

復興初級中學教科書

物[×]理^{卷一}學^{工世}

上 册

周 頌 久 編 著

★★★★★★★★★★
★ 按照新課程 ★
★ 標準編輯 ★
★ ★★★★★★★★★★

商務印書館發行



初級中學教科書

物理學上冊

第一章 物質的三態

物質 天空中運行着的日月星辰，花園內種着的花草，河裏流着的水，鍋裏冒出來的熱氣，形形色色，不一而足。但若研究他們的性質，就知道有一點是一切物件所共通的。譬如有一個空杯，可以盛水，也可以盛米盛豆盛砂盛石或盛其他任何物件，可是既經盛滿了水以後，就沒有餘地再容納他物，如硬要投一把米或一塊石頭入內，就會有一部分的水溢出杯外，騰空相當的地位，方能收容得下。這樣看來，水，米，木，石等，都必須占據一部分的地位，方能存在。不但

如此，無論怎樣輕的物件，如羽毛芥子，仍舊有相當的重量，這也是共通的，凡具有這一類共通性質的，通稱為物質(matter)。

物體 一杯水，一塊石頭，一片玻璃，一張紙，當然都要占據相當的地位，而且各有相當的重量，所以都是物質。除此而外，若論他們的形狀大小，彼此就大不相同了。凡由物質集成一塊有形狀大小可得而論的物件，稱為物體(body)。例如單說水，是物質，說一杯水，一壺水，一桶水，則為物體；說木是物質，說棹椅門窗，則為物體；說玻璃是物質，說玻璃杯，玻璃管，照面的鏡子，鐘錶上的玻璃蓋，則為物體；說紙是物質，說名片郵票，教科書，照片，則為物體。

固體 上面所舉的各種物體中，如棹椅門窗玻璃器具，名片郵票等，既具有一定的形狀，又有一定的體積，是為固體(solid)。

液體 又如一杯水一壺水，其形狀隨容器而

異，遇方則方，遇圓則圓，並沒有一定，像這種只有一定的容積而無一定形狀的物體，稱為**液體** (liquid)。

我們日常見到的物體，固體固然很多，液體却也不少。例如溫度計和氣壓計的玻璃管中所裝的水銀(mercury)，洋油燈內用的煤油(petroleum)，炸油條或點燈用的菜油(seed oil)，醫生用來消毒或作燃料用的酒精(alcohol)，都是液體。

氣體 用玻璃杯一個，將杯口向下，倒按入水，水只能進入杯內一小部分，如圖 1，其餘仍舊是空着的。可見杯內早已有了別的物質，占住了杯內的空處，所以水不能入。只要將全杯按下水面令杯口稍微傾斜，即見有許多氣泡浮出水面，同時杯內全部也都為水充滿。原先占住杯內空處的，就是這些目不能見的氣

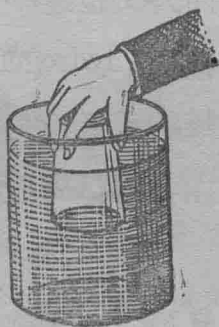


圖 1. 空氣的存貯

泡，我們稱他爲**空氣** (air)。空氣不僅要占據地位，而且也有重量，如用空瓶一個，在天平上測出他的重量，然後用抽氣機將瓶內的空氣抽盡，再測一次，即見其重量減輕，所減輕的就是一瓶空氣的重量。

空氣既然要占據地位，又有重量，所以也是一種物質，這種物質也和水一樣，沒有一定的形狀，並且沒有一定的容積，無論容器大小，皆能瀰漫其內不留餘地，像這樣的物質，又和液體不同，稱爲**氣體** (gas)。日常遇見的氣體，除空氣而外，也還不少，例如玩具中的氣球裏面所盛的**輕氣** (hydrogen)，供動物吸入肺中，或使物體燃燒的**養氣** (oxygen)，開水變成的**水蒸氣** (steam) 由我們口中吐出來的**炭酸氣** (carbon dioxide) 等。

問題 1. 你們身上穿的東西中，那些是物體？那些是物質？

問題 2. 你們吃的東西中，那些是物體？那些是物質？那

些是固體？那些是液體？

問題 3. 你們住的東西中，那些是物體？那些是物質？

問題 4. 你們使用的文具中，那些是物體？那些是物質？

那些是固體？那些是液體？

第二章 物體的大小

單位 要決定一個物體的大小，先要有一個一定不變的標準物體，作為基礎。看現在考察中的這個物體，有這個標準物體的若干倍。即用這個倍數來表示考察中的物體的大小。這種工作，稱為**測定**(measurement)，這種選定的標準物體，稱為**單位**(unit)。

長度 測定物體的**長度**(length)時，在日常生活上所選用的標準物體，是**市尺**，即以市尺作長度的單位。在1市尺以上用**丈**用**里**，在1尺以下則用**寸**用**分**。此外還有另外的一種單位，通稱為標準制，是各國共通採用的長度單位，所以又稱為國際通制，其單位為**米**(meter)，又稱**公尺**，恰合我國的3市尺，在米以上用**仟米**(kilometer)又稱**公里**，合一千米。在米以下用**釐米**(centime-

ter)，合百分之一米；或用毫米 (millimeter)，合千分之一米。



圖 2. 3 市寸



圖 3. 10 釐米

面積 測定物體表面的面積 (area) 時，是用每邊長一尺的正方作其單位，即稱為**1 方尺**，在此以上用**方里**，在此以下用**方寸**，各合每邊一里或一寸的正方。在國際通制則用**方米** (square meter)，**方釐米** (square centimeter) 等。

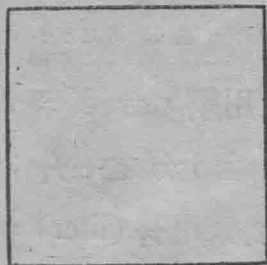


圖 4. 1 方寸



圖 5. 1 方釐米

量地面時在我國用畝作單位，1畝合60方丈，即六千方尺，在畝以上用頃，合百畝，在畝以下用分，合十分之一畝。在國際通制用公畝(are)，合百方米。

容積 測定物體的容積(volume)時，是用每邊一尺的正方體作單位，稱為1立方尺，在此以上用立方丈，立方里，以下用立方寸，立方分等。在國際通制則用立方米(cubic meter)及立方釐米(cubic centimeter)等。

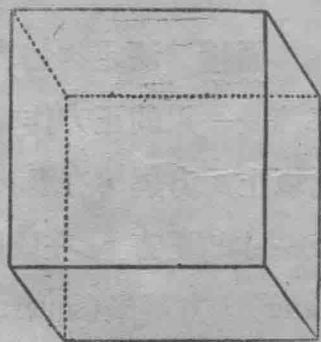


圖 6. 1 立方寸

量水，穀等時，我國通常使用市升作容積的單位，升以上用斗，合10升；用斛，合5斗；用石，合兩斛。升以下用合，合十分之一升；用勺，合十分一合。在國際通制則用升(liter)，等於每邊10釐米的立方體的容積，即一千立方釐

米，恰合我國的一市升。

十進制 單位的選擇，本是任意的，測長度用尺用里用米用釐米，均無不可；測容量用升用斛，也都可以。不過最好選用各地一律通用而又計算簡便的，可以節省許多時間，並且容易記憶。國際通制就爲此項而設，進位概用十進法，故又稱爲十進制(decimal system)，又因其基礎的單位用米，所以又稱爲米突制(metric system)。

問題 1. 公尺公畝公升是國際通制的單位，合我國的市用制中的幾尺幾畝幾升？

問題 2. 一間房子有 1 丈 2 尺寬，1 丈 8 尺深，1 丈 4 尺高，其容積若干？共佔地面幾何？

問題 3. 一個圓形的水池，周圍長十丈，共佔多少地面？

問題 4. 一根圓柱周圍長 1 尺，高 8 尺，全體有多少容積？

問題 5. 地球的直徑約爲一萬二千五百公里，全體的容積有多少？地球的全表面共有多少公畝，合我國的多少畝？

$$\begin{aligned} \text{圓面積} &= \pi r^2 & \text{圓周} &= 2\pi r & S &= 4\pi r^2 \text{ or } \pi D^2 \\ & & & & V &= \frac{1}{3} r S \end{aligned}$$

重量 → 地球對於物體之吸引

質量 → 物體所含物質之多少

第三章 物體的重量

重量 一塊石頭和一塊木頭，大小儘管一樣，輕重却大不相同，表示物體的輕重，用重量 (weight)。重量的單位，在日常生活上，用的是市斤，斤以下用兩用錢用分用釐等。在國際通制則用仟克 (kilogram) 亦稱公斤，合市斤 2 斤，在仟克以下用克 (gram)，合仟克千分之一。1 升水在攝氏 4° 時的重量，恰為 1 仟克。

重量和力 一塊木頭放在掌上，還不覺得吃力，一塊石頭放在掌上，掌即被其壓下，非得要用很大的力，不能將他托住。樹上的果能將樹枝墜下，棹上的書能將棹面略微壓凹。一切物體，對於支持着他的第二物體，都同樣的有這種作用。並且重量愈大的物體，作用亦愈大。此項作用，就是通稱的力 (force)，因其由於重量而來，

故稱爲**重力**(gravity)。重力的大小，就用他的重量來表。

力的單位 不僅支持物體所要的力，可用重量來表，就是在其他任何情形表現的力，也都可以照樣的表出。譬如拖一輛車所要的力，和支持十斤重的一塊石頭所要的力相等，就說拖車的力有十斤重。所以在日常生活上，就用重量來作力的單位。

秤 測物體的長度，可以用尺子直接去比，測物體的重量，却不能用一定重量的物體，直接將他量出。但若將一條直棒，或是一根米突尺的中點 C 支住，使其成爲水平，如圖 7。在左右兩

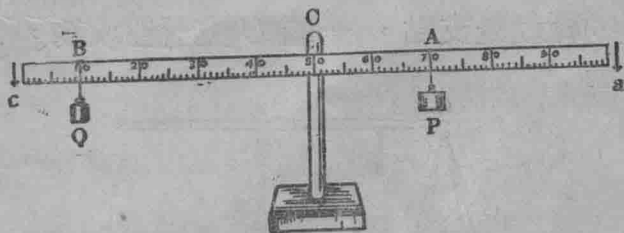


圖 7. 重量的比較法

邊各懸一重量，如 P 和 Q ，不問 PQ 的輕重如何，只要所懸的兩點，如 A 和 B ，選擇適宜，尺桿仍能成爲水平。並且這樣的點，決不止一處，如將 P 再移向右， Q 也要跟着移向左方相當的距離，方能又成水平。如是將種種位置測得後，即知 P 的重量和 PC 間的距離的乘積，恆等於 Q 的重量和 QC 間的乘積。換句話說，就是 P 與 Q 的比等於 BC 與 AC 的比。利用這個關係， P 應等於 Q 的若干倍，雖不能直接得知，但 BC 等於 AC 的若干倍，則不難由尺上的刻度，一讀即得，由此即可求得重量的比了。我們日常用來稱物體的重量的秤 (steelyard) 如圖 8，就是利用此理造成的。手提的繩就是支點，一端 C 處懸盤或鉤，以備

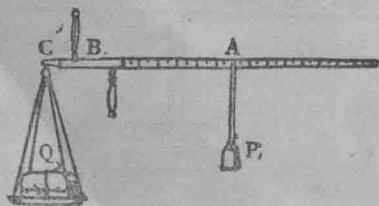


圖 8. 秤

水的重量和其體積時相等

盛物，他端懸錘 P ，將物體 Q 放在盤內，手執提繩，移錘至 A ，使桿成水平。由桿上的刻度，即可讀出 Q 的重量，因為此時 BC 的距離和 P 的重量都是固定的，所以 Q 的重量和 AB 的距離成正比例，如嫌 Q 太重，秤桿短了不足用時，可用另外的提繩，改短提繩和盤的懸點的距離，又可得另外一種的刻度。一個秤上，通常都有兩條或三條的提繩，就是為此目的而設的。

比重 通常講到物體的重量，往往說鐵重木輕，意思是說鐵比木重，可是拿一個鐵釘和一塊黑板比較起來，輕重恰好相反。所以要比較兩種物體孰輕孰重，必須要就同一容積的物體而言；始有意義。通常作此類比較時，概用純粹的水作為標準，一物體的重量對於同一容積的水的重量的比，稱為此物體的比重 (specific gravity)。例如一塊鐵的重量，等於同大小的水的重量的 7.8 倍，就稱 7.8 為鐵的比重。各種常見物質的比重

密度 = $\frac{\text{(重量)}}{\text{(體積)}}$ (克/立方厘米) 物體的單位體積內所含的質量稱為該物質的密度。
比重 = $\frac{\text{物質的密度}}{\text{水的密度}}$ (通常以 4°C 的水為標準)

如下：

水銀	13.6	玻璃	3.	牛奶	1.03
鉛	11.3	木材	0.4—1.1	煤油	0.80
銀	10.5	冰	0.9	海水	1.03
銅	8.9	人體	0.9—1.1	酒精	0.79
鐵	7.8	軟木	0.3	醚	0.24

問題 1. 1 升的水有幾斤重？

問題 2. 一個人的身體約有 150 市斤重，假定他的比重為 0.9，那麼，他的全身的體積有多少？

問題 3. 設有兩玻璃管，內徑相等，重量亦相等，在一管內盛有水銀 5 寸，在他一管內要盛若干長的水，兩者方能相等？

問題 4. 秤上有兩三條提繩時，測輕的物體要用那一條，測重的又要用那一條？為什麼？

第四章 壓力和浮力

壓力 插箸入水易，壓板入水難，並且箸愈細用力愈小，板愈寬用力愈大。可見對於液體作用的力，不能專就力的大小而論，還要連同受力作用的面積大小一並計算，方能決定。每單位面積上受到的力，稱為壓力(pressure)，壓力的單位用每平方厘米克 (gram per square centimeter)。

水的壓力 在桶旁開若干小孔，各用木塞塞住，桶內盛水令滿，加蓋於水面，從上用力壓蓋，力大可將孔中木塞壓脫，同時水由各孔，沿垂直於孔壁的方向直射而出，如圖9。由此可知液體對於容器壁作用

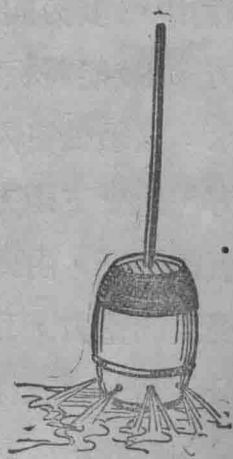


圖 9. 壓力和器壁

的力，恆和器壁是垂直的。

壓力和深度 用一塊玻璃板按住玻璃圓筒的下端，放入水內，從上將玻璃筒按入水面下，板和筒口並不分離，如圖10。若由上端注水入筒，到得筒內外的水面，成爲同一的高度時，板即由筒口脫下。先前板不沉下，是因爲受有由水而來的壓力作用，其方向和板垂直，正向上方，故能將板托住。後來筒內有水，又須受筒內的水壓力，正下方，此上下兩方由水而來的壓力，彼此相等時，板即沉下，由此可知水面下 h 尺深的，表面上所受到的壓力，和在他上面以 h 尺爲高的水柱的重量相等。愈在深處， h 的值愈大，壓力亦愈大。換句話說，就是液體內部一點所受到的壓力，和此點的深度成正比例。故同在同一水平面上的各點的壓力均相等。

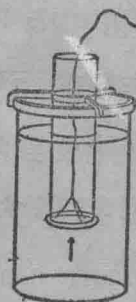


圖10. 壓力和深度

圖 11 所示的容器，雖分爲 A, B, C, D 各部分，但內面的水均可經由下面橫管相通，這樣的容器，稱爲**連通器** (communicating vessel)。試在橫管內任意一點 a ，設想有一單位面積，器內的水既然靜止不動， a 的兩面所受到由水而來的壓力，應恰相等。此項壓力又應和兩端的水面的高度成正比例。故知兩端的水面應在同一的高度。各部分的形狀儘管各別，他們的水面却總是一樣的高。

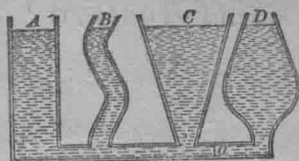


圖 11. 連通器

水的浮力 設有一立方體 $abcd$ ，如圖 12，全部浸在水內，上下兩方恰和水面平行。此時各面均受有水的壓力。但左方和右方，前方和後方，所受到的壓力大小相等，方向相反，彼此恰好相抵，不生作用。可是上面所受到的壓力 d ，和下面

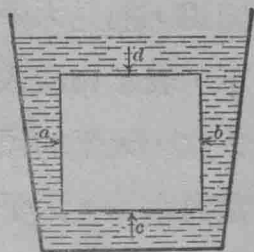


圖 12. 浮力

所受到的壓力 c ，方向雖也相反，大小却因深度不同，不能相等， c 比 d 大，除去一部分與 d 相抵而外，還剩餘一部分的力，作用到物體上，要想將物體推向上方，使其浮起。所以這個力，就稱為**浮力** (buoyancy)。凡在液體中的物體，均要受到浮力的作用，所以在液體中的物體，重量總要比在空氣中時減輕一些。

阿基米得原理 在液體中的物體所減去的重量，可由實驗求得。試在天平的一端盤下，懸一圓筒狀的盒，盒下再懸一金屬柱。如將此柱放入盒內，恰好嵌滿，不留餘地。在天平的他一端盤內放適當的砝碼，使成平衡，然後將圓柱浸入水內，如圖13，即見天平向着砝碼的一邊傾下，表示物體入水減輕。其次注水入盒，天平的傾斜隨着減小，到得盒內水滿，天平也恢復了原有的平衡，表示兩方的重量又復相等。由

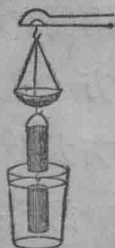


圖 13. 阿基米得原理

是可知在水內的圓柱所減輕的重量，和空盒內注入的水重相等，也就和圓柱同一容積的水重相等。對於一切液體皆然。即一切物體在任何液體內所減輕的重量，等於被此物體排開的液體的重量，這個關係，稱為阿基米得原理 (Archimedes principle)。

浮沉 由阿基米得原理，可知物體在空氣中的重量，(1) 如較同容積的液體重量還大，入液內時當一直沉下，直至器底始止；(2) 如較同容積的液體重量還小，當浮出液面，和其在液下的部分同容積的液重，即等於此物體在空氣中的重量；(3) 如和同容積的液體相等，則在液內任何處所均可停止，不沉不浮，好像沒有重量的一般。

氣體的壓力 用力壓皮球雖可略微壓癢，但外力一去，皮球又鼓脹如前，可見在密閉着的容器內的氣體，對於器壁也有壓力作用，和液體相

類似，並且壓力作用的方向，也同樣是和器壁成垂直。外面的壓力要比氣體本身對於器壁作用的壓力大，氣體的容積就會縮小，外面的壓力要比氣體本身的壓力小，容積就會膨大。

大氣壓力 地球的表面上，沒有一處不有空氣，就在離地面百里以上的高空，也有空氣的存在。就包圍着地球周圍的空氣全體而言，稱爲**大氣** (atmosphere)。空氣雖然很輕，但每1升也有1.206 克的重量。積到百里以上，當然重量大有可觀，由此而生的壓力，通稱爲**大氣壓力** (atmospheric pressure)，或略稱**氣壓**。其值隨時隨地略有變化，大致等於水銀柱高 76 釐米的重量，即每1 平方釐米上面約受有1千克的重量。 11.77 N/cm^2

問題 1. 用槌擊鼓，力雖大而鼓皮如故，用錐刺鼓，力雖小亦可貫革而入，是什麼緣故？

問題 2. 茶壺酒壺的嘴，和壺蓋是一樣的高，長了短了都不行，是什麼緣故？

問題 3. 鐵塊入水即沉，何以鐵板造成的輪船可以浮起？

問題 4. 航海的輪船上為謀乘客的安全起見，備有救命圈救命帶，有什麼效用？

問題 5. 大氣壓力每 1 平方釐米的面積上既有 2 市斤的大，何以人在大氣中，並不感覺壓迫？

6. 物體在液體中所減輕的重量，是否和其重量有關係？其理由如何？

7. 有一石塊，其比重為 2.6，在水中的重量為 120 克，求此石塊在空氣中的重量，並求其在水中所受的浮力。

1955. 7. 2

空氣	1.0000	空氣	0.001293
水	1.0695	水	1.000000
酒精	1.1056	酒精	0.01429
煤油	0.1381	煤油	0.00179
O ₂	1.5291		0.001977

第五章 大氣壓力的利用

虹吸 用玻璃管曲成 U 字或 V 字形，兩端一長一短，管內盛水令滿，將短的一端倒插入高處的容器 M 內，如圖 14，水即由長端 e 源源不絕流入低處的容器 N 內，這樣的管通稱為虹吸 (siphon)。在管中最高處 a ，設想有一隔板，將左右兩邊的水隔斷，此時隔板的兩方面，都應受由水而來的壓力作用，左邊所受到的壓力，等於大氣壓力減去水柱 ab 的重量；右邊所受到的壓力，等於大氣壓力減去水柱 ac 的重。但 ac 比 ab 長，故左邊的壓力比右邊的壓力大，所以隔板被推向右。

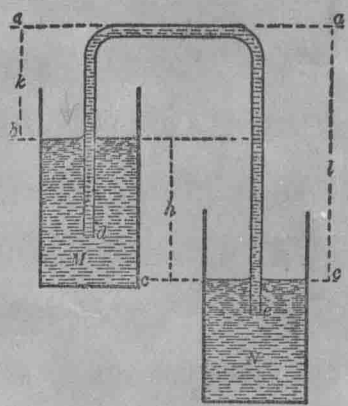


圖 14. 虹吸

實際雖無隔板，但兩邊的壓力仍有此項差別，故水由左向右流去，至 M 與 N 的水面等高，方能停止。

抽水機 將低處的水送至高處使用的抽水機，又名水唧筒(water pump)，或簡稱唧筒(pump)。共有兩種，一種是由高處將低處的水提上，稱為提上唧筒 (suction pump)，一種是由低處將水壓到高處，稱為壓上唧筒 (force pump)。要部同為一圓筒(cylinder)，內有活塞(piston)，塞滿筒緣，使不漏氣，此外尚有兩個可開可閉的瓣(valve)，放水出入。

提上唧筒的構造，如圖15，當活塞提上時，如 a，筒內氣壓減小，筒外則為大氣壓力，故筒底的瓣，被壓而向上開，水由大氣壓力逼入筒內。當活塞降下時，如 b，筒內氣壓增大，筒外仍為大氣壓力，故筒底的瓣，被壓而向下閉，同時活塞上的瓣却被壓而向上開，因此水由塞底昇

出塞上，再由旁管流出。

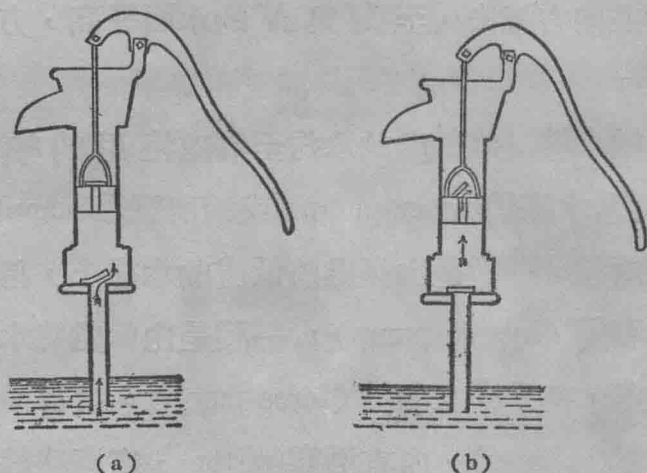


圖 15. 提上唧筒

壓上唧筒的瓣，不裝在活塞下面而裝在水的出口處，其作用與前同。

上述兩種唧筒，均須活塞上下一次，始能出水一次，斷而不續，使用不便。若在出口處多加一密閉的**空氣室**(air chamber)，如圖 16 內的 D ，當活塞提上時，筒內 A 的氣壓減小，瓣 V_1 開放， V_2 仍閉，水昇入筒底。當活塞降下時， V_1 閉而

V_2 開，水入室內，再提活塞， D 內的空氣即將水由 N 口壓出，如是無論活塞或上或下，均有水流出，不致中斷。救火使用救火機(fire pump)就是這樣的唧筒。

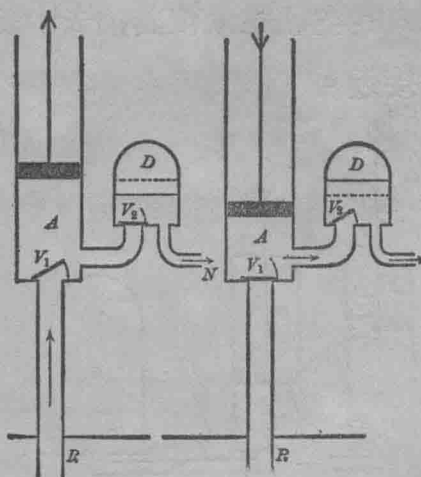


圖 16. 壓上唧筒及空氣室

抽氣機 抽去容器中的空氣使用的抽氣機，又名空氣唧筒(air pump)，構造和水唧筒一樣，如圖17。當活塞提上時，筒內氣壓減小，鐘罩 R 內的氣壓較大， V_1 被壓開，罩內空氣進入筒底。同

時原在筒內的空氣，則被壓迫於 B 內，因此 V_1 閉而 V_2 開，經由 V_2 出於筒外。當活塞降下時，筒底空氣被壓，故 V_1 閉而 V_2 開，同時筒外氣壓大於筒內氣壓，故 V_2 亦被壓閉。如是活塞往返不已，鐘罩內的空氣逐漸被其抽去，即逐漸與真空(vacuum)接近。

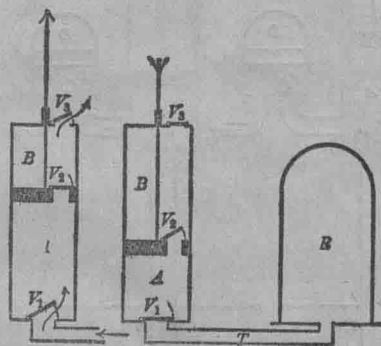


圖 17. 抽氣機

打氣機 若將上述抽氣機中的瓣 V_1 略去，同時將其餘兩瓣的方向，裝向反對的一方，即成爲打氣機，又名壓縮唧筒(compressed air pump)，其作用如圖 18。當活塞壓入筒內時， V_2 閉而 V_1

開，塞下的空氣被逼進入容器 R 內，當活塞抽出時， V_1 閉而 V_2 開，筒內又盛滿在大氣壓力作用下的空氣，以備第二次壓入容器內的使用。如是活塞往復不已， R 內的空氣逐漸加多，成爲壓縮空氣 (compressed air)。皮球足球以及車類的輪胎，其所以能够鼓起，就是因爲有了這種壓縮空氣在內的緣故，還有銅匠鐵匠用來催火的風箱，作用亦同。

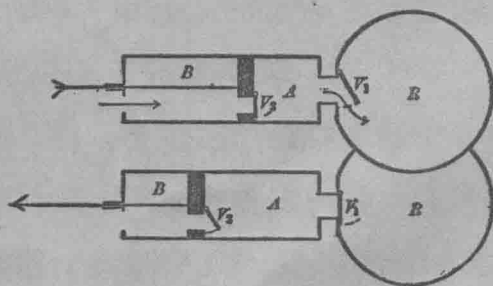
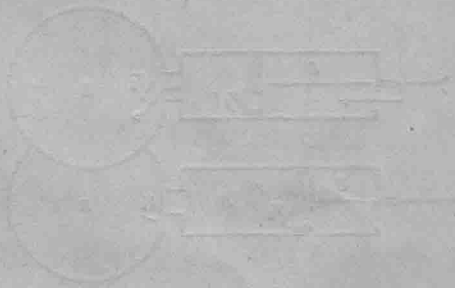


圖 18. 打氣機

- 問題 1. 醫生用的打針器，是什麼作用？
- 問題 2. 自來水筆何以能將墨水自行吸入？
- 問題 3. 鄉間郎中用的拔火罐，何以能緊着在病人的皮膚

上面，不會脫下？

問題 4. 皮球鬆軟了要怎樣方能恢復原狀？



第六章 時間和運動

時間 空中飛着的鳥，水裏游着的魚，地面上行動着的車馬等，各瞬間所在的位置，各不相同，所以要說一物體的位置，非得先要說出時刻不可。測定時間，係以地球自轉一周爲標準，卽以一晝夜爲單位，是爲1日(day)，在日以上用月(month)，用年(year)，在日以下，用小時(hour)，用分(minute)，用秒(second)。1日爲24小時，1小時爲60分，1分爲60秒。

鐘表 日時分秒等項的時間單位，由於天文上的觀測得來，不便於直接比較。通常測定時間所用的裝置，爲鐘表(clock and watch)。卽按照上述的標準製成，前面共有指針三枚，最短的爲時針，每轉一周爲12小時，長的爲分針，每轉一周爲一小時，還有一個極小的針爲秒針，每轉

一周爲一分。

運動和靜止 上面所舉的烏魚車馬等，其位置與時共變的狀態，稱爲運動 (motion)。反之如地面種着的草木，壁上掛着的字畫，棹上放着的書本，窗上嵌着的玻璃，無論何時，皆在同一的位置，這樣的狀態，稱爲靜止 (rest)。

速度 步行每點鐘不過十里，火車汽車每點鐘可行六七十里，飛機每點鐘可行二三百里，通常比較物體運動的遲速，概取同一時間內所經過的路程來計算，而每單位時間內所經過的距離，稱爲速 (speed)。例如步行的速爲 10 每時里，火車汽車的速爲 60 每時里等，如用厘米作距離的單位，用秒作時間的單位，則每秒厘米 (centimeter per second) 卽爲速的單位。

表示物體的位置變更，單知道他的速，還不夠用，因爲只說 1 秒鐘走了多少遠，並未嘗說出他的方向，到了一秒鐘後，究竟應該取得什麼位

置，還是無從知道。譬如由上海開出的火車，僅知其速為20每時仟米，那麼，一點鐘後，這部車究竟到了松江，還是到了崑山，實無法決定。必須連同他進行的方向，一並說出，就不會發生這樣的結果了。像這樣連速帶方向一並表出的量，通稱為**速度** (velocity)。從上海到松江的方向朝南，從上海到崑山的方向朝北，儘管快慢一樣，只不過速相等罷了，速度既不相同，所以結果也就大相懸殊。

$$S = Vt$$

等速度運動 火車在一直線的軌道上開行，如保持一定的速，即無論在任何的1秒鐘間通過的距離，都是相等的，又因其方向也沒有變化，所以其速度也不變，這樣的運動，稱為**等速度運動** (uniform motion)。如軌道不成直線而有彎曲，儘管能夠保持一定的速，但因方向隨地轉變，所以不能成爲等速度運動。又或軌道雖是直線，但若不能保持一定的速，亦不能成爲等速度運動。

等速運動

$$S = Vt \quad \text{距離} = [\text{等速度}] \times \text{時間}$$

$$V = \frac{S}{t}$$

總之，速和方向，兩者有一發生變化，或兩者同時均變的運動，稱為變速度運動 (motion of varying velocity)。火車開動時，愈行愈快，到站時愈行愈慢，以及轉彎或上下山坡時，均作變速度運動。

加速度運動 凡由高處向地面自由墜下的物體，方向雖然不變，可是愈落愈快，即是他的速並不一定，所以是一種變速度運動。據實測的結果，每隔 1 秒鐘都要增加 980 每秒厘米的速度，凡在單位時間內增加的速度，稱為加速度 (acceleration)，有加速度的運動稱為加速度運動 (accelerated motion)。像上面所說的例，自由落下的物體，每秒鐘所增加的速度，一律為 980 每秒厘米，即是加速度的值為一定不變的運動，特稱為等加速度運動 (uniformly accelerated motion)。加速度的單位就稱為每秒每秒厘米 (centimeter per second per second)，即是一切物體自由落下時的

力 \propto 速度和其質量的乘積和外力成正比。

運動定律 $F = ma$

加速度爲 980 每秒每秒厘米。

作加速度運動的物體在某一瞬間所具有的速度，是假定此物體從此一瞬間起，保持着現有的速度，改作等速度運動，如是經歷 1 秒鐘之久，在此期間內所能通過的距離的厘米數，即此物體在此一瞬間的速度的每秒厘米數。凡說變速度運動的物體的速度，都是這個意思。

力和加速度 沒有東西支持着的物體，其所以會自行落下，是因爲受了重力的作用的緣故。輪船火車的行動，也是由於蒸汽機的牽引力，所以牽引力要一停止，其速度立即減小，不久即靜止不動。一切物體，莫不皆然，並且力愈大加速度亦愈大，力的作用時間愈久，加速度亦愈大。

慣性 在火車中的人，當車驟然開動時，必向後倒，當車驟停時，必向前傾，當車突然轉灣時，必向反對的一方偏斜，在船中的人，亦復如是。總之，一切物體當其運動或靜止的狀況，驟

然發生變化時，必有相當的反抗表露於外。即對於任何運動，既經習慣以後，欲使其改變，必須經歷相當的時間，方能適應。這樣的性質，一切物質都具有的，通稱為惰性 (inertia)。換句話說，就是一切的物體若不受外力的作用，靜止的永遠靜止，運動的永遠作等速度運動，這個關係稱為惰性定律 (law of inertia)。

反作用 人在船上用篙抵岸，船即離岸運動。由上述惰性定律，船既開動，自非受有一由外而來的力作用不可。用篙抵岸的力，是船對於岸發出的力，受這個力的物體，當然是岸而不是船。可見除此力而外，同時還有另外的一力，是岸對於船作用的，否則船決不會動。即篙抵岸時，岸亦同時以力推篙。凡甲物體加力於乙物體，同時乙物體亦必以力還加於甲物體，前者稱為作用 (action)，後者稱為反作用 (reaction)。這兩種力，不僅同時發生，而且大小是相等的，方向是正相

反的。這個關係，通稱為反作用定律 (law of reaction)。

作用和反作用雖則大小相等方向相反，但決不能互相抵消，因為受此兩力作用的物體，並不是同一物體。如前舉的例，篙和岸，各受一力作用，各有各的效果，不能混為一談。

步行的時候，必先將腳蹬向後方，尤其是賽跑的時候，蹬得更力，目的就在要由地面受到反作用，方能將身體推向前進，鳥飛於空，魚游於水，也都同樣的鼓動其翅，以便受到由空氣或水而來的反作用，始能行動。
一切作用，必有大小相等
方向相反的反作用。
反作用定律。

運動的合成 設有一船向東方行駛，在其甲板上的人，正在步行，其方向為由西而東。此時在岸上人的眼中看去，船上人的速度，不單止步行的速度，還得要將船行的速度，加入計算中，即須將這兩種速度相加起來，方是船上人的速度。但如甲板上的人是由東而西，則在岸上看去，此人

的速度，應為兩種速度的差，其值可正可負，如為正，是此人的速度向東，如為負，是此人的速度向西，如為零，是此人對於岸上，並未改變位置，船雖將其運向東方，可是他自己却以同大的速向西方回轉原地，所以始終保持一定的位置。又如此人在甲板上步行的方向是由北而南，即是在船的橫處行走時，在岸上的人看去，他所經過的路線，如圖 19 所示，是對角線 AC ，而兩邊

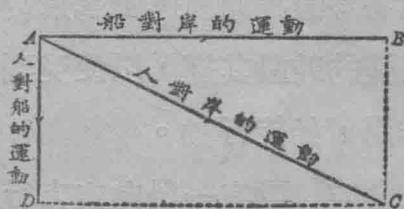


圖 19. 運動的合成

AB 和 AD 則表向東的船的運動和向南的人的運動。凡同時有兩種運動的物體，結果均可照此化成一種運動，並可求得他的大小和方向，這種工作稱為運動的合成 (composition of motions)，

最後化成的單一的運動，稱為**合運動** (resultant motion)，原有兩種運動，稱為**分運動** (component motion)。

速度的平行四邊形 上述的運動合成，對於各運動的速度，可以完全適用。如圖20，假定一物體在 A 點，同時得有兩種速度，一向 AB ，一向 AC ，取 AB 的長表向 AB 方向的速， AC 的長表向 AC 方向的速，則合成的結果，得對角線 AD ，即知此物體實際上的速度，可用 AD 來表，方向固然是向 AD ，就是他的速也等於 AD 的長。無論 AB ， AC 的大小方向如何，均可由此去求。此法通稱為**速度的平行四邊形** (parallelogram of velocities)， AB ， AC 稱為**分速度** (component velocity)， AD 稱為**合速度** (resultant

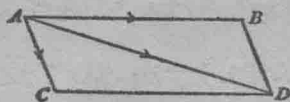


圖 20. 速度的平行四邊形

velocity)，此項工作稱為速度的合成 (composition of velocities)。

速度的分解 將速度的合成法反過來，由一個單獨的速度，可以求得和他同等的兩個分速度，這樣的工作，稱為速度的分解 (resolution of velocities)。例如有一個人上山時的速度為 2 每時仟米，要求他在鉛直方向和在水平方向上的分速

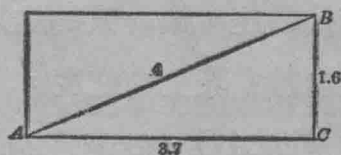


圖 21. 速度的分解

度各為若干，如圖 21，引直線 AB ，表山的傾斜，在此直線上取 2 厘米的長，表 1 每時仟米的速度，此人在這方向上的速度，既為 2 每時仟米，應得 4 厘米即 AB ，以 AB 為對角線造成一平行四邊形，水平的一邊 AC ，長 3.7 厘米，鉛直的一邊 CB ，長 1.6 厘米，故知水平方向的分速度

爲 1.85 每時仟米，鉛直方向的分速度爲 .8 每時仟米。

問題 1. 車夫用力拖車向前進，照反作用定律，車也應當用力拖車夫向後退，兩力大小相等，何以車夫和車都能夠前進？

問題 2. 划船用槳，是什麼緣故？

問題 3. 賽跑的人，如要向前面跳，總要比站着的人，跳得遠些，是什麼緣故？

問題 4. 演馬戲的人，在馬上翻筋斗，落下來仍舊在馬背上，是什麼緣故？

問題 5. 一人手捧托盤，內放重物，如此重物驟然爲他人取去，即見捧盤的人將空盤舉高若干距離，始能停止，是何緣故？

問題 6. 在火車上的人，用和火車相等的速將一皮球拋出，假使拋出的方向向車前，結果怎樣？向車後又怎樣？向車的兩旁又怎樣？

問題 7. 用船渡過河面，開船時船頭所向的一點，到得對岸時已非此一點，是什麼緣故？

第七章 力和重心

力的表示法 一個力作用到一個物體上，所發生的效果，第一要看力的大小如何，力大所得的加速度亦大，力小所得的加速度亦小。第二要看力的方向如何，力向東加速度亦向東，力向西加速度亦向西。第三還要看力加到物體上的那一點，譬如推門，要是推靠外的一邊就容易推開，推正中就難，推靠裏的一邊，無論怎樣大的力，都辦不到。由此看來，要先決定了力的**大小** (magnitude)，**方向** (direction) 和**着力點** (point of action)，方能決定他作用的效果。在圖上要表示力，也得要具備這三種性質。通常就用一條有限的直線，可以完全表出。例如要表 5 斤重的力，以向東的方向作用於一物體的某一點上，即在這同一點上，引一條向東的直線，由此一點取 5 厘

米長的距離，定每 1 厘米的長表示 1 斤重的力，再在末端畫上一個箭頭，指着東方，這樣的一小段直線，就可以將此力表出。

力的合成及分解 如圖 22，將兩個彈簧秤 (spring balance) 掛在壁上的 B, C 兩點，用線一條兩端各繫在一彈簧秤的鉤上，再在線上的一點 O ，懸一重物 W 。此時在 O 點作用的力，共有三個。一為彈簧秤 E 的力，將 O 牽向 OA 的方向；一為彈簧秤 F 的力，將 O 牽向 OD 的方向；一為重物 W 的重力，將 O 牽向下方，全體成爲一定的形狀，即靜止不動。設想

上面不用彈簧秤，改用一個單獨的力 OR 加於此 O 點，其方向正向上方，大小則和 W 的重力相等，其結果 O 亦不動。由此可知 F 和 E 兩個彈簧牽引的力，和單獨一個向上方的

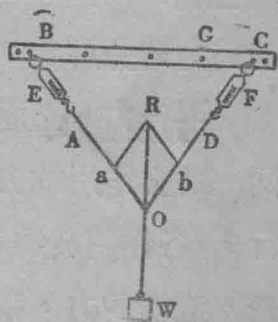


圖 22. 力的合成

力 OR ，功效完全相同。即是力也和速度一樣，可以由兩力合成一力，也可以由一個力分成兩力，如在 OA 直線上取 Oa 的長表 E 的牽引力，在 OD 直線上取 Ob 的長表 F 的牽引力，以 Oa 和 Ob 作兩邊造成一平行四邊形 $OaRb$ ，其對角線 OR 的長，恰能表出 W 的大小，方向恰和 W 相反。可見力不但可以合成分解，並且合成分解，還和速度一樣，可由平行四邊形去求。此時的 Oa 和 Ob 稱爲**分力**(component force)， OR 稱爲**合力**(resultant force)。由分力求合力時稱爲**力的合成**(composition of forces)，由合力求分力時，稱爲**力的分解**(resolution of force)。

平行力 上面所說的力的合成和分解，要在同一點上作用的力，方能使用，若是兩力互相平行，各作用於物體的一點，即無法造平行四邊形。這樣的力，稱爲**平行力**(parallel forces)。如圖 23，在米達尺的兩端 A ， B 兩點，懸兩砝碼

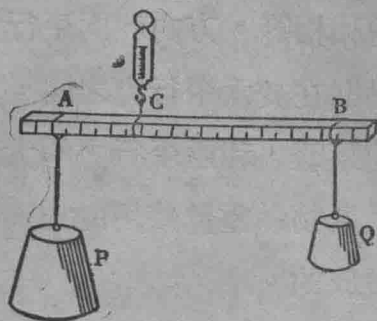


圖 23. 平行力

P 和 Q ，用一彈簧秤 C 從上方吊起，只要吊的地點 C 適當，可使全體不動，而且米達尺成爲水平。此時兩砝碼牽引尺棒向下的力，和彈簧秤牽引尺棒向上的力，恰相抵銷。假如不用 P 和 Q ，而用一個單獨的砝碼，其重量和 $P+Q$ 相等，也拿來掛在彈簧秤上，秤上的刻度，也和使用 P 和 Q 時相同，可知此時的 P 和 Q 同時作用的結果，和一個單獨的力 $P+Q$ 在 C 點作用時，完全同等，所以 P 和 Q 雖然平行，仍舊可以合成。由實驗測得，重量 P 和距離 AC 的乘積，等於重量 Q 和距離 BC 的乘積。即是兩平行力的合力，大

小和此兩力的和相等，方向和兩平行力的方向相同，其作用點則在於兩平行力之間，其與兩平行力作用點間的距離，和兩平行力的大小成反比例。前面說的量物體重量使用的中國秤，就是根據這個原理製成的。

重心 地面上的物體，任何部分都受重力的作用，鉛直向下，如圖 24。這許多小部分的重力，彼此平行，成爲平行力，此物體全體的重力，即由於這些無數的小平行力合成的。這些平行力的合力的作用點，可照上說的方法逐次求得，如圖上的 G ，是一個一定不移的點，此點即全體重量所作用點，的通稱爲**重心** (center of gravity)。只要在重心上用一個大小和全重相等的力，向上方作用，即可將物體支住，不致落下。

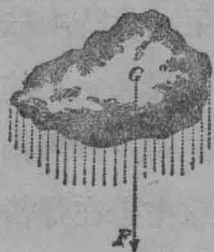


圖 24. 重心

求物體的重心，並無須照上述的方法，如其
 牛物體各小部分所受無數平行重力的合力作用點爲該物
 的重心

形狀簡單，又是同一種的物質，那麼，物體的中心也就是他的重心。例如立方體，圓柱，球等，均屬此類。如其形狀毫無規律，又不是同一種類的物質，那麼，可照圖 25 及圖 26 的方法去求。即在物體上任取兩點如 O 及 p ，先將 O 點懸在一條線上，此時線受重力作用，取鉛直的方向，如圖中的 OE ，故知重心也應在這條直線的方向上，其次再將 p 點照樣用線懸住，重心又應在鉛直線 pE 上面。此兩直線 OE 和 pE 的交點 C ，就是所求的重心。

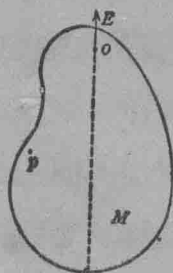


圖 25. 求重心(1)

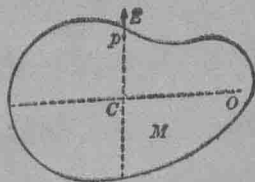


圖 26. 求重心(2)

問題 1. 在鋼絲或軟繩上面行走的人，何以不會跌下？又

何以要撐傘？

問題 2. 背上托行李的人，何以要將頭垂向前方？

問題 3. 大人和小孩共用一扁擔肩水，應將水桶掛在扁擔上的那一邊？

第八章 簡單機械

槓桿 一條長棒上有一點固定不動，加力於其他的點上，只能使棒在固定點的周圍轉動時，此棒即稱為槓桿 (lever)，其固定的點，稱為支點 (fulcrum)。使用槓桿可用小力舉起重物，此時手加於槓桿上的力，稱為努力 (effort)。而重物壓槓桿的力，則稱為抗抵力 (resistance)。努力的作用點稱為力點 (point of application)，抵抗力的作用點稱為重點 (point of exertion)。由支點到此兩點間的距離，稱為槓桿的臂 (arm)。圖8所示的秤，提繩處是支點，錘所懸處是力點，鉤或盤所懸處是重點。所以秤就是一個槓桿當槓桿靜止不動時，令桿取水平的位置，此時力點 P 和提繩間距離與 P 的重量的乘積，恰等於重點 Q 和提繩間距離與 Q 的重量的乘積。

剪刀鉗鉗 日常使用的剪刀是由兩個槓桿合成的，其樞紐處是支點，剪口處是重點，剪柄是力點。按照上述槓桿的關係，只要柄長口短，即可使用小力將笨重的物體剪斷。其他如鉗子鉗子，構造及作用均與此同。

天平 通常測貴量物體重量使用的器具為圖 27 所示的天平 (balance)，其主要部分仍不外一個槓桿，將其正中的一點支住，兩端各懸一盤，一端備盛欲測重量的物體，他端備盛砝碼此時支點和力點及重點的距離，完全相等，所以稱為等

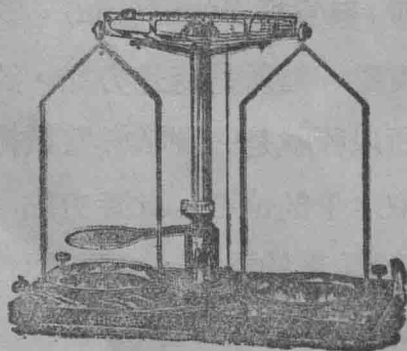


圖 27. 天平

臂槓桿 (lever with equal arms)。使用此物，必須兩盤中的重量相等，方能使得桿成水平。故物體的重量即砝碼的重量。

滑輪 通常張帆或捲簾時，多用一個或數個的圓形木塊，周圍有溝，用一條繩從其溝中穿過，拉繩時動作異常自如，這樣的裝置，稱為滑輪 (pulley)。將滑輪裝在固定的位置上，如圖 28 所示，手以 F 的力扯繩，雖將 R 重的物體扯上，但滑輪的本身並不上下，這樣的滑輪，稱為定滑輪 (fixed pulley)。此時作用的力即手施的力 F 和物體的重力 R ，各在滑輪的一邊，支點則為滑輪的中心，兩力點和支點間的距離均相等，即等於滑輪的半徑，所以定滑輪的作用，完全和一個等臂的槓桿的作用相同，如圖中下半段所

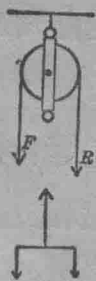


圖 28. 定滑輪

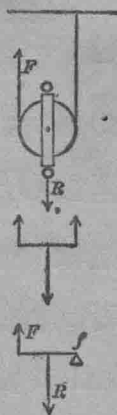


圖 29. 動滑輪

示。其次如圖29所示，將繩的一端懸在固定的一點，滑輪的位置並不固定，可隨輪下所懸的物體，共同上下時，稱為動滑輪(movable pulley)。此時手施的力 F 的作用點，在滑輪的一邊，重力 R 的作用點在於滑輪的中心，而支點則在滑輪的他一邊，如圖下所示，所以也是一個槓桿，不過不是等臂槓桿。因此時力點和支點間的距離等於重點和支點間的距離的一倍，所以手施的力也只要重力的一半，即足以支持物體使不落下。

輪軸 將粗細不同的兩筒圓木頭，釘合為一，使兩者的軸在同一條直線上，其橫斷面如圖30所示，粗的一方的半徑為 OF ，細的一方的半徑為 OR 。這樣的裝點置，稱為輪軸 (wheel and axle)，粗的一方為輪 (wheel)，細的一方即為軸 (axle)。使用時，將繩一條，捲在軸上，下端懸重物，手施的力，加

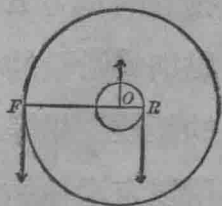


圖 30 輪軸

在輪上，使輪在共通的軸線周圍轉動，則軸亦隨轉，因此可將下懸的重物提高各力的所用點，如圖上所示， F 的作用點即力點，在於輪周，重力的作用點即重點，在於軸周，支點則在共通的中心。故其效用亦與一個槓桿相同。因力點和支點的距離，較重點和支點的距離大，故用小力即可支持重物。實際上的輪軸，並不必使用完全的兩個圓筒，即將輪的一方改用一個拐臂(crank)，如圖31所示，

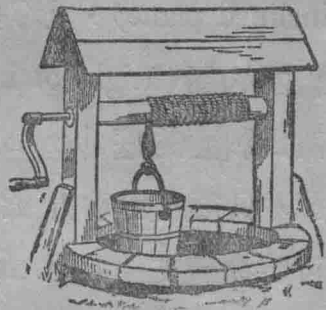


圖 31. 輪軸的變相

此時拐臂為輪，拐臂的長即與輪的半徑相當，繩所捲的棒為軸，其作用亦完全相同。

斜面 和水平面作一定傾斜角度的平面，稱為斜面 (inclined plane)。若將在斜面上的物體的重力，分解成爲兩分力，一與斜面垂直，一與斜面平行，則垂直的分力，受斜面支住，不生運動

的效應。故只須用與其平行分力相等的力，作用於此物體，即可使其靜止不動。即利用斜面亦可用小力支持或推高重物。如圖 32， AB 表斜面，此時 AB 的長稱為斜面的長 (length of inclined plane)， BC 的長稱為斜面的高 (height of inclined plane)， AC 的長，稱為斜面的底 (base of inclined plane)。作用的力 F ，只須成為重力 R 在 AB 方向上的分力，即可將物體支住。但 R 和此一分力的比，恰等於 AB 和 BC 的比，即等於斜面的長對於斜面的高的比。所以斜面的長愈長，斜面的高愈短時，須要支持此物體的力愈小。

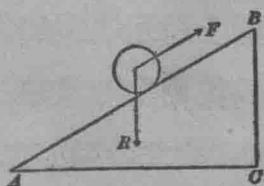


圖 32. 斜面

劈 上述的斜面是固定不動的，假如反過來用一個可以移動的斜面，放在物體下面，其作用當然相同。這樣的活動的斜面，通稱為劈

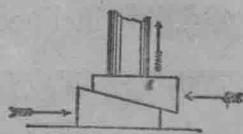


圖 33. 劈

(wedge)，如圖 33。因為通常劈開木頭時，就是用的這種器具，如圖 34，故得此名。凡遇木料接筍處恐其不能嚴密接合，也嵌入這樣的劈，日常使用的刀，斧，針，錐，無一不是劈的變相。

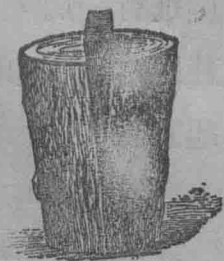


圖 34. 劈

螺旋 用紙裁成一直角三角形，將其直立的一邊順着一支鉛筆捲起，即見其斜邊在鉛筆的周圍繞成一條連續不斷的螺線，如圖 35。如沿着此螺線在鉛筆周圍刻成溝紋，或凸紋，即成螺旋 (screw)。相鄰的兩螺紋間的距離，稱為旋距 (pitch)。使物體沿螺紋運動，和沿斜面上運動相同

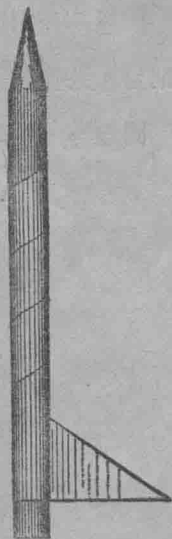


圖 35. 螺旋

，所以螺旋也不外是斜面的一種變相。如所施的力和螺紋平行，使物體沿螺紋而進，在鉛筆周

圍進行一周，則此物體即向上方昇高一旋距。故旋距愈短，即螺紋愈密的螺旋，愈可使用小力舉起重物。

問題 1. 用釘錘拔去鐵釘時，是一種什麼作用？

問題 2. 裁縫的剪刀柄短口長，鐵匠的剪刀柄長口短，爲的什麼？

問題 3. 山坡過陡時，直向上跑甚難，迂迴沿走字路遠行時則易，是什麼緣故？

問題 4. 用動滑輪可以省力，用定滑輪有什麼好處？

第九章 摩擦

摩擦 按惰性定律，運動着的物體，如不受外力的作用，必以等速度沿同一方向繼續向前運動。但事實上停止了火車頭內的蒸汽牽引力，火車的速度立即減小，並且歷時愈久，速度愈小，最後直至速度完全消滅爲止。就是在水面上行駛着的船，也是一樣，如不繼續使力，亦能自行停止。由是可知實際上的一切運動，均必受有一反對方向的力作用，繼續使力的目的，即在反抗此項阻礙力，俾物體得維持其原有的運動。這種阻碍物體運動的力，通稱爲**摩擦力** (frictional force)，或略稱**摩擦**(friction)。

最大摩擦 將一塊刨平的松木方塊，放在一個平的松木棹上，木塊旁繫線一條，經滑輪的溝紋中通過，下懸一盤，內盛砝碼。如圖36，當砝

碼不多時，木塊靜止不動，此時牽引木塊的力，恰和反抗運動的摩擦力大小相等，方向相反。但如增加盤內的砝碼，即

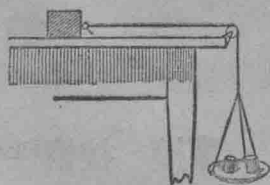


圖 36. 摩擦力

增加牽引木塊的力時，超過了一定的限度，木塊即開始運動，即是此時的牽引力，已超過了摩擦力，所以除去和摩擦力相抵消的一部分而外，還有餘剩的部分，木塊受了這餘剩的部分的力作用，始發生運動。由是可見阻止運動的摩擦力，並不是漫無限制的，最大限的摩擦力，即是物體將要開始運動時所受到的牽引力，稱為最大摩擦 (maximum friction)。

摩擦係數 前節所說的最大摩擦的數值，因接觸着的兩物體的種類不同，而有區別，和接觸着的面積却沒有關係。又如在木塊上加一重物壓住，則其最大摩擦，亦隨着增加，並且重量加倍，最大摩擦，也加一倍，即最大摩擦和接觸面

所受到的壓力爲正比例。故最大摩擦對於接觸面所受的壓力的比，是一個常數，完全由接觸着的兩物體的種類而定，這個常數，通稱爲摩擦係數 (coefficient of friction)。故以摩擦係數乘作用的壓力，即得最大摩擦。

摩擦不限於固體，就是液體氣體也有。例如船在水中行動，飛機在空氣中行動，也都要受到少許的阻礙，只不過數值遠不及固體與固體間的最大摩擦罷了。總之，任何運動，均不免受摩擦的阻礙。

摩擦的種類 在地面上橫看的圓木柱，直推時須用很大的力，方能推動，此時圓柱雖動，但和地面接觸的部分，並未改變，即是沿着地面的一種滑動，此時所受的摩擦，故稱滑動摩擦 (sliding friction)。同一的圓柱，若是橫着去推，就只須很小的力，即可推動。此時圓柱的運動，係一種滾動，其與地面相接的部分，隨動隨變，

沒有一定，此時所受的摩擦，故稱為滾動摩擦 (rolling friction)。

由上述推動圓木柱的例，可知滾動摩擦遠小於滑動摩擦。不但如此，即其他一切物體的移動，也都是滾動時的摩擦小，滑動時的摩擦大。

減少摩擦法 摩擦既為一切運動所不能免，而所有的機械，又必須運轉，其各部分間均非消耗一部分的力，不能開動。故為省力起見，非減小摩擦不可。茲將幾種常見的物質間的摩擦係數列舉於下：

乾透而且粗糙的木與木間	0.50—0.80
乾透而且平滑的木與木間	0.20—0.45
平滑的金屬與金屬間	0.20—0.30
平滑而又塗油的金屬與金屬間	0.07—0.08
時常塗抹新油的金屬與金屬間	0.05

由此可知要減小摩擦第一要使接觸面平滑，第二要在接觸面間塗抹油類或石墨等，這一類的物質通稱為滑劑 (lubricant)。第三要用滾動摩擦代替

F'	L	F	L	F'/F
4.84		1.14		0.24
7.04		1.58		0.22
9.24		2.10		0.23
11.44		2.60		0.23

13-60 3-10, 23

2. 摩擦表面平行的粗糙
3. 與重量成正比

滑動摩擦。例如在地面搬運重物，多在物底墊上數段的滾子，即可推動。還有許多的機械裏面的軸棒和軸承(bearing)的中間，裝有若干鋼珠，使軸棒轉動的時候，不受直接的滑動摩擦，一變而成軸棒和鋼珠間的滾動摩擦，運動極其靈活。腳踏車黃包車的軸承，都是用的這種，通稱為球軸承(ball bearing)。又冬天滑冰用的冰靴，下面是幾個鐵輪，在冰面或平滑的木板以及水泥的地面上，滾動極易，比較着鐵板底的鞋的人，尤其容易滑走，這也是利用滾動摩擦比滑動摩擦小的實例。

摩擦的利用 摩擦足以妨礙運動，所以實用上務求其小，但從另一方面着想，摩擦也有許多好處，他能夠間接發生許多我們需要的運動，能夠消除許多我們要想避免的運動。例如火車頭下面裝的車輪，假使和鐵軌間沒有摩擦，那就只能在其軸周永久轉動，決不能將車體送向前方。此

外一切車體的運動，均與此同。還有工廠中使用的皮帶，假使和飛輪(fly-wheel)間沒有摩擦，那就只見飛輪轉動，皮帶永久靜止，決不能將運動傳到他處。又如殺車時用的制動機(brakes)，也是利用增加的摩擦，阻止車體的前進。還有我們的步行，必須受有摩擦，方屬可能，鐵釘和螺絲釘能在木料中釘牢，也都是摩擦的好處。就是我們住的房屋，也全靠有摩擦作用，方能建成，就是建好了的房屋，假使沒有摩擦作用，只要受到些微一點的動搖，也就要坍倒下來。

- 問題 1. 地上遺有水菓皮或菜葉，誤踏其上，很易跌倒，其故安在？
- 問題 2. 裁縫用針，時時拿到頭髮上去擦，有什麼作用？
- 問題 3. 用鐵釘和用螺絲釘，那一種牢些？
- 問題 4. 小火輪靠岸時，先將鋼繩的一端繫在船上，他端拋上岸，岸上的人，將此一端在鐵柱上纏繞兩三轉，不必打結，只要少許的力，即可將船曳住，是什麼道理？

問題 5. 河邊的水流得慢，河中心的水流得快，是什麼緣

故？

第十章 材料強弱及彈性

應力和變形 物體受力的作用，應發生運動。但如前章所述，外來的牽引力如在最大摩擦以下，運動即無從發生。此時雖不見其運動，但牽引力和摩擦力却仍舊存在，其作用的效果，雖不能使物體作整個的運動，但能使其各小部分間，發生相對的運動，結果或則使物體的形狀變化，或則使物體的容積變化。且不僅限於摩擦，日常遇到的例，和此相類的，正復不少。如兩手各執鬆緊帶的一端，用力扯長，或兩手各執竹棒木條的一端，用力板灣，都屬此種現象。凡一物體受力作用後或改變其形狀，或改變其大小，通稱為變形 (strain)。使物體發生變形的力，稱為應力 (stress)。應力不是一個單獨的力，而是一對方向相反大小相等的力，當物體的變形尚未完成時，

此一對的力，雖然方向相反，大小相等，但各在物體的不同部分上作用，所以各有各的結果，不能互相抵消。當物體的變形既已完成以後，此一對的力的作用，恰好抵消，於是物體全部均成靜止不動。

物體所受的應力，如彼此相背而馳，如曳繩的力，通稱**張力** (tension)，或**扯力** (pull)，如彼此相向而來，如將皮球壓小時的力，稱為**壓力** (pressure)，或**推力** (push)。

彈力和彈性 鬆緊帶受張力的作用被扯長後，其本身自有一種力表現而出，欲恢復其原有形狀。壓扁了的皮球，扳彎了的木條或竹桿，也都有同樣的恢復原狀的力表現出來，這種特殊的力，稱為**彈力** (elastic force)，這種性質稱為**彈性** (elasticity)，具有此性質的物體稱為**彈性體** (elastic body)。其中如扯長了的鬆緊帶，扳彎了的木條竹桿，當外力取去後，即恢復原有形狀的彈性，

稱爲**形狀彈性**(elasticity of form)。如壓扁了的皮球，當外力取去後，即恢復原有容積的彈性，稱爲**容積彈性**(elasticity of volume)。又如泥土漿糊等類的質物，雖然多少具有一些容積彈性，但形狀彈性則完全缺乏，這種性質稱爲**柔性**(plastic)。

彈性極限 一切彈性體所受的外力，如作用的時間過久，或力的數值過大，即令將外力取去以後，也不能覈完全恢復原狀。扯長了的鬆緊帶，永久不能縮短，扳彎了的木條竹桿，永久不能伸直，壓扁了的皮球，永久不能鼓圓，都是時常遇得到的事實。由此可知物體的彈性，均具有一定的限度，要在限度以內的力，作用的時間很短，方有完全恢復故狀的可能。這個限度，稱爲**彈性極限**(elastic limit)。各種物質多少總有一點彈性。不過彈性極限的數值，却有大有小，各不相同。各物質中，以鋼的彈性極大，很不容易使他發生永久的變形，所以彈簧都是用鋼製成的。其餘的

金屬，都不及鋼，所以金銀銅鉛，都容易錘成極薄的箔，和扯成極長的金屬細線。

材料強弱 凡在彈性極限的範圍內，使用一分的應力，即發生一分的變形，應力加倍，變形也加倍，即是應力和變形成為正比例。但若超過了彈性極限的範圍以外，變形就加倍的增加起來。最後達到了一定量的變形時，外力縱令不再增加，但物體中必有某處的變形，自行增加不已，直至完全斷裂為止，這種不增加外力亦能自行增加變形的極限，稱為屈服點(yielding point)。達到屈服點的物體固然立即破壞，就是未到屈服點以前，只要超過了彈性極限，也都難恢復原狀，所以都不堪使用。我們造房子使用的樑，要若干粗，方能承受屋頂的重量，地板要若干厚，方能承受家俱和人物的重量，都由於他們的彈性而定。此時物體的兩端，支住不動，重量承載於兩支點間的某一點。此時變生的變形，為彎曲，其

分量即由重量的作用點移向下方的距離而定，此項距離隨物體的材料而有不同。就同一種類的材料而言，又要看其形狀如何，方能決定。第一和材料的長短的立方成正比例，第二和材料的寬成反比例，第三和材料的厚的立方成反比例。又如造房子用的柱頭所受的壓力，也是一種應力，此時發生的變形為縮短距離，其分量也隨材料種類和形狀而定。就同一種類的材料而言，第一和材料的長成正比例，第二和材料的橫斷面積成反比例。由是可知，論材料強弱(strength of material)必須知道材料的種類如何？形狀如何？以及所起的變形屬於何種？然後始能決定。

問題 1. 鐘表內的發條有什麼作用？

問題 2. 挽弓射箭，是什麼作用？

問題 3. 舊式的鎖和新式的彈簧鎖，利用什麼物件？投匙入內又是怎樣的作用？

問題 4. 一條箭容易折斷，若干條箭併在一起，何以不易

折斷？

問題 5. 支架地板或樓板長方木條，都用窄的一邊向上下方向，何以不平放下來？

- ① 寬度定律
 - ② 穩定性
 - ③ 架高之影響
 - ④
- 高... 架高之影響... 何以不平放下來

第十一章 振動和音波

振動 取鋼條一，令其一端固定，他端自由，如圖 37 中的 A ，加力於 A ，使其移至下面一點 B 。然後放其自由，此時鋼條應受彈力作用欲恢復其原狀，故由 B 點自行向 A 點移動。既達 A 點後並不停止，由其慣性繼續向上運動至 C ，成爲反對方向的變形， A 點適在 BC 的中點。以後再由 C 點折而向下經 A 仍不停，一直至 B ，始又折而向上如是此自由的一端，即在 BC 兩點間作往返不已周而復始的運動。此種運動稱爲**振動**(vibration)。在振動中，此 A 點所運動的方向，爲 BC ，恰與鋼條本身的方向垂直，所以這種振動，通稱爲**橫振動** (transverse vibration)。



圖 37. 橫振動

次取橡皮條一，令其上端固定，下端懸一砵碼如圖38，並在皮條上任取一點 A ，作一記號。將砵碼曳下，使 A 點移到 B 處，然後放令砵碼自由。即見 A 點亦受彈力作用由 B 點昇起通過原在的 A 點後，再繼續升高至 C ，始折而向下，在 BC 兩點間振動不已。此時 A 點的運動方向恰與橡皮條本身的方向一致，所以這種振動稱為縱振動(longitudinal vibration)。

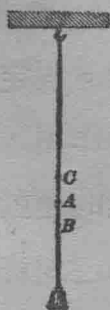


圖 38. 縱振動

物體作振動時，當其由一極端位置 B 達於他一極端位置 C ，又再折回原出發點 B ，即完全往復一次，稱為一振動(one vibration)，其間所歷的時間，稱為振動的周期(period)，由靜止時所應取的位置 A ，至任何一方的極端，如 B 或 C ，其間的距離 AB 或 AC ，稱為振幅(amplitude)。每1秒鐘內往復的次數，稱為振數(number of

vibration)，亦稱頻率(frequency)。

波動 在一彈性體內部，設想有若干個的小部分，排列在同一直線上，並且互隔相等的距離。假定其第一部分，發生了振動，則由相互間的作用，牽動第二部分，跟着第一部分，也作同樣的運動，只不過第二部分比較第一部分的運動略遲少許時刻罷了。更由第二部分牽動第三部分，其運動又較第二略遲，如是遞次傳達，以及於各部分，全部都跟隨着作同樣的振動。但無論就任何瞬間而論，各部分的振動階段，均各不同，表示此項振動的階段，通用相(phase)，即各部分的相各不相同。這樣的運動稱為波動(wave motion)。而傳達此項波動的彈性體，則稱為媒質(medium)。

橫波 試將橡皮條的一端繫在壁上，他端A執在手內，如圖39，驟然向上下方向搖動，使A先昇至B，後降至C，再回原處A。在A近

旁各點，莫不受 A 的牽動，順次作同樣的振動。不過和 A 隔得愈遠的部分，開始振動的時間愈晚而已。圖中由 u 至 z 的部分，表示業已完成一振動到將次開始振動的各部分。即 z 點表正在將要開始振動，而 y 點表業已作了四分之一振動， x 點表業已作了半振動， v 表業已作了四分之三的振動，而 u 則表業已完成一全振動。由 u 到 z 的距離，稱爲一波長 (wave length)， $x y z$ 的這一部分，稱爲陵 (crest)， $u v x$ 的這一部分，稱爲谷 (trough)。在這種波動中，各部分的振動，都在鉛直的方向上，但波形的傳達，則在水平方向，兩者互成垂直，這樣的波，稱爲橫波 (transverse wave)。

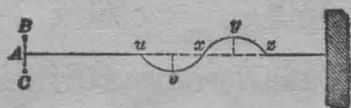


圖 39. 橫波

縱波 將螺線一段，懸在水平的位置上，如

圖40，用力將其一端壓縮，被壓處的各條線間的距離，應較未被壓以前密集，因此牽動其鄰接的

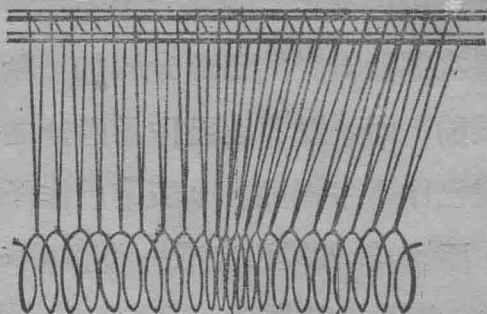


圖 40. 縱波

部分，使其向密集部分移動，如是次第傳達，密集的部分愈移愈遠。一方面更由螺旋的彈性作用，最初被壓的部分，反轉漸次恢復其原有狀態，更進而一變成為稀疏，此項稀疏的狀態，也同樣漸次由近而遠傳播出去，也成為一種的波動。此時各部分的振動方向，和波形傳達的方向，完全一致。這樣的波動，稱為縱波（longitudinal wave）。

縱波橫波每 1 秒間其波形傳達的距離，稱爲**波的傳播速度**(velocity of propagation of waves)。故波的傳播速度，即等於其波長和振數的乘積。

音波 發音中的琴絃，兩支點間往復不已的振動，只要注意觀察，肉眼亦可得見，到得絃已停止了振動，完全成爲靜止時，其音亦即消滅。又如將**音叉**(tuning fork)擊響，令其兩脚進入水中，即見水點四向飛濺，如圖41，到得水成靜止時，音亦隨滅。由此可見音的來源均出於物體的振動。

當鈴振動時，在其周圍的空氣，或則受壓迫而成緊縮，

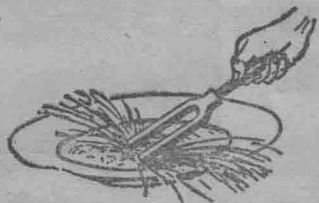


圖 41. 音叉的振動

或則受牽動而成稀疏，此項變形因空氣本身的彈性，漸次傳達，由近而遠，遂在空氣中造成一種疎密相間的波動，如圖42。此波動傳到耳膜，始得聞知其音。假使將鈴裝在抽氣機的鐘罩內，一面發音一面抽去鐘罩內的空氣，即覺音漸減低，

到得空氣將次抽盡時，完全無音可得而聞。此時再放入空氣，音又再現。由此可見，音的傳達，必須要有媒質，此種媒質也不一定要空氣，就是任何固體液體氣體，也都可以。在媒質中傳播的此種波動，通稱為音波 (sound wave)。音波既如上說，是媒質中所起的疎密相間的波，所以是一種縱波。

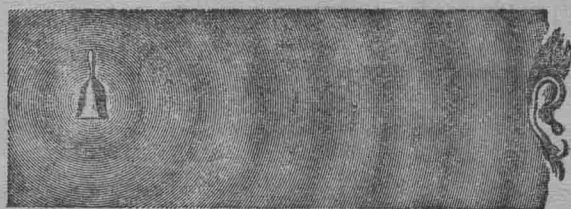


圖 42. 音的傳達

音速 各種物質都可以造成音波，但音波傳播的速度，則隨物質的種類而異，就一般說起來，在固體物質中傳播的速度最大，液體在其次，氣體最小。在通常的溫度時，空氣傳音的速度約為 332 每秒米。觀察遠處放炮和雷電，均先

見其光，後聞其音，就是因為音在空氣中傳播的速度太小所致。又人立在懸岩絕壁前大聲急呼，每每聽得無數的回響 (echo)，這是因為音波受阻，反折而回所生，這種現象，通稱為音波的反射 (reflection of sound wave)。水中所起的波紋，傳達岸旁或浮在水面上的任何障礙物時，亦同樣折回，這是最容易見到的。

問題 1. 玩具中的電話，由兩個圓筒和一條細線結成，居然也能通話，是何緣故？

問題 2. 人向井口發音，也能聽見回響，利用此現象可以估計井內水面有多少深，其法如何？

問題 3. 秋聲賦上說“聲在樹間”，究竟是怎樣來的？

問題 4. 雷鳴的音，何以殷殷不絕？

問題 5. 古時的斥候兵在深夜以耳貼地，可察知有無敵騎由遠處來犯，是什麼作用？何以定要如此？

水中	$1400 \frac{m}{sec}$
木	$4000 \frac{m}{sec}$
鐵	$5100 \frac{m}{sec}$

第十二章 樂音

樂音 一切物體的振動，經由周圍空氣傳來，均應成音。可是我們的聽神經能夠覺察得到的音，却很有限，每秒鐘的振數在 16 以下或三萬六千以上的音，均不能聽見。就是在這個範圍以內的音，也有種種區別，凡作有規則的振動，即其振數有一定規律的音，如鳥語歌聲，使人發生快感的音，稱為樂音 (musical sound)。凡作不規則的振動，即其振數漫無紀律的音，如車聲炮聲，使人發生不快的音，稱為噪音 (noise)。以下所述的各條，均限於樂音。

音強 撥絃擊鼓，當最初鳴奏時，振幅均甚大，音亦甚強，不久振幅漸次減小，音亦漸弱。由是可知音強 (loudness) 實由其振幅的大小而定。同時還要看觀察的人和音源的距離如何，相隔愈

遠，音亦隨弱。

音調 音除強弱而外，還有高低的差別，稱爲音調 (pitch) 的不同。試用齒輪一個如圖 43 所示，令其在軸周轉動，用一卡片和齒輪上的齒接觸，因齒輪轉動，使卡片作往復不已的振動，如其振數在可聽的範圍以內，卽有音發出。轉動愈速，音調愈高。又如圖 44 所示，用一個水平的

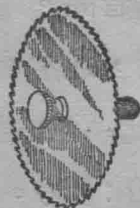


圖 43. 音調

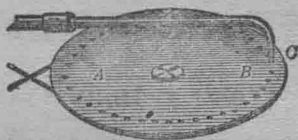


圖 44. 音調

圓板 AB ，周圍穿一排小孔，各作等距離。從上方經細管 C 送來的氣流，正對板上穿孔處。令板在其軸周轉動，如小孔恰好轉到 C 下，氣流當然自由通過，板下的空氣，呈密集狀態。如兩孔間的板面，轉到 C 下，氣流被阻，板下的空

氣呈稀疎的狀態。如是每一小孔由 C 下通過，板下即發生一密一疎的變形，成一音波，轉動的速度加大，音的音調愈高。由此可知音調的高低，完全由於每秒鐘內的振數的多寡而定，振數多則音高，振數少則音低。

根據上述的結果，測得通常談話時男子的音調約為 90 至 140，女子的音調約為 250 至 550。所以男子的聲音，總不及女子的聲音高。

音階 表示兩種音的音調不同，通常使用音程(interval)。音程即兩音的振數的比。例如最低的男音和最低的女音的音程，等於 $90:250$ 。各種音程中，以 $1:2$ ，或 $2:3$ ， $3:4$ 等成爲極簡單的整數的比時，同時聽此兩音，必能發生快感。這樣的兩音，稱爲互相調和 (consonance)。能互相調和的音，當然不止一種，如按其振數的次序，次第排列起來，稱爲音階 (musical scale)。一音階中的最低的一音，稱爲基音 (principal tone)。

通常唱歌或奏風琴鋼琴時，以用 *C* 調為最多。此時的基音，就是正中間的 *C* 音，其振數為 256。其他各音對於基音的音程，及其本身的振數如下：

記號	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i> ¹
讀法	<i>do</i>	<i>re</i>	<i>mi</i>	<i>fa</i>	<i>sol</i>	<i>la</i>	<i>si</i>	<i>do</i>
振數	256	288	320	341	384	427	480	512
音程	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	$\frac{2}{1}$

樂器 通常所用的樂器(musical instruments)，大別為四種：(1)利用絃的振動發音的，如胡琴，鋼琴，小提琴，琵琶等類；(2)利用空氣柱的振動發音的，如簫，笛，笙，喇叭，號角等；(3)利用薄板或薄膜的振動發音的，如鑼，鼓，鐘，鐃，簡板等類；(4)利用一小片薄板封住氣流的出口，固定其一端，逼氣流衝動他端方能通過，由此振動發音的，如風琴，口琴等，像這樣的薄片，通稱為簧(reed)。小孩含草葉在口急吹，

可發異常高的樂音，也就是利用簧。

用絃用空氣柱發出的音，音調由絃或柱的長短而定。可是同一的絃或柱，有時全體作整個振動，如圖45，其音最低，有時分爲數段振動，其音頗高。最低的一音，稱爲**原音** (fundamental tone)，其他的高音稱爲**倍音** (overtone)。

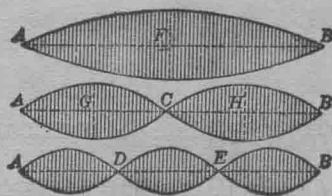


圖 45. 倍音

音色 各種樂器發出來的音，縱令配合成爲同一的音強，同一的音調，依然各不相同，此項特色，稱爲**音色** (timber)，亦稱**品質** (quality)。音色的差別，由於發音體振動時，不僅發其原音，同時還有各種的倍音混合在內。這種同時混發的倍音，各種樂器各不相同，所以極易辨識。

共振 在空玻璃瓶上放一振動中的音叉，自瓶口徐徐加水入瓶，如圖46，瓶內水面達到某種高度時，音叉的音將爲另一種新的音蓋住，其音強遠在音叉的音強以上。



圖 46. 共振

此新音實由於瓶內水面上的空氣柱的振動而來，音調則與音叉原有的音調完全相同。像這種因其他的發音體的振動而自行發生同一振數的振動，稱爲**共振** (resonance)。按空氣柱的振動的振數，由於柱長而定，今振數既限定於非與音叉的音同一振數不可，所以柱長不能任意，非適合於此條件，不能發音。又如單獨的音叉發音如嫌過弱，可放在空箱或桌面上，引起箱內或桌內的空氣柱共振，音強即爲之增加。樂器中多附有同樣的裝置，目的亦在增加音強。

人聲 我們發音的機官，是兩片薄膜，緊張在喉內氣流出入的要道上，通稱爲**聲帶** (vocal

cords)，左右各一，中留一狹縫，逼空氣由此縫中通過，薄膜即開始振動，發出聲音。所發的音的音強由於呼氣的強弱而定，音調由於聲帶的緊張程度而定，音色由於和聲帶共振的口腔鼻腔以及咽喉等類裏面的空氣柱的形狀而定。

問題 1. 扯胡琴的人，手指專在絃的上端近旁按奏，爲什麼？何以不按絃的下端？

問題 2. 簫笛等類的樂器，音的高低用什麼方法決定？由同一的孔，能否發出不同的音？

問題 3. 打唢哨是什麼作用？

問題 4. 留聲機的發音器是什麼？使用快慢器時所發的音有何差別？

問題 5. 鋼琴和提琴各有優劣，試言其故。

第十三章 太陽和熱

太陽和熱 夏天氣溫太高，人都不敢在太陽光直射到的地方去，或則躲在樹蔭下，或則深藏室內，以避暑熱。冬天氣溫太低，又反都到太陽光中去晒，以圖取暖。又無論何時，白晝總比黑夜暖熱。由此種種，可見由太陽而來的熱，確實不少。就實測的結果，每一點鐘由太陽射到地球上方的熱，可將1寸厚的冰板熔化，一年間射來的熱，可以將一百六十尺厚的冰層熔盡。這還是因為地球周圍，有大氣層包圍着，只能如此，要是沒有大氣，其功效還要再加一倍。再就太陽本身而論，因為隔地球有九千三百萬英里遠，由太陽同一面積放出來的熱，應有地球表面上同一面積所受到的熱的四萬六千倍之多。假如在地球和太陽的中間，全用冰填滿，那麼，將太陽放出來

的全部的熱，集中起來，只要1秒鐘就可以將面積2.5英里平方的一條冰柱，全部熔化成水，再繼續7秒鐘之久，又可使其全部化爲水蒸氣。由此一例，亦可想見太陽發出來的熱，是怎樣的偉大了。

熱的來源 前條所述的太陽的熱，是地球上各種熱源中最大的一種。差不多全部的熱都是由此而來的。除此而外，還有三種生熱的方法：(1) 使用燃料，如燒柴燒煤炭，利用其氧化作用，有大量的熱發生，我們燒飯取煖，都是用的這種方法。(2) 使用電流，如電爐電竈電熨斗等類，只要送電流進入其中，即有大量的熱發生。就是日常使用的電燈，也有相當的熱同時發生，電燈未明以前，燈泡是冷的，電燈既明以後，燈泡熱到燙手的程度，即其明證。(3) 使用摩擦，如擦火柴，可以引火，就是冬天手冷的時候，只要兩手互搓，亦可取煖。尤其是各種機械運轉起來，發

生的熱量最大，假如不設法將此項熱量取去，結果必將使機械受損。汽車前面隨時要加冷水，就是爲的這個緣故。

熱和溫度 在太陽光下去曬，曬的時間愈久，得到的熱愈多，身體也就愈覺溫煖。同樣拿一壺水到爐上去燒，燒的時間愈久，受到的熱愈多，水亦由冷而溫，由溫而燙，最後竟達於沸騰。由此可見任何物體得熱後即變爲溫煖，並且所得的熱愈多，其溫煖的程度愈高。其次再就一大壺的水和一小杯的水比較，放在同一的爐上，使其同一樣的受熱，即見小杯的水歷時不久已達沸騰，而大壺中的水，還未達到溫熱的程度。必欲使此兩物體成爲同一的溫煖程度，則大壺應當在爐上多放若干時間，即是大壺中應當受到多量的熱，方能辦到。由此可見物體所受到的熱的多寡是一事，其溫煖程度又是一事，兩者定要分清，不可混同。茶壺裏面的熱茶，燙到幾乎不能

進口，可是全壺茶所含有的熱並不甚多。一浴桶的水，溫暖不過恰好適於人體，但全桶水所含有的熱，却遠在一壺茶所有的熱以上。由此可見我們日常生活上所要的，是物體的溫暖的程度，倒不在乎他所含有的熱的多少。表示物體的溫暖的程度，通稱為**溫度** (temperature)，而其所有的熱則稱為**熱量** (heat quantity)，或略稱為**熱** (heat)。

溫度計 我們日常辨別物體的溫暖程度，全靠皮膚的感覺。可是這種感覺一方面固然由於所觸接的物體的冷熱而異，一方面還要看我們的皮膚現在的情形如何，方能決定。譬如將左手浸在冷水盆內，右手浸在熱水盆內，數分鐘後，兩手同時取出，一齊浸在溫水中，即覺左手暖而右手涼。又如深井中的水，在夏日覺其涼，在冬日覺其暖，其實他的溫度，冬夏並沒有差別。由此可見專靠皮膚的接觸，決不能辨別真正的冷熱，還須另行設法。通常專為測定物體的溫度而設的

器械，稱爲**溫度計** (thermometer)。最常見的溫度計，是一個玻璃細管，上端封閉，下端成一小球，或一直徑較大的圓柱形，內容水銀或其他着色的酒精或醚等。此等液體表面上則爲真空。遇冷則管內的水銀收縮，水銀表面降低；遇熱水銀膨脹，其水銀表面升高。觀察水銀表面的高低，即可判定當時的溫度。使用此器不僅不受環境的影響，並且可以將皮膚所不能辨別的細微的溫度差別，精密測定出來。

溫度計分度法 爲要測定精密的溫度差別，所有的溫度計的旁邊，都附有詳細的刻度。第一先將溫度計下端的球部，浸在正在熔化中的冰水內，俟其水銀表面降到最低的位置，此時水銀面所在處，表示冰水的溫度，將此位置在刻度上標出，稱爲**冰點** (freezing point)。其次將溫度計的球部改插入沸水發出的蒸汽內，即見水銀面升高，俟其昇至最高的位置，此位置即表示蒸汽的

溫度。將此位置同樣在刻度上標出，稱為沸點 (boiling point)。這樣的兩點，對於一切溫度計都是共通的標準點，通稱為定點 (fixed point)。這兩定點既已標明以後，再將此兩點間的距離，分作若干等分，以表示在此種溫度間的一切溫度。等分的方法不同，所得的度數當然也就有異。通常使用的分度法，只有兩種，最容易遇着。一種是攝氏溫度計 (Celsius thermometer)，如圖 47 的左邊，以冰點作零度，以沸點作 100 度。此兩點間等分為 100 等分，每 1 等分表示攝氏 1 度，記作 1°C 。此種分法係將兩定點間分為 100 等分，所以又稱為百度計 (centigrade thermometer)。此外還有一種分度的方法，稱為華氏溫度計 (Fahrenheit thermometer)，如圖中的右邊，係以冰點作 32 度，以沸點作 212 度，將此兩點間等分作 180 分，每



圖 47. 溫度計

1 等分表示華氏 1 度，記作 $1^{\circ} F.$ 。上述兩種分度法，均不僅限於兩定點之間，就在兩定點以外，也同樣的適用。凡在 0° 以下的溫度，均加一負號在前，以示區別，或即讀作“零下若干度”。

攝氏的 100 度既然和華氏的 180 度相等，所以攝氏的 1 度等於華氏的 $180 \div 100$ 即 $\frac{9}{5}$ 度。同樣華氏的 1 度等於攝氏的 $\frac{5}{9}$ 度。知道了此兩者間的關係，由一種溫度換算他一種溫度，異常簡單。不過攝氏的零度是華氏的 32 度，計算時應加注意，用公式來表示，換算時可用下列的兩式：

$$C = \frac{5}{9} (F - 32)$$

$$F = \frac{9}{5} C + 32$$

例如圖 47 所示的溫度，在攝氏計上為 20 度，代入第二式中，即求得華氏度數為 $\frac{9}{5} \times 20 + 32 = 68$ 度，恰與華氏計上的度數相符。又日常見到的各種溫度，如嚴寒時的冬天的氣溫，大約在攝氏零

絕對溫度計

水銀凝固點 -39°C
酒精 " " -112°C

下 10 度左右，夏天陰涼的地方，大約在攝氏 25 度近旁。浴盆或洗臉水的溫度約為攝氏 40 度。人體的溫度為攝氏 36.5 度，熱帶地方的氣溫，大都在攝氏 40 度以上，煎沸了的油的溫度，約在攝氏 300 度，熔化了的鐵汁的溫度，為攝氏 1200 度，電燈中的金屬絲的溫度，約為攝氏 1500 度。太陽表面的溫度，約為攝氏 6000 度。

問題 1. 太陽的熱，對於人類，有何影響？

問題 2. 太陽的熱，對於動植物，有何影響？

問題 3. 利用燃料發熱的例，試舉幾種。你們遇見過的燃料，有些什麼？

問題 4. 古人鑽木可以取火，是怎樣的作用？

問題 5. 通常說夏天的溫度在百度以上，又有人說到了一百度的溫度，水就會沸騰起來，何以夏天並不見河中的水沸騰？

問題 6. 試就上面所舉的各種常見的溫度的實例，將其在華氏計上的度數算出，

第十四章 物體的膨脹

固體的膨脹 圖 48 的金屬棒 AB ，長短恰好嵌入框架 CD 裏面。如將 AB 在火上燒熱，即不能再嵌入 CD 裏面，表示 AB 的長度，因其溫度昇高，業已增加。同樣，如圖 49 的金屬球，大小恰好從下面的圓環中穿過。但如將球在火上燒熱，就穿不過，同時如將圓環也同樣的燒熱，依然可以穿過，或者俟球冷透後，就不必燒熱圓環，也可以照常穿過。由此可知球及圓環，均因溫度昇高，致其容積發生相當的增大。又如圖 50 將一

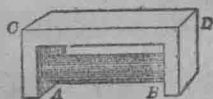


圖 48. 棒的膨脹



圖 49. 球的膨脹



圖 50. 金屬條的膨脹

條鐵一條鋅釘在一起，然後放在火上去燒，即見此條由直而曲，鐵在內方鋅在外方，表示鋅和鐵雖都因溫度升高，各各增加長度，但鋅所增加的長度更在鐵所增加的長度以上，所以成爲彎曲的形狀。

一切固體，除却極少數的例外而外，無論就他的全體積而論，或就其任何一邊的長度而論，都是隨着溫度變化的。溫度愈升高，體積或長度愈增加，這個現象通稱爲膨脹(expansion)。

液體的膨脹 將水盛入圓玻璃瓶令滿，然後加塞，由塞上插入一條細玻璃管。加熱於水，即見有一部分的水，徐徐在玻璃管中升起，如圖51。如再用着色的酒精代替水作同樣的實驗，管中液面的升高更快。由此可見液體受熱溫度升高時，其容積亦隨着增加，即是液體也和固體相同，因溫度升高發



圖 51. 液體的膨脹

生膨脹的現象。前章所說的溫度計，也就是利用管內水銀的膨脹，來判斷他的溫度。

氣體的膨脹 用塞將空玻璃瓶封閉，由塞上插上一條曲成直角形的玻璃細管，在管的橫的部分上，留一小段的水柱，如圖52，用以標示瓶內空氣的容積。試用手握住玻璃瓶，

瓶受手掌的熱，溫度略微升高，同時即見水柱向右方移動，表示瓶內氣體容積增加。如用不通氣的瓶塞，將瓶嚴密封緊，由瓶下用火加熱，則瓶內氣體的膨脹更遠勝於



圖 52. 氣體的膨脹

此，或將瓶塞衝脫，或將瓶炸碎。由此可見氣體也有膨脹的現象，並且氣體的膨脹程度，比較液體和固體，還要顯着些。

膨脹係數 總括上述各種結果，可知一切物體不問其為固體液體，只要溫度升高，就都要發生膨脹的現象。各種物質的膨脹分量，雖然各不

$l_t = l_0(1 + \alpha t)$
 0°C 時的長度 l_0

$t = 3a$

$a = \frac{l_t - l_0}{l_0 t}$ $\therefore l_t = l_0(1 + at)$
 $b = \frac{v_t - v_0}{v_0 t}$ $\therefore v_t = v_0(1 + bt)$

相同，但任何一種物質的膨脹，和其溫度的變化，實具有一定不移的關係。即每升高 1 度所生的膨脹，總是一個常數。不管是說體積或是說任何一邊的長，都是如此。在日常生活上，我們對於物體的體積的增減，大都不甚注意，但對於其一邊的長短，只要略微發生變化，立即覺察得出。如溫度計中水銀面的升高，即其一例。凡就一物體的一邊的長度而論，每溫度升高攝氏 1 度時，此邊所增加的長，對於原有的長度的比，稱為此物體的線膨脹係數(coefficient of linear expansion)。各種固體物質中，以金屬的膨脹係數最大，所以金屬造成的物體，對於膨脹的影響最大。液體的膨脹係數又比固體的膨脹係數大。所以溫度計內面的水銀固然可以膨脹，外面的玻璃，也未嘗不膨脹。不過玻璃的膨脹係數比水銀的膨脹係數小，所以仍能看見水銀面在玻璃管內升起。又氣體的膨脹係數最大，並且不問氣體的種類如何，

在體內膨脹係數不規則。
 水在 4°C 時膨脹最大。

鐵軌造 90 米，伸長 6 厘米 在 -15°C 至 35°C
 玻璃 = 0.000009

- 水 = 0.00029
- 酒精 = 0.00119
- 水銀 = 0.00017
- 銅 = 0.000011
- 金 = 0.00001

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{273+t_2}{273} \quad \text{或} \quad V_2 = V_1 \left(1 + \frac{t_2}{273}\right)$$

在一定的壓力下，一定質量氣體的體積，和其絕對溫度成正比。——查理定律。

其膨脹係數大都相同。當壓力不變時，一切氣體的膨脹係數均等於 $\frac{1}{273}$ 。

問題 1. 車輪外面加鐵箍時，先將箍燒熱，然後套在輪上，否則即套不緊，是何緣故？

問題 2. 玻璃瓶上的玻璃塞，不易拔脫時，只須用熱水淋瓶頸，即可拔出，是何緣故？

問題 3. 棉衣棉被用久嫌其不暖，拿到日光下去曬過，又復鬆暖如新，是什麼緣故？

問題 4. 鐵路的兩條軌道接合處，必留有少許的縫隙，鐵橋的一端，總是架在鐵的圓棒上，決不裝成固定的，是什麼緣故？

問題 5. 溫度計何以不能拿到火上去烘？

問題 6. 小孩玩的氣球，拿到火上去一烘，立即炸裂，是何緣故？

若一定質量氣體的體積不變，其壓力和絕對溫度成正比。——查理定律。

擄
集
此
集

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$\frac{\text{初壓力} \times \text{初體積}}{\text{初溫度} + 273} = \frac{\text{末壓力} \times \text{末體積}}{\text{末溫度} + 273}$$

一定質量氣體，和其所受壓力成反比，和絕對溫度成正比。

有一銅球，在 0°C 時為 100cc ，同加熱至 100°C 時，其體積為若干？

若壓力不變，故使 20°C 一定體積的氣體和 10°C 一半其體積之氣為 20°C ？

在溫度 20°C ，壓力 750 mm 時，1 公升
某氣體的體積爲 1 升，問在標準
狀態的體積爲若干？

第十五章 熱量

熱量 將手放在熱水裏面，最初固覺水熱手冷，可是經歷相當時間以後，既不覺冷，也不覺熱，手與水已成爲同一的溫度。要想說明這個現象，須假想有一種特殊的量，由水移到手上。手上添多了這樣的量，溫度因而升高。同時水內因爲失去了這樣的量，所以溫度降低。此項假想的量，就是**熱量**。手和水的原來的溫度，相差愈遠，此項移動的熱量愈多。由是可知熱量由高溫的物體移到低溫的物體上時，其移動的分量，可由兩物體原有的溫度的差而定。

在同一的火上燒一壺水所要的時間，等於燒半壺水所要的時間的一倍。即是要使重量不同的物質，成爲同一的溫度，由高溫體移到其上的熱量，也不一樣，重量增加一倍，所要的熱量也加

一倍。

熱容量 如將重量相等溫度不等的兩杯水，混合起來，結果所得的溫度，恰在原有兩種溫度的正中間。原在高溫的水所失去的熱量，恰等於原在低溫的水所增加的熱量。但如將重量相等溫度不等的兩種不同的物質，混合起來，結果所得的溫度，決不能成爲原有兩溫度的正中間。例如將等量的水和等量的銅，混合的結果，其最後的溫度和水原有的溫度較爲接近，和銅原有的溫度，相隔較遠。譬如 100 克的銅其溫度本爲攝氏 100 度，如放到攝氏零度的水 100 克內，結果兩者的溫度均成爲 8.5 度。由是可知使銅的溫度升高 91.5 度所要的熱量，僅足以使水的溫度升高 8.5 度。即是此兩種物質如欲同樣的升高 1 度，在水的一方面若要 x 的熱量，在銅的一方面，就只要 $\frac{8.5}{91.5}x = .098x$ 的熱量即足。換句話說，就是兩者收容熱量的能力各不相同，表示此種收容能力，通

稱爲各物質的熱容量 (heat capacity)。假定水的熱容量爲 1，則銅的熱容量即等於 .093。一切物體，各有其一定不移的熱容量。要知道了他的熱容量，然後方能決定他的溫度和熱量間的關係。

熱量單位 由上所述，可知一物體的熱量，第一要由他的溫度而定，其次要由他的重量而定，最後還要用他的熱容量而定。所以要作熱量的測定，或選定熱量的單位時，必須對於此三項加以明白的規定。通常使用的熱量的單位，由於以水爲標準物質而得。即是每 1 克的水，升高或降低攝氏 1 度的溫度時，其所需要或放出的熱量，定爲熱量的單位，通稱爲 1 卡路里 (calorie)，略稱作卡。

比熱 水既用爲測定物體的熱量的標準物質，那麼，一切其他的物質的熱量變化，都可以用和他相當的水溫的變化表出。就前所舉的水和銅的混合的例而論，每 1 克的水升高攝氏 1 度，需

凡一克重量的任何物質，其溫度升降 1 度，所吸收或放出熱量的卡數，稱爲該物質的比熱。

要 1 卡的熱量，那麼，每 1 克的銅，升高攝氏 1 度，所要的熱量，應為 .093 卡。這個 .093 的數字，就稱為銅的比熱 (specific heat)。換句話說，各種物質的比熱，就是各種物質每 1 克重的熱容量。

譬如一個物體重 m 克，他的比熱為 s ，當他的溫度降低了 $t^{\circ}\text{C}$. 時，由此物體放出來的熱量，即等於 mst 卡。茲將各種常見物質的比熱，列表如下：

水	1.00	銅	.093	鐵	0.12
酒精	0.6	玻璃	.16	大理石	0.22
木炭	0.2	冰	.5	水銀	0.033

由上表可見各種物質中，以水的比熱為最大。在地球表面，水占四分之三的地位，對於調理氣候，實具有絕大的供獻。酷暑時吸收大量的熱，溫度亦不致過高，嚴寒時放出大量的熱，其溫度亦不致過低。海洋氣候不及大陸氣候難堪，即由於此。

問題 1. 水的比熱和冰的比熱有何不同？

問題 2. 因為水銀的比熱很小，所以最適於作度溫計，是什麼緣故？

第十六章 物態變化

物質的三態 在本書的開始，即已說過，一切物質，可就其形態上，分別成爲三種。一種是有一定形狀一定容積的固體，一種是有一定容積而無一定形狀的液體，一種是既無一定容積又無一定形狀的氣體。可是同一的物質，因其情況不同，有時現爲固體，有時現爲液體，有時現爲氣體，並非一定不變的。例如水在通常情況固爲液體，但遇熱則變爲蒸汽，遇冷則凝結成固體的冰。就是其他一切的物質，也莫不如此。水銀只要溫度降到零下 39°C . 就凝成和通常金屬同樣的固體，空氣只要溫度降到攝氏零下 140 度以下，也就有法使他變成水一樣的液體，再冷也可結成固體。

熔解 將冰塊盛在玻璃杯內，插一溫度計，

隨時檢查他的溫度。然後從杯底用火加熱，即見杯內的冰的溫度，逐漸上昇，到得攝氏零度時，杯內的冰，即有一部分開始熔化成水。此種由固體一變而成液體的現象，稱爲熔解(melting)，開始熔解時的溫度，稱爲熔解點(melting point)。冰塊的溫度昇到熔解點即攝氏零度以後，杯底雖同樣的陸續加熱，可是杯內的溫度並不昇高，始終保持着同一的攝氏零度，只不過熔解成水的分量，逐漸增多罷了。如是繼續下去，直至全部的冰，都完全熔化完盡爲止，都是這樣。在此時間內由下面進入杯中的熱，都用來使固體的冰熔解成爲液體的水，溫度並未昇高，故此時進入杯內的熱量，全部都潛伏在水的本身裏面，不顯於外，所以有潛熱(latent heat)的名稱。據實測的結果，使1克的冰熔解成爲同一溫度的水所要的熱量，等於80卡，即是要吸收80卡的熱，成爲潛熱，方能熔化成爲零度的水。各種物質也都有

同樣的現象，不過當其熔解時所要的熱量，各有不同罷了，例如銀要 21 卡的熱，錫要 14 卡的熱，其值均較冰的潛熱為小。

因為冰熔化成水，要吸收大量的熱，所以利用冰的溶化，可以造成相當低的溫度。夏日食用的冰淇淋 (ice cream) 就是利用此理造成的。用冰塊和食鹽，按照 2 對 1 的比例混合起來，放在牛奶雞蛋等混合溶液外面，此時一面冰塊化為水，一面食鹽溶解入水，都要吸收相當的熱量，所以結果使周圍的溫度，降到攝氏零度下 22 度，因此將牛奶等凍結成爲固體。

凝固 不但是冰淇淋中的牛奶等，可以凝成固體，就是通常的水，到了冬季，因為周圍空氣的溫度降低，也一樣的會凝結成爲固體的冰。水銀到了攝氏零下 39 度的時，也成爲固體，前面已曾說過。總之，一切液體，到了相當的低溫，皆可化爲固體，這種現象，稱爲凝固 (solidifica-

tion)。凝固時的溫度，稱爲凝固點 (solidifying point)。大多數的物質，其凝固點和熔解點，完全一致。

熔解時吸收的潛熱，到得凝固時，全部都要放出。譬如 1 克的水熔解時必須吸收 80 卡的熱，到得此 1 克的水，凝固成冰時，也須要放出 80 卡的熱。冬天開始落雪時的氣溫，還不覺得怎樣的冷，可是天氣放晴，積雪初融的時候，反轉冷得難受，就是這個緣故。

蒸發 一杯水放在空氣中，分量自行逐漸減少，最後竟至完全消滅，實際並非消滅，不過是由液體的水，一變而成氣體的水蒸氣，混合在空氣裏面罷了。這樣的現象，稱爲蒸發 (evaporation)。一切液體，均同樣有此現象，由液體化成的氣體，通稱爲蒸氣 (vapor)。在開放的容器中，液體的蒸發，並沒有限制，但若在密封着的容器裏面，則在一定的溫度時，只能發生一定量

的蒸氣，既已達到了這個程度以後，蒸發立即停止，器中的液體亦不再行減少。這個狀況，稱爲飽和(saturation)，此時的蒸氣即稱飽和蒸氣(saturated vapor)。

1克的水全部化爲蒸汽，必須吸收 538 卡的熱量。此項熱量，也和熔解熱一樣，潛藏在化成的蒸汽內面，通稱爲蒸發熱(heat of evaporation)。其他各種液體化成蒸氣時，也各要吸收相當的蒸發熱，其值隨物質種類而異，但均較水的蒸發熱小。

沸騰 將盛水的杯放到火上去燒，杯內的水溫度漸次升高，同時由水表面發生的水蒸氣的分量，也逐漸增多。到得水的溫度昇到攝氏 100 度的時候，不僅水表面有大量的蒸汽發出，並連液面下，也有蒸汽發生，成爲氣泡，由杯底上昇，陸續不絕昇至液面，始進入空氣中。這種現象，通稱爲沸騰(boiling)，發生沸騰的溫度，稱爲沸

沸點就是液體的飽和汽壓相等於液面
所受壓力時的溫度

騰點 (boiling point)。將溫度計插在杯內隨時檢查，即知杯內液體尚未沸騰以前，溫度上昇不已，到得開始沸騰以後，下面所加的熱，雖然照舊加入，可是液體的溫度，決不上昇，永遠保持着開始沸騰時的溫度。此時所吸收的熱，就是上節所說的蒸發熱。

大氣中的水分 地面上的水，無時無刻不在蒸發，所以通常的大氣裏面，應含有多量的水蒸氣。大氣的溫度降低，到得現在所含有的水分，已達於飽和狀態時，一切的蒸發，都應停止。這個時候的溫度，特稱為露點 (dew point)。假使氣溫較露點還低，過剩的一部分的水蒸氣，即凝結成爲小水滴，浮在空氣中，成爲天空中的雲 (cloud)，如與地面接近，即成爲霧 (fog)。許多的小滴集成爲目力能見的大滴，受重力作用，向地面降下，即成爲雨 (rain)。若露點在攝氏零度以下，則水蒸氣不但凝成液體，並進而凝固成爲

露。就是大氣中的水氣達到飽和狀態時的溫度

冰，集合無數細冰，遂成爲雪 (snow)。又在夜間地表面或草木等將熱放散以後，溫度降低，達於露點以下，大氣中的水分，遇着此等低溫的物體，即將其過剩的水分凝爲液體，附於其表面上，成爲通常所謂的露 (dew)。若露點已在攝氏零度以下，這樣附着的水分，已凝結成爲固體的冰，卽成爲霜 (frost)。

通常的空氣裏面，多少總不免含有若干的水蒸氣在內。如其分量過多，卽與飽和狀態甚近時，覺其潮濕。如其分量過少，卽與飽和狀態相隔甚遠時，覺其乾燥。表示空氣的乾燥潤濕程度稱爲濕度 (humidity)。濕度大固嫌悶熱，如南方霉雨時的氣候，濕度小又嫌過於乾燥，如北方或砂漠附近的氣候，均不適於衛生。冬日房中生爐取暖，必在爐上放一水壺，使水蒸氣陸續發出，調和濕度，使其適於衛生，否則呼吸器及皮膚均將受其影響，成爲疾病。

$$\text{濕度} = \frac{\text{現在汽壓}}{\text{現在濕度相當汽壓}} \times 100$$

問題 1. 如嫌茶熱，只要就杯口吹氣，不久即涼，或用兩杯，將茶移來移去亦可，是什麼緣故？

問題 2. 機械運轉過久，多發生大量的熱，通常概用冷水繞行其周圍，俾可將熱吸去，為什麼不用其他的物質，專要用水？

問題 3. 衣服被雨淋濕，若不趕快換，必定傷風，是什麼緣故？

問題 4. 天晴曬的濕衣易乾，雨天不易乾，是什麼緣故？

問題 5. 冬日玻璃窗上結的霜，何以只有裏面的一邊有？

問題 6. 夏日灑水庭前，頗覺涼爽，是何緣故？

問題 7. 冬日呼氣出口，現成白色，夏日何以看不見？

問題 8. 夏日盛冰凍汽水的玻璃杯外面，有許多的水滴佈滿，是從那裏來的？

熱從一處傳到別處稱為熱的傳遞

三方法：傳導，對流，輻射

第十七章 熱的移動

傳導 將一條鐵棒放在火上去燒，最初只有着火的一端溫度升高，不久最遠的一端，也就熱得不能着手。又如圖 53，在一條金屬棒 AB 的上面，插入 a, b, c, d, e, f 等的溫度計。用酒精燈燒 A 的一端，即見靠近 A 的溫度計 a ，最先升高，其次始及於 b, c 等。並且 a 的水銀面也最高， f 的水銀面最低。表示 A 端的溫度高，而 B 端的溫度低。必須經歷相當長久的

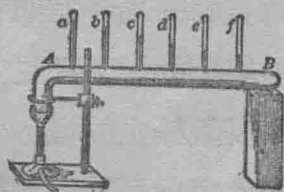


圖 53. 傳導

時間以後，全體始成爲同一的溫度。凡如此種物體本身的各部分，始終未嘗移動，但熱却由其一端經各部分次第傳遞而達於他一端的現象，稱爲熱的傳導(conduction)。

(109)

見熱從高熱地方，往物質逐漸傳到
低熱的地方，稱為熱的傳導

導熱體絕熱體 各種物質對於導熱的作用，有強有弱，各不相同，如圖 54，用水槽一個，其旁面穿有一排細孔，每一細孔中插入一棒，棒質各不相同，棒外均塗薄蠟一層。各棒同一大小同一形狀，將此水槽放在火上去燒，使槽內的水的溫度升高。同時各棒

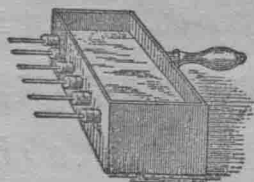


圖 54. 傳熱率

的裏面一端，當然都成爲同一的溫度。觀察各棒外端上的蠟，即見其熔化的程度，各不相同。其中以銀棒上的蠟，熔得最快，銅棒略慢，木棒最後。由此可見銀銅等金屬，最易傳導熱量，這種物體稱爲導熱體(conductor)。

用銅網一塊蓋在火焰上面，即見火焰宛如被網截斷了的一般，如圖 55。此時只有網下面的火焰依舊存在，網上面的火焰，完全熄滅。這是因爲火焰中的熱，經由銅網傳導而去，網上面的溫度降低到不能維持燃燒的程度，所以熄滅。若先

將銅網蓋在未曾着火的煤氣管上面，如圖 55 右邊，放出煤氣，然後從上方點火，即見只有網上有焰，網下則無，和先前的情形，恰相反對。這也是因為上面火焰中的熱為銅網傳去，所以網下面的溫度降低，不能維持煤氣燃燒的緣故。

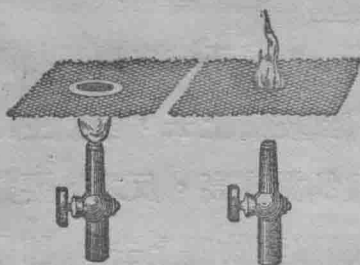


圖 55. 金屬網

和導熱體正相反對的，如石塊，磚瓦，玻璃，木料，軟木塞，砂，羊毛，羽毛，獸皮等，均不容易導熱，所以用此種物質，可以保護熱量，使不散失，這一類的物體通稱為非導體 (non-conductor)，亦稱絕熱體。又固體中多含纖維質及組織疎鬆的物體，也多為非導體，液體中只有水

水是絕熱體

銀一種是導熱體，其餘全都是非導體。氣體在實際，完全是非導體。羊毛和獸皮其所以成爲絕熱體，就是因爲他們具有無數的細微孔穴，孔穴裏面常爲空氣充滿，空氣不傳熱，所以結果遂成爲絕熱體。

傳導和觸覺 我們尋常判斷物體的冷熱，全靠皮膚的觸覺。卽是手或皮膚和物體接觸時，如熱由物體傳導到皮膚上去，卽發生溫煖的感覺，遂斷定此物體的溫度高。反之，要是我們體內的熱，經此接觸移到物體上去，卽發生寒冷的感覺，遂斷定此物體的溫度低。並且就根據此項移到體內或由體內移出的熱量多寡，去比較物體溫度的高低程度。可是熱的移動，不僅由於物體現有的溫度，還要看導熱體的導熱程度如何，然後方能決定。譬如一塊鐵和一塊木頭，同時放在溫水內，使成同一的溫度，然後用手試探，卽覺鐵熱而木冷。這是因爲熱在鐵中傳導較易，所以一

與手接觸，熱量即相繼由鐵移到手上，故就手的一方面說，在同一時間內收到由鐵而來的熱量多，收到由木而來的熱量少，故雖同一溫度，而引起的感覺則不同。同樣，將此兩物先放入冷水中浸透，然後用手試探，即覺鐵冷而木熱，結果與前相反，其理由則同前。由此可知用手試探物體的溫度，實不可靠。遇着同一溫度的各種物體，用手試探，只能判別他們導熱的程度，孰高孰低，要遇着同一種類的物質，方能由手試探，判別他們的溫度。

對流 水是一種絕熱物質，不能傳熱，但是將一杯水放在火上，先是杯底的水，受到由火中得來的熱，溫度升高，應起膨脹，結果比重減小，受浮力作用，應向上升起。同時其周圍溫度較低的水，流來填補，因此又與杯底的火接觸，得熱膨脹後，亦復升起，又由其他較冷的水流來補充。如是繼續下去，熱水昇上，冷水降下，交

互地由物項本身的循環，漸次

對流過，直至全杯的水，均成爲同一的溫度，此項上下交替的運動，始行停止，這樣的現象，稱爲**對流**(convection)。用玻璃瓶兩個，裝置如圖 56，上方的 *A* 倒放，下方的 *B* 正放，*A* 內盛染色的水並加少許鋸木屑於內，水面約至瓶底爲止，*B* 內盛清水令滿。兩瓶間用兩條玻璃管連結起來，一爲直管 *CD*，上端 *C* 在 *A* 內水面近旁，下端 *D* 在 *B* 內水面近處。一爲曲管 *EF*，上端 *E* 在 *A* 內水底即瓶口處，下端 *F* 在 *B* 內瓶底。從 *B* 下方加熱，即見 *A* 內染色的水，沿 *EF* 管而下，*B* 內的清水，則循 *DC* 管而上，循環對流，如圖中箭頭所示，直至全體成爲同一溫度，始行停止此項運動。

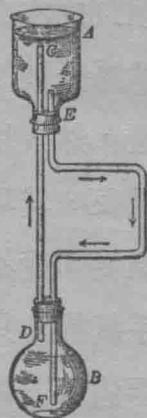


圖 56. 對流

因水本身的上下交替流過，熱亦隨着由瓶底遍傳水內全部，此種熱的移動方法，又和前述的

傳導，性質大不相同，即稱爲熱的對流 (convection of heat)。

空氣的對流 空氣是最好的絕熱體，當然不能傳熱。但若一部分的空氣，受了相當的熱，溫度升高，同時所起的膨脹頗大，也會向上方升起，造成和水一樣的對流現象，熱亦附帶着移向他處而去。太陽射到地面上來的熱量頗大，地面受日光直射着的地方，溫度升高，和此部分接觸着的空氣，即開始此種向上升起的運動，引起周圍的冷空氣，流來填補其缺。此種空氣的移動，就是我們所謂的風，空氣其所以混合得異常均勻，也就全靠有此種對流作用。夏日在太陽光下，觀察遠處屋頂，每見其動搖不定，就是因爲空氣發生對流，光由其中通過引起的屈折作用而成的。

通風 冬日房中如生有火爐，受了熱的空氣即向上升起，冷空氣流來補充，又復受熱，如是冷熱空氣，交替對流，遂使房內空氣成爲同一的

溫度。如裝有烟囪，則燒過的廢氣，經由烟囪排出室外，新鮮空氣則由門窗縫隙進入房中以供繼續的燃燒，同時室內空氣亦由此而得**交換** (ventilation)。就是不生火爐時，也要在天花板近旁，留下相當的孔隙，以備室內廢氣由此排出，同時再在地板近旁，留下相當的孔隙，以備室外面的新鮮空氣流入以作補充。如無此項設備，室內因缺乏新鮮空氣，每易致病。尤其是冬天在室內生火，既不用烟囪，又嚴閉門窗，不放外面冷氣入內，結果往往喪命，冬季時聞中煤毒而死，就是通風不良的緣故。

問題 1. 如有一人由外面新進入地窖內，先觸及窖中的鐵爐，次觸及棹椅，最後觸及地毯，他將發生何種感覺？假如是一間廚房，內面生得有很大的火，其結果又如何？並說明其理由。

問題 2. 木料本是不傳熱的物質，何以保存糖炒栗子，不能單用一個木桶，最好周圍還要加上一層木屑，是何緣故？

問題 3. 燒飯的鍋用鐵，盛飯的桶用木，爲的什麼緣故？

問題 4. 北方的窗多用兩重，門帘又用棉花做胎，有何作用？

問題 5. 從前說“雪兆豐年”，有沒有理由？

問題 6. 打翻了洋油燈或洋油爐子時，不能用水去淋，須用砂蓋住，或用棉被等物將火蓋住，方可熄滅，是什麼緣故？

熱的輻射

熱不依物質為媒介，而由熱源直接而來的現象，稱為輻射

與前二種不同之處——

- ① 輻射是在真空中進行的，和光線進行的方向相同，如有遮擋，則不能透過。
 - ② 輻射的速度大，與光同， $3 \times 10^{10} \text{ km/sec}$ 。
 - ③ 輻射的熱絕過介質時，介質不吸熱，空氣、玻璃、
 - ④ 白色或透明的，善於反射，黑色、粗糙、不……
- 熱水瓶