

3
復興初級中學教科書

物理學

上册

周頌久編著

三聯書店

X



商務印書館發行

1646

MG
G634.7
76

復興初級中學教科書

物理學

上册

周頌久編著



3 1773 7370 5

商務印書館發行



編 輯 大 意

1. 本書依照民國二十五年四月教育部修正頒行之初級中學物理課程標準編輯而成，教材排列次序，雖略有更動，但大致仍照部定。
2. 本書專供初級中學及職業學校之物理學課本之用。
3. 本書所取教材，均為兒童習見習知之常識，尤以與日常生活有關者，為其中心，並將物理學中各種基本定律，淺近概念，分別融合於其中。
4. 本書雖分為二十六章，不過為便於教學時作小結束起見，並無固定之次序及嚴格之系統，講演者儘可斟酌各地特殊情形 提前移後，亦無不可。
5. 本書全部為教室中講演之基礎教材，至於實驗項目，另有專書，並未包含在內。
6. 本書各章結束處，均附有問題數則，純係日常習見之事實，亦多數好學兒童所懷之疑問。應用本書教材，即可迎刃而解。此類問題，對於啓發兒童知識，功效極大。採用本書者務望特別注重。
7. 本書不僅問題中未注及計算，即在正文中亦只注重解

釋，以免初學者望而生畏。

8. 本書篇幅本已不多，又為插圖佔去不少地位。實字數不過五萬餘耳。約計每小時能授二百字，即不致有時間不足之慮。

9. 本書雖經一再修改，錯誤仍在所難免，對於實際使用，亦容有未周之處，如承指正，極所歡迎。

民國二十五年十月 編者識

目 次

上 册

第一章 物質的三態.....	1
物質 物體 固體 液體 氣體 物質的三態	
第二章 物體的大小.....	4
單位 長度及其單位 面積及其單位 容積及其單位 十進制之便利	
第三章 物體的重量.....	7
重量 質量 力 力的單位 中國秤 彈簧秤 比重 密度	
第四章 壓力和浮力.....	11
壓力 水的壓力 液體內的壓力 連通器 自來水 浮力 <u>阿基米得原理</u> 浮沉 分子力 表面張力 毛細作用	
第五章 大氣壓力.....	19
氣體的壓力 大氣壓力 氣壓計 虹吸 抽水機 抽氣機 壓氣機	

第六章 時間和運動.....	26
時間及其單位 鐘錶 運動 位移 速度 等速度	
運動 加速度 力和加速度 慣性 反作用 運動	
三定律 運動的合成 速度的平行四邊形 速度的	
分解 萬有引力定律	
第七章 力和重心.....	34
力的圖示法 合力與分力 飛機 平行力 重心	
第八章 簡單機械.....	40
槓桿 剪刀鉗鉗 天平 滑輪 輪軸 斜面 劈	
螺旋 功之原理	
第九章 摩擦.....	46
摩擦 最大摩擦力 摩擦係數 摩擦的種類 減少	
摩擦法 摩擦的利用	
第十章 材料強弱及彈性.....	50
應力和應變 彈性 彈性限度 材料強弱	
第十一章 振動和聲波.....	54
振動 單擺 波動 橫波 縱波 水波 聲波 聲	
音的速度 回聲	

第十二章	樂音	60
	樂音 響度 音調 音階 樂器 音色 共振 人聲	
第十三章	熱的來源	64
	太陽 摩擦,燃料及電流 溫度 溫度計 溫度計的標度	
第十四章	物體的膨脹	70
	固體的膨脹 液體的膨脹 氣體的膨脹 膨脹係數	
第十五章	熱量	73
	熱量 熱量單位 比熱 熱容量	
第十六章	物態變化	76
	物態的變化 熔解 凝固 蒸發 沸騰 蒸氣機 大氣中的水分	
第十七章	熱的傳播	82
	傳導 導體與絕緣體 傳導和觸覺 對流 空氣的對流 通風 輻射	



初級中學教科書

物 理 學

上 册

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。但若研究牠們的性質，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，

論牠們的形狀大小，彼此就大不相同了。凡由物質集成一種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，說桌椅門窗，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，如桌椅門窗，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，液體卻也不少。例如溫度計和氣壓計的玻璃管中所裝的水銀(mercury)，洋油燈內用的火油(kerosene)，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，倒接入水，水只能進入杯內一小部分，如圖 1，其餘仍舊是空着的。可見杯內早已有別的物质，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，就是此刻浮出水面的氣泡，我們稱牠為空氣 (air)。空氣不僅要占據地位，而且也有重量，如用空瓶一個，在天平上測出牠的重量，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。



圖 1. 空氣的存在

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，稱為氣體 (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氫 (hydrogen)，供動物吸入肺中，或使物體燃燒的氧 (oxygen)，開水變成的水蒸氣 (steam)，由我們口中吐出來的二氧化碳 (carbon dioxide) 等。

物質的三態 一切的物體，都可歸入固體液體及氣體三種之中。物體既然都是由物質集成的。所以物質也就只有這三種不同的狀態，通稱之為物質的三態 (three states of matter)。

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

- 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,那些是軟體? 那些是物質?那些是固體?那些是液體?
- 問題(5) 五行中的金木水火土,是不是都能稱為物質? 還有地,水,火,風,是不是都能稱為物質?
- 問題(6) 顏料和色,是不是物質?

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,稱為量度(measurement),這種選定的標準物體,稱為單位(unit)。

長度及其單位 量度物體的長度(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市尺以上用丈用畧,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。在米以下用厘米(centimeter),合百分之一米;或用毫米(millimeter),合千分之一米。

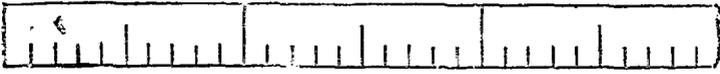


圖2. 3市寸

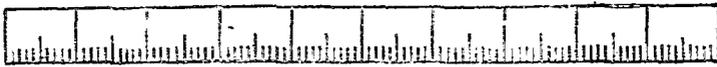


圖3. 10厘米

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

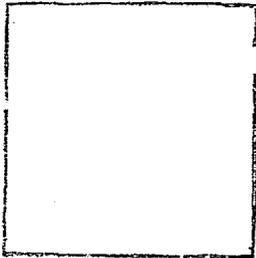


圖4. 1平方寸



圖5. 1平方厘米

量地面時在我國用畝作單位，1 畝合 60 平方丈，即六千平方尺，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)，合百平方米。

容積及其單位 量度物體的容積 (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，

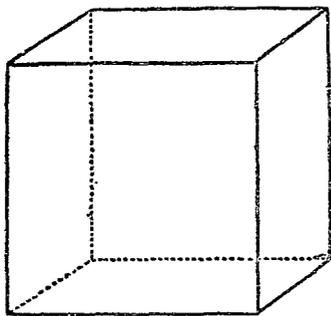


圖6. 1 立方寸

以下用立方寸，立方分等。在國際通制則用立方米 (cubic meter) 及立方厘米 (cubic centimeter) 等。

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，合十分之一合。在國際通制所用的升 (liter)，等於每邊 10 厘米的立方體的容積，即一千立方厘米，恰合我國的一市升。

十進制之便利 單位的選擇，本是任意的，量長度用尺用里，用米用釐米，均無不可；量容量用升用斛，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。國際通制就為此項而設，進位概用十進法，故又稱為十進制 (decimal system)，又因其基礎的單位用米，所以又稱為米制 (metric system)。

問題(1) 米和公畝是國際通制的單位，合我國的市用制中的幾尺幾畝？

問題(2) 一間房子有 1 丈 2 尺寬，1 丈 3 尺深，1 丈 4 尺高，其容積若干？其佔地面幾何？

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) 地球的直徑約為一萬二千五百公里，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？

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，輕重卻大不相同，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厘等。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。

質量 一塊石頭在赤道近傍時的重量，和在兩極附近時的重量，略有不同。在赤道附近，略微輕些；在兩極附近，略微重些。又在高山頂上，也要略微輕些；在深谷下面，也要略微重些。輕重雖然因地而異，但是這塊石頭所包含着的物質多寡，卻始終是一樣，既未曾減少，也未曾增多。不但石頭如此，一切的物體也莫不如此。凡一物體所含有的物質的分量，通稱為質量(mass)。

質量的單位，也用克、仟克、斤等類的名稱。說某物體的質量有1克，不問牠在什麼地方，都只有1克；說牠的重量有1克，就要指出牠是在什麼地方，方能定準。

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，竿上的衣能將直竿略微壓彎。一切物體，對於支持着牠的物體，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，故稱為重力(gravity)。重力的大小，就用牠的重量來表。

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，就用重量的單位來作力的單位。

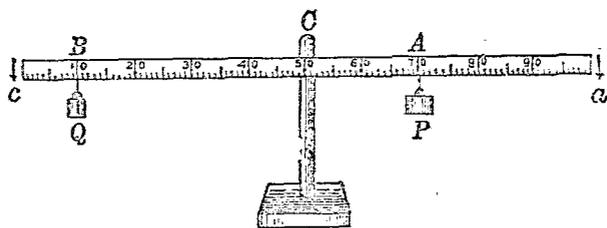


圖 7. 重量的比較法

中國秤 量物體的長度，可以用尺直接去比，量物體的重量，卻不能用一定重量的物體，照此方法去比。但若將一條直棒，或是將一條米尺的中點 C 支住，使其可以繞 C 點自由轉動，如圖 7，此不動點 C ，稱為支點(fulcrum)。在左右兩邊各懸一重量，如 P

和 Q ，不問 P 、 Q 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，決不止一對，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。如是將種種位置量得後，即知

P 的重量和 P, C 間距離的乘積，恆等於 Q 的重量和 Q, C 間距離的乘積。換句話說即 P 與 Q 的比等於 BC 與 AC 的

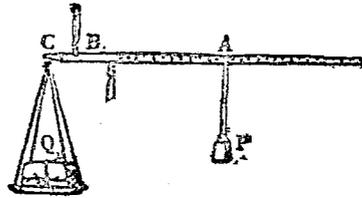


圖 8. 中國秤

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，則不難由尺上的標度，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 處懸盤或鈎，以備盛物，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。由桿上的標度，即可讀出 Q 的重量，因爲此時 BC 的距離和 P 的重量都是固定的。所以 Q 的重量和 AB 的距離有關。如嫌 Q 太重，秤桿短了不足用時，可用另外的提繩，改短提繩和懸盤點間的距離，又可得另外一種的標度。一個秤上，通常都有兩條或三條的提繩，就是爲此目的而設的。

彈簧秤 除秤而外還有彈簧秤 (spring balance) 也是用來量

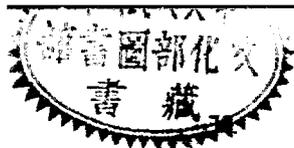


圖9. 彈簧秤

度物體的重量，其形狀如圖9所示，銅殼內有一條螺簧，下有鉤，備懸所測的物體，殼上標度左邊為克數，右邊為英兩(ounce)數，中間有一直縫，從縫中露出指標。指標固着於螺簧下端，螺簧伸長，指標也隨着下降；螺簧縮短，指標也隨着上升。讀出指標所在處的標度，就知道鉤上所懸的物體的重量。

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在攝氏4度時的重量的比，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如下：

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



第四章 壓力和浮力

密度 各種物質每單位體積內所有的質量，稱為密度(density)。物理學中用每立方厘米的物質含有質量1克，來作密度的單位，稱為每立方厘米克(gram per cubic centimeter)。譬如1立方厘米的水，質量為1克，故水的密度即等於每立方厘米1克。鐵1立方厘米的質量為7.8克，故鐵的密度為每立方厘米7.8克。如單就數字而論，在米制內表示密度的數字和表示比重的數字，完全相同。但比重是同一體積的物質的質量和水的質量的比，不過是一個單純的數字，而密度則有『每立方厘米克』作其單位。兩者迥然不同。

問題(1) 1升水有幾斤重？

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，兩者重量方能相等？

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

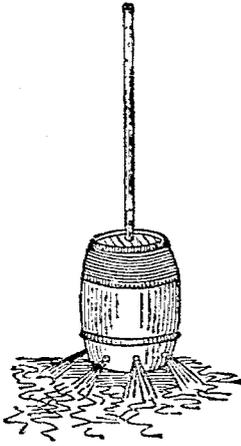


圖 10. 壓力和器壁

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 10。由此可知液體對於容器壁作用的力，恆和器壁是垂直的。

液體內的壓力 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 11。若由上端注水入筒，到得筒內外的水面，成為同一的高度時，板即由筒口脫下。先前板不沈下，是因為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，板即沈下，由此可知水面下 h 尺深度的表面上所



圖 11. 壓力和深度

受到的壓力，和在牠上面以 h 尺為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。故在均勻而且靜止的液體內同一水平面上的各點的壓力均相等。

連通器 圖 12 所示的容器，雖分為 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，稱為連通器 (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

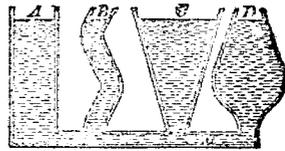


圖 12. 連通器

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，牠們的水面卻總是一樣的高。

自來水 連通器的一種應用，就是都市中裝設的自來水 (water supply) 如圖 13。將池 a 中或河內的水，殺菌過濾之後，再用唧筒 p 送到離地面很高的水塔 P 裏面。經由地面下埋着的

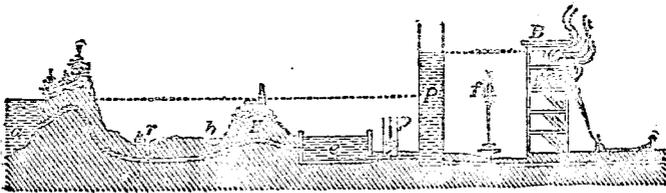


圖 13. 自來水

水管，和各處用戶的自來水龍頭相連，全體成爲一個連通器。如將龍頭開放，則龍頭處的水面，遠在水塔內的水面之下，故水即由龍頭流出，以供使用。若將龍頭口向上，則由此噴出的水，照連通器的原理說，應該達到和水塔內的水面一樣的高度。不過中途在水管中流過的時候，要受到管壁的摩擦作用，在空氣中又要受到空氣的阻力作用，所以不能達到那樣的高。

浮力 設有一立方體 $abcd$ ，如圖 14，全部浸在水內，上下

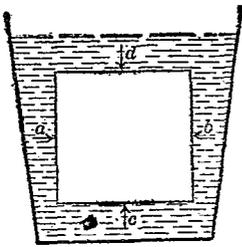


圖 14. 浮力

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 ，和下面所

受到的壓力 c ，方向雖也相反，大小卻因深度不同，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，就稱爲浮力 (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 15，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

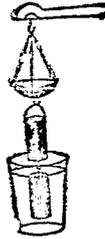


圖 15. 阿基米得原理

衡，表示兩方的重量又復相等。由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。這種事實，在一切液體內，均是一樣。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)。

浮沈 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，入液內時當一直沈下，直至器底始止；(2)如較同容積的液體重量還小，放入液中，即有一部分浮在液面上，一部分仍在液中，與此在液面下的一部分同容積的液重，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，不沈不浮，好像沒有重量的一般。

分子力 一塊冰必得要用相當的力去鋸去敲，方能裂開。裂開後的冰塊，又得要用相當的力去緊壓，方能復合為一。我們知道一切物質都由極細的微粒集合而成的，這些微粒通稱為分子

(molecule)。分子和分子之間，彼此有相互作用的力，就是分子力(molecular force)。加力於冰塊上，無論是錘是敲，效用都在使一塊中的分子互相離開，要是緊壓，效用就在使兩塊冰上的分子互相接近。由此可知，分子力作用的範圍很小，兩個分子非得要達到相當近的距離，不會發生作用。不但固體物質有分子力作用，就是液體氣體，也都有的。不過比較上以固體的分子力最大，液體次之，氣體最弱。

凡同種物質分子間作用的引力，稱為內聚力(cohesion)，異種分子間作用的引力，稱為附着力(adhesion)。例如冰分子與冰分子間互相緊結着的時候，就是內聚力的作用；將玻璃棒放入水中取出時有水滴附在棒上，就是玻璃分子和水分子間的附着力作用。

表面張力 葉上的露水，都成球狀(圖 16)。用鐵絲曲成一環，環上繫一較小的細線結成的圈，全體浸在石鹼液裏面，取出後環上即蒙有一層石鹼液的薄膜，如圖 17 的左端，用縫針燒紅刺破細線圈中間的膜面，線外的液體膜即向各方收縮，將細線曳開成一完全圓形，如圖 17 的右端狀況。由是可知液體的表面，具有一種自行收縮的性質，和橡皮膜一般。葉上的露滴，也是因為表面要縮成最小的面積，所以成為球形。這種表面收縮的作用，稱為表面張力(surface tension)。一切液體物質，都具有這種性

質，不過有強有弱罷了。最強的為水銀，其次為水，如醚，如油等表面張力都很小。



圖 16 葉上露水成球狀

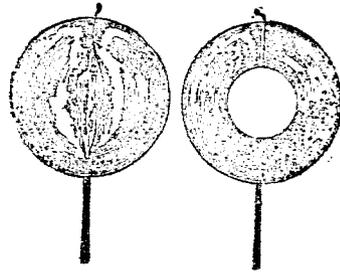


圖 17. 表面張力

毛細作用 玻璃器內盛水，周圍的液面比中央略高，如圖 18 的左端。如盛水銀，周圍的液面反比中央略低。如圖 18 的右端。如將玻璃管若干個按管徑的粗細，列作一排，管底裝一導管，使各管相通成一連通器，然後盛水，管徑大的裏面，液面特別低些，管徑小的裏面，液面特別高些，其狀況如圖 19。因為管徑愈小，這個現象愈著，所以這種現象稱為毛細作用 (capillarity)，管徑極小的管，稱為毛細管 (capillary tube)。

凡能潤濕器壁的液體，如水，在壁上造成一層薄膜，受表面張力作用，薄膜自行收縮，所以將液面引上，凡不能潤濕器壁的液體如水銀等，和器壁既不相黏連，受自身的表面張力作用，欲

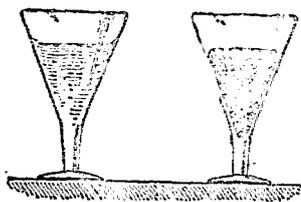


圖 18 水面凹下水銀面凸起

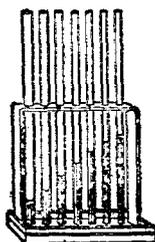


圖 19. 毛細作用

成面積最小的形狀，所以將液面曳下。

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，和壺蓋是一樣高的。高了低了都不便，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，此類物體，何以能夠救命？

問題(5) 有沒有一種液體，將銅鐵等類的物體放入其中，就和竹葉木片在水中浮起的那種樣子？其理由如何？

問題(6) 杯中滿盛水與冰，冰塊且浮出杯上，如冰溶化後，杯中有沒有水溢出？為什麼？

問題(7) 一個人的全體，有多少重，我們可以用秤來量度，他的全體積有多少？要怎樣方能知道？此兩項都已知道之後，試求人體的比重。

問題(8) 桌上的漆，紙上的墨跡，何以能固着於上？

問題(9) 篋有油，入水就不會濕，試言其故。

問題(10) 用毛筆蘸墨，墨水即由毫端自行昇上；燈芯着火，盞內的油自能由燈芯末端昇至着火的地方，是何緣故？

問題(11) 有蟲名水牛者，在水面上行走自如，其足細而且長，着水處水面略

微凹陷，然蟲體並不沉下，其故安在？

問題(12) 衣上若被洋燭沾污，可用一吸水紙緊貼污點之上，用熨斗在吸水紙上熨過數遍，污點即可取去，其故安在？

第五章 大氣壓力

氣體的壓力 用力壓皮球雖可略微壓扁，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，稱為大氣(atmosphere)。空氣雖然很輕，但每1升也有1.293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，通稱為大氣壓力(atmospheric pres-

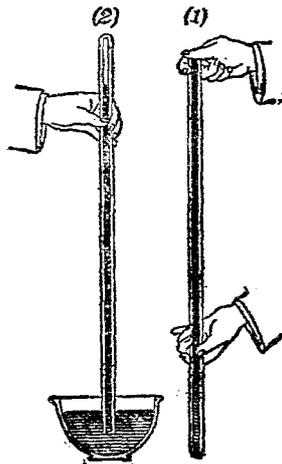


圖 20. 大氣壓力的實驗

sure), 略稱大氣壓。用玻璃細管一個, 密封其一端, 長約 1 米, 由管口盛入水銀, 至滿為止。用手指將管口封住, 如圖 20 右方, 使管底向上, 管口埋入盛有水銀的容器裏水銀面下, 然後始將封住管口的手指放開, 管內的水銀表面即自行降下, 上部成爲真空 (vacuum), 直至管內外的水銀面相差約 76 厘米的地方, 始行停止, 不復更降, 如圖左方。

管內的水銀表面上, 既屬真空, 所以並無絲毫的壓力作用, 和管外水銀面在同一水平面上的管內各點上所受的壓力, 當然等於在牠上面的水銀柱的壓力, 即是長 76 厘米的鉛直水銀柱的壓力。管外的水銀面上, 若不是也受有與此相等的壓力作用, 內外的水銀決不能成平衡。故知管外大氣壓力必等於 76 厘米鉛直水銀柱的壓力。

大氣的壓力, 並不是一定的, 因此上面實驗出來的水銀柱的高低, 也時有變動。通常將水銀柱高恰等於 76 厘米時候的大氣壓選作標準, 通稱爲標準大氣壓 (standard atmospheric pressure)。有時將與標準大氣壓相等的壓力, 用作壓力的單位, 稱爲 1



圖 21. 氣壓計

大氣壓 (one atmospheric pressure), 即一大氣壓等於長 76 厘米的鉛直水銀柱的壓力。

氣壓計 利用前節的實驗, 只須觀察水銀柱的高低, 即可將大氣的壓力測出。依據這個原理製成的精密儀器, 稱為水銀氣壓計 (mercurial barometer), 其形狀如圖 21。

水銀氣壓計的主要部分, 在下面為一水銀槽, 上面為一玻璃管, 槽和管的大部份都有金屬管在外面護着, 只有槽內的水銀面和管內的水銀柱的頭部, 可以由外面窺見。槽內有象牙針一枚, 以定槽內水銀面和管上的標度間的關係。轉動槽下的螺旋, 使槽內的水銀面恰和象牙針尖相觸, 即可由上面的標度, 將水銀柱的高度讀出。

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 22, 水即由長端 *e* 源源不絕流入低處的容器 *N* 內, 這樣的管稱為虹吸管 (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,

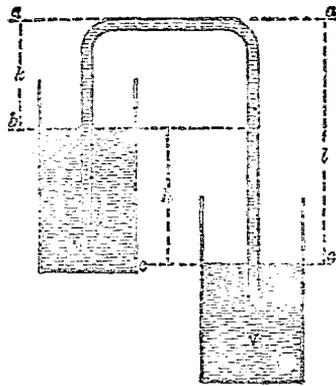


圖 22. 虹吸

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。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，又名抽水唧筒(water pump)，或簡稱唧筒(pump)。抽水唧筒共有兩種：一種是在高處將低處的水提上，稱為吸取唧筒(suction pump)，一種是在低處將水壓到高處，稱為壓力唧筒(force pump)。要部同為一圓筒(cylinder)，內有活塞(piston)，塞滿筒緣，使不漏氣，此外有兩個可開可閉的活門(valve)。

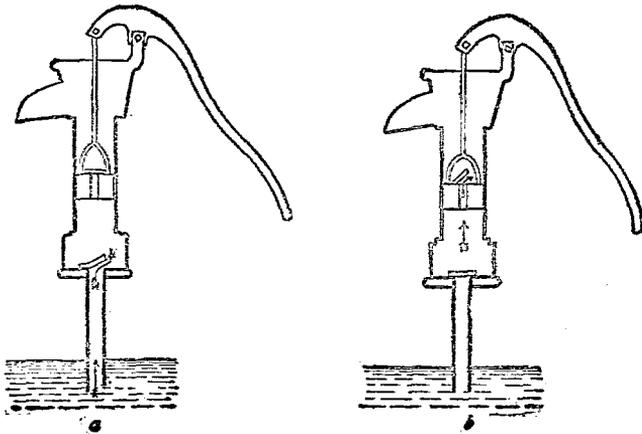


圖 23. 吸取唧筒

吸取唧筒的構造，如圖 23，當活塞提上時，如 a，筒內氣壓減小，筒外則為大氣壓力，故筒底活門，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，故筒底活門，被壓而向下閉，同時活塞上的活門被壓而向上開，因此水由塞下移至塞上；活塞再提上時，水即由旁管流出。

壓力唧筒的旁管，裝在圓筒下側；具活門之一，不裝於活塞上而裝在旁管內。當活塞降下時，水由管中射出。

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。若在壓力唧筒的旁管和出水管之間，多加一密封氣室(air chamber)，如圖 24 內的 D，當活塞提上時，筒內 A 的氣壓減小，活門 V_1 開， V_2 仍閉，水昇入筒底。當活塞降下時， V_1 閉而 V_2 開，水經氣室流出 N 口，同時將室內空氣壓縮，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

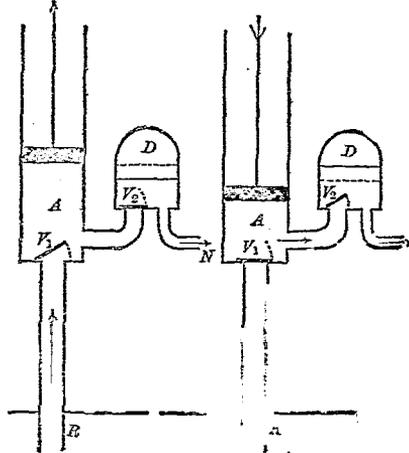


圖 24. 壓力唧筒及氣室

流出，不致中斷。消防用的救火機 (fire pump) 就是這樣的唧筒。

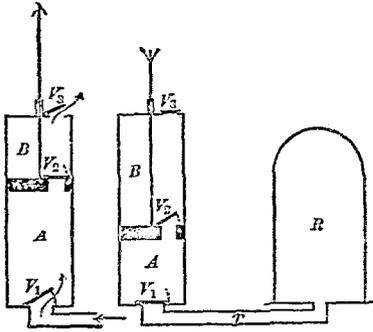


圖 25. 抽氣機

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)，構造和抽水唧筒一樣，如圖 25。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_2 閉而 V_1 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_3 亦被壓閉。如是活塞往返不已，鐘罩內的空氣逐漸被其抽去，即逐漸與真空接近。

壓氣機 將上述抽氣機中的活門 V_3 略去，同時將其餘兩活門方向，裝向反對的一方，即成為壓氣機 (air compressor)，俗名打氣機，其作用如圖 26。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，成為受壓空

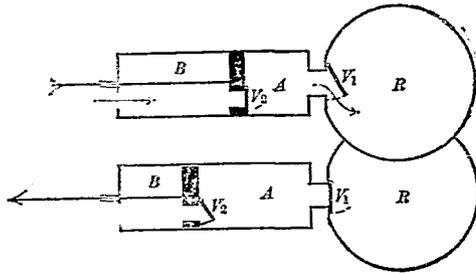


圖 23. 壓氣機

氣(compressed air)。皮球足球以及車類的輪胎,其所以能夠鼓起,就是因為有了這種受壓空氣在內的緣故,還有銅匠鐵匠用來催火的風箱,作用亦同。

問題(1) 大氣壓力每 1 平方厘米的面積上既有 2 市斤的大。何以人在大氣中,並不感覺壓迫?

問題(2) 醫生用的打針器,是什麼作用?

問題(3) 自來水筆何以能將墨水自行吸入?

問題(4) 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(5) 皮球鬆軟了要怎樣方能恢復原狀?

問題(6) 玩具中的水鎗,你們自己會做麼?是什麼原理?

問題(7) 用一條兩端開放孔徑極細的玻璃管,要想將水灌入管中,要怎樣方能辦到?

問題(8) 前題所說的細玻璃管設若將一端用手指封閉,即令將玻璃管直立起來,他端向下,其中的水也不會流出,是什麼緣故?

問題(9) 虹吸管有沒有失效的時候?要是有的話,又是些什麼情況?其理由如何?

第六章 時間和運動

時間及其單位 空中飛着的鳥，水裏游着的魚，地面上行動着的車馬等，各時刻所在的位置，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 (time)，係以地球自轉一周為標準，即以一晝夜為單位，是為 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 日為 24 小時，1 小時為 60 分，1 分為 60 秒。

鐘錶 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器具，為鐘錶 (clock and watch)。即按照上述的標準製成，前面共有指針三枚，較短的為時針，每轉一周為 12 小時，長的為分針，每轉一周為一小時，還有一個極小的針為秒針，每轉一周為一分。

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

位移 物體由甲位置移到乙位置，如不問其所經歷時間的

久暫，就可以用一條直線，將前後的兩位置連結起來，將其位置的變化表出，稱為位移 (displacement)。此直線的長度，可以代表其移動的距離，直線的方向，代表其移動的方向。這個量包含着大小和方向兩種性質在內，和質量、長度等僅有大小可言的量的性質不同。

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路程，稱為速率 (speed)。例如步行的速率為每小時 10 里，火車汽車的速率為每小時 60 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) 即為速率的單位。

表示物體的運動，單知道位移或單知道牠的速率，都同樣的不夠用，因為只說出牠的位移，僅知道牠從何處到了何處而已，其間經何途徑，歷時幾許，完全無法知道。若只說出他 1 秒鐘走了多少遠，並未嘗說出牠的方向，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，僅知其速率為每小時 20 千米，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。故論運動必須將速率連同牠進行的方向，一並說出，就不會發生這樣的結果了。所以也和位移同樣，要

連速率帶方向一並表出方能定準，這個量通稱為速度(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，只不過速率相等罷了，而速度則不相同，所以結果也就大相懸殊。

等速度運動 火車在一直線的軌道上開行，如保持一定的速率，即無論在任何的 1 秒鐘間經過的路程，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率，但因方向隨地轉變，所以不能成為等速度運動。又或軌道雖是直線，但若不能保持一定的速率，亦不能成為等速度運動。總之，速率和方向，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 凡由高處向地面自由落下的物體，方向雖然不變，可是愈落愈快，即是他的速率並不一定，所以是一種變速度運動。據實測的結果，每隔 1 秒鐘都要增加每秒 980 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，一律為每秒 980

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)。一切物體自由落下時的加速度為每秒每秒 980 厘米。

作加速度運動的物體在某一時刻所具有的速度，是假定此物體從此一時刻起，保持着現有的速度，改作等速度運動，如是經歷 1 秒鐘之久，在此期間內所能經過的路程的厘米數，即此物體在此一時刻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，且愈落愈快，是因為受了重力的作用的緣故。輪船火車的發動與加速前進，也是由於蒸汽機的牽引力。一切物體，莫不皆然。並且對於質量相同的物體，作用力愈大加速度亦愈大。即作用的力和所生的加速度成正比例，並且二者在同一方向上，這個關係，通稱為運動定律 (law of motion)。

慣性 在火車中的人，當車驟然開動時，必向後倒，當車驟停時，必向前仆，當車突然轉彎時，必向轉彎的外方傾斜，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，通稱為慣性(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，這個關係稱為慣性定律(law of inertia)。

反作用 人在船上用篙抵岸，船即離岸運動。由上述慣性定律，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。

運動三定律 上述的三個定律，即(1)運動定律：作用的

力和加速度成正比例；並且二者在同一方向上；(2)慣性定律：不受外力作用時，靜止的永遠靜止，運動的永遠作等速度運動。(3)反作用定律：作用和反作用同時發生，大小相等，方向相反，為所有一切運動的基本定律，合稱之為運動三定律 (three laws of motions)。

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，可是他自己卻以同大的速率向西方回轉原地，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



圖 27. 運動的合成

的路線，如圖 27 所示，是

角線 AC，而兩邊 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 28，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 方向的速率， AC 的長表向 AC

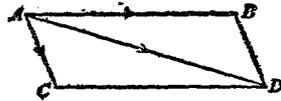


圖 28. 速度的平行四邊形

方向的速率，以 AB , AC 為兩隣邊，畫一平行四邊形 $ABCD$ ，此物體實際上的速度，可用此平行四邊形的對角線 AD 來表，方向固然是向 AD ，就是他的速率也等於 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 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每時 2 千米，要求他在鉛直方向和在水方向上的分速度各為若干，

如圖 29，引直線 AB ，表山的傾斜，在此直線上取 2 厘米的長，表每時 1 仟米的速度。此人在這方向上的速度，既為每時 2 仟米，應得 4 厘

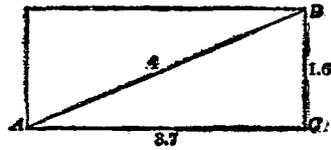


圖 29. 速度的分解

米即 AB 。以 AB 為對角線造成一平行四邊形，一邊與水平方向相平行，一邊與鉛直方向相平行；如是量得水平的一邊 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為每時 1.85 仟米，鉛直方向的分速度為每時 0.8 仟米。

萬有引力定律 樹上的果，可以落至地面；天空中的隕石，可以墜入附近的天體上，推而至於宇宙內一切物體，大的如日月地球，小的如細沙塵埃，莫不皆有互相吸引的作用。這種作用的力，稱為萬有引力 (universal gravitation)，關於萬有引力的理論，是由牛頓發見的，稱為萬有引力定律 (law of universal gravitation)。

萬有引力之大小，與互相作用之兩物體之質量之乘積為正比例，與兩者間之距離之平方為反比例；其作用之方向，則在於連結此兩物體之直線上。

重力是地球對於地面上一切物體的引力，所以重力也就是萬有引力的一種。物體與地心間之距離愈遠，受到由地球而來之

引力愈小，故其重量愈輕，所以同一物體在地球面上各處的重量，亦各不相同。但其質量則依然如故也。

問題(1) 車夫用力拉車向前進，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) 用槳划船，船何以能前進？

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，如此重物驟然為他人取去，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，用和火車相等的速率將一皮球拋出，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，到得對岸已非此一點，是什麼緣故？

第七章 力和重心

力的圖示法 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) 和作用點 (point of action)，方

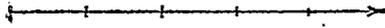


圖 30. 力的圖示法

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。如圖 30 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。

合力與分力 如圖 31，將兩個彈簧秤掛在壁上的 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 B 的力，將 O 牽向 OA 的方向；一為彈簧秤 C 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，其效果 O 亦不動。由此可知 F 和 B 兩個彈簧牽引的力，和單獨一個向上方的力 OR ，功效完全相同。即是力也和速度一樣，

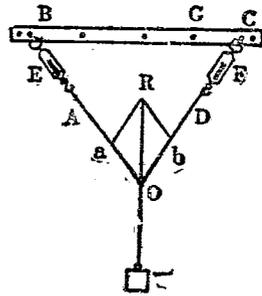


圖 31. 力的合成

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 稱為分力 (component force)， OR 稱為合力 (resultant force)。由分力求合力時稱為力的合成 (composition of forces)，由合力求分力時，稱為力的分解 (resolution of force)。

飛機 飛機 (aeroplane) 形如圖 32 所示，上面有一個或兩個廣大的面，如像鳥類的翼。機體前面裝有推進器 (propeller)，轉動起來，可以鼓動空氣向後流動，使生一反作用推器前進。如飛

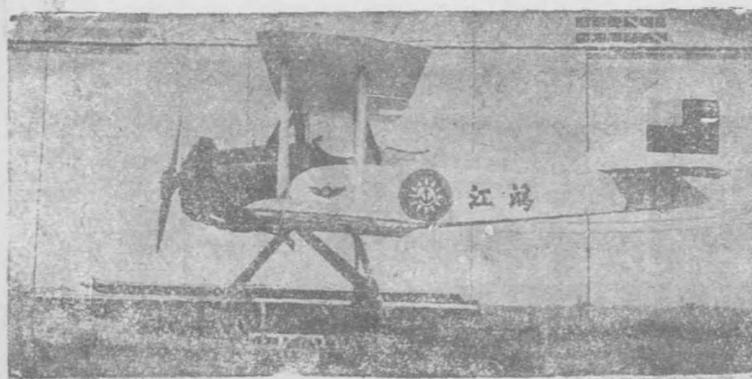


圖 32, 我國自製的飛機

機向左方前進，如圖 33 下方箭頭所示的方向，則空氣衝擊翼面的力，當如圖中左邊的小箭頭所示，向右方作用。此力可分解作兩分力，一與翼面平行，對於飛機不生作用；一與翼面垂直，如圖 33 中的 OP 。實際飛機受到的風力，就是這一部分的分力。再命 OF 表推進器向前的力， OR 表 OF 與 OP 的合力， OW 表機體所受的重力。

如推進器的轉動遲速得宜，則合力 OR 恰與 OW 相等，結果機體浮在空中，不上亦不下。如增加推進器的速度，則 OP 與 OF 同時加大，故合力 OR 大於重力 OW ，

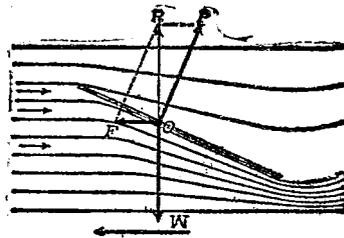


圖 33. 飛機所受的力

結果令機體向上方升起。反之，如減小推進器的速度，則 OP 與 OF 同時減小，故合力 OR 小於重力 OW ，結果令機體向下方降落。

飛機尾部有一垂直平板，如圖 32，其作用和船尾的舵一樣，司飛機的進行方向，通稱為方向舵；又有一水平板，司飛機的昇降，通稱為昇降舵。

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，稱為平行力(parallel forces)。如圖 34，試將米尺放在平滑的水平棹面上，並在其兩端 A, B 兩點，用兩彈簧秤 P 和 Q 鉤住，另用一彈簧秤 C 從米尺的他一邊將米尺

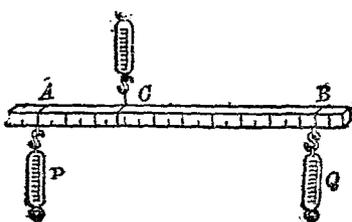


圖 34. 平行力

鉤住，使三個彈簧秤互相平行，且均與米尺垂直，如所鉤住的一點 C 適當，即可使全體不動，此時 P 與 Q 牽引米尺的力，和彈簧秤 C 牽引米尺向上的力，恰相抵消。假如

不用 P 和 Q ，而用另一個單獨的彈簧秤，也拿來掛在 C 點，但向下方牽引，亦可使米尺不動，此時秤上的標度，也和使用 P 與 Q 的標度之和相同。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， P 力和距離 AC 的乘積，等於 Q 力和距離 BC 的乘積。即是兩平行力的合力，大小和此兩力的和相等，方向和兩平行的力方向相同，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。前面所說測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

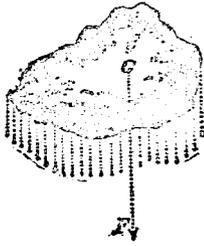


圖 35. 重心

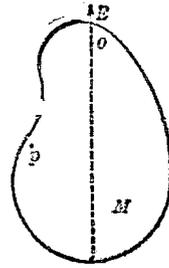


圖 36. 求重心(1)

下,如圖 35。這許多小部分的重力,彼此平行,成爲平行力,此物體全體的重量,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的點,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。

求物體的重心,並無須照上述的方法,如其形狀簡單,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,或不是同一種類的物質,那麼,可照圖 36 及圖 37 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

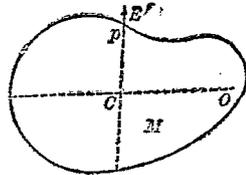


圖 37. 求重心(2)

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。

問題(1) 在鋼絲或軟繩上面行走的人，何以不會跌下？又何以要揉傘？

問題(2) 背上托行李的人，何以要將頭垂向前方？

問題(3) 大人和小孩共用扁擔擔水一桶，爲使小孩擔負很小起見，問水桶的位置，應該靠近大人，還是靠近小孩？

問題(4) 有小孩三人作跳板遊戲？能否同時上板？要如何坐法？何以如此？

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，此棒即稱爲槓桿 (lever)，其固定的點，稱爲支點。使用槓桿可用小力舉起重物，此時手加於槓桿上的力，稱爲用力 (effort)。而重物加於槓桿的力，則稱爲阻力 (resistance)。用力的作用點稱爲力點 (point of application)，阻力的作用點則稱爲重點 (point of exertion)。由支點到此兩點間的距離，稱爲槓桿的臂 (arm)。

圖 8 所示的中國秤，就是一個槓桿，提繩處是支點，錘所懸處是力點，鈎或盤所懸處是重點。當槓桿靜止不動時，令桿取水平的位置，此時力點 A 和提繩間距離與 P 的重量的乘積，恰等於重點 G 和提繩間距離與 Q 的重量的乘積 (假設秤桿，鈎或盤

的重量不計)。

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，即可使用小力將堅硬的物體剪斷。其他如鉗子鉗子，構造及作用均與此同。

天平 通常測貴重物體重量使用的器具為圖 38 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，他端盛砝碼。此時支點和力點及重點的距離，完全相等，所以這樣的槓桿稱為等臂槓桿 (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。

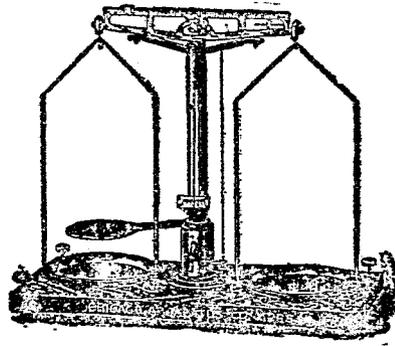


圖 38. 天平

滑輪 通常張帆或捲簾時，多用一個或數個的圓形木塊，中心貫一軸，周圍有溝，用一條繩從其溝中穿過，拉繩時動作異常自如，這樣的木塊，稱為滑輪 (pulley)。將滑輪裝在固定的位置上，如圖 39 所示，手以 F 的力扯繩，雖將 R 重的物體扯上，但滑

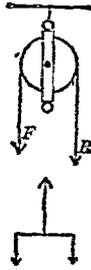


圖 39. 定滑輪



圖 40. 動滑輪

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，支點為滑輪中心，兩力作用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，如圖中下半段所示。其次如圖 40 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，如圖上所示，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二倍，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，釘合爲一，使兩者的軸線在一條直線上，其橫截面如圖 41 所示，粗的一方的半徑爲 OF ，細的一方的半徑爲 OR 。這種簡單機械，稱爲輪軸 (wheel and axle)，粗

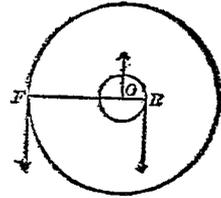


圖 41. 輪軸

的一方爲輪 (wheel)，細的一方即爲軸 (axle)。使用時，將繩一條，捲在軸上，下端懸重物，手施的力，加在輪上，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。各力作用點，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。

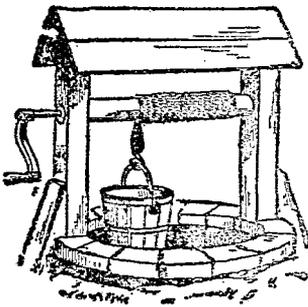


圖 42. 輪軸的變相

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，並不使用完全的兩個圓筒，即將輪的一方改用一個曲柄 (crank)，如圖 42 所示，此時曲柄爲輪，曲柄的長即與輪的半徑相當，繩所捲的棒爲軸，其作用亦完全相同。

斜面 和水平面作一定傾斜角度的平面，稱爲斜面 (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

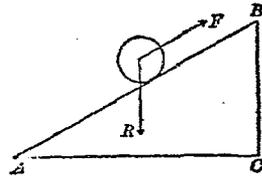


圖 43. 斜面

或推高重物。如圖 43, 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 , 只須和重力 R 在 BA 方向的分力相抵, 即可將物體支住。但利用相似三角形定理, 即可證明 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。

劈 上述的斜面是固定不動的, 假如反過來用一個可以移

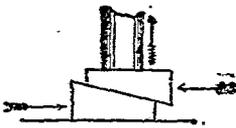


圖 44. 劈

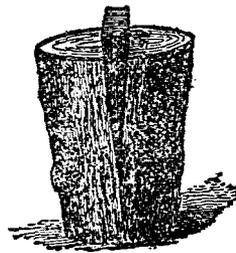


圖 45. 劈

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(Wedge)，如圖 44。因為通常劈開木頭時，就是用這種器具，如圖 45，故得此名。凡遇木料接榫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。

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 46。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，稱為螺距 (pitch)，使物體沿螺紋運動，和沿斜面上運動相同，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螺距。故螺距愈短，即螺紋愈密的螺旋，愈可使用小力舉重物。

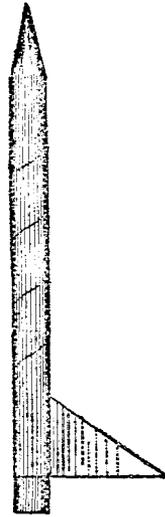


圖 45. 螺旋

功之原理 就圖 39 定滑輪而論，力點 F 降下 1 尺，則重點 R 即昇上 1 尺。就圖 40 動滑輪而論， F 昇上 1 尺， R 僅昇上半尺，不過此時 F 也只有 R 的一半。假使取雙方的力和移動的距離的乘積來看，在定滑輪時 $F = R$ ，兩者移動的距離也相等，所

以雙方的乘積當然相等。在動滑輪時， $F = \frac{1}{2}R$ ，而移動的距離，在 F 一方，較在 R 一方為加倍，所以雙方的乘積，還是相等。不但滑輪如此，斜面，槓桿，輪軸，螺旋，劈，無一不如此。凡力和其力點在力的方向上所移動的距離的乘積，通稱為功(work)。從上所述，可知在各種簡單機械中，若摩擦不計，則用力方面所作的功，恆與抵抗阻力所作的功相等，這個關係稱為功之原理 (principle of work)。

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，為的什麼？

問題(3) 山坡過陡時，直向上跑甚難。迂迴沿『之』字路遠行時則易，有什麼緣故？

問題(4) 用動滑輪可以省力，用定滑輪有什麼好處？

問題(5) 划船用的槳，是一種什麼簡單機械；要怎樣使用效力纔大？

第九章 摩擦

摩擦 按慣性定律，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為止。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。這種阻礙物體運動的力，通稱為摩擦力 (frictional force)，而此種阻礙物體運動的現象，則稱為摩擦 (friction)。

最大摩擦力 將一塊刨平的松木方塊，放在一個平的松木桌上，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 47，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，即增加牽引木塊的力時，超

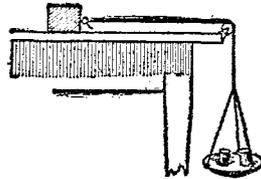


圖 47. 摩擦力

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，其值即等於物體將要開始運動時所受到的牽引力，稱為最大摩擦力 (maximum friction)。

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

所受到的壓力為正比例。故最大摩擦力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，通稱為摩擦係數 (coefficient of friction)。故以摩擦係數乘作用的壓力，即得最大摩擦力。

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力罷了。總之，任何運動，均不免受摩擦的阻礙。

摩擦的種類 在地面上橫着的圓木柱，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，依一種滾動，其與地面相接觸的部分，隨動隨變，沒有一定。故此時所受的摩擦，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—0.60
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料 (lubricant)，第三要用滾動摩擦代替滑動摩擦，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，都是用這種裝置，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。又如殺車時使用的輪掣(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匝，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？

問題(6) 着新皮鞋在塗油的地板上行走，何以不易？

問題(7) 馬路上有時為安全起見，要撒些細砂，是什麼作用？

第十章 材料強弱及彈性

應力和應變 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，但牽引力和摩擦力卻仍舊存在，其作用的效果，雖



第十章 材料強弱及彈性

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，用力扳彎，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，通稱為應變(strain)。使物體發生應變的力，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。當物體的應變尙未完成時，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。當物體的應變既已完成以後，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)，或挽力(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)，這種恢復原狀的性質稱為彈性(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，稱為形狀彈性(elasticity of form)。測重量所用的彈簧秤，就是利用螺簧受力作用後，發生的伸長而成的，也就是利用螺簧的形狀彈性。如壓扁了的皮球，當外力取去後，即恢復原有容積的彈性，稱為容積彈性(elasticity of volume)。又如泥土漿糊等類的物質，雖然多少具有一些容積彈性，但形狀彈性則完全缺乏，這種性質稱受範性(plasticity)。

彈性限度 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，方有完全恢復原狀的可能。這個限度，稱為彈性限度(elastic limit)。各種物質多少總有一點彈性。不過彈性限度的數值，卻有大有小，各不相同。各物質中，以鋼的彈性極大，很不容易使牠發生永久的變形，所以彈簧就是用鋼製成的。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 凡在彈性限度的範圍內，使用一分的應力，即發生一分的應變，應力加倍，應變也加倍，即是應力和應變成爲正比例。但若超過了彈性限度的範圍以外，應變就加倍的增加起

來。最後達到了一定量的應變時，外力縱令不再增加，但物體中必有某處的應變，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應變的限度，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，只要超過了彈性限度，也都難恢復原狀，所以就不堪使用。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，方能承受家具和人物的重量，都由於牠們的彈性而定。此時物體的兩端，支住不動，重量承載於兩支點間的某一點。此時發生的應變，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，此時發生的應變為縮短距離，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，第二和材料的橫截面積成反比例。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，以及所起的應變屬於何種，然後始能決定。

問題(1) 鐵索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) 支架地板或樓板的長方木條,都用窄的一邊向上下方向,何以不平
放下來?

問題(6) 高樓大廈所用的柱頭,異常粗大,茅草房屋差不多幾根竹竿,即足敷
用,何以兩者間有如是的差別?

第十一章 振動和聲波

振動 取鋼條一,令其一端固定,他端自由,如圖 48 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



圖 48. 橫振動

彈力作用欲復其原狀,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

為反對方向的應變, 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 , 始折而向上。如是此自由的一端,
即在 B, C 兩點間作往返不已周而復始的運動。此種運動稱為
振動(vibration)。在振動中,此 A 點所運動的方向,為 BC , 恰與
鋼條本身的方向垂直,所以這種振動,通稱為橫振動(transverse
vibration)。

次取橡皮條一,令其上端固定,下端懸一砝碼,如圖 49,並在

皮條上任取一點 A ，作一記號。將砝碼曳下，使 A 點移到 B 處，然後放令砝碼自由。即見 A 點亦受彈力作用由 B 點升起通過原在的 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，所以這種昇動稱為縱振動(longitudinal vibration)。



圖 49. 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，稱為振動的週期(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，稱為頻率(frequency)。

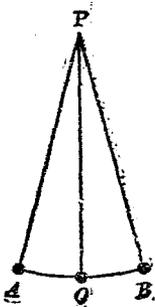


圖 50. 單擺

單擺 將細線的一端 P 繫住，在他端懸一圓球，如圖 50 所示。靜止時球在 O 點， PO 成爲鉛直線。如將球曳至 A 點，然後放其自由，球即在 AOB 之間，往返振動不已。這樣可往返振動的儀器，稱為單擺(simple pendulum)。由支點 P 到 O 的距離 PO ，稱為擺長(length of pendulum)，

OA 或 OB 稱為振幅。從 O 點出發到 A ，再由 A 經過 O 到 B ，更由 B 復折回到 O 為止，其間所經歷的時間，為其週期。

據實測得知，擺長相等的單擺，週期也相等，這性質稱為單擺的等時性(isochronism)。時鐘上的擺，就是利用這個性質，方能記出準確的時刻。

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。但無論就任何時刻而論，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，則稱為介質(medium)。

橫波 試將橡皮條的一端繫在壁上，他端 A 執在手內，如圖 51，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



圖 51. 橫波

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，稱爲峯(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)。

縱波 將螺線一段，懸在水平的位置上，如圖 52，用力將其一端壓縮，被壓處的各條線間的距離，應較未被壓以前稠密，因此牽動其鄰接的部分，使其向稠密部分移動，鄰接部分又照樣牽動其鄰接者，於是此種稠密的狀態，遂次第由近而遠，傳播出去，

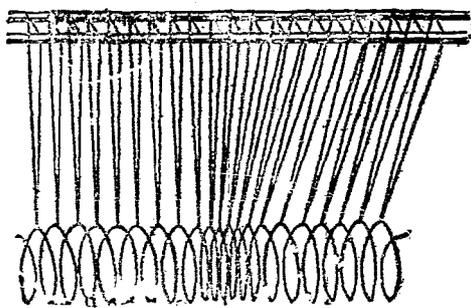


圖 52. 縱波

成爲一種波動。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，更進而一變成爲稀疎，此項稀疎的狀

態，也同樣漸次由近而遠傳播出去，也成爲一種的波動。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)。

縱波或橫波的波形每 1 秒間傳達的距離，稱為波的傳播速度(velocity of propagation of waves)。故波的傳播速度，即等於其波長和頻率的乘積。

水波 投石入水，在水面上石頭着水的一點周圍，即發生若干層輪形的波紋，由近及遠，逐漸擴開，這種波就是水波(water wave)。在水面上浮着的木片或樹葉，都只跟着波紋上下起伏，並未被波紋帶到遠處，由此可見水波也和彈性體內的波動，大致相同。

聲波 發音中的琴絃，在兩固定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，完全成為靜止時，其音亦即消滅。又如將音叉(tuning fork)擊響，令其兩脚進

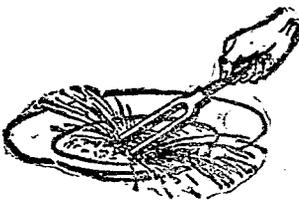


圖 35. 音叉振動的

入水中，即見水點四向飛濺，如圖 53，到得水成靜止時，音亦隨滅。由此可見聲音的來源均出於物體的振動。當鈴振動時，在其周圍的空氣，或則受壓迫而成稠密，或則受牽動而成稀疏，此項應變因空氣本身的彈性，漸次傳達，由近而遠，遂在空氣中造成一種疏密相間的波動，如圖

54. 此波動傳到耳膜，始得聞知其聲音。假使將鈴裝在抽氣機的鐘罩內，一面發聲一面抽去鐘罩內的空氣，即覺聲音漸減低，到得空氣將次抽盡時，即完全無聲音可得而聞。此時再放入空氣，聲音又再現出。由此可見，聲音的傳達，必須要有介質，此種介質也不一定要空氣，就是任何固體液體氣體，也都可以。在介質中傳播的此種波動，通稱為聲波(sound wave)。聲波既如上說，是介質中所起的疎密相間的波，所以是一種縱波。

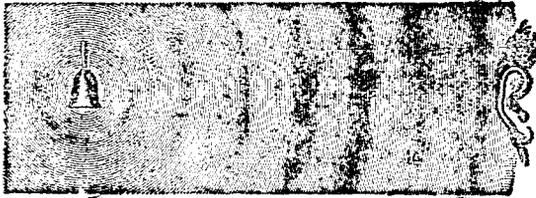


圖 54. 聲音的傳達

聲音的速度 在各種物質內都可以發生聲波，但聲波傳播的速度，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，在液體中次之，在氣體中最小。在攝氏零度時，空氣傳播聲波的速度約為每秒 332 米。觀察遠處放炮和雷電，均先見其光，後聞其聲，就是因為聲波在空氣中傳播的速度較光的傳播速度為小所致。

回聲 人立在懸岩絕壁前大聲急呼，每每聽見的回聲(echo)，這是因為聲波受阻，反折而回所生，這種現象，通稱為聲波的反

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，也能聽見回聲，利用此現象可以估計井內水面有多少深，其法如何？

問題(3) 雷鳴的聲，何以殷殷不絕？

問題(4) 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？

第十二章 樂音

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

響度 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。由是可知響度(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，稱為音調 (pitch) 的不同。試用齒輪一個如圖 55 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，如其頻率在可聽的範圍以內，即有音發出。轉動愈速，音調愈高。又如

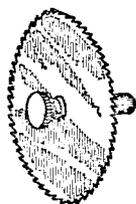


圖 55. 音調

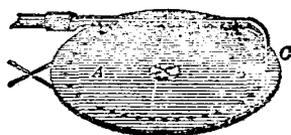


圖 56. 音調

圖 56 所示，用一個水平的圓板 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，呈稠密狀態。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應變，成一聲波，轉動的速度加大，音的音調愈高。由此可知音調的高低，完全由於頻率而定，頻率大則音高，小則音低。

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 表示兩種音的頻率不同，通常使用音程 (interval)。音程即兩音的頻率的比。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，稱爲互相諧和 (consonance)。能互相諧和的音，當然不止一種，如按其頻率次序，次第排列起來，稱爲音階 (musical scale)，一音階中的最低的一音，稱爲主音 (principal tone)。通常唱歌或奏風琴鋼琴時，以用 C 調爲最多。此時的主音，就是正中間的 C 音，其頻率爲 256。其他各音對於主音的音程，及其本身的頻率如下：

記號	C	D	E	F	G	A	B	C'
讀法	do	re	mi	fa	sol	la	si	do
頻率	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)，大別爲四種：(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、筒板等類；(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

爲簧(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 57，其音最低，有時分爲數段振動，其音頗高。最低的一音，稱爲基音(fundamental tone)，其他的高音稱爲泛音(overtone)。

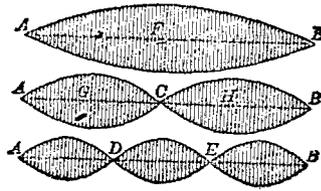


圖 57. 泛音

音色 各種樂器發出來的音，縱令配合成爲同一的響度，同一的音調，依然各不相同，此項特色，稱爲音色(timbre 或 quality)，亦稱音品。音色的差別，由於發音體振動時，不僅發其基音，同時還有各種的泛音混合在內。這種同時混發的泛音，各種樂器各不相同，所以極易辨識。



圖 58 共振

共振 在空玻璃瓶上放一正在振動中的音叉，自瓶口徐徐加水入瓶，如圖 58，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，其響度遠在音叉的響度以上。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頻率的振動，稱為共振 (resonance)。按空氣柱的振動的頻率，由於柱長而定，今頻率既限定於非與音叉的頻率相同不可，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，響度即為之增加。樂器中多附有同樣的物件，目的亦在增加響度。

人聲 我們發音的器官，是兩片薄膜，緊張在喉內氣流出入的要道上，通稱為聲帶 (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。所發的音的響度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) 拉胡琴的人，手指專在絃的上端近旁按奏，為什麼？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) 打唢嗩是什麼作用？

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？

第十三章 熱的來源

太陽 夏天氣溫太高，人都不敢向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曬，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來的熱，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，又可使其全部化為水蒸氣。由此一例，亦可想見太陽發出來的熱，是怎樣的偉大了。

摩擦，燃料及電流 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，亦可取暖。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，結果將使機械受損。汽車前面隨時要加冷水，也是為的這個緣故。(2) 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。(3)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。

溫度 在太陽光下去曬，曬的時間愈久，得到的熱愈多，身體也就愈覺溫暖。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為溫暖，並且所得的熱愈多，其溫暖的程度愈高。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。必欲使此兩物體成為同一的溫暖程度，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，其溫暖程度又是一事，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，卻遠在一壺茶所有的熱以上。表示物體的溫暖的程度，通稱為溫度 (temperature)，而使物體生溫度變化的東西，則稱為熱 (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接觸的物體的冷熱而異，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，即左手覺得水暖而右手覺得水涼。又如深井中的水，在夏日覺其涼，在冬日覺其暖，其實牠的溫度，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，稱為溫度計 (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。此等液體表面上則為真空。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。

溫度計的標度 為要測定精密的溫度差別，所有的溫度計的旁邊，都附有詳細的標度。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，即將此位置在旁邊標出，稱為冰點 (ice 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，俟其升至最高的位置，此位置即表示蒸汽的溫度。將此位置也同樣在旁邊標出，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 59

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 。此種溫度計，其分度法係將兩定點間分為 100 等分，所以又稱為百分溫度計 (centigrade thermometer)。此外還有一種溫度計，稱為華氏溫度計 (Fahrenheit thermometer)，其分度方法如圖中的右邊，係以冰點作 32 度，以沸點作 212 度，將此兩點間等分作 180 分，每 1 等分表示華氏 1 度，記作 1°F 。

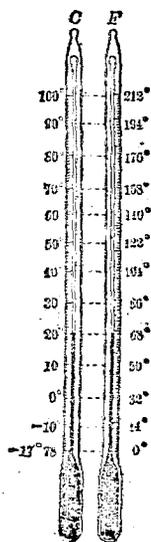


圖 59. 溫度計

上述兩種的標度，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：

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

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

式中的 C 表攝氏溫度計上的度數， F 表華氏溫度計上的度數。例如圖 59 所示的溫度，在攝氏溫度計上為 20 度，代入第二式中，即求得華氏度數應為 $\frac{9}{5} \times 20 + 32 = 68$ 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，大約在攝氏零下 10 度左右，夏天陰涼的地方，大約在攝氏 25 度近旁。浴水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，電燈中的金屬燈絲的溫度，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。你們還見過的燃料，有甚什麼？

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,將其華氏溫度計上的度數算出。

第十四章 物體的膨脹

固體的膨脹 圖 60 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

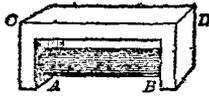


圖 60 棒的膨脹



圖 61. 球的膨脹

的長度, 因其溫度升高, 業已增加。同樣, 如圖 61 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, 均因溫度升高, 致其容積發生相當的增大, 又如圖 62, 將一條鐵一條鋅釘在一起, 然後放在火上去燒, 即見



圖 62. 金屬條的膨脹

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，除卻極少數的例外而外，無論就牠的全體體積而論，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 63。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，因溫度升高發生膨脹的現象。前章所說的溫度計，也就是利用管內水銀的



圖 63. 液體的膨脹



圖 64. 氣體的膨脹

膨脹，來判斷牠的溫度。

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 64，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，還要顯著些。

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。如夏日電線的下垂，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，通稱為此物體的線脹係數 (coefficient of linear expansion)。如不論其長度的膨脹，而專論其體積的膨脹，與此項相當的數值，稱為體脹係數 (coefficient of cubical 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

昇起，又氣體的膨脹係數最大，並且不問氣體的種類如何，其膨脹係數大都相同。當壓力不變時，一切氣體的體脹係數均等於 $\frac{1}{273}$ 。

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？

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，手與水已成為同一的溫度。要想說明這個現象，須假想有一種特殊的東西，由水移到手上。手上添多了這樣的東西，溫度因而升高。同時水內因為失去了這樣的東西，所以溫度降低。此項假想的東西，就是熱，熱的分量，

則稱爲熱量(quantity of heat)。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二倍。即是要使質量不等的同一種類的物質，成爲同一的溫度，所需要的熱量，也不一樣，質量增加一倍，所要的熱量也加一倍。

熱量單位 由上所述，可知一物體的熱量，第一要由牠的溫度而定，其次要由牠的質量而定，最後還要有物質的種類而定。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 上節曾說一物體所含有的熱量，和物質的種類有關。例如把質量相等的一壺水和一塊銅同放在火上加熱，水還未成爲溫水，銅已熱得炙手了。這是因爲各種物質溫度升高一度所需的熱量不同。每1克的水升高攝氏1度，需要1卡的熱量，而每1克的銅，升高攝氏1度，祇要.093卡的熱量。這個.093的數字，就稱爲銅的比熱(specific heat)，換句話說，凡1克物質，溫度升

高或降低攝氏 1 度所吸收或放出的熱量的卡數，稱為該物質的比熱。茲將各種常見物質的比熱，列表如下：

水	1.00	大理石	0.22	鐵	0.12
酒精	0.6	木炭	0.2	銅	0.093
冰	0.5	玻璃	0.16	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，實具有絕大的貢獻。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。

熱容量 由上節可知，海洋所以有調和氣體的功效，不僅因水的比熱最大，且因海洋內的水量極多。一個物體溫度升高或降低攝氏一度所吸收或放出的熱量，等於其質量乘比熱，稱為該物體的熱容量。譬如有一物體其質量為 m 克，比熱為 s ，牠的熱容量就是每度 ms 卡。當牠的溫度降低 $t^{\circ}\text{C}$ 時，由此物體放出來的熱量，即等於 mst 卡。

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，所以最適於作溫度計之用，是什麼緣故？

問題(3) 冬天暖手使用的熱水袋，何以裏面概裝熱水，而不裝別種液體？共有幾種理由？試詳言之。

問題(4) 初入浴盆中時，覺得水熱，經過幾秒鐘後，就覺得並不如初進來時那樣的熱，是什麼緣故？

第十六章 物態變化

物態的變化 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。可是同一種物質，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。就是其他一切的物质，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，也就有法使牠變成水一樣的液體，再冷也可結成固體。這種狀態的變化，通稱爲物態的變化(change of states)。

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，則稱爲熔點(melting point)。冰塊的溫度昇到熔點即到攝氏零度以後，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，都完全熔化完盡為止，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，溫度並未升高。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，其值均較冰的熔解熱爲小。

因爲冰熔化成水，要吸收大量的熱，所以利用冰的熔化，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，放在奶雞蛋等混合溶液外面，此時一面冰塊化爲水，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，因爲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 度的時候，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 (solidification)。凝固時的溫度，則稱爲凝固

點(solidifying point)。就大多數的物質而論，凝固點和熔點，完全一致。

熔解時吸收的潛熱，得到凝固時，全部都要放出。譬如1克的冰熔解時必須吸收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，一變而成氣體的水汽，混合在空氣裏面罷了。這樣的現象，稱為蒸發(evaporation)。一切液體，均同樣有此現象，由液體化成的氣體，通稱為汽(vapor)。在開放着的容器中，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，只能發生一定量的汽。既已達到了這個程度以後，蒸發也立即停止，器中的液體亦不再行減少。這個狀況，稱為飽和(saturation)，此時所得的汽稱為飽和汽(saturated vapor)。

要1克在溫度 100°C .的水全部都化為汽，仍保持在 100°C .，必須吸收538卡的熱量。此項熱量，也和熔解熱一樣，潛藏在化成的汽內面，通稱為蒸發熱(heat of evaporation)。其他各種液體蒸發成汽時，也各要吸收相當的蒸發熱，其值隨物質種類而

異，但均較水的蒸發熱為小。

沸騰 將盛水的杯放到火上去燒，杯內的水溫度漸次升高，同時由水表面發生出來的水汽分量，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水汽發出，並連液面下，也有水汽發生，成為氣泡，由杯底上昇，陸續不絕昇至液面，始進入空氣中。這種現象，通稱為沸騰 (boiling)，發生沸騰的溫度，稱為沸點 (boiling point)。如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。

蒸汽機 將一壺水放到爐上去燒，沸騰後，壺中的蒸汽可以將壺蓋推動。輪船火車中所用的蒸汽機 (steam engine)，就是利用這個原理造成的。其盛水的容器，四周密閉，通稱汽鍋 (boiler)。使用煤火，令汽鍋內的水達到沸騰，蒸汽經由導管引入機筒 (cylinder) 內，衝動筒中的活塞，因此牽動車輪，使全體前進。其構造原理，如圖 65 所示，由汽鍋而來之蒸汽，先進入汽櫃 (steam chest) 內，在汽櫃與機筒之間，有一滑動活門 (slide valve)。當活門滑下時，汽櫃中之蒸汽，即從上方通路 S 進入機筒上方。同時原在機筒中活塞下方之廢汽，則經由下方通路進入滑動活門

中之空處 B ，更從 B 被排至外面空氣中。到得活塞降至機筒下方，活門已滑到最上端，將上端之通路 S 封閉，同時下端之通路開放，俾汽櫃中之新鮮蒸汽，從下方通路進入機筒內活塞下方，推動活塞使其昇上，同時將活塞上之廢汽仍經由 B 排出外面。活塞移動可以牽動滑動活門，全賴偏心輪(eccentric)之作用，此輪之固定點不在其中心而偏在一方，如圖中右下角所示。

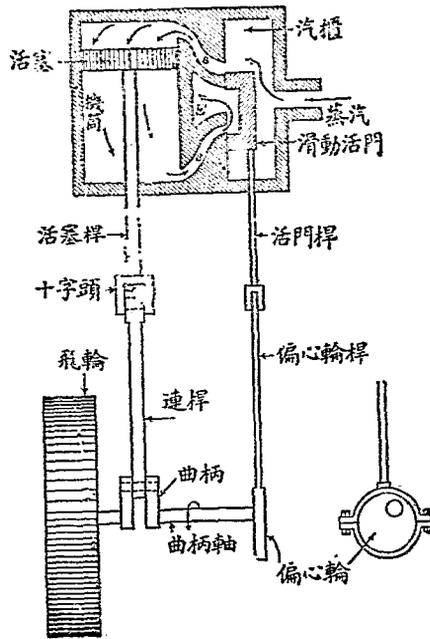


圖 85 蒸汽機

中之空處 B ，更從 B 被排至外面空氣中。到得活塞降至機筒下方，活門已滑到最上端，將上端之通路 S 封閉，同時下端之通路開放，俾汽櫃中之新鮮蒸汽，從下方通路進入機筒內活塞下方，推動活塞使其昇上，同時將活塞上之廢汽仍經由 B 排出外面。活塞移動可以牽動滑動活門，全賴偏心輪(eccentric)之作用，此輪之固定點不在其中心而偏在一方，如圖中右下角所示。

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，大都含有多量的水汽。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，一切水的蒸發，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，過剩的一部分的水汽，立即凝結成爲小水滴，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，則水汽不但凝結成液體，並進而凝固成爲冰，集合無數細冰，遂成爲雪(snow)。又在夜間地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，即成爲霜(frost)。

通常的空氣裏面，多少總不免含有若干的水汽在內。如水汽分量過多，即與飽和狀態甚近時，覺其潮溼。如其分量過少，即與飽和狀態相隔甚遠時，覺其乾燥。表示空氣的乾燥潤溼程度稱爲溼度(humidity)。溼度大固嫌悶熱，如南方霉雨時的氣候；溼度小又嫌過於乾燥，如北方或沙漠附近的氣候，均不適於衛生。冬日房中生爐取暖，必在爐上放一水壺，務使水汽陸續發出，調和溼度，使其適於衛生，否則呼吸器官及皮膚均將受其影響，成爲疾病。

問題(1) 如燉茶熱，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) 衣服被雨淋濕，若不趕快換，必定銹風，是什麼緣故？

問題(3) 天晴曬的濕衣易乾，雨天不易乾，是什麼緣故？

問題(4) 冬日玻璃窗上結的霜，何以只有裏面的一邊有？

問題(5) 夏日澆水庭前,頗覺涼爽,是何緣故?

問題(6) 冬日呼氣出口,現成白色,夏日何以看不見?

問題(7) 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?

第十七章 熱的傳播

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。如圖 66,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。

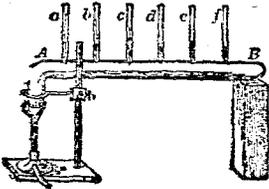


圖 66. 傳導

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時間以後,全體始成為同一的溫度。

凡如此種物體本身的各部分,始終未嘗移動,但熱卻由其一端經各部分次第傳遞而達於他一端的現象,稱為熱的傳導 (conduction)。

導體與絕緣體 各種物質對於導熱的作用,有強有弱,各不相同,如圖 67,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

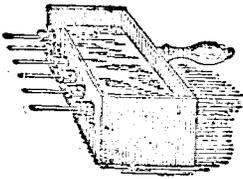


圖 67. 傳熱率

棒的裏面一端，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，這種物質稱爲熱的導體 (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 68 左邊。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。若先將銅網蓋在未會着火的煤氣管上面，如圖 68 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。這也是因爲上面火焰中的熱爲銅網傳去，所以網下面的溫度降低，不能維持煤氣燃燒的緣故。

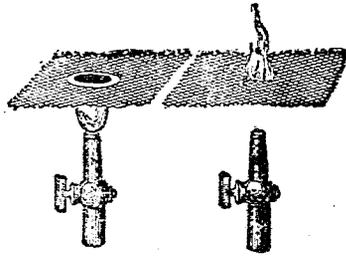


圖 68. 金屬網

和熱的導體正相反的，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，這一類的物體通稱爲非導體 (non-

conductor), 亦稱絕緣體。又固體中多含纖維質及組織疎鬆的物體, 也多為非導體, 液體中只有水銀一種是導體, 其餘的全都是非導體。氣體在實際, 完全是非導體。羊毛和獸皮其所以稱為絕緣體, 就是因為牠們具有無數的細微孔穴, 孔穴裏面常為空氣充滿, 空氣不傳熱, 所以結果遂成為絕緣體。

傳導和觸覺 我們尋常判斷物體的冷熱, 全靠皮膚的觸覺。即是手或皮膚和物體接觸時, 如熱由物體傳導到皮膚上去, 即發生溫暖的感覺, 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, 即發生寒冷的感覺, 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。還得要看導體的傳導程度如何, 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, 即覺鐵熱而木冷。這是因為熱在鐵中傳導較易, 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, 其理內則同前。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, 只能判別牠們傳導的程度, 孰高孰低, 要通

着同一種類的物質，方能由手試探，判別牠們的溫度。

對流 水是一種絕緣物質，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 69，上方的 *A* 倒放，下方的 *B* 正放，*A* 內盛染色的水，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* 水內水面近旁，下端 *D* 在 *B* 水內水面近處。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*

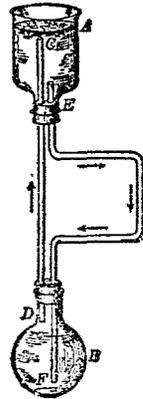


圖 69. 對流

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。

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，即稱為熱的對流 (convection of heat)。

空氣的對流 空氣是最好的絕緣體，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。夏日在太陽光下，觀察遠處屋頂，每見其動搖不定，就是因為空氣發生對流，光由其中通過引起折射作用而成的。

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，遂使房內空氣成為同一的溫度。如裝有烟囱，則燒過的廢氣，經由烟囱排出室外，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換新鮮空氣，這種作用，稱為通風 (ventilation)，或稱換氣。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



第十七章 熱的傳播

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。

輻射 前述傳導與對流，均係藉物質之助，使熱由一處傳播至他一處之方法。但由太陽而來之熱，途中須經過長距離之真空，並無物質可供利用。此種熱之傳播方法，稱為輻射(radiation)。

問題(1) 如有一人由外面漸進入地窖內，先觸及窖中的鐵爐，次觸及桌椅，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) 燒飯的鍋用鐵製，盛飯的桶用木製，為的什麼緣故？

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) 打翻了火油燈或火油爐子時，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？

中華民國二十七年八月教育部初審核定本第一版
 中華民國三十五年九月教育部初審核定本第九三版



復興教科書

初級中學用

(87322A)

物理學 一一册

上册定價國幣叁角陸分

印刷地點外另加運費

發行所	印刷所	發行人	主編者	編著者
商務印書館	商務印書館	李宣龔	王雲五	周頌久
		上海河南路		

