叫做**原綫圈** (Primary coil)，如圖 183P；生起應電流的綫圈，叫做**副綫圈** (Secondary coil)，如圖 183S。如在原綫圈中放一軟鐵棒，則所得的應電流更強。

由上所述，可知應電流的發生，是因綫圈內磁場的變化或磁力綫的數目改變而發生。磁場的變化愈大，所生的應電流亦愈強；磁場固定不動，即不生應電流。

感應圈 (Induction coil) 就是利用電磁感應發生大電壓的裝置。它的主要部分如圖 184，

為一個幾十條軟鐵綫束成的軟鐵心 A，外繞以紗包的粗銅綫原綫圈 B。在 B 外更繞以紗包的細銅綫副綫圈 C。原綫圈的捲數約為數百回，副綫圈的捲數則很多，由數萬以至數十萬回。原綫圈的

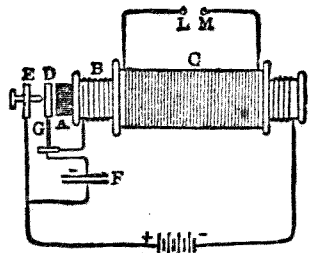


圖184 感應圈

兩端和電池兩極的導綫相聯。另用一種和電鈴相仿的斷續裝置

D 。副線圈的兩端各聯在絕緣的二個金屬棒上。 F 為一個容電器，裝在感應圈的木製台的內部。當電流通時， E 、 D 之間立刻成為斷續的作用，副線圈內即生強大的電壓。但這種電壓由原線圈上電流通時所生的方向，和切斷時所生的方向相反，所以在電池和原線圈上電流一斷一續的時候，副線圈內所生的電流方向交互變更，一反一正，循環不已。這種電流叫做交流(Alternating current)。普通所用電池發出的電流，方向續不變，叫做直流(Direct current)。

第十三節 發電機、電動機和變壓器

發電機(Electric generator)為在磁場內將線圈迴轉使生強大的應電流的一種裝置。它的主要部份，為一個發生磁場的強大電磁鐵，叫做**場磁鐵**(Field magnet)；和一個銅絲線圈可在兩極間自由迴轉以引起電流的**電樞**(Armature)。普通的電樞是在圓筒狀鐵心外側捲有多回的線圈。線圈上導體的方向和迴

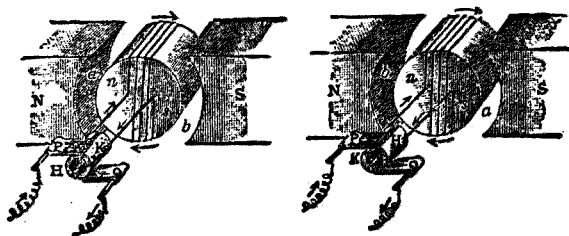


圖185 直流發電機

轉軸平行。如圖 185，線圈的兩端和半圓筒形銅片的**換向器**

(Commutator) H 、 K 相聯結， H 、 K 固定在迴轉軸上，另有兩片金屬刷子 P 、 Q ，當電樞迴轉時， P 、 Q 交互和 H 、 K 相接觸，軟鐵心因場磁鐵的感應作用，對 N 極的一面 a 生 S 極，對 S 極的一面 b 生 N 極（如左圖）。經過半迴轉後 a 移至 b 的位置， b 移至 a 的位置（如右圖），它的作用恰如綫圈不動，而將圈內磁鐵抽出，交換 NS 後再行插入綫圈一樣。所以電樞的位置從左圖的位置變到右圖，電流的方向如左圖箭頭所示的方向，從 K 經過綫圈流向 H 。再將右圖的電樞繼續迴轉變為左圖的位置，那麼綫圈的 a 側再變為南極， b 側再變為北極，於是在這半迴轉內，電流的方向和前相反，從相 H 經過綫圈流向 K 。但是每半迴轉內， H 、 K 和刷子 P 、 Q 的接觸交換一次，所以和 P 、 Q 相聯的外部導綫中電流的方向並不變化，從 P 流出，從 Q 回入電樞中。這種所發的電流，方向不變的發電機，叫做**直流發電機**(Direct current generator)。

如將發電機綫圈兩端的半圓形銅片 H 、 K 改成互相絕緣的兩圓筒，如圖 186，固定在迴轉軸上，各圓筒和兩個刷子相接觸，那麼在前半迴轉，電流從 K 經過綫圈流向 H ，後半迴轉，就從 H 經過綫圈流向 K ，所以外部導綫上電流的方向，每半迴轉，交換一次。這種所發的電流方向交換的發電機，叫做**交流發電機** (Alternating current generator, or alternator)。

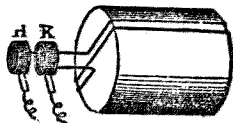


圖 186 交流發電機

通電流入綫圈中，使綫圈生迴轉運動的裝置，叫做**電動機** (Electric motor)，它的構造和發電機完全一樣。所以發電機即可以作電動機。如圖187，電流從刷子 P 流入，經過綫圈從刷子 Q 流出，於是中間的軟鐵心即帶有磁。左側為北極(左圖)，右側為南極，和場磁鐵相反撥，電樞即依箭頭方向而迴轉，半迴轉後到右圖的地位，銅片 H 、 K 和刷子的接觸互相交換，所

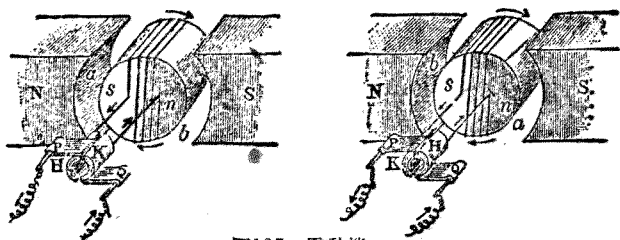


圖187 電動機

反撥的方向，和以前相同，繼續迴轉。如在轉動軸上裝置齒輪或附繞皮帶等，即可以做種種的機械工作。

變壓器 (Transformer) 為使交流電壓升降的裝置，它的構

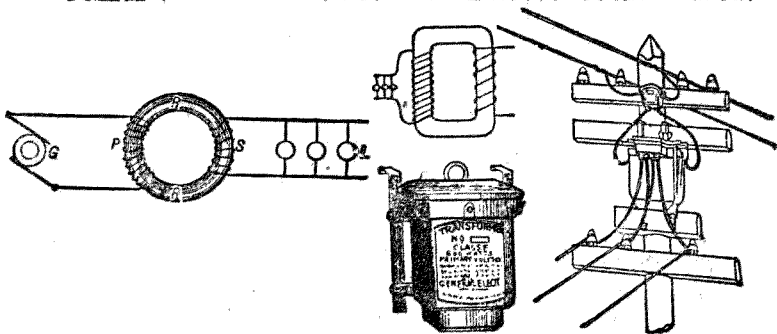


圖188 變壓器的原理和外形裝置

造和感應圈相似，如圖 188，在軟鐵心 R 的兩旁，各繞一圏 P 和 S ，由發電機 G 將交流送入原綫圈 P ，副綫圈 S 上，就生應電流。因二圏間磁力綫通過的數目相同，每捲的電壓也必相同，所以原綫圈的電壓和副綫圈的電壓相比，必等於原綫圈的捲數和副綫圈的捲數相比，可列式如下：

$$\frac{\text{原綫圈的電壓}}{\text{副綫圈的電壓}} = \frac{\text{原綫圈的捲數}}{\text{副綫圈的捲數}}$$

利用這個原理，可以將低壓的電流，變為高壓的電流，這叫做昇壓器 (Step-up transformer)；或把高壓的電流變為低壓的電流，這叫做降壓器 (Step-down transformer)

第十四節 電扇、電車和電表

電扇 (Electric fan) 即電動機的應用，在電樞的軸上裝有螺旋推進器，電流通時，電樞迴轉，使螺旋推進器轉動，推動空氣而成風，如圖 189。

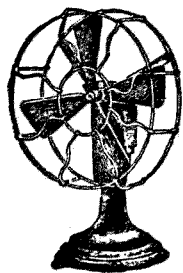


圖189 電扇

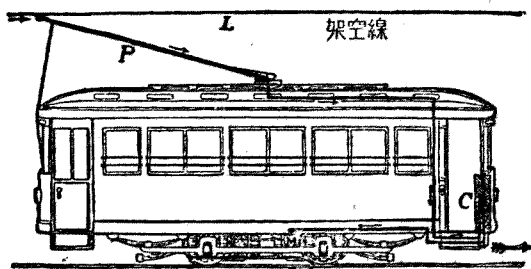


圖190 電車

電車 (Electric car) 的電動機，裝於車體的下面，電樞的迴

轉軸上附有齒輪和車軸的齒輪相銜接，如圖 190。發電機所發的電流，經架空導線 (Trolley wire) 入電動機，再由軌道流回。電車的前方有電阻箱，以節制電流的強度。電樞轉動，電車就能前進。

有種電車，它的架空導線係用二條，電流從一條銅綫流入，從其他一條流出，可以無須軌道，就是俗稱的無軌電車。

電表一名瓦特小時計 (Watt-hour-meter)，為記錄消費電能的一種器械。它的構造，主要部份亦和電動機相似。如圖 191， A 為可以轉動的綫圈，相當於電樞，用細銅絲繞成，捲數很多，電阻很大； F 為固定的綫圈，相當於場磁鐵，用粗銅絲繞成，捲數很少，電阻很小。電流自左方來，分成二路，大部分通過 F ，

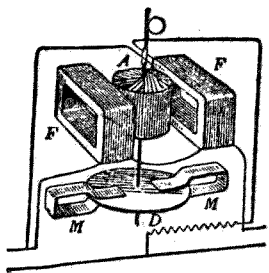


圖 191 瓦特小時計

即為實際所用的電流；小部分通過 A ，和幹綫間的電壓成正比；最後復合成一路而去。當電流通時，因 A 和 F 間有電動機的作用，故 A 綫圈就生轉動。且由接續的性質上看來，所生的迴轉力，和電壓與電流的乘積成正比。在 A 的軸上用齒輪和指針的裝置，且在其下端附一鋁製的圓盤 D ，介於磁針 M 間，使 A 的轉動因電磁感應的妨礙，不致太快。於是由指針的轉動，即可直接記出消費的電能。

第十五節 電話

電話 (Telephone) 爲美國科學家 裴耳 (Bell) 所發明，是利用電傳遞說話到遠方的一種裝置。

它的重要部分爲**發話器** (Transmitter) 和**收話器** (Receiver)。發話器的斷面如圖 192。在發話器口的後面裝一薄鐵片 D ，說話時，片上受聲波的激動，即起振動， D 後連結的小碳片 C ，亦同時振動， C 片後

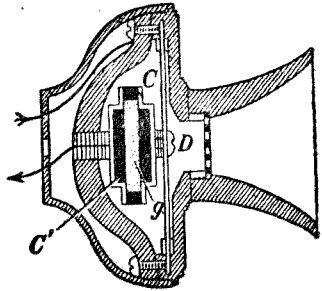


圖192 發話器

爲一碳盒，中置碳粒 g ，電流由薄鐵片通入，經過碳粒而由碳片 C' 流出。

收話器俗稱聽筒，它的斷面如圖 193， A 爲蹄形磁鐵，兩極前有一軟鐵片 E ，每極上繞有捲數極多的綫圈 B ，兩圈捲繞的方向，彼此相反，互相串聯，和外面的

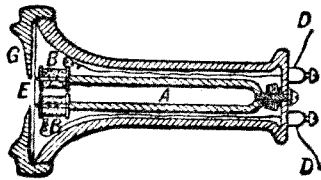


圖193 收話器

的導綫聯接。當雙方通話時，甲方向發話器發聲，小鐵片因受聲音的激動而振動；振動的的狀態傳達到碳粒上面，使各小碳粒的接觸部分變動而改變它的電阻，因之電流的強弱也隨了改變，傳至乙方收話器的電磁鐵，使前面的軟鐵片亦起振動，激動空氣，發出聲波，恰和發話器所受的聲波相同。所以甲的語言，可以傳至乙方。

第十章 無線電和射線

第一節 電磁波和電共振

以水平粗管聯接甲、乙二器，如圖 194，器中貯水。如甲器內水面高於乙器內水面，那麼甲器內的水就經由水平粗管迅速流入乙器；等到甲乙兩方水位相等以後，因慣性的關係，仍舊繼續向乙器流動不止。以致乙器內的水面暫時反比甲器內水面高。因之水又從乙器流向甲器；直至甲器內水面再比乙器內水面高時，水流重復反向。照這樣往返流動多次才漸靜止。

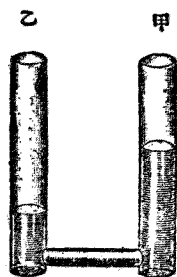


圖194 水面的振動

倘使通連兩器的水平管細而長，則水流經此管時，所受阻力較大，水流速度減小，上述的往復流動現象。就不能發生。

用導線聯電位不同的兩導體，它的情形和上述的水一樣。倘使導線的電阻大，那麼電荷在導線上流動時所生的熱也大，電能消耗頗多。瞬時之後，兩導體的電壓變成相等，遂歸靜止。若導線的電阻很小，那麼電流就先從甲導體流向乙導體，再從乙導體流向甲導體，須經過多次往返之後，然後靜止。在這情形之下，因導體上電荷流動方向的改變具有週期性，所以周圍介質內的電能和磁能也是具有週期的變化，它的變化用一定的速度向各方傳播，恰如用小石投入水中，水波向四方傳播一樣。這種波動式的電能和磁能的傳播，叫做**電磁波**(Electro-

magnetic wave)。

在1888年，德國的科學家赫芝(Hertz)，以感應圈的兩端各裝一金屬棒 A 、 B ，如圖 195，使 A 、 B 間發生火花放電，送出電磁波，成一振動器(Oscillator)。另用一共振器(Resonator)，開口金屬環 C ，置於振動器的前面，調整它的位置，則當電波傳至 C 後，由感應作用，誘起電流，在 A 、 B 兩小球

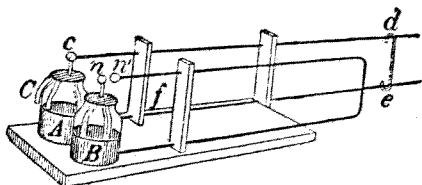


圖195 電共振

間即有火花飛過。這個現象和發音體的共振現象相類似，所以叫做**電共振**(Electric resonance)。

赫芝應用的上述的實驗，察知電磁波能生反射、折射等的現象，和光波完全相同，且測得電磁波在以太中傳播的速度亦和光相同，即每秒 3×10^{10} 厘米。因此知道光波實係電磁波的一種，由於發光體內電子(見第二章第七節)的振動而生。這叫做**光的電磁學說**(Electromagnetic theory of light)。

第二節 檢波器

光波的發生，可以由人眼看到；聲波的到達，可以由人耳聽得，但是電磁波的有無，我們若僅賴直接的感覺，就無從察知；雖可利用赫芝的共振器以接收電波，但不甚靈敏。布藍勒(Branly)、陸奇(Lodge)二氏發見疏鬆鐵粉的電阻，受到電磁

波之後，大為減小，於是造成一種檢波器(Detector)以驗知電磁波的有無。

布藍勒等所發明的檢波器係一種**粉末檢波器**(Coherer)，是用鎳粉和少量的銀粉，加入數滴水銀，混合之後，裝入玻璃管中，如圖196，兩端用兩塊金屬板輕輕夾住即成，若聯接此器於電池和電鈴中間，平時因管中粉末鬆散，電阻很大，導綫中電流的流動，經過此管受阻，因而電鈴的電路中電流極小，不能鳴鈴。若有電磁到來，管中粉末的電阻大減，電流可以自由流動，電鈴中電流增加，於是電鈴遂鳴。輕敲玻璃管，使粉末振動，恢復原狀，鈴聲即止。

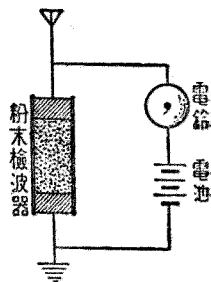


圖196 粉末檢波器

檢波器除上述的粉末檢波器之外，尚有晶體式和真空管式兩種，分述如下：

(一)**晶體式** 數種晶體如**方鉛礦**(Galena)、**金剛砂**(Carborundum)、**紅鋅礦**(Zincite)及**斑銅礦**(Bornite)等，有單向導電的特性，就是它的電阻對於向一方通過的電流，較向他方通過的為小。所以夾住一種礦石，並以他一礦石尖端壓於其上，電流通過時，就祇能通過一半，這個作用叫做**整流作用**(Rectifying action)。如圖197，為一**晶體檢波器**(Crystal

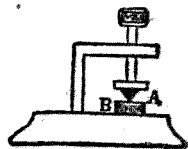


圖197 晶體檢波器

detector), A 爲斑銅礦, B 爲紅鋅礦, 電流祇能從 A 流到 B 。倘使將此器插入振動電路內, 受到電磁波, 於是電路內的振動電流就受到整流作用而向一方流動。

(二) 真空管式 近代所用的真空管式檢波器係三極真空管 (Three electrode vacuum tube),

如圖 198, 在真空管內封入一鎢絲 (Tungsten filament) F , 板極 (Plate) P , 柵極 (Grid) G , 它的整流作用如下:

鎢絲的兩端和電池 B 相聯, 使成赤熱; 又使 P 的電位高於 F , 那麼鎢絲因熱, 逃出電子, 向高電位的 P 而去, 所以 P 、 F 間就有電流。倘使 P 的電位比 F 低, 那麼電子不能流出, 電流就斷, 這個電流, 叫做板極電流 (Plate current)。柵極 G 是一金屬網, 倘使它的電位比 F 高, 板極電流就增加, 比 F 低板極電流就減少。而且它的變化很敏銳, 柵極電位稍生一些變化, 板極電流即起很大的變化。所以倘使將 G 接在振動電路的一端, 使受電磁波, 則 P 、 F 間的電流就生重大的變化。

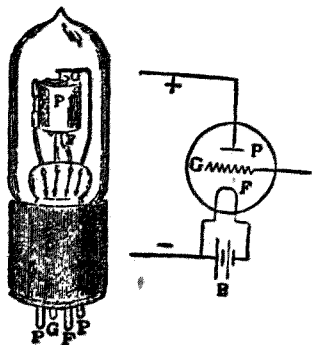


圖 198 三極真空管

第三節 無線電報和電話

無線電報 (Wireless telegraphy) 是意大利人馬可尼 (Mar-

coni)於1896年所發明。係利用電磁波由天線(Antenna)和接地線(Ground wire)以通信的方法。如圖199,甲為發報裝置。按電鑰 K ,則由交流發電機 G 所生的電流,經變壓器 T ,將電

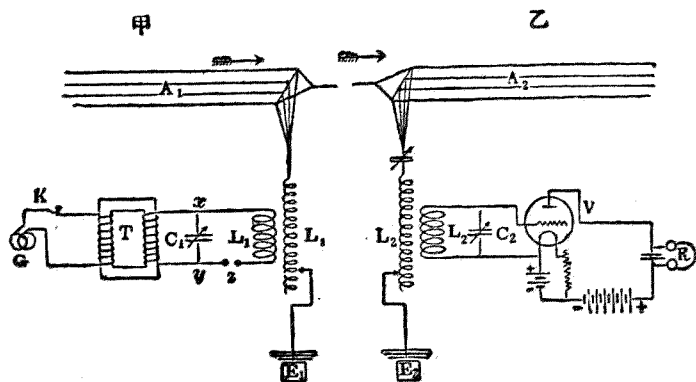


圖199 無線電報

壓升高,使容電器 C_1 的的兩板間生很大的電位差,通過火花間隙 Z 而放電。在此時 C_1 、 L_1 組成一個振電路,生一定週期的電振動。 L_1 、 L_1' 為一種變壓器的作用, L_1' 的振動週期倘和 L_1 、 C_1 的振動週期相等,那麼 Z 的地方每飛過一次火花, L_1' 內就因共振而生電振動,從天綫 A_1 發出電波。乙圖為收報裝置。天綫 A_2 受到電磁波後,因共振作用,在 L_2' 內生振動電流,因此生起 L_2 、 C_2 間的電振動,三極真空管內柵極 G 的電位生變化,收報器 R 內的電流也生變化,遂至發聲。在發報裝置按下電鑰 K 的時間內,發電機每一振動放出一個火花,收報機內的鐵板就用發電機頻率之二倍速度而振動。電鑰按下

的時間長，所發的聲也長；時間短發聲的時間也短，就可像普通的電報而通信。

無線電話(Wireless telephony)是藉電波傳達聲音的方法。它的發送機的構造雖繁，但應用的原理則很簡單。如圖 200 甲為真空管無線電話發話裝置。電池 B 的電流，因真空管 V 的作用，在 L_1 、 C_1 電路內生出振幅一定的電振動；再誘起 L_1' 內

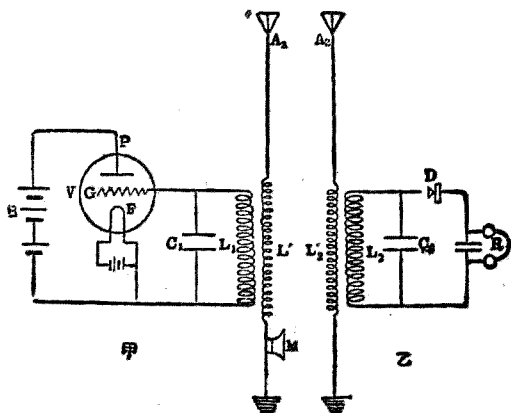


圖 200 無線電話

的電振動，使發電波。在天綫 A_1 的下部接一發話器 M ，向發話器發聲，則發話器的電阻，因振動板的振動而變化，於是電振動的振幅及電波的強度亦因之而生變化，由天地綫發射而出。乙圖為收話器的裝置，在天綫 A_2 中受到電波後，即起電振動，因此誘起 L_2 、 C_2 內的電振動，使收話器 R 的振動板，生起了和發來的電波相當的振動，而發出和發話器內同樣的聲

音。

如將收話器改爲揚聲器，則可得宏大的聲音而爲多人所聞。揚聲器的構造原理，亦有多種，最簡單的和收話器的構造相同。不過它的線圈和薄鐵片都較大些，裝於喇叭管或共振箱的底部而成。

第四節 放電

以二金屬棒各和感應圈的兩極相聯，在空氣中實行放電 (Discharge)，則因兩棒端的形狀、距離、電位差等的不同，發生種種形狀的火花。例如圖 201 甲，兩棒端的距離很近，兩極的電位差很大，於是火花的形狀，成爲直綫形。倘使把它們的距離加大，那麼火花的形狀如乙圖。若是棒的尖端附有一尖銳的針頭，那麼火花的形狀就如丙圖。對於某一定值的電位差，可以火花放電的距離，叫做放電距離。

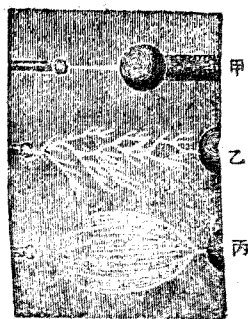


圖201 放電

第五節 霓虹燈

用一細長約 1 米的玻璃管，兩端封入鉑或鉛製的兩極，聯接於感應圈或起電機的兩極，如圖 202，管旁的小管聯結於抽氣機。當使感應圈或起電機開始動作時，即緩緩抽去管內空

氣。可次第發見下列各奇異的現象。

當管內空氣壓等於大氣壓時，兩極間並無放電現象。氣壓降 $\frac{1}{6}$ 大氣壓時，管內即生爆裂的聲音，管壁上略可見藍色微光。待氣壓降至4厘米

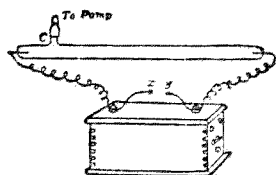


圖202 放電管

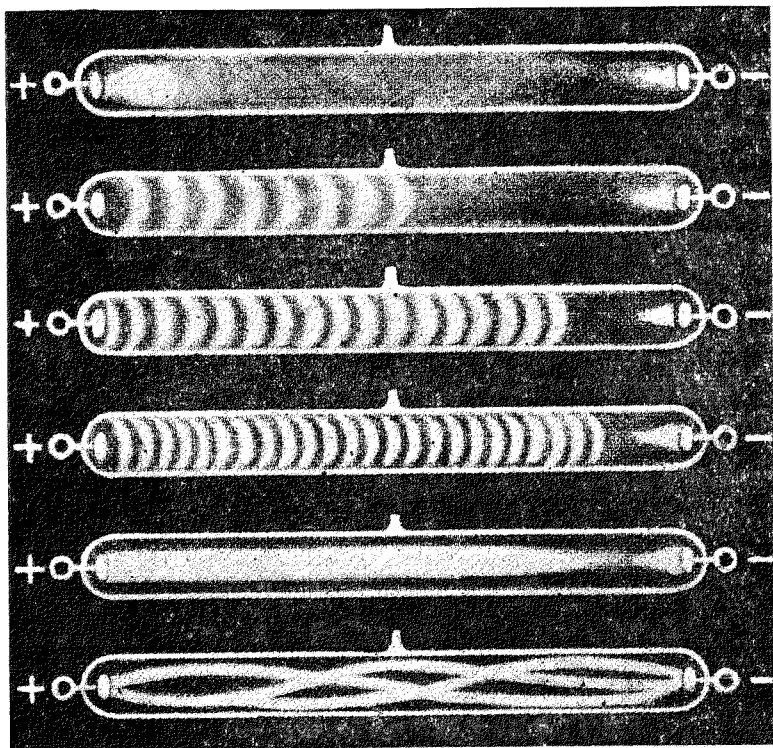


圖203 放電管內的現象

水銀柱高時，兩極間就有紅紫光綫穿過，如圖 203 中的第一管。待氣壓再降，光綫漸粗，而至全管呈現紅色光柱，這叫做陽極區 (Positive column)，如圖中第二管。待氣壓降至 $\frac{1}{100}$ 厘米水銀柱高左右，陽極區忽成多數光暗相間的輝紋 (Strise)，狀如鱗片，顏色漸淡，與陰極間，生出一段的黑暗區域 (Dark-space) 如圖中第三管。至氣壓再降，陽極區向陽極縮短，暗區伸長，如圖中第四、五兩管所示。至氣壓降至 $\frac{1}{10000}$ 厘米水銀柱高時，陽極區已縮至不見，全管幾成黑暗區域，同時陰極對面壁上，呈明亮的螢光 (Fluorescence)，如圖中第六管所示。螢光的顏色，隨玻璃的質料而異，例如鈉玻璃發綠光，鉛玻璃發藍光。這種能發螢光的放電管 (Discharge tube) 叫做克魯克斯管 (Crookes tube)。

充滿陽極區的放電管 (圖 203 第二管) 它發光的顏色，由管中殘留氣體而不同。如為氖氣時，發紅光；為汞氣時或氬氣時發藍光，若用黃玻璃管充氬氣則發綠光。都市中作廣告用的霓虹燈 (Neon lamp)，就是由此管所製。

在克魯克斯管壁所發的螢光，係受陰極發出的射綫照射而生的效應，所以這種射綫叫做陰極射綫 (Cathode ray)。它的性質，除生螢光外，還有種種的特性，如(一)為直綫傳播；(二)能生熱效應；(三)能生機械效應；(四)能生磁效應；(五)能生化學效應；(六)能受電力的引斥等都是。

第六節 X射線

在1895年，德國物理學家倫琴 (Roentgen)，由真空管放電的實驗，發見另有一種不可見的輻射綫，因不知它的名稱，所以就叫牠為X射綫 (X-ray)，或叫做倫琴射綫 (Roentgen ray)。如圖 204，為一X射綫管 (X-ray tube)，A為陽極，C為球面陰極；P為對陰極 (Anti-cathode)，一般的用鉑或鎢製成，位於陰極面的球心，而與主軸成 45° 角。陰極射綫由C發出，聚焦於P面上的一點，P就發生X射綫。

X射綫能穿過尋常光綫所不能穿過的物質，如骨骼、金屬等。能激發螢光作用，使多種物質發生螢光。有感光作用，能使

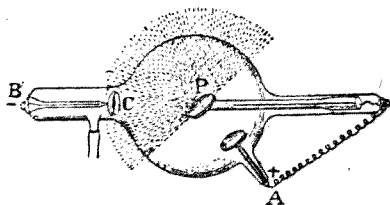


圖204 X射綫管

照像片感光和尋常光綫一樣。能激發人的生理作用，可作病症的治療。能游離氣體，經X射綫照過的氣體，可變為導體，但無磁效應，不受磁場或電場的影響。且無反射、折射等現象。

第七節 放射性

1896年，法人柏克勒爾 (Becquerel) 在研究各種螢光時，把不透光的黑紙，包裹照片，放銅幣一枚於紙包上，更於紙上懸鈾 (Uranium) 的礦石，置於暗室，數日後發見照片已感

光而顯銅幣之影。由是知鈾礦石能發生一種射綫，它的性質和X射綫相類似，這叫做柏克勒爾射綫 (Becquerel's rays)。凡能放出此種射綫的物質，叫做放射質 (Radioactive substance)。它的性質叫做放射性 (Radioactivity)。

在柏克勒爾發見鈾和它的化合物有放射性後的數月，居里和居里夫人 (M. and Mme Curie) 又於巴黎發見釷 (Thorium)，亦同樣具有放射性。後來居里夫人又從澳洲某處所產的鈾鑛瀝青礦 (Pitch-blende) 中，分出一種新元素鐳 (Radium)。它的放射性，較鈾的放射性，約大一百萬倍，活動性約較鈾大四百萬倍。

近今已知具有放射性的物質，除鈾、釷、鐳外，更有鉈 (Polonium)、錒 (Actinium)、鏷 (Ionium) 等四十餘種，都是原子量極大的元素。其他如原子量較小的鉀、鈷，亦微有放射性，即它們的化合物，亦同樣有放射性。因知放射性是由於原子的特性，而和分子無關。

放射性物質，它的原子，在發出放射綫後，即起變化，漸次蛻變為較簡單的新物質，例如鈾蛻變而為鐳，鐳蛻變而為氡 (Radon)，氡再經數次蛻變而成鉛等等都是。

題 問

第一章 物理學是什麼

1. 說明單位、基本單位和 C 、 G 、 S 、單位。
2. 10克水的體積，等於若干立方厘米？
3. 一塊鐵的重量為 500 克，其底面積為 20 平方厘米，放在桌上時，桌面有多少壓力？
4. 一公升的水，在 4°C 時的質量有若干克？
5. 一公斤的鉛和一公斤的鋅，誰的體積大些？
6. 試述重量和質量的區別。
7. 密度從何基本單位導出？
8. 試述吾人研究物理學的目的？

第二章 液體

9. 無風浪時，池中水是否平面？海中水是否平面？何故？
10. 用鐵圈箍桶？其上下圈的粗細應如何？
11. 水壓機兩活塞的直徑的比為 4 : 1，若在小活塞上加 500 克的力，可舉若干克的重物？
12. 由水面下提出物體，當物露出水時，覺其重量漸增何故？
13. 鐵的密度較水大，何以鐵質輪船能浮於水面，而不下

沉？

14. 今有金銀混合之合金一塊，重 100 克，體積 7 立方厘米，問金銀各若干？
15. 一玻璃球在水中減重 33 克，在鹽水中減重 39 克，求鹽水的比重。
16. 魚何以能在水中自由浮沉？
17. 聯接玻璃管必先燒之使熱，否則雖加大壓力，亦不能使之黏合，何故？
18. 還未落到地面的雨滴，和荷葉上的水滴，何以成球形？
19. 衣服上染有燈油時，可以吸墨水紙覆於油漬上，更用熱熨斗置紙上燙之即可除去，試述其理。
20. 試舉出幾種日常所見的毛細現象。

第三章 氣體

21. 空氣有重量否，何故？
22. 以紙片覆於滿盛清水的茶杯口，倒置茶杯，水不流出，何故？
23. 茶壺蓋上有一小孔，何用？
24. 我們喝汽水時，常用紙管吸飲，是應用什麼原理？
25. 虹吸管在真空中能應用否？
26. 在空氣中等重的鐵和棉花，它們的質量是否一樣？

27. 吸取唧筒能將水吸上到怎樣的程度？
28. 空氣唧筒和壓縮唧筒的活門裝置何以相反？

第四章 運動和力

29. 以紙置於桌邊而壓盛水的水杯於上。急抽紙條時，水杯仍留原處不動，水亦不潑出，何故？
30. 跳遠的人，必先由遠處飛跑若干距離方跳，何故？
31. 由高處跳下應以腳先着地，何故？
32. 試述位移速率、速度的意義和區別。
33. 一等加速運動的物體，在20秒內經過200厘米，求該物體的平均速度。
34. 用錘敲釘，易釘入木內，若用錘壓釘則如何？何故？
35. 人立濕泥中，拔一足，而他足反深陷，何故？
36. 試述兒童玩具不倒翁之原理。
37. 持雨傘之柄急轉之，傘面的水滴，何以四散飛出？
38. 何以地球爲橢圓體而非完整的球體？
39. 物體上受一個力偶而轉動如要制止它的轉動，應用何法？
40. 老人何以須持拐杖？
41. 試述推進器的作用。
42. 試述中國秤的構造，及所應用之原理。
43. 試舉出三種槓桿在日常所習見的事物。

44. 上山的路，何以不直上而必須盤折以升？
45. 石子從高處落下，它的位能和動能的變化是怎樣的？

第五章 熱

46. 摩擦雙手，即覺溫暖，何故？
47. 棉花可以禦寒，但夏日用它包裹冰塊，可免熔解，何故？
48. 夏日置冰塊於日光中，反不如置陰暗處易熔解，何故？
49. 熨斗必裝木柄，何故？
50. 冰箱內的冰應於上層抑下層？何故？
51. 冰箱內可否以 0°C 的水代冰？
52. 冬季霜雪何以能保護植物？
53. 冬日呼吸成霧，夏日則否。何故？
54. 瓶塞過緊不能拔出時，何以注熱水於瓶頸即易拔出？
55. 乒乓球癆時何法使他飽滿？
56. 飛機及汽車能否用蒸汽機推動？
57. 蒸發和沸騰有何不同？
58. 晨霧近午則消何故？

第六章 聲

59. 投石於水面，何以即生波浪？試述其理？

-
60. 縱波和橫波的區別怎樣？
 61. 聲波係何種波？
 62. 傳播波動的介質，是否隨波前進？
 63. 以耳伏於鐵軌上，聞遠處火車傳來的聲音有二，何故？
 64. 放鎗後8秒後，才聽到山壁傳來的回聲，求山壁和放鎗處的距離。
 65. 說明基音、泛音的意義。
 66. 樂音、噪聲的區別如何？
 67. 何謂共振，試舉出常見的數例。
 68. 同一簫、笛，在冬、夏吹奏時的音調，有無不同？

第七章 光

69. 在日光下可見電桿的影而不見電綫的影，何故？
70. 試述月蝕、日蝕的理，並繪圖以明之。
71. 在16枝燈光的電燈下看書，最合眼的照度，約為在距燈60厘米處，若在32枝燈光的燈下，應距燈若干距離？
72. 冬季白雪鋪地，何以室中分外光明？
73. 人在着衣鏡前，要見全身的像，鏡的高度至少應為人體高度的一半，試繪圖以明之。
74. 試述兒童玩具萬花筒構造的原理。
75. 實像虛像有何區別？

76. 由球形金魚缸的側面看缸內的魚甚大，何故？
77. 晴夜常見星光閃爍不定，何故？
78. 金剛石何以光彩特甚？
79. 貓眼的變化，其故安在？
80. 黑夜中以燃着的香急速轉動，即見有一光環，何故？
81. 光波和聲波有何不同？
82. 有色的衣服，着水後何故顏色較深？
83. 幻燈和照像機的構造，有何主要區別？
84. 虹與霓有何不同？
85. 以紅綠二色玻璃重疊一處，置於眼前，尙可見物否？

第八章 磁

86. 地磁的兩極和地球的兩極同否？
87. 試繪一蹄形磁鐵的磁力綫分佈圖。
88. 南極和北極的性質有何不同？
89. 磁體何以能吸鐵釘、鐵針？
90. 磁場的方向是怎樣的？

第九章 電

91. 何謂帶電？
92. 帶電體何以能引物體？
93. 使物體帶電有那幾種方法？

94. 何謂火花放電？
95. 怎樣才可以發生電流？
96. 電池有幾種？
97. 電阻的意義如何？
98. 試說明避雷針的作用。
99. 電池的電能係由何種能量轉變而來？和起電盤同否
100. 何謂電磁鐵？
101. 蓄電池是否蓄電能，和電容器同否？
102. 安培計和伏特計同否？
103. 純水能電解否？
104. 傳達電報的導綫祇用一根，問以何法成通路。
105. 試述變壓器的功用。
106. 說明交流和直流的區別。
107. 電話是否真將聲波的傳送至對方？
108. 試述感應圈的功用。

第十章 無線電和射電

109. 檢波器的功用如何？
110. 光波和電波有何不同之處？
111. 無線電報和無線電話，有什麼不同的地方？
112. 陰極射綫是什麼？
113. X 射綫是什麼？

114. 陰極射綫和X射綫有何異同？

